

Potensi Rizom Serai Acheh (*Elettariopsis smithiae*) sebagai Punca Tumbuhan Antioksidan: Kesan Suhu dan Masa Pengekstrakan terhadap Antioksidan, Perubahan Warna dan Sebatian Meruap

(Potential Rhizome of *Serai Acheh (Elettariopsis smithiae)* as a Plant Source of Antioxidants: Effects of Temperature and Extraction Time on Antioxidants, Color Change, and Volatile Compounds)

NUR ATIQA AS'ARI^{1,3}, SYAHIRAH AB. HALIM¹, NURFATIMAH MOHD THANI^{1,2} & HASLANIZA HASHIM^{1,2,*}

¹Jabatan Sains Makanan, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan, Malaysia

²Pusat Inovasi dan Teknologi Manisan (MANIS), Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan, Malaysia

³Politeknik Tun Syed Nasir Syed Ismail, Jabatan Teknologi Kimia dan Makanan, Jalan Panchor, 84600 Pagoh, Johor Darul Takzim, Malaysia

Diserahkan: 11 Mac 2022/Diterima: 19 April 2022

ABSTRAK

Serai Acheh (*Elettariopsis smithiae*) ialah tumbuhan herba daripada famili *Zingiberaceae* (Halia) yang digunakan dalam perawatan tradisi. Matlamat kajian ini adalah untuk mengkaji potensi rizom serai Acheh sebagai punca antioksidan semula jadi, mengenal pasti komponen meruap dan menilai perubahan warna yang disebabkan oleh pengekstrakan pada pelbagai parameter. Sampel dikeringkan dalam ketuhar vakum (45 °C, 0.4 bar) dan diekstrak dengan air suling pada 1:50 (sampel: pelarut) pada pelbagai suhu (50 °C, 60 °C, 70 °C) dan masa (40 min, 80 min, 120 min). Pengekstrakan pada suhu 60 °C selama 120 min mencatatkan TPC tertinggi iaitu sebanyak 84.59 mg GAE/g manakala pengekstrakan pada suhu 60 °C selama 40 min merekodkan nilai FRAP tertinggi iaitu 1176.4 µM FeII/g berbanding sampel lain. Sampel yang diekstrak pada suhu 70 °C selama 80 min mencatatkan peratus penyingkiran radikal DPPH tertinggi iaitu 83.37%, namun begitu tiada perbezaan yang signifikan ($p > 0.05$) berbanding sampel yang diekstrak pada suhu 60 °C selama 80 min. Nilai peratus penyingkiran radikal kation ABTS tertinggi iaitu 69.59% juga dicatatkan pada suhu pengekstrakan 60 °C selama 80 min. Pengekstrakan rizom serai Acheh pada suhu 60 °C selama 80 min adalah yang paling optimum. Kesan perlakuan suhu dan masa pengekstrakan juga menyumbang kepada perubahan warna (ΔE) ekstrak rizom serai Acheh yang signifikan ($p < 0.05$) terhadap sampel kawalan. Sebatian eukaliptol, fensil alkohol, borneol, fensil asetat dan 4-etinil-4,8,8-trimetil-2-metilidenabisiklo [5.2.0] nonana adalah sebatian meruap yang dominan ditemui pada sampel kawalan dan sampel rizom serai Acheh yang telah diekstrak pada keadaan optimum. Kandungan antioksidan dan kehadiran sebatian meruap membuktikan bahawa rizom serai Acheh mempunyai potensi sebagai punca antioksidan semula jadi dan menjadi alternatif kepada antioksidan sintetik.

Kata kunci: Antioksidan; pengekstrakan; sebatian meruap; tumbuhan herba; warna

ABSTRACT

Serai Acheh (Elettariopsis smithiae) is a herbaceous plant from the *Zingiberaceae* (Ginger) family used in traditional treatments on various parameters. Samples were dried in a vacuum oven (45 °C, 0.4 bar) and extracted with distilled water at 1:50 (sample: solvent) at various temperatures (50, 60, 70) and times (40 min, 80 min, 120 min). Extraction at 60 °C for 120 min recorded the highest TPC of 84.59 mg GAE/g while extraction at 60 °C for 40 min recorded the highest FRAP value of 1176.4 µM FeII/g compared to other samples. Samples extracted at 70 °C for 80 min recorded the highest percentage of DPPH radical removal of 83.37%, however, there was no significant difference ($p > 0.05$) compared to samples extracted at 60 °C for 80 min. The highest ABTS cation radical removal percentage value of 69.59% was also recorded at an extraction temperature of 60 °C for 80 min. *Serai Acheh* rhizome extraction at 60 °C for 80 min was the most optimal. The effect of temperature treatment and extraction time also contributed to the significant

colour change (ΔE) of Aceh lemongrass rhizome extract ($p < 0.05$) on the control samples. The compounds eucalyptol, fencil alcohol, borneol, fencil acetate and 4-ethenyl-4,8,8-trimethyl-2-methylidenebicyclo[5.2.0]nonane were the dominant volatile compounds found in control samples and *Serai* Aceh rhizome samples that were extracted on optimum condition. The antioxidant content and the presence of volatile compounds proved that the rhizomes of *Serai* Aceh have the potential as a source of natural antioxidants and to be an alternative to synthetic antioxidants.

Keywords: Antioxidant; color; extraction; herbal plant; volatile compounds

PENGENALAN

Terdapat banyak sebatian fitokimia dalam tumbuhan herba yang penting dalam sektor perubatan, farmaseutikal dan makanan. Serai Aceh (*Elettariopsis smithiae*) ialah tumbuhan herba *Zingiberaceae* (Halia) yang tersebar luas di seluruh Semenanjung Malaysia dan selatan Thailand (Anita et al. 2000). Kajian oleh Adekoya et al. (2016) terhadap 10 spesies daripada famili *Zingiberaceae* mendapati *Zingiber officinale* merupakan spesies yang mempunyai aktiviti antioksidasi paling tinggi di antara *Zingiber zerumbet*, *Curcuma xanthorrhiza*, *Boasenbergia rotunda*, *Kaempferia pulchra*, *Curcuma manga*, *Curcuma aeruginosa*, *Zingiber officinale variety rubrum*, *Curcuma longa* dan *Alpinia cochigera*. Semua spesies yang dikaji mempunyai aktiviti antioksidan yang tinggi dan kehadiran bahan fitokimia yang terdapat dalam tumbuhan adalah salah satu faktor ia digunakan dalam perubatan tradisi, khususnya di Asia Tenggara. Rachkeeree et al. (2020) juga menyatakan bahawa 16 spesies daripada keluarga *Zingiberaceae* iaitu genera *Alpinia* sp., *Amomum* spp., *Curcuma* spp., *Etingera* spp. dan *Kaempferia* sp., boleh digunakan sebagai punca antioksidan dalam makanan, nutrasetikal dan kosmetik. Antara kajian yang telah memanfaatkan keluarga *Zingiberaceae* telah dijalankan oleh Mohd Yusof et al. pada tahun 2022, Mohd Sahardi pada tahun 2021, serta Tan et al. pada tahun 2016. Hal ini membuktikan bahawa tumbuhan daripada keluarga *Zingiberaceae* ini mempunyai potensi antioksidasi secara keseluruhannya. Oleh yang demikian, serai Aceh yang tergolong dalam keluarga *Zingiberaceae* dipercayai mempunyai sifat antioksidasi dan perlu dikaji lebih lanjut. Menyedari potensi ini, serai Aceh dipilih untuk penyelidikan ini, untuk menentukan kandungan fenol jumlah dan aktiviti antioksidan, serta pengukuran sebatian meruap daripada bahagian rizom serai Aceh yang mempunyai ciri-ciri aroma sitrus yang harum.

Secara umumnya, proses pengekstrakan rizom boleh dipengaruhi oleh beberapa aspek. Antaranya adalah jenis pelarut, masa pengekstrakan dan suhu pengekstrakan.

Penggunaan suhu dan masa pengekstrakan yang berbeza dengan menggunakan air sebagai pelarut dijangka mempengaruhi jumlah kandungan fenol dan aktiviti antioksidasi yang diekstrak. Walau bagaimanapun, di antara faktor tersebut, faktor suhu dan masa pengekstrakan merupakan faktor penting dalam proses pengekstrakan terutamanya bagi tumbuhan herba. Amnya, keefisienan proses pengekstrakan akan meningkat apabila tempoh masa pengekstrakan ditingkatkan. Kajian terdahulu daripada Zhang et al. (2018) menyatakan bahawa penggunaan suhu yang lebih tinggi dapat meningkatkan keterlarutan dan proses peresapan. Selain itu, pelarut yang mempunyai polariti yang sama dengan bahan terlarut boleh meningkatkan keberkesanan proses pengekstrakan (Altemimi et al. 2017). Disebabkan kepelbagaian sebatian bioaktif yang berbeza dalam setiap tumbuhan, maka keterlarutan terhadap jenis pelarut juga berbeza bagi setiap tumbuhan (Truong et al. 2019).

Maka, objektif bagi kajian ini adalah untuk mengkaji kesan suhu dan masa pengekstrakan terhadap kandungan fenol jumlah, aktiviti antioksidasi, perubahan warna dan mengenal pasti profil sebatian meruap rizom daripada ekstrak serai Aceh.

BAHAN DAN KAEDAH

PENYEDIAAN SAMPEL DAN BAHAN KIMIA YANG DIGUNAKAN

Sampel kajian adalah bahagian rizom serai Aceh (Indeks nama tumbuhan antarabangsa: 899787-1) yang diambil di kawasan Melang, Kuala Pilah, Negeri Sembilan. Sampel dikeringkan menggunakan kaedah Ghasemzadeh et al. (2016) dengan sedikit pengubahsuaian. Sampel rizom serai Aceh telah dibersihkan menggunakan air paip dan dipotong dengan panjang antara 4 cm hingga 7 cm. Rizom yang berdiameter lebih besar dipotong lebih pendek berbanding rizom yang berdiameter lebih kecil. Permukaan rizom dikeringkan menggunakan tisu sebelum disusun di atas dulang dalam keadaan berjarak antara satu sama lain (1

hingga 2 cm) bagi membantu mempercepatkan kadar pengeringan. Rizom dikeringkan menggunakan relau (MMM Medcenter Einrichtungen GmbH, Jerman) pada suhu 45 °C sehingga berat rizom mencapai keadaan malar (tiada perubahan berat yang signifikan). Selepas itu, sampel dikisar menggunakan pengisar makmal (WSG30, Waring Laboratory Science, Toronto, USA) pada kelajuan tinggi selama 120 saat. Pada setiap selang masa 30 saat, pengisar dihentikan seketika bagi mengelakkan sampel terdedah kepada haba yang berlebihan. Sampel yang telah dikisar akan disimpan di dalam bekas kedap udara pada suhu -18 °C di dalam peti sejukbeku (SJP59MS, Sharp, Malaysia) untuk digunakan pada analisis seterusnya. Bahan kimia yang digunakan di dalam kajian ini adalah Reagen Folin-Ciocalteu, natrium karbonat, 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH), etanol, Troloks, 2,2'-azinobis-(3-etilbenzothiazolina)-6-asid sulfonik (ABTS), kalium persulfat, natrium asetat trihidrat (C₂H₃NaO₂·3H₂O), asid asetik, 2,4,6-tri(2-piridil)-s-triazina (TPTZ), asid hidroklorik, ferik(III) klorida heksahidrat (FeCl₃·6H₂O), ferik sulfat heptahidrat (FeSO₄·7H₂O). Kesemua bahan kimia yang digunakan adalah gred analitikal.

PENGEKSTRAKAN SERAI ACHEH

Proses pengekstrakan dijalankan menggunakan kaedah Ab Rahman et al. (2018) dengan sedikit pengubahsuaian. Pengekstrakan akueus dijalankan pada tiga suhu berbeza (50 °C, 60 °C, 70 °C), dan tiga masa berbeza (40 minit, 80 minit, 120 minit) menggunakan air suling sebagai pelarut. Reka bentuk uji kaji yang digunakan adalah Reka Bentuk Blok Rawak Sepenuhnya. Nisbah sampel yang digunakan adalah 1:50 (sampel: air suling) dan proses pemanasan dijalankan menggunakan kukusan air bergoncang (Orbital shaker bath, Hotech Instrument Corp, Taiwan). Kerajang aluminium dibalut pada bahagian bukaan kelalang kon untuk melindungi ekstrak daripada meruap. Kemudian, ekstrak diempar menggunakan alat pengempar (Kubota, model 2420, Jepun) pada 2147×g selama 20 minit dan cecair supernatan akan disimpan di dalam bekas kedap udara pada suhu -20 °C (Haier Chest Freezer, China) sebelum proses pengeringan sejukbeku menggunakan pengering sejukbeku (Cascade Benchtop Freeze Dry System, Labconco, US). Proses pengeringan sejukbeku dijalankan selama 48 jam pada -105 °C. Sampel kawalan yang digunakan merupakan sampel rizom kering yang telah dikisar dan disediakan sebelum analisis dengan melakukan pengekstrakan kilat. Pengekstrakan kilat dijalankan dengan merendam sampel kawalan selama 5 minit pada suhu bilik menggunakan air suling.

PENENTUAN JUMLAH KANDUNGAN FENOL (TPC)

Penentuan jumlah kandungan fenol dijalankan menggunakan kaedah Folin-Ciocalteu (Mokhtar et al. 2018). Reagen Folin-Ciocalteu disediakan pada nisbah 1:10 menggunakan air suling. Semua ekstrak sampel serai Aceh disediakan pada kepekatan 1 mg/mL dengan menggunakan air suling. Sebanyak 25 µL ekstrak sampel telah dicampurkan bersama 125 µL reagen Folin-Ciocalteu dan dibiarkan selama 5 minit sebelum ditambah dengan 100 µL reagen natrium karbonat. Campuran tersebut dihomogen dengan menggunakan vorteks dan diinkubasi selama 2 jam di dalam persekitaran yang gelap pada suhu bilik (27 °C-30 °C). Kemudian campuran tersebut dibaca menggunakan spektrometer mikroplat (Epoch Microplate Spectrophotometer, Biotek, US) pada panjang gelombang 750 nm. Jumlah kandungan fenol ditentukan daripada lengkung piawai asid galik. Jumlah kandungan fenol dikira menggunakan formula berikut:

Jumlah kandungan fenol (%) =

$$(C \times V(L) \times df) \times 100 / m (g)$$

dengan C ialah bacaan daripada lengkung piawai; df ialah faktor pencairan; V ialah jumlah isi padu ekstrak yang dihasilkan (L); dan m ialah berat sampel (g).

AKTIVITI PENANGKAPAN RADIKAL BEBAS DPPH

Kaedah penangkapan radikal bebas di dalam ekstrak serai Aceh ditentukan berdasarkan kaedah Contreras-López et al. (2020) dengan sedikit pengubahsuaian. Reagen 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) pada kepekatan 7.4 mg/L⁻¹ telah disediakan. Semua ekstrak sampel serai Aceh disediakan pada kepekatan 1 mg/mL dengan menggunakan air suling. Sebanyak 50 µL ekstrak dicampurkan bersama 250 µL reagen DPPH. Sampel pengosong disediakan daripada campuran air suling dan reagen DPPH. Kesemua ekstrak diinkubasi pada suhu bilik (27 °C-30 °C) selama 60 minit di dalam persekitaran yang gelap sebelum dibaca pada panjang gelombang 515 nm dengan menggunakan spektrometer mikroplat (Epoch Microplate Spectrophotometer, Biotek, US). Peratus penangkapan dihitung dengan menggunakan formula berikut dengan Ak ialah bacaan penyerapan bagi sampel kawalan dan As ialah bacaan penyerapan bagi sampel/larutan piawai.

$$\text{Peratus penyingkiran (\%)} = ((A_k - A_s) \times 100) / A_k$$

AKTIVITI PENANGKAPAN RADIKAL BEBAS (ABTS)

Analisis bagi penangkapan radikal 2,2'-azinobis-(3-etilbenzothiazolina)-6-asid sulfonik (ABTS) dijalankan menggunakan kaedah Park et al. (2019) dengan sedikit pengubahsuaian. Reagen ABTS dihasilkan dengan mencampurkan larutan ABTS (7 mM) dan kalium persulfat (2.45 mM) dan dibiarkan pada suhu bilik (27 °C-30 °C) di dalam persekitaran yang gelap selama 12 hingga 16 jam bagi menghasilkan kation radikal ABTS. Reagen ABTS kemudian dilarutkan pada nisbah 1:20 atau sehingga mencapai bacaan penyerapan 0.700 ± 0.100 sebelum digunakan. Semua ekstrak sampel serai Aceh disediakan pada kepekatan 1 mg/mL dengan menggunakan air suling. Sebanyak 25 μ L ekstrak dicampurkan bersama 475 μ L reagen ABTS dan diinkubasi selama 6 minit pada suhu bilik (27 °C-30 °C) di dalam persekitaran yang gelap. Campuran air suling dan reagen ABTS digunakan sebagai sampel kawalan. Kesemua ekstrak dibaca pada panjang gelombang 734 nm dengan menggunakan spektrofotometer mikroplat (Epoch Microplate Spectrophotometer, Biotek, US). Aktiviti penyingkiran radikal kation ABTS ditentukan berdasarkan formula berikut:

$$\text{Aktiviti ABTS (\%)} = ((Ak - Ac) \times 100) / Ak$$

dengan Ak ialah bacaan penyerapan bagi sampel kawalan; dan Ac ialah bacaan penyerapan bagi sampel/ larutan piawai.

PENENTUAN KUASA PENURUNAN ION FERIK (FRAP)

Penentuan kapasiti antioksidan dijalankan menggunakan kaedah Park et al. (2019) dengan sedikit pengubahsuaian. Reagen FRAP disediakan dengan mencampurkan 300 mM penimbal asetat (pH 3.6), 10 mM larutan 2,4,6-tris(2-pyridil)-s-triazina (TPTZ) dalam 40 mM HCl dan 20 mM ferik(III) klorida heksahidrat ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) pada nisbah 10:1:1. Reagen FRAP segar dicampurkan mengikut nisbah seperti di atas dan dipanaskan selama 10 minit di dalam kukusan air bersuhu 37 °C. Semua ekstrak sampel serai Aceh disediakan pada kepekatan 1 mg/mL dengan menggunakan air suling. Sebanyak 40 μ L ekstrak dicampurkan bersama 1200 μ L reagen FRAP dan diinkubasi selama 30 minit pada suhu bilik (27 °C-30 °C) di dalam persekitaran yang gelap. Lengkung piawai disediakan dengan menggunakan larutan Fe(II) iaitu ferik sulfat heptahidrat ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$). Kesemua larutan piawai Fe(II) yang telah dicampur dengan reagen FRAP diinkubasi selama 30 minit pada suhu bilik (27 °C-30 °C)

di dalam persekitaran yang gelap. Penyerapan ekstrak dan larutan piawai ditentukan pada panjang gelombang 593 nm menggunakan spektrofotometer Model Shimadzu UV-1800). Aktiviti penurunan ion ferum ditentukan menggunakan formula berikut:

$$\text{Nilai FRAP} = (C \times V(L) \times df) / m (g)$$

dengan C ialah bacaan daripada lengkung piawai; df ialah faktor pencairan; V ialah jumlah isi padu ekstrak yang dihasilkan (L); dan m ialah berat sampel (g).

ANALISIS WARNA

Analisis warna ekstrak serai Aceh dijalankan menggunakan kaedah Park et al. (2019). Warna ekstrak ditentukan menggunakan kolorimeter CR-400 Chroma Meter (Konica Minolta Sensing Americas, USA). Larutan ekstrak rizom serai Aceh yang terhasil daripada proses pengekstrakan digunakan secara terus di dalam analisis ini. Setiap larutan ekstrak sampel termasuk sampel kawalan dimasukkan ke dalam tiub kaca lutsinar dan diletakkan pada pemegang tiub dalam keadaan menegak. Kolorimeter dikalibrasi dengan menggunakan jubin putih sebelum pengukuran dibuat. Nilai L mengukur tahap kecerahan, nilai a^* pula mengukur tahap warna merah dan hijau manakala nilai b^* mengukur tahap warna kuning dan biru. Perubahan warna (ΔE) bagi setiap sampel yang telah menjalani pengekstrakan pada suhu dan masa berbeza berbanding sampel kawalan dihitung daripada nilai L, a^* dan b^* menggunakan persamaan Hunter-Scotfield:

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

dengan $\Delta L = L$ sampel - L kawalan, $\Delta a = a$ sampel - a kawalan, dan $\Delta b = b$ sampel - b kawalan.

PENENTUAN SEBATIAN MERUAP

Penentuan sebatian meruap pada sampel rizom dijalankan menggunakan kaedah kaedah mikro-pengekstrakan fasa pepejal kromatografi gas spektrofotometer jisim (SPME-GCMS). Suhu dan masa persampelan adalah pada suhu 53 °C selama 12 minit berdasarkan kajian yang dilaporkan oleh Hafizah (2011). Analisis dilakukan menggunakan kromatografi gas spektrofotometer jisim (Agilent GC-MSMS 7000b, Agilent Technology, US). Sampel dimasukkan ke dalam vial dengan penutup khas yang dilengkapi dengan permukaan septa silikon berlapis Teflon (Supelco, USA) dan dipanaskan di dalam takungan

air selama 10 minit. Alat takungan air ini dilengkapi pengukur suhu dalam dan memaparkan suhu secara digital bagi tujuan pengawalan suhu. Sebelum pengekstrakan, fiber SPME dibersihkan terlebih dahulu secara pemanasan pada suhu 270 °C pada liang penyuntik GC selama 30 minit seperti yang dicadangkan oleh pengeluar untuk menyingkirkan sebarang analit yang terdapat dalam fiber. Kemudian, penyuntik SPME yang mengandungi fiber *divinylbenzenecarboxen-polydimethylsiloxane* (DVB-CARPDMS) (StableFlex, Supelco) berketebalan 85 µm disuntik melalui penutup vial bagi membenarkan proses penyerapan berlaku selama 12 minit. Selepas pengekstrakan, penyuntik mengandungi analit yang telah terperangkap dalam gentian fiber dialihkan daripada vial dan dimasukkan serta-merta ke dalam alat kromatografi gas. Ruang menyuntik dibiarkan dalam keadaan *splitless* menggunakan inlet SPME 0.75 mm (Supelco) dengan kadar kelajuan gas ditetapkan pada 40 cm/s. Kapilari kolum yang digunakan adalah jenis HP-5 (30 m × 0.25 i.d., ketebalan filem 0.25 µm, J&W Scientific Pte Ltd, USA). Suhu permulaan adalah pada 50 °C selama 2 min sebelum ditingkatkan kepada 80 °C pada kadar kenaikan 20 °C/min selama 1 minit. Seterusnya, suhu tersebut ditingkatkan ke 100 °C pada kadar kenaikan 20 °C/min selama 1 minit. Akhirnya setelah mencapai 100 °C, suhu ditingkatkan lagi sehingga mencapai 250 °C pada kadar kenaikan 30 °C/min dan dibiarkan selama 2 min. Jumlah masa pemisah bagi setiap sampel adalah 13.5 min. Gas pembawa iaitu helium disalurkan secara malar pada kadar 1 mL/min. Spektrometer jisim EI (+) dengan tenaga pengionan pada 70 eV, julat masa 40-400 Da, masa imbasan 1/s, masa permulaan 1 minit, suhu punca ion 200 °C.

ANALISIS STATISTIK

Kesemua data yang diperoleh dianalisis dengan menggunakan perisian Minitab 19.2020.1. Analisis varians ANOVA dua hala dan analisis perbandingan berpasangan Tukey (Tukey Pairwise Comparison) dijalankan untuk menentukan perbezaan bererti pada aras keyakinan 95% ($p < 0.05$).

HASIL DAN PERBINCANGAN

KESAN SUHU DAN MASA KE ATAS PENENTUAN ANTIOKSIDA

Kesan suhu dan masa pengekstrakan ke atas penentuan antioksidasi; kandungan fenol (mg GAE/g), peratus penangkapan radikal DPPH (%), peratus penangkapan radikal bebas ABTS (%), dan kuasa penurunan ion ferik ($\mu\text{M Fe(II)/g}$) di dalam sampel ekstrak rizom kering serai Aceh ditunjukkan di dalam Jadual 1. Sampel rizom kering serai Aceh yang telah diekstrak pada suhu pengekstrakan di antara 50 °C, 60 °C, 70 °C dan masa pengekstrakan selama 40, 80 dan 120 minit menunjukkan peningkatan yang signifikan ($p < 0.05$) berbanding sampel kawalan bagi semua analisis penentuan antioksidasi. Menurut Azwanida (2015), ketika proses pengekstrakan, pemisahan metabolit yang larut di dalam pelarut berlaku dan meninggalkan sisa yang tidak larut. Hal ini menyumbang kepada peningkatan jumlah kandungan fenol di dalam sampel yang telah dikenakan perlakuan berbanding sampel kawalan.

JADUAL 1. Jumlah kandungan fenol (mg GAE/g), peratus penyingkiran radikal DPPH (%), peratus penyingkiran radikal bebas ABTS (%), dan kuasa penurunan ion ferik ($\mu\text{M Fe(II)/g}$) bagi sampel serai Aceh (*E. smithiae*)

Suhu (°C)	Masa (min)	Jumlah Kandungan fenol (mg GAE/g)	Peratus penyingkiran radikal DPPH (%)	Peratus penyingkiran radikal bebas ABTS (%)	Kuasa Penurunan Ion Ferik ($\mu\text{M Fe(II)/g}$)
Kawalan	0	18.71±0.268 ^H	34.44±0.95 ^E	8.17±2.68 ^F	112.14±8.57 ^H
50	40	66.02±0.647 ^{EF}	70.11±0.61 ^D	64.73±2.35 ^A	616.43±11.43 ^G
	80	68.54±1.24 ^{SCD}	78.84±2.08 ^{BC}	62.46±2.06 ^{AB}	647.14±2.14 ^F
	120	64.09±0.355 ^F	78.90±0.92 ^{BC}	55.21±6.00 ^{BC}	845.95±10.72 ^C
60	40	56.02±1.028 ^G	66.84±1.55 ^D	50.52±1.56 ^C	1176.4±2.86 ^A
	80	73.86±0.534 ^B	81.66±1.30 ^{AB}	69.59±1.74 ^A	765.00±1.4 ^{3D}
	120	84.59±0.268 ^A	79.84±0.27 ^{BC}	32.680±1.29 ^E	722.62±7.33 ^E
70	40	70.06±1.45 ^{8C}	77.95±0.71 ^C	48.85±1.56 ^{CD}	904.52±13.27 ^B
	80	66.84±1.22 ^{8DE}	83.37±1.46 ^A	52.06±2.02 ^C	917.86±17.14 ^B
	120	54.53±0.396 ^G	78.69±0.43 ^{BC}	41.30±2.97 ^D	784.05±13.5 ^{8D}

^{A-H}Abjad berbeza pada lajur yang sama menunjukkan perbezaan signifikan ($p < 0.05$)

Berdasarkan Jadual 1, pada pengekstrakan selama 40 minit, peningkatan suhu daripada 50 °C kepada 60 °C telah menunjukkan penurunan kandungan fenol yang signifikan ($p < 0.05$) iaitu 66.02 mg GAE/g kepada 56.02 mg GAE/g. Namun begitu, pemanasan yang diteruskan pada suhu 70 °C menunjukkan peningkatan yang signifikan ($p < 0.05$) iaitu 70.06 mg GAE/g. Tren berbeza direkodkan pada pengekstrakan selama 80 minit yang mana peningkatan suhu daripada 50 °C kepada 60 °C merekodkan peningkatan bacaan kandungan fenol secara signifikan ($p < 0.05$) dan kemudian bacaan kandungan fenol menurun secara signifikan ($p < 0.05$) apabila dipanaskan sehingga suhu 70 °C. Pengekstrakan selama 120 minit juga menunjukkan tren yang sama seperti pengekstrakan selama 80 minit. Secara keseluruhannya, peningkatan suhu daripada 50 °C kepada 60 °C dan masa 40 minit kepada 80 minit menunjukkan peningkatan yang signifikan terhadap kandungan fenol. Walau bagaimanapun, pemanasan pada suhu yang lebih tinggi iaitu 70 °C dan pemanasan lebih panjang iaitu 120 minit menunjukkan penurunan yang signifikan terhadap kandungan fenol.

Jumlah kandungan fenol tertinggi direkodkan pada pengekstrakan selama 120 minit pada suhu 60 °C mungkin disebabkan oleh kebanyakan enzim polifenol oksida telah direncatkan akibat daripada rawatan haba. Suhu perencatan enzim polifenol oksida berbeza antara tumbuhan. Kajian lepas oleh Prathapan et al. (2009) menunjukkan tiada aktiviti enzim polifenol oksida di dalam rizom kunyit setelah melalui pengekstrakan selama 30 minit pada suhu 80 °C. Enzim polifenol oksida pada bahagian perikarpa buah laici menunjukkan peningkatan aktiviti pada suhu 10 °C hingga 20 °C. Namun begitu, enzim polifenol oksida dinyahaktif sepenuhnya pada suhu 60 °C selama 10 minit (Mizobutsi et al. 2010). Bagi buah *Solanum aethiopicum*, *Carica papaya*, *Cucurbita pepo*, *Psidium guajava* dan *Irvingia gabonensis*, enzim polifenol oksida direncatkan pada tempoh masa berbeza apabila dikenakan rawatan haba pada 70 °C selama 10 hingga 120 minit (Bello & Sule 2012). Ini dapat disimpulkan bahawa enzim polifenol oksida yang terdapat di dalam serai Aceh mungkin mengalami degradasi yang tinggi pada suhu sekitar 60 °C dengan masa 120 minit yang menyumbang kepada jumlah kandungan fenol tertinggi berbanding yang lain. Enzim polifenol oksida yang aktif berpotensi sebagai pemangkin kepada pengoksidaan fenol, seterusnya boleh menyebabkan jumlah kandungan fenol berkurangan.

Dari segi peratus penangkapan radikal DPPH pula, pengekstrakan selama 40 minit tidak menunjukkan

peratus penangkapan radikal DPPH yang signifikan ($p > 0.05$) pada suhu 50 °C dan 60 °C. Namun, terdapat peningkatan peratus penangkapan radikal DPPH pada rizom serai Aceh yang signifikan ($p < 0.05$) apabila suhu ditingkatkan kepada 70 °C. Trend yang sama dilihat pada masa pengekstrakan rizom serai Aceh selama 80 minit pada suhu pemanasan 50 °C dan 60 °C juga menunjukkan tiada perbezaan signifikan ($p > 0.05$) terhadap peratus penangkapan radikal DPPH. Pemanasan pada suhu 70 °C selama 80 minit juga menunjukkan bacaan yang tidak signifikan ($p > 0.05$) berbanding suhu 60 °C. Pengekstrakan selama 120 minit pula menunjukkan tiada perbezaan signifikan ($p > 0.05$) antara semua suhu yang digunakan. Secara keseluruhannya, pengekstrakan yang dilakukan pada suhu 70 °C selama 80 minit menunjukkan aktiviti antioksidasi tertinggi dalam aktiviti penangkapan radikal bebas DPPH tetapi tidak menunjukkan perbezaan yang signifikan ($p > 0.05$) apabila rizom serai Aceh diekstrak pada suhu 60 °C selama 80 minit. Secara keseluruhannya, peningkatan suhu daripada 50 °C kepada 60 °C pada masa pemanasan selama 40 hingga 80 minit menunjukkan peningkatan yang signifikan ($p < 0.05$) terhadap aktiviti penangkapan radikal DPPH. Walau bagaimanapun, bacaan yang tidak signifikan ($p > 0.05$) direkodkan pada pemanasan suhu yang lebih tinggi iaitu 70 °C dan pemanasan lebih panjang iaitu 120 minit.

Dari aspek penangkapan radikal kation ABTS, pengekstrakan selama 40 minit menunjukkan nilai peratus penangkapan radikal kation ABTS sebanyak 64.73% pada suhu 50 °C dan menurun secara signifikan ($p < 0.05$) kepada 50.52% apabila suhu meningkat kepada 60 °C. Peningkatan suhu kepada 70 °C pula tidak menunjukkan perbezaan yang signifikan ($p > 0.05$) terhadap penangkapan radikal kation ABTS berbanding pada suhu 60 °C. Pengekstrakan selama 80 minit dengan suhu 50 °C dan 60 °C pula tidak menunjukkan perbezaan yang signifikan iaitu masing-masing sebanyak 62.46% dan 69.59%. Pengekstrakan yang dilakukan pada suhu yang lebih tinggi iaitu 70 °C pada masa yang sama telah menyebabkan penurunan peratus penangkapan radikal kation ABTS secara signifikan ($p < 0.05$) iaitu kepada 52.06%. Pengekstrakan rizom serai Aceh selama 120 minit mencatatkan penangkapan radikal kation ABTS antara yang terendah di antara semua suhu pengekstrakan. Tiada perbezaan yang signifikan ($p > 0.05$) dicatatkan terhadap aktiviti penangkapan radikal kation ABTS antara pengekstrakan pada suhu 50 °C dan 60 °C selama 40 minit kepada 80 minit. Namun begitu terdapat peningkatan yang signifikan ($p < 0.05$) pada

suhu pengekstrakan yang lebih tinggi iaitu 70 °C dan pemanasan lebih panjang iaitu 120 minit.

Famuwagun et al. (2017) menyatakan bahawa kadar pemindahan dan keterlarutan zat terlarut semakin meningkat apabila pengekstrakan dijalankan pada suhu yang lebih tinggi. Walau bagaimanapun, penggunaan suhu yang tinggi pada suatu jangka masa yang panjang ketika pengekstrakan berkemungkinan menyebabkan antioksidan yang sensitif kepada terma musnah dan menyumbang kepada aktiviti antioksidan yang lebih rendah seperti yang berlaku pada kajian ini. Pengekstrakan selama 80 minit pada suhu 60 °C menunjukkan aktiviti antioksidan tertinggi dalam proses penangkapan radikal kation ABTS tetapi tidak berbeza secara signifikan ($p>0.05$) dengan rizom serai Acheh yang diekstrak pada suhu 50 °C selama 40 dan 80 minit.

Dari aspek kuasa penurunan ion ferik pula, pada tempoh pengekstrakan rizom serai Acheh selama 40 minit, nilai kuasa penurunan ion ferik pada suhu 50 °C dan 60 °C meningkat secara signifikan ($p<0.05$). Namun, nilai kuasa penurunan ion ferik bagi ekstrak rizom serai Acheh menunjukkan penurunan secara signifikan ($p<0.05$) apabila suhu ditingkatkan kepada 70 °C. Bagi pengekstrakan selama 80 minit, peningkatan suhu pengekstrakan daripada 50 °C hingga 70 °C menunjukkan peningkatan nilai kuasa penurunan ion ferik secara signifikan ($p<0.05$). Pada pengekstrakan selama 120 minit, penurunan nilai kuasa penurunan ion ferik yang signifikan ($p<0.05$) dicatatkan daripada suhu pemanasan daripada 50 °C kepada 60 °C. Kemudian ia meningkat secara signifikan ($p<0.05$) apabila suhu pemanasan meningkat pada 70 °C.

Secara keseluruhannya, kuasa penurunan ion ferik meningkat secara signifikan ($p<0.05$) ketika proses

pengekstrakan dijalankan pada suhu 50 °C dan 60 °C selama 40 dan 80 minit. Namun begitu, pengekstrakan pada suhu 70 °C selama 120 minit tidak menunjukkan sebarang perbezaan yang signifikan ($p>0.05$) terhadap kuasa penurunan ion ferik. Pengekstrakan rizom serai Acheh pada suhu 60 °C selama 40 minit menunjukkan keupayaan menurunkan ion ferik paling tinggi berbanding kesemua sampel yang dikaji iaitu 1176.4 $\mu\text{M Fe(II)/g}$. Kajian oleh Ramírez-Godínez et al. (2017) merekodkan nilai kuasa penurunan ion ferik bagi *Zingiber officinale* adalah lebih tinggi pada pengekstrakan suhu 20 °C selama 15 minit berbanding pengekstrakan suhu 55 °C pada durasi yang sama. Beliau mengatakan bahawa pembebasan komponen bioaktif pada suhu yang lebih tinggi boleh membawa kepada tindak balas pengoksidaan dan penurunan seterusnya menyumbang kepada nilai yang lebih rendah.

KESAN SUHU DAN MASA KE ATAS WARNA

Jadual 2 menunjukkan warna ekstrak rizom serai Acheh selepas diekstrak pada suhu (°C) dan masa (min) yang berbeza. Berdasarkan analisis yang dijalankan, rizom serai Acheh berpotensi sebagai punca antioksidan dan boleh ditambah ke dalam makanan terproses bagi meningkatkan nilai pemakanan makanan terproses tersebut. Namun begitu, aspek seperti warna memainkan peranan penting dalam menarik perhatian pengguna disebabkan ia merupakan atribut pertama yang dilihat (Stich 2016). Oleh yang demikian, analisis warna dijalankan bagi melihat sejauh mana perubahan yang berlaku sekiranya ekstrak dalam bentuk larutan ditambah ke dalam makanan. Perubahan warna (ΔE) larutan ekstrak rizom serai Acheh pada suhu dan masa berbeza ditunjukkan dalam Jadual 2.

JADUAL 2. Warna ekstrak rizom serai Acheh selepas diekstrak pada suhu (°C) dan masa (min) yang berbeza

Suhu (°C)	Masa (min)	L	a*	b*	ΔE
Kawalan	0	14.06±0.03 ^G	- 0.75±0.04 ^D	2.42±0.06 ^F	-
	40	24.34±0.14 ^F	0.38±0.06 ^C	5.71±0.12 ^B	10.85±0.17 ^F
	80	26.22±0.20 ^{DE}	0.41±0.04 ^C	5.19±0.06 ^C	12.52±0.18 ^{CDE}
50	120	26.89±0.09 ^{BC}	0.59±0.05 ^B	5.74±0.08 ^B	13.32±0.11 ^{BC}
	40	28.99±0.87 ^A	0.57±0.06 ^B	6.00±0.16 ^A	15.41±0.81 ^A
	80	25.88±0.04 ^E	0.56±0.07 ^B	4.94±0.02 ^{DE}	12.15±0.03 ^E
60	120	27.30±0.04 ^B	0.69±0.03 ^{AB}	5.91±0.06 ^{AB}	13.77±0.05 ^B
	40	26.77±0.01 ^{BCD}	0.61±0.08 ^B	5.17±0.02 ^{CD}	13.08±0.01 ^{BCD}
	80	26.05±0.01 ^{DE}	0.69±0.05 ^{AB}	4.81±0.02 ^E	12.31±0.01 ^{DE}
70	120	25.75±0.02 ^E	0.76±0.02 ^A	5.05±0.04 ^{CD}	12.07±0.01 ^E

^{A-H} Abjad berbeza pada lajur yang sama menunjukkan perbezaan signifikan ($p<0.05$)

Perlakuan suhu dan masa terhadap sampel rizom serai Aceh menunjukkan perubahan yang signifikan ($p < 0.05$) pada menit ke-40 dan ke-80. Masa pengekstrakan yang dipertingkatkan dari menit ke-80 kepada menit ke-120 juga tidak menunjukkan sebarang perubahan yang signifikan ($p > 0.05$). Namun, terdapat perbezaan yang signifikan ($p < 0.05$) terhadap nilai a^* . Namun begitu, pengekstrakan selanjutnya selama 120 menit menunjukkan peningkatan yang signifikan ($p < 0.05$) bagi pengekstrakan selama 40 menit, 80 menit dan 120 menit. Bagi suhu 70°C pula, pengekstrakan dari menit ke-40 menit ke menit ke-80 tidak menunjukkan sebarang peningkatan yang signifikan ($p > 0.05$). Masa pengekstrakan yang ditingkatkan dari menit ke-80 kepada menit ke-120 menit juga tidak menunjukkan sebarang peningkatan yang signifikan. Peningkatan nilai a^* iaitu ke arah kemerahan apabila suhu dan masa pengekstrakan ditingkatkan menunjukkan berlakunya proses pemerangan (Park et al. 2019). Nilai b^* pula mewakili warna kebiru-biruan (-) kepada kekuningan (+). Pada suhu pengekstrakan 50°C , pemanasan selama 40 menit kepada 80 menit menunjukkan penurunan yang signifikan ($p < 0.05$) antara nilai b^* pada pemanasan selama 40 menit dan 120 menit pada suhu 50°C . Tren yang sama dilihat pada suhu 60°C dan 70°C pada setiap masa pengekstrakan.

Semua sampel ekstrak rizom serai Aceh menunjukkan perubahan warna ΔE berbeza secara signifikan pada ($p < 0.05$). Adekunle et al. (2010) mengelaskan perbezaan warna secara analitikal kepada sangat berbeza ($\Delta E > 3$), berbeza ($1.5 < \Delta E < 3$) dan

perbezaan kecil ($\Delta E < 1.5$). Pengekstrakan pada suhu 50°C dan 40 menit menunjukkan nilai ΔE paling rendah iaitu 10.85 manakala nilai ΔE paling adalah 15.41 iaitu pada pengekstrakan selama 40 menit pada suhu 60°C . Menurut Choi et al. (2002), $\Delta E > 2$ adalah penunjuk kepada perbezaan ketara di dalam kebanyakan produk. Secara umumnya, kesemua nilai ΔE yang ditunjukkan oleh kesemua sampel ekstrak rizom serai Aceh adalah > 3 iaitu di dalam pengelasan sangat berbeza. Walau bagaimanapun, kajian lanjutan boleh dijalankan terhadap produk makanan yang telah ditambah dengan ekstrak rizom serai Aceh bagi melihat sejauh mana perubahan warna yang berlaku terhadap persepsi pengguna menggunakan ujian penilaian sensori.

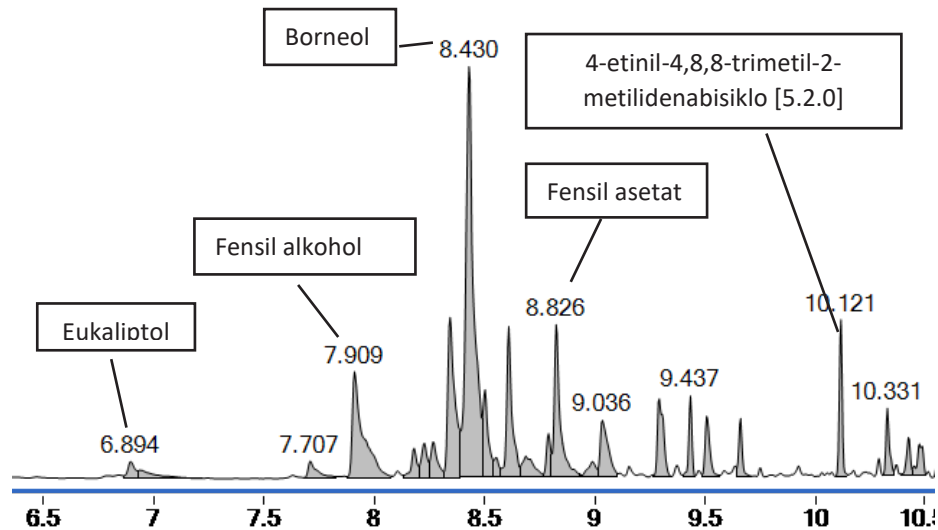
PENENTUAN SEBATIAN MERUAP

Penentuan sebatian meruap pada sampel rizom dijalankan menggunakan kaedah Mikro-pengekstrakan Fasa Pepejal Kromatografi Gas Spektrofotometer Jisim (SPMEGCMS) dan keputusannya secara kualitatif direkodkan dalam Jadual 3. Secara keseluruhannya, sebanyak 59 sebatian meruap ditemui pada rizom serai Aceh secara kualitatif. Bagi sampel kawalan, didapati 52 sebatian ditemui manakala hanya 23 sebatian meruap ditemui di dalam sampel rizom yang telah diekstrak pada keadaan optimum iaitu suhu 60°C selama 80 menit berdasarkan analisis kandungan fenol dan aktiviti antioksidan yang telah dibincangkan sebelum ini. Kromatogram bagi sampel rizom yang diekstrak pada keadaan optimum dan sampel kawalan ditunjukkan pada Rajah 1 dan 2.

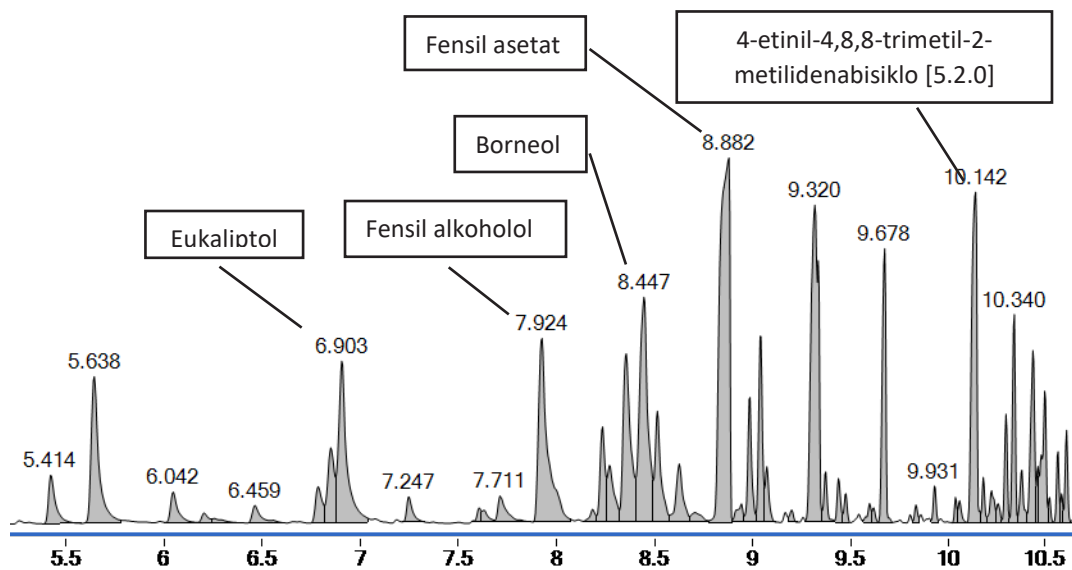
JADUAL 3. Sebatian meruap daripada rizom serai Aceh (kawalan) dan juga rizom serai Aceh yang diekstrak pada 60°C selama 80 minit

No	Sebatian	Masa retensi	Rizom		Ciri-ciri komponen meruap
			Serai Aceh (kawalan)	Serai Aceh (diekstrak pada 60°C selama 80 minit)	
1	Asetonitril	1.594	/		-
2	Butadienol (2,3-)	3.362	/		Tidak berbau
3	(2S,3S)-butana-2,3-diol	3.465	/	/	-
4	3-metilapopinena	5.255	/		Berbau seperti petrol
5	α -Pinena	5.414	/		Berbau seperti herba
6	2,2-dimetil-5-metilena norbornana	5.638	/		
7	β -pinena	6.042	/		Berbau seperti herba
8	α -filandren	6.459	/		Berbau seperti turpin
9	δ -2-carena	6.657	/		-
10	p-simena	6.782	/		Berbau seperti turpin
11	D-limonena	6.847	/		Berbau seperti sitrus
12	Eucalipsol	6.903	/	/	Berbau seperti herba
13	Linalool	7.707		/	Berbau seperti floral
14	γ -Terpinena	7.247	/		Berbau seperti turpin

15	α -Terpinena	7.604	/		Berbau seperti kayu
16	Linalil anthranilat	7.711	/	/	Berbau seperti floral
17	Fensil alkohol	7.924	/	/	Berbau seperti tanah
18	Cis-p-menta-2,8-dien-1-ol	8.103		/	Berbau seperti ubat-ubatan
19	D-kamphor	8.236	/		Berbau seperti ubat-ubatan
20	Isoborneol	8.357	/	/	Berbau seperti balsamik
21	Borneol	8.447	/	/	Berbau seperti balsamik
22	Terpinen-4-ol	8.516	/		Berbau seperti hapak
23	α -Terpinol	8.628	/	/	Berbau seperti turpin
24	2-Oksabisiklo[2.2.2] oktan-6-ol, 1,3,3-trimetil-	8.791		/	Berbau seperti herba
25	Fensil asetat	8.882	/	/	Berbau seperti balsamik
26	Timol metil eter	8.989	/		Berbau seperti herba
27	Linalil asetat	9.041	/		Berbau seperti herba
28	Bornill asetat	9.32	/		Berbau seperti balsamik
29	Terpinena 4-asetat	9.376	/		-
30	Isomer elemena	9.622	/		Berbau seperti herba
31	α -Terpinil asetat	9.678	/	/	Berbau seperti herba
32	2-Oksabisiklo[2.2.2]oktan-6-ol, 1,3,3-trimetil-, asetat	9.755		/	Berbau seperti herba
33	Siklopentana, 1-asetoksimetil-3-isopropenil-2-metil-	9.807	/		-
34	Ylangena	9.837	/		-
35	Copaena	9.863	/		Berbau seperti kayu
36	(-)-cis- β -Elemena	9.931	/		Berbau seperti herba
37	2,5-Dimetoksi-p-siamina	10.039	/		-
38	(-)- α -gurjunena	10.06	/		-
39	4-etinil-4,8,8-trimetil-2-metiliden-abisiklo [5.2.0] nonana -	10.120	/	/	-
40	α -guaiana	10.181	/		Berbau seperti kayu
41	γ -gurjunena	10.224	/		Berbau seperti hapak
42	10s,11s-himacala-3(12),4-diena	10.258	/		-
43	α -humulena	10.297	/		Berbau seperti kayu
44	Alloaromadendrena	10.34	/		Berbau seperti kayu
45	Eudesma-4(14),7(11)-diena	10.435	/	/	-
46	β -selinena	10.461	/		Berbau seperti herba
47	(-)-isolongifolol, asetat	10.516		/	Berbau seperti ambar
48	Longifolena-(V4)	10.521	/		Berbau seperti kayu
49	γ -muurolena	10.559		/	Berbau seperti herba
50	γ -cadinena	10.564	/		Berbau seperti herba
51	Tau-kadinol asetat	10.581		/	Berbau seperti balsamik
52	δ -cadinena	10.581	/		Berbau seperti kayu
53	α -maaliena	10.607	/	/	-
54	B-elemena	10.766	/		Berbau seperti herba
55	Spatulenol	10.878	/	/	Berbau seperti tanah
56	Kariofilena oksida	10.912	/	/	Berbau seperti buah-buahan
57	Globulol	10.998	/		Berbau seperti floral
58	Neointermediol	11.205	/	/	-
59	Intermediol	11.235	/	/	-



RAJAH 1. Kromatogram bagi sampel rizom serai Acheh yang diekstrak secara akues pada keadaan optimum (suhu 60 °C; masa 80 minit)



RAJAH 2. Kromatogram bagi sampel kawalan rizom serai Acheh

Secara keseluruhannya, sebatian meruap yang direkodkan adalah sebatian terpin yang terdiri daripada monoterpena dan seskuiterpina. Monoterpena terdiri daripada 10 atom karbon dengan 2 unit isoprena dan formula molekulnya adalah $C_{10}H_{16}$ dengan struktur kimia yang terbahagi kepada asiklik, monosiklik dan bisiklik yang mempunyai aroma yang kuat. Manakala seskuiterpina terdiri daripada 3 unit isoprena formula

molekul $C_{15}H_{24}$ dan strukturnya boleh dijumpai dalam bentuk linear, siklik, bisiklik dan trisiklik serta mempunyai keupayaan sebagai agen antimikroorganisma (Perveen 2018).

Secara umumnya, terdapat beberapa sebatian yang dominan pada data kualitatif daripada kajian ini termasuklah eukaliptol, fensil alkohol, borneol, fensil asetat dan 4-etinil-4,8,8-trimetil-2-metilidenabisiklo

[5.2.0] nonana. Rajah 1 menunjukkan kromatogram bagi sampel rizom serai Aceh yang diekstrak secara akues pada keadaan optimum (suhu 60 °C; masa 80 minit) manakala Rajah 2 menunjukkan kromatogram bagi sampel kawalan rizom serai Aceh. Berdasarkan penentuan sebatian meruap terhadap rizom serai Aceh yang dijalankan oleh Wong et al. (2006b), sebanyak 15 sebatian yang sama ditemui di dalam kajian mereka termasuklah α -pinena, β -pinena, p-simena, Dlimonena, γ -terpinena, α -terpinena, D-kamphor, isoborneol, borneol, terpinen-4-ol, α -terpinol, bornil asetat, terpinena 4-asetat, α -terpinil asetat dan kariofilena oksida. Berbeza dengan penemuan oleh Anita et al. (2000), daripada 24 sebatian yang ditemui pada bahagian rizom serai Aceh, hanya enam sebatian yang sama ditemui dalam kajian ini iaitu β -pinena, α -filandren, D-limonena, γ -terpinena, borneol dan kariofilena oksida. Antara sebatian yang sama ditemui pada kajian ini dan kajian Anita et al. (2000) dan Wong et al. (2006b) adalah sebatian D-limonena dalam kedua-dua kajian terdahulu menyimpulkan bahawa kandungan D-limonena yang terdapat pada rizom adalah lebih tinggi berbanding pada bahagian daun. Hal ini bertepatan dengan aroma yang dikeluarkan oleh rizom adalah lebih kuat berbanding aroma pada bahagian daun. Namun begitu, kandungan D-limonena di dalam kajian ini adalah berdasarkan data secara kualitatif. Kajian lanjutan perlu dijalankan untuk mengetahui nilai kandungan sebatian ini secara kuantitatif. Sebatian α -pinena dan β pinena yang ditemui pada kesemua kajian di atas adalah isomer kepada komponen pinena yang telah dibuktikan mempunyai aktiviti biologi yang menyumbang kepada aplikasinya di dalam racun kulat, perisa, wangian, antivirus dan agen antimikrob (Salehi et al. 2019). Berdasarkan kajian Van Zyl et al. (2006), (+)- β -pinena menunjukkan aktiviti antimikrob 2 hingga 12 kali lebih tinggi berbanding (+)- α -pinena terhadap bakteria Gram positif dan Gram negatif termasuklah *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, dan *Bacillus cereus* serta yis iaitu *Candida albicans*. Secara keseluruhannya, sampel kawalan dalam kajian ini menunjukkan nilai fenol dan aktiviti antioksidan yang paling rendah berbanding sampel rizom serai Aceh yang telah menjalani proses pengekstrakan pada suhu dan masa berbeza. Namun begitu, terdapat lebih banyak komponen yang terdiri daripada monoterpena dan seskuiterpena ditemui secara kualitatif bagi sampel kawalan berbanding sampel rizom yang telah diekstrak. Proses pengekstrakan pada suhu yang lebih tinggi menyebabkan komponen meruap yang mempunyai takat didih yang lebih rendah terbebas menyebabkan hanya 23 sebatian meruap yang dikenal pasti berbanding 52 sebatian meruap pada sampel

kawalan. Oleh itu, dapat disimpulkan bahawa, nilai daripada analisis penentuan kandungan fenol dan aktiviti antioksidan adalah berkemungkinan kebanyakannya disumbangkan oleh spesies antioksidan yang berbeza daripada komponen terpena. Profil spesies antioksidan yang terdapat dalam rizom serai Aceh boleh dikenal pasti dengan lebih lanjut melalui analisis Kromatografi Cecair Berprestasi Tinggi (HPLC). Secara umumnya, terdapat beberapa sebatian yang dominan yang terdapat pada data kualitatif daripada kajian ini termasuklah eukaliptol, fensil alkohol, borneol, fensil asetat dan 4-etinil-4,8,8-trimetil-2-metilidenabisiklo [5.2.0] nonana yang boleh dilihat pada Rajah 1 dan 2. Eukaliptol adalah sebatian monoterpena 1,8-sineol. Menurut Seol dan Kim (2016), eukaliptol berpotensi sebagai komponen ubat bagi rawatan penyakit kronik kerana ia mempunyai pelbagai aktiviti biologi termasuklah antioksidan, anti radang dan ciri-ciri fizikokimia. Selain itu, ia juga mempunyai ciri-ciri antimikrob termasuklah terhadap bakteria, virus dan kulat, berupaya merangsang sistem imunisasi, bersifat analgesik dan memberi kesan spasmolitik (Sadlon & Lamson 2010). Fensil alkohol adalah bahan pewangi yang bukan sahaja digunakan di dalam produk kosmetik seperti pewangi, syampu, sabun serta peralatan mandian, malah ia turut digunakan di dalam produk bukan kosmetik seperti detergen dan agen cucian bagi kegunaan rumah (Bhatia et al. 2008). Manoharan et al. (2017) menyatakan bahawa sebatian fensil alkohol juga berpotensi untuk mengawal jangkitan *Candida albicans* dan ia berupaya mengurangkan kevirulennanya di dalam model nemotod *Caenorhabditis elegans* dan juga mengurangkan pembentukan biofilem *Candida albicans* secara signifikan. Takaishi et al. (2014) menyatakan bahawa sebatian fensil alkohol dan borneol antara sebatian yang menunjukkan kesan perencatan yang lebih tinggi terhadap aktiviti hTRPA (saluran potensi reseptor sementara manusia) yang mana saluran ini terlibat di dalam nosiseptif atau sakit keradangan. Borneol adalah monoterpena bisiklik yang mempunyai bau yang wangi dan sengit, rasa yang pahit serta sangat larut di dalam lipid. Ia berpotensi sebagai pembantu sistematik yang membantu meningkatkan penghantaran ubat sistem saraf pusat ke otak dan bergantung kepada faktor masa dan dos yang digunakan (Zhang et al. 2017). Penemuan ini dapat membuktikan peranan serai Aceh sebagai alternatif tradisi yang telah digunakan sejak dahulu lagi dalam merawat pelbagai penyakit antaranya kembung perut, memberi kesan penenang kepada wanita selepas bersalin, membantu memperbaiki peredaran darah, membantu proses penghadaman dan mengubati demam kuning.

KESIMPULAN

Kesimpulannya, suhu dan masa pengekstrakan mempengaruhi jumlah kandungan fenol, aktiviti antioksidasi, perubahan warna (ΔE) ekstrak rizom dan juga kehadiran sebatian meruap. Suhu dan masa pengekstrakan yang paling ideal yang menyumbang kepada jumlah kandungan fenol dan aktiviti antioksidasi yang tinggi adalah masing-masing pada 60 °C dan 80 minit. Kesan perlakuan suhu dan masa pengekstrakan juga menyumbang kepada perubahan warna ekstrak rizom serai Aceh yang signifikan ($p < 0.05$) dengan perubahan terendah direkodkan pada pengekstrakan 50 °C selama 40 minit (ΔE 10.85) manakala perubahan tertinggi direkodkan pada pengekstrakan 60 °C selama 40 minit (ΔE 15.41). Berdasarkan analisis sebatian meruap ke atas sampel kawalan dan ekstrak rizom serai Aceh pada keadaan optimum, kehadiran sebatian eukaliptol, fensil alkohol, borneol, fensil asetat dan 4-etinil-4,8,8-trimetil-2-metilidenabisiklo [5.2.0] nonana direkodkan pada kedua-dua sampel yang diuji.

PENGHARGAAN

Kajian ini dibiayai oleh Geran Universiti Penyelidikan dengan kod FRGS/1/2020/WAB04/UKM/02/4. Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Jabatan Sains Makanan, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia untuk kemudahan makmal yang disediakan.

RUJUKAN

- Ab Rahman, Z., Abd Shukor, S., Abbas, H., Machap, C.A.L., Alias, M.S.B., Mirad, R., Sofiyanand, S. & Nazreena Othman, A. 2018. Optimization of extraction conditions for total phenolics and total flavonoids from *Kaempferia parviflora* rhizomes. *Advances in Bioscience and Biotechnology* 9(5): 205-214.
- Adekoya, A.A., Ahmad, S. & Maziah, M. 2016. Assessment of total phenolic compounds and *in vitro* free radical scavenging potentials of water extracts of ten selected species of *Zingiberaceae* rhizomes use in folkloric medicine. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences* 29(3): 979-984.
- Adekunte, A.O., Tiwari, B.K., Cullen, P.J., Scannell, A.G.M. & Donnell, C.P.O. 2010. Effect of sonication on colour, ascorbic acid and yeast inactivation in tomato juice. *Food Chemistry* 122(3): 500-507.
- Altemimi, A., Lakhssassi, N., Baharlouei, A., Watson, D.G. & Lightfoot, D.A. 2017. Phytochemicals: Extraction, isolation, and identification of bioactive compounds from plant extracts. *Plants* 6(4): 1-23.
- Anita, H., Mustafa, A.M. & Ibrahim, H. 2000. Studies on essential oil and antibacterial activities from *Elettariopsis smithiae* aff. Kam. *Malaysian Journal of Science* 19: 77-81.
- Azwanida, N.N. 2015. A review on the extraction methods use in medicinal plants, principle, strength and limitation. *Medicinal & Aromatic Plants* 4(3): 3-8.
- Bello, A.B. & Sule, M.S. 2012. Optimum temperature and thermal stability of crude polyphenol oxidase from some common fruits. *Nigerian Journal of Basic and Applied Sciences* 20(1): 27-31.
- Bhatia, S.P., McGinty, D., Letizia, C.S. & Api, A.M. 2008. Fragrance material review on fenchyl alcohol. *Food and Chemical Toxicology* 46: 157-159.
- Contreras-López, E., Castañeda-Ovando, A., Jaimez-Ordaz, J., del Socorro Cruz-Cansino, N., González-Olivares, L.G., Rodríguez-Martínez, J.S. & Ramírez-Godínez, J. 2020. Release of antioxidant compounds of *Zingiber officinale* by ultrasound-assisted aqueous extraction and evaluation of their *in vitro* bioaccessibility. *Applied Sciences (Switzerland)* 10(14): 4987.
- Choi, M.H., Kim, G.H. & Lee, H.S. 2002. Effects of ascorbic acid retention on juice color and pigment stability in blood orange (*Citrus sinensis*) juice during refrigerated storage. *Food Research International* 35(2002): 753-759.
- Famuwagun, A.A., Taiwo, K.A., Gbadamosi, S.O., Oyedele, D.J., Aluko, R.E. & Adebooye, O.C. 2017. Extraction optimization and antioxidant properties of African eggplant (*Solanum macrocarpon*) leaf polyphenols. *Journal of Food Quality* 2017: 2159183.
- Ghasemzadeh, A., Jaafar, H.Z.E. & Rahmat, A. 2016. Variation of the phytochemical constituents and antioxidant activities of *Zingiber officinale* var. *rubrum* Theilade associated with different drying methods and polyphenol oxidase activity. *Molecules* 21(6): 780.
- Hafizah, Y. 2011. The effect of deacidification on Noni (*Morinda citrifolia* L.) extract properties. Tesis Masters. Universiti Kebangsaan Malaysia, Malaysia (Tidak diterbitkan).
- Manoharan, R.K., Lee, J.H. & Lee, J. 2017. Antibiofilm and antihyphal activities of cedar leaf essential oil, camphor, and fenchone derivatives against *Candida albicans*. *Frontiers in Microbiology* 8: 1-12.
- Mizobutsi, G.P., Finger, F.L., Ribeiro, R.A., Puschmann, R., de M. Neves, L.L. & da Mota, W.F. 2010. Effect of pH and temperature on peroxidase and polyphenoloxidase activities of litchi pericarp. *Scientia Agricola* 67(2): 213-217.
- Mohd Sahardi, N., Jaafar, F., Zakaria, S., Tan, J., Mad Nordin, M. & Makpol, S. 2021. Comparison of the antioxidant activity of Malaysian ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) extracts with that of selected natural products and its effect on the viability of myoblast cells in culture. *Sains Malaysiana* 50(5): 1445-1456.

- Mohd Yusof, Y., Abdullah, S., Mohd Sahardi, N., Wan Ngah, W. & Makpol, S. 2022. *Zingiber officinale* and *Piper betle* extracts enhanced the chemopreventive effect against colon cancer cells by targeting caspase-mediated apoptosis. *Sains Malaysiana* 51(1): 217-237.
- Mokhtar, N., Nordin, M.F.M. & Morad, N.A. 2018. Total phenolic content, total flavonoid content and radical scavenging activity from *Zingiber zerumbet* rhizome using subcritical water extraction. *International Journal of Engineering, Transactions B: Applications* 31(8): 1421-1429.
- Park, C.Y., Lee, K.Y., Gul, K., Rahman, M.S., Kim, A.N., Chun, J., Kim, H.J. & Choi, S.G. 2019. Phenolics and antioxidant activity of aqueous turmeric extracts as affected by heating temperature and time. *Lwt* 105(2019): 149-155.
- Perveen, S. 2018. Introductory chapter: Terpenes and terpenoids. *Terpenes and Terpenoids* 1: 1-12. Intech Open. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.79683>
- Prathapan, A., Likhman, M., Arumughan, C., Sundaresan, A. & Raghu, K.G. 2009. Effect of heat treatment on curcuminoid, colour value and total polyphenols of fresh turmeric rhizome. *International Journal of Food Science and Technology* 44(7): 1438-1444.
- Rachkeeree, A., Kantadoung, K., Puangpradub, R. & Suksathan, R. 2020. Phytochemicals, antioxidants and anti-tyrosinase analyses of selected ginger plants. *Pharmacognosy Journal* 12(4): 872-883.
- Ramírez-Godínez, J., Jaimez-Ordaz, J., Castañeda-Ovando, A., Añorve-Morga, J., Salazar-Pereda, V., González-Olivares, L.G. & Contreras-López, E. 2017. Optimization of physical conditions for the aqueous extraction of antioxidant compounds from ginger (*Zingiber officinale*) applying a Box-Behnken design. *Plant Foods for Human Nutrition* 72(1): 34-40.
- Sadlon, A.E. & Lamson, D.W. 2010. Immune-modifying and antimicrobial effects of eucalyptus oil and simple inhalation devices. *Alternative Medicine Review* 15(1): 33-47.
- Salehi, B., Upadhyay, S., Orhan, I.E., Jugran, A.K., Jayaweera, S.L.D., Dias, D.A., Sharopov, F., Taheri, Y., Martins, N., Baghalpour, N., Cho, W.C. & Sharifi-Rad, J. 2019. Therapeutic potential of alpha and beta pinene: A miracle gift of nature. *Biomolecules* 9(11): 738.
- Seol, G.H. & Kim, K.Y. 2016. Eucalyptol and its role in chronic diseases. *Advances in Experimental Medicine and Biology* 2016(929): 389-398.
- Stich, E. 2016. Food color and coloring food: Quality, differentiation and regulatory requirements in the European Union and the United States. *Handbook on Natural Pigments in Food and Beverages: Industrial Applications for Improving Food Color*. Cambridge: Woodhead Publishing.
- Takaishi, M., Uchida, K., Fujita, F. & Tominaga, M. 2014. Inhibitory effects of monoterpenes on human TRPA1 and the structural basis of their activity. *Journal of Physiological Sciences* 64(1): 47-57.
- Tan, H-C., Tan, B-C., Wong, S-H. & Khalid, N. 2016. A medicinal ginger, *Boesenbergia rotunda*: from cell suspension cultures to protoplast derived callus. *Sains Malaysiana* 45(5): 795-802.
- Truong, D.H., Nguyen, D.H., Ta, N.T.A., Bui, A.V., Do, T.H. & Nguyen, H.C. 2019. Evaluation of the use of different solvents for phytochemical constituents, antioxidants, and *in vitro* anti-inflammatory activities of *Severinia buxifolia*. *Journal of Food Quality* 2019: 8178294.
- Van Zyl, R., Seatlholo, S., Van Vuuren, S. & Viljoen, A. 2006. The biological activities of 20 nature identical essential oil constituents. *Journal of Essential Oil Research* 18(1): 129-133.
- Wong, K.C., Sivasothy, Y. & Boey, P.L. 2006b. Essential oils of *Elettariopsis smithiae* Y. K. Kam and *E. rugosa* (Y. K. Kam) C.K. Lim. *Journal of Essential Oil Research* 18(5): 569-571.
- Zhang, Q.L., Fu, B.M. & Zhang, Z.J. 2017. Borneol, a novel agent that improves central nervous system drug delivery by enhancing blood-brain barrier permeability. *Drug Delivery* 24(1): 1037-1044.
- Zhang, Q.W., Lin, L.G. & Ye, W.C. 2018. Techniques for extraction and isolation of natural products: A comprehensive review. *Chinese Medicine* 13(20): 1-26.

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