

Kesan Kaedah Pengeringan Berbeza terhadap Ciri Fizikokimia, Kandungan Fenol dan Aktiviti Antioksidan Daun Galak Tua (*Stemona curtisii*)

(Effects of Different Drying Methods on Physicochemical Characteristics, Phenolic Content and Antioxidant Activity of Galak Tua Leaves (*Stemona curtisii*))

TAN HUI KIANG¹ & HASLANIZA HASHIM^{1,2,*}

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

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

Diserahkan: 7 Mac 2023/Diterima: 21 Julai 2023

ABSTRAK

Stemona curtisii, atau pokok Galak Tua berpotensi dalam memberikan manfaat kesihatan, perubahan serta sebagai racun perosak. Matlamat kajian ini adalah untuk menentukan kesan kaedah pengeringan yang berbeza (ketuhar, ketuhar gelombang mikro dan sinaran matahari) terhadap ciri fizikokimia, kandungan fenol dan aktiviti antioksidan daun *S. curtisii*. Pengeringan ketuhar dijalankan pada suhu 40°C, 50°C dan 60°C selama 4.5-7 jam. Pengeringan ketuhar gelombang mikro pula menggunakan kuasa *output* 540 W, 720 W dan 900 W selama 3-5 minit. Bagi pengeringan matahari, daun dikeringkan di bawah sinaran matahari pada julat suhu 25-37°C. Hasil kajian menunjukkan pengeringan ketuhar gelombang mikro merupakan kaedah yang paling berkesan untuk mengeringkan daun *S. curtisii* berbanding kaedah pengeringan yang lain. Pengeringan ketuhar gelombang mikro 900 W mendatangkan perubahan warna (ΔE) dan peningkatan nilai pH yang minimum secara signifikan ($p < 0.05$) terhadap daun *S. curtisii*. Dapatan kajian telah menunjukkan pengeringan ketuhar gelombang mikro 900 W menghasilkan nilai jumlah kandungan fenol (TPC) dan nilai penurunan kuasa ferik (FRAP) tertinggi ($p < 0.05$) pada daun *S. curtisii*. Pengeringan ketuhar gelombang mikro pada ketiga-tiga kuasa menunjukkan nilai DPPH dan ABTS yang lebih tinggi ($p < 0.05$) daripada kaedah pengeringan yang lain. Kajian menunjukkan korelasi positif yang signifikan ($p < 0.05$) antara kandungan fenol dengan aktiviti antioksidan daun *S. curtisii*. Kesimpulannya, ketuhar gelombang mikro 900 W adalah paling sesuai untuk pengeringan daun *S. curtisii* dengan ia menghasilkan ciri fizikokimia, kandungan fenol dan aktiviti antioksidan yang lebih baik berbanding kaedah pengeringan yang lain.

Kata kunci: Antioksidan; daun Galak Tua (*Stemona curtisii*); fizikokimia; kaedah pengeringan; Stemonaceae

ABSTRACT

Stemona curtisii or known as Galak Tua is well-known due to its benefit to health, medicine and as a pesticide. This study was aimed to determine the effect of different drying methods (oven, microwave and sun) on the physicochemical properties, phenolic content and antioxidant activities of *S. curtisii* leaves. Oven drying was used to dry the *S. curtisii* leaves at temperatures of 40 °C, 50 °C and 60 °C for 4.5-7 hours. For microwave drying, the output power was 540 W, 720 W and 900 W for 3-5 min. For sun drying, the leaves were dried under direct sunlight in the temperature range of 25-37 °C. Results showed that microwave oven drying is the most effective method for drying *S. curtisii* leaves compared to other drying methods studied. Microwave oven drying at 900 W caused a minimal colour change (ΔE) and smaller increase in pH value significantly ($p < 0.05$) to *S. curtisii* leaves. Studies have shown that microwave oven drying at 900 W gave the highest total phenolic content (TPC) (56.94 ± 0.34 mg GAE/g) and ferric reducing power (FRAP) (1.39 ± 0.04 mg AEAC/g) values significantly ($p < 0.05$) in *S. curtisii* leaves. Furthermore, microwave oven drying at all three powers showed significantly higher DPPH and ABTS values ($p < 0.05$) compared to the other drying methods. There was a significant positive correlation ($p < 0.05$) between phenolic content and antioxidant activity of *S. curtisii* leaves for different drying methods. Hence, it was concluded that microwave oven at 900 W is the most suitable for drying *S. curtisii* leaves, where it yielded better physicochemical properties, phenolic content and antioxidant activities than other methods.

Keywords: Antioxidant activity; drying methods; physicochemical; Stemonaceae; *Stemona curtisii* leaves

PENGENALAN

Tumbuhan *Stemona curtisii* dipercayai sebagai tumbuhan herba tradisional yang mempunyai kandungan antioksidan yang tinggi seperti spesies *Stemona* yang lain (Nyo, Win & Phyu 2019). Tumbuhan genus *Stemona* mengandungi sebatian bioaktif seperti alkaloid dan stilbenoid. Alkaloid daripada spesies *Stemona* menunjukkan bioaktiviti antitusif dan insektisid yang luar biasa, manakala stilbenoid seperti *stilbens*, *phenanthrenes* dan terbitannya mempunyai aktiviti antimikrob yang amat ketara (Liu et al. 2021). Selain itu, sebatian bioaktif ini juga mempunyai fungsi sebagai antikeradangan, antivirus, antikanser dan sebagai racun perosak. Tubuh manusia mempunyai mekanisme pertahanan semula jadi, seperti superoksida dismutase, glutathione peroxidase dan katalase bertindak sebagai antioksidan endogen untuk meneutralkan radikal bebas. Namun, kuantiti antioksidan dalam tubuh badan adalah tidak mencukupi, terutamanya dalam keadaan tekanan oksidatif atau keradangan kerana pembebasan radikal bebas akan meningkat. Tumbuhan herba merupakan sumber yang kaya dengan antioksidan semula jadi dan sebatian fenol termasuklah asid fenol, tanin dan flavonoid (Ulewicz-Magulska & Wesolowski 2019).

Tumbuhan *S. curtisii* merupakan tumbuhan herba yang mudah rosak kerana mengandungi kandungan lembapan yang tinggi. Oleh itu, tumbuhan ini harus diproses dengan kaedah yang sesuai bagi mengekalkan kestabilan produk. Pengeringan merupakan satu kaedah yang dapat mengekalkan kualiti herba dengan mengurangkan kandungan lembapan, seterusnya menghalang pertumbuhan mikroorganisma dan perubahan kimia semasa proses penyimpanan kering (Thamkaew, Sjöholm & Galindo 2021). Namun begitu, proses pengeringan mampu mendatangkan kesan kepada kualiti daun herba kerana pengaruhnya terhadap banyak komponen sensitif haba seperti polifenol, pigmen, asid askorbik dan sebatian meruap pada daun herba (Qu et al. 2019). Dengan itu, pemilihan kaedah pengeringan adalah amat penting atas faktor kualiti akhir produk, kos dan alat yang digunakan.

Dalam pelbagai kaedah pengeringan yang berbeza, pengeringan matahari telah digunakan sejak zaman dahulu untuk mengeringkan bijirin, sayur-sayuran, buah-buahan dan produk pertanian lain kerana kos pelaburan yang rendah dan mudah untuk dioperasi. Walau bagaimanapun, kaedah ini juga mempunyai banyak kelemahan, seperti ketidakpastian cuaca, pendedahan kepada pencemaran alam sekitar, masa pengeringan yang lama dan keperluan kawasan yang luas

(Altay, Hayaloglu & Dirim 2019). Pengeringan ketuhar juga merupakan kaedah pengeringan konvensional yang mudah digunakan dan memerlukan masa yang lebih singkat berbanding dengan pengeringan matahari (Mali & Butale 2019). Kaedah pengeringan ketuhar gelombang mikro adalah satu kaedah yang semakin terkenal berbanding dengan pemanasan konvensional atas kebaikan seperti pengurangan masa pengeringan bahan biologi tanpa mengalami kehilangan kualiti. Dari aspek industri, pemprosesan makanan yang menggunakan teknik ini telah dilaporkan berkesan daripada segi kos dan boleh dilaksanakan dengan baik (Wojdylo et al. 2014).

Kaedah pengeringan yang digunakan untuk mengeringkan daun *S. curtisii* bukan sahaja akan mempengaruhi ciri fizikokimia daun, malah ia juga akan memberi impak kepada sebatian bioaktif seperti kandungan fenol dan aktiviti antioksidannya. Oleh itu, kajian ini dijalankan untuk melihat kesan pengeringan daun *S. curtisii* melalui kaedah pengeringan berbeza iaitu pengeringan ketuhar, pengeringan ketuhar gelombang mikro dan pengeringan matahari seterusnya mengkaji kesan pengaruh parameter yang digunakan ke atas ciri fizikokimia, kandungan fenol dan aktiviti antioksidan daun *S. curtisii*.

BAHAN DAN KAEDAH

PENYEDIAAN SAMPEL DAN BAHAN KIMIA YANG DIGUNAKAN

Daun Galak Tua (*S. curtisii*) diperoleh dari Rumah Tumbuhan UKM, Bangi, Selangor, Malaysia. Daun *S. curtisii* diasingkan daripada ranting pokoknya. Daun matang dipilih, iaitu daun yang berwarna hijau gelap dan permukaan yang kembang sepenuhnya (berukuran 4.3-6.2 cm lebar dan 6.4-10 cm panjang) (Ebert et al. 2018; Guo et al. 2020; Kittibunchakul et al. 2022). Daun dibalut dengan plastik yang diselaputi kerajang aluminium dan disimpan dalam peti sejukbeku pada suhu -18 °C untuk meminimumkan degradasi sebatian bioaktif dan sifat antioksidan sehingga analisis selanjutnya dilakukan (Saifullah et al. 2019). Selain itu, daun *S. curtisii* dibahagikan kepada empat kumpulan mengikut kaedah pengeringan yang berbeza iaitu sampel segar sebelum pengeringan (kawalan), sampel untuk pengeringan ketuhar, sampel untuk pengeringan ketuhar gelombang mikro dan sampel untuk pengeringan matahari.

Metanol yang berkepekatan 80% digunakan sebagai pelarut dalam pengekstrakan daun *S. curtisii*; larutan

natrium hidroksida (NaOH) dan asid hidroklorik cair (HCl) digunakan dalam penentuan nilai pH. Reagen Folin-Ciocalteu, 7.5% natrium karbonat (Na₂CO₃) anhidrus dan asid galik digunakan untuk ujian TPC; DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) dan metanol digunakan untuk ujian pemerangkapan radikal bebas DPPH; TPTZ (2,4,6-tri(2-piridil)-s-triazine), ferik (III) klorida (FeCl₃.6H₂O), penimbal natrium asetat dan asid hidroklorik digunakan untuk ujian kuasa penurunan ferik (FRAP); larutan ABTS+, kalium persulfat dan metanol digunakan dalam ujian pemerangkapan radikal kation bebas ABTS. Semua bahan kimia yang digunakan adalah bergred analitikal dan diperolehi daripada pembekal Sigma Aldrich.

SAMPEL KAWALAN

Sebanyak 50 g daun *S. curtisii* ditimbang dan disediakan sebagai sampel kawalan. Kandungan lembapan dalam daun *S. curtisii* dianalisis dengan menggunakan penganalisis lembapan (A&D MX-50 Moisture Analyser, Mettler Toledo, Malaysia).

PROSES PENGERINGAN

Bagi setiap kaedah pengeringan, sebanyak 50 g sampel daun *S. curtisii* ditimbang dan dibahagikan secara rata di atas dulang. Proses pengeringan ketuhar dilakukan menggunakan kaedah Raja et al. (2019) dengan menggunakan ketuhar (INB 500, Incubator Memmert, Germany). Sampel daun dikeringkan pada tiga suhu yang berbeza, iaitu 40 °C, 50 °C dan 60 °C. Menurut kaedah Saifullah et al. (2019) dengan sedikit pengubahsuaian, proses pengeringan ketuhar gelombang mikro dilakukan dengan menggunakan ketuhar gelombang mikro (MJ3881BP, LG Charcoal Lighting Heater Microwave Oven, Malaysia). Tiga tahap kuasa gelombang mikro yang digunakan untuk mengeringkan daun *S. curtisii* adalah 540 W, 720 W dan 900 W. Pengeringan matahari adalah berdasarkan kepada kajian Farahmandfar et al. (2019), iaitu sampel daun dikeringkan di bawah sinar matahari secara langsung dengan julat suhu 25-37 °C. Bagi pengeringan matahari, berat sampel daun *S. curtisii* ditimbang untuk setiap satu jam manakala untuk pengeringan ketuhar sampel ditimbang setiap jam untuk tiga jam yang pertama dan setiap setengah jam untuk empat jam yang seterusnya. Bagi pengeringan ketuhar gelombang mikro, berat sampel daun ditimbang untuk setiap 30 saat. Dulang yang mengandungi sampel daun dikeluarkan daripada alat pengeringan, seterusnya ditimbang dengan menggunakan penimbang digital

(Mettler PJ6000 Digital Lab Scale, Malaysia) dan dimasukkan semula ke dalam alat pengeringan. Proses pengeringan diteruskan sehingga berat sampel adalah malar. Bagi setiap kaedah pengeringan, uji kaji diulang sebanyak tiga replikasi. Kandungan lembapan dihitung dengan menggunakan persamaan seperti berikut:

$$\text{Kandungan lembapan (\%)} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\%$$

dengan m_1 adalah jisim sampel daun sebelum dikeringkan; dan m_2 adalah jisim sampel daun selepas dikeringkan.

PENGEKSTRAKAN DAUN *S. curtisii*

Daun *S. curtisii* yang telah dikeringkan kemudiannya dikisar pada suhu bilik menggunakan pengisar dan ditapis dengan menggunakan penapis bersaiz 60 mesh untuk menghasilkan 20 g serbuk halus. Serbuk halus sampel daun disimpan pada suhu 4 °C sehingga digunakan. Sebanyak 10 g serbuk sampel daun *S. curtisii* yang telah dikeringkan diekstrak dengan mencampurkan 100 mL 80% metanol (v/v). Menurut kajian Wan Najiyah Hanun et al. (2021), proses pengekstrakan dijalankan pada suhu bilik dengan menggunakan penggongcang orbital (KS 4000 IC Control, IKA Shakers, Germany) pada 200 rpm (4 rcf) selama 24 jam. Ekstrak daun tersebut ditapis dengan menggunakan kertas penapis Whatman No. 1 dan diulang sebanyak tiga kali. Setelah itu, ekstrak yang mengandungi pelarut disejat dengan menggunakan alat penyejat berputar (HB 10 Digital Rotary Evaporator, IKA, Germany) pada suhu 40 °C. Hasil turasan disimpan dalam botol gelap pada suhu -20 °C sebelum dianalisis bagi penentuan ciri fizikokimia, kandungan fenol dan aktiviti antioksidan. Proses pengekstrakan dijalankan sebanyak tiga replikasi.

PENENTUAN WARNA

Analisis warna ekstrak daun *S. curtisii* dijalankan menggunakan kaedah Siakeng et al. (2020). Penentuan warna dijalankan melalui kaedah kolorimetri CIE L*a*b* dengan menggunakan kolorimeter (CR-400 Chroma Meter, Konica Minolta, Japan). Kolorimeter dikalibrasi dengan menggunakan jubin putih. Dalam kaedah ini, nilai L*, a* dan b* diuji pada ekstrak daun. Nilai L* menunjukkan darjah kecerahan, nilai a* menunjukkan darjah kemerahan (a) atau kehijauan (-a), dan nilai b* menunjukkan tahap kekuningan (b) atau kebiruan (-b). Semua bacaan sampel diukur sebanyak

tiga replikasi dengan menggunakan kolorimeter. Jumlah perbezaan warna (ΔE) antara daun segar dan kering bagi setiap kaedah pengeringan dihitung dengan menggunakan persamaan seperti berikut:

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

dengan L_o , a_o dan b_o adalah parameter warna untuk daun segar sebelum pengeringan; dan L , a dan b adalah parameter warna untuk daun selepas pengeringan.

PENENTUAN NILAI pH

Nilai pH bagi setiap sampel ekstrak daun dikaji melalui kaedah potensimetri pH (Mohammadipour & Souri 2019) dengan menggunakan meter pH (BP3001, Benchtop Professional pH Meter, Malaysia). Meter pH dikalibrasi dengan menggunakan penimbal pH 4.0 dan 7.0. Larutan setiap sampel dikacau sebelum mengukur nilai pH. Bacaan diambil pada suhu bilik. Semua bacaan sampel bagi setiap kaedah pengeringan diukur sebanyak tiga replikasi.

PENENTUAN JUMLAH KANDUNGAN FENOL

Penentuan jumlah kandungan fenol bagi ekstrak daun *S. curtisii* dijalankan menggunakan kaedah Folin-Ciocalteu (Raja et al. 2019). Sebanyak 20 μL sampel dimasukkan ke dalam tabung uji yang berbeza dan dicampur dengan 100 μL reagen Folin-Ciocalteu (10 kali pencairan dengan air suling). Selepas 5 minit, sebanyak 80 μL 7.5% natrium karbonat (Na_2CO_3) ditambah, digoncang dan diinkubasi dalam keadaan gelap selama 2 jam pada suhu bilik. Seterusnya, bacaan penyerapan dinilai dengan mengukur sampel menggunakan spektrofotometer mikroplat (EpochTM Microplate Spectrophotometer, BioTek Instruments, USA) pada penyerapan 765 nm. Semua sampel dan bacaan diukur sebanyak tiga replikasi. Larutan asid galik digunakan sebagai larutan piawai dalam ujian ini. Lengkung piawai larutan asid galik (0, 20, 40, 60, 80 dan 100 ppm) telah disediakan menggunakan prosedur yang sama. Jumlah kandungan fenol dinyatakan sebagai kesetaraan asid galik dalam unit (mg GAE/g sampel) dengan formula berikut:

$$A \text{ (mg GAE/g)} = \frac{C \times DF \times TV}{SV \times M \times 1000}$$

dengan A ialah jumlah kandungan fenol (mg GAE/g); C ialah kepekatan ditentukan daripada lengkung piawai ($\mu\text{g}/\text{mL}$); DF ialah faktor pencairan (100); TV ialah jumlah

isi padu sampel yang dicairkan (μL); SV ialah isi padu sampel yang digunakan (μL); dan M ialah jisim ekstrak (g).

AKTIVITI PEMERANGKAPAN RADIKAL BEBAS DPPH

Menurut kaedah Alara et al. (2017), larutan 0.10 mM DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) digunakan sebagai larutan stok dan disediakan secara segar setiap kali digunakan. Sebanyak 80 μL bagi setiap larutan sampel dan pengosong telah dipipet dalam tiub Eppendorf. Sebanyak 800 μL larutan 0.1 mM DPPH metanolik ditambah untuk mencampur dengan semua larutan sampel dan pengosong serta digoncang dan dibiarkan pada suhu bilik selama 30 minit. Penyerapan dibaca pada 517 nm dengan menggunakan spektrofotometer mikroplat (EpochTM Microplate Spectrophotometer, BioTek Instruments, USA). Semua sampel ekstrak dianalisis dan bacaan diukur sebanyak tiga replikasi. Metanol digunakan sebagai pengosong. Peratusan pemerangkapan radikal bebas DPPH dihitung seperti formula berikut:

Aktiviti pemerangkapan radikal bebas (%)

$$= \frac{(A_1 - A_2)}{A_1} \times 100\%$$

dengan A_1 adalah penyerapan kawalan; dan A_2 adalah penyerapan sampel.

AKTIVITI PENURUNAN KUASA FERIK (FRAP)

Ujian FRAP dilakukan menggunakan kaedah Wan Najiyah Hanun et al. (2021) dengan sedikit pengubahsuaian. Larutan 20 mM ferik klorida heksahidrat ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), larutan 10 mM 2,4,6-*tripiridyl-s-triazine* (TPTZ) dalam 40 mM HCl dan larutan 30 mM penimbal asetat (CH_3COONa) disediakan secara berasingan. Reagen FRAP dihasilkan dengan mencampurkan 50 mL larutan 30 mM penimbal asetat, 5 mL larutan 10 mM TPTZ dan 5 mL larutan 20 mM $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ pada nisbah isi padu 10:1:1. Seterusnya, sebanyak 600 μL larutan FRAP segar dicampur dengan 200 μL ekstrak sampel dan dibiarkan pada suhu bilik dalam keadaan gelap selama 30 minit. Bacaan penyerapan diukur pada jarak gelombang 593 nm dengan menggunakan spektrofotometer mikroplat (EpochTM Microplate Spectrophotometer, BioTek Instruments, USA). Lengkung piawai larutan asid askorbik (0, 20, 40, 60, 80 dan 100 ppm) disediakan. Nilai penurunan kuasa ferik dinyatakan sebagai kesetaraan asid askorbik dalam unit (mg ekstrak AEAC/g) dengan formula berikut:

$$A \text{ (mg ekstrak AEAC/g)} = \frac{C \times DF \times TV}{SV \times M \times 1000}$$

dengan A adalah penurunan kuasa ferik (mg ekstrak AEAC/g); C adalah kepekatan ditentukan daripada lengkung piawai ($\mu\text{g/mL}$); DF adalah faktor pencairan (100); TV adalah jumlah isi padu sampel yang dicairkan (μL); SV adalah isi padu sampel yang digunakan (μL); dan M adalah jisim ekstrak (g).

AKTIVITI PEMERANGKAPAN RADIKAL KATION BEBAS ABTS

Berdasarkan kaedah Alara et al. (2017), larutan 7 mM ABTS dan 2.45 mM kalium persulfat dicampur dalam kuantiti yang sama untuk menghasilkan larutan stok ABTS. Campuran tersebut dibenarkan untuk bertindak balas selama 12 jam pada suhu bilik dalam keadaan gelap. Larutan segar radikal kation ABTS disediakan dengan mencairkan 2 mL larutan stok ABTS dengan 120 mL metanol untuk mendapatkan penyerapan 0.7 ± 0.05 pada 734 nm menggunakan spektrofotometer mikroplat (Epoch™ Microplate Spectrophotometer, BioTek Instruments, USA). Sebanyak 50 μL larutan sampel ekstrak dicampurkan dengan 950 μL larutan ABTS dan dibiarkan selama 2 jam dalam keadaan yang gelap. Nilai penyerapan sampel diukur pada jarak gelombang 734 nm dengan menggunakan spektrofotometer. Semua sampel ekstrak dianalisis dan bacaan diukur sebanyak tiga replikasi. Metanol digunakan sebagai pengosong. Peratus pemerangkapan radikal bebas ABTS dihitung seperti formula berikut:

Aktiviti pemerangkapan radikal bebas (%)

$$= \frac{(A_1 - A_2)}{A_1} \times 100\%$$

dengan A_1 adalah penyerapan kawalan; dan A_2 adalah penyerapan sampel.

ANALISIS STATISTIK

Semua analisis dijalankan sebanyak tiga replikasi dan hasil data ditunjukkan sebagai $\text{min} \pm$ sisihan piawai. Data dianalisis dengan menggunakan perisian statistikal Minitab versi 19. Ujian statistik yang digunakan adalah ANOVA satu hala pada aras signifikan 95% ($p < 0.05$). Ujian *Post Hoc Tukey HSD* digunakan untuk menentukan sama ada terdapat perbezaan signifikan antara hasil kajian. Perisian *Microsoft Excel* versi 2019 digunakan untuk menghasilkan graf dan carta.

HASIL DAN PERBINCANGAN

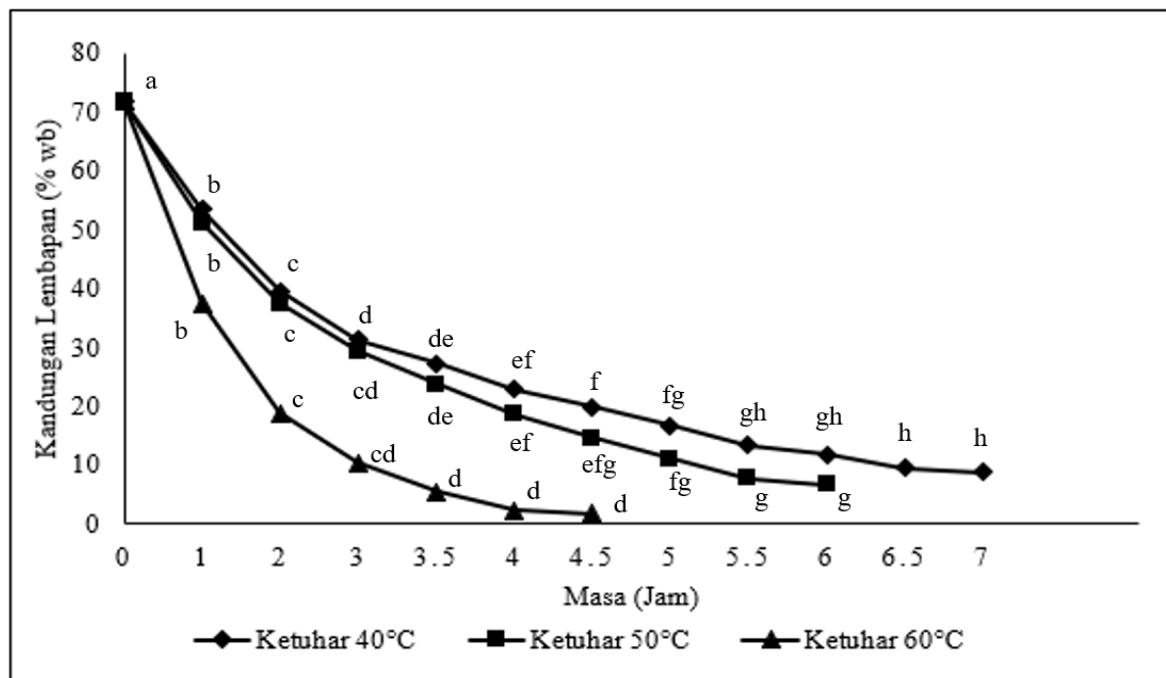
MASA PENGERINGAN DAUN *S. curtisii* MENGGUNAKAN KAEDAH PENGERINGAN BERBEZA

Kandungan lembapan dalam daun *S. curtisii* segar adalah sebanyak $71.71 \pm 0.26\%$ wb (berat basah) dengan menggunakan penganalisis lembapan. Dalam kajian ini, sasaran kandungan lembapan akhir yang ditinggalkan dalam daun kering ialah kurang daripada 10% wb, seperti yang disarankan dalam kajian Babu et al. (2018).

Pengeringan Ketuhar

Rajah 1 menunjukkan lengkung pengeringan bagi daun *S. curtisii* yang dikeringkan dengan menggunakan ketuhar pada tiga suhu berbeza (40 °C, 50 °C dan 60 °C). Pada suhu 40 °C, kandungan lembapan telah menurun secara signifikan ($p < 0.05$) daripada $71.71 \pm 0.26\%$ wb kepada $8.83 \pm 0.26\%$ wb dengan mengambil masa tujuh jam. Kandungan lembapan menurun secara signifikan ($p < 0.05$) dari awal sehingga jam ke-2, namun pengurangan kandungan lembapan adalah tidak berbeza secara signifikan ($p > 0.05$) dari jam ke-3 ($31.31 \pm 3.53\%$ wb) hingga jam ke-7. Pada suhu 50 °C, proses pengeringan telah mengambil masa enam jam untuk mencapai kandungan lembapan $6.71 \pm 0.15\%$ wb secara signifikan ($p < 0.05$). Pada dua jam pertama, kandungan lembapan menurun secara signifikan ($p < 0.05$), namun kandungan lembapan tidak menurun secara signifikan ($p > 0.05$) dari jam ke-3 hingga jam ke-6. Pada suhu 60 °C pula, kandungan lembapan menurun secara signifikan ($p < 0.05$) untuk mencapai kandungan lembapan akhir $1.64 \pm 0.41\%$ wb selama 4.5 jam. Pada dua jam pertama, kandungan lembapan menurun dengan cepat secara signifikan ($p < 0.05$), manakala penurunannya adalah tidak berbeza secara signifikan ($p > 0.05$) dari jam ke-3 hingga jam ke-4.5. Masa minimum untuk kandungan lembapan mencecah $\leq 10\%$ adalah masing-masing pada jam ke-3 (suhu 60 °C), jam ke-5 (suhu 50 °C) dan jam ke-6.5 (40 °C).

Hasil kajian ini adalah hampir sama dengan kajian Norliza et al. (2021) yang berkaitan dengan kesan suhu pengeringan terhadap kualiti daun *Cosmos caudatus*. Dalam kajian tersebut, pengeringan ketuhar pada suhu 40 °C menunjukkan masa yang paling panjang, manakala masa pengeringan terpendek direkodkan pada suhu 80 °C. Pengeringan pada suhu yang lebih rendah mengambil masa yang lebih panjang untuk mengeringkan sampel daun. Hal ini mungkin disebabkan oleh haba yang tidak mencukupi untuk pengewapan lembapan



^{a-h} Abjad berbeza menunjukkan perbezaan signifikan masa pengeringan ($p < 0.05$) bagi setiap suhu pengeringan

RAJAH 1. Lengkung pengeringan bagi daun *S. curtisii* yang dikeringkan dengan ketuhar pada suhu berbeza (40 °C, 50 °C dan 60 °C)

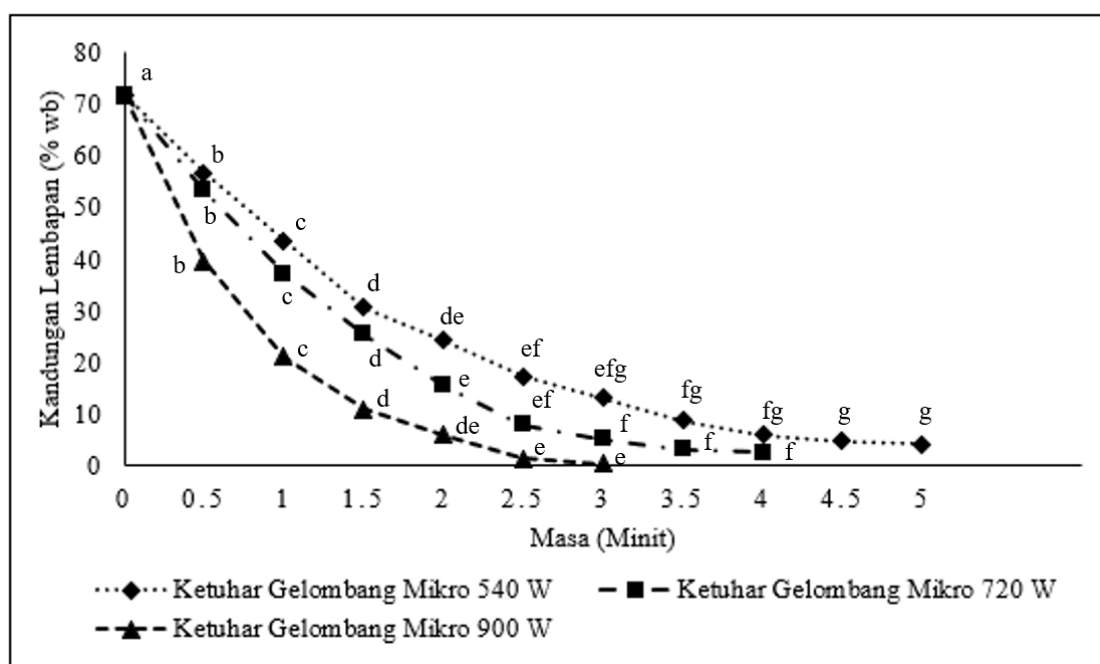
daripada udara sekeliling. Peningkatan suhu udara dan bekalan haba yang mencukupi menyebabkan kadar penyingkiran air yang lebih tinggi daripada matriks tumbuhan (Nascimento et al. 2021).

Pengeringan Ketuhar Gelombang Mikro

Rajah 2 menunjukkan lengkung pengeringan bagi daun *S. curtisii* yang dikeringkan dengan menggunakan ketuhar gelombang mikro pada tiga kuasa *output* berbeza (540 W, 720 W dan 900 W). Pada kuasa *output* 540 W, proses pengeringan telah mengambil masa lima minit untuk mencapai kandungan lembapan 4.20 ± 0.07% wb secara signifikan ($p < 0.05$). Kandungan lembapan menurun secara signifikan ($p < 0.05$) dari awal hingga minit pertama, namun tiada penurunan yang signifikan ($p > 0.05$) dari minit ke-1.5 hingga minit ke-5. Pada kuasa *output* 720 W, kandungan lembapan telah menurun secara signifikan ($p < 0.05$) untuk mencapai kandungan lembapan akhir 2.72 ± 0.15% wb dengan mengambil masa empat minit. Penurunan kandungan lembapan adalah signifikan ($p < 0.05$) dari mula hingga minit ke-1.5, namun ia tidak berbeza secara signifikan ($p > 0.05$) dari minit ke-2 hingga minit ke-4. Pada kuasa *output* 900 W pula, kandungan lembapan telah menurun secara signifikan ($p < 0.05$) untuk mencapai kandungan

lembapan akhir 0.50 ± 0.06% wb dengan mengambil masa tiga minit. Kandungan lembapan menurun secara signifikan ($p < 0.05$) pada satu minit pertama, tetapi ia menurun secara tidak signifikan ($p > 0.05$) dari minit ke-1.5 hingga minit ke-3. Masa minimum untuk kandungan lembapan mencecah ≤10% adalah masing-masing pada minit ke-1.5 (900 W), minit ke-2.5 (720 W) dan minit ke-3.5 (540 W).

Hasil yang sama diperoleh dalam kajian Klunghoonkrong dan Phoungchandang (2018) berkaitan dengan sifat gelombang mikro terhadap daun *Orthosiphon aristatus*. Pengeringan daun *O. aristatus* menggunakan ketuhar gelombang mikro pada kuasa *output* 900 W memerlukan masa selama tiga minit berbanding dengan kuasa *output* 720 W dan 450 W. Kuasa *output* gelombang mikro yang lebih tinggi membolehkan peningkatan penjana haba dalam sampel daun yang dicirikan oleh pergerakan molekul air yang lebih pantas dari dalam ke permukaan sampel (Miraei Ashtiani, Sturm & Nasirahmadi 2017). Selain itu, penjana haba yang tinggi daripada kuasa *output* gelombang mikro yang lebih tinggi boleh membawa kepada perbezaan tekanan wap yang tinggi antara pusat dan permukaan sampel dan akhirnya, menyebabkan peningkatan kadar pengeringan berlaku (Yilmaz, Demirhan & Özbek 2021).



** Abjad berbeza menunjukkan perbezaan signifikan masa pengeringan ($p < 0.05$) bagi setiap suhu pengeringan

RAJAH 2. Lengkung pengeringan bagi daun *S. curtisii* yang dikeringkan dengan ketuhar gelombang mikro pada kuasa *output* berbeza (540 W, 720 W dan 900 W)

Pengeringan Matahari

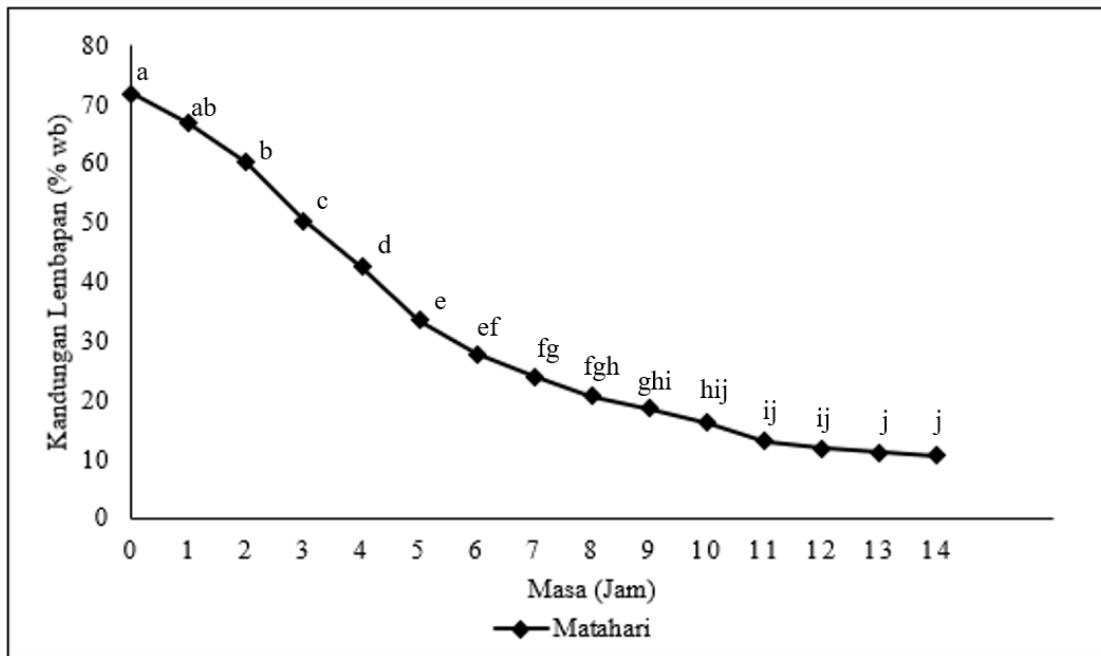
Rajah 3 menunjukkan lengkung pengeringan bagi daun *S. curtisii* yang dikeringkan di bawah matahari. Kandungan lembapan telah menurun secara signifikan ($p < 0.05$) daripada $71.71 \pm 0.26\%$ wb ke $10.63 \pm 0.08\%$ wb dengan mengambil masa selama 14 jam. Kandungan lembapan hanya menurun secara signifikan ($p < 0.05$) pada jam ke-3 dan jam ke-4, manakala penurunan kandungan lembapan adalah tidak berbeza secara signifikan ($p > 0.05$) pada masa yang lain. Pada jam ke-10, kandungan lembapan mencapai hampir 10% wb secara tidak signifikan ($p > 0.05$). Dalam kajian ini, pengeringan matahari tidak dapat menghasilkan kandungan lembapan yang kurang daripada 10% wb ($10.63 \pm 0.08\%$ wb). Justeru, pengeringan matahari bukan merupakan kaedah yang berkesan untuk mengeringkan daun *S. curtisii*. Walaupun pengeringan matahari adalah paling ekonomi disebabkan kos yang rendah, namun ia mempunyai beberapa kelemahan seperti mendedahkan produk kepada pencemaran alam sekitar dan memerlukan ruang yang besar (Farahmandfar et al. 2019). Proses pengeringan ini juga mengambil masa yang lama untuk membebaskan lembapan dari daun ke tahap yang dikehendaki. Hal ini disebabkan oleh tenaga cahaya matahari atau suhu persekitaran yang tidak

seragam serta aliran udara lamina ke atas produk semasa tempoh pengeringan (Babu et al. 2018).

PERBANDINGAN TEMPOH PENGERINGAN BAGI KAEDAH PENGERINGAN BERBEZA

Berdasarkan Jadual 1, tempoh pengeringan daun *S. curtisii* dengan menggunakan ketuhar gelombang mikro pada kuasa *output* 900 W adalah paling pendek (1.5 minit) berbanding dengan kaedah pengeringan yang lain. Manakala pengeringan matahari pula menggunakan tempoh yang paling panjang (14 jam) untuk mencapai kandungan lembapan yang hampir dengan 10% wb. Hal ini menunjukkan bahawa pengeringan ketuhar gelombang mikro merupakan kaedah pengeringan yang paling berkesan untuk mengurangkan kandungan lembapan daun *S. curtisii*. Tenaga gelombang mikro mengurangkan tempoh pengeringan dengan mewujudkan pemanasan seragam yang mempunyai kekonduksian terma yang tinggi, seterusnya menyumbang kepada penjimatan tenaga dan pengurangan kos proses (Hayat 2020).

Pengeringan ketuhar pada ketiga-tiga suhu memerlukan tempoh pengeringan yang lebih panjang berbanding dengan pengeringan ketuhar gelombang mikro, tetapi ia lebih cepat berbanding dengan



^{abj} Abjad berbeza menunjukkan perbezaan signifikan masa pengeringan ($p < 0.05$) bagi setiap suhu pengeringan

RAJAH 3. Lengkung pengeringan bagi daun *S. curtisii* yang dikeringkan dengan matahari pada julat suhu 25-37 °C

pengeringan matahari. Pengeringan matahari adalah amat bergantung kepada keadaan cuaca. Keadaan cuaca yang tidak menentu, kecekapan tenaga yang rendah, pencemaran oleh habuk dan serangan mikroorganisma akan mempengaruhi kuliti daun yang dikeringkan (Babu et al. 2018). Produk yang berkualiti boleh dicapai dengan memilih kaedah pengeringan yang sesuai dan keadaan praktikal yang baik (Altay, Hayaloglu & Dirim 2019).

Seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 1, tempoh pengeringan minimum yang diperlukan untuk mencapai kandungan lembapan kurang daripada 10% wb adalah kurang daripada 5 minit untuk ketuhar gelombang mikro dan kurang daripada 7 jam bagi ketuhar. Namun begitu, pengeringan menggunakan matahari mencatatkan kandungan lembapan melebihi 10% wb.

WARNA DAUN *S. curtisii* DENGAN KAEDAH PENGERINGAN BERBEZA

Jadual 2 menunjukkan perubahan warna daun *S. curtisii* dengan kaedah pengeringan berbeza. Pengeringan ketuhar gelombang mikro 900 W dan 720 W menunjukkan perubahan nilai L^* , iaitu kecerahan yang paling minimum ($p < 0.05$) berbanding dengan daun segar. Kadar pemanasan gelombang mikro yang cepat dapat

mengurangkan kesan perubahan kecerahan warna terhadap daun *S. curtisii* (Ariffah, Fauziah & Zamzahaila 2017). Pengeringan menggunakan matahari dan ketuhar pada suhu 40-60 °C menunjukkan penurunan tahap kecerahan yang signifikan ($p < 0.05$) berbanding dengan kawalan, iaitu daun segar *S. curtisii*. Hal ini kerana suhu meningkat dari luar ke dalam daun apabila proses pengeringan berlaku. Oleh itu, keadaan ini mudah mendatangkan kesan kepada pengerasan lapisan luar dan mengakibatkan warna yang lebih gelap (Qu et al. 2019). Kesemua kaedah pengeringan menunjukkan peningkatan nilai a^* yang signifikan ($p < 0.05$) berbanding dengan kawalan. Pengeringan ketuhar pada suhu 40 °C, 50 °C dan 60 °C menunjukkan peningkatan nilai a^* yang paling tinggi daripada kawalan dan ketiga-tiga pengeringan ketuhar ini juga menunjukkan perbezaan yang tidak signifikan ($p > 0.05$). Degradasi warna dalam herba kering lazimnya dicituskan oleh degradasi pigmen seperti klorofil dan antosianin (Thamkaew, Sjöholm & Galindo 2021). Pendedahan haba yang tinggi kepada daun akan menyebabkan penukaran klorofil kepada feofitina, seterusnya mengakibatkan penurunan tahap klorofil (Nayak, Mohan & Radhakrishnan 2018). Oleh itu, degradasi klorofil a (hijau kebiruan) dan klorofil b (hijau kekuningan) akan menyebabkan perubahan warna yang lebih gelap (Thamkaew, Sjöholm & Galindo 2021).

JADUAL 1. Tempoh pengeringan dan kandungan lembapan dalam daun *S. curtisii* yang dikeringkan dengan kaedah pengeringan berbeza

Kaedah pengeringan	Tempoh pengeringan	Kandungan lembapan (% wb)
Daun <i>S. curtisii</i> segar (kawalan)	-	71.71 ± 0.26 ^a
Ketuhar 40 °C	6.5 jam	8.83 ± 0.33 ^e
Ketuhar 50 °C	5 jam	6.71 ± 0.15 ^d
Ketuhar 60 °C	3 jam	1.64 ± 0.41 ^g
Ketuhar gelombang mikro 540 W	3.5 min	4.20 ± 0.07 ^e
Ketuhar gelombang mikro 720 W	2.5 min	2.72 ± 0.15 ^f
Ketuhar gelombang mikro 900 W	1.5 min	0.50 ± 0.06 ^h
Matahari	14 jam	10.63 ± 0.08 ^b

Bacaan dinyatakan sebagai min ± sisihan piawai (n=3).

^{a-h} Abjad berbeza menunjukkan perbezaan signifikan kandungan lembapan ($p < 0.05$) bagi setiap kaedah pengeringan

Semua kaedah pengeringan menunjukkan penurunan nilai b^* secara signifikan ($p < 0.05$) kecuali pengeringan ketuhar gelombang mikro 900 W. Hasil yang sama juga telah dilaporkan dalam kajian Ariffah, Fauziah dan Zamzahaila (2017) terhadap daun *Stevia*. Tahap kekuningan daun *Stevia* adalah menurun secara signifikan ($p < 0.05$) apabila dikeringkan menggunakan ketuhar dan matahari, tetapi ia tidak berbeza secara signifikan ($p > 0.05$) dengan menggunakan ketuhar gelombang mikro. Nilai indeks pemerangan akan meningkat dengan peningkatan suhu pengeringan. Penemuan ini boleh dijelaskan oleh degradasi warna yang disebabkan oleh haba, tindak balas pemerangan enzim dan bukan enzim semasa proses pengeringan berlaku (Saifullah et al. 2021).

Jumlah perubahan warna (ΔE) memainkan peranan penting dalam mengaitkan perubahan warna yang tepat dalam produk kering (Managa, Sultanbawa & Sivakumar 2020). Pengeringan ketuhar gelombang mikro pada kuasa *output* 540 W, 720 W dan 900 W mendatangkan perubahan warna yang minimum ($p < 0.05$) terhadap daun *S. curtisii*. Hasil ini adalah sama dengan kajian Klungboonkrong dan Phoungchandang (2018) terhadap daun *Orthosiphon aristatus* dengan ΔE terendah ditemui pada 720 W dan 900 W ($p < 0.05$). Selain itu, pengeringan matahari menunjukkan perubahan warna yang tidak signifikan ($p > 0.05$) berbanding dengan pengeringan ketuhar gelombang mikro 540 W. Pengeringan menggunakan ketuhar pada suhu 40 °C, 50 °C dan 60 °C menunjukkan perbezaan warna yang tinggi dan signifikan ($p < 0.05$) terhadap daun *S. curtisii*. Semakin

tinggi suhu ketuhar, semakin tinggi nilai ΔE ($p < 0.05$). Daun yang dikeringkan melalui ketuhar mempunyai ton warna yang lebih gelap, seperti yang diperhatikan oleh penurunan kecerahan L^* , dan peningkatan suhu pada ketuhar mengakibatkan penurunan nilai a^* apabila membandingkan suhu antara 40-60 °C (Tomasi et al. 2021). Gabungan masa pengeringan dan suhu adalah faktor penentu bagi perubahan warna semasa pengeringan (Orphanides, Goulas & Gekas 2015).

NILAI pH DAUN *S. curtisii* DENGAN KAEDAH PENERINGAN BERBEZA

Kajian menunjukkan bahawa daun segar *S. curtisii* mempunyai nilai pH yang terendah secara signifikan ($p < 0.05$), iaitu 4.84 ± 0.05 . Ini menunjukkan bahawa daun *S. curtisii* adalah berasid. Ini disokong oleh kajian Chen et al. (2022) yang menunjukkan bahawa nilai pH bagi daun yang dikaji adalah dalam julat asid lemah hingga neutral. Nilai pH daun *S. curtisii* juga telah dipengaruhi oleh proses pengeringan ($p < 0.05$) dengan julat antara 4.84 hingga 5.62. Keputusan ini adalah sama seperti kajian Iwansyah et al. (2020) apabila proses pengeringan memberikan nilai pH ekstrak daun *Moringa oliefera* yang signifikan ($p < 0.05$) antara 4.98 hingga 6.82. Tambahan lagi, nilai pH akan meningkat dengan pengurangan aktiviti air dalam daun (Chen et al. 2022).

Nilai pH bagi daun yang dikeringkan oleh ketuhar gelombang mikro 720 W (5.14 ± 0.02) dan 900 W (5.06 ± 0.03) adalah tidak berbeza secara signifikan ($p > 0.05$).

Namun, kedua-dua nilai pH ini adalah lebih rendah ($p < 0.05$) berbanding dengan kuasa 540 W (5.36 ± 0.02). Di samping itu, pengeringan ketuhar gelombang mikro menghasilkan nilai pH yang lebih rendah ($p < 0.05$) berbanding dengan pengeringan ketuhar. Hal ini mungkin disebabkan oleh pengekal sebatian fenol yang lebih tinggi dalam proses pengeringan ketuhar gelombang mikro. Menurut Lasano et al. (2018), tenaga gelombang mikro akan diserap secara langsung oleh tumbuhan dan kemudian ditukar kepada haba. Haba ini menyebabkan gangguan pada polimer dinding sel tumbuhan akibat daripada penghasilan tekanan wap dan suhu yang tinggi di dalam tisu tumbuhan. Oleh itu, lebih banyak fenol dapat dibebaskan. Tambahan lagi, suhu pada pengeringan ketuhar akan menyebabkan penguraian pelbagai bahan kimia berasid yang terkandung dalam daun seperti fenol dan flavonoid (Chen et al. 2022).

JUMLAH KANDUNGAN FENOL DAUN *S. curtisii*

Jumlah kandungan fenol (TPC) daun segar dan daun kering *S. curtisii* ditunjukkan dalam Jadual 3. Penggunaan ketuhar gelombang mikro pada kuasa 900 W menghasilkan TPC yang lebih tinggi (56.94 ± 0.34 mg GAE/g ekstrak sampel) secara signifikan ($p < 0.05$) diikuti oleh kuasa 720 W (43.97 ± 1.09 mg GAE/g ekstrak sampel) dan 540 W (35.07 ± 0.89 mg GAE/g ekstrak sampel). Hasil ini disokong oleh kajian Saifullah et al. (2019), pengeringan daun limau *myrtle* dengan menggunakan ketuhar gelombang mikro 960 W

menghasilkan TPC (65.26 ± 2.60 mg GAE/g) yang lebih tinggi ($p < 0.05$) berbanding dengan ketuhar gelombang mikro 720 W (58.21 ± 0.56 mg GAE/g). Pengeringan ketuhar gelombang mikro pada daun *S. curtisii* juga menghasilkan TPC yang lebih tinggi secara signifikan ($p < 0.05$) berbanding dengan kaedah pengeringan yang lain. Haba yang dihasilkan daripada gelombang mikro mempunyai tenaga yang tinggi dan mampu menyahaktifkan enzim degradasi pada kadar yang lebih cepat daripada teknik konvensional (Lasano et al. 2018). Selain itu, Hihat, Remini dan Madani (2017) menyatakan bahawa haba yang dihasilkan daripada gelombang mikro mendatangkan tekanan wap dan suhu yang tinggi di dalam tisu tumbuhan, seterusnya mengakibatkan gangguan polimer dinding sel tumbuhan sehingga menyebabkan lebih banyak fenol diekstrak.

Bagi pengeringan ketuhar pula, suhu $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ menghasilkan TPC yang lebih tinggi (10.96 ± 0.36 mg GAE/g ekstrak sampel) secara signifikan ($p < 0.05$) berbanding dengan suhu $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (6.94 ± 0.35 mg GAE/g ekstrak sampel) dan $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ (4.83 ± 0.36 mg GAE/g ekstrak sampel). Menurut kajian Raja et al. (2019) tentang kesan kaedah pengeringan berbeza terhadap daun *Carica papaya* L., pengeringan ketuhar pada suhu $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ menghasilkan TPC yang paling rendah ($p < 0.05$) berbanding dengan suhu $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. TPC menurun apabila suhu yang lebih tinggi digunakan. Pendedahan kepada haba melebihi $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ membawa kepada kehilangan sebatian fenol (Norliza et al. 2021).

JADUAL 2. Warna dan nilai pH daun *S. curtisii* yang dikeringkan dengan kaedah pengeringan berbeza

Kaedah pengeringan	L*	a*	b*	ΔE	Nilai pH
Daun <i>S. curtisii</i> segar	52.16 ± 0.20^a	-9.66 ± 0.17^f	15.73 ± 0.27^a	-	4.84 ± 0.05^c
Ketuhar $40\text{ }^{\circ}\text{C}$	47.68 ± 0.03^d	0.96 ± 0.06^a	12.72 ± 0.11^c	11.91 ± 0.09^c	5.61 ± 0.02^a
Ketuhar $50\text{ }^{\circ}\text{C}$	46.36 ± 0.19^c	1.30 ± 0.03^a	12.01 ± 0.02^f	12.95 ± 0.08^b	5.49 ± 0.03^b
Ketuhar $60\text{ }^{\circ}\text{C}$	43.73 ± 0.02^f	1.39 ± 0.02^a	11.43 ± 0.05^g	14.55 ± 0.01^a	5.62 ± 0.03^a
Ketuhar gelombang mikro 540 W	48.36 ± 0.23^{cd}	-2.44 ± 0.03^c	14.36 ± 0.15^c	8.28 ± 0.15^d	5.36 ± 0.02^c
Ketuhar gelombang mikro 720 W	49.72 ± 0.32^b	-7.29 ± 0.14^d	15.03 ± 0.19^b	3.48 ± 0.16^c	5.14 ± 0.02^d
Ketuhar gelombang mikro 900 W	50.21 ± 0.70^b	-8.35 ± 0.46^c	15.71 ± 0.02^a	2.35 ± 0.83^f	5.06 ± 0.03^d
Matahari	48.73 ± 0.02^c	-1.68 ± 0.12^b	13.80 ± 0.05^d	8.89 ± 0.15^d	5.41 ± 0.06^{bc}

Bacaan dinyatakan sebagai min \pm sisihan piawai ($n=3$).

^{a-f} Abjad berbeza pada lajur yang sama menunjukkan perbezaan signifikan warna dan nilai pH ($p < 0.05$) bagi setiap kaedah pengeringan

JADUAL 3. Kandungan fenol dan aktiviti antioksida daun *S. curtisii* yang dikeringkan dengan kaedah pengeringan berbeza

Kaedah pengeringan	Jumlah kandungan fenol (mg GAE/g)	Peratusan pemerangkapan radikal bebas DPPH (%)	Aktiviti penurunan kuasa ferik (FRAP) (mg AEAC/g)	Peratusan pemerangkapan radikal kation bebas ABTS (%)
Daun <i>S. curtisii</i> segar	3.37 ± 0.37 ^s	42.12 ± 0.77 ^s	0.66 ± 0.02 ^c	37.57 ± 2.29 ^c
Ketuhar 40 °C	6.94 ± 0.35 ^f	58.34 ± 2.31 ^c	0.88 ± 0.02 ^d	71.55 ± 1.56 ^c
Ketuhar 50 °C	10.96 ± 0.36 ^c	65.46 ± 0.48 ^d	0.94 ± 0.02 ^d	85.23 ± 1.88 ^b
Ketuhar 60 °C	4.83 ± 0.36 ^s	46.61 ± 0.80 ^f	0.70 ± 0.02 ^c	44.50 ± 2.92 ^d
Ketuhar gelombang mikro 540 W	35.07 ± 0.89 ^c	83.57 ± 0.49 ^b	1.09 ± 0.02 ^{bc}	92.91 ± 0.23 ^a
Ketuhar gelombang mikro 720 W	43.97 ± 1.09 ^b	86.54 ± 0.57 ^a	1.16 ± 0.01 ^b	93.26 ± 0.10 ^a
Ketuhar gelombang mikro 900 W	56.94 ± 0.34 ^a	87.73 ± 0.28 ^a	1.39 ± 0.04 ^a	94.14 ± 0.20 ^a
Matahari	27.47 ± 1.14 ^d	76.66 ± 0.83 ^c	1.08 ± 0.04 ^c	90.06 ± 0.29 ^a

Bacaan dinyatakan sebagai min ± sisihan piawai (n=3).

** Abjad berbeza pada lajur yang sama menunjukkan perbezaan signifikan kandungan fenol dan aktiviti antioksida ($p < 0.05$) bagi setiap kaedah pengeringan

Namun, masa pengeringan yang panjang dan pendedahan yang lebih lama kepada haba, cahaya dan oksigen, selanjutnya mengakibatkan degradasi sebatian fenol yang lebih besar berbanding dengan masa pengeringan yang singkat pada suhu yang lebih tinggi (Nguyen & Chuyen 2020). Daun *S. curtisii* yang dikeringkan oleh matahari mempunyai TPC yang lebih tinggi (27.47 ± 1.14 mg GAE/g ekstrak sampel) secara signifikan ($p < 0.05$) berbanding dengan pengeringan ketuhar. Hal ini disebabkan suhu pengeringan matahari yang lebih rendah dapat mendatangkan manfaat dalam mengekalkan sebatian antioksida yang sensitif haba. Tambahan lagi, daun segar *S. curtisii* menunjukkan TPC yang paling rendah (3.37 ± 0.37 mg GAE/g ekstrak sampel) secara signifikan ($p < 0.05$) berbanding dengan kaedah pengeringan yang lain. TPC yang lebih rendah dalam sampel daun segar mungkin disebabkan oleh kandungan lembapannya yang tinggi, yang menggalakkan tindak balas enzim serta mengakibatkan pengurangan antioksida (Farahmandfar et al. 2019).

AKTIVITI ANTIOKSIDA DAUN *S. curtisii*

Peratusan pemerangkapan radikal bebas DPPH ditunjukkan dalam Jadual 3. Pengeringan ketuhar

gelombang mikro menghasilkan peratusan pemerangkapan yang sangat tinggi ($p < 0.05$) berbanding dengan daun segar dan kaedah pengeringan lain. Hasil ini disokong oleh kajian Ariffah et al. (2019) yang menunjukkan bahawa ketuhar gelombang mikro menghasilkan aktiviti pemerangkapan radikal bebas DPPH tertinggi dalam daun *Stevia* (89.16%) berbanding dengan kaedah pengeringan yang lain. Tambahan lagi, menurut kajian Hayat (2020), peratusan pemerangkapan DPPH tertinggi (86.8%) diperoleh dalam daun pudina yang dikeringkan dalam ketuhar gelombang mikro 900 W secara signifikan ($p < 0.05$), diikuti oleh sampel yang dikeringkan oleh ketuhar pada suhu 50 °C (72.1%). Bagi kaedah pengeringan ketuhar pula, suhu 50 °C menghasilkan peratusan pemerangkapan DPPH daun *S. curtisii* ($65.46 \pm 0.48\%$) yang lebih tinggi secara signifikan ($p < 0.05$) berbanding dengan suhu 40 °C ($58.34 \pm 2.31\%$) dan suhu 60 °C ($46.61 \pm 0.80\%$). Menurut Managa, Sultanbawa dan Sivakumar (2020), proses pengeringan terma dapat meningkatkan sifat antioksida tumbuhan. Proses pengeringan dapat memusnahkan dinding sel dan membebaskan sebatian antioksida, seterusnya meningkatkan aktiviti antioksida (Mouhoubi et al. 2022). Walau bagaimanapun, pemanasan pada 65

°C memberi kesan negatif kepada aktiviti antioksidasi dalam produk makanan. Sebagai contoh, Norliza et al. (2021) telah menunjukkan bahawa pengeringan ketuhar pada suhu 80 °C menghasilkan peratusan pemerangkapan DPPH daun *Cosmos caudatus* yang lebih rendah ($76.26 \pm 2.46\%$) berbanding dengan suhu 40 °C ($87.33 \pm 0.46\%$). Kebanyakan sebatian antioksidasi akan berubah mengikut haba, oleh itu, pendedahan kepada suhu pengeringan yang tinggi akan memusnahkan sifatnya (Norliza et al. 2021). Pengeringan matahari menghasilkan peratusan pemerangkapan DPPH ($76.66 \pm 0.83\%$) yang lebih tinggi secara signifikan ($p < 0.05$) berbanding dengan pengeringan ketuhar. Kajian Ademiluyi et al. (2018) juga menunjukkan hasil yang sama, iaitu pengeringan matahari bagi daun *Moringa* mempunyai aktiviti pemerangkapan DPPH yang lebih tinggi ($p < 0.05$) berbanding dengan pengeringan ketuhar pada 40 °C. Peningkatan peratusan pemerangkapan DPPH oleh antioksidasi mungkin disebabkan oleh keupayaan untuk menyingkirkan radikal melalui pendermaan hidrogen. Dengan itu, dapat disimpulkan bahawa kaedah pengeringan mempunyai kesan yang signifikan terhadap aktiviti antioksidasi ekstrak daun yang menghasilkan nilai pemerangkapan antioksidasi yang berbeza (Alara et al. 2019).

Bagi aktiviti penurunan kuasa ferik (FRAP) *S. curtisii*, pengeringan ketuhar gelombang mikro pada kuasa 900 W menghasilkan nilai FRAP (1.39 ± 0.04 mg AEAC/g ekstrak sampel) yang paling tinggi ($p < 0.05$) berbanding dengan daun segar dan kaedah pengeringan yang lain. Keputusan ini diikuti oleh pengeringan ketuhar gelombang mikro pada 540 W (1.09 ± 0.02 mg AEAC/g ekstrak sampel) dan 720 W (1.16 ± 0.01 mg AEAC/g ekstrak sampel) secara signifikan ($p < 0.05$). Daun yang dikeringkan oleh ketuhar gelombang mikro menunjukkan keupayaan penurunan ion Fe^{3+} menjadi Fe^{2+} yang lebih baik berbanding dengan kaedah pengeringan yang lain (Ariffah et al. 2019). Hal ini dapat dikatakan demikian kerana pengeringan ketuhar gelombang mikro mewujudkan ketersediaan hidrogen dalam polifenol yang lebih baik dalam daun, seterusnya memaparkan aktiviti antioksidasi yang lebih tinggi (Borda-Yepes et al. 2018).

Pengeringan matahari menunjukkan nilai FRAP yang lebih tinggi (1.08 ± 0.04 mg AEAC/g ekstrak sampel) secara signifikan ($p < 0.05$) berbanding dengan ketuhar pada ketiga-tiga suhu yang berbeza. Hasil ini adalah sama dalam kajian Ademiluyi et al. (2018) yang menunjukkan bahawa daun *Moringa* yang dikeringkan oleh matahari mempunyai nilai FRAP yang lebih tinggi ($p < 0.05$) berbanding dengan daun yang dikeringkan oleh

ketuhar pada suhu 40 °C. Tambahan lagi, nilai FRAP daun *S. curtisii* bagi pengeringan ketuhar gelombang mikro 540 W dan matahari adalah tidak berbeza secara signifikan ($p > 0.05$). Hasil yang sama telah ditunjukkan dalam kajian Saifullah et al. (2019) dengan nilai FRAP daun limau *myrtles* yang dikeringkan oleh ketuhar gelombang mikro tidak meningkat secara signifikan ($p > 0.05$) berbanding dengan pengeringan matahari. Tahap aktiviti antioksidasi yang tinggi dalam ekstrak daun kering matahari boleh dikaitkan dengan tumbuhan yang mengalami perubahan perkembangan dan tindak balas yang disebabkan oleh tekanan akibat daripada sinaran cahaya matahari. Tumbuhan dapat mengesan kehilangan lembapan dan pendedahan ultraungu sebagai tekanan, seterusnya mendorong sintesis sebatian antioksidasi untuk memperbaiki tisu yang rosak dan sebagai tindak balas pertahanan daripada kecederaan (Mustafa et al. 2019). Selain itu, nilai FRAP daun *S. curtisii* yang dikeringkan oleh ketuhar pada suhu 50 °C (0.94 ± 0.02 mg AEAC/g ekstrak sampel) adalah lebih tinggi ($p < 0.05$) berbanding dengan suhu 60 °C (0.70 ± 0.02 mg AEAC/g ekstrak sampel). Pengewapan air pada suhu yang tinggi akan menyumbang kepada pengoksidaan yang berpotensi daripada pengeringan, selanjutnya memusnahkan sebatian antioksidasi dalam daun (Neoh, Matanjun & Lee 2021). Tambahan lagi, pengeringan yang lama di bawah keadaan terma boleh membawa kepada degradasi antioksidasi, seperti sebatian fenol, seterusnya menjejaskan aktiviti antioksidannya (Siti Mahirah, Rabeta & Raiya Adiba 2018).

Pengeringan ketuhar gelombang mikro pada ketiga-tiga kuasa menunjukkan nilai peratusan pemerangkapan ABTS yang sangat tinggi ($p < 0.05$) berbanding dengan daun segar *S. curtisii* dan kaedah pengeringan yang lain. Namun, tiada perbezaan yang signifikan ($p > 0.05$) bagi peratusan pemerangkapan ABTS antara kuasa 540 W ($92.91 \pm 0.23\%$), 720 W ($93.26 \pm 0.10\%$) dan 900 W ($94.14 \pm 0.20\%$). Keputusan yang sama telah ditunjukkan dalam kajian Saifullah et al. (2021), di mana nilai pemerangkapan ABTS daun *Leptospermum petersonii* yang dikeringkan oleh ketuhar gelombang mikro pada 720 W dan 960 W adalah tidak berbeza secara signifikan ($p > 0.05$). Aktiviti air yang rendah dalam daun yang dikeringkan oleh ketuhar gelombang mikro dapat menyahaktifkan tindak balas enzim seperti polifenol oksidase. Dengan itu, sebatian antioksidasi dan bioaktif dapat terlindung dalam daun kering tersebut (Ariffah et al. 2019). Selain itu, peratusan pemerangkapan ABTS daun *S. curtisii* yang dikeringkan oleh matahari ($90.06 \pm 0.29\%$) juga tidak berbeza secara signifikan ($p > 0.05$) dengan pengeringan ketuhar gelombang mikro. Mustafa

et al. (2019) mengatakan bahawa proses biokimia dalam tumbuhan, tekanan alam sekitar seperti kehilangan lembapan dan sinaran semula jadi daripada cahaya matahari akan mengaktifkan laluan metabolit sekunder pelindung yang menghasilkan antioksidan biosintesis.

Di samping itu, peratusan pemerangkapan ABTS daun *S. curtisii* yang dikeringkan oleh ketuhar adalah lebih rendah ($p < 0.05$) berbanding dengan kaedah lain. Pengerangan ketuhar pada suhu $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ menghasilkan aktiviti antioksidan yang lebih tinggi ($85.23 \pm 1.88\%$) secara signifikan ($p < 0.05$) berbanding dengan suhu $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($71.55 \pm 1.56\%$), diikuti oleh suhu $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($44.50 \pm 2.92\%$). Menurut kajian Benjamin et al. (2022), kaedah pengeringan ketuhar pada suhu $40\text{--}60\text{ }^{\circ}\text{C}$ disyorkan untuk mengeringkan herba. Kajian beliau juga menjelaskan bahawa aktiviti antioksidan tertinggi dalam sampel yang dikeringkan oleh ketuhar adalah pada $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Peningkatan suhu ketuhar dan kuasa *output* ketuhar gelombang mikro akan meningkatkan aktiviti antioksidan daun *S. curtisii*. Sim dan Nyam (2019) menjelaskan bahawa pembebasan sebatian fitokimia terikat daripada pecahan unsur sel dan pembentukan sebatian baharu dapat meningkatkan penghasilan antioksidan yang berpotensi. Namun begitu, penggunaan suhu atau kuasa yang melebihi keadaan optimum akan menurunkan aktiviti antioksidan dan mengakibatkan kemerosotan sebatian antioksidan (Hihat, Remini & Madani 2017). Rawatan haba yang tinggi boleh menyebabkan perubahan dalam struktur kimia polifenol dan menyebabkan ia melekat bersama komponen tumbuhan lain seperti protein, seterusnya menyukarkan proses pengekstrakan antioksidan daripada daun (Sim & Nyam 2019).

KORELASI ANTARA KANDUNGAN FENOL DENGAN AKTIVITI ANTIOKSIDA DALAM DAUN *S. curtisii*

Jadual 4 menunjukkan korelasi antara ujian TPC dan ujian aktiviti antioksidan (DPPH, FRAP dan ABTS). Terdapat kolerasi positif yang tinggi secara signifikan ($p < 0.05$) antara kaedah TPC dengan semua aktiviti antioksidan. Kolerasi antara kaedah TPC dengan FRAP telah menunjukkan nilai yang tertinggi ($r = 0.948$), diikuti dengan kolerasi antara kaedah TPC dengan DPPH ($r = 0.924$) dan ABTS ($r = 0.776$). Hasil kajian ini adalah sama dengan kajian Saifullah et al. (2021) yang telah melaporkan kolerasi positif yang kuat ($p < 0.05$) antara TPC dengan aktiviti antioksidan bagi ekstrak daun limau *myrtles*. Korelasi yang baik ini menunjukkan kemungkinan besar aktiviti antioksidan adalah disebabkan oleh sebatian fenol di dalam daun *S. curtisii* (Ariffah et al. 2019). Hasil kajian ini juga menunjukkan bahawa peningkatan dalam jumlah kandungan fenol dalam daun kering *S. curtisii* berbanding dengan daun segar mempunyai tren yang sama seperti diperhatikan dalam analisis aktiviti antioksidan. Sebatian fenol telah dilaporkan mempunyai potensi untuk memerangkap radikal bebas (John et al. 2017). Selain itu, DPPH dan FRAP juga menunjukkan kolerasi positif dengan nilai $r = 0.951$ secara signifikan ($0 < 0.05$). Korelasi yang kuat ini menunjukkan bahawa sebatian yang ada dalam ekstrak daun *S. curtisii* bukan sahaja dapat memerangkap radikal bebas, malah dapat mengurangkan ion ferik. Di samping itu, sebatian fenol mengandungi sekurang-kurangnya satu cincin aromatik (C6) yang mengandungi satu atau lebih kumpulan hidroksil. Ini membolehkan mereka bertindak sebagai agen penurunan, penderma hidrogen dan pemadam oksigen singlet dalam tumbuhan (Lasano et al. 2018).

JADUAL 4. Korelasi Pearson bagi nilai $p < 0.05$ antara kandungan fenol dengan aktiviti antioksidan dalam daun *S. curtisii* yang dikeringkan dengan kaedah pengeringan berbeza

Pekali korelasi (r)	TPC	DPPH	FRAP	ABTS
TPC	-	0.924*	0.948*	0.776*
DPPH	0.924*	-	0.951*	0.948*
FRAP	0.948*	0.951*	-	0.893*
ABTS	0.776*	0.948*	0.893*	-

* Simbol menunjukkan signifikan pada $p < 0.05$

KESIMPULAN

Berdasarkan kajian yang dijalankan, pengeringan ketuhar gelombang mikro pada kuasa *output* 900 W merupakan kaedah yang paling sesuai dan berkesan untuk mengeringkan daun *S. curtisii*. Bagi ujian penentuan warna, pengeringan ketuhar gelombang mikro pada ketiga-tiga kuasa membawa perubahan warna yang minimum kepada daun *S. curtisii*. Bagi ujian penentuan nilai pH, pengeringan ketuhar gelombang mikro pada kuasa 900 W menunjukkan peningkatan nilai pH yang paling minimum dalam daun *S. curtisii*. Pengeringan ketuhar gelombang mikro pada kuasa 900 W menghasilkan kandungan fenol, serta aktiviti antioksidan DPPH, FRAP dan ABTS yang paling tinggi dalam *S. curtisii*. Tambahan lagi, terdapat kolerasi positif yang tinggi antara kandungan fenol dengan aktiviti antioksidan DPPH, FRAP dan ABTS bagi daun *S. curtisii* yang dikeringkan dengan kaedah pengeringan berbeza.

PENGHARGAAN

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

RUJUKAN

- Ademiluyi, A.O., Aladeselu, O.H., Oboh, G. & Boligon, A.A. 2018. Drying alters the phenolic constituents, antioxidant properties, alpha-amylase, and alpha-glucosidase inhibitory properties of Moringa (*Moringa oleifera*) leaf. *Food Science & Nutrition* 6(8): 2123-2133.
- Alara, O.R., Abdurahman, N.H., Abdul Mudalip, S.K. & Olalere, O.A. 2019. Effect of drying methods on the free radicals scavenging activity of *Vernonia amygdalina* growing in Malaysia. *Journal of King Saud University - Science* 31(4): 495-499.
- Alara, O.R., Abdurahman, N.H., Abdul Mudalip, S.K. & Olalere, O.A. 2017. Characterization and effect of extraction solvents on the yield and total phenolic content from *Vernonia amygdalina* leaves. *Journal of Food Measurement and Characterization* 12(1): 311-316.
- Altay, K., Hayaloglu, A.A. & Dirim, S.N. 2019. Determination of the drying kinetics and energy efficiency of purple basil (*Ocimum basilicum* L.) leaves using different drying methods. *Heat and Mass Transfer* 55(8): 2173-2184.
- Ariffah, A.H., Zamzahaila, M.Z., Aidilla, M. & Fauziah, T.A. 2019. Effect of different drying methods on antioxidant properties, stevioside and rebaudioside A content of stevia (*Stevia rebaudiana* bertoni) leaves. *Asian Journal of Agriculture and Biology* 7(1): 61-68.
- Ariffah, A.H., Fauziah, T.A. & Zamzahaila, M.Z. 2017. Effect of drying methods on physicochemical activity of stevia leaves. *Conference Paper on Proceeding Postgraduate Seminar 2017*. Organised by School of Food Science and Technology Universiti Malaysia Terengganu. Terengganu, Malaysia.
- Babu, A.K., Kumaresan, G., Raj, V.A.A. & Velraj, R. 2018. Review of leaf drying: Mechanism and influencing parameters, drying methods, nutrient preservation, and mathematical models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 90: 536-556.
- Benjamin, M.A.Z., Ng, S.Y., Saikim, F.H. & Rusdi, N.A. 2022. The effects of drying techniques on phytochemical contents and biological activities on selected bamboo leaaves. *Molecules* 27(19): 6458.
- Borda-Yepes, V.H., Farid, C., Daza-Olivella, L.V., Alzate-Arbelaez, A.F., Rojano, B.A. & Raghavan, V.G.S. 2018. Effect of microwave and infrared drying over polyphenol content in *Vaccinium meridionale* (Swartz) dry leaves. *Journal of Food Process Engineering* 42(1): e12939.
- Chen, J., Liu, S., Hou, Y., Luo, Y. & Han, W. 2022. Determination of leaf pH without grinding the sample: Is it closer to the reality? *Forests* 13(10): 1640-1650.
- Ebert, T.A., Backus, E.A., Shugart, H.J. & Rogers, M.E. 2018. Behavioural plasticity in probing by *Diaphorina citri* (Hemiptera, Liviidae): Ingestion from phloem versus xylem is influenced by lead age and surface. *Journal of Insect Behavior* 31(2): 119-137.
- Farahmandfar, R., Tirgarian, B., Dehghan, B. & Nemati, A. 2019. Comparison of different drying methods on bitter orange (*Citrus aurantium* L.) peel waste: Changes in physical (density and color) and essential oil (yield, composition, antioxidant and antibacterial) properties of powders. *Journal of Food Measurement and Characterization* 14(2): 862-875.
- Guo, J., Wu, Y.Q., Wang, G.B., Wang, T.L. & Cao, F.L. 2020. Integrated analysis of the transcriptome and metabolome in young and mature leaves of *Ginkgo biloba* L. *Industrial Crops and Products* 143: 111906.
- Hayat, K. 2020. Impact of drying methods on the functional properties of peppermint (*Mentha piperita* L.) leaves. *Science Letters* 8(1): 36-42.
- Hihat, S., Remini, H. & Madani, K. 2017. Effect of oven and microwave drying on phenolic compounds and antioxidant capacity of coriander leaves. *International Food Research Journal* 24(2): 503-509.
- Iwansyah, A.C., Manh, T.D., Andriana, Y., Aiman, H.M., Kormin, F., Cuong, D.X., Nguyen, X.H., Hoang, T.H., Dang, T.Y., Thinh, P.V., Lam, T.H. & Truong, N.M. 2020. Effects of various drying methods on selected physical and antioxidant properties of extracts from *Moringa oliefera* leaf waste. *Sustainability* 12(20): 8586-8598.
- John, B., Perpetual, Y., Damian, L. & Collins, Q. 2017. Effect of drying methods on phytochemicals, antioxidant activity and total phenolic content of dandelion leaves. *American Journal of Food and Nutrition* 5(4): 136-141.

- Kittibunchakul, S., Hudthagosol, C., Sanporkha, P., Sapwarabol, S., Suttisansanee, U. & Sahasakul, Y. 2022. Effects of maturity and thermal treatment on phenolic profiles and *in vitro* health-related properties of Sacha inchi leaves. *Plants* 11(11): 1515.
- Klungboonkrong, V. & Phoungchandang, S. 2018. Microwave drying characteristics and qualities of dried *Orthosiphon aristatus* leaves. *Asia-Pacific Journal of Science and Technology* 23(1): APST-23.
- Lasano, N.F., Rahmat, A., Ramli, N.S. & Abu Bakar, M.F. 2018. Effect of oven and microwave drying on polyphenols content and antioxidant capacity of herbal tea from *Strobilanthes crispus* leaves. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research* 11(6): 363-368.
- Liu, Y.Q., Shen, Y., Teng, L., Yang, L.F., Cao, K., Fu, Q. & Zhang, J. 2021. The traditional uses, phytochemistry, and pharmacology of *Stemona* species: A review. *Journal of Ethnopharmacology* 265: 113112.
- Mali, S.B. & Butale, M.C. 2019. A review paper on different drying methods. *International Journal of Engineering Research & Technology* 8(5): 211-216.
- Managa, M.G., Sultanbawa, Y. & Sivakumar, D. 2020. Effects of different drying methods on untargeted phenolic metabolites, and antioxidant activity in chinese cabbage (*Brassica rapa* L. subsp. *Chinensis*) and nightshade (*Solanum retroflexum* Dun.). *Molecules* 25(60): 1326-1349.
- Miraei Ashtiani, S.H., Sturm, B. & Nasirahmadi, A. 2017. Effects of hot-air and hybrid hot-air microwave drying on drying kinetics and textural quality of nectarine slices. *Heat and Mass Transfer* 54(4): 915-927.
- Mohammadipour, N. & Souri, M.K. 2019. Beneficial effects of glycine on growth and leaf nutrient concentrations of coriander (*Coriandrum sativum*) plants. *Journal of Plant Nutrition* 42(14): 1637-1644.
- Mouhoubi, K., Boulekbache-Makhlouf, L., Mehaba, W., Himed-Idir, H. & Madani, K. 2022. Convective and microwave drying of coriander leaves: Kinetics characteristics and modeling, phenolic contents, antioxidant activity, and principal component analysis. *Journal of Food Process Engineering* 45(1): e13932.
- Mustafa, I., Chin, N.L., Fakurazi, S. & Palanisamy, A. 2019. Comparison of phytochemicals, antioxidant and anti-inflammatory properties of sun-, oven- and freeze-dried ginger extracts. *Foods* 8(10): 456-467.
- Nascimento, L.D.D., Silva, S.G., Cascaes, M.M., Costa, K.S.D., Figueiredo, P.L.B., Costa, C.M.L., Andrade, E.H.A. & De Faria, L.J.G. 2021. Drying effects on chemical composition and antioxidant activity of *Lippia thymoides* essential oil, a natural source of thymol. *Molecules* 26(9): 2621-2634.
- Nayak, P.K., Mohan, C.C. & Radhakrishnan, K. 2018. Effect of microwave pretreatment on the color degradation kinetics in mustard greens (*Brassica juncea*). *Chemical Engineering Communications* 205(9): 1261-1273.
- Neoh, Y.Y., Matanjun, P. & Lee, J.S. 2021. Effects of various drying processes on Malaysian brown seaweed, *Sargassum polycystum* pertaining to antioxidants content and activity. *Transactions on Science and Technology* 8(1): 25-37.
- Nguyen Q.V. & H.V. Chuyen 2020. Processing of herbal tea from Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.): Effects of drying temperature and brewing conditions on total soluble solid, phenolic content, antioxidant capacity and sensory quality. *Beverages* 6(1): 2-11.
- Norliza, A.L., Abdullah Luqman, C., Ong, P.Y., Embi, K. & Malek, S.A. 2021. The influence of drying temperature on the quality, morphology and drying characteristics of *Cosmos caudatus*. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering* 991(1): 012038.
- Nyo, A.M.T., Win, A. & Phyu, S. 2019. Study on phytochemical constituents and evaluation of radical scavenging activity of Myanmar traditional medicinal plant *Stemona curtisii* Hook F. *International Journal of Research & Review* 6(8): 393-398.
- Orphanides, A., Goulas, V. & Gekas, V. 2015. Drying technologies: Vehicle to high-quality herbs. *Food Engineering Reviews* 8(2): 164-180.
- Qu, F., Zhu, X., Ai, Z., Ai, Y., Qiu, F. & Ni, D. 2019. Effect of different drying methods on the sensory quality and chemical components of black tea. *LWT- Food Science and Technology* 99: 112-118.
- Raja, K.S., Taip, F.S., Azmi, M.M.Z. & Shishir, M.R.I. 2019. Effect of pre-treatment and different drying methods on the physicochemical properties of *Carica papaya* L. leaf powder. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 18(2): 150-156.
- Saifullah, M., Mccullum, R., McCluskey, A. & Van Vuong, Q. 2021. Effect of drying techniques and operating conditions on the retention of color, phenolics, and antioxidant properties in dried lemon scented tea tree (*Leptospermum petersonii*) leaves. *Journal of Food Processing and Preservation* 45(3): e15257.
- Saifullah, M., Mccullum, R., McCluskey, A. & Van Vuong, Q. 2019. Effects of different drying methods on extractable phenolic compounds and antioxidant properties from lemon myrtle dried leaves. *Heliyon* 5(12): e03044.
- Siakeng, R., Jawaid, M., Asim, M. & Siengchin, S. 2020. Accelerated weathering and soil burial effect on biodegradability, colour and texture of coir/pineapple leaf fibres/PLA biocomposites. *Polymers (Basel)* 12(2): 458-472.
- Sim, Y.Y. & Nyam, K.L. 2019. Effect of different drying methods on the physical properties and antioxidant activities of *Hibiscus cannabinus* leaves. *Journal of Food Measurement and Characterization* 13(2): 1279-1286.
- Siti Mahirah, M.Y., Rabeta, M.S. & Raiya Adiba, A. 2018. Effects of different drying methods on the proximate composition and antioxidant activities of *Ocimum basilicum* leaves. *Food Research* 2(5): 421-428.

- Thamkaew, G., Sjöholm, I. & Galindo, F.G. 2021. A review of drying methods for improving the quality of dried herbs. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 61(11): 1763-1786.
- Tomasi, J.D.C., De Lima, G.G., Wendling, I., Helm, C.V., Hansel, F.A., De Godoy, R.C.B., Grunennvaldt, R.L., De Melo, T.O., Tomazzoli, M.M. & Deschamps, C. 2021. Effects of different drying methods on the chemical, nutritional and colour of yerba mate (*Ilex paraguariensis*) leaves. *International Journal of Food Engineering* 17(7): 551-560.
- Ulewicz-Magulska, B. & Wesolowski, M. 2019. Total phenolic contents and antioxidants potential of herbs used for medical and culinary purposes. *Plant Foods for Human Nutrition* 74(1): 61-67.
- Wan Najiyah Hanun, W.N., Nurul Najiha Ain, I., Woon, K.H., Azliana, A.B.S., Noor-Soffalina, S-S., Wan Aida, W.M. & Hafeedza, A.R. 2021. Effects of different drying methods and solvents on biological activities of *Curcuma aeruginosa* leaves extract. *Sains Malaysiana* 50(8): 2207-2218.
- Wojdylo, A., Figiel, A., Lech, K. Nowieka, P. & Oszmiański, J. 2014. Effect of convective and vacuum-microwave drying on the bioactive compounds, color, and antioxidants capacity of sour cherries. *Food and Bioprocess Technology* 7: 829-841.
- Yilmaz, P., Demirhan, E. & Özbek, B. 2021. Microwave drying effect on drying characteristic and energy consumption of *Ficus carica* Linn leaves. *Journal of Food Process Engineering* 44(10): 1-21.

*Corresponding author; email: haslaniza@ukm.edu.my