

PENGARUH VARIASI WAKTU EKSTRAKSI TERHADAP RENDEMEN DAN TOTAL KURKUMINOID EKSTRAK ETANOL 96% TEMU GIRING (*Curcuma heyneana*) MENGGUNAKAN METODE MICROWAVE-ASSISTED EXTRACTION

EFFECT OF EXTRACTION TIME VARIATION ON THE YIELD AND TOTAL CURCUMINOID CONTENT OF 96% ETHANOL EXTRACT OF *Curcuma heyneana* OBTAINED BY MICROWAVE-ASSISTED EXTRACTION

Mutia Nur Oktavia, Fajar Jamaluddin Sandhori, Hanif Rifqi Prasetyawan*

Department of Pharmacy, Faculty of Science and Health

Universitas PGRI Adi Buana Surabaya

Jl. Dukuh Menanggal XII Kota Surabaya, Telp (031) 8281181

* Corresponding author, tel/fax: (031) 828118, email: prasetyawan@unipasby.ac.id

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi waktu ekstraksi terhadap rendemen dan kadar total kurkuminoid ekstrak etanol 96% temu giring (*Curcuma heyneana*) menggunakan metode Microwave-Assisted Extraction (MAE). Proses ekstraksi dilakukan dengan empat variasi waktu yaitu 20, 60, 120, 150 detik menggunakan microwave 800 watt dengan perbandingan pelarut 1:10 (b/v). Rendemen dihitung berdasarkan total padatan, sedangkan kadar total kurkuminoid ditetapkan menggunakan spektrofotometri UV-Vis pada panjang gelombang maksimum 469 nm. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan rendemen dari 2.40% (20 detik) menjadi 7.52% (150 detik) dan kadar kurkuminoid dari 2.3962 µg/mL menjadi 5.9593 µg/mL. Analisis statistik menunjukkan perbedaan signifikan antar perlakuan (**** $p < 0,0001$). Berdasarkan rentang yang diuji waktu 150 detik merupakan kondisi optimum karena mampu memaksimalkan ruptur sel dan difusi pelarut tanpa menurunkan stabilitas termal kurkuminoid. Dengan demikian, durasi ekstraksi menjadi faktor kunci dalam optimasi ekstraksi temu giring berbasis teknologi hijau.

Kata kunci: MAE, rendemen, kurkuminoid, waktu ekstraksi, obat

Abstract. This study aimed to evaluate the effect of extraction time variations on the yield and total curcuminoids of 96% ethanol extract of temu giring (*Curcuma heyneana*) using the Microwave-Assisted Extraction (MAE) method. Extraction was performed at 20, 60, 120, and 150 seconds using an 800-watt microwave with a 1:10 (w/v) solvent ratio. Yield was calculated based on total solids, while total curcuminoids were quantified using UV-Vis spectrophotometry at 469 nm. The results showed an increase in yield from 2.40% (20 s) to 7.52% (150 s) and total curcuminoids from 2.3962 µg/mL to 5.9593 µg/mL. Statistical analysis indicated a significant difference between treatments (**** $p < 0,0001$). Based on the tested time range 150-second extraction time was identified as optimum, maximizing cell rupture and solvent diffusion without compromising thermal stability of curcuminoids. Thus, extraction time plays a key role in optimizing green extraction of temu giring.

Key words: MAE, yield, curcuminoids, extraction time, medicine

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara beriklim tropis yang memiliki keanekaragaman hayati sangat tinggi dan termasuk dalam kelompok *megadiverse countries*, yaitu negara-negara yang memiliki kekayaan spesies flora dan fauna terbesar di dunia. Kondisi tersebut menjadikan Indonesia

kaya akan berbagai tanaman obat yang telah lama dimanfaatkan dalam praktik pengobatan tradisional. Salah satu tanaman obat yang digunakan secara empiris oleh masyarakat Indonesia adalah temu giring. Temu giring (*Curcuma heyneana* Val. dan Ziiip), termasuk dalam keluarga *Zingiberaceae*, tanaman ini

digunakan untuk mengobati masalah kulit dan sebagai obat penurun demam [1]. Selain itu, tanaman ini juga dimanfaatkan dalam pembuatan jamu khusus wanita karena khasiatnya dalam menjaga kebersihan dan mencerahkan kulit [2].

Secara fitokimia, temu giring mengandung golongan senyawa kurkuminoid sebagai komponen utama, terdiri dari kurkumin, demetoksikurkumin, dan bisdemetoksikurkumin. Golongan senyawa ini berperan penting secara farmakologis sebagai antioksidan, antiinflamasi, antikanker, dan hepatoprotektif [3]. Santoso *et al.* (2024) melaporkan bahwa ekstrak etanol temu giring mengandung total kurkuminoid sebesar 4,52% (b/b) terhadap total padatan dan menunjukkan aktivitas sitotoksik kuat terhadap sel kanker hati JHH-4 ($IC_{50}=16,62 \mu\text{g/mL}$) [4]. Kandungan senyawa aktif tersebut menjadikan temu giring berpotensi untuk dikembangkan sebagai bahan baku fitofarmaka.

Efisiensi perolehan senyawa aktif dari tanaman sangat ditentukan oleh proses ekstraksi dimana berbagai parameter seperti jenis pelarut, suhu, ukuran partikel, dan waktu ekstraksi berperan besar terhadap rendemen dan kadar senyawa bioaktif yang dihasilkan [5]. Di antara parameter tersebut, waktu ekstraksi menjadi faktor krusial yang mempengaruhi kesetimbangan difusi antara pelarut dan senyawa target. Waktu ekstraksi yang terlalu singkat dapat menyebabkan pelarutan senyawa aktif tidak optimal, sedangkan waktu terlalu lama berpotensi menurunkan stabilitas senyawa termolabil seperti kurkuminoid akibat degradasi termal [6].

Metode ekstraksi konvensional seperti maserasi dan sokletasi umumnya membutuhkan waktu yang lama (6-12 jam) serta volume pelarut besar, sehingga kurang efisien dan berisiko terhadap degradasi senyawa [5]. Seiring perkembangan teknologi, metode *Microwave-Assisted Extraction (MAE)* mulai banyak digunakan karena mampu mempersingkat waktu proses menjadi hanya beberapa detik tanpa mengurangi hasil ekstraksi.

Prinsip kerja *MAE* didasarkan pada pemanasan cepat menggunakan gelombang mikro (300 MHz-300 GHz) yang menyebabkan rotasi dipol dan konduksi ionik sehingga menghasilkan tekanan intraseluler tinggi dan mempercepat pelepasan senyawa aktif dari matriks tanaman [7].

Beberapa studi menunjukkan bahwa variasi waktu ekstraksi pada *MAE* memberikan pengaruh signifikan terhadap komposisi dari

ekstrak. Septiana & Wuryatmo (2022) melaporkan bahwa ekstraksi *Curcuma xanthorrhiza* menggunakan *MAE* dengan waktu 5, 7, dan 9 menit menghasilkan aktivitas antioksidan dan kadar kurkumin tertinggi pada waktu 7 menit, hal ini membuktikan bahwa adanya perbedaan waktu akan mempengaruhi hasil komposisi ekstrak sehingga mempengaruhi aktivitas suatu ekstrak [6]. Hal ini juga diperkuat hasil penelitian oleh Yaman *et al.* (2025) yang menyebutkan bahwa dengan waktu ekstraksi 30 menit diperoleh kadar kurkumin tertinggi sebelum menurun pada waktu yang lebih lama [8]. Hal ini menunjukkan bahwa durasi ekstraksi yang tepat merupakan salah satu faktor yang berpengaruh dalam menghasilkan ekstrak dengan kandungan senyawa aktif optimal.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini difokuskan untuk mengkaji pengaruh variasi waktu ekstraksi terhadap rendemen dan kadar total kurkuminoid ekstrak etanol 96% temu giring menggunakan metode *MAE*. Penelitian ini ditujukan untuk membuktikan apakah ada pengaruh waktu ekstraksi terhadap komposisi ekstrak khususnya pada golongan senyawa kurkuminoid, dan menentukan waktu ekstraksi optimum yang mampu menghasilkan rendemen tertinggi dan kadar kurkuminoid maksimal tanpa menurunkan kestabilan senyawa aktif. Hasilnya diharapkan menjadi dasar ilmiah dalam optimasi proses ekstraksi berbasis teknologi hijau serta pengembangan bahan baku fitofarmaka dari temu giring secara efisien dan berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Bahan

Beberapa bahan yang digunakan pada penelitian ini serbuk simplisia Temu Giring dari UPT Laboratorium Herbal Materia Medica Batu dengan *Certificate of Analysis (COA)* untuk membuktikan keaslian tanaman dengan nomor COA No. 400.7.29.2/1438/102.20/2025 dan nomor bets 231106.TGR.L.KJY.002 dan bahan kimia etanol 96%, metanol, dan baku standar kurkuminoid merk millipore.

Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah Microwave, beaker glass, Erlenmeyer, corong kaca, kertas saring, timbangan analitik, labu ukur, piknometer, mikropipet, dan spektrofotometri UV-Vis shimadzu UV Vis 1280.

Prosedur Penelitian

Proses Ekstraksi Temu Giring

Sebanyak 10 gram serbuk simplisia temu giring dimasukkan dalam beaker glass, kemudian ditambahkan etanol 96% dengan perbandingan 1:10 (b/v) sehingga diperoleh volume pelarut 100 mL. Campuran diaduk hingga homogen, lalu diekstraksi menggunakan metode *Microwave-Assisted Extraction (MAE)* dengan frekuensi gelombang mikro 2,45 GHz pada tekanan atmosfer dengan daya maksimum 800 W pada empat macam waktu yang berbeda, yaitu 20, 60, 120, 150 detik. Setelah proses ekstraksi dilakukan penyaringan dan pengukuran volume ekstrak cair yang didapatkan.

Pengukuran Total Solid

Pengukuran total *solid* memakai prinsip perhitungan berat jenis menggunakan piknometer. Piknometer kosong ditimbang, kemudian diisi dengan etanol dan ekstrak secara terpisah untuk setiap sampel, masing-masing dilakukan tiga kali replikasi. Nilai BJ dihitung menggunakan rumus:

$$BJ = \frac{(bb \text{ etanol} - bb \text{ ekstrak})}{\text{volume piknometer}}$$

Hasil BJ dikalikan dengan volume ekstrak cair untuk memperoleh total padatan, lalu dibagi dengan bobot awal serbuk simplisia (10 gram) dan dikali 100% untuk memperoleh presentase rendemen.

Pengukuran Kadar Total Kurkuminoid

Sebanyak 50 mg baku standart kurkuminoid dilarutkan dengan 50 ml metanol dalam labu ukur. Kemudian dibuat larutan baku kerja dengan konsentrasi 2, 3, 4, 5, 6, 7 ppm. Dilakukan penentuan panjang gelombang maksimum menggunakan spektrofotometri UV-Vis, lalu dilakukan pengukuran absorbansi larutan baku kerja untuk memperoleh kurva kalibrasi dan persamaan regresi linier. Untuk sampel ekstrak, masing-masing dipipet sebanyak 2 mL, kemudian ditambahkan metanol hingga 10 mL dalam labu ukur. Setiap sampel ekstrak diukur pada panjang gelombang maksimum dalam tiga kali replikasi untuk masing-masing variasi waktu ekstraksi.

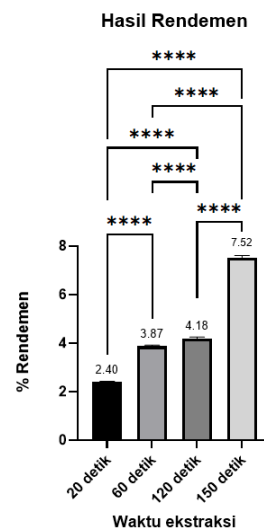
Analisis Hasil

Nilai kadar total kurkuminoid dihitung menggunakan persamaan regresi linier yang

diperoleh dari kurva standar. Data hasil pengukuran dianalisis menggunakan uji homogenitas dan uji normalitas, kemudian dilanjutkan dengan *One Way ANOVA* dan uji post hoc untuk menentukan adanya perbedaan signifikan antar perlakuan waktu ekstraksi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Rendemen Ekstrak



Gambar 1. Hasil nilai rendemen ekstraksi temugiring metode MAE

Gambar 1 menunjukkan hasil perbandingan rendemen ekstrak temu giring (*Curcuma heyneana*) pada variasi waktu ekstraksi 20, 60, 120, dan 150 detik menggunakan metode MAE. Teramati bahwa terjadi peningkatan rendemen yang signifikan seiring bertambahnya waktu ekstraksi. Nilai rendemen yang diperoleh masing-masing adalah $2.40 \pm 0.02\%$ (20 detik), $3.87 \pm 0.04\%$ (60 detik), $4.18 \pm 0.06\%$ (120 detik), dan mencapai $7.52 \pm 0.08\%$ (150 detik). Uji statistik menunjukkan bahwa peningkatan rendemen antar tiap waktu signifikan berbeda secara statistik dengan nilai $****p < 0.0001$.

Peningkatan rendemen diakibatkan oleh mekanisme kerja MAE, dengan menggunakan energi gelombang mikro untuk mempercepat lisis dinding sel pada matriks tanaman, sehingga pelepasan senyawa aktif ke dalam pelarut berlangsung lebih efektif [10]. Hal ini dibuktikan dengan peningkatan rendemen dari 2.40% menjadi 7.52% yang menunjukkan adanya kenaikan rendemen sebesar 5.12% [11]. Data tersebut

mengindikasikan bahwa variasi waktu ekstraksi dengan metode MAE berpengaruh signifikan terhadap efisiensi pelepasan senyawa aktif dari temu giring. Peningkatan rendemen tersebut juga dibuktikan dengan penelitian yang dilakukan Samanta *et al* 2023 yang membuktikan peningkatan rendemen pada tanaman *Oroxylum indicum* L hingga 70% lebih tinggi dibandingkan ekstraksi secara konvensional [16].

Puncak rendemen tertinggi pada waktu 150 detik, hal ini menunjukkan bahwa proses ekstraksi berjalan dengan optimal. Namun perlu diperhatikan perpanjangan waktu secara berlebihan dapat meningkatkan resiko degradasi termal pada senyawa bioaktif, seperti contoh senyawa fenolik, dikarenakan sensitive terhadap panas [13]. Beberapa literatur menunjukkan bahwa waktu ekstraksi apabila melebihi batas optimum menyebabkan degradasi fenolik akibat pengaruh paparan suhu tinggi yang terus menerus, sehingga menghasilkan penurunan rendemen dan aktivitas farmakologinya [12].

Hal tersebut juga dipertegas dengan adanya penelitian dari Mokaizh 2024 yang mengevaluasi kestabilan termal senyawa fenolik dalam ekstraksi MAE dan menemukan bahwa waktu ekstraksi yang lebih lama mengakibatkan penurunan kadar flavonoid akibat dari konversi senyawa aktif yang terdegradasi [9]. Fenomena ini menegaskan adanya kompromi antara peningkatan rendemen ekstraksi dan risiko degradasi senyawa bioaktif apabila durasi proses melebihi batas optimal [15].

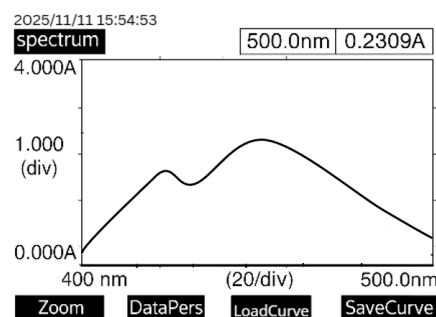
Penentuan kadar total kurkuminoid

Penetapan kadar total kurkuminoid sebagai metabolit sekunder dalam sediaan ekstrak temugiring merupakan indikator fundamental dalam kontrol kualitas dan penerapan standar farmasi guna menjamin mutu, dan efektivitas ekstrak secara konsisten [17].

Penetapan kadar kurkuminoid dapat dilakukan menggunakan metode Spektrofotometri ultraviolet–tampak (UV-Vis). Metode analitik tersebut secara luas diadopsi dalam penetapan kandungan zat aktif karena karakteristiknya yang praktis, efisien dari segi waktu, serta ekonomis dalam aspek operasional [19]. Dalam penelitian ini, pendekatan spektrofotometri digunakan untuk melakukan kuantifikasi total kurkuminoid, dengan penentuan panjang gelombang maksimum (λ_{maks}) secara empiris. Sejumlah studi sebelumnya menunjukkan bahwa λ_{maks}

kurkuminoid berada dalam rentang 400–500 nm, tergantung pada jenis pelarut yang digunakan serta karakteristik lingkungan kimiawi selama analisis [20].

Gambar 2 menunjukkan hasil analisis panjang gelombang maksimum total kurkuminoid berada pada **469 nm**, yang menandakan adanya interaksi optimal antara kurkuminoid dan pelarut yang digunakan. Nilai ini sesuai dengan sejumlah temuan sebelumnya yang juga melaporkan λ_{maks} kurkuminoid dalam kisaran 425–470 nm, tergantung jenis pelarut dan kondisi analisis [21].

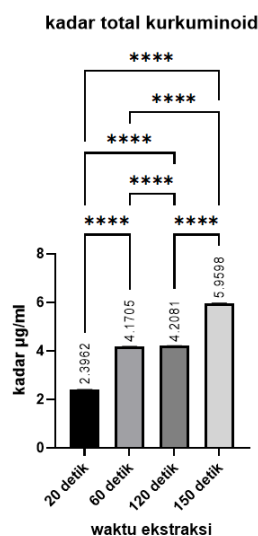


Gambar 2. Spektra Panjang gelombang maksimal standard kurkuminoid 469 nm

Pergeseran spektrum serapan maksimum ke arah panjang gelombang yang lebih tinggi, seperti yang teramati pada 469 nm dapat dijelaskan melalui pendekatan teori orbital molekul. Transisi elektronik $\pi \rightarrow \pi^*$ dalam sistem kurkuminoid dipengaruhi oleh tingkat konjugasi kromofor aromatik, serta konsentrasi senyawa, yang secara kolektif dapat meningkatkan efisiensi transisi dan menyebabkan pergeseran ke panjang gelombang lebih tinggi [22]. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Majumder 2020 yang menunjukkan bahwa perubahan kondisi pelarut dan lingkungan dapat menyebabkan variasi λ_{maks} hingga ± 40 nm dalam spektrum kurkumin [14], serta diperkuat oleh studi Nguyen *et al.* (2021) yang mencatat bahwa perubahan pelarut dan pH dapat menyebabkan pergeseran λ_{maks} secara signifikan dalam sistem spektrofotometrik kurkuminoid [23].

Hasil pengukuran kadar total kurkuminoid pada variasi waktu ekstraksi 20, 60, 120, dan 150 detik menunjukkan pola peningkatan yang konsisten seiring bertambahnya durasi pemanasan gelombang mikro. Berdasarkan Gambar 3, kadar kurkuminoid meningkat dari 2.3962 $\mu\text{g/mL}$ (20 detik), 4.1705 $\mu\text{g/mL}$ (60 detik), 4.2081 $\mu\text{g/mL}$ (120 detik), hingga mencapai nilai tertinggi 5.9593

µg/mL pada 150 detik. Uji statistik menunjukkan perbedaan signifikan antar seluruh perlakuan (**** $p < 0.0001$), yang mengindikasikan bahwa waktu ekstraksi berpengaruh nyata terhadap peningkatan kandungan kurkuminoid.



Gambar 3. Hasil kadar total kurkuminoid ekstrak temu giring metode MAE

Kenaikan kadar pada rentang waktu 20-60 detik disebabkan oleh proses pemanasan volumetrik yang menjadi karakteristik utama MAE. Gelombang mikro menyebabkan rotasi dipol dan konduksi ionik, menghasilkan pemanasan yang terjadi secara merata di seluruh jaringan tanaman, bukan bertahap dari luar ke dalam. Pemanasan cepat ini menghasilkan tekanan intraseluler tinggi yang menyebabkan ruptur sel sehingga kurkuminoid lebih mudah keluar ke pelarut. Mekanisme ruptur dan peningkatan tekanan internal pada proses ekstraksi berbasis gelombang mikro juga dijelaskan oleh Beshah *et al.* (2025) yang menegaskan bahwa pemanasan internal merupakan kunci percepatan pelepasan metabolit sekunder, termasuk kurkuminoid [7].

Pada durasi 60-120 detik, peningkatan kadar menjadi lebih landai. Penurunan laju ekstraksi ini terjadi karena sistem mulai memasuki fase mendekati titik jenuh, yaitu ketika sebagian besar kurkuminoid yang berada di lokasi sel yang mudah pecah telah selesai dilepaskan ke dalam pelarut. Pada fase ini, proses lebih didominasi oleh difusi daripada ruptur sel. Pola perlambatan seperti ini sejalan dengan hasil penelitian Yaman *et al.* (2025) yang menunjukkan bahwa ekstraksi kurkumin menggunakan MAE pada *Curcuma longa* mengalami kenaikan cepat pada awal waktu

ekstraksi sebelum melambat ketika sistem memasuki fase setimbang antara matriks padat dan pelarut [8].

Durasi 150 detik memberikan kadar kurkuminoid tertinggi, menunjukkan bahwa waktu ini adalah kondisi optimum bagi pelepasan kurkuminoid dari temu giring. Pada fase ini, pemanasan sudah cukup untuk memecahkan bagian jaringan yang lebih resisten, sekaligus menurunkan viskositas etanol 96% sehingga meningkatkan efisiensi penetrasi pelarut. Efektivitas etanol sebagai pelarut kurkuminoid pada suhu moderat tinggi juga dibuktikan oleh Sugiandi *et al.* (2021) yang menjelaskan bahwa peningkatan suhu mempercepat kemampuan etanol melarutkan senyawa aromatik lipofilik seperti kurkuminoid [5].

Pola peningkatan kadar hingga durasi optimum ini juga berkaitan dengan sifat alami *Curcuma heyneana*. Berdasarkan penelitian Santoso *et al.* (2024), *C. heyneana* memiliki dominasi demetoksikurkumin yang lebih tinggi dibanding kurkumin dan bisdemetoksikurkumin, dengan total kurkuminoid mencapai 4.52% dari total ekstrak kering [4]. Dominasi demetoksikurkumin yang dikenal lebih stabil terhadap panas menjelaskan mengapa kadar kurkuminoid tetap meningkat hingga 150 detik tanpa menunjukkan tanda degradasi. Stabilitas fraksi kaya kurkuminoid *C. heyneana* selama pemanasan juga dilaporkan oleh Sulistyowaty *et al.* (2024) yang menemukan bahwa fraksi etil asetat tanaman ini tetap mempertahankan aktivitas biologisnya meski melalui proses pemanasan dan fraksinasi intensif [2].

Selain itu, profil kimia *C. heyneana* yang kaya senyawa aromatik terkonjugasi menjadikan senyawa ini responsif terhadap pemanasan. Fajrin *et al.* (2023) membuktikan bahwa kurkuminoid dalam *C. heyneana* tetap stabil pada proses ekstraksi suhu tinggi dan memiliki kestabilan oksidatif lebih baik dibanding beberapa spesies *Curcuma* lainnya [3]. Temuan ini mendukung fakta bahwa durasi 150 detik masih dalam batas stabilitas termal senyawa, sehingga peningkatan kadar tetap dapat diamati.

Namun demikian, potensi degradasi pada durasi pemanasan yang lebih panjang tetap perlu diperhatikan. Santoso *et al.* (2024), melaporkan bahwa senyawa fenolik aromatik, termasuk kurkuminoid, dapat mengalami degradasi termal jika terpapar pemanasan terlalu lama, terutama ketika suhu internal melebihi batas stabilitas

struktur konjugasi [4]. Dengan demikian, hasil penelitian ini secara ilmiah memperlihatkan bahwa durasi 150 detik kemungkinan besar merupakan batas optimum sebelum proses degradasi termal mulai terjadi.

Secara keseluruhan, penetapan λ_{maks} 469 nm memastikan proses kuantifikasi kurkuminoid berlangsung akurat dan sesuai karakteristik spektralnya, sehingga pengukuran kadar dapat dilakukan secara konsisten. Setelah parameter analitik terstandar, hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan waktu ekstraksi berpengaruh signifikan terhadap rendemen.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah variasi waktu ekstraksi menggunakan metode *MAE* berpengaruh signifikan terhadap rendemen dan kadar total kurkuminoid ekstrak etanol 96% temu giring. Peningkatan durasi pemanasan dari 20 hingga 150 detik menghasilkan kenaikan rendemen dari 2.40% menjadi 7.52% serta peningkatan kadar kurkuminoid dari 2.3962 $\mu\text{g/mL}$ menjadi 5.9593 $\mu\text{g/mL}$. Penetapan panjang gelombang maksimum 469 nm memastikan proses kuantifikasi kurkuminoid berlangsung akurat. Berdasarkan rentang yang diuji 20-150 detik, durasi 150 detik terbukti menjadi kondisi optimum karena mampu memaksimalkan ruptur sel, meningkatkan difusi pelarut, dan tetap menjaga stabilitas termal kurkuminoid tanpa menunjukkan tanda degradasi. Dengan demikian, waktu ekstraksi merupakan faktor kunci dalam menghasilkan komposisi kandungan ekstrak temu giring berkualitas tinggi untuk kepentingan fitofarmakan dan aplikasi industri berbasis metabolit sekunder.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Sugita, S. O. Firdaus, A. Ilmiawati, and D. U. C. Rahayu, "Curcumenol: A Guaiane-Type Sesquiterpene from Indonesian *Curcuma heyneana* Rhizome and its Antibacterial Activity Towards *Staphylococcus Aureus* and *Escherichia Coli*" *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, vol. 10, no. 6, pp. 68-75, 2018.
- [2] M. I. Sulistyowaty, F. A. Fajrin, M. R. F. Pratama, D. Setyawan, A. W. Indrianingsih, G. S. Putra, S. A. H. Zidan, T. Yamauchi, and K. Matsunami, "Anti-inflammatory Potential of *Curcuma heyneana*: An *in vitro* and *in silico* Investigation," *Pharmacia*, vol. 71, pp. 1-11, 2024, doi: 10.3897/pharmacia.71.e120886.
- [3] F.A. Fajrin, M. I. Sulistyowaty, M. L. Ghiffary, S. A. Zuhra, W. R. Panggalih, D. K. Pratoko, F. M. Christianty, K. Matsunami, and A. W. Indrianingsih, "Immunomodulatory Effect from Ethanol Extract and Ethyl Acetate Fraction of *Curcuma heyneana* Valetton and Zijp: Transient Receptor Vanilloid Protein Approach," *Heliyon*, vol. 9, no. 5, 2023, Art. no. e15582, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e15582.
- [4] C. F. Santoso, D. R. Rahmawati, N. Nugraheni, M. R. P. Adisusilo, D. Maharani, A. Hermawan, and E. Meiyanto, "Chemopreventive Properties *Curcuma heyneana* Rhizome Ethanolic Extract on Hepatocellular Carcinoma Cells, JHH-4," *Indonesian Journal of Cancer Chemoprevention*, vol. 15, no. 1 pp. 40 – 49, 2024, doi: 10.14499/indonesianjcanchemoprev15iss1pp40-49
- [5] S. Sugiandi, K. Afriani, A. Hamidi, dan G. Maulia, "Pengaruh Pelarut dan Jenis Ekstrak Terhadap Kadar Kurkumin dalam Simplisia Kunyit dan Temulawak secara Spektrofotometri Sinar Tampak," *WARTA AKAB*, vol. 45, no. 2, pp. 6-11, 2021, doi: 10.55075/wa.v45i2.48.
- [6] A. Septiana, and E. Wuryatmo, "Effect of Ethanol Concentration and Extraction Time with Microwave Assisted Extraction on Antioxidant Activity of Temulawak-Extract (*Curcuma Xanthorrhiza*.Roxb)," *Journal of Functional Food and Nutraceutical*, vol. 3, no. 2, pp. 63-69, 2022, doi: 10.33555/jffn.v3i2.86.
- [7] T. D. Beshah, M. A. Fekry Saad, S. E. Gazar, M. A. Farag, "Curcuminoids: A Multi-faceted Review of Green Extraction Methods and Solubilization Approaches to Maximize Their Food and Pharmaceutical Applications," *Advances in Sample Preparation*, vol. 13, Feb. 2025, Art. no. 100159, doi: 10.1016/j.sampre.2025.100159.
- [8] M. Yaman, S. N. Arslan, G. Gençay, E. Nemli, M. Y. Peker, F. B. Şen, E. Capanoglu,

- M. Bener, and R. Apak, "Optimization and Modeling of Ultrasound- and Microwave-Assisted Extraction of Turmeric to Efficiently Recover Curcumin and Phenolic Antioxidants Followed by Food Enrichment to Enhance Health-Promoting Effects," *Food Science & Nutrition*, vol. 13, no. 3, 2025, Art. no. e70093, doi: 10.1002/fsn3.70093.
- [9] A. A. Bin Mokaizh, A. H. Nour, & C. I. Ukaegbu, "Microwave-Assisted Extraction of Phenolic Compounds from Commiphora gileadensis Leaf and Their Characterization," *Results in Engineering*, vol. 24, 2024, Art. no. 102892, doi: 10.1016/j.rineng.2024.102892.
- [10] F. Chemat, N. Rombaut, A. G. Sicaire, A. Meullemiestre, A. S. Fabiano-Tixier, And M. Abert-Vian, "Ultrasound Assisted Extraction of Food and Natural Products. Mechanisms, Techniques, Combinations, Protocols and Applications. A review," *Ultrasonics Sonochemistry*, vol 34, pp. 540–560, 2017, doi: 10.1016/j.ultsonch.2016.06.035.
- [11] Z. Cigeroğlu, M. Bayramoğlu, Ş. İ. Kırbaşlar, & S. Şahin, "Comparison of Microwave-Assisted Techniques for the Extraction of Antioxidants from Citrus paradisi Macf. Biowastes," *Journal of Food Science and Technology*, vol 58, no. 3, pp. 1190–1198, 2021, doi: 10.1007/s13197-020-04632-x.
- [12] M. Jurić, N. Golub, E. Galić, K. Radić, L. Maslov Bandić, and D. Vitali Čepo, "Microwave-Assisted Extraction of Bioactive Compounds from Mandarin Peel: A Comprehensive Biorefinery Strategy," *Antioxidants*, vol. 14, no. 6, 2025, doi: 10.3390/antiox14060722.
- [13] H. López-Salazar, B. H. Camacho-Díaz, M. L. A. Ocampo, A. R. Jiménez-Aparicio, "Microwave-Assisted Extraction of Functional Compounds from Plants: A Review," *BioResources*, vol. 18, no. 3, pp. 6614–6638, 2023, doi: 10.15376/biores.18.3.Lopez-Salazar.
- [14] K. K. Majumder, J. B. Sharma, M. Kumar, S. Bhatt, and V Saini, "Development and Validation of UV-Visible Spectrophotometric Method for The Estimation of Curcumin in Bulk and Pharmaceutical Formulation," *Pharmacophore*, vol. 11, no. 1, pp. 115–121, 2020.
- [15] A. Sahal, A. Hussain, R. Mishra, S. Pandey, A. Dobhal, W. Ahmad, V. Kumar, U. C. Lohani, and S. Kumar, "Microwave-assisted Extraction of Bioactive Compounds from *Urtica dioica* using Solvent-based Process Optimization and Characterization," *Scientific Reports*, vol. 15, no. 1, 2025, Art. no. 25375, doi: 10.1038/s41598-025-09855-6
- [16] R. Samanta, and M. Ghosh, "Optimization of Microwave-assisted Extraction Technique for Flavonoids and Phenolics from the Leaves of *Oroxylum indicum* (L.) Kurtz Using Taguchi L9 Orthogonal Design," *Pharmacognosy Magazine*, vol. 19 no. 1, pp. 97–104. 2023, doi: 10.1177/09731296221137407.
- [17] R. A. Sharma, et al., "Curcumin Content and its Quantification: A Review," *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 55, no. 7, pp. 929–957, 2015, doi: 10.1080/10408398.2012.692736.
- [18] R. Singh, et al., "Analytical Methods for Estimation of Curcumin in Turmeric," *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, vol. 9, no. 6, pp. 124–132, 2019, doi: 10.7324/JAPS.2019.90616.
- [19] D. Iswandono, et al., "Validasi metode spektrofotometri UV untuk analisis kurkumin dalam methanol," *Jurnal Farmasi Indonesia*, vol. 13, no. 2, 2018.
- [20] Z. Ding, et al., "Solvent Effect on The Spectrophotometric Determination of Curcumin," *Food Chemistry*, vol. 310, 2020, Art. no. 125974, doi: 10.1016/j.foodchem.2019.125974.
- [21] H. T. Nguyen, et al., "Spectrophotometric Determination of Curcumin: Effect of pH and Stability," *Analytical Letters*, vol. 54, no. 10, pp. 1675–1687, 2021, doi: 10.1080/00032719.2020.1817610.
- [22] F. Galimany-Rovira, P. Pérez-Lozano, E. García-Montoya, M. Miñarro-Carmona, J. R. Ticó-Grau, and J. M. Suñé-Negre, "Optimization and Validation of a Fast UPLC Method for Simultaneous Determination of Hydroquinone, Kojic Acid, Octinoxate, Avobenzone, BHA, and BHT," *Journal of AOAC INTERNATIONAL*, vol. 100, no. 1, pp. 1–7, 2017, doi: 10.5740/jaoacint.16-0104.
- [23] H. T. Nguyen, et al., "Spectrophotometric Determination of Curcumin: Effect of pH and Stability," *Analytical Letters*, vol. 54, no. 10, pp. 1675–1687, 2021, doi: 10.1080/00032719.2020.1817610.