

INTISARI

Temu ireng (*Curcuma aeruginosa* Roxb.) adalah tanaman asli Indonesia yang dari famili Zingiberaceae yang rimpangnya menghasilkan minyak atsiri yang bermanfaat sebagai antioksidan dan antibakteri. Kualitas dan aktivitas minyak atsiri ini dipengaruhi oleh kondisi lingkungan tempat tumbuh. Karena kemanfaatannya yang besar ini, minyak atsiri temu ireng perlu dieksplorasi unruk dimanfaatkan seluas-luasnya di bidang kesehatan Dengan demikian minyak atsiri temu ireng berpeluang untuk dikomersialkan. Untuk menghindari pemalsuan minyak temu ireng terkait persaingan dagang perlu adanya penjaminan mutu produk. Untuk itu, autentikasi minyak atsiri temu ireng menjadi penting untuk dilakukan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi profil metabolit sekunder minyak atsiri temu ireng dari beberapa daerah di Jawa Tengah, merancang model kalibrasi dan validasi yang valid dan terpercaya untuk autentikasi minyak atsiri temu ireng, serta mengevaluasi aktivitas antioksidan dan antibakteri minyak atsiri temu ireng.

Sampel tanah dan rimpang temu ireng diambil di 30 daerah di Jawa Tengah. Sampel tanah dilakukan pengujian secara fisika (ketinggian, pH, kelembaban, dan tekstur tanah) dan kandungan kimia (N, P, K, dan C-organik). Rimpang temu ireng yang didapatkan didistilasi uap air untuk menghasilkan minyak atsiri temu ireng. Kandungan minyak atsiri temu ireng dianalisis menggunakan GC-MS. Perancangan model kalibrasi dan validasi untuk autentikasi minyak atsiri temu ireng dalam campuran biner dengan minyak atsiri temulawak (0-100%) dan campuran terner dengan minyak atsiri temulawak-*virgin cocounut oil* (VCO) (0-100%) dilakukan melalui pemindaian menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR), diklasifikasi menggunakan *Discriminant Analysis* (DA), serta dikuantifikasi menggunakan *Partial Least Squares* (PLS) dan *Principal Component Regression* (PCR). Pengujian aktivitas antioksidan dilakukan secara *in vitro* dengan metode *2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl* (DPPH), *Ferric Reducing Antioxidant Power* (FRAP), dan *β -carotene bleaching* (BCB), sedangkan pengujian antibakteri dilakukan secara *in vitro* menggunakan metode mikrodilusi pada bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Pseudomonas aeruginosa*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor lingkungan yang berkontribusi untuk membedakan lokasi tempat tumbuh temu ireng adalah ketinggian tanah. Rentang rendemen minyak atsiri temu ireng sebesar 0,082%-0,299%, rendemen terbesar diperoleh dari daerah Sawah Darupono Kendal. Profil metabolit minyak atsiri temu ireng dari beberapa daerah di Jawa Tengah terdiri dari 15 senyawa yaitu curzerenon (komponen utama), germakron, isoserenin, β -elemen, calarene, γ -elemen, spathulenon, patchulan, 1,8-sineol, kamfor, kamfena, isoborneol, curdion, elemol, dan α -terpineol. Hasil optimasi menunjukkan bahwa spektra derivat kedua pada rentang 1785–728 cm^{-1} merupakan kondisi terbaik untuk analisis. Pada campuran biner, model PLS menghasilkan nilai R^2 sebesar 0.9992 dan RMSEC 1.19 pada kalibrasi, serta R^2 0.9994 dan RMSEP 1.16 pada validasi. Untuk campuran terner, rentang spektra yang sama memberikan nilai R^2 0.9703 dan RMSEC 5.66 pada kalibrasi, serta R^2 0.9903 dan RMSEP 2.94 pada validasi. Kombinasi spektroskopi FTIR dan kemometrika diperoleh akurasi yang baik.

Sampel minyak atsiri temu ireng menunjukkan rentang aktivitas antioksidan sebesar 32,09–43,13% (DPPH), 44,67–58,92% (FRAP), dan 17,52–80,57% (BCB). Nilai IC_{50} pada metode DPPH dan FRAP masing-masing berada pada kisaran 1148,95–1289,58 $\mu\text{g/mL}$ dan 8,30–46,60 $\mu\text{g/mL}$. Pada metode DPPH dan BCB, senyawa dominan yang berpotensi sebagai antioksidan pada sampel dari Kendal, Brebes, Wonogiri, Ungaran, dan Pati (Trangkil dan Sumbermulyo) adalah curzerenon, germakron, isoserisenin, spathulenol, γ -elemen, curdion, dan elemol. Sampel dari wilayah ini umumnya memiliki warna minyak hijau lumut dengan tekstur tanah berliat hingga berdebu. Pada metode FRAP, senyawa antioksidan utama pada sampel dari Tegal, Klaten, Semarang, Grobogan, Demak, dan Pati (Sukolilo) didominasi oleh 1,8-sineol, kamfor, patchulan, isoborneol, dan α -terpineol. Sampel dari daerah ini memiliki warna minyak ungu tua dengan tekstur tanah cenderung berliat hingga berdebu. Hasil uji antibakteri menunjukkan bahwa minyak atsiri temu ireng memiliki rentang nilai *Minimum Inhibitory Concentration* 50 (MIC_{50}) 849,64–7604,02 $\mu\text{g/mL}$ terhadap bakteri *S. aureus* dan 1.557,54–12.132,24 $\mu\text{g/mL}$ terhadap *P. aeruginosa*. Senyawa yang berpotensi sebagai antibakteri terhadap *S. aureus* (metode mikrodilusi) didominasi oleh β -elemen, calarene, dan isoborneol pada sampel dari Tegal dan Klaten, yang berasal dari tanah bertekstur lempung hingga berdebu. Sementara itu, senyawa kamfena, kamfor, dan 1,8-sineol berperan sebagai antibakteri utama terhadap *P. aeruginosa* pada sampel dari Pati dan Demak, dengan tekstur tanah berliat hingga berdebu. Secara keseluruhan, aktivitas antioksidan dan antibakteri minyak atsiri temu ireng dari berbagai daerah di Jawa Tengah dipengaruhi oleh variasi metabolit sekunder dan kondisi tekstur tanah. Kombinasi analisis FTIR dengan kemometrika terbukti efektif untuk autentikasi minyak atsiri dalam campuran biner maupun terner. Temuan ini memperkuat potensi minyak atsiri temu ireng sebagai sumber antioksidan dan antibakteri serta sebagai dasar penjaminan mutu untuk mencegah pemalsuan produk.

Kata Kunci: antibakteri, antioksidan, autentikasi, *C. aeruginosa*, kemometrik.

ABSTRACT

Curcuma aeruginosa Robx. It is a native Indonesian plant of the Zingiberaceae family, whose rhizomes produce essential oils (EOs) useful as antioxidants and antibacterials. The quality and activity of these EOs are influenced by the environmental conditions where they grow. Given their significant benefits, *C. aeruginosa* EOs should be explored for broad use in the health sector. Thus, *C. aeruginosa* EOs have the potential to be commercialized. To prevent counterfeiting of *C. aeruginosa* EOs driven by trade competition, product quality assurance is necessary. For this reason, the authentication of *C. aeruginosa* EOs is important. The purpose of this study was to evaluate the secondary metabolite profile of *C. aeruginosa* EOs from several regions in Central Java, design a valid and reliable calibration and validation model for the authentication of *C. aeruginosa* EOs, and evaluate the antioxidant and antibacterial activities of *C. aeruginosa* EOs.

Soil and *C. aeruginosa* rhizome samples were collected in 30 areas in Central Java. The soil samples were tested physically (altitude, pH, moisture, and soil texture) and chemically (N, P, K, and C-organic). The *C. aeruginosa* rhizomes obtained were steam-distilled to produce *C. aeruginosa* EOs. The composition of *C. aeruginosa* EOs was analyzed by GC-MS. The design of calibration and validation models for the authentication of *C. aeruginosa* EOs in binary mixtures with *C. xanthorrhiza* EOs (0-100%) and ternary mixtures with *C. xanthorrhiza* EOs - virgin coconut oil (VCO) (0-100%) was carried out through scanning using Fourier Transform Infrared (FTIR), classified using Discriminant Analysis (DA), and quantified using Partial Least Squares (PLS) and Principal Component Regression (PCR). Antioxidant activity was assessed in vitro using the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP), and β -carotene bleaching (BCB) methods. In contrast, antibacterial testing was performed in vitro using the microdilution method against *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa*.

The study found that the environmental factor contributing to differences in locations where *C. aeruginosa* grew was land height. The yield range of *C. aeruginosa* EOs is 0.082%-0.299%, and the highest yield was obtained from the Sawah Darupono area of Kendal. The metabolite profile of *C. aeruginosa* EOs from several regions of Central Java comprises 15 compounds: curzerenone (main component), germacrone, isoserenine, β -elemene, calarene, γ -elemene, spathulenol, patchouliane, 1,8-cineole, camphor, camphene, isoborneol, curdione, elemol, and α -terpineol. The optimization results showed that second-derivative spectra in the 1785–728 cm^{-1} range provided the best conditions for analysis. In binary mixtures, the PLS model produced an R^2 value of 0.9992 and an RMSEC of 1.19 in calibration, and an R^2 of 0.9994 and an RMSEP of 1.16 in validation. For the ternary mixture, the same spectral range yielded R^2 values of 0.9703 and 0.9903, and RMSEC and RMSEP values of 5.66 and 2.94, in calibration and validation, respectively. The combination of FTIR spectroscopy and chemometrics obtained good accuracy. The *C. aeruginosa* EOs samples showed antioxidant activity ranges of 32.09–43.13% (DPPH), 44.67–58.92% (FRAP), and 17.52–80.57% (BCB). The IC_{50} values obtained by the DPPH and FRAP methods were 1,148.95–1,289.58

$\mu\text{g/mL}$ and 8.30–46.60 $\mu\text{g/mL}$, respectively. In the DPPH and BCB methods, the dominant compounds with potential antioxidant activity in samples from Kendal, Brebes, Wonogiri, Ungaran, and Pati (Trangkil and Sumbermulyo) were curzerenone, germacrone, isosericenin, spathulenol, γ -elemene, curdione, and elemol. Samples from these areas generally had moss-green oil colour with clayey to dusty soil texture. Using the FRAP method, the main antioxidant compounds in samples from Tegal, Klaten, Semarang, Grobogan, Demak, and Pati (Sukolilo) were identified as 1,8-cineole, camphor, patchulane, isoborneol, and α -terpineol. Samples from these areas had dark purple oil and a clayey to dusty soil texture. The antibacterial test results showed that *C. aeruginosa* EOs had Minimum Inhibitory Concentration 50 (MIC_{50}) values of 849.64–7,604.02 $\mu\text{g/mL}$ against *S. aureus* and 1,557.54–12,132.24 $\mu\text{g/mL}$ against *P. aeruginosa*. Compounds with potential antibacterial activity against *S. aureus* (microdilution method) were dominated by β -element, calarene, and isoborneol in samples from Tegal and Klaten, which originated from clay to dusty soil textures. Meanwhile, camphene, camphor, and 1,8-cineol compounds played the main antibacterial role against *P. aeruginosa* in samples from Pati and Demak, with clay to dusty soil textures. Overall, the antioxidant and antibacterial activities of *C. aeruginosa* EOs from various regions of Central Java were influenced by variations in secondary metabolite profiles and soil texture. The combination of FTIR analysis and chemometrics has proven effective for the authentication of EOs in both binary and ternary mixtures. These findings strengthen the potential of *C. aeruginosa* EOs as sources of antioxidants and antibacterials, and as a basis for quality assurance to prevent product counterfeiting.

Keywords: antibacterial, antioxidant, authenticity, *C. aeruginosa*, chemometrics.