POLICY BRIEF

Maulidan Firdaus, Qosrul Karimah, Dhea A. Darmawan, Widyan M. Naufal, Denis O. A. Putri, Dina Syakirina, Diah F. Carolina, Venny, Pinka Z. Hapsari, Widya Rahmaniar, Agung L. Pradita
Program Studi Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Sebelas Maret

AKSELERASI HILIRISASI TEKNOLOGI *GREEN EXTRACTION* MINYAK ATSIRI BERBASIS ULTRASONIKASI UNTUK MENINGKATKAN DAYA SAING INDUSTRI, PARIWISATA, DAN EKONOMI PERDESAAN DI JAWA TENGAH

Ringkasan Eksekutif

Provinsi Jawa Tengah berpotensi sebagai pusat pengembangan industri minyak atsiri nasional melalui kekayaan biodiversitas, kondisi agroklimat, serta sentra tanaman aromatik di Kabupaten Karanganyar, khususnya kawasan Tawangmangu dan Ngargoyoso. Meningkatnya kebutuhan minyak atsiri untuk industri farmasi, kosmetik, pangan, aromaterapi, dan produk kesehatan memberikan peluang besar bagi penguatan ekonomi berbasis bioindustri. Pengembangan sektor ini menghadapi tantangan berupa rendahnya efisiensi teknologi pascapanen, terutama proses ekstraksi konvensional yang lama, konsumsi energi tinggi, dan rendemen yang belum optimal. Penelitian ini mengembangkan inovasi **Ultrasonication-Assisted Extraction–Hydrodistillation (UAE-HD)** yang dioptimalkan menggunakan pendekatan **Response Surface Methodology (RSM) dengan rancangan Box–Behnken Design (BBD).** Teknologi ini memanfaatkan energi ultrasonik sebagai perlakuan awal untuk mempercepat pelepasan minyak atsiri dari jaringan tanaman sehingga proses ekstraksi menjadi lebih efisien, hemat energi, dan ramah lingkungan. Hasil optimasi menghasilkan kondisi terbaik pada suhu ultrasonikasi 50 °C, waktu 20 menit, dan volume pelarut 250 mL dengan model statistik yang menunjukkan tingkat validitas tinggi. Implementasi teknologi UAE-HD terbukti meningkatkan produktivitas minyak atsiri secara signifikan dibandingkan metode konvensional. Pada minyak atsiri sereh wangi (**Cymbopogon winterianus**), rendemen meningkat **±2,2 kali lebih tinggi**, sedangkan pada rosemary (**Salvia rosmarinus**) meningkat **±1,5 kali lebih tinggi**. Implementasi di Desa Girimulyo difokuskan pada penyediaan alat destilasi dan peningkatan kapasitas masyarakat dalam diversifikasi produk minyak atsiri. Teknologi ini mendukung prinsip **green extraction** melalui proses yang lebih cepat dan efektif. Hasil penelitian tidak berhenti di jurnal internasional bereputasi (Scopus Q2) tetapi telah berhasil dihilirkan melalui kolaborasi antara **UNS dan Rumah Atsiri Indonesia (RAI)** sebagai mitra industri.

Teknologi ultrasonikasi tidak hanya diterapkan untuk peningkatan efisiensi produksi, tetapi juga sebagai media edukasi berbasis sains yang mengintegrasikan inovasi teknologi, industri, dan pariwisata. Model ini memperlihatkan peran strategis perguruan tinggi dalam mendorong transfer teknologi serta memperkuat ekosistem industri berbasis biomassa. Dampak sosial-ekonomi diperkuat dengan program pemberdayaan masyarakat Girimulyo melalui penyediaan alat destilasi, pelatihan dan diversifikasi minyak atsiri menjadi produk bernilai tambah seperti lilin aromaterapi, sabun herbal, minyak gosok, dan spray berbasis bahan alami. Meskipun dampak peningkatan pendapatan belum diukur secara kuantitatif, keberhasilan masyarakat menghasilkan dan menjual produk turunan menunjukkan adanya peluang penguatan rantai nilai berbasis masyarakat. Pendekatan ini memperluas rantai nilai komoditas atsiri dari produksi bahan baku menuju pengembangan industri hilir berbasis masyarakat dan UMKM. Dari perspektif kebijakan publik, model ini menunjukkan integrasi riset, inovasi teknologi, kemitraan industri, pemberdayaan masyarakat, dan wisata berbasis iptek dapat menjadi strategi pembangunan ekonomi hijau daerah. Pemerintah Provinsi Jawa Tengah berpeluang untuk mereplikasi model ini melalui penguatan kolaborasi perguruan tinggi–industri–pemerintah, pembangunan pusat demonstrasi teknologi, penyediaan insentif inovasi, serta pengembangan klaster bioindustri atsiri berbasis ekonomi sirkular. Implementasi strategi tersebut diharapkan mampu meningkatkan produktivitas komoditas atsiri, memperkuat daya saing UMKM, menciptakan peluang ekonomi baru, meningkatkan kesejahteraan masyarakat, serta mendukung transformasi Jawa Tengah menuju ekonomi hijau yang inovatif, inklusif, dan berkelanjutan.

PENDAHULUAN

Salah satu tema **Anugerah Karya Riset Pembangunan Jawa Tengah Tahun 2026**, yaitu **"Peningkatan dan Pemerataan Ekonomi Berbasis Potensi Desa dan Industri Hijau"**, menegaskan bahwa pembangunan daerah tidak lagi hanya diukur dari besarnya pertumbuhan ekonomi, tetapi juga dari kemampuan menciptakan nilai tambah yang berkelanjutan, memperluas kesempatan kerja, serta memastikan manfaat pembangunan dapat dirasakan secara merata hingga ke wilayah pedesaan. Dalam konteks tersebut, pengembangan bioindustri berbasis sumber daya hayati lokal menjadi salah satu strategi yang sangat relevan bagi Provinsi Jawa Tengah, mengingat provinsi ini memiliki keunggulan komparatif berupa kekayaan biodiversitas, basis pertanian yang kuat, serta jaringan UMKM yang merata.

Salah satu komoditas strategis yang memiliki prospek besar untuk mendukung transformasi ekonomi tersebut adalah **minyak atsiri**. Indonesia merupakan salah satu negara penghasil minyak atsiri terbesar di dunia dengan lebih dari 40 jenis tanaman penghasil minyak atsiri yang telah dimanfaatkan secara komersial. Jawa Tengah sendiri memiliki berbagai sentra produksi tanaman aromatik, seperti sereh wangi (*Cymbopogon winterianus*), rosemary (**Salvia rosmarinus**), nilam (*Pogostemon cablin*), kayu putih (*Melaleuca cajuputi*), cengkeh (*Syzygium aromaticum*), serta berbagai tanaman obat dan rempah yang berpotensi dikembangkan sebagai bahan baku industri minyak atsiri. Selain digunakan pada industri parfum dan kosmetik, minyak atsiri saat ini semakin banyak dimanfaatkan dalam industri pangan, farmasi, aromaterapi, produk kesehatan alami, hingga bioinsektisida, sehingga permintaan pasar global terus menunjukkan tren peningkatan (Baser & Buchbauer, 2015).

Besarnya potensi tersebut sebenarnya memberikan peluang yang sangat besar bagi Jawa Tengah untuk membangun **bioindustri berbasis desa** yang mampu menghasilkan nilai tambah tinggi sekaligus menciptakan lapangan kerja baru di kawasan perdesaan. Berbeda dengan komoditas primer yang sebagian besar hanya dipasarkan dalam bentuk bahan mentah, minyak atsiri merupakan komoditas bernilai tinggi yang memungkinkan proses pengolahan dilakukan relatif dekat dengan lokasi budidaya. Dengan demikian, pengembangan industri minyak atsiri tidak hanya meningkatkan pendapatan petani, tetapi juga membuka peluang berkembangnya UMKM, koperasi, Badan Usaha Milik Desa (BUMDes), industri kreatif, hingga desa wisata berbasis tanaman aromatik. Karakteristik inilah yang menjadikan minyak atsiri sangat selaras dengan konsep **pemerataan ekonomi berbasis potensi desa**, karena nilai tambah ekonomi dapat diciptakan langsung di wilayah penghasil bahan baku.

Meskipun demikian, potensi besar tersebut hingga saat ini belum mampu dikonversi menjadi kekuatan ekonomi daerah secara optimal. Sebagian besar pelaku usaha minyak atsiri di Jawa Tengah masih didominasi oleh industri rumah tangga dan usaha mikro yang menggunakan teknologi penyulingan konvensional dengan tingkat efisiensi relatif rendah. Rendahnya produktivitas ekstraksi menyebabkan biaya produksi menjadi tinggi, kapasitas produksi terbatas, serta kualitas produk yang dihasilkan belum selalu memenuhi standar industri maupun pasar ekspor. Di sisi lain, sebagian besar minyak atsiri masih dipasarkan sebagai produk setengah jadi, sehingga nilai tambah terbesar justru dinikmati oleh industri hilir yang berada di luar daerah bahkan di luar negeri. Permasalahan tersebut menunjukkan bahwa tantangan utama pembangunan sektor minyak atsiri bukan lagi terletak pada ketersediaan bahan baku, melainkan pada **belum optimalnya proses hilirisasi, adopsi teknologi, dan penguatan rantai nilai industri**. Kondisi ini menyebabkan masyarakat desa umumnya masih berada pada posisi sebagai pemasok bahan baku dengan margin keuntungan yang relatif rendah, sementara aktivitas pengolahan lanjutan, formulasi produk, standardisasi mutu, dan pemasaran bernilai tinggi masih didominasi oleh pelaku industri yang memiliki kapasitas teknologi lebih baik. Akibatnya, kontribusi sektor minyak atsiri terhadap peningkatan kesejahteraan masyarakat pedesaan masih jauh dari potensi yang seharusnya dapat dicapai.

Selain persoalan hilirisasi, teknologi produksi juga menjadi faktor pembatas utama. Proses ekstraksi minyak atsiri di Indonesia hingga saat ini masih didominasi oleh **hidrodistilasi konvensional**, yaitu metode yang relatif sederhana tetapi memiliki berbagai keterbatasan, seperti waktu ekstraksi yang panjang, konsumsi energi yang tinggi, efisiensi perpindahan massa yang rendah, serta belum optimalnya pelepasan minyak dari jaringan tanaman (Chemat *et al*., 2017; Vinatoru *et al*., 2017). Akibatnya, sebagian potensi minyak atsiri masih tertinggal di dalam biomassa setelah proses penyulingan selesai. Kondisi tersebut menyebabkan produktivitas industri menjadi rendah, biaya produksi meningkat, serta daya saing produk Indonesia di pasar internasional menjadi kurang optimal.

Di sisi lain, perubahan paradigma pembangunan global juga menuntut transformasi menuju **industri hijau (*green industry*)** yang mengedepankan efisiensi sumber daya, penggunaan energi yang lebih rendah, minimisasi limbah, serta pemanfaatan bahan baku terbarukan. Prinsip tersebut sejalan dengan konsep **Green Chemistry** yang menekankan pencegahan limbah, efisiensi energi, optimalisasi penggunaan sumber daya, serta pengembangan proses produksi yang lebih ramah lingkungan (Anastas & Warner, 1998). Dalam

konteks Jawa Tengah, transformasi menuju industri hijau menjadi semakin penting karena provinsi ini memiliki basis industri manufaktur yang kuat sekaligus kekayaan sumber daya hayati yang dapat dikembangkan melalui pendekatan bioekonomi.

Oleh karena itu, peningkatan daya saing industri minyak atsiri tidak dapat lagi hanya dilakukan melalui perluasan areal tanam atau peningkatan produksi bahan baku. Pendekatan tersebut harus diimbangi dengan **transformasi teknologi pengolahan**, penguatan hilirisasi industri, peningkatan kapasitas sumber daya manusia, serta pembangunan ekosistem inovasi yang mampu menghubungkan perguruan tinggi, dunia usaha, pemerintah, dan masyarakat. Dengan kata lain, pembangunan sektor minyak atsiri harus bergeser dari paradigma **resource-based economy** menuju **innovation-driven bioeconomy**, yaitu pembangunan yang menjadikan iptek, dan inovasi sebagai penggerak utama penciptaan nilai tambah.

Berangkat dari permasalahan tersebut, penelitian ini mengembangkan teknologi **Ultrasonication-Assisted Extraction–Hydrodistillation (UAE-HD)** yang dioptimalkan menggunakan pendekatan **Response Surface Methodology (RSM) dengan rancangan Box–Behnken Design (BBD)** sebagai inovasi ekstraksi minyak atsiri yang mengintegrasikan prinsip **green technology**, efisiensi proses, dan peningkatan produktivitas. Teknologi ini dirancang agar dapat diintegrasikan dengan sistem penyulingan yang telah digunakan oleh masyarakat sehingga memiliki peluang adopsi yang tinggi oleh pelaku UMKM maupun industri kecil. Lebih dari itu, penelitian ini tidak berhenti pada pengembangan teknologi di laboratorium, atau sekedar publikasi di jurnal internasional bereputasi terindeks Scopus, tetapi telah diimplementasikan melalui kolaborasi dengan **Rumah Atsiri Indonesia**, kegiatan pemberdayaan masyarakat di Kabupaten Karanganyar, khususnya kawasan Tawangmangu dan Ngargoyoso, serta pelibatan mahasiswa melalui Program **MBKM berdampak** sebagai bagian dari proses hilirisasi inovasi.

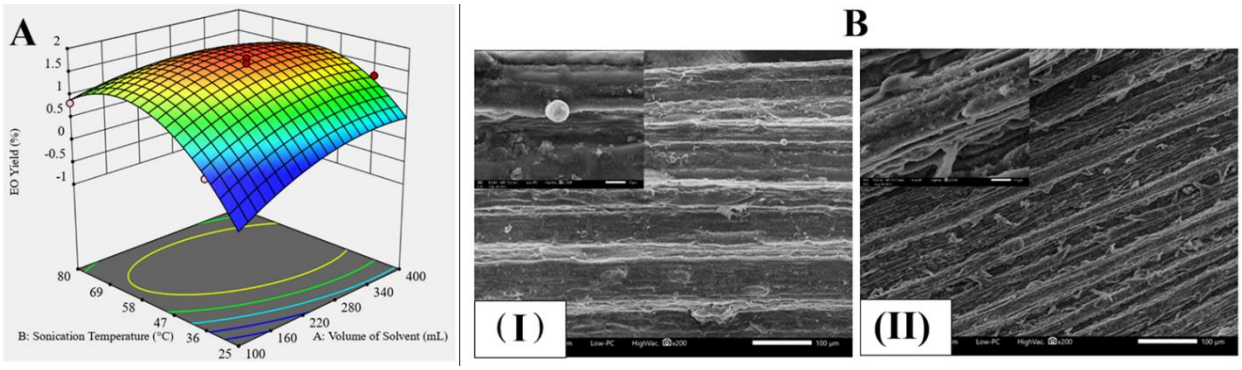
Dengan demikian, penelitian ini menawarkan perspektif yang lebih luas dibandingkan sekadar inovasi proses ekstraksi. Inovasi yang dihasilkan merupakan **model pembangunan berbasis riset** yang mengintegrasikan pengembangan teknologi, hilirisasi industri, pemberdayaan masyarakat, penguatan UMKM, serta pengembangan desa berbasis bioindustri dalam satu ekosistem yang saling mendukung. Model tersebut memiliki relevansi yang sangat kuat dengan tema **"Peningkatan dan Pemerataan Ekonomi Berbasis Potensi Desa dan Industri Hijau"**, karena menunjukkan bahwa peningkatan kesejahteraan masyarakat tidak harus dilakukan melalui eksploitasi sumber daya yang lebih besar, melainkan melalui peningkatan produktivitas, inovasi teknologi, penciptaan nilai tambah, dan penguatan kapasitas masyarakat di tingkat desa. Oleh sebab itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi landasan ilmiah (*evidence-based policy*) bagi Pemerintah Provinsi Jawa Tengah dalam merumuskan kebijakan pengembangan bioindustri minyak atsiri yang mampu memperkuat daya saing daerah sekaligus mewujudkan pertumbuhan ekonomi yang inklusif, berkelanjutan, dan berkeadilan.

DESKRIPSI MASALAH

A. Optimalisasi Proses Ekstraksi melalui Ultrasonikasi dan RSM (Karimah *et al*., 2025)

Riset ini mengadopsi RSM desain BBD untuk mengoptimalkan tiga variabel independen dalam proses ultrasonikasi: volume pelarut, suhu sonikasi, dan durasi sonikasi (Gambar 1A). Berdasarkan 15 rancangan percobaan yang dilakukan, model kuadratik yang dihasilkan menunjukkan akurasi tinggi dengan nilai R^2 = 0,9666 dan adjusted R^2 = 0,9064. Analisis varians (ANOVA) mengkonfirmasi signifikansi model. Kondisi optimum ekstraksi tercapai pada volume pelarut 250 mL, suhu sonikasi 50°C, dan durasi sonikasi 20 menit. Pada kondisi ini, rendemen minyak atsiri sereh wangi mencapai 1,84%, meningkat lebih dari dua kali lipat dibandingkan metode hidrodistilasi konvensional yang hanya menghasilkan 0,845%. Demikian pula pada rosemary, penerapan UAE-HD meningkatkan rendemen dari 0,58% menjadi 0,88%. Hal ini berarti: **produksi meningkat, kebutuhan bahan baku lebih efisien, konsumsi energi per satuan produk menurun, dan biaya produksi dapat ditekan**.

Peningkatan rendemen ini disebabkan oleh efek kavitasi yang dihasilkan oleh gelombang ultrasonik. Ketika gelembung kavitasi kolaps di dekat permukaan padatan seperti dinding sel tanaman, terbentuk semburan cairan berkecepatan tinggi yang memfasilitasi pelarutan komponen tanaman dan memungkinkan pelarut menembus jaringan tanaman. Proses ini menyebabkan kerusakan struktur mikro sel tanaman, seperti yang terkonfirmasi melalui analisis *Scanning Electron Microscopy* (SEM), yang memperlihatkan kerusakan signifikan pada kelenjar sekretori dan dinding sel (Gambar 1B).



Gambar 1. A. Kontur RSM; B. SEM mikrograf sereh wangi: (I) sebelum dan (II) setelah UAE-HD (Karimah *et al.*, 2025)

B. Profil Metabolit dan Kualitas Minyak Atsiri (Karimah *et al.*, 2025)

Analisis *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) menunjukkan bahwa UAE-HD tidak hanya meningkatkan rendemen tetapi juga memperkaya profil metabolit minyak atsiri. Pada sereh wangi, UAE-HD mengidentifikasi 14 senyawa volatil berbeda, lebih banyak dibandingkan metode HD konvensional. Komponen utama yang teridentifikasi meliputi sitronela (36,27%), geranial (29,75%), dan β-sitronellol (18,41%). UAE-HD juga meningkatkan area puncak relatif sitronela dari 18,56% menjadi 36,27%. Pada rosemary, UAE-HD menghasilkan 18 senyawa volatil dengan komponen utama 1,8-sineol (23,06%), neral (13,03%), dan verbenon (8,86%). UAE-HD juga memperkenalkan tujuh komponen, termasuk γ-terpinena, krisantenon, 3-pinanon, geraniol, *Z*-sitral, geranil asetat, dan kariofilen oksida. Temuan ini menegaskan bahwa UAE-HD lebih efektif dalam mengekstrak senyawa volatil dari struktur tanaman yang mungkin tidak terekstraksi melalui HD konvensional.

C. Publikasi Internasional dan Kolaborasi

Karya ini telah dipublikasikan pada jurnal internasional bereputasi: ***Separation Science and Technology* (Scopus Q2)** dengan judul: *"Enhancing Essential Oil Yields from Citronella and Rosemary Using Ultrasonication-Assisted Extraction Approach with Response Surface Methodology."* Riwayat kolaborasi riset dilaksanakan melalui kerja sama multipihak (*triple helix*) yang melibatkan: Universitas Sebelas Maret, Rumah Atsiri Indonesia, Program MBKM berdampak, dan masyarakat Desa Girimulyo.

D. Implementasi dan Dampak Sosial-Ekonomi dan Hilirisasi

Riset ini telah diimplementasikan dan memberikan dampak multidimensi yang mencakup aspek ilmiah, industrial, dan sosial kemasyarakatan:

1. Hilirisasi Industri dan Edu-Rekreasi di RAI

Teknologi telah diterapkan secara nyata pada RAI melalui peningkatan efisiensi destilasi, peningkatan rendemen minyak, media edukasi teknologi (*science tourism*), dan demonstrasi teknologi green extraction. Sebagai bagian dari konsep edu-rekreasi, alat dan visualisasi proses ultrasonikasi dipamerkan secara interaktif kepada para pengunjung, berhasil mengedukasi wisatawan domestik dan mancanegara mengenai inovasi pascapanen modern. Keberhasilan ini sejalan dengan visi RAI sebagai pusat pendidikan dan pelatihan bagi pelaku usaha lokal melalui konsep *teaching factory*, yang diharapkan mampu menjadi inkubator bagi UMKM yang ingin mendalami teknik hilirisasi.

2. Sinergi Triple-Helix melalui MBKM Berdampak

Terjalin kerja sama formal dan berkelanjutan antara perguruan tinggi (UNS) dengan RAI. Keberhasilan transfer teknologi ini didukung penuh oleh keterlibatan 10 mahasiswa dalam program MBKM berdampak, yang bertindak sebagai agen diseminasi teknologi sekaligus memperkuat kerja sama triple-helix.

3. Pemberdayaan Ekonomi Desa Girimulyo

Di Desa Girimulyo, Kecamatan Ngargoyoso, Kabupaten Karanganyar, intervensi dilakukan melalui bantuan alat destilasi serta pelatihan pengolahan dan diversifikasi minyak atsiri menjadi produk bernilai tambah, seperti lilin aromaterapi, sabun, minyak gosok, dan spray berbasis bahan alami. Berbeda dengan implementasi UAE-HD di Rumah Atsiri Indonesia, teknologi ultrasonikasi belum diterapkan secara langsung pada masyarakat Desa Girimulyo sehingga belum tersedia data kuantitatif mengenai perbandingan rendemen dan pendapatan masyarakat sebelum dan sesudah intervensi. Namun, hasil pengamatan lapangan menunjukkan bahwa masyarakat telah mampu mengembangkan produk turunan minyak atsiri dan memasarkan produk tersebut melalui kegiatan desa. Produk yang dipamerkan berhasil terjual, yang menunjukkan adanya **potensi penciptaan nilai tambah dan peningkatan pendapatan**, meskipun besarnya peningkatan ekonomi belum diukur secara kuantitatif.

REKOMENDASI KEBIJAKAN

Berdasarkan temuan riset dan analisis keselarasan dengan arah pembangunan Provinsi Jawa Tengah, berikut rekomendasi kebijakan strategis yang dapat diimplementasikan (Gambar 2).



Gambar 2. Rekomendasi Kebijakan Pengembangan Minyak Atsiri di Jawa Tengah

Pemerintah Provinsi Jawa Tengah perlu mengembangkan mekanisme monitoring dan evaluasi sederhana pada desa penerima intervensi teknologi minyak atsiri dengan mengukur indikator **rendemen minyak atsiri (%), volume produksi (L/bulan), harga jual (Rp/L), biaya produksi (Rp/L), omzet penjualan (Rp/bulan), jumlah produk turunan, serta pendapatan bersih (Rp/bulan)** sebelum dan setelah intervensi. Pengukuran baseline sebelum intervensi dan evaluasi berkala setelah 6–12 bulan diperlukan untuk memperoleh bukti kuantitatif mengenai dampak ekonomi program. Implementasi kebijakan ini diproyeksikan akan memberikan manfaat sebagai berikut: meningkatkan rendemen dan efisiensi produksi minyak atsiri; berpotensi meningkatkan pendapatan petani, UMKM, dan BUMDes; memperkuat hilirisasi hasil riset perguruan tinggi; menciptakan lapangan kerja baru di sektor bioindustri dan pariwisata; mengurangi konsumsi energi dan limbah proses ekstraksi melalui penerapan prinsip *green chemistry*; memperkuat posisi Jawa Tengah sebagai pusat inovasi minyak atsiri nasional yang berdaya saing global.

REFERENSI

Baser, K. H. C., & Buchbauer, G. (Eds.). 2015. *Handbook of Essential Oils: Science, Technology, and Applications* (2nd ed.). Peninsula: CRC Press.

Chemat, F.; Abert-Vian, M.; Fabiano-Tixier, A. S.; Strube, J.; Uhlenbrock, L.; Gunjevic, V.; Cravotto, G. Green Extraction of Natural Products. Origins, Current Status, and Future Challenges. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2019, 118, 248-263.

Karimah, Qosrul, Dhea Afrisa Darmawan, Widyan Muhammad Naufal, Denis Octareta Amelia Putri, Dina Syakirina, Diah Fitri Carolina, Venny et al. "Enhancing essential oil yields from citronella (Cymbopogon winterianus) and Rosemary (salvia rosmarinus): An ultrasonication-assisted extraction approach using Response Surface Methodology." *Separation Science and Technology* 2025, 60(13), 1733-1748.

Vinatoru, M.; Mason, T. J.; Calinescu, I. Ultrasonically Assisted Extraction (UAE) and Microwave Assisted Extraction (MAE) of Functional Compounds from Plant Materials. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2017, 97, 159-178.