Quimica: Jurnal Kimia Sains dan Terapan **ISSN 2716-0963**
Volume 8, Nomor 2, Oktober 2026 **e-ISSN 2716-1218**

Perbandingan Efisiensi *Microwave-Assisted Hydrodistillation* (MAHD) pada Ekstraksi Minyak Atsiri Jahe Segar dan Kering: Kajian Pengaruh Daya dan Waktu

Faisal[1*], Iqbal Kamar[1], Misbul Hadi[2], Selly Malia[1], Latifah Hanum[1]

[1]*Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh, Lhokseumawe, Aceh, 24355, Indonesia*
[2]*Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh, Lhokseumawe, Aceh, 24355, Indonesia*

* Corresponding author: faisal.88@unimal.ac.id

ABSTRAK

Jahe (*Zingiber officinale*) merupakan komoditas rempah bernilai ekonomi tinggi yang kaya akan minyak atsiri, namun pemanfaatannya masih terkendala efisiensi metode ekstraksi konvensional. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh daya microwave (300, 450, dan 600 W) dan waktu ekstraksi (15–22 menit) terhadap *yield* dan profil senyawa minyak atsiri jahe segar dan kering menggunakan metode *Microwave-Assisted Hydrodistillation* (MAHD), sekaligus menentukan kondisi operasi optimum berdasarkan analisis kinetika ekstraksi orde satu. *Yield* tertinggi pada jahe segar diperoleh pada 600 W, 22 menit (0,69%), sedangkan pada jahe kering *yield* tertinggi tercapai pada 600 W/20 menit (0,89%) sebelum menurun menjadi 0,83% pada 22 menit akibat degradasi termal, sehingga 20 menit ditetapkan sebagai kondisi optimum untuk jahe kering. Analisis kinetika orde satu menghasilkan konstanta laju ekstraksi (k) berkisar 0,276–0,651 menit^{-1} dengan koefisien determinasi (R^2) 0,954–0,982, dan menunjukkan bahwa jahe kering pada 600 W memiliki laju ekstraksi tercepat (waktu paruh 1,06 menit). Pengamatan SEM mengonfirmasi bahwa peningkatan daya *microwave* menyebabkan kerusakan struktur dinding sel yang lebih besar, mendukung peningkatan *yield* yang teramati.

Kata Kunci: Jahe, Ekstraksi, *Microwave-Assisted Hydrodistillation*

PENDAHULUAN

Kebutuhan dunia terhadap bahan aktif alami terus meningkat seiring pergeseran preferensi industri pangan, farmasi, dan kosmetik menuju bahan baku yang lebih aman dan berkelanjutan. Kondisi ini mendorong berkembangnya teknologi ekstraksi hijau (*green extraction*) sebagai alternatif metode konvensional yang dinilai boros pelarut, energi, dan waktu [1]. Di antara berbagai teknik ekstraksi hijau, *Microwave-Assisted Extraction* (MAE) dan turunannya seperti *Microwave-Assisted Hydrodistillation* (MAHD) menjadi salah satu yang paling banyak diteliti karena mampu meningkatkan efisiensi ekstraksi minyak atsiri secara signifikan dibandingkan metode konvensional, sekaligus menekan konsumsi energi tanpa mengorbankan kualitas senyawa aktif yang dihasilkan [2]. Tren global inilah yang kemudian mendorong berbagai negara penghasil rempah untuk mulai mengadopsi teknologi tersebut guna meningkatkan nilai tambah komoditas hasil pertaniannya.

Salah satu negara yang berpeluang besar memanfaatkan tren tersebut adalah Indonesia, yang dikenal sebagai salah satu produsen rempah terbesar dunia dengan jahe (*Zingiber officinale*) sebagai salah satu komoditas ekspor utamanya [3]. Jahe kaya akan senyawa bioaktif seperti gingerol, shogaol, dan zingiberen, serta mengandung minyak atsiri bernilai ekonomi tinggi yang banyak dibutuhkan industri farmasi dan kosmetik. Namun demikian, potensi besar ini belum diimbangi dengan efisiensi proses pengolahan, karena ekstraksi minyak atsiri jahe di tingkat industri maupun penelitian masih banyak mengandalkan metode hidrodistilasi konvensional yang membutuhkan waktu proses lama dan berisiko menyebabkan degradasi termal pada senyawa yang sensitif panas [4].

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, penerapan metode MAHD pada ekstraksi minyak atsiri jahe telah mulai dikaji dan menunjukkan hasil yang menjanjikan. Perbandingan antara MAHD dan hidrodistilasi konvensional pada jahe menunjukkan bahwa metode berbasis gelombang mikro mampu menghasilkan

ISSN 2716-0963
e-ISSN 2716-1218

rendemen lebih tinggi sekaligus mempertahankan kandungan senyawa aromatik utama seperti zingiberen dalam waktu ekstraksi yang jauh lebih singkat dan konsumsi energi yang lebih rendah [3]. Temuan ini memperkuat posisi MAHD sebagai metode alternatif yang layak dikembangkan lebih lanjut, khususnya untuk mengoptimalkan parameter proses seperti daya *microwave*, waktu ekstraksi, dan rasio bahan terhadap pelarut agar diperoleh hasil ekstraksi yang maksimal [5].

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian terdahulu tentang MAHD pada jahe masih terbatas pada satu jenis kondisi bahan baku saja, sementara perbandingan langsung antara jahe segar dan jahe kering terhadap *yield* maupun profil senyawa hasil ekstraksi dengan variasi daya dan waktu yang sistematis dalam satu rancangan percobaan masih belum banyak diungkap secara komprehensif [4]. Padahal, perbedaan kadar air dan struktur seluler antara jahe segar dan jahe kering berpotensi memengaruhi secara signifikan efisiensi pelepasan minyak atsiri saat terpapar energi gelombang mikro [6, 7]. Perlakuan pengeringan rimpang turut menentukan jumlah minyak atsiri jahe yang diperoleh melalui hidrodistilasi [5], sedangkan pengeringan pada suhu atau daya *microwave* yang lebih tinggi menyebabkan deformasi mikrostruktur jaringan jahe yang lebih besar, sehingga jalur pelepasan minyak dari dalam sel ikut berubah [7]. Kamar [8] juga membandingkan daun nilam segar dan kering pada hidrodistilasi, *air-hydrodistillation*, dan distilasi uap skala besar, dan menemukan bahwa kondisi operasi optimum, yaitu rasio bahan terhadap pelarut dan laju alir udara, berbeda antara bahan segar dan kering, sehingga kondisi bahan baku perlu diperhitungkan dalam perancangan proses distilasi minyak atsiri. Kesenjangan inilah yang menjadi dasar penting bagi penelitian ini untuk dilakukan.

Berdasarkan uraian tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh variasi daya *microwave* dan waktu ekstraksi terhadap *yield* minyak atsiri yang dihasilkan dari jahe segar dan jahe kering melalui metode MAHD, serta bagaimana profil senyawa kimia minyak atsiri jahe segar dan kering yang teridentifikasi melalui analisis *Gas Chromatography–Mass Spectrometry* (GC-MS) pada kondisi ekstraksi terbaik dari masing-masing jenis bahan. Selain itu, perlu pula dikaji kondisi operasi optimum kombinasi daya dan waktu ekstraksi yang mampu menghasilkan *yield* tinggi tanpa menyebabkan degradasi termal pada senyawa aktif, mengingat kondisi ekstrem pada daya dan waktu tertentu berpotensi menurunkan kualitas minyak atsiri yang dihasilkan.

Sejalan dengan rumusan masalah tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: (1) menganalisis pengaruh variasi daya *microwave* dan waktu ekstraksi terhadap *yield* minyak atsiri jahe segar dan kering yang dihasilkan melalui metode MAHD; (2) mengidentifikasi dan membandingkan profil senyawa kimia minyak atsiri jahe segar dan kering menggunakan analisis GC-MS pada kondisi ekstraksi dengan *yield* tertinggi dari masing-masing jenis bahan; dan (3) menentukan kondisi operasi optimum, yaitu kombinasi daya dan waktu ekstraksi, yang menghasilkan *yield* tinggi tanpa menyebabkan degradasi termal pada senyawa bioaktif. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah bagi pengembangan teknologi ekstraksi hijau berbasis gelombang mikro, sekaligus menjadi acuan bagi industri herbal dan farmasi dalam meningkatkan efisiensi produksi minyak atsiri jahe di Indonesia.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan baku yang digunakan adalah rimpang jahe (*Zingiber officinale*) yang diperoleh dari Pasar Bathupat Lhokseumawe, Aceh. Bahan kimia yang digunakan adalah aquades sebagai pelarut (diperoleh dari Laboratorium Teknik Kimia Universitas Malikussaleh) dan n-heksana p.a (Merck) sebagai pelarut pemisah minyak atsiri dari fase air.

Preparasi Bahan Baku

Rimpang jahe segar yang tua, tidak busuk, dan bebas kotoran maupun jamur dipilih sebagai bahan baku. Rimpang dicuci di bawah air mengalir untuk menghilangkan tanah dan kotoran, kemudian diiris tipis dengan ketebalan ±0,5 cm. Sampel dibagi menjadi dua kelompok perlakuan: (1) jahe segar, yang langsung

ISSN 2716-0963
e-ISSN 2716-1218

digunakan setelah pengirisan, dan (2) jahe kering, yang dikeringkan lebih lanjut menggunakan oven pada suhu 65°C selama 6 jam hingga kadar airnya berkurang secara signifikan.

Ekstraksi Minyak Atsiri dengan Metode MAHD

Peralatan utama yang digunakan meliputi unit ekstraksi *microwave*, labu alas bulat 1000 mL, oven, timbangan analitik, serta peralatan gelas pendukung lainnya. Sebanyak 100 gram jahe segar dan 100 gram jahe kering masing-masing dimasukkan ke dalam labu alas bulat 1000 mL, kemudian ditambahkan aquades dengan rasio bahan terhadap pelarut 1:1 (b/v). Ekstraksi dilakukan menggunakan alat MAHD dengan variasi daya *microwave* 300, 450, dan 600 W serta variasi waktu ekstraksi 15, 17, 19, 20, dan 22 menit. Setelah proses ekstraksi selesai, distilat ditambahkan n-heksana sebanyak 5 mL dan dikocok perlahan untuk memisahkan minyak atsiri ke dalam fase organik. Lapisan n-heksana yang mengandung minyak atsiri kemudian dipisahkan dan dikeringkan menggunakan *water bath* pada suhu terkontrol untuk menguapkan pelarut, sehingga diperoleh minyak atsiri bebas pelarut. Ekstrak yang dihasilkan disimpan dalam botol tertutup rapat pada suhu 4°C sebelum dilakukan analisis lebih lanjut (Gambar 1).



Gambar 1. Rangkaian alat MAHD

Analisis Rendemen (*Yield*)

Rendemen merupakan salah satu parameter utama dalam proses ekstraksi minyak atsiri yang berfungsi sebagai indikator kuantitatif untuk mengukur efektivitas dan efisiensi suatu metode pemisahan. Secara fundamental, rendemen didefinisikan sebagai persentase perbandingan antara massa minyak atsiri yang berhasil diekstraksi dengan massa bahan baku awal yang digunakan, yang secara matematis dinyatakan dalam persamaan (1) berikut :

$$Yield\ (\%) = \frac{\text{berat minyak atsiri (gr)}}{\text{berat bahan baku (gr)}}\ x\ 100\%$$

Nilai rendemen ini sangat krusial dalam penentuan kelayakan teknis dan ekonomis suatu proses produksi, karena semakin tinggi rendemen yang diperoleh, semakin efektif pula proses ekstraksi dalam memisahkan senyawa target dari matriks biomassa [1].

Analisis Morfologi

Perubahan struktur permukaan jahe akibat proses MAHD diamati menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Sampel sebelum dan sesudah ekstraksi dilapisi lapisan emas *(gold coating*) untuk meningkatkan konduktivitas permukaan, kemudian diamati pada tegangan 15 kV dengan perbesaran hingga 5000×.

Analisis Kinetika Ekstraksi

Kinetika ekstraksi dianalisis menggunakan pendekatan model orde satu. Model kinetika orde-1 dinyatakan pada persamaan (2) dan (3).

$$C_t = C_{eq}(1 - e^{-kt}) \qquad \text{persaamaan (2)}$$

Bentuk liniernya:

$$\ln(C_{eq} - C_t) = \ln(C_{eq}) - kt \qquad \text{persamaan (3)}$$

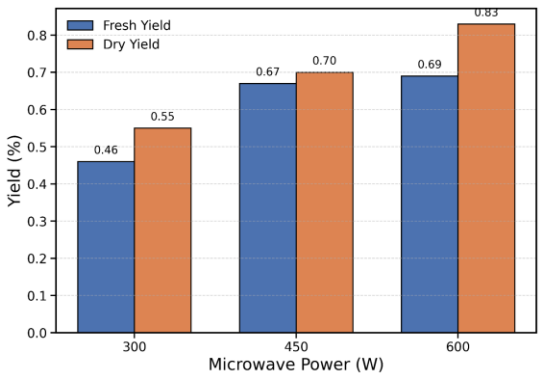
dimana C_t = rendemen (%) pada waktu t (menit); C_{eq} = rendemen kesetimbangan (maksimum asimtotik, %); k = konstanta laju ekstraksi (menit^{-1}); t = waktu ekstraksi (menit). Nilai C_{eq} ditentukan berdasarkan pendekatan asimtotik dari data rendemen tertinggi yang diamati, dengan mempertimbangkan bahwa pada daya 600 W jahe kering, rendemen menurun pada menit ke-22 akibat degradasi termal, sehingga C_{eq} diambil dari puncak maksimum (menit ke-20) yaitu 0,89% [10].

ISSN 2716-0963
e-ISSN 2716-1218

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Daya *Microwave* terhadap Rendemen Minyak Atsiri Jahe

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan daya *microwave* dari 300 W ke 450 W dan 600 W secara konsisten meningkatkan rendemen minyak atsiri, baik pada jahe segar (dari 0,46% menjadi 0,67% lalu 0,69%) maupun jahe kering (dari 0,55% menjadi 0,70% lalu 0,83%) (Gambar 2). Fenomena ini terjadi karena gelombang mikro menghasilkan pemanasan volumetrik (*volumetric heating*) melalui interaksi langsung medan elektromagnetik dengan molekul polar dalam bahan, terutama air, yang menimbulkan tekanan uap internal secara cepat dan memecahkan dinding sel sehingga minyak atsiri yang terperangkap di dalam vakuola dapat terlepas dengan lebih efisien. Semakin tinggi daya yang diberikan, semakin intens energi yang ditransfer ke dalam matriks rimpang, sehingga proses difusi dan perpindahan massa berlangsung lebih cepat dan menyeluruh dalam durasi ekstraksi yang sama; temuan ini sejalan dengan [3] yang melaporkan bahwa MAHD pada daya 600 W menghasilkan rendemen jauh lebih tinggi dibandingkan hidrodistilasi konvensional, sekaligus memangkas waktu ekstraksi secara drastis.



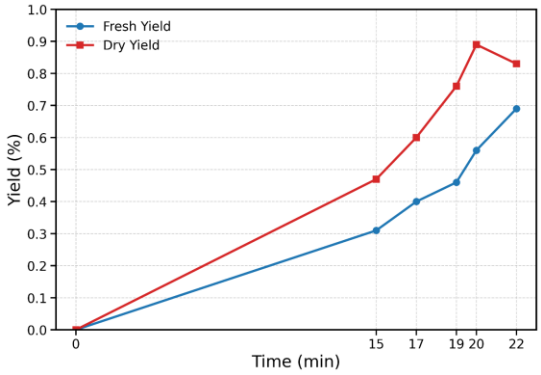
Gambar 2. Rendemen minyak atsiri jahe segar dan kering pada berbagai daya *microwave*

Perbandingan antar bahan baku menunjukkan bahwa jahe kering selalu menghasilkan rendemen yang lebih tinggi daripada jahe segar pada setiap tingkat daya, dengan selisih terbesar terjadi pada daya 600 W (0,83% vs 0,69%). Responsivitas yang lebih baik pada jahe kering ini disebabkan oleh kadar airnya yang rendah, sehingga energi *microwave* tidak terbuang sia-sia untuk memanaskan air berlebih, melainkan lebih terkonsentrasi untuk mengekstraksi senyawa minyak atsiri; selain itu, proses pengeringan sebelumnya telah merusak integritas dinding sel dan meningkatkan porositas jaringan, sehingga penetrasi panas serta pelepasan minyak menjadi lebih cepat dan menyeluruh [8]. Dengan demikian, daya 600 W merupakan kondisi yang direkomendasikan untuk memaksimalkan rendemen, terutama pada jahe kering, karena dalam rentang daya yang diuji belum terlihat indikasi degradasi termal yang merugikan [10]. Temuan ini menegaskan bahwa peningkatan daya *microwave* tidak hanya meningkatkan kuantitas rendemen secara signifikan, tetapi juga menawarkan efisiensi proses dan penghematan waktu yang substansial bagi industri penyulingan minyak atsiri jahe.

Pengaruh Waktu Ekstraksi terhadap Rendemen Minyak Atsiri Jahe

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh waktu ekstraksi terhadap rendemen minyak atsiri jahe sangat ditentukan oleh kondisi bahan baku, yaitu segar versus kering [5]. Pada jahe segar dengan daya 600 W, peningkatan waktu ekstraksi dari 15 hingga 22 menit secara konsisten menaikkan rendemen dari 0,31% menjadi 0,69%, yang mengindikasikan bahwa proses difusi dan pemecahan dinding sel untuk melepaskan minyak dari jaringan basah masih berlangsung secara progresif seiring bertambahnya durasi pemanasan [5]. Sebaliknya, pada jahe kering, rendemen meningkat tajam dari 0,47% menjadi 0,89% pada menit ke-20, namun justru mengalami penurunan menjadi 0,83% pada menit ke-22. Penurunan ini menandakan adanya titik optimum ekstraksi pada 20 menit, di mana perpanjangan waktu justru memicu degradasi termal dan penguapan komponen volatil akibat paparan panas berlebihan, suatu fenomena yang lebih dominan terjadi pada bahan kering karena strukturnya yang sudah rapuh dan porus sehingga minyak lebih cepat terekstraksi namun juga lebih rentan rusak [11].

ISSN 2716-0963
e-ISSN 2716-1218



Gambar 3. Profil rendemen terhadap waktu ekstraksi pada daya 600 W

Rendemen jahe kering selalu lebih tinggi daripada jahe segar pada setiap titik waktu, yang disebabkan oleh konsentrasi minyak atsiri per satuan berat bahan setelah kadar air menguap, serta meningkatnya porositas dinding sel selama pengeringan yang memudahkan penetrasi uap dan panas [8]. Penurunan rendemen jahe kering dari 0,89% pada menit ke-20 menjadi 0,83% pada menit ke-22 dapat dijelaskan oleh tiga hal. Pertama, setelah minyak dari sel yang telah pecah dan dari lapisan dekat permukaan terlepas, sisa minyak harus berdifusi dari bagian dalam jaringan sehingga laju perolehannya menurun tajam dan tidak lagi mampu mengimbangi kehilangan yang terjadi. Kedua, jahe kering memiliki kadar air rendah sehingga hanya sedikit air yang dapat meredam kenaikan suhu; paparan gelombang mikro yang lebih lama memicu titik panas lokal di dalam matriks dan mendegradasi komponen yang peka panas. Hundie dkk [14] melaporkan pola yang sama pada MAHD dari daun *Rumex crispus*, yaitu rendemen menurun setelah waktu optimum karena minyak terdegradasi oleh iradiasi gelombang mikro yang terlalu lama, serta daya yang berlebih menurunkan perolehan akibat degradasi termal senyawa yang peka panas. Ketiga, sebagian komponen volatil bertitik didih rendah dapat ikut teruapkan tanpa terkondensasi sempurna atau teroksidasi selama distilasi berkepanjangan; Widayat dkk [15] juga mengamati rendemen minyak atsiri jahe merah yang lebih rendah pada waktu distilasi yang lebih panjang dan mengaitkannya dengan degradasi minyak. Dengan demikian, waktu ekstraksi optimal untuk memaksimalkan rendemen adalah 20 menit, khususnya pada jahe kering, sedangkan ekstraksi lebih lama (22 menit) tidak lagi menguntungkan dan bahkan menurunkan hasil, sehingga dalam praktik industri perlu mempertimbangkan efisiensi energi serta risiko penurunan kualitas minyak atsiri akibat reaksi oksidasi dan hidrolisis termal [14] [15].

Kinetika Ekstraksi

Parameter kinetika orde satu (Ceq, k, dan $t_1/_2$) untuk keenam kondisi daya dan jenis bahan disajikan pada Tabel 3. Pada jahe segar, peningkatan daya dari 300 W ke 600 W tidak menunjukkan peningkatan k yang signifikan (0,344 → 0,276 → 0,342 menit^{-1}). Hal ini menunjukkan bahwa kinetika ekstraksi jahe segar dibatasi oleh kadar air yang tinggi, di mana sebagian besar energi gelombang mikro diserap oleh molekul air bebas, bukan langsung mendisrupsi dinding sel secara efektif. Energi yang terserap air justru memperlambat transfer panas spesifik ke minyak atsiri di dalam vakuola, sehingga laju ekstraksi relatif stagnan meskipun daya dinaikkan [1].

Tabel 1. Parameter kinetika orde satu hasil perhitungan

Daya (W)	Jenis Jahe	Ceq (%)
300	Segar	0,50
300	Kering	0,58
450	Segar	0,72
450	Kering	0,74
600	Segar	0,72
600	Kering	0,90
k (menit^{-1})	**$t_1/_2$ (menit)**	**R^2**
0,344	2,01	0,971
0,331	2,09	0,967
0,276	2,51	0,954
0,350	1,98	0,970
0,342	2,03	0,975
0,651	1,06	0,982

Sebaliknya, pada jahe kering, peningkatan daya dari 300 W ke 600 W meningkatkan k secara tajam, dari 0,331 menjadi 0,651 menit^{-1} (hampir 2 kali lipat). Pengeringan menurunkan kadar air sehingga energi *microwave* tidak terbuang untuk memanaskan air, melainkan langsung menembus matriks seluler yang telah rapuh dan

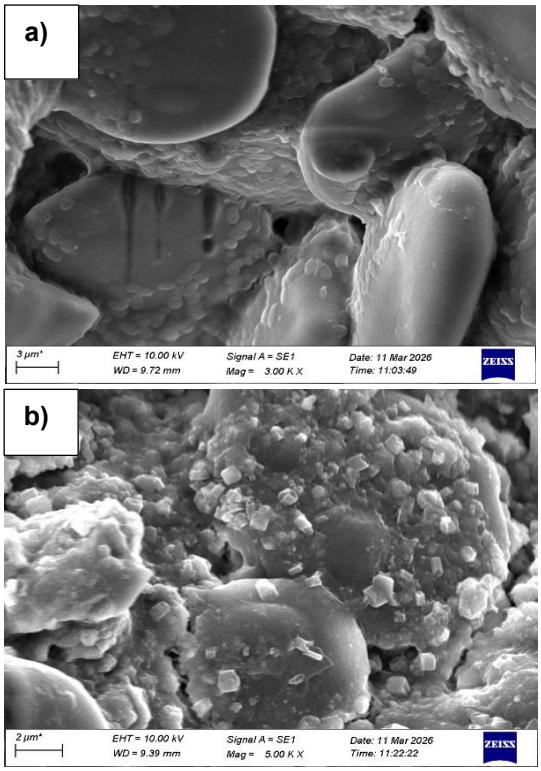
berpori. Porositas yang meningkat [8] memungkinkan penetrasi panas volumetrik yang lebih cepat dan merata, sehingga konstanta laju ekstraksi melonjak drastis.Drinić dkk. [3] juga melaporkan bahwa MAHD pada 600 W mampu mempersingkat waktu ekstraksi dibandingkan hidrodistilasi konvensional, yang secara kinetika tercermin dari nilai k yang tinggi.

Waktu paruh ($t_1/_2$) menunjukkan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai 50% dari rendemen kesetimbangan (Ceq). Pada jahe kering daya 600 W, $t_1/_2$ hanya 1,06 menit, jauh lebih cepat dibandingkan jahe segar pada daya yang sama (2,03 menit). Ini berarti proses ekstraksi jahe kering berlangsung lebih dari 2 kali lebih cepat pada tahap awal, memberikan keuntungan efisiensi waktu dan energi yang signifikan bagi skala industri. Perlu dicatat bahwa pada jahe kering 600 W menit ke-22, terjadi penurunan rendemen aktual (0,89% → 0,83%) yang tidak mengikuti model orde-1 (model memprediksi kenaikan asimtotik menuju Ceq). Penyimpangan ini mengindikasikan bahwa setelah titik optimum, reaksi degradasi termal dan penguapan komponen volatil mendominasi, sehingga rendemen turun. Sesuai dengan temuan sebelumnya telah dilaporkan bahwa rendemen minyak atsiri hasil MAHD mulai menurun setelah melewati waktu optimum karena minyak terdegradasi oleh iradiasi gelombang mikro yang terlalu lama. Pola serupa juga dilaporkan oleh Widayat dkk [15] pada distilasi minyak atsiri jahe merah, dimana waktu distilasi yang lebih panjang menghasilkan rendemen yang lebih rendah.

Morfologi Permukaan Jaringan Jahe

Untuk mendukung interpretasi mekanistik terhadap tren peningkatan *yield* pada daya microwave yang lebih tinggi, dilakukan pengamatan morfologi permukaan jaringan jahe sebelum dan sesudah proses MAHD menggunakan SEM (Gambar 4). Sebelum ekstraksi, permukaan jaringan jahe tampak padat, tersusun rapat, dan struktur dinding selnya masih relatif utuh dengan pori-pori yang belum terbuka secara signifikan, mengindikasikan bahwa sebagian besar minyak atsiri masih terperangkap di dalam jaringan sel. Setelah proses ekstraksi, permukaan jaringan menjadi lebih kasar dan tidak rata, dengan munculnya celah serta rongga kecil yang mengindikasikan pecahnya dinding sel dan terbukanya pori-pori baru.

Perubahan struktural ini konsisten dengan mekanisme pemanasan volumetrik gelombang mikro, di mana energi yang diserap langsung oleh air dalam jaringan menimbulkan tekanan internal yang memecah dinding sel dari dalam, sehingga mempermudah pelepasan minyak atsiri menuju fase uap [7]. Temuan ini memperkuat penjelasan mengapa peningkatan daya *microwave* secara konsisten meningkatkan *yield* pada kedua jenis bahan semakin tinggi daya yang diberikan, semakin besar kerusakan struktural yang terjadi, sehingga semakin banyak minyak atsiri yang dapat terlepas dari matriks jaringan.



Gambar 4. Hasil uji SEM jaringan jahe pada ekstraksi MAHD, (a) sebelum diekstraksi; (b) sesudah diekstraksi

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa daya *microwave* dan waktu ekstraksi berpengaruh signifikan terhadap *yield* minyak atsiri jahe segar dan kering melalui metode *Microwave-Assisted Hydrodistillation* (MAHD), dengan *yield* meningkat seiring peningkatan

kedua parameter tersebut hingga mencapai titik optimum. Kondisi operasi optimum ditetapkan pada 600 W/22 menit untuk jahe segar (*yield* 0,69%) dan 600 W/20 menit untuk jahe kering (*yield* 0,89%), sedangkan perpanjangan waktu ekstraksi hingga 22 menit pada jahe kering justru menurunkan *yield* menjadi 0,83% akibat degradasi termal dan penguapan komponen volatil, sehingga tidak direkomendasikan. Analisis kinetika orde satu menunjukkan kesesuaian yang baik pada seluruh kondisi (R^2 = 0,954–0,982), dengan konstanta laju ekstraksi tertinggi pada jahe kering 600 W (k = 0,651 menit^{-1}; waktu paruh 1,06 menit), hampir dua kali lebih cepat dibandingkan jahe segar pada daya yang sama. Pengamatan SEM mengonfirmasi bahwa peningkatan daya *microwave* menyebabkan kerusakan struktur dinding sel jaringan jahe yang lebih besar, mendukung mekanisme peningkatan *yield* yang teramati. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan praktis bagi pengembangan teknologi ekstraksi hijau berbasis gelombang mikro pada komoditas jahe Indonesia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Universitas Malikussaleh atas dukungan pendanaan penelitian yang diberikan melalui skema Penerimaan Negara Bukan Pajak (PNBP) berdasarkan kontrak nomor: 038/PPK-2/SWK-II/AL.04/2026. Dukungan pendanaan tersebut sangat mendukung keberhasilan pelaksanaan dan penyelesaian penelitian ini.

REFERENSI

[1] Majid, I., Khan, S., Aladel, A., Dar, A. H., Adnan, M., Khan, M. I., Awadelkareem, A. M., & Ashraf, S. A. (2023). Recent insights into green extraction techniques as efficient methods for the extraction of bioactive components and essential oils from foods. CyTA – Journal of Food, 21(1), 101–114. https://doi.org/10.1080/19476337.2022.2157492

[2] Dhotre, I. (2025). A comprehensive review on progression and innovations in microwave assisted extraction technology for essential oils. Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 100(5), 894–907. https://doi.org/10.1002/jctb.7823

[3] Nurjanah, N., Hidayat, T., & Setyawan, A. D. (2022). Porosity and structural changes of dried ginger rhizome and its impact on essential oil extraction efficiency. Indonesian Journal of Chemistry, 22(4), 987–996. https://doi.org/10.22146/ijc.71234

[4] Kamal, G. M., Nazi, N., Sabir, A., Saqib, M., Zhang, X., Jiang, B., Khan, J., Noreen, A., Uddin, J., & Murtaza, S. (2023). *Yield* and chemical composition of ginger essential oils as affected by inter-varietal variation and drying treatments of rhizome. Separations, 10(3), 186. https://doi.org/10.3390/separations10030186

[5] İzli, N., & Polat, A. (2019). Effect of convective and microwave methods on drying characteristics, color, rehydration and microstructure properties of ginger. Food Science and Technology, 39(3), 652–659. https://doi.org/10.1590/fst.04518

[6] Argo, B. D., Hermanto, M. B., Andriani, D. W., & Rosadhani, J. S. (2020). The effect of ginger oil extraction using Microwave Assisted Hydro-distillation (MAHD) method on zingiberene content. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 542(1), Article 012002. https://doi.org/10.1088/1755-1315/542/1/012002

[7] Kusuma, H. S., & Mahfud, M. (2020). Kinetic study of essential oil extraction from ginger using hydrodistillation. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 18, 100257. https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2020.100257

[8] Kamar, I. (2019). Ekstraksi minyak atsiri dari daun nilam (Pogostemon cablin Benth) menggunakan metode air-hydrodistillation dan steam distillation dengan skala besar

[9] Drinić, Z., Jovanović, M., Pljevljakušić, D., Čujić-Nikolić, N., Bigović, D., & Šavikin, K. (2021). Microwave-assisted extraction of essential oil from ginger (*Zingiber officinale* Rosc.). Lekovite Sirovine, (41), 22–27. https://doi.org/10.5937/leksir2141022d

[10] Nurjanah, N., Hidayat, T., & Setyawan, A. D. (2022). Porosity and structural changes of dried ginger rhizome and its impact on essential oil extraction efficiency. Indonesian

Journal of Chemistry, 22(4), 987–996. https://doi.org/10.22146/ijc.71234

[11] OEC World. (2024). Ginger in Indonesia trade. The Observatory of Economic Complexity. https://oec.world/en/profile/bilateral-product/ginger/reporter/idn

[12] Pratama, F., & Wibowo, D. (2023). Thermal degradation kinetics of ginger oleoresin bioactive compounds during prolonged extraction. Journal of Essential Oil Research, 35(2), 145–153. https://doi.org/10.1080/10412905.2023.2183281

[13] Sari, R. N., Susanti, D., & Utami, R. (2021). Effect of drying pre-treatment on the *yield* and chemical composition of ginger essential oil. Food Science and Technology, 41(3), 612–618. https://doi.org/10.1590/fst.25620

[14] Mohammed, H. H., Laftah, W. A., Ibrahim, A. N., & Yunus, M. A. C. (2022). Extraction of essential oil from *Zingiber officinale* and statistical optimization of process parameters. RSC Advances, 12, 4843–4851. https://doi.org/10.1039/D1RA06711G

[15] Satriana, S., Alam, P. N., Adisalamun, A., & Supardan, M. D. (2015). Effect of drying and hydrodistillation time]on the amount of ginger essential oil. International Journal on Advanced Science, Engineeri

[16] Nurjanah, N., Hidayat, T., & Setyawan, A. D. (2022). Porosity and structural changes of dried ginger rhizome and its impact on essential oil extraction efficiency. Indonesian Journal of Chemistry, 22(4), 987–996. https://doi.org/10.22146/ijc.71234

[17] Hundie, K. B., Bullo, T. A., Bayisa, Y. M., Akuma, D. A., & Bultum, M. S. (2023). Optimization of microwave-assisted hydro-distillation essential oil extracted from Rumex crispus leaves using definitive screening design. Arabian Journal of Chemistry, 16(5), 104665. https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.104665

[18] Widayat, W., Dita, A. S., Bambang, C., & Hantoro, S. (2018). Study of rendement of red ginger essential oil from red ginger waste by using steam distillation process. E3S Web of Conferences, 73, 07002. https://doi.org/10.1051/e3sconf/20187307002

[19] Kamar, I. (2019). Ekstraksi minyak atsiri dari daun nilam (Pogostemon cablin Benth) menggunakan metode air-hydrodistillation dan steam distillation dengan skala besar [Tesis magister, Institut Teknologi Sepuluh Nopember]. http://repository.its.ac.id/61107/