

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Minyak atsiri merupakan cairan yang terbuat dari minyak nabati yang memiliki aroma yang unik dan sangat mudah menguap di udara. Nilam (*Pongostemon cablin* Benth.) adalah tanaman semak tropis yang menghasilkan minyak atsiri. Tanaman ini dapat tumbuh baik di tempat yang teduh, hangat, dan lembap. Selain itu, tanaman nilam juga mudah layu jika terkena sinar matahari langsung atau kekurangan air. Tanaman ini adalah tumbuhan semak dari keluarga *Labiatae* dan dapat mencapai ketinggian antara 0,3 - 1,3 meter (Anggreani *et al.*, 2022). Bagian morfologinya, yaitu akar, batang, dan daun, dimanfaatkan untuk mengekstraksi minyaknya, yang kemudian diproses menjadi minyak esensial, parfum, anti serangga, dan juga digunakan dalam industri kosmetik (Rahmanissa *et al.*, 2022).

Permasalahan terkait ekstraksi minyak atsiri yaitu: 1) rendemen dan mutu minyak atsiri yang belum sesuai SNI, 2) efisiensi ekstraksi minyak atsiri, 3) kualitas minyak dipengaruhi suhu dan tekanan yang tidak stabil selama proses ekstraksi, 4) konsumsi energi yang tinggi serta 5) fluktuasi harga yang terjadi secara terus-menerus. Salah satu metode terbaru yang menunjukkan potensi besar dalam mengurangi waktu proses, meningkatkan hasil, dan meningkatkan kualitas dibandingkan distilasi konvensional adalah metode *Microwave Assisted Extraction* (MAE). Teknologi MAE adalah metode ekstraksi yang memanfaatkan gelombang mikro untuk mengeluarkan zat terlarut dari tanaman. Teknologi ini sangat cocok untuk mengekstraksi senyawa yang sensitif terhadap panas (*thermolabil*), karena memungkinkan pengendalian suhu yang lebih baik dibandingkan metode pemanasan tradisional (Purwanto *et al.*, 2010).

MAE merupakan inovasi dalam tren global yang berfokus pada solusi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan dalam

industri ekstraksi minyak. Metode ini menggunakan gelombang elektromagnetik berfrekuensi tinggi, antara 0,3 GHz hingga 300 GHz, untuk ekstraksi. Kelebihan utama dari MAE termasuk minimnya penggunaan pelarut, efisiensi waktu yang lebih tinggi, konsumsi daya rendah, serta dampak lingkungan yang lebih minimal. MAE memanfaatkan gelombang mikro untuk mempercepat ekstraksi secara efisien melalui pemanasan cepat pelarut yang digunakan. Beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi ekstraksi termasuk daya gelombang mikro yang mempengaruhi intensitas energi yang diterima bahan baku, serta waktu ekstraksi yang dapat berpengaruh pada hasil dan kualitas minyak yang dihasilkan. Namun dalam pengaplikasiannya, salah satu kendala utama pada alat MAE yang telah dibuat adalah ketidakstabilan suhu pada kompartemen kelistrikan, yang berpotensi memengaruhi kinerja komponen elektronik seperti magnetron dan transformator. Ketika suhu di dalam kompartemen meningkat secara berlebihan dan tidak terkontrol, maka akan berdampak pada fluktuasi daya *output*, mempercepat kerusakan komponen, serta menurunkan efisiensi ekstraksi secara keseluruhan. Konfigurasi awal alat MAE hanya menggunakan satu kipas pendingin yang diletakkan di bagian samping kompartemen, namun hasil pengamatan awal menunjukkan bahwa pendinginan tidak merata dan suhu internal cenderung melebihi batas aman. Akibatnya, alat sering mengalami kondisi *overheat* yang menyebabkan sistem otomatis mati selama proses ekstraksi berlangsung.

Stabilitas suhu sangat penting untuk menjaga kualitas proses ekstraksi minyak nilam. Kecepatan aliran air, kualitas bahan baku nilam, serta penggunaan alat ekstraksi dari material berkualitas tinggi seperti baja tahan karat juga memengaruhi hasil akhir. Faktor-faktor tersebut dapat berdampak pada peningkatan atau penurunan kualitas minyak nilam yang dihasilkan (Slamet *et al.*, 2019).

Menurut Hamid Nour *et al.*, (2021), yang dalam praktiknya menggunakan *flask* berbentuk labu sebagai wadah pemanas dan kondensasi dalam MAE memiliki fungsi penting dalam mendukung proses sirkulasi uap air dan pemulihan minyak atsiri melalui kondensasi. Hal ini menandakan bahwa bentuk dan desain wadah ekstraksi memengaruhi efisiensi dan distribusi panas selama proses MAE. Distribusi suhu selama ekstraksi memegang peran penting dalam menentukan efisiensi dan kualitas ekstrak. *Computational Fluid Dynamics* (CFD) adalah disiplin ilmu yang memprediksi aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia, dan fenomena lainnya (Akmal *et al.*, 2019). Prinsip kerja CFD adalah dengan membagi model simulasi, yang berisi objek padat maupun fluida, menjadi sejumlah elemen kecil atau bagian-bagian terpisah. Setiap elemen ini berfungsi sebagai area kontrol untuk perhitungan yang akan dijalankan oleh perangkat lunak *Ansys*. Sebelum perhitungan dimulai, setiap elemen diberi batasan *domain* atau *boundary condition*. Prinsip ini sering digunakan dalam proses perhitungan yang memanfaatkan dukungan komputasi (Ndeo *et al.*, 2021).

Menurut penelitian terdahulu, terkait aplikasi CFD menunjukkan bahwa metode ini sangat berguna dalam memprediksi distribusi suhu, dan aliran udara, termasuk dalam ekstraksi minyak atsiri. Syahrizal (2023) melakukan penelitian terkait simulasi aliran suhu pada alat penyulingan minyak atsiri berbasis tenaga listrik. Penelitian ini berfokus pada bagaimana suhu dan tekanan berperan penting dalam menjaga kualitas minyak atsiri yang dihasilkan. Penelitian Syahrizal menunjukkan bahwa dengan simulasi CFD, aliran suhu dapat dioptimalkan untuk menghasilkan distribusi panas yang lebih merata, sehingga kualitas minyak dapat ditingkatkan. Lebih lanjut, penggunaan metode CFD pada penelitian terdahulu juga telah menunjukkan pentingnya posisi *heater* atau sumber panas dalam alat penyulingan. Guenther (1987) menyebutkan bahwa suhu dan

tekanan yang tidak stabil dapat menurunkan kualitas minyak yang dihasilkan, serta bagaimana distribusi panas dan bentuk alat memainkan peranan penting dalam proses destilasi.

Melalui penelitian ini, kinerja kompartemen kelistrikan yang menaungi magnetron, transformator, dan rangkaian kontrol sangat memengaruhi stabilitas suhu dan daya yang dihasilkan selama proses ekstraksi. Penelitian ini membandingkan dua konfigurasi: satu dengan kipas pendingin tunggal dan satu lagi dengan penambahan dua buah *exhaust fan*. Hal ini berimplikasi langsung terhadap stabilitas *output* daya dan memperpanjang umur komponen elektronik. Dengan demikian, pengoptimalan sistem ventilasi pada kompartemen kelistrikan menjadi salah satu faktor penting dalam mendukung efisiensi dan efektivitas proses MAE. Selain itu, memilih bentuk wadah ekstraksi, baik bulat maupun kotak, merupakan langkah penting dalam perancangan alat.

Untuk mengetahui apakah desain tersebut dapat mencapai suhu yang diinginkan, digunakan simulasi dengan CFD. Simulasi menggunakan CFD, distribusi suhu selama proses ekstraksi dapat disimulasikan untuk mengidentifikasi area dengan ketidakseimbangan suhu, seperti titik panas atau area yang kurang panas, yang dapat menyebabkan kerusakan senyawa bioaktif. Hasil simulasi CFD menunjukkan distribusi suhu dalam bentuk warna, yang memungkinkan optimasi parameter proses untuk mencapai distribusi suhu yang lebih merata. Hal ini berpotensi meningkatkan kualitas dan kuantitas minyak yang dihasilkan serta meminimalkan kerusakan pada senyawa yang sensitif terhadap panas. Dengan menggunakan simulasi CFD, penelitian ini tidak hanya melanjutkan studi-studi sebelumnya tetapi juga memberikan inovasi pada proses ekstraksi minyak atsiri.

Optimasi suhu melalui CFD diharapkan dapat meningkatkan kualitas dan kuantitas minyak nilam yang dihasilkan, sebagaimana ditunjukkan oleh penelitian terdahulu, tetapi dengan pendekatan yang lebih *modern* dan ramah lingkungan (De Sousa *et al.*, 2020).

Berdasarkan uraian di atas maka peneliti melakukan penelitian yang berjudul “**Simulasi Distribusi Suhu Pada *Microwave* Untuk Ekstraksi Minyak Atsiri Nilam Menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD)**”.

1.2 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis simulasi distribusi suhu konfigurasi kompartemen kelistrikan pada alat MAE terhadap kestabilan suhu selama proses ekstraksi, khususnya dengan membandingkan antara penggunaan satu kipas pendingin dan penambahan dua *exhaust fan*.
2. Menganalisis simulasi CFD berdasarkan bentuk wadah ekstraksi (bulat dan kotak) terhadap distribusi suhu selama proses ekstraksi minyak atsiri nilam menggunakan metode *Microwave Assisted Extraction* (MAE).
3. Menganalisis potensi ketidakseimbangan panas seperti titik panas (*hot spots*) atau daerah kurang panas pada desain alat, yang berisiko menurunkan kualitas senyawa bioaktif dalam minyak nilam.

1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi dan pemahaman yang lebih mendalam mengenai konfigurasi kompartemen kelistrikan pada alat MAE terhadap kestabilan suhu dan daya selama proses ekstraksi, khususnya dengan membandingkan antara penggunaan satu kipas pendingin dan dua *exhaust fan*, serta pengaruh bentuk labu didih baik dalam bentuk bulat maupun kotak terhadap distribusi suhu pada alat ekstraksi minyak atsiri nilam berbasis *microwave* menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD).