

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nilam (*Pogostemon cablin* Benth.) merupakan komoditas minyak atsiri bernilai ekonomi tinggi, dengan *patchouli alcohol* sebagai penentu mutu utama (Firmansyah *et al.*, 2023; Kok *et al.*, 2023). Kualitas minyak tidak hanya ditentukan oleh teknik ekstraksi, tetapi juga oleh kondisi hulu seperti kadar air dan struktur jaringan penyimpanan (Rassem *et al.*, 2022). Secara anatomis, daun nilam memiliki trikoma glandular tipe *peltate* yang berfungsi sebagai kantung penyimpanan minyak atsiri dengan ruang subkutikula yang besar (Guo *et al.*, 2013). Minyak atsiri yang tersimpan di dalam trikoma hanya dapat dilepaskan jika struktur tersebut mengalami kerusakan fisik, baik melalui perlakuan mekanis seperti pengecilan ukuran maupun pemanasan yang menyebabkan peningkatan tekanan internal hingga terjadi ruptur atau kolaps dinding sel (Sukardi *et al.*, 2019). Dengan demikian, pemahaman tentang mekanisme kerusakan trikoma glandular merupakan kunci untuk menjelaskan efisiensi ekstraksi.

Berbagai metode ekstraksi, mulai dari destilasi uap-air konvensional hingga *Microwave-Assisted Extraction* (MAE), pada dasarnya bekerja melalui mekanisme yang berbeda dalam merusak jaringan tanaman. Destilasi konvensional mengandalkan perpindahan panas secara konduksi-konveksi yang lambat, sehingga berpotensi menyebabkan degradasi termal dan memerlukan waktu panjang (6–8 jam) (Kusuma & Mahfud, 2015b). Sebaliknya, MAE menghasilkan pemanasan dielektrik volumetrik yang cepat melalui interaksi gelombang mikro dengan molekul polar di dalam sel (Sun *et al.*, 2016). Perbedaan mendasar ini menjadikan MAE sebagai alat yang tepat untuk menginduksi ruptur sel secara terkendali dan mempelajari pengaruh energi terhadap jaringan, sementara metode Soxhlet (dengan pelarut

organik) berfungsi sebagai kontrol untuk membedakan efek pelarutan murni dari efek disrupsi fisik yang intensif.

Meskipun MAE telah banyak diterapkan, sebagian besar penelitian hanya berfokus pada optimasi empiris parameter proses (daya, waktu, ukuran partikel) terhadap rendemen, tanpa mengungkap secara kuantitatif rantai kausal yang menghubungkan energi yang diserap, tingkat disrupsi trikoma, dan kinetika pelepasan minyak. Padahal, parameter daya nominal magnetron tidak representatif karena adanya refleksi dan *losses* pada sistem (Jeon *et al.*, 2022); energi aktual yang terserap oleh bahan (diukur secara kalorimetrik) merupakan variabel fisik yang lebih tepat untuk menjelaskan intensitas pemanasan yang benar-benar menyebabkan kerusakan sel (Chan *et al.*, 2014). Peningkatan daya nominal diduga tidak selalu diikuti oleh peningkatan energi terserap sehingga pengaruhnya terhadap peningkatan rendemen menjadi terbatas. Selain itu, pengecilan ukuran partikel yang umumnya dianggap mampu meningkatkan efisiensi ekstraksi memiliki kondisi optimum. Ukuran partikel yang terlalu halus (<5 mm) berpotensi menyebabkan disrupsi trikoma glandular terjadi sebelum proses ekstraksi berlangsung secara optimal, sehingga senyawa-senyawa volatil lebih mudah menguap dan tidak seluruhnya berhasil diekstraksi. Sebaliknya, penggunaan partikel berukuran kasar (5–50 mm) diduga mampu mempertahankan integritas struktur penyimpan minyak hingga proses pemanasan berlangsung, sehingga berpotensi menghasilkan rendemen minyak yang lebih tinggi (Kusuma *et al.*, 2018).

Untuk mengungkap mekanisme tersebut, diperlukan dua pendekatan analitis. Pertama, karakterisasi morfologi menggunakan *Scanning Electron Microscop* (SEM) dan pengukuran luas area proyeksi trikoma glandular melalui ImageJ dapat memberikan bukti visual dan kuantitatif tentang tingkat kerusakan sel setelah perlakuan (Qiu *et al.*, 2022). Diduga, semakin besar energi yang terserap, semakin kecil luas area proyeksi

trikoma (menunjukkan disrupsi yang lebih parah), dan hal ini akan berkorelasi positif dengan rendemen minyak yang dihasilkan. Kedua, pemodelan kinetika ekstraksi (orde satu pertama dan kedua) memungkinkan peneliti menggambarkan dinamika pelepasan minyak terhadap waktu serta memperoleh parameter konstanta laju (k) dan rendemen teoritis (q_e). Karena MAE didominasi oleh mekanisme ruptur sel cepat pada fase awal, model orde satu pertama diduga lebih sesuai dibandingkan orde satu kedua untuk menggambarkan pelepasan minyak nilam (Variyana & Mahfud, 2020); Pavlić *et al.*, 2023).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dirancang untuk mengungkap mekanisme disrupsi trikoma glandular sebagai pemicu pelepasan minyak nilam, dengan menjawab pertanyaan fundamental: bagaimana perlakuan ukuran partikel dan daya *microwave* dapat memengaruhi energi yang terserap oleh jaringan mengontrol tingkat kerusakan sel, dan bagaimana kerusakan tersebut memengaruhi laju serta jumlah minyak yang terekstrak? Secara operasional, penelitian ini akan mengkaji pengaruh ukuran partikel halus dan kasar serta daya *microwave* 700 dan 800 W terhadap energi terserap, kinetika ekstraksi, rendemen, mutu (kadar *patchouli alcohol*) serta perubahan morfologi trikoma. Dengan membandingkan hasil MAE dengan metode Soxhlet (sebagai kontrol tanpa disrupsi fisik intensif), penelitian ini diharapkan dapat membuktikan secara kuantitatif bahwa disrupsi trikoma merupakan mekanisme dominan pada ekstraksi berbasis gelombang mikro, sekaligus memberikan pemahaman mekanistik yang komprehensif serta bukti morfologis tentang bagaimana minyak nilam dilepaskan dari jaringan tanaman. Temuan ini tidak hanya mengisi celah pengetahuan yang ada, tetapi juga menyediakan dasar ilmiah bagi pengembangan teknologi ekstraksi yang lebih selektif dan efisien.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh ukuran partikel dan daya *microwave* terhadap rendemen dan mutu minyak nilam?
2. Bagaimana hubungan kuantitatif antara energi terserap dengan tingkat disrupsi trikoma glandular (ditunjukkan oleh penurunan luas area proyeksi) sebagai mekanisme pelepasan minyak nilam selama proses MAE?
3. Model kinetika ekstraksi mana yang paling sesuai untuk menggambarkan dinamika pelepasan minyak selama proses ekstraksi?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh ukuran partikel dan daya *microwave* terhadap rendemen dan mutu minyak nilam.
2. Mengungkap mekanisme pelepasan minyak nilam melalui analisis hubungan antara energi terserap dengan disrupsi trikoma glandular selama proses ekstraksi.
3. Menentukan model kinetika ekstraksi yang paling sesuai (orde semu pertama atau kedua) untuk menggambarkan dinamika pelepasan minyak selama proses ekstraksi.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut::

1. Penelitian ini menyediakan data empiris tentang pengaruh ukuran partikel dan daya *microwave* terhadap rendemen dan mutu minyak nilam.
2. Penelitian ini memberikan kontribusi ilmiah fundamental dengan membuktikan secara kuantitatif bahwa energi terserap merupakan faktor pengendali utama yang mendisrupsi trikoma

glandular, yang kemudian menjadi mekanisme dominan pelepasan minyak nilam. Pembuktian ini dilakukan melalui integrasi pendekatan kalorimetri, morfologi SEM, dan pemodelan kinetika dalam satu kerangka analisis yang komprehensif, sehingga memperkaya pemahaman mekanistik tentang ekstraksi berbasis gelombang mikro pada tanaman aromatik.

3. Menghasilkan model kinetika ekstraksi yang representatif beserta parameter konstanta laju (k) dan rendemen teoritis (q_e) yang dapat menjadi acuan bagi industri dalam menentukan kondisi operasi optimal dan dasar pengembangan model matematika ekstraksi skala lanjutan.

1.5 Hipotesis

Hipotesis penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. Parameter proses

- H₁: Ukuran partikel berpengaruh signifikan terhadap rendemen minyak nilam, di mana partikel kasar (5–50 mm) menghasilkan rendemen yang lebih tinggi dibandingkan partikel halus (<5 mm) karena partikel kasar tidak mengalami pemadatan dan penguapan prematur senyawa volatil.
- H₂: Daya *microwave* pada rentang 700–800 Watt serta interaksinya dengan ukuran partikel tidak berpengaruh signifikan terhadap rendemen dan kadar *patchouli alcohol* karena peningkatan daya nominal tidak linier dengan peningkatan energi terserap aktual oleh bahan.
- H₃: Kadar *patchouli alcohol* tidak dipengaruhi secara signifikan oleh variasi ukuran partikel dan daya *microwave*, karena kadar PA lebih ditentukan oleh faktor internal bahan baku (genetika, umur panen) dan volatilitas senyawa selama proses hidrodistilasi.

2. Energi terserap dan disrupsi trikoma glandular

H₄: Terdapat hubungan negatif antara energi dan luas area proyeksi trikoma glandular. Semakin besar energi yang terserap, semakin kecil luas area proyeksi trikoma, yang mengindikasikan tingkat disrupsi (kerusakan) yang lebih parah.

H₅: Energi terserap memiliki korelasi yang lebih kuat dengan tingkat disrupsi trikoma dibandingkan daya nominal *microwave*, karena energi terserap merepresentasikan energi aktual yang dikonversi menjadi panas di dalam bahan dan memicu tekanan internal yang merusak dinding sel sekretori.

3. Kinetika ekstraksi

H₆: Model kinetika orde satu lebih sesuai untuk menggambarkan dinamika pelepasan minyak nilam pada MAE dibandingkan model orde dua. Hal ini karena proses ekstraksi didominasi oleh pelepasan cepat (*washing effect*) pada fase awal akibat disrupsi fisik trikoma glandular, bukan oleh difusi internal yang lambat.

