

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Minyak atsiri merupakan salah satu komoditas hasil tanaman yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan berperan penting dalam berbagai sektor industri. Minyak atsiri diperoleh dari berbagai bagian tanaman seperti daun, bunga, akar, batang, hingga buah melalui proses distilasi atau lainnya yang menghasilkan senyawa volatil dengan aroma khas. Indonesia merupakan salah satu produsen minyak atsiri terbesar di dunia dan memiliki kontribusi penting dalam perdagangan global. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), minyak atsiri termasuk dalam kelompok tanaman obat, aromatik, dan rempah-rempah yang merupakan salah satu komoditas ekspor non-migas bernilai tinggi di Indonesia pada tahun 2023. Statistik resmi menunjukkan nilai ekspor kelompok tersebut mencapai US\$465,1 juta pada periode tersebut (Badan Pusat Statistik, 2023).

Menurut (Prabandari, 2019) terdapat sekitar 50–200 spesies tanaman penghasil minyak atsiri secara global, dan Indonesia sendiri memiliki sekitar 40 jenis tanaman yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber minyak atsiri. Banyaknya jenis tumbuhan aromatik yang tumbuh di wilayah tropis Indonesia menjadikan negara ini memiliki potensi besar untuk menjadi produsen minyak atsiri yang berdaya saing tinggi. Minyak atsiri dimanfaatkan dalam berbagai industri seperti kosmetik, aromaterapi, obat tradisional, pangan, dan farmasi, terutama kandungan senyawa volatilnya yang memberikan aroma dan fungsi fisiologis khas (Sharmeen et al., 2021).

Salah satu minyak atsiri dengan nilai ekonomi penting adalah minyak atsiri temulawak (*Curcuma xanthorrhiza*). Temulawak diketahui memiliki aktivitas antiinflamasi, antioksidan, antimikroba, sehingga berpotensi dimanfaatkan dalam bidang kesehatan dan kosmetik (Rahmat et al., 2021). Penelitian oleh (Mohanty et al., 2023) menunjukkan minyak atsiri temulawak mengandung beberapa senyawa aktif, antara lain 1,8-cineole, xanthorrhizol, curzerenone, dan camphor, yang berkontribusi terhadap manfaatnya bagi kesehatan dan perawatan kulit. Senyawa 1,8-cineole dan xanthorrhizol

memiliki sifat antioksidan yang kuat, sehingga sangat efektif digunakan dalam produk anti-penuaan dan perawatan kulit. Selain itu, xanthorrhizol juga memiliki kemampuan untuk menghambat enzim tirosinase, yang berguna dalam produk pemutih kulit.

Penelitian lain oleh (Rahmat et al., 2021) menunjukkan bahwa xanthorrhizol memiliki aktivitas antibakteri dan antifungi terhadap beberapa mikroorganisme penyebab jerawat dan infeksi kulit, seperti *Staphylococcus aureus* dan *Propionibacterium acnes*. Senyawa ini juga memiliki sifat antiinflamasi yang dapat membantu meredakan peradangan dan membantu mengurangi gejala penyakit inflamasi seperti arthritis. Selain itu, penelitian oleh (Septama et al., 2022) menunjukkan bahwa minyak atsiri temulawak memiliki aktivitas antibakteri terhadap *Bacillus subtilis* dan *Staphylococcus aureus*, serta mampu menghambat pembentukan biofilm. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa minyak atsiri temulawak memiliki potensi sebagai agen antimikroba alami dan dapat digunakan sebagai pendukung dalam meningkatkan efektivitas antibiotik .

Temulawak juga termasuk dalam sembilan tanaman obat unggulan menurut Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia (Sari Putri, 2013). Menurut (Rohman et al., 2020), tingginya permintaan temulawak (*Curcuma xanthorrhiza*) di industri herbal, ditambah dengan harga komoditas ini yang cenderung lebih tinggi daripada simplisia lain di pasar tradisional, membuat pemalsuan menjadi masalah yang umum terjadi dan telah menimbulkan persoalan serius. Praktik pemalsuan dapat dilakukan secara sengaja untuk menekan biaya produksi atau terjadi tanpa disadari akibat kesalahan identifikasi bahan. Pola pemalsuan umumnya dilakukan melalui substitusi sebagian atau seluruh simplisia asli dengan bahan lain yang lebih murah, yang memiliki aktivitas terapeutik lebih rendah atau bahkan tidak memiliki efek farmakologis. Pemalsuan tersebut tidak hanya menurunkan mutu minyak atsiri tetapi juga dapat merugikan industri, menurunkan kepercayaan konsumen, dan berpotensi mengganggu keamanan produk (Pierson et al., 2021).

Ciri fisik minyak atsiri yang dipalsukan seringkali mirip dengan yang asli, sehingga sulit dibedakan secara visual. Pemalsuan umumnya dilakukan dengan menambahkan minyak nabati murah yang memiliki sifat fisik serupa, meskipun tidak mengubah komposisi kimia secara signifikan. Hal ini dapat menyebabkan penurunan kualitas aroma,

perubahan warna yang pudar, dan peningkatan viskositas yang sulit terdeteksi (Capetti et al., 2021)

Oleh karena itu, deteksi pemalsuan minyak atsiri temulawak menjadi langkah penting untuk menjaga keamanan, kemurnian, dan integritas produk herbal yang beredar. Untuk memastikan keaslian minyak atsiri, umumnya menggunakan metode uji organoleptik sebagai langkah awal. Penilaian organoleptik dilakukan oleh panelis manusia yang memiliki pengalaman dalam membedakan minyak atsiri asli dan palsu. Meskipun dapat memberikan penilaian langsung, metode ini memiliki kelemahan mendasar karena sifatnya yang subjektif. Hasil uji dapat bervariasi tergantung kondisi fisik panelis, kelelahan indra penciuman, serta lingkungan pengujian. Variasi persepsi antar panelis juga menyebabkan hasil penilaian tidak konsisten. Pada skala industri yang membutuhkan standar kualitas objektif dan dapat direproduksi, keterbatasan uji organoleptik menjadi isu yang tidak dapat diabaikan (Feldes et al., 2023).

Selain uji organoleptik, metode analisis kimia seperti *Gas Chromatography–Mass Spectrometry* (GC-MS) menjadi teknik yang umum digunakan untuk menganalisis komponen volatil dalam minyak atsiri. Metode ini dianggap sebagai “*gold standard*” dalam autentikasi minyak atsiri karena hasil analisisnya akurat, sensitif, dan dapat membedakan komponen secara presisi (Cagliero et al., 2022). Meskipun memiliki kinerja analitik yang tinggi, GC-MS memiliki sejumlah keterbatasan operasional yang membatasi penerapannya secara luas. Waktu analisis yang relatif lama serta kebutuhan persiapan sampel yang kompleks membuat teknik ini kurang ideal untuk aplikasi yang memerlukan hasil cepat atau pemantauan proses secara *real-time*. Selain itu, instrumen GC-MS memiliki sistem operasi dan pemeliharaan yang rumit, sehingga membutuhkan operator terlatih untuk menangani pengaturan parameter, pencegahan kontaminasi, dan manajemen perangkat lunak. Dari sisi ekonomi, biaya investasi awal yang tinggi, konsumsi energi besar, kebutuhan gas pembawa berkualitas tinggi, serta biaya perawatan rutin menjadikan teknologi ini sulit diadopsi oleh industri kecil dan menengah (Gruber et al., 2020).

Salah satu teknologi alternatif yang berkembang pesat adalah *Electronic Nose* (E-Nose). E-Nose merupakan sistem elektronik yang dirancang untuk meniru mekanisme

penciuman manusia dengan menggunakan susunan sensor gas untuk mendeteksi senyawa volatil, kemudian mengolah respons sensor menjadi pola aroma yang dapat dianalisis secara statistik atau melalui algoritma pembelajaran mesin (Aghili et al., 2023). Keunggulan utama E-Nose meliputi kecepatan analisis, kemudahan penggunaan, sifat non-destruktif, serta tidak memerlukan preparasi sampel yang kompleks. Karakteristik tersebut menjadikan E-Nose sangat relevan sebagai alat inspeksi kualitas minyak atsiri secara langsung. Dalam berbagai studi, E-Nose telah dimanfaatkan untuk klasifikasi varietas, penilaian kualitas, dan deteksi pemalsuan minyak atsiri melalui analisis pola volatil yang tidak selalu dapat diidentifikasi oleh indera manusia (Rasekh et al., 2021).

Penelitian oleh (Viciano-Tudela, Parra, et al., 2023) menunjukkan bahwa *Electronic Nose* mampu mengklasifikasi, termasuk membedakan minyak atsiri murni dan yang telah tercampur atau dipalsukan. Dalam studi ini digunakan enam jenis sampel minyak: *Cistus ladanifer*, *Pinus pinaster*, *Melaleuca alternifolia* (tea tree), *Citrus limonum* (lemon), dan minyak dari buah merah. Selain itu, juga digunakan minyak atsiri *Cistus ladanifer* yang dicampur dengan *Pinus pinaster* untuk mendeteksi potensi pemalsuan. Data yang dikumpulkan oleh sensor kemudian dianalisis menggunakan metode pembelajaran mesin (*Machine Learning*), yang meliputi algoritma *Discriminant Analysis* (DA), *Support Vector Machine* (SVM), *k-Nearest Neighbours* (KNN), *Neural Network* (NN), dan *Naive Bayesian* (NB). Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa E-Nose menggunakan algoritma pembelajaran mesin. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa sistem E-Nose menggunakan algoritma *k-Nearest Neighbours* (KNN) memberikan hasil terbaik dengan akurasi 100% ketika menggunakan 15 atau lebih parameter. Akurasi juga tinggi pada penggunaan 4 parameter (99.90%), 3 parameter (99.85%), dan 2 parameter (99.02%). Sedangkan untuk algoritma *Neural Network* (NN), akurasi mencapai 99.69% dengan 33 parameter. *Support Vector Machine* (SVM) menunjukkan akurasi maksimum sekitar 98.80% dengan 33 parameter, sementara *Naive Bayesian* (NB) menunjukkan akurasi yang sangat stabil di sekitar 99%, terlepas dari jumlah parameter yang digunakan.

Penelitian oleh (Graboski et al., 2024) menunjukkan bahwa teknologi *Electronic Nose* (E-Nose) merupakan metode yang sangat efektif untuk mendeteksi pemalsuan pada

minyak atsiri, khususnya *clove essential oil* (CEO). Dalam studi tersebut, peneliti menggunakan E-Nose untuk mengidentifikasi penambahan vaseline, yang merupakan salah satu bahan pemalsu paling umum dan sulit terdeteksi pada minyak atsiri cengkeh. Sampel CEO dipalsukan dengan berbagai konsentrasi vaseline (3–100%), lalu dianalisis menggunakan teknik kemometrik seperti PCA, LDA, dan IDMAP. Hasil penelitian menunjukkan bahwa e-nose mampu membedakan CEO murni dan CEO yang dipalsukan secara akurat, bahkan pada kadar pemalsuan yang sangat rendah. Analisis PCA menghasilkan akurasi 99,85%, LDA sebesar 98,30%, dan IDMAP mencapai 99,81%, Ini menegaskan kemampuan E-Nose dalam mendeteksi perubahan pola volatil akibat pemalsuan. Penelitian ini membuktikan bahwa e-nose adalah alat yang cepat, sensitif, murah, dan efektif untuk pengujian keaslian minyak atsiri, serta berpotensi besar diimplementasikan dalam industri untuk mencegah praktik pemalsuan pada minyak atsiri.

Penelitian oleh (X. Wang et al., 2024) menunjukkan bahwa *Electronic Nose* dapat menjadi alat utama untuk mendeteksi pemalsuan deteksi pemalsuan minyak camellia. Tujuan utama studi ini adalah mengembangkan metode cepat dan kuantitatif untuk mengidentifikasi tingkat pemalsuan minyak camellia yang dicampur dengan minyak nabati yang lebih murah. Peneliti menggabungkan perangkat E-Nose dengan kerangka pembelajaran mesin yang disebut TES (*Transformer Encoder SVM*) lalu membandingkannya dengan lima model lain seperti SVM biasa, random forest, XGBoost, *K-nearest neighbors*, dan *backpropagation neural network*. Hasilnya menunjukkan bahwa E-Nose yang dipadukan dengan algoritma TES unggul dalam menentukan konsentrasi pemalsuan.

Walaupun E-Nose menunjukkan performa yang menjanjikan, akurasi sistem ini sangat dipengaruhi oleh kualitas pengolahan sinyal sensor. Sinyal sensor gas bersifat dinamis, sehingga informasi penting mengenai perubahan intensitas senyawa volatil dapat hilang apabila hanya satu segmen sinyal yang dianalisis. Oleh karena itu, ekstraksi fitur merupakan tahap yang penting dalam analisis sinyal E-nose karena kualitas fitur yang diambil sangat memengaruhi kinerja algoritma klasifikasi. Salah satu pendekatan yang banyak digunakan adalah ekstraksi fitur berbasis multi-window, yaitu teknik yang memproses sinyal respons dalam beberapa jendela waktu sehingga karakteristik pada

setiap bagian sinyal dapat ditangkap secara lebih detail. Pendekatan ini memungkinkan informasi temporal yang penting tetap terwakili dan dapat meningkatkan akurasi pengenalan pola dibandingkan dengan metode ekstraksi sederhana (Yan et al., 2015).

Keunggulan utama metode ekstraksi berbasis multi-window adalah kemampuannya menangkap dinamika sinyal yang lebih kompleks dan sensitif terhadap perubahan kecil dalam komposisi volatil. Dengan membagi sinyal menjadi jendela waktu lebih kecil, teknik ini lebih efektif dalam mengidentifikasi perbedaan halus, terutama pada sampel asli dan palsu. Penelitian oleh (Guo et al., 2015) menunjukkan bahwa dengan membagi sinyal e-nose menjadi beberapa window (*multi-window*) tingkat akurasi klasifikasi menjadi 97,5%, lebih tinggi dibandingkan *single window* yang hanya mencapai 92%.

Berdasarkan penelusuran terhadap penelitian-penelitian terdahulu, terlihat bahwa E-Nose telah diterapkan untuk berbagai minyak atsiri seperti lemon, tea tree, camellia, dan cengkeh. Namun, belum ditemukan penelitian yang secara khusus mengkaji deteksi pemalsuan minyak atsiri temulawak menggunakan E-Nose. Selain itu, belum ada penelitian yang memanfaatkan ekstraksi fitur multi-window pada komoditas ini untuk meningkatkan akurasi klasifikasi.

Kondisi ini menunjukkan adanya celah penelitian yang penting untuk diisi, terutama mengingat tingginya nilai ekonomi temulawak dan potensi kerugian akibat pemalsuan. Dengan demikian, penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan metode Deteksi Pemalsuan Minyak Atsiri Berbasis E-Nose dan *Machine Learning* dengan Ekstraksi Fitur Multi-Window. Metode ini diharapkan dapat menghasilkan sistem deteksi yang cepat, akurat, dan aplikatif sehingga mampu mendukung upaya menjaga mutu, keaslian, dan keamanan minyak atsiri temulawak pada tingkat industri.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan pada latar belakang di atas maka masalah dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana pola sinyal E-Nose dari minyak atsiri temulawak asli dan palsu?
2. Bagaimana penerapan ekstraksi fitur multi-window dapat meningkatkan representasi sinyal E-Nose?

3. Bagaimana kinerja model pembelajaran mesin menggunakan ekstraksi fitur multi-window dalam mendeteksi pemalsuan minyak atsiri temulawak?

C. Tujuan Penelitian

1. Menganalisis karakteristik sinyal E-Nose pada minyak atsiri temulawak asli dan palsu
2. Menerapkan metode ekstraksi fitur multi-window untuk mengoptimalkan representasi data sinyal E-Nose.
3. Mengevaluasi dan membandingkan akurasi beberapa algoritma pembelajaran mesin dalam mendeteksi pemalsuan minyak atsiri temulawak

D. Manfaat Penelitian

1. Menyediakan pendekatan ilmiah untuk peningkatan kinerja model pembelajaran mesin berbasis data E-Nose
2. Mendukung pengembangan teknologi sensorik dan kecerdasan buatan untuk kontrol kualitas produk minyak atsiri di industri
3. Memberikan metode deteksi pemalsuan minyak atsiri yang cepat, akurat, dan non-destruktif