

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Komoditas pangan *extra virgin olive oil* (EVOO) merupakan minyak nabati dengan nilai ekonomi dan status gizi tertinggi di antara seluruh kelas minyak zaitun yang diperdagangkan secara global. Kandungan asam oleat dalam jumlah dominan serta senyawa fenolik bioaktif terutama *hydroxytyrosol* dan *oleocanthal* menjadikan EVOO sebagai komponen lemak utama dalam pola makan Mediterania yang dikaitkan dengan penurunan risiko penyakit kardiovaskular (Lu dkk., 2024). Kerja protektif senyawa-senyawa tersebut mencakup penghambatan stres oksidatif, modulasi jalur inflamasi, serta peningkatan fungsi endotelial melalui peningkatan bioavailabilitas nitrogen oksida (Milena dan Maurizio, 2025). Kombinasi profil gizi yang unik dan cita rasa khas inilah yang menopang harga EVOO jauh di atas minyak nabati pada umumnya, sekaligus menjadikannya salah satu komoditas pangan dengan insentif ekonomi tertinggi untuk dipalsukan.

Pemalsuan EVOO telah terdokumentasi sebagai salah satu bentuk kecurangan pangan (*food fraud*) yang paling konsisten dilaporkan di tingkat global. Praktik yang umum dilakukan adalah mencampurkan EVOO dengan minyak nabati bermutu lebih rendah pada berbagai kadar konsentrasi, termasuk *corn oil*, *canola oil*, *sunflower oil*, *palm oil*, dan *pomace olive oil* (Lozano-Castellón dkk., 2022). Pemalsuan jenis ini tidak hanya menurunkan nilai gizi produk secara langsung, tetapi juga berpotensi menghasilkan senyawa hasil proses industri yang tidak dikehendaki ke dalam produk yang diklaim sebagai *extra virgin*. Kerugian yang ditimbulkan bersifat ganda, yaitu konsumen memperoleh produk di bawah standar label yang tertera, sementara produsen EVOO autentik menghadapi persaingan harga yang tidak setara (Nanou dkk., 2023).

Kerugian pemalsuan tersebut membutuhkan metode deteksi yang andal untuk memverifikasi keaslian EVOO. Metode konvensional seperti kromatografi gas dan analisis kimia basah memerlukan waktu lama, biaya tinggi, dan keahlian khusus sehingga tidak efisien untuk penerapan rutin. *Surface-Enhanced Raman*

Spectroscopy (SERS) menawarkan alternatif yang cepat, sensitif, dan non-destruktif (Xu dkk., 2020), namun spektrum yang dihasilkan berdimensi tinggi sehingga pembacaan pola pemalsuan secara manual menjadi tidak praktis. *Machine learning* dibutuhkan untuk mengekstraksi pola diskriminatif dari data tersebut secara sistematis (Vali dkk., 2023). Substrat SERS berbasis nanopartikel perak pada Si-wafer via *Pulsed Laser Deposition* (PLD) dipilih karena memungkinkan penguatan sinyal Raman yang tinggi tanpa preparasi sampel yang kompleks (Budner dkk., 2019).

Penelitian deteksi pemalsuan minyak nabati sebelumnya umumnya menggunakan instrumentasi yang berbeda dari penelitian ini. (Vali dkk., 2023) menggunakan Raman konvensional dengan DD-SIMCA dan PLS-DA, sementara (Malavi dkk., 2024) menggunakan *near-infrared hyperspectral imaging*, keduanya tanpa substrat SERS. Kuantifikasi variansi pengukuran pernah dilakukan menggunakan spektroskopi UV-Vis dikombinasikan dengan ANOVA-PDR, namun terbatas pada faktor komposisi sampel dan belum menjangkau struktur hierarki fisik pengukuran seperti perbedaan antar vial, antar tetesan substrat, dan antar hotspot.

Penelitian ini mengisi kekosongan tersebut dengan mengkuantifikasi kontribusi variansi pada setiap level hierarki pengukuran SERS berbasis substrat Ag/Si-wafer via PLD. Tanpa pemahaman kuantitatif atas proporsi sumber variansi tersebut, keberhasilan model *machine learning* tidak dapat diinterpretasikan secara bermakna sebagai sinyal kimia yang relevan dibanding artefak teknis substrat. Hipotesis penelitian ini adalah meskipun variansi substrat berkontribusi signifikan, perbedaan komposisi kimia antar sampel tetap dapat diekstraksi sebagai sinyal diskriminatif yang memadai bagi model *machine learning*. Penelitian ini dibatasi pada ukuran dataset yang relatif kecil dengan satu merek EVOO dan lima jenis adulteran, sehingga generalisasi temuan terhadap populasi EVOO yang lebih luas memerlukan validasi lebih lanjut.

1.2 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, penelitian ini memiliki tiga tujuan, yaitu:

1. Menganalisis separabilitas spektrum SERS EVOO murni terhadap minyak nabati lain pada substrat Ag/Si-wafer berbasis PLD.
2. Menganalisis distribusi variansi spektrum dalam hierarki pengukuran SERS pada substrat Ag/Si-wafer berbasis PLD.
3. Membangun model *machine learning* untuk membedakan EVOO murni dari EVOO teradulterasi berdasarkan spektrum raman pada substrat SERS Ag/Si-wafer.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini, yaitu:

1. Penelitian ini memberikan kontribusi metodologis berupa kerangka kuantitatif untuk memisahkan sumber-sumber variansi dalam pengukuran SERS secara hierarki. Pendekatan ini belum dilaporkan untuk substrat SERS berbasis PLD pada analisis minyak nabati, sehingga hasilnya dapat menjadi acuan bagi penelitian spektroskopi pangan berikutnya yang menghadapi tantangan heterogenitas substrat serupa.
2. Penelitian ini menyediakan bukti bahwa substrat SERS Ag/Si-wafer via PLD mampu berfungsi sebagai platform analitik untuk deteksi pemalsuan EVOO secara cepat dan non-destruktif, bahkan dalam kondisi heterogenitas substrat yang terukur.