

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Bahan bakar menjadi tumpuan industri, ekonomi, dan kehidupan sehari-hari yang telah menjadi bagian penting dalam kehidupan setiap manusia. Bahan bakar minyak (BBM) merupakan kebutuhan pokok bagi masyarakat desa maupun kota baik sebagai rumah tangga maupun sebagai pengusaha, demikian juga BBM sangat penting bagi sektor industri maupun transportasi. Banyaknya kendaraan mengakibatkan pemakaian BBM meningkat mencapai 1,3 juta barel per hari, sehingga mengakibatkan beban subsidi BBM yang mana menjadi salah satu faktor naiknya harga Bahan Bakar Minyak (Mangeswuri, 2022).

Sepanjang tahun 2021, Kementerian ESDM melaporkan bahwa Peralite RON 90 adalah jenis bensin yang paling banyak digunakan, mencapai 23 juta kiloliter (KL) atau sekitar 79% dari total konsumsi bensin, termasuk Pertamina RON 92, Pertamina RON 92 Turbo, dan Premium. Pada tahun 2023, konsumsi Peralite RON 90 meningkat menjadi 30,22 juta KL, menjadikannya bahan bakar dominan yang digunakan masyarakat Indonesia. Sebaliknya, konsumsi Pertamina RON 92 pada 2023 mencapai 5,43 juta KL, mencerminkan pertumbuhan yang lebih lambat dibandingkan Peralite RON 90 (Kementerian ESDM RI, 2023). Perbedaan ini sebagian besar disebabkan oleh harga antara kedua jenis bahan bakar tersebut. Berdasarkan data dari MyPertamina per November 2024, harga BBM Peralite RON 90 Rp 10.000 per liter dan untuk BBM Pertamina RON 92 dengan harga Rp 12.100 per liter untuk area Jawa Barat (MyPertamina, 2024).

Kesenjangan harga ini tidak hanya mempengaruhi pola konsumsi tetapi juga mendorong praktik ilegal berupa pencampuran bahan bakar berkualitas tinggi dengan bahan bakar berkualitas rendah untuk mendapatkan keuntungan yang lebih besar. Fenomena ini dapat dilihat dari antrian panjang di jalur pengisian Peralite RON 90, sementara jalur Pertamina RON 92 relatif sepi. Hal ini bahkan memicu kelangkaan Peralite RON 90 di beberapa daerah, yang sering dimanfaatkan oleh oknum penjual BBM eceran untuk mencampurkan bahan bakar mahal dengan zat

tambahan murah, namun tetap menjualnya dengan harga tinggi (Silbaqolbina & Ulfatun, 2022). Badan Reserse Kriminal Polri mengungkapkan kasus BBM oplosan di empat SPBU yang berlokasi di Jabodetabek, dengan menemukan barang bukti sebesar 29.046 liter BBM Pertamina RON 92 yang diduga palsu. Dimana pencampuran BBM Pertamina RON 90 yang sudah dicampur zat pewarna sehingga menyerupai Pertamina RON 92 (Setuningsih, 2024).

Pemalsuan bahan bakar, penambahan zat yang lebih murah atau lebih rendah secara sengaja ke bahan bakar asli, merupakan masalah yang tersebar luas secara global (Vempatapu *et al.*, 2019). Dimana, kualitas dan kemurnian produk bahan bakar merupakan masalah kritis dengan ekonomi, lingkungan, dan kesehatan masyarakat yang signifikan (Maldonado *et al.*, 2018). Lalu, penggunaan bahan bakar yang dicemari dapat memiliki efek yang merugikan, termasuk berkurangnya kinerja mesin, peningkatan emisi, dan bahkan kerusakan mesin (Udo *et al.*, 2020). Pemalsuan bahan bakar, seperti pencampuran bensin beroktan lebih tinggi dengan nilai oktan rendah atau penambahan pengencer yang lebih murah seperti minyak tanah, metanol, atau etanol ke bensin atau solar (Gotor *et al.*, 2019).

Demikian pula, ada juga pemalsuan bahan bakar dengan mencampur produk yang mahal, yaitu bensin super premium dengan produk yang lebih murah. Seperti bensin kelas reguler yang dicampur bahan bakar solar dengan minyak pemanas ringan yang lebih murah. Untuk deteksi pemalsuan bensin, terutama jika dengan persentase yang lebih rendah (10-30% volume) tidak dapat dilakukan dengan mudah. Untuk mendeteksi pemalsuan dalam bensin, beberapa metode menggabungkan alat kemometrik dengan teknik analisis bensin konvensional telah digunakan (Mabood *et al.*, 2017).

Adapun metode tradisional untuk mendeteksi pemalsuan bahan bakar minyak, seperti kurva distilasi dan analisis parameter fisikokimia. Dimana memiliki kekurangan yaitu menghasilkan akurasi yang terbatas dan memakan waktu (Foroughi *et al.* 2021). Namun, terdapat beberapa metode analisis seperti spektroskopi *ultraviolet-visible* (UV-Vis) dan spektroskopi *near infrared* (NIR) untuk menganalisis dan deteksi bahan bakar minyak murni dan campuran. Teknik-teknik ini memiliki keuntungan untuk deteksi cepat kandungan dalam campuran

bensin tanpa perlu proses preparasi sampel yang kompleks, seperti pada metode konvensional (misalnya, metode gravimetri atau kromatografi) (Zhou *et al.*, 2018). Sedangkan untuk metode analisis seperti spektroskopi ATR-FTIR ketika dikombinasikan dengan teknik multivariat, memungkinkan klasifikasi yang akurat dari berbagai jenis bensin, termasuk yang terkontaminasi atau yang mengandung aditif tertentu. Namun, spektroskopi ATR-FTIR membutuhkan biaya peralatan dan pemeliharaan yang mahal dan memerlukan pemeliharaan yang baik untuk memastikan akurasi dan keandalan hasil (Biaktluanga *et al.*, 2024).

Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Lim *et al.*, 2021) ditemukan bahwa pencampuran ilegal antara bensin Premium dan Super Premium dapat dideteksi melalui analisis komponen kimia menggunakan teknik gas kromatografi dan spektroskopi UV-Vis. Hasil analisis menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi bensin Super Premium menyebabkan penurunan absorbansi pada panjang gelombang 600 nm dan 650 nm, serta perubahan komposisi kimia yang signifikan. Penelitian ini mencatat adanya korelasi yang sangat tinggi ( $r^2 = 0.99$ ) antara konsentrasi campuran dan intensitas deteksi pewarna hijau, yang menunjukkan potensi metode analisis ini untuk memprediksi pencampuran ilegal dengan akurasi tinggi.

Pada penelitian oleh Mabood *et al.*, (2017) dimana mendeteksi serta mengukur tingkat pemalsuan bensin Premium 91 dalam bensin super premium oktan 95 dengan menggunakan spektroskopi *Near Infrared* (NIR) baru yang dikombinasikan dengan analisis multivariat. Dalam penelitian ini, sampel standar bensin Premium 91 dan Super Premium oktan 95. Sampel super premium 95 kemudian dicampur dengan delapan belas tingkat persentase yang berbeda. Semua sampel diukur menggunakan spektroskopi NIR dalam mode penyerapan dalam rentang panjang gelombang dari 700 hingga 2500 nm.

Secara luas dalam mendeteksi pemalsuan bahan bakar telah diterapkan teknik analisis data kemometrik, dengan fokus pada ekstraksi informasi yang relevan dari data spektral untuk membedakan antara bahan bakar asli dan yang telah dicampur. Beberapa metode kemometrik yang umum digunakan dalam penelitian ini meliputi *Principal Component Analysis* (PCA), *Partial Least Squares* (PLS), dan *Linear*

*Discriminant Analysis* (LDA), yang memungkinkan analisis multivariat untuk meningkatkan akurasi deteksi pemalsuan (Fragkoulis *et al.*, 2023). Penelitian yang dilakukan oleh Mabbod *et al.*, (2017) Metode multivariat seperti PCA, PLSDA, dan regresi PLS digunakan untuk analisis statistik dari data yang diperoleh. Dengan hasil *error* pada model PLSDA (1,2%) dan regresi PLS (1,33%). Lalu penelitian yang dilakukan oleh (Silva *et al.*, 2015) dimana mengklasifikasikan bensin berdasarkan asalnya (Brasil, Venezuela, dan Peru), menggunakan spektroskopi inframerah dan analisis klasifikasi multivariat. Dimana model klasifikasi dikembangkan menggunakan spektrum inframerah menengah dan teknik pengenalan pola, PLS-DA dan SIMCA untuk mengklasifikasikan bensin dari berbagai sumber yang berasal dari penyelundupan di perbatasan Brasil. Dalam menggunakan pendekatan model klasifikasi lokal, model PLSDA mencapai klasifikasi yang benar 100% benar.

Penelitian deteksi bensin campuran dengan spektrofotometer UV-Vis dan/atau NIR dan metode pembelajaran mesin sudah dilakukan oleh salah satunya (Leal *et al.*, 2020). Dalam penelitiannya, Leal *et al.*, (2020) membandingkan teknik spektroskopi <sup>1</sup>H NMR dan NIR menggunakan metode *Support Vector Regression* (SVR) untuk memprediksi karakteristik fisika-kimia bensin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa spektroskopi NIR lebih efektif dibandingkan <sup>1</sup>H NMR dalam memprediksi sebagian besar parameter kualitas bensin. Dalam penelitiannya, (Barea-Sepúlveda *et al.*, 2021) membandingkan metode pembelajaran mesin *Support Vector Machine* (SVM) dengan *Random Forest* (RF) untuk mengklasifikasikan jenis bensin berdasarkan *Research Octane Number* (RON). Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa kedua algoritma tersebut mampu mencapai akurasi yang tinggi dalam klasifikasi, dengan SVM dan RF masing-masing mencapai 100% akurasi pada set data pengujian. Penelitian ini menggarisbawahi pentingnya penggunaan teknik fusion data antara *Headspace Mass Spectrometry* (HS-MS eNose) dan spektroskopi *Near-Infrared* (NIR) dalam meningkatkan performa analisis kualitas bensin.

Pemalsuan dapat dipelajari secara efektif, jika kualitas bahan bakar diperiksa di titik distribusi dengan metode pengukuran yang cepat dan hasil cepat di tempat.

Pendekatan spektroskopi UV-Vis dan/atau NIR dikombinasikan dengan *machine learning* dipilih karena memberikan hasil yang cepat, akurat, dan efisien tanpa memerlukan preparasi sampel yang kompleks, yang sangat penting untuk diterapkan di lapangan. Meskipun berbagai penelitian telah mengeksplorasi deteksi pemalsuan bahan bakar, sebagian besar studi ini fokus pada bensin di luar Indonesia, seperti pencampuran Premium RON 91 dengan Super Premium RON 95. Hingga saat ini, kajian yang secara khusus menyoroti pencampuran Pertamina RON 92 dan Peralite RON 90 di Indonesia masih sangat terbatas. Kekosongan penelitian ini menunjukkan perlunya pengembangan metode deteksi yang lebih relevan dengan konteks lokal.

Pendekatan spektroskopi UV-Vis dan NIR yang dikombinasikan dengan algoritma *machine learning* memberikan potensi besar untuk menghasilkan solusi deteksi cepat, akurat, dan efisien. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan metode klasifikasi bahan bakar berbasis data spektral untuk mendeteksi pencampuran Pertamina RON 92 dan Peralite RON 90 dengan akurasi tinggi. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis bagi pengawasan kualitas BBM di Indonesia sekaligus memperkaya literatur dalam bidang analisis bahan bakar.

## **B. Perumusan Masalah**

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

1. Bagaimana karakteristik spektrum cahaya dari spektrofotometer berbasis sensor CMOS membedakan bahan bakar minyak murni dan campuran?
2. Bagaimana metode ekstraksi fitur dari data spektrofotometer dapat digunakan untuk klasifikasi bahan bakar murni dan campuran menggunakan *machine learning*?

## **C. Tujuan Penelitian**

Secara umum penelitian ini bertujuan untuk membangun sistem deteksi klasifikasi bahan bakar minyak menggunakan spektrofotometer berbasis sensor CMOS. Secara khusus penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengidentifikasi metode ekstraksi fitur spektrofotometer yang dapat digunakan untuk klasifikasi bahan bakar murni dan campuran.
2. Menerapkan model *machine learning* yang efektif untuk klasifikasi bahan bakar murni dan campuran.

#### **D. Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat teoritis dan praktis:

##### **1. Manfaat Praktis:**

Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan metode klasifikasi bahan bakar yang cepat, akurat, dan terjangkau untuk mendeteksi serta mencegah pemalsuan bahan bakar. Selain itu, penelitian ini juga menyediakan model *machine learning* yang dapat dimanfaatkan oleh pihak terkait, seperti pemerintah, lembaga pengawas, dan industri, dalam memastikan kualitas bahan bakar yang beredar di masyarakat.

##### **2. Manfaat Teoritis:**

Penelitian ini diharapkan dapat membantu mengembangkan metode pembelajaran mesin untuk analisis data spektrofotometer, khususnya dalam klasifikasi bahan bakar.