

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pelumas mesin berperan penting dalam menjaga kinerja mesin serta memperpanjang umur pakai komponen mekanis (Avci et al., 2021; Castresana et al., 2022; Guo et al., 2020; Gupta & Agarwal, 2021; Kumar et al., 2020). Pelumas mesin mampu mengurangi gesekan, melindungi dari keausan, dan memfasilitasi pendinginan, yang secara kolektif berkontribusi pada pengoperasian mesin yang efisien (Adesoji et al., 2024; Meribout et al., 2021; Zadhoush et al., 2017). Umur pakai mesin dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti kekuatan bahan, cara pembuatan, efisiensi panas, kondisi pemakaian, dan perawatan. Namun, meskipun mesin dirancang dengan bahan berkualitas tinggi dan efisiensi yang baik, jika pelumasan tidak diperhatikan, maka mesin akan cepat mengalami kerusakan (Maleev & Priambodo, 1995). Degradasi pelumas menjadi salah satu penyebab utama penurunan kualitas pelumasan. Degradasi ini ditandai oleh akumulasi kotoran seperti residu karbon, lumpur, emulsi, oksidasi, dan abu, yang secara signifikan memengaruhi performa mesin. Kontaminasi pelumas merupakan peristiwa tercemarnya pelumas oleh kotoran akibat degradasi, serta partikel eksternal seperti debu dan air yang masuk selama proses pembakaran.

Menurut Maleev dan Priambodo (1995), pelumas umumnya terdiri dari 83-87% karbon, 11-15% hidrogen, dan sedikit sulfur, oksigen, serta nitrogen. Ketika pelumas terpapar suhu tinggi di atas titik nyalanya, residu karbon terbentuk dan menumpuk pada silinder, cincin torak, dan kepala torak. Akumulasi ini menyebabkan keausan, kemacetan, hingga perpindahan panas yang tidak merata, yang akhirnya merusak komponen mesin. Selain itu, tingginya kandungan sulfur dalam pelumas dapat membentuk lumpur asam ketika bercampur dengan air, yang semakin memperburuk kondisi pelumasan. Klasifikasi perubahan ini penting untuk memastikan agar mesin dapat berfungsi optimal, mencegah kerusakan, dan memperpanjang umur mesin (Wakiru et al., 2021). Namun, tantangan utama dalam mengidentifikasi kondisi pelumas terletak pada metode analisisnya yang sering kali

memakan waktu dan biaya. Saat ini, klasifikasi kualitas pelumas secara konvensional dilakukan melalui metode laboratorium seperti kromatografi, viskometri, atau analisis partikel logam (Alabi et al., 2021; Toms & Toms, 2010). Metode ini terbukti akurat namun memiliki keterbatasan, seperti biaya yang tinggi, waktu pemrosesan yang lama, dan keterbatasan akses ke laboratorium khusus. Maka dari itu, diperlukan metode analisis yang lebih efisien, cepat, dan ekonomis untuk mengklasifikasikan pelumas mesin, sehingga dapat memfasilitasi pemantauan kondisi pelumas tanpa banyak intervensi manual.

Saat ini, beberapa metode analisis sudah ada untuk mengevaluasi kondisi pelumas mesin. Metode konvensional seperti gas kromatografi, *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), dan viskometri digunakan secara luas untuk mendeteksi perubahan kimiawi dan fisik pada pelumas mesin (S. A. Khan et al., 2018). Kromatografi gas memungkinkan analisis mendalam terhadap komponen-komponen volatil dalam pelumas (Liang et al., 2018). Sementara FTIR dapat mengidentifikasi perubahan molekular dengan mengukur penyerapan cahaya inframerah oleh senyawa tertentu dalam pelumas (Liu et al., 2019; van de Voort, 2022). Selain itu, viskometri mengukur perubahan viskositas, yang sering menjadi indikator pertama dari penurunan kualitas pelumas akibat degradasi atau kontaminasi (Ranawaka et al., 2019). Di sisi lain, perkembangan teknologi spektrofotometri membuka peluang baru dalam analisis pelumas, terutama karena kemampuannya untuk melakukan pengukuran spektral dengan cepat dan presisi tinggi (Lashova et al., 2019). Spektrofotometri dapat mendeteksi perubahan spektral pada pelumas yang terpapar panas, tekanan, dan kontaminasi, sehingga memungkinkan pemantauan kualitas pelumas secara efektif. Metode ini lebih ekonomis dibandingkan metode konvensional dan dapat dilakukan menggunakan alat yang lebih portable (Du et al., 2017). Selain itu, dengan kemajuan *Machine Learning*, data spektral dari pelumas mesin dapat diolah menjadi informasi yang lebih bermakna (Rahman et al., 2023). Dalam penelitian Iswanto dan Barfian (2018), kombinasi n-gram seperti unigram, bigram, dan unigram telah berhasil diterapkan untuk meningkatkan akurasi klasifikasi sentimen pada tweet. Pendekatan ini menunjukkan bahwa fitur yang dipilih secara tepat dapat

memengaruhi kinerja algoritma *Machine Learning* secara signifikan. *Machine Learning* memungkinkan klasifikasi data spektral secara otomatis berdasarkan pola yang diidentifikasi dari pelumas baru dan bekas, sehingga tidak hanya menghemat waktu analisis, tetapi juga meningkatkan akurasi dibandingkan metode tradisional yang membutuhkan operator terlatih.

Dari berbagai metode yang tersedia, kombinasi spektrofotometri dan *Machine Learning* adalah yang paling menjanjikan untuk klasifikasi pelumas mesin secara real-time (Temnova et al., 2022). Spektrofotometri menawarkan keunggulan dalam hal kecepatan dan biaya karena mampu mengukur perubahan spektral dengan cepat tanpa perlu perlakuan khusus atau perangkat mahal seperti pada metode kromatografi dan viskometri (Marino et al., 2021). Ketika digabungkan dengan algoritma *Machine Learning*, metode ini dapat mengolah data spektral dan mengenali pola degradasi pelumas dengan lebih akurat, membuatnya unggul dalam hal deteksi perubahan kualitas pelumas secara cepat dan otomatis (Alabi et al., 2021; Ranawaka et al., 2019). Selain itu, pendekatan ini mendukung analisis yang lebih mudah dan aksesibilitas lebih luas, sehingga dapat diterapkan di berbagai situasi tanpa memerlukan laboratorium khusus. Kombinasi spektrofotometri dan *Machine Learning* tidak hanya menawarkan solusi praktis, tetapi juga memberikan hasil yang akurat dan konsisten, sehingga metode ini paling sesuai untuk aplikasi pemantauan kualitas pelumas mesin yang efisien dan ekonomis (Lv & Tian, 2016).

Penelitian oleh Rodrigues et al. (2020) menggunakan *Artificial Neural Networks* (ANN) untuk mengklasifikasikan kondisi pelumas berdasarkan data spektral absorbansi dari spektrofotometer. Dalam penelitian ini, data absorbansi diolah menggunakan metode *Principal Component Analysis* (PCA) untuk mereduksi dimensi data, sehingga meningkatkan efisiensi model. Hasil klasifikasi menunjukkan akurasi hingga 92% dalam mendeteksi degradasi pelumas, menegaskan potensi ANN dalam mengolah data spektral untuk klasifikasi pelumas secara akurat (Rodrigues et al., 2020). Penelitian lainnya oleh Lv & Tian (2016) menggunakan spektroskopi reflektansi untuk mendeteksi konsentrasi kontaminan dalam pelumas. Dengan menerapkan kombinasi PCA dan *Correlation Coefficient* (CC), panjang gelombang dominan diidentifikasi pada 375.14 nm dan digunakan

dalam model regresi *non-linear*. Hasil penelitian ini menunjukkan performa prediksi tinggi dengan *root mean square error of prediction* (RMSEP) sebesar 0.0337, menyoroti efektivitas spektroskopi reflektansi dalam analisis kualitas pelumas secara non-destruktif (Lv & Tian, 2016). Sementara itu, penelitian oleh Grimmig et al. (2021) menggunakan *Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy* (ICP OES) untuk menganalisis pelumas mesin bekas guna mengevaluasi tipe mesin dan waktu pemakaian pelumas. Dengan menggunakan algoritma *Machine Learning XGBoost*, penelitian ini mencapai akurasi 89.6% dalam memprediksi tipe mesin dan kesalahan rata-rata kurang dari 10% dalam estimasi waktu penggunaan pelumas serta kurang dari 4% untuk estimasi waktu operasi total mesin. Penelitian ini juga menggunakan *SHapley Additive exPlanation* (SHAP) untuk mengeksplorasi faktor-faktor yang berkontribusi terhadap prediksi, memberikan wawasan tambahan tentang pengaruh parameter fisikokimia dalam klasifikasi pelumas dan estimasi waktu operasional (Grimmig et al., 2021).

Meskipun beberapa pendekatan telah dikembangkan, penelitian mengenai analisis pola absorbansi spektral pelumas mesin masih terbatas, terutama dalam hal pemahaman yang mendalam mengenai degradasi kualitas akibat pemakaian. Selain itu, penerapan metode *Machine Learning* untuk mengklasifikasikan kondisi pelumas mesin berdasarkan panjang gelombang spektral masih memiliki peluang untuk dikembangkan lebih lanjut, terutama dalam konteks analisis degradasi kualitas pelumas akibat pemakaian, sehingga dapat menghasilkan model yang lebih akurat dan aplikatif. Berdasarkan keterbatasan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan pengklasifikasian kondisi pelumas mesin menggunakan analisis pola absorbansi spektral pada pelumas baru dan bekas. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengukur hubungan antara perubahan sifat absorbansi dengan tingkat degradasi pelumas seiring pemakaian. Selain itu, penelitian ini akan mengembangkan model *Machine Learning* yang efektif untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam klasifikasi kualitas pelumas berdasarkan karakteristik spektralnya.

B. Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana perbedaan data absorbansi spektral antara pelumas mesin baru dan pelumas mesin bekas pada berbagai panjang gelombang?
2. Bagaimana sistem spektrofotometri dapat digunakan untuk mengklasifikasikan kondisi pelumas mesin berdasarkan data spektral absorbansinya?
3. Apa model *Machine Learning* yang paling sesuai untuk mengklasifikasikan kondisi pelumas mesin berdasarkan data spektral absorbansinya?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis perbedaan pola absorbansi spektral antara pelumas mesin baru dan pelumas mesin bekas pada berbagai panjang gelombang.
2. Menggunakan sistem spektrofotometri untuk membedakan kondisi pelumas mesin baru dan bekas berdasarkan data spektral absorbansi.
3. Membandingkan model *Machine Learning* yang paling sesuai untuk mengklasifikasikan kondisi pelumas mesin berdasarkan pola spektral absorbansinya.

D. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi untuk kedepannya baik secara teoritis maupun praktis. Berikut adalah manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini:

a. Manfaat Teoritis

Secara teoritis, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan metode analisis kualitas pelumas serta penerapan *Machine Learning* dalam klasifikasi berdasarkan karakteristik spektral. Penelitian ini juga diharapkan menjadi referensi yang bermanfaat untuk penelitian selanjutnya.

b. Manfaat Praktis

Penelitian ini diharapkan menghasilkan metode deteksi kualitas pelumas yang cepat dan akurat menggunakan spektrofotometri dan *Machine Learning*. Dengan metode ini, akan lebih mudah menentukan waktu yang tepat untuk menggantipelumas mesin, sehingga dapat mengurangi risiko kerusakan mesin akibat penggunaan pelumas yang telah mengalami degradasi.

