

BAB I

PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan landasan konseptual penelitian secara sistematis, dimulai dari latar belakang perlunya pengembangan sistem *predictive maintenance* berbasis *Random Forest*, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat, hingga batasan studi. Pembahasan diawali dengan konteks industri sebagai problem *domain*, dilanjutkan dengan tinjauan solusi berbasis *machine learning*, dan diakhiri dengan spesifikasi ruang lingkup implementasi.

1.1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi di era digital dan revolusi industri 4.0 telah mendorong berbagai sektor industri untuk mengadopsi pendekatan berbasis data dalam operasionalnya [1]. Salah satu inovasi penting dalam manajemen pemeliharaan adalah *predictive maintenance* atau pemeliharaan terprediksi. Konsep ini memungkinkan pemanfaatan data *real-time* dari sensor-sensor yang terpasang pada kendaraan atau mesin untuk memprediksi kegagalan komponen sebelum terjadi [2].

Berdasarkan penjelasan di website modular.mining.com yang dikutip artikel berjudul “Pencegahan Kerusakan Berat pada Haul Truck dengan Real-Time Condition Monitoring Studi Kasus PT Kaltim Prima Coal” sekaligus menggambarkan kondisi konkret terkini industri sektor pertambangan, menerangkan bahwa yang diterapkan sekarang ini, *maintenance* kendaraan dilakukan secara reaktif, di mana tindakan perbaikan dilakukan setelah komponen mengalami kerusakan, atau preventif, di mana komponen diganti secara periodik berdasarkan jadwal yang telah ditentukan sebelumnya tanpa mempertimbangkan kondisi aktual. Pendekatan reaktif sering kali menyebabkan *downtime* yang tidak direncanakan, kerusakan lebih lanjut, biaya tinggi karena perbaikan darurat, serta kerugian operasional lainnya. Di sisi lain, pemeliharaan preventif, meskipun lebih terstruktur, tidak sepenuhnya efisien karena komponen bisa diganti sebelum waktu yang sebenarnya diperlukan [2] [3].

Lantas, inovasi *predictive maintenance* sangat bijak dan tepat jika diterapkan pada kondisi yang memiliki sedikit-banyak kelebihan dan kekurangan pada tindakan *maintenance* kendaraan, baik reaktif maupun preventif. Didukung juga dengan ketersediaan *resource* data sensor sintetis yang telah digunakan pada penelitian publikasi internasional maupun nasional yang masing-masing menggunakan metode *Bagged Trees* dan *Logistic Regression* yang menghasilkan akurasi 86,70 % dan 96,87% [4] [1]. Tantangan utama dalam implementasi *predictive maintenance* adalah kompleksitas data sensor yang beragam dan kebutuhan untuk mengidentifikasi berbagai jenis kegagalan secara akurat. Data sensor dari komponen kritis seperti sistem pendinginan, mesin, transmisi, dan sistem tenaga menghasilkan pola yang kompleks dan non-linear [4]. Selain itu, setiap jenis kegagalan memiliki karakteristik unik yang perlu diidentifikasi secara spesifik untuk penanganan yang tepat [5].

Random Forest muncul sebagai solusi yang menjanjikan untuk masalah ini karena kemampuannya dalam mengelola data yang kompleks dan memberikan prediksi yang akurat [6]. Algoritma ini beroperasi dengan membangun beberapa pohon keputusan (*decision trees*) dari berbagai subset data, kemudian menggabungkan hasil dari setiap pohon untuk menghasilkan prediksi akhir. Namun, efektivitas *Random Forest* sangat bergantung pada konfigurasi *hyperparameter* yang tepat dan strategi yang digunakan dalam menangani klasifikasi multi-kelas. Untuk mengatasi keterbatasan ini, optimasi *Random Forest* menggunakan *hyperparameter tuning* berbasis *Random Search* dan pendekatan *multiclass classification One-vs-Rest* menjadi fokus utama penelitian [7] [8]. *Random Search* dipilih karena kemampuannya dalam mengeksplorasi ruang parameter secara efisien untuk menemukan konfigurasi optimal, sementara *One-vs-Rest* digunakan untuk meningkatkan kejelasan hasil prediksi pada klasifikasi berbagai jenis kegagalan [7] [8] [9].

Berdasarkan permasalahan dan solusi yang diusulkan, hipotesis penelitian ini adalah bahwa implementasi *Random Forest* dengan optimasi *hyperparameter* menggunakan *Random Search* dan strategi *One-vs-Rest* dapat menghasilkan model *predictive maintenance* yang lebih akurat dalam memprediksi berbagai jenis

kegagalan mesin. Model yang telah dioptimalkan ini diharapkan mampu memberikan akurasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan penerapan *Random Forest* standar, serta memiliki kemampuan yang lebih baik dalam membedakan berbagai jenis kegagalan.

Keberhasilan penelitian ini akan memberikan kontribusi signifikan bagi industri seperti otomotif, pertambangan, logistik, dan layanan darurat dalam meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi biaya pemeliharaan. Lebih lanjut, hasil penelitian ini secara konkret dapat menjadi dasar untuk pengembangan sistem *predictive maintenance* yang lebih canggih dan adaptif di masa depan [2] [10].

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, adapun masalah yang dapat dirumuskan diantaranya:

1. Bagaimana penerapan *predictive maintenance* untuk memprediksi *failure* komponen kendaraan dengan menerapkan algoritma *Random Forest* yang dioptimalkan menggunakan *hyperparameter tuning* berbasis *Random Search*?
2. Bagaimana pendekatan *multiclass classification One-vs-Rest* dapat meningkatkan nilai *confidential* pada berbagai jenis *failure* komponen?

1.3. Tujuan

Berdasarkan masalah yang telah dirumuskan, adapun tujuan dari dilakukannya penelitian ini diantaranya:

1. Menerapkan *predictive maintenance* untuk memprediksi *failure* komponen kendaraan dengan menerapkan algoritma *Random Forest* yang dioptimalkan menggunakan *hyperparameter tuning* berbasis *Random Search*.
2. Menerapkan pendekatan *multiclass classification One-vs-Rest* agar dapat meningkatkan nilai *confidential* pada setiap jenis *failure* komponen.

1.4. Manfaat

Seiring dengan berlangsungnya penelitian ini, diharapkan dapat memberikan sejumlah manfaat sebagai berikut:

1. Dari sisi teoritis, penelitian ini memberikan kontribusi dalam bidang *machine learning* dan *predictive maintenance* dengan mengembangkan model yang dapat memanfaatkan korelasi antar data sensor kendaraan. Pemanfaatan algoritma *Random Forest* optimalisasi *Random Search* diharapkan dapat menjadi studi kasus yang memperkuat teori mengenai bagaimana algoritma berbasis ‘pohon keputusan’ dapat digunakan dalam *predictive maintenance*, terutama dalam menangani data yang sangat beragam dan kompleks.
2. Dari sisi praktis, manfaat penelitian ini akan memberikan dampak yang signifikan bagi industri, khususnya di sektor yang sangat bergantung pada kendaraan berat seperti pertambangan dan transportasi. Dengan *predictive maintenance* yang lebih akurat, perusahaan dapat mengurangi *downtime* kendaraan, meminimalkan biaya perawatan tidak terduga, dan meningkatkan keandalan operasional kendaraan. Dengan sistem prediktif yang mampu mendeteksi potensi *failure* lebih awal, perusahaan dapat merencanakan perbaikan dan penggantian komponen dengan lebih efisien, sehingga mengurangi risiko kerugian akibat *failure* yang tidak diantisipasi.
3. Selain itu, penelitian ini juga dapat digunakan oleh produsen kendaraan untuk mengembangkan fitur-fitur kendaraan yang lebih cerdas dan prediktif, yang pada gilirannya dapat meningkatkan daya saing dan nilai jual produk mereka. Dengan adanya teknologi *predictive maintenance* yang lebih maju, konsumen dapat menikmati kendaraan yang lebih andal, aman, dan hemat biaya.
4. Bagi peneliti dan akademisi, penelitian ini dapat menjadi landasan untuk pengembangan metode yang lebih lanjut dalam bidang *machine learning* dan analisis data sensor. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini dapat diaplikasikan dalam berbagai konteks lain, seperti manufaktur, energi,

dan logistik, di mana *predictive maintenance* menjadi kunci untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas.

1.5. Batasan Masalah

Penelitian yang dilakukan mempunyai batasan-batasan masalah, guna memberikan penekanan lingkup atau cakupan yang menjadi area pada tujuan penelitian ini dilakukan.

1. Jenis data yang digunakan hanya menggunakan dataset *Predictive Maintenance Dataset AI4I 2020* dari Kaggle yang juga termuat pada *UC Irvine Machine Learning Repository* yang terdiri dari data sensor sintesis mesin industri kendaraan mobil [11]. Data yang digunakan meliputi suhu udara, suhu proses, kecepatan rotasi, torsi, dan keausan alat, tanpa mempertimbangkan data eksternal seperti kondisi lingkungan atau faktor operasional lainnya. Keterkaitan mengenai biaya *maintenance*, lokasi *maintenance*, cara *maintenance*, keberlanjutan *maintenance*, dan jenis kendaraan yang di *maintenance* tidak disinggung pada penelitian ini.
2. Prediksi hanya dilakukan 6 kelas, yakni 1 kelas No Failure dan 5 jenis *failure*, yaitu *Tool Wear Failure (TWF)*, *Heat Dissipation Failure (HDF)*, *Power Failure (PWF)*, *Overstrain Failure (OSF)*, dan *Random Failure (RNF)* dengan tidak mempertimbangkan kemungkinan kegagalan lain yang tidak tercakup dalam dataset.
3. Evaluasi model menggunakan metrik *accuracy*, *precision*, *recall*, *F1-score*, *ROC-AUC*, dan *Matthews Correlation Coefficient (MCC)* yang dalam hal ini penelitian tidak melakukan perbandingan dengan algoritma lain seperti *XGBoost*, *SVM*, atau *Neural Network*.
4. Sesuai dengan perolehan dataset pada Kaggle, implementasi dan aplikasi model yang dikembangkan hanya diuji pada dataset statis, tanpa implementasi langsung dalam sistem *predictive maintenance* industri serta tidak dilakukan integrasi dengan sistem IoT atau *real-time monitoring* untuk pengujian dalam lingkungan operasional yang sebenarnya.