

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Isu pencemaran udara merupakan salah satu tantangan lingkungan global paling signifikan di abad ke-21. Menurut Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), polusi udara menyebabkan lebih dari tujuh juta kematian dini setiap tahun secara global [1]. Jumlah ini menunjukkan betapa seriusnya dampak polusi udara terhadap kesehatan dan kesejahteraan manusia. Berbagai jenis polutan udara telah diidentifikasi, antara lain nitrogen dioksida (NO_2), ozon troposferik (O_3), karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO_2), dan partikel halus seperti $\text{PM}_{2.5}$ dan PM_{10} . Di antara semua jenis tersebut, $\text{PM}_{2.5}$ dianggap paling berbahaya karena ukurannya yang sangat kecil (diameter ≤ 2.5 mikrometer), memungkinkan partikel ini masuk ke dalam sistem pernapasan hingga mencapai alveolus, bahkan menembus ke dalam sirkulasi darah [2][3].

Paparan jangka panjang terhadap $\text{PM}_{2.5}$ telah dikaitkan dengan peningkatan risiko penyakit jantung koroner, stroke, kanker paru-paru, serta memperburuk kondisi asma dan PPOK (penyakit paru obstruktif kronik) [3]. Oleh karena itu, penanganan $\text{PM}_{2.5}$ perlu dilakukan dengan strategi yang akurat dan tepat, mengingat kontribusinya terhadap beban penyakit secara global. WHO bahkan telah menetapkan batas aman $\text{PM}_{2.5}$ sebesar $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (rata-rata harian), dan menekankan perlunya tindakan kebijakan di berbagai negara untuk memantau serta mengurangi paparan polutan ini [4].

Salah satu negara yang mengalami beban besar akibat $\text{PM}_{2.5}$ adalah China. Dengan pertumbuhan industrialisasi dan urbanisasi yang pesat, kota-kota seperti Beijing, Tianjin, Shanghai, dan Guangzhou mengalami jumlah pencemaran udara yang sangat tinggi. Jumlah $\text{PM}_{2.5}$ di kota-kota tersebut sering kali melebihi ambang batas yang ditetapkan WHO, mencapai lebih dari $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pada musim dingin [10]. Penyebab utama dari tingginya emisi $\text{PM}_{2.5}$ di China antara lain penggunaan batu bara dalam pembangkit energi, emisi kendaraan bermotor, dan aktivitas industri berat.

Meski pemerintah China telah menerapkan berbagai kebijakan pengendalian emisi, seperti transisi ke energi bersih dan pembatasan sektor industri, studi oleh Li et al. [10] menunjukkan bahwa tren PM_{2.5} selama periode 2005–2021 tetap menunjukkan fluktuasi musiman dan spasial yang signifikan. Sebagai contoh, wilayah utara China memiliki jumlah yang jauh lebih tinggi dibandingkan wilayah selatan, terutama saat musim dingin akibat pembakaran batu bara untuk pemanas.

Untuk menghadapi tantangan ini, dibutuhkan pendekatan prediktif sebagai pelengkap upaya mitigasi. Prediksi harian jumlah PM_{2.5} sangat penting untuk pengembangan sistem peringatan dini (*early warning system*) yang mampu memberikan informasi kepada masyarakat dan pemerintah secara real-time. Sistem ini berperan penting dalam mengurangi paparan polusi, khususnya bagi kelompok rentan seperti anak-anak, lansia, dan penderita penyakit kronis [8].

Metode peramalan deret waktu (*time series forecasting*) menjadi solusi yang rasional dalam pengembangan sistem prediksi PM_{2.5}. Data *time series* mampu mengidentifikasi pola musiman dan tren berdasarkan data historis, sehingga dapat digunakan untuk memperkirakan nilai masa depan dari parameter lingkungan seperti suhu, kelembaban, dan jumlah polutan [5]. Salah satu model yang menonjol dalam kategori ini adalah *Facebook Prophet*, algoritma peramalan yang dirancang oleh tim Facebook Research.

Facebook Prophet memiliki keunggulan dalam menangani data musiman dan tren jangka panjang, serta mampu mengelola data dengan outlier dan missing value secara otomatis [9]. Model ini hanya memerlukan dua kolom input utama: tanggal (*ds*) dan nilai target (*y*), menjadikannya sangat cocok untuk aplikasi praktis berbasis data publik yang sederhana. Selain itu, Prophet dapat dijalankan di perangkat komputasi standar tanpa membutuhkan GPU, berbeda dengan model *deep learning* seperti LSTM yang lebih kompleks dan memerlukan sumber daya tinggi [9][11].

Penggunaan *Facebook Prophet* dalam prediksi PM_{2.5} harian masih jarang dieksplorasi, terutama dalam pendekatan univariat. Padahal, pendekatan ini memiliki potensi besar untuk memberikan hasil yang memadai dengan beban teknis minimal. Dengan kemampuan visualisasinya yang intuitif dan latensi prediksi yang rendah, Prophet sangat sesuai untuk diintegrasikan ke dalam dashboard pemantauan berbasis web atau aplikasi mobile [7].

Penelitian ini menggunakan dataset PM2.5 harian dari platform Kaggle yang mencakup periode 2015 hingga awal 2024 dan berisi data dari berbagai kota besar di China. Tujuan utama penelitian ini adalah mengevaluasi performa model *Facebook Prophet* dalam memprediksi jumlah PM2.5 serta mengeksplorasi kemampuannya dalam menangkap pola tren dan musiman jangka panjang. Evaluasi dilakukan dengan menggunakan metrik MAE, RMSE, MAPE, dan R^2 sebagai indikator akurasi model.

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi dalam pengembangan sistem prediksi kualitas udara berbasis data terbuka, serta mendukung pengambilan keputusan di bidang kesehatan masyarakat dan tata kelola lingkungan. Dengan fleksibilitas, kesederhanaan, dan efisiensinya, *Facebook Prophet* memiliki potensi untuk menjadi model baseline dalam sistem peringatan dini kualitas udara di berbagai wilayah, termasuk yang memiliki keterbatasan sumber daya.

1.2 Rumusan Masalah

1.2.1 Permasalahan

Polusi udara akibat partikel halus PM2.5 merupakan isu kesehatan lingkungan yang krusial, terutama di kota-kota besar di China. Jumlah PM2.5 di wilayah ini menunjukkan pola temporal yang kompleks serta dipengaruhi oleh berbagai faktor meteorologis, seperti suhu, kelembapan, tekanan udara, dan kecepatan angin. Meskipun berbagai model prediksi berbasis machine learning telah dikembangkan untuk mengantisipasi lonjakan polusi, sebagian besar model tersebut membutuhkan sumber daya komputasi tinggi dan tidak mudah diadopsi secara luas di sistem pemantauan harian. Dalam konteks ini, *Facebook Prophet* menjadi salah satu alternatif model time series yang menarik, karena menawarkan pendekatan prediksi yang ringan, efisien, dan mudah digunakan, bahkan oleh pengguna non-teknis. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membangun model prediksi jumlah PM2.5 harian berbasis data historis menggunakan *Facebook Prophet*, serta mengevaluasi kemampuannya dalam mengidentifikasi pola tren dan musiman secara akurat. Selain itu, penelitian ini juga menilai sejauh mana model Prophet dapat memberikan estimasi prediktif yang dapat diandalkan sebagai dasar sistem peringatan dini untuk mitigasi risiko polusi udara.

1.2.2 Metode Usulan

Facebook Prophet merupakan model time series berbasis pendekatan aditif yang dirancang untuk mendeteksi pola tren dan musiman secara akurat dengan persiapan data yang sederhana. Meski belum banyak digunakan dalam konteks prediksi PM2.5 harian di China, metode ini menawarkan kemudahan implementasi, akurasi yang kompetitif, serta visualisasi output yang informatif. Penelitian ini mengusulkan penggunaan *Prophet* untuk memodelkan jumlah PM2.5 berdasarkan data historis harian dari Kaggle.

1.2.3 Pertanyaan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah dalam penelitian ini, maka pertanyaan penelitian yang diajukan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana performa model *Facebook Prophet* dalam memprediksi jumlah PM2.5 harian berdasarkan data historis, ditinjau dari metrik evaluasi *Mean Absolute Error* (MAE), *Root Mean Square Error* (RMSE), *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), dan koefisien determinasi R^2 ?
2. Bagaimana model *Facebook Prophet* dapat memvisualisasikan prediksi tren dan musiman PM2.5?

1.3 Tujuan dan Manfaat

1.3.1 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengevaluasi performa model *Facebook Prophet* berdasarkan metrik statistik seperti *Mean Absolute Error* (MAE), *Root Mean Square Error* (RMSE), *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), dan koefisien determinasi (R^2).
2. Menggambarkan pola tren dan musiman hasil prediksi PM2.5 dengan model *Prophet*, termasuk tren jangka panjang dan siklus musiman tahunan maupun mingguan.

1.3.2 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan kontribusi dalam pengembangan model prediksi kualitas udara yang akurat namun tetap ringan dan efisien, khususnya untuk jumlah PM2.5 harian.
2. Menyediakan visualisasi pola tren dan musiman PM2.5 yang informatif dan mudah dipahami oleh pengambil kebijakan maupun masyarakat umum.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan fokus, maka ditetapkan beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Parameter polusi udara yang diteliti hanya difokuskan pada jumlah PM2.5 (*Particulate Matter* berukuran ≤ 2.5 mikrometer).
2. Pendekatan pemodelan yang digunakan hanya menggunakan *model Facebook Prophet* dengan skema univariat, yaitu hanya memanfaatkan data tanggal (*ds*) dan nilai PM2.5 harian (*y*).
3. Data yang digunakan bersumber dari dataset publik yang diperoleh melalui *platform* Kaggle melalui lama www.kaggle.com/datasets/khushikyad001/air-pollution-in-china-2015-2025/data, yang berisi data deret waktu harian jumlah PM2.5 di berbagai kota besar di China, dengan cakupan waktu dari tahun 2015 hingga 2024.
4. Evaluasi performa model hanya dilakukan berdasarkan metrik statistik MAE, RMSE, MAPE, dan R^2 .
5. Fokus wilayah penelitian hanya mencakup kota-kota besar di China yang terdapat dalam dataset, sehingga generalisasi hasil terhadap wilayah atau negara lain bersifat terbatas.

1.5 Sistematika Penelitian

Sistematika Penelitian merupakan sebuah metode atau urutan dalam menyelesaikan sebuah penelitian. Penelitian skripsi ini dikelompokkan menjadi beberapa sub bab dengan sistematika Penelitian sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas mengenai penjelasan umum tentang polusi udara (khususnya PM2.5), pengaruh faktor cuaca terhadap jumlah PM2.5, serta urgensi dilakukannya

peramalan. Dalam bab ini juga dijelaskan permasalahan yang timbul berdasarkan penelitian sebelumnya, metode yang diusulkan yaitu peramalan dengan model *Facebook Prophet*, rumusan masalah, pertanyaan penelitian, tujuan penelitian, manfaat, serta batasan dari penelitian yang dilakukan.

BAB II KAJIAN PUSTAKA

Bab ini membahas teori-teori dan konsep yang mendasari penelitian, meliputi pengertian PM2.5, variabel cuaca yang berpengaruh, metode *forecasting time series*, serta algoritma *Facebook Prophet*. Selain itu, dalam bab ini juga dipaparkan metode evaluasi model prediksi, dan rangkuman beberapa penelitian terdahulu yang relevan sebagai dasar penguatan metodologi.

BAB III METODE USULAN

Bab ini menjelaskan metode yang diusulkan dalam penelitian, arsitektur sistem, serta tahapan kerja yang mencakup pengumpulan data, prapemrosesan data, pemodelan dengan *Facebook Prophet*, dan evaluasi hasil. Pada bab ini juga disampaikan informasi mengenai dataset yang digunakan dan skema penelitian secara sistematis.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menguraikan hasil implementasi dari metode yang telah diusulkan. Pembahasan mencakup proses pelatihan model, prediksi jumlah PM2.5, evaluasi performa model, serta analisis visual terhadap hasil peramalan dan interpretasi terhadap pola-pola yang terbentuk.

BAB V PENUTUP

Bab ini memuat kesimpulan dari penelitian yang disusun berdasarkan hasil analisis dan pertanyaan penelitian yang telah dirumuskan. Bab ini juga menyajikan saran untuk pengembangan atau perluasan penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

Berisi seluruh referensi ilmiah, jurnal, artikel, dan dokumen yang dijadikan acuan dalam menyusun penelitian ini.