

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1. Latar Belakang**

Kualitas udara merupakan salah satu indikator utama dalam menilai kesehatan lingkungan dan kesejahteraan masyarakat di suatu wilayah. Dua dekade terakhir, permasalahan pencemaran udara telah menjadi isu *global* yang semakin mengkhawatirkan seiring meningkatnya industrialisasi, urbanisasi, dan penggunaan bahan bakar fosil (Joko Sapto Pramono dkk., 2025). Laporan *World Health Organization* (WHO) (2022) menyebutkan bahwa sekitar 99% populasi dunia hidup di wilayah dengan tingkat polutan melebihi ambang batas aman dan sekitar tujuh juta kematian dini terjadi setiap tahun akibat paparan polusi udara (Organization, 2025). Secara *global*, kota – kota besar seperti New Delhi, Dhaka, Beijing dan Jakarta termasuk dalam daftar kota dengan kualitas udara terburuk menurut *IQAir Global Quality Report* (2023). Di tingkat nasional, konsentrasi partikulat halus (PM<sub>2.5</sub>) di kota-kota besar Indonesia seperti Jabodetabek, Surabaya, dan Bandung kerap melebihi standar aman WHO (Rosatul Umah & Eva Gusmira, 2024). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pencemaran udara telah berkembang menjadi krisis lingkungan dan kesehatan yang menuntut perhatian serius dari berbagai pihak.

Fenomena serupa juga terjadi di Indonesia, di mana laju pertumbuhan penduduk, kendaraan bermotor, dan aktivitas industri meningkat pesat. Akumulasi emisi gas buang dan partikulat di atmosfer perkotaan menyebabkan penurunan kualitas udara yang berdampak langsung terhadap kesehatan masyarakat. Kota Bandung, sebagai salah satu pusat kegiatan ekonomi dan pendidikan, menghadapi tantangan besar akibat kepadatan penduduk yang tinggi dan pertumbuhan kendaraan bermotor yang tidak seimbang dengan kapasitas transportasi publik (Akbar, 2023). Aktivitas industri di wilayah ini turut memperburuk kondisi udara dengan meningkatkan kadar polutan seperti *Karbon Monoksida* (CO), *Nitrogen*

*Dioksida* ( $\text{NO}_2$ ), Sulfur Dioksida ( $\text{SO}_2$ ), *Ozon* ( $\text{O}_3$ ) (Dyana dkk., 2025). Peningkatan kadar polutan tersebut berkontribusi terhadap menurunnya produktivitas masyarakat akibat meningkatnya kasus penyakit pernapasan. Oleh karena itu, diperlukan langkah strategis dalam memantau dan memprediksi kualitas udara perkotaan secara lebih akurat.

Krisis kualitas udara tersebut menuntut adanya analisis pemantauan dan prediksi yang akurat untuk mendukung kebijakan mitigasi dan perencanaan lingkungan. Analisis prediksi yang baik diperlukan untuk mendeteksi tren pencemaran udara serta memberikan peringatan diri terhadap kondisi uadar berbahaya. Namun, metode prediksi konvensional masih memiliki keterbatasan dalam menangani hubungan antar parameter lingkungan yang bersifat nonlinier dan dinamis. Pola perubahan kadar polutan sangat dipengaruhi oleh interaksi kompleks antara kondisi meteorologi, aktivitas manusia, dan waktu. Kondisi ini membuat model statistika tradisional sering kali gagal mempresentasikan fenomena lingkungan secara menyeluruh. Oleh karena itu, dibutuhkan pendekatan cerdas yang mampu memodelkan ketidakpastian serta kompleksitas data lingkungan secara adaptif.

Salah satu metode yang menjanjikan untuk memodelkan fenomena kompleks tersebut adalah **Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)**. ANFIS menggabungkan keunggulan logika fuzzy dalam merepresentasikan ketidakpastian melalui aturan linguistik *if-then* dengan kemampuan pembelajaran adaptif dari Jaringan Saraf Tiruan (JST)(Jang dkk., 1997). Pendekatan hibrida ini memungkinkan sistem memetakan hubungan input-output secara akurat tanpa kehilangan interpretabilitas model (Fitriyati & Yunita Wijaya, 2022). Berbagai penelitian menunjukkan bahwa ANFIS lebih unggul dibanding metode statistik dan JST konvensional, terutama dalam menangani data nonlinier dan dinamis (Yonar & Yonar, 2023a). Selain itu, ANFIS mampu beradaptasi terhadap perubahan pola data tanpa memerlukan intervensi manusia secara intensif. Hal ini menjadikannya salah satu pendekatan cerdas yang potensial dalam bidang prediksi lingkungan (Ruf dkk., 2022).

Meskipun memiliki banyak keunggulan, performa ANFIS sangat

bergantung pada penentuan parameter awal seperti jumlah fungsi keanggotaan, bentuk fungsi, dan parameter konsekuen aturan fuzzy. Pemilihan parameter yang tidak optimal dapat menurunkan akurasi prediksi serta memperlambat proses konvergensi model. Untuk mengatasi kendala tersebut, ANFIS sering dikombinasikan dengan algoritma optimasi yang mampu mencari solusi optimal secara adaptif. Salah satu algoritma yang umum digunakan adalah Genetic Algorithm (GA), yang meniru mekanisme seleksi alam dalam menemukan solusi terbaik (Ike dkk., 2022). Namun, penelitian terbaru menunjukkan bahwa metode metaheuristik seperti Particle Swarm Optimization (PSO) dan Firefly Algorithm (FA) memberikan hasil yang lebih efisien dan akurat dibanding GA (Bahiraei dkk., 2021; Moghadam dkk., 2019). Kedua algoritma ini terbukti efektif dalam meningkatkan performa sistem cerdas berbasis ANFIS.

PSO dikenal efektif dalam mempercepat konvergensi melalui pembaruan posisi dan kecepatan partikel secara dinamis. Sementara itu, FA unggul dalam eksplorasi global dengan mekanisme pencarian berbasis intensitas cahaya yang meniru perilaku kunang-kunang. Integrasi kedua algoritma tersebut menghasilkan kombinasi yang menyeimbangkan antara kemampuan eksplorasi dan eksploitasi ruang solusi. Sejumlah penelitian melaporkan bahwa kombinasi FA-PSO (FAPSO) dapat meningkatkan stabilitas serta akurasi hasil optimasi dibanding penggunaan tunggal salah satu algoritma (Gurelyuz, 2021; Rituraj dkk., 2023). Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini mengusulkan model prediksi kualitas udara berbasis ANFIS-FAPSO untuk menghasilkan parameter ANFIS yang lebih akurat dan stabil. Model ini diharapkan dapat mendukung pengambilan keputusan dalam mitigasi pencemaran udara sesuai standar Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU).

## 1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini adalah mengembangkan model prediksi kualitas udara yang efektif dengan memanfaatkan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) yang dioptimasi melalui Algoritma Firefly dan Particle Swarm Optimization (PSO). ANFIS berfungsi untuk

menggabungkan kemampuan jaringan saraf tiruan dan logika fuzzy dalam menangkap kompleksitas data, sedangkan Algoritma Firefly dan PSO diterapkan untuk mengoptimasi parameter ANFIS sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi prediksi. Melalui integrasi metode ini, penelitian ini bertujuan menghasilkan model prediksi kualitas udara yang lebih akurat dan efisien serta memastikan keandalan dan validitas model melalui evaluasi yang komprehensif.

### 1.3. Manfaat Penelitian

Penelitian ini memberikan kontribusi signifikan dalam bidang pemodelan kualitas udara melalui penggunaan model ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System) yang dioptimasi dengan Firefly Algorithm dan Particle Swarm Optimization (PSO). Manfaat penelitian ini dapat dilihat dari dua aspek, yaitu kontribusi ilmiah dan manfaat bagi masyarakat, sebagai berikut:

#### 1) Manfaat bagi Kontribusi Ilmiah

- a) Penelitian ini mengembangkan metode prediksi baru yang mengintegrasikan teknik kecerdasan buatan dan algoritma optimasi, sehingga mampu meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam memprediksi kualitas udara.
- b) Hasil penelitian memberikan wawasan baru mengenai penerapan ANFIS dalam pemantauan kualitas udara yang dapat dijadikan referensi bagi penelitian selanjutnya.
- c) Penelitian ini memperkaya literatur ilmiah di bidang pemodelan kualitas udara dan kecerdasan buatan serta mendorong eksplorasi lebih lanjut terhadap penerapan teknik-teknik tersebut.

#### 2) Manfaat bagi Masyarakat

- a) Penelitian ini menghasilkan informasi prediksi indeks kualitas udara dengan kategori yang jelas (baik, sedang, tidak sehat, sangat tidak sehat, berbahaya), sehingga masyarakat dapat mengambil langkah yang tepat untuk melindungi kesehatan.
- b) Informasi yang dihasilkan mendukung pengambilan keputusan yang lebih baik terkait kesehatan dan lingkungan, serta

meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap isu kualitas udara.

- c) Dengan menyediakan informasi yang akurat dan tepat waktu, penelitian ini berpotensi mengurangi risiko kesehatan akibat polusi udara dan memberikan dampak positif bagi kesehatan masyarakat.



**SEKOLAH PASCASARJANA**