

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Secara global, polusi udara telah menjadi perhatian serius karena dampaknya yang merugikan kesehatan manusia (Zhao, dkk., 2018: 346). Peningkatan populasi, industrialisasi yang pesat, dan penggunaan transportasi yang boros bahan bakar menjadi beberapa alasan utama peningkatan polusi udara yang pesat ini (Messan, dkk., 2022: 1). Dalam dekade terakhir, kualitas udara di Jakarta sedang mengalami penurunan. Ini diakibatkan oleh berbagai faktor, dan penyebab utama meliputi dominasi emisi transportasi, aktivitas industri, serta pembangkit listrik berbasis batubara. Tingginya konsentrasi CO₂ di atap gedung Jakarta menjadi indikator utama penurunan kualitas udara, terutama akibat aktivitas industri, transportasi, dan polusi perkotaan (Mandasari et al., 2024:41).

Oleh karena itu, perlu adanya pengembangan sistem peringatan dini kualitas udara yang terintegrasi dan berbasis teknologi untuk memitigasi dampak negatif dari peningkatan polusi udara di area perkotaan. Untuk mengatasi tantangan ini, pemanfaatan teknologi seperti *Internet of Things* (IoT) menjadi sangat penting, karena memungkinkan pemantauan kualitas udara dari lokasi yang berjauhan melalui sistem komunikasi nirkabel (Ramadhan & Chandra, 2022: 1183). Sistem pemantauan berbasis IoT tidak hanya mengumpulkan data secara *real-time* tetapi juga dapat memberikan notifikasi peringatan dini ketika tingkat polutan melebihi ambang batas aman (Muzakirin & Mirza, 2022: 100). Aktivitas manusia seperti emisi kendaraan bermotor, operasi industri, pembakaran sampah dan infrastruktur yang tidak ramah lingkungan merupakan penyebab utama polusi udara di kota-kota besar khususnya Jakarta. Emisi dari 13 juta kendaraan bermotor di Jakarta menghasilkan sebagian besar dari total polusi udara. Polusi udara di Indonesia semakin menjadi perhatian serius, terutama di kota kota besar seperti Jakarta, Surabaya, dan Bandung. Peningkatan jumlah kendaraan bermotor dan aktivitas industri menyebabkan tingginya kadar gas berbahaya serta partikel halus (PM_{2.5}) di udara. Oleh karena itu, pemantauan kualitas udara yang akurat dan realtime sangat diperlukan untuk memberikan informasi kepada masyarakat serta pihak berwenang mengenai kondisi udara di suatu wilayah (Anugerah & Sutabri, 2024:1).

Masyarakat perlu sesuatu yang dapat meningkatkan tingkat kesadaran dari bahaya kualitas udara yang buruk, mengingat dampaknya terhadap kesehatan seringkali tidak langsung terlihat namun bersifat kumulatif. Pengendalian kualitas udara menjadi sangat krusial untuk menghindari berbagai penyakit dan meminimalisir risiko kerusakan organ, terutama bagi kelompok rentan (Octaviano, dkk., 2022: 147). Dengan meningkatnya industrialisasi dan urbanisasi, polutan udara telah terkait dengan berbagai kondisi kesehatan, seperti penyakit pernapasan dan kardiovaskular (Pebralia et al., 2024:2).

Pendekatan berbasis *Internet of Things* (IoT) dapat menjadi langkah awal yang strategis dalam pengawasan kualitas udara secara *real-time*. Dengan menempatkan sensor di titik-titik strategis yang merupakan pusat aktivitas warga, khususnya di wilayah perkotaan seperti Jakarta, sistem ini mampu mengumpulkan data lingkungan secara terus-menerus dan akurat. Data yang terkumpul kemudian disimpan secara terpusat melalui integrasi dengan platform *Firebase*, yang menawarkan solusi penyimpanan data yang aman, andal, dan mudah diakses. Hal ini tidak hanya memastikan keamanan data, tetapi juga memudahkan proses monitoring dan analisis lebih lanjut. Untuk meningkatkan kecanggihan sistem, data historis yang diperoleh dianalisis menggunakan metode neural network. Jaringan Saraf Tiruan (JST), khususnya *Recurrent Neural Network* (RNN), sangat efektif untuk memproses dan mengingat data sekuensial seperti data kualitas udara harian, sehingga mampu menghasilkan prediksi yang lebih andal dibandingkan pendekatan lainnya (Zhao, dkk., 2018: 346). Pendekatan prediktif ini memungkinkan sistem untuk tidak hanya mendeteksi kondisi udara saat ini, tetapi juga mengantisipasi tren kualitas udara di masa mendatang. Dengan demikian, masyarakat dapat menerima informasi peringatan dini mengenai kemungkinan penurunan kualitas udara, sehingga langkah mitigasi dapat segera dilakukan. Penyajian data yang informatif dan interaktif melalui antarmuka website semakin mendukung proses penyebaran informasi secara cepat dan transparan kepada publik. Tidak seperti sistem peringatan konvensional yang hanya mengandalkan *output* berupa *buzzer* atau LED, sistem ini mengutamakan kemudahan akses informasi melalui notifikasi yang dikirim langsung ke smartphone pengguna. Pendekatan modern ini tidak hanya meningkatkan efektivitas dalam pengelolaan kualitas udara secara proaktif, tetapi juga mendorong partisipasi aktif masyarakat dalam menjaga lingkungan. Dengan

akses informasi yang akurat, responsif, dan mudah dijangkau, diharapkan solusi ini dapat menjadi bagian integral dalam upaya mewujudkan lingkungan yang lebih bersih dan sehat di tengah dinamika perkotaan.

Selain itu, dengan semakin maraknya penggunaan teknologi digital dan penetrasi *smartphone* di seluruh lapisan masyarakat, keberadaan sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT menjadi semakin strategis. Sistem ini tidak hanya berfungsi sebagai alat untuk mendeteksi dan memberikan peringatan dini mengenai penurunan kualitas udara, tetapi juga sebagai media edukasi yang mendorong kesadaran dan partisipasi aktif masyarakat dalam menjaga lingkungan. Notifikasi yang diterima langsung melalui *smartphone* memungkinkan warga untuk segera mengambil langkah-langkah preventif, sehingga potensi dampak kesehatan akibat polusi dapat diminimalisir. Integrasi teknologi canggih seperti *neural network* juga membuka peluang untuk mengembangkan model prediktif yang semakin akurat, yang dapat membantu pengambil keputusan di tingkat pemerintah dan industri dalam merumuskan kebijakan lingkungan yang responsif dan adaptif terhadap dinamika kondisi udara di perkotaan. Sebagai contoh, penelitian menunjukkan bahwa penggunaan model Jaringan Saraf Tiruan (JST) dapat secara efektif meningkatkan performa prediksi dengan kemampuannya memproses data sekuensial dari waktu ke waktu, sehingga menghasilkan prediksi yang lebih andal dan efisien untuk sistem peringatan dini berbasis IoT (Zhao, dkk., 2018: 346). Dengan integrasi *neural network*, data kualitas udara dapat dianalisis secara mendalam, memungkinkan pemerintah dan pihak industri untuk merumuskan kebijakan lingkungan yang lebih responsif. Hal ini sejalan dengan meningkatnya penggunaan teknologi digital dan penetrasi *smartphone*, di mana notifikasi *real-time* melalui aplikasi memudahkan masyarakat untuk segera mengambil langkah-langkah preventif guna meminimalkan dampak kesehatan akibat polusi udara.

1.2 Fokus Penelitian

Berdasarkan uraian pada bagian latar belakang, maka fokus penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan membangun perangkat *Internet of Things* (IoT) yang mampu mengakuisisi data konsentrasi gas Karbon Monoksida (CO) dan Karbon Dioksida (CO₂) secara *real-time* menggunakan sensor MQ-7 dan MQ-135.
2. Mengintegrasikan data yang diperoleh dari perangkat keras ke dalam sistem penyimpanan *cloud* menggunakan platform *Firebase* untuk memastikan data tersimpan secara terpusat, andal, dan mudah diakses untuk proses monitoring serta analisis lebih lanjut.
3. Mengembangkan dan menerapkan model *Feed-Forward Neural Network* untuk mengolah data historis dari sensor (kadar CO dan CO₂) serta fitur temporal (jam dan hari) guna menghasilkan klasifikasi status kualitas udara ("Baik", "Sedang", dan "Tidak Sehat").
4. Merancang antarmuka web yang efektif untuk memvisualisasikan data kualitas udara secara *real-time* dan menampilkan hasil prediksi dari model *Neural Network* sebagai sistem peringatan dini bagi pengguna.

1.3 Pembatasan Masalah

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

1. Perangkat keras yang dikembangkan berfokus pada penggunaan mikrokontroler Wemos D1 R32, sensor gas MQ-7 untuk Karbon Monoksida (CO), dan sensor gas MQ-135 untuk Karbon Dioksida (CO₂).
2. Metode kecerdasan buatan yang digunakan adalah *Feed-Forward Neural Network* untuk klasifikasi status kualitas udara. Penelitian ini tidak membandingkan kinerja dengan metode lainnya.
3. Data dari sensor dikirim dan disimpan menggunakan *platform* *Firebase Realtime Database*.
4. Keluaran sistem berupa visualisasi data dan status peringatan dini yang ditampilkan pada *dashboard* berbasis *web*.

5. Pengukuran data kualitas udara oleh sensor dinyatakan dalam satuan *Parts per Million* (PPM) setelah melalui proses kalibrasi.
6. Penelitian ini tidak melakukan analisis mendalam mengenai dampak biologis atau kesehatan dari paparan polusi udara terhadap manusia.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, fokus, dan batasan masalah yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan mekanisme integrasi data dari perangkat *IoT* (sensor MQ-7 dan MQ-135) ke *platform Firebase* untuk memastikan pengiriman dan penyimpanan data kualitas udara berjalan secara *real-time* dan konsisten?
2. Bagaimana merancang dan melatih model *Feed-Forward Neural Network* yang menggunakan data sensor CO dan CO₂ serta fitur temporal (jam, hari) untuk mengklasifikasikan status kualitas udara secara akurat?
3. Bagaimana merancang sistem peringatan dini pada antarmuka *web* yang secara efektif menyajikan hasil klasifikasi model *Neural Network* dan data sensor *real-time* kepada pengguna?

1.5 Tujuan Penelitian

Berdasarkan pada rumusan masalah tersebut, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan mengimplementasikan sebuah sistem integrasi data yang kokoh dan efisien, yang mampu menghubungkan perangkat keras *IoT* secara *real-time* ke *platform Firebase*. Tujuan ini secara spesifik mencakup penciptaan alur data yang mulus mulai dari akuisisi oleh sensor hingga transmisi yang aman ke *cloud*, untuk memastikan penyimpanan data yang terpusat, kemudahan akses melalui berbagai *platform*, serta efisiensi dalam proses pemantauan dan analisis kualitas udara lebih lanjut.
2. Merancang, melatih, dan memvalidasi sebuah model *Feed-Forward Neural Network* yang cerdas dengan menggunakan *dataset* historis yang telah dikumpulkan secara komprehensif. Tujuan ini berfokus pada pengembangan arsitektur jaringan yang optimal untuk mengolah data sensor dan fitur temporal, sehingga mampu menghasilkan klasifikasi kualitas udara

ke dalam tiga kategori yang intuitif (Baik, Sedang, Tidak Sehat) dengan tingkat akurasi yang tinggi dan dapat dipertanggungjawabkan melalui proses validasi yang ketat.

3. Membangun sebuah sistem peringatan dini yang fungsional dan informatif pada antarmuka web yang mudah diakses oleh pengguna. Tujuan ini meliputi perancangan *dashboard* yang tidak hanya mampu menampilkan data sensor secara *real-time* dan hasil klasifikasi prediktif dari model *Neural Network*, tetapi juga secara proaktif memberikan notifikasi visual yang jelas dan tepat waktu untuk meningkatkan kesadaran pengguna serta memungkinkan mereka mengambil tindakan preventif terhadap kondisi kualitas udara yang berpotensi memburuk.

1.6 Manfaat Penelitian

1.6.1 Manfaat Teoritis

1.6.1.1 Pengembangan Ilmu dan Pengetahuan

- a Penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan khususnya di bidang *Internet of Things* (IoT), integrasi data *real-time*, dan penerapan model neural network untuk analisis data lingkungan.
- b Menambah khasanah literatur tentang penerapan metode deep learning untuk menangani hubungan non-linear dan pola temporal dalam data polusi udara.

1.6.1.2 Kontribusi terhadap Teori Sistem Terintegrasi

- a Mengembangkan kerangka konseptual mengenai integrasi data sensor melalui platform seperti *Firebase*, sehingga memudahkan *monitoring* dan analisis data lingkungan secara terpusat.
- b Menyajikan pendekatan teoritis yang menggabungkan teknologi sensor, penyimpanan data, dan analisis prediktif yang dapat dijadikan acuan untuk penelitian selanjutnya di bidang pengawasan kualitas udara dan mitigasi polusi.

1.6.1.3 Pemahaman Hubungan Antara Data Polusi dan Kualitas Udara

- a Memberikan pemahaman lebih mendalam tentang keterkaitan antara berbagai variabel yang mempengaruhi kualitas udara, seperti emisi

transportasi, aktivitas industri, dan pembangkit listrik berbasis batubara, melalui analisis data historis dan prediktif.

1.6.2 Manfaat Praktis

1.6.2.1 Peningkatan Kualitas Pemantauan Udara

- a Menghasilkan sistem peringatan dini berbasis IoT yang mampu mengumpulkan data kualitas udara secara *real-time*, sehingga memungkinkan pemantauan kondisi udara yang lebih akurat dan responsif.
- b Memungkinkan deteksi dini terhadap penurunan kualitas udara di wilayah perkotaan seperti Jakarta, sehingga pihak berwenang dapat segera mengambil langkah mitigasi.

1.6.2.2 Implementasi Teknologi untuk Edukasi dan Kesadaran Masyarakat

- a Memberikan informasi yang mudah diakses melalui antarmuka *website* dan *notifikasi real-time* yang dikirimkan ke *website*, sehingga meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap bahaya polusi udara.
- b Menjadi media edukasi yang mendorong partisipasi aktif masyarakat dalam menjaga lingkungan dan mengurangi dampak kesehatan akibat polusi.

1.6.2.3 Dukungan Terhadap Pengambilan Keputusan Kebijakan Lingkungan

- a Hasil analisis dan prediksi kualitas udara dapat digunakan oleh pemerintah dan instansi terkait untuk merumuskan kebijakan lingkungan yang lebih responsif dan adaptif terhadap dinamika kondisi udara.
- b Pengintegrasian data melalui platform *Firebase* memudahkan proses *monitoring* dan analisis, sehingga mendukung pembuatan keputusan berbasis data yang akurat.