

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu komponen penting dalam kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya adalah udara. Udara adalah suatu campuran gas yang terdapat pada lapisan yang mengelilingi bumi dan komponen campuran gas tersebut tidak selalu konstan (Sujiarta *et al.*, 2024). Udara merupakan faktor terpenting dalam kehidupan, yang mana meningkatnya pembangunan kota, perkembangan kendaraan dan pusat-pusat industri dapat menyebabkan penurunan kualitasnya akibat pencemaran (Prakoso & Wellem, 2022). Penyebab utama pencemaran udara khususnya terkait dengan faktor-faktor sosial, seperti industri, urbanisasi, dan pertumbuhan penduduk. Selain itu penggunaan lahan atau perubahan lingkungan juga dapat memengaruhi pada tingkat makroskopis. Peningkatan aktivitas manusia telah memicu masalah pencemaran udara, sehingga dibutuhkan solusi untuk dapat meminimalisir efek yang dapat mengganggu kesehatan. Dari sekian banyaknya polutan-polutan di udara, partikel PM_{2.5} paling bertanggung jawab menurunnya kualitas udara dan diasosiasikan dengan kematian lebih dari 7 juta manusia setiap tahunnya, khususnya di negara-negara berkembang dan tertinggal di dunia (Aghorru *et al.*, 2023).

Partikel PM_{2.5} (*Partikel Metter 2.5*) adalah partikel kecil berukuran sama atau kurang dari 2,5 mikron dan mengandung sulfat, nitrat, senyawa organik, senyawa amonium, logam dan asam (Salamah *et al.*, 2022). Partikulat dapat bervariasi dalam asal, komposisi kimia, bentuk, atau luas permukaan, efek berbahaya dari PM_{2.5} biasanya terkait dengan ukuran partikel. Partikel dengan diameter aerodinamis yang lebih kecil memiliki kemampuan lebih besar untuk menembus ke bagian bawah saluran pernapasan (Badura *et al.*, 2018). Polutan PM_{2.5} ini menimbulkan risiko signifikan terhadap kesehatan pernapasan manusia, termasuk perkembangan kanker paru-paru, penyakit jantung, dan iritasi mata (Basith *et al.*, 2022).

Pada saat tertentu manusia dapat menggunakan indera untuk memperkirakan jika udara di lingkungan sekitarnya berada pada level normal dan tidak tercemar ataupun sebaliknya, namun untuk melakukan pemantauan secara terus menerus, manusia dibatasi oleh ruang dan waktu (Susatyono & Fitrianto, 2021). Oleh karena itu, banyak negara telah menerapkan *Continuous AQ Monitoring Stations* (CAQMS) untuk menilai kadar pencemaran udaranya, termasuk PM_{2.5} di udara sekitar (Rabuan *et al.*, 2023). Monitoring kualitas udara yang sejauh ini diterapkan di Indonesia masih berbasis instrumen berbiaya mahal dan cara kerja yang rumit, sehingga merancang kualitas udara menggunakan *Low-Cost Sensor* dapat menjadi solusi alternatif untuk

mendapatkan informasi kualitas udara. Menerapkan metode pemantauan kualitas udara berbiaya rendah atau *Low-Cost Sensor (LCS)* di negara-negara berkembang di Indonesia dapat menjadi solusi yang relevan untuk menyebarkan sistem pemantauan kualitas udara nasional yang membantu membuat kumpulan data nasional tentang polusi udara yang diperlukan untuk meningkatkan kesadaran polusi (Narayana *et al.*, 2022).

Instrumen *Low-Cost Sensor (LCS)* adalah jenis sensor yang dirancang dengan biaya rendah dan biasanya digunakan untuk memantau kualitas udara dengan harga terjangkau. (Kureshi *et al.*, 2022). Penggunaan *Low-Cost Sensor* memiliki manfaat dalam hal efektivitas biaya, kekompakan, dan portabilitas yang menjadikan perangkat ini sebagai alternatif yang efisien terhadap sistem pemantauan berbiaya tinggi (Zimmerman *et al.*, 2018). Di era digitalisasi ini, teknologi komunikasi berkembang semakin pesat. Manfaat yang dirasakan akibat perkembangan tersebut menjadikan teknologi komunikasi semakin penting dan dibutuhkan oleh banyak kalangan (Pratiwi & Silvia, 2020). Untuk melakukan pengukuran tingkat pencemaran udara diperlukan data dan informasi baik dari pengukuran di BMKG Kota Jambi. Untuk melakukan pemantauan secara *real-time* dan mendapatkan data mengenai kualitas udara dapat dilakukan dengan membangun suatu perangkat kualitas udara yang terhubung dengan sistem pemantauan kualitas udara (Novelan, 2020).

Dalam perkembangannya penggunaan alat pengukur kualitas udara berbasis sensor biaya rendah (*Low-Cost Sensor*) menunjukkan potensi yang menjanjikan sebagai alternatif untuk memantau konsentrasi $PM_{2.5}$. Alat ini menawarkan berbagai keunggulan, seperti harga yang relatif terjangkau, konsumsi energi yang minim, ukuran yang kompak dan ringan, serta kemampuan menyajikan data secara *real-time*. Berbagai jenis *sensor low-cost* untuk mendeteksi partikel $PM_{2.5}$ telah dikembangkan dan digunakan dalam pemantauan kualitas udara. Beberapa di antaranya adalah *Shinyei PPD42NS* yang menggunakan teknik penyebaran cahaya dan populer untuk aplikasi *DIY*, serta *Honeywell HPMA115S0* yang memanfaatkan teknologi laser *scattering* dengan presisi tinggi. Ada juga *Nova PM Sensor SDS011*, yang sering digunakan dalam proyek *open-source* berkat kemampuan mendeteksinya yang *real-time*, serta *Plantower PMS5003/PMS7003* yang terkenal karena ukurannya yang kompak dan akurat. Selain itu, sensor seperti *SEN0177* dari *DFRobot* dan *Winsen ZHO3B* juga menawarkan solusi terjangkau dengan akurasi yang baik, menjadikannya pilihan favorit dalam aplikasi portabel maupun sistem pemantauan kualitas udara yang lebih luas. Sensor-sensor ini menawarkan berbagai kelebihan seperti ukuran yang kecil, konsumsi energi rendah, dan kemampuan untuk memberikan data *real-time*,

sehingga memungkinkan penerapan luas dalam upaya pemantauan kualitas udara.

Namun, hingga saat ini belum ada pengembangan *sensor low-cost* di Kota Jambi. Padahal, teknologi ini memiliki potensi besar dalam membantu memantau kualitas udara dengan biaya yang lebih terjangkau. Implementasi sensor berbasis biaya rendah di Jambi dapat menjadi langkah penting dalam mengatasi masalah polusi udara dan meningkatkan kesadaran masyarakat tentang kualitas udara di sekitar. Studi awal sudah dilakukan oleh Rahmi dkk (2024), dengan pengembangan sensor GP2Y1010AU0F yang memperlihatkan prospek untuk dikembangkan lebih lanjut. Oleh karena itu, Penulis tertarik untuk mengembangkan alat pemantau kualitas udara $PM_{2.5}$ berbasis *Low-Cost Sensor* dengan menggunakan Sensor ZHO3B dalam penelitian ini. Nantinya, prototipe tersebut akan divalidasi menggunakan instrumen standar dari BMKG di Kota Jambi. Tujuan jangka panjangnya adalah menciptakan sistem pemantauan kualitas udara yang terintegrasi dengan alat-alat lain yang telah dikembangkan oleh pemerintah, sehingga dapat meningkatkan efektivitas pemantauan dan mitigasi kualitas udara di Indonesia.

1.2 Identifikasi dan Rumusan Masalah

Pemantauan kualitas udara yang sejauh ini diterapkan di Indonesia masih berbasis instrumen berbiaya mahal dan terbatasnya jumlah alat monitoring kualitas udara $PM_{2.5}$ di Indonesia menyebabkan sulitnya mendapatkan data kualitas udara secara *real-time* berbagai wilayah. *Low-Cost Sensor* adalah salah satu alternatif seperti dengan jaringan berbasis *Multi Sensor* berbiaya murah dapat dikembangkan dan juga dapat dibandingkan dengan pemantauan yang dilakukan Lembaga pemerintah.

Berdasarkan uraian tersebut, identifikasi masalah dapat dirumuskan berikut:

1. Bagaimana merancang sebuah sistem monitoring yang dapat mengukur kualitas udara $PM_{2.5}$ menggunakan *Low-Cost Sensor* berbasis IoT secara *real-time*.
2. Bagaimana rancangan di poin pertama menjadi alternatif sebagai pembanding pemantauan dengan yang ada selama ini di Lembaga pemerintah.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah untuk skripsi dengan judul "Perancangan Sistem Monitoring Kualitas Udara Berbasis *Mikrokontroler* untuk Deteksi Polusi Udara" dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Perancangan kualitas udara berbasis *Low-Cost Sensor* menggunakan Sensor ZHO3B untuk mengukur $PM_{2.5}$ dan Sistem yang dirancang sesuai alat spesifikasi *Low-Cost Sensor*.
2. Perancangan ini menggunakan komunikasi serial *Mikrokontroler* ESP32
3. Bahasa Pemrograman yang digunakan adalah Bahasa Pemrograman C++ Arduino IDE.
4. Menggunakan sistem berbasis *Internet of Things (IoT)* di perangkat lunak yang terhubung melalui *Platform Thinspeak*.
5. Data hasil pengukuran dari sensor akan ditampilkan menggunakan layar LCD 2x16.
6. Terdapat *MicroSD* sebagai penyimpanan *data logger* kualitas udara
7. Variabel yang dianalisis adalah *Partikulat Matter (PM_{2.5})*.
8. Evaluasi akurasi dilakukan dengan membandingkan data *sensor* ZH03B dengan alat referensi menggunakan metode *Root Mean Square Error (RMSE)*.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang ingin dicapai untuk skripsi dengan judul "Perancangan Sistem Monitoring Kualitas Udara Menggunakan Sensor *Mikrokontroler* untuk Deteksi Polusi Udara" sebagai berikut:

1. Merancang *Low-Cost Sensor* Pencemaran udara berbasis *Internet of Things (IoT)* secara *real-time*
2. Membandingkan hasil kinerja pengukuran alat yang dibangun dengan alat ukur $PM_{2.5}$ milik BMKG *Beta Attenuation Monitor (BAM)*-1020.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Pemerintah, Menyediakan alternatif pemantauan kualitas udara berbiaya rendah yang dapat mendukung kebijakan pengendalian polusi.
2. Bagi Universitas, Menambah referensi ilmiah dalam pengembangan teknologi monitoring lingkungan berbasis *Internet of Things (IoT)* dan *sensor low-cost*.
3. Bagi Masyarakat, Menyediakan informasi kualitas udara secara *real-time* untuk meningkatkan kesadaran akan pentingnya udara bersih.
4. Bagi Penulis, Menambah pengetahuan dan pengalaman dalam perancangan sistem monitoring berbasis *Mikrokontroler* dan IoT.