

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Kualitas udara merupakan salah satu faktor lingkungan yang secara langsung memengaruhi kesehatan manusia. World Health Organization (2024) menyatakan bahwa sekitar 99% populasi di dunia menghirup udara yang melampaui batas pedoman kualitas udara WHO, Dengan polusi udara menjadi salah satu resiko lingkungan terbesar bagi kesehatan manusia yang diperkirakan menyebabkan sekitar 4,2 juta kematian per tahun secara global, dan meningkat menjadi sekitar 6,7 juta kematian apabila digabungkan dengan dampak polusi udara dalam ruangan. Fenomena ini menjadi perhatian serius karena paparan polutan udara berlangsung setiap saat tanpa disadari oleh masyarakat yang terpapar (Kassomenos, 2024). Polutan udara seperti gas berbahaya dan partikel halus umumnya tidak dapat dideteksi secara langsung oleh indera manusia, sehingga berpotensi menimbulkan resiko kesehatan tanpa disadari oleh masyarakat yang terpapar (Putri et al., 2024).

Permasalahan kualitas udara tidak hanya menjadi isu global, tetapi juga berdampak signifikan di Indonesia. Lukman et al. (2025) dalam tinjauan sistematis terhadap 74 artikel penelitian kualitas udara di Indonesia periode 2014 – 2024 menyimpulkan bahwa sistem pemantauan kualitas udara yang ada saat ini belum mampu menghasilkan data yang andal, kontinu, dan signifikan untuk pengambilan kebijakan, terutama di wilayah yang memiliki kawasan industri aktif. Berdasarkan laporan IQAir (2025), Indonesia masih tercatat sebagai negara dengan kualitas

udara terburuk di kawasan Asia Tenggara, meskipun secara global hanya sebagian kecil negara yang mampu memenuhi pedoman kualitas udara WHO, dengan polusi industri menjadi salah satu penyebab utama yang disorot dalam laporan tersebut. Kondisi ini menegaskan bahwa distribusi kualitas udara di tingkat daerah masih menunjukkan ketimpangan, terutama di wilayah dengan kawasan industri aktif.

Kabupaten Klaten, khususnya Kecamatan Ceper, merupakan kawasan dengan konsentrasi aktivitas industri yang beragam di Jawa Tengah, meliputi industri cor logam yang merupakan sentra pengecoran besi terbesar di Jawa Tengah, industri garmen/tekstil, serta industri kecil dan menengah lainnya (PASTI DPMPTSP Klaten, 2024). Keberagaman ini menghasilkan profil polutan yang kompleks, mulai dari gas karbon monoksida (CO) dan asap hasil peleburan logam hingga partikel dan uap kimia dari proses produksi garmen. Dalam konteks industri tekstil dan garmen, Umayyah et al. (2022) membuktikan bahwa paparan debu kapas yang mengandung endotoksin dapat mengakibatkan penurunan fungsi paru secara signifikan, sementara Muzakir et al. (2024) melaporkan bahwa mayoritas pekerja industri tekstil yang terdiagnosa kanker menderita kanker paru akibat paparan debu kapas dan serat karsinogenik. Di sisi lain, banyak daerah industri di Indonesia, termasuk Jawa Tengah, belum terpantau memadai karena keterbatasan infrastruktur monitoring (Lukman et al., 2025), sehingga kondisi udara yang berbahaya tidak diketahui masyarakat maupun pemangku kebijakan.

Berdasarkan hasil observasi di Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Klaten pada Juni 2026, diketahui bahwa belum dilakukan monitoring kualitas udara secara berkelanjutan di kawasan industri, termasuk di Kecamatan Ceper yang merupakan

salah satu kawasan industri utama di Kabupaten Klaten dengan aktivitas pengecoran logam, tekstil, dan industri kecil lainnya. Kecamatan ceper menampung sekitar 28 hingga 36 perusahaan industri (Badan Pusat Statistik Kabupaten Klaten, 2024). Aktivitas tersebut berpotensi menurunkan kualitas udara melalui emisi gas buang dari tungku dan mesin industri, uap kimia proses produksi, serta partikel debu hasil pengecoran.

Data yang tersedia di DLH hanya berupa Indeks Kualitas Udara (IKU) tahunan tingkat kabupaten berkisar 76,82 sampai 86,15, karena IKU memang hanya dihitung dari dua tahap pengukuran per tahun sehingga tidak bisa menangkap lonjakan polutan. Sehingga tidak menggambarkan perubahan kondisi udara baik harian maupun saat konsentrasi polutan meningkat di kawasan industri tertentu. Akibatnya, tidak ada peringatan yang dapat disampaikan kepada masyarakat maupun pihak terkait ketika udara memburuk, dan langkah antisipasi tidak memiliki acuan yang jelas. Kondisi ini menunjukkan perlunya suatu sistem yang mampu memantau kualitas udara, mencatat data secara berkelanjutan, sekaligus memberikan peringatan otomatis ketika kadar polutan melampaui ambang batas yang di tentukan, sehingga evaluasi lingkungan dan respons pencemaran dapat dilakukan berdasarkan data aktual.

Seiring dengan perkembangan teknologi, *Internet of Things* (IoT) menawarkan solusi yang efektif dalam pemantauan kualitas udara secara *real-time* ditingkat wilayah. Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa sistem berbasis IoT mampu mengintegrasikan berbagai sensor lingkungan dan mengirimkan data secara langsung ke *platform* digital yang dapat diakses dari mana saja. Budianto &

Sumanto (2024) membuktikan bahwa sistem IoT terbukti efektif sebagai solusi monitoring kualitas udara dalam ruangan dengan biaya terjangkau dan implementasi yang fleksibel. Hidayati et al. (2024) menunjukkan bahwa perangkat sensor yang terhubung ke jaringan memungkinkan pemantauan dilakukan secara *real-time* tanpa harus ada operator dilokasi secara permanen. Muhd Zain et al. (2024) membuktikan bahwa integrasi *platform* Blynk dalam sistem monitoring kualitas udara mampu memberikan pemantauan *real-time* yang akurat dan mudah diakses melalui *smartphone* dimana saja.

Dari perkembangan tersebut, penggunaan mikrokontroler ESP32 menjadi salah satu solusi yang banyak digunakan dalam perkembangan sistem monitoring berbasis IoT. ESP32 memiliki kemampuan komunikasi nirkabel yang terintegrasi serta konsumsi daya yang relatif efisien, sehingga cocok digunakan untuk sistem pemantauan kualitas udara secara *real-time* (Harpad et al., 2022). Sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini memanfaatkan sensor gas MQ-2 dan DHT22 sebagai komponen penginderaan utama. Sensor MQ-2 berbasis material Tin Dioxide (SnO_2) dipilih karena mampu mendeteksi konsentrasi gas dan asap hasil pembakaran seperti LPG, metana, karbon monoksida, dan hidrogen melalui prinsip perubahan resistansi, relevan untuk kawasan industri dengan aktivitas peleburan logam seperti Kecamatan Ceper, keunggulan ini dikonfirmasi oleh Fadli et al. (2024) yang membuktikan kinerja optimal dan keakuratan deteksi sensor MQ-2 dalam sistem IoT berbasis Blynk dengan notifikasi otomatis yang responsif saat konsentrasi gas melampaui ambang batas. Sementara itu, sensor DHT22 dipilih untuk memantau suhu dan kelembaban sebagai data pendukung kondisi lingkungan

karena memiliki akurasi $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ untuk suhu dan $\pm 2\%$ RH untuk kelembaban dengan rentang pengukuran yang lebih lebar dibanding sensor sejenis seperti DHT11, serta tingkat akurasinya terbukti mencapai 94,69% berdasarkan uji komparatif empiris yang membandingkan DHT22 dengan beberapa sensor suhu lainnya dalam kondisi pengujian yang sama (Sulasmoro et al., 2024). Data dari kedua sensor diproses oleh ESP32, dikirimkan ke *platform* Blynk untuk ditampilkan secara berkala, disertai notifikasi otomatis kepada pengguna apabila nilai sensor melampaui ambang batas yang telah ditentukan (Hanum & Elfizon, 2023).

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini mengusulkan perancangan dan pembuatan sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor MQ-2, dan sensor DHT22 yang terintegrasi dengan *platform* Blynk, sebagai alat yang dapat mengisi kekosongan data tersebut secara berkelanjutan di kawasan industri Kecamatan Ceper, Klaten dengan biaya implementasi yang relatif rendah.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

- a. Bagaimana merancang dan membangun sistem monitoring kualitas udara wilayah Klaten berbasis IoT dapat menyajikan data secara berkala?
- b. Bagaimana mengimplementasikan sistem peringatan otomatis kepada pengguna apabila nilai konsentrasi gas polutan melampaui ambang batas yang telah ditentukan?

- c. Bagaimana kinerja sistem dalam menyajikan data kualitas udara ketika diuji di titik-titik pemantauan pada kawasan industri Kecamatan Ceper ?

1.3. Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan terstruktur, maka ditetapkan Batasan masalah sebagai berikut:

- a. Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor MQ-2 untuk mendeteksi konsentrasi gas polutan, dan sensor DHT22 untuk membaca suhu dan kelembaban udara.
- b. Sistem menyajikan data kualitas udara meliputi konsentrasi polutan gas, suhu, dan kelembaban secara berkala melalui dashboard Blynk dalam bentuk nilai numerik dan grafik historis.
- c. Peringatan otomatis dikirimkan melalui notifikasi pada *platform* Blynk apabila nilai konsentrasi asap/gas campuran yang terbaca oleh sensor MQ-2 melampaui ambang batas yang telah ditentukan.
- d. Pemasangan alat dilakukan pada tiga titik pemantauan yang representatif di kawasan industri Kecamatan Ceper, bukan mencakup seluruh wilayah Kabupaten Klaten.
- e. Pengujian validitas dan kalibrasi sensor tidak dilakukan di laboratorium, melainkan mengacu pada spesifikasi teknis datasheet sebagai acuan awal. Serta ambang batas notifikasi pada sistem ini merujuk pada data konsentrasi karbon monoksida murni dari literatur kesehatan sebagai acuan desain.

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah ditetapkan, maka tujuan penelitian ini adalah:

- a. Merancang dan membangun sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT yang mampu menyajikan data kualitas udara secara berkala di kawasan industri Kecamatan Ceper, Klaten.
- b. Mengimplementasikan sistem peringatan otomatis kepada pengguna melalui *platform* Blynk apabila nilai konsentrasi gas polutan melampaui ambang batas yang telah ditentukan.
- c. Mengetahui kinerja sistem dalam menyajikan data kualitas udara ketika di uji pada tiga titik pemantauan di kawasan industri Kecamatan Ceper, Klaten.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi berbagai pihak:

- a. Bagi akademisi, memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan sistem monitoring berbasis IoT, khususnya dibidang pemantauan kualitas udara wilayah kawasan industri menggunakan mikrokontroler ESP32.
- b. Bagi Peneliti selanjutnya, menjadi referensi dan acuan bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT di lingkungan industri maupun wilayah perkotaan.
- c. Bagi masyarakat dan pekerja di sekitar kawasan industri Kecamatan Ceper, sistem ini dapat memberikan informasi kondisi kualitas udara secara *real-time*

sehingga membantu kesadaran dan kewaspadaan terhadap paparan polutan di lingkungan sekitar.

- d. Bagi pemerintah daerah Kabupaten Klaten dan pemangku kebijakan terkait, data pemantauan yang dihasilkan sistem ini dapat menjadi masukan awal dalam upaya pengelolaan kualitas udara di wilayah kawasan industri Ceper yang selama ini belum terpantau secara memadai.
- e. Bagi penulis, menambah pemahaman dan pengalaman dalam merancang, membangun, dan menguji sistem IoT.