

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Polusi udara didefinisikan sebagai keberadaan unsur-unsur kimia di udara ambien, biasanya berbentuk gas atau partikel tersuspensi yang mencemari udara ambien dan menurunkan kualitasnya. Parameter utama pencemar ini meliputi Hidrokarbon, Karbon Monoksida (CO), Karbon Dioksida (CO₂), Nitrogen Monoksida (NO), Nitrogen Dioksida (NO₂), dan Sulfur Trioksida (SO₃). Penilaian IQAir terhadap konsentrasi partikel halus (PM_{2.5}) antara tahun 2017 dan 2023 menempatkan Indonesia di peringkat ke-14 negara paling tercemar di dunia. Meskipun kualitas udara sempat membaik selama pandemi COVID-19, kondisi kembali memburuk pascapandemi. Pada tahun 2023, tercatat 44 dari 46 kota di Indonesia melaporkan tingkat PM_{2.5} di atas ambang batas rekomendasi WHO, yaitu 0–5 µg/m³ (Nugroho et al., 2025).

Kawasan Industri Karawang merupakan salah satu pusat manufaktur terbesar di Jawa Barat yang menampung sektor otomotif, kimia, serta logistik. Pertumbuhan sektor industri yang pesat di wilayah ini menimbulkan kekhawatiran serius terhadap peningkatan konsentrasi polutan udara. Berdasarkan data IQAir (2025), indeks kualitas udara (*Air Quality Index/AQI*) di Karawang pernah tercatat mencapai angka 161 dengan konsentrasi PM_{2.5} sebesar 70,1 µg/m³, yang masuk dalam kategori "Tidak Sehat". Nilai tersebut jauh melampaui ambang batas aman WHO

(2021) sebesar $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per 24 jam. Urgensi pemantauan ini semakin krusial mengingat emisi dari aktivitas industri manufaktur dan kimia di Karawang tidak hanya mengandung debu, tetapi juga gas iritan berbahaya seperti Karbon Monoksida (CO), Amonia (NH_3), dan Nitrogen Dioksida (NO_2). Paparan jangka panjang terhadap akumulasi partikulat ($\text{PM}_{2.5}$) dan gas-gas tersebut secara sinergis dapat memicu peningkatan prevalensi Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA), penurunan fungsi paru kronis, hingga risiko gangguan kardiovaskular pada masyarakat yang bermukim di zona penyangga industri. Oleh karena itu, identifikasi parameter polutan secara spesifik dan *real-time* menjadi kebutuhan mendesak untuk mitigasi risiko kesehatan lingkungan.

Saat ini, sistem pemantauan kualitas udara otoritatif yang dimiliki Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), seperti *Air Quality Monitoring System* (AQMS), serta perangkat komersial seperti AirVisual, memang telah digunakan untuk pengukuran standar. Namun, jumlah unit stasiun pemantauan ini masih sangat terbatas dan biaya pengadaannya tergolong tinggi (Asri & Irfan, 2024). Keterbatasan ini menyebabkan adanya *blind spot data*, di mana tidak semua wilayah terutama permukiman padat penduduk yang berbatasan langsung dengan pabrik dapat terpantau secara kontinu. Kondisi ini menunjukkan perlunya pendekatan alternatif yang efisien, ekonomis, dan mudah dikembangkan untuk memperluas cakupan pemantauan udara.

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) membuka peluang besar dalam membangun sistem pemantauan kualitas udara yang terintegrasi, terdistribusi, dan berbiaya rendah (*low-cost*). Riset (Asri & Irfan, 2024)

membuktikan bahwa mikrokontroler ESP32 dengan konektivitas *Wi-Fi* mampu mengirimkan data sensor ke *cloud* secara stabil untuk keperluan analisis lingkungan. Dalam penelitian ini, solusi yang ditawarkan mengintegrasikan sensor MQ-135 untuk mendeteksi gas berbahaya (seperti Amonia, Benzena, CO, NO₂, Alkohol, dan SO₂), sensor PMS5003 yang terbukti akurat dalam mendeteksi partikel debu halus (PM2.5 dan PM10), serta sensor DHT22 untuk memantau suhu dan kelembapan udara sebagai faktor meteorologi pendukung (Purnamasari et al., 2024).

Dengan memanfaatkan kombinasi ketiga sensor tersebut pada sistem IoT berbasis ESP32, penelitian ini bertujuan untuk tidak hanya memantau, tetapi juga menganalisis tren polusi udara harian dan bulanan di kawasan industri Karawang. Sistem yang dikembangkan diharapkan dapat membantu masyarakat, pemerintah daerah, serta pengelola kawasan industri dalam memahami pola fluktuasi pencemaran udara, mengambil langkah mitigasi dini, serta menjadi dasar bagi kebijakan lingkungan berbasis data aktual.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah penelitian ini adalah:

1. Pemantauan kualitas udara *real-time* berbiaya rendah di permukiman sekitar Kawasan Industri Karawang belum tersedia secara andal, sehingga informasi paparan PM2.5/PM10 dan indeks kualitas udara di tingkat

lingkungan warga masih terbatas untuk deteksi dini risiko gangguan pernapasan.

2. Belum ada solusi IoT terintegrasi berbasis ESP32 dengan sensor PMS5003, MQ-135, dan DHT22 yang mengakuisisi, memvalidasi, mengirim, menyimpan, serta menampilkan data kualitas udara secara *end-to-end* pada konteks permukiman sekitar kawasan industri.
3. Analisis tren harian dan bulanan serta penyajian status kualitas udara berbasis AQI yang mudah dipahami warga dan pemangku kepentingan belum diterapkan untuk mendukung tindakan mitigasi yang cepat dan berbasis data.

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian lebih terarah dan sesuai dengan waktu serta sumber daya yang tersedia, penelitian ini dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32, ESP32-CAM dengan sensor MQ-135, PMS5003, dan DHT22.
2. Parameter yang diukur meliputi gas berbahaya (CO, NO₂, SO₂), partikulat (PM2.5/PM10), serta suhu dan kelembapan udara.
3. Lokasi penelitian dibatasi di daerah permukiman Kawasan Industri Karawang.
4. Analisis difokuskan pada tren harian dan bulanan, tidak mencakup prediksi jangka panjang.

5. Validasi sensor dilakukan secara terbatas menggunakan data sekunder (IQAir), bukan dengan alat laboratorium.
6. Sistem hanya menampilkan data dalam bentuk *dashboard* web, tanpa sistem kontrol otomatis.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan kualitas udara berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32, ESP32-CAM dan sensor MQ-135, PMS5003, serta DHT22 yang mampu mendeteksi parameter gas, partikulat debu, suhu, dan kelembapan secara *real-time*.
2. Mengembangkan *dashboard* berbasis web yang berfungsi untuk menampilkan data hasil pengukuran kualitas udara secara visual dan terintegrasi dengan sistem penyimpanan berbasis *cloud*.
3. Melakukan analisis tren polusi udara harian dan bulanan di daerah pemukiman Kawasan Industri Karawang untuk mengetahui pola perubahan kualitas udara dan potensi sumber pencemar.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi berbagai pihak, antara lain:

1. Bagi masyarakat, penelitian ini dapat menyediakan informasi kondisi kualitas udara secara *real-time* sehingga meningkatkan kesadaran akan dampak polusi terhadap kesehatan dan lingkungan.
2. Bagi pemerintah daerah, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai pendukung kegiatan pemantauan dan pengawasan kualitas udara secara berkelanjutan, khususnya di kawasan industri.
3. Bagi dunia akademik, penelitian ini dapat menjadi referensi ilmiah dan dasar pengembangan lebih lanjut dalam implementasi teknologi IoT di bidang lingkungan dan sistem pemantauan berbasis data.
4. Bagi pengembang teknologi, sistem yang dihasilkan dapat menjadi prototipe perangkat *monitoring* berbiaya rendah (*low-cost*) yang dapat diadaptasi untuk wilayah lain dengan kondisi serupa.

1.6 Metodologi Penulisan

Metodologi penulisan laporan ini terdiri atas beberapa tahapan, yaitu:

1. Studi literatur, dengan menelusuri jurnal, artikel, dan sumber ilmiah terkait IoT, ESP32, dan sensor polusi udara.
2. Analisis kebutuhan, untuk menentukan komponen perangkat keras dan perangkat lunak.

3. Perancangan sistem, mencakup diagram alur, arsitektur IoT, dan desain *dashboard*.
4. Implementasi sistem, dengan merakit perangkat dan menghubungkannya ke *web server*.
5. Pengujian dan validasi, melalui pengumpulan data di lapangan dan perbandingan dengan data sekunder.
6. Penyusunan laporan, berdasarkan hasil pengujian dan analisis.

1.7 Sistematika Penulisan

Laporan tugas akhir ini disusun secara sistematis dalam lima bab utama, dengan penjelasan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, batasan masalah, metodologi penulisan, serta sistematika penulisan laporan.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini membahas Tinjauan Pustaka, Kajian penelitian terdahulu yang mendukung penelitian, seperti konsep *Internet of Things* (IoT) untuk polusi udara, ESP32 DEVKIT V1, ESP32-CAM, MQ-135, PMS5003T, dan DHT22.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tahapan penelitian yang dilakukan, mulai dari analisis kebutuhan sistem, perancangan arsitektur IoT, diagram alir proses, hingga rancangan perangkat keras dan perangkat lunak.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil implementasi sistem, pengujian alat dan web *dashboard*, analisis data sensor, serta pembahasan tren polusi udara harian dan bulanan di lokasi penelitian.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian serta saran untuk pengembangan sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT di masa mendatang.

