

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kualitas udara dalam ruangan (*Indoor Air Quality/IAQ*) adalah aspek penting yang sangat memengaruhi kesehatan, kenyamanan, serta kinerja penghuni bangunan. Paparan polutan seperti *particulate matter* (PM_{2.5}), gas berbahaya, dan senyawa organik volatil (VOC) dalam ruang tertutup berpotensi menyebabkan gangguan pernapasan, iritasi mata, hingga masalah kesehatan jangka panjang apabila kadar polusi ini tinggi dan menumpuk dalam waktu lama. Dalam konteks ini, penelitian lokal menunjukkan bahwa penggunaan teknologi *Internet of Things* (IoT) dan logika fuzzy dapat dimanfaatkan untuk memantau serta mengendalikan kualitas udara secara real time, sehingga memberikan dasar ilmiah penting bagi pengembangan sistem kontrol adaptif pada bangunan. (Delinda, Margana, & Riadi, 2025)

Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) memperbaharui pedoman global untuk kualitas udara di tahun 2021, dengan menurunkan batas aman PM_{2.5} dari 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ menjadi 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk rata-rata tahunan, serta dari 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ menjadi 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk rata-rata harian. Pembaruan ini menunjukkan bahwa perhatian terhadap risiko kesehatan akibat polusi udara, termasuk yang ada di dalam ruangan, semakin meningkat di seluruh dunia. Pedoman ini menyatakan pentingnya pengendalian kualitas udara melalui pemantauan yang tepat dan berkelanjutan agar efek kesehatan dapat diminimalkan. (World Health Organization, 2021)

Di Indonesia, fokus terhadap kualitas udara dijelaskan dalam laporan Statistik Lingkungan Hidup Indonesia 2024 yang dirilis oleh Badan Pusat Statistik (BPS). Laporan tersebut menunjukkan bahwa kualitas udara di kawasan perkotaan sering kali melebihi batas aman untuk PM_{2.5} yang ditetapkan oleh WHO. Kondisi ini menunjukkan perlunya pengelolaan udara dalam ruangan yang lebih baik, karena polusi tidak hanya berasal dari luar, tetapi juga dari aktivitas rumah tangga seperti memasak dan pembakaran bahan bakar. (Badan Pusat Statistik, 2024)

Kualitas udara yang baik berkaitan erat dengan tujuan *Sustainable Development Goals* (SDGs), terutama Tujuan 3 (Kehidupan Sehat dan Sejahtera) dan Tujuan 11 (Kota dan Permukiman yang Berkelanjutan). Pengendalian polusi udara dalam ruangan berperan penting pada pembangunan kota yang sehat dan nyaman serta meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Upaya ini juga menunjukkan kontribusi nyata terhadap kebijakan global yang menekankan pentingnya lingkungan yang aman, efisien, dan berkelanjutan.

Di tingkat nasional, upaya peningkatan kualitas udara sejalan dengan visi pembangunan dalam Asta Cita Prabowo dan Gibran, terutama pada poin “Mewujudkan lingkungan hidup yang berkelanjutan melalui transisi energi bersih dan pembangunan ramah lingkungan”. Arah kebijakan ini berfokus pada pemanfaatan teknologi dan digitalisasi untuk menciptakan sistem yang efisien, sehat, dan berkelanjutan di berbagai bidang, termasuk bangunan dan infrastruktur. Penerapan sistem kontrol udara yang menggunakan IoT dan metode *fuzzy logic* mendukung visi ini dengan memberikan ruang hunian yang lebih sehat dan hemat energi.

Sistem ventilasi di banyak bangunan di Indonesia masih mengandalkan kontrol yang bersifat on-off yang tidak menyesuaikan dengan keadaan udara saat itu. Hal ini menyebabkan pemborosan energi serta sistem ventilasi yang tidak efektif dalam menjaga kenyamanan ruang. Untuk memecahkan masalah ini, dibutuhkan sistem kontrol yang dapat beradaptasi dengan lingkungan, mampu menyesuaikan cara kerja ventilasi dengan mempertimbangkan faktor-faktor kualitas udara secara *real-time*. (Vasile et al., 2024)

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) memberikan celah untuk merancang sistem yang dapat secara pintar dan cepat mengatasi pengendalian kualitas udara, terutama pada ruangan dapur. Dengan memanfaatkan sensor gas (MQ-135), sensor debu (GP2Y1010AU0F), dan mikrokontroler ESP32, data tentang lingkungan dapat dikumpulkan secara terus menerus dan diproses menggunakan logika fuzzy. Metode ini memungkinkan sistem untuk menilai kondisi udara berdasarkan kadar polusi dan menentukan tindakan pengendalian otomatis. (Fikri et al., 2025)

Partikel halus PM2.5 di lingkungan dapur umumnya dihasilkan dari asap penggorengan, minyak panas, serta proses pembakaran bahan bakar LPG. Partikel berukuran sangat kecil ini mudah terhirup dan berpotensi menimbulkan gangguan pernapasan apabila terakumulasi dalam ruang tertutup (Tang et al., 2024). Sensor GP2Y1010AU0F merupakan sensor debu optik yang banyak digunakan dalam sistem pemantauan kualitas udara dalam ruangan karena mampu mendeteksi konsentrasi partikel halus secara real-time dengan keluaran yang dapat dikonversi ke dalam satuan $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Fikri et al., 2025). Oleh karena itu, sensor GP2Y1010AU0F digunakan sebagai parameter pengukuran PM2.5 dan dijadikan salah satu input dalam metode fuzzy logic untuk menentukan kondisi kualitas udara ruangan.

Aktivitas memasak pada ruang dapur, khususnya pada rumah makan, merupakan salah satu sumber utama pencemaran udara dalam ruangan. Proses pembakaran bahan bakar LPG, pemanasan minyak, serta pengolahan makanan menghasilkan partikel halus (PM2.5) dan gas hasil pembakaran seperti karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), serta senyawa organik volatil (Volatile Organic Compounds/VOC). Penelitian pada dapur rumah makan menunjukkan bahwa selama aktivitas memasak terjadi peningkatan signifikan konsentrasi PM2.5 dan gas CO, terutama pada ruang dengan sistem ventilasi yang kurang optimal, sehingga berpotensi menurunkan kualitas udara dan kenyamanan kerja (Rahmawati & Nurjazuli, 2022).

Selain itu, penelitian mengenai karakteristik emisi dari aktivitas memasak menggunakan LPG menyatakan bahwa proses pembakaran menghasilkan berbagai polutan udara, seperti CO, CO₂, dan PM2.5 dalam jumlah yang cukup tinggi di ruang tertutup. Akumulasi gas tersebut dapat meningkatkan risiko gangguan pernapasan apabila terpapar dalam waktu lama, sehingga diperlukan sistem pemantauan dan pengendalian kualitas udara dapur secara berkelanjutan. (Jaffe et al., 2025)

Sensor MQ-135 merupakan sensor gas semikonduktor yang memiliki sensitivitas terhadap berbagai gas hasil pembakaran dan senyawa VOC, seperti CO₂, CO, amonia, dan asap, yang umum dijumpai pada lingkungan dapur. Sensor ini banyak digunakan dalam sistem monitoring kualitas udara dalam ruangan

karena mampu memberikan keluaran berupa nilai konsentrasi gas yang dapat dikonversi ke dalam satuan *part per million* (ppm) (Fikri et al., 2025). Berdasarkan pedoman umum pemantauan kualitas udara dalam ruangan, konsentrasi CO₂ dibawah 400-600 ppm menunjukkan sangat baik, konsentrasi 600-1000 ppm masih tergolong dapat diterima, sedangkan konsentrasi diatas 1000 ppm mengindikasikan perlunya peningkatan laju ventilasi. (ASHRAE, 2022)

Dengan demikian, penggunaan sensor MQ-135 pada penelitian ini menjadi relevan sebagai parameter pemantauan gas pada lingkungan dapur, serta dapat dijadikan dasar penentuan ambang batas dan fungsi keanggotaan pada metode fuzzy logic dalam sistem monitoring dan kontrol kualitas udara ruangan.

Selain itu, penggunaan protokol BACnet sebagai standar komunikasi di antara perangkat dalam sistem *Building Management System* (BMS) memungkinkan integrasi yang menyeluruh antara sensor, pengendali, dan perangkat lunak pemantauan seperti FUXA. Integrasi tersebut membuat proses pemantauan dan pengendalian kualitas udara menjadi lebih efisien dan terpusat. (Ożadowicz, 2022)

Berdasarkan penjelasan di atas, penelitian ini difokuskan pada perancangan dan realisasi sistem kontrol dan pemantauan kualitas udara dalam ruangan yang menggunakan protokol BACnet dan metode fuzzy logic sebagai bagian dari sistem *Building Management System* (BMS). Sistem ini diharapkan mampu melakukan pemantauan dan pengendalian kualitas udara secara otomatis serta lebih efisien dalam penggunaan energi.

1.2 Identifikasi Masalah

Penelitian ini difokuskan pada beberapa aspek utama yang berkaitan dengan perancangan dan implementasi sistem monitoring dan kontrol kualitas udara dalam ruangan, yang mencakup:

1. Pengoperasian exhaust fan pada dapur umumnya masih dilakukan secara manual atau sistem ON/OFF sehingga belum mampu menyesuaikan dengan kondisi kualitas udara secara real-time.
2. Pemantauan kualitas udara dalam ruangan belum dilakukan secara real-

time, sehingga kondisi kualitas udara sulit diketahui secara langsung.

3. Belum terdapat sistem monitoring dan pengendalian kualitas udara yang terintegrasi dengan protokol BACnet pada sistem Building Management System (BMS).

1.3 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring dan kontrol kualitas udara dalam ruangan berbasis ESP32 menggunakan sensor MQ-135 dan GP2Y1010AU0F yang terintegrasi dengan protokol BACnet?
2. Bagaimana menerapkan metode *fuzzy logic* untuk mengolah data konsentrasi CO₂ dan PM2.5 dalam menentukan kecepatan exhaust fan secara otomatis sesuai kondisi kualitas udara?
3. Bagaimana kinerja sistem monitoring dan kontrol kualitas udara yang dirancang berdasarkan aspek akurasi pembacaan sensor, komunikasi BACnet, serta respons pengendalian exhaust fan selama proses pengujian?

1.4 Batasan Masalah

Batasan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Fokus penelitian hanya pada kualitas udara dalam ruangan.
2. Penelitian ini dibatasi pada pemantauan dua parameter kualitas udara dalam ruangan, yaitu konsentrasi PM2.5 dan estimasi konsentrasi CO₂
3. Sistem diuji pada lingkungan terkontrol sesuai skenario pengujian yang telah ditetapkan dan tidak mencakup seluruh variasi kondisi lingkungan dalam ruangan.
4. Kontrol hanya menggunakan exhaust fan melalui modul dimmer ac, bukan sistem HVAC lengkap.

5. Komunikasi hanya menggunakan protokol BACnet pada lingkup monitoring dan kontrol udara, tidak mencakup sistem BMS secara keseluruhan.
6. Evaluasi hanya difokuskan pada perubahan nilai kualitas udara sebelum dan sesudah kontrol diterapkan.

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mendesain dan membangun sistem monitoring dan kontrol kualitas udara menggunakan sensor PM2.5, MQ-135, dan ESP32 yang terintegrasi BACnet.
2. Menerapkan metode fuzzy logic untuk menentukan kondisi kualitas udara dan menghasilkan kontrol exhaust fan.
3. Menguji performa sistem yang dirancang dalam melakukan monitoring kualitas udara serta mengendalikan exhaust fan berdasarkan kondisi kualitas udara yang terdeteksi.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah:

1. Memberikan gambaran implementasi sistem rancang bangun monitoring kualitas udara yang dapat diintegrasikan dengan BMS skala bangunan.
2. Memberikan alternatif sistem pengendalian ventilasi otomatis yang lebih adaptif dibandingkan pengoperasian manual atau sistem ON/OFF.
3. Mendukung upaya menjaga kualitas udara dalam ruangan melalui sistem monitoring dan pengendalian otomatis.
4. Mendukung peningkatan sirkulasi udara melalui pengoperasian exhaust fan secara otomatis sesuai kondisi kualitas udara.