

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Udara merupakan elemen penting bagi kelangsungan hidup manusia, hewan, dan tumbuhan. Kualitas udara sangat berpengaruh terhadap kesehatan manusia, karena paparan udara tercemar dapat mengganggu fungsi paru-paru dan memicu berbagai gangguan kesehatan, seperti infeksi saluran pernapasan, penyakit paru-paru, hingga kanker [1]. *World Health Organization* (WHO) melaporkan bahwa sekitar 99% penduduk dunia menghirup udara dengan kadar polutan yang melebihi ambang batas yang direkomendasikan [2].

Polusi udara, khususnya di wilayah perkotaan hingga kompleks industri, merupakan permasalahan serius akibat meningkatnya jumlah polutan dan akumulasi gas berbahaya seperti *Particulate Matter* (PM) yang berasal dari kendaraan bermotor, aktivitas industri, serta proses kimia di atmosfer [3][4]. Menurut WHO, polusi udara adalah kontaminasi udara baik di dalam maupun di luar ruangan yang disebabkan oleh agen kimia, fisika, dan biologis [2]. Sebagian besar aktivitas manusia dilakukan di dalam ruangan, dengan hampir 90% waktu dihabiskan di rumah dan tempat kerja [5]. Kondisi ini meningkatkan risiko paparan polutan udara dalam ruangan yang dapat 2–5 kali lebih tinggi dibandingkan udara luar, bahkan hingga 100 kali pada kondisi tertentu, dan berpotensi menimbulkan *Sick Building Syndrome* (SBS) dengan gejala seperti pusing, iritasi mata atau hidung, mual, kelelahan, dan gangguan konsentrasi [6][7]. Oleh karena itu, menjaga kualitas udara dalam ruangan sangat penting bagi kesehatan manusia.

Kondisi tersebut mendorong perlunya teknologi untuk menjaga kualitas udara di ruang tertutup. Salah satu solusi yang efektif adalah penggunaan *air purifier*, yang terbukti mampu menurunkan kadar PM_{2,5} dan alergen di udara serta membantu meredakan gejala gangguan pernapasan [8]. Selain itu, *air purifier* dapat menjadi solusi praktis ketika ventilasi alami tidak memadai untuk menjaga kualitas udara dalam ruangan [9][10]. Meskipun *air purifier* mampu mengatasi polutan dan alergen, penghuni seringkali tidak menggunakannya secara optimal sehingga kinerjanya tidak termanfaatkan dengan baik bahkan sekitar 81,4% pemilik *air*

purifier tidak menggunakan *air purifier*-nya [10][11]. Jika pengoperasian *air purifier* bisa dikelola lebih baik, maka konsentrasi polutan terutama $PM_{2,5}$ dapat dikendalikan lebih baik [10].

Di sisi lain, penggunaan *air purifier* dalam jangka waktu lama dapat menyebabkan penumpukan debu pada filter. Kondisi ini meningkatkan hambatan aliran udara dan pada akhirnya berdampak pada konsumsi energi yang lebih tinggi. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan strategi kontrol otomatis agar kualitas udara dalam ruangan tetap terjaga sekaligus efisiensi energi dapat tercapai [10].

Dalam penelitian ini dirancang *smart air purifier* berbasis ESP32 karena kinerjanya cepat, hemat daya, serta mendukung konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth. Sistem memanfaatkan DHT-22 (suhu/kelembapan), GP2Y1010AU0F ($PM_{2,5}$), serta MQ-7 (gas CO), dengan proses pemurnian menggunakan HEPA filter dan sinar UVC untuk membantu menonaktifkan mikroorganisme pada aliran udara. Selain itu, *webcam* digunakan untuk pemantauan visual guna mendeteksi keberadaan/jumlah orang di ruangan sehingga operasi alat dapat menyesuaikan secara otomatis. Seluruh data diolah dengan logika *Fuzzy* dan algoritma YOLO, lalu ditampilkan berkala melalui halaman *web*. Penelitian ini juga mengacu pada artikel “Rancang Bangun *Smart Air Purifier*” yang menunjukkan perangkat berbasis mikrokontroler efektif menurunkan kadar PM_{10} [12], sehingga pengembangan dengan fitur yang lebih baru relevan dilakukan.

Dengan perancangan dan implementasi sistem ini, diharapkan dapat dihasilkan perangkat *smart air purifier* yang efektif, berbiaya rendah, dan mudah diterapkan. Penelitian ini diharapkan dapat membantu mengoptimasi atau meningkatkan kualitas udara di dalam ruangan melalui penggunaan teknologi berbasis mikrokontroler. Selain itu, penelitian ini juga dapat menjadi referensi bagi pengembangan alat pemantau dan pengendali kualitas udara sederhana berbasis *IoT* di masa mendatang.

1.2. Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu berperan penting sebagai landasan dalam penyusunan tugas akhir. Bagian ini bertujuan untuk meninjau berbagai penelitian yang telah

dilakukan sebelumnya guna menghindari duplikasi, memperkuat orisinalitas, serta menunjukkan posisi dan kebaruan penelitian yang dilakukan saat ini. Melalui kajian terhadap penelitian terdahulu, dapat dipahami perkembangan riset yang relevan, menyusun dasar teori dan hipotesis, serta menemukan celah penelitian yang dapat dikembangkan lebih lanjut. Selain itu, bagian ini juga membantu memperkaya bahan kajian dan memberikan gambaran umum mengenai pendekatan maupun metode yang digunakan dalam penelitian sejenis. Rangkuman hasil penelitian terdahulu yang menjadi acuan dalam penyusunan tugas akhir ini dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1. Referensi penelitian terdahulu.

No.	Judul	Peneliti	Tahun
1.	Rancang Bangun Alat Kontrol dan <i>Monitoring</i> Pembersih Udara Menggunakan Metode Ionisasi Berbasis <i>IoT</i>	Akhmad Wahyu Dani, Fadli Sirait, Idris Syaifullah Saputra	2024
2.	<i>Low-Cost Air Purifier Prototype Using a Ventilating Fan and Pump Against Haze Pollution</i>	Arnon Jumlongkul	2022
3.	<i>Development of a Smart Air Pollution Detection System Utilizing MQ2 Sensor and Node MCU ESP8266 with Telegram Integration</i>	Agus Alim, Almamalik Lukmanulhakim, Chairunnisa W	2025
4.	<i>Development of an IoT-Enabled Air Pollution Monitoring and Air Purifier System</i>	M. Anitha, L. S. Kumar	2023

Air purifier dengan sistem kontrol dan pemantau kualitas udara dipadukan dengan menyebarkan ion negatif ke udara [13]. Ion bermuatan negatif akan menempel pada partikel-partikel bermuatan positif seperti gas, debu, ataupun polutan, sehingga partikel tersebut menjadi lebih berat dan jatuh ke lantai.

Komunikasi untuk *monitoring* dan kontrol manual pada rancangan ini menggunakan Virtuino. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat kontrol dan *monitoring* pembersih udara ini dapat menurunkan kategori kualitas udara dari “tidak sehat” menjadi “sedang”.

Pendekatan yang berbeda terdapat pada referensi [14] yang mengusung konsep *air purifier do it yourself* (DIY) yang dirancang secara mandiri, lalu dibandingkan dengan beberapa model lain. Penelitian tersebut mengkaji enam tipe *air purifier* rumahan dengan dua konsep berbeda, yaitu kombinasi *air pump* dan *water pump*, serta penggunaan HEPA filter yang dipadukan dengan *electrostatic fiber*. Hasilnya menunjukkan bahwa kombinasi HEPA filter dan *electrostatic fiber* memiliki efisiensi tertinggi dalam mengurangi kadar PM dan CO₂.

Pengembangan yang lebih sederhana dengan berfokus pada sistem *monitoring* dan pendeteksi polutan berbahaya yang dirancang untuk mendeteksi asap rokok dan memberikan peringatan ketika konsentrasinya melebihi ambang batas 100 PPM [15]. Sistem ini memanfaatkan sensor MQ2 dan NodeMCU ESP8266 sebagai pengolah data serta menggunakan buzzer, LED, dan LCD sebagai perangkat peringatan lokal. Pengujian di Kantor Kecamatan Banjaran menunjukkan bahwa sistem tersebut mampu merespons dalam waktu sekitar 2 detik dengan akurasi peringatan mencapai 100%.

Sebagai pengembangan lebih lanjut dari sistem yang tidak hanya memberikan peringatan tetapi juga sekaligus membersihkan udara, referensi [16] mengembangkan prototipe sistem pemantauan dan pembersih udara pintar. Sistem ini memanfaatkan sensor PMSA003 untuk deteksi partikel berukuran 0,3–10 mikron serta sensor MQ2 dan MQ135 untuk pengukuran gas berbahaya. Data diolah oleh Raspberry Pi 3 B+ dan dikirim secara *real-time* ke platform Thingspeak. Sistem filtrasi menggunakan *pre-filter*, *activated carbon filter*, dan HEPA filter kelas 14 yang didukung dua kipas exhaust untuk meningkatkan aliran udara. Pengujian dengan berbagai sumber polusi menunjukkan penurunan signifikan konsentrasi partikel dan gas, dengan nilai CADR optimal sebesar 298,6 CFM. Perbandingan dengan data NAMP menunjukkan korelasi yang baik, sehingga penelitian menyimpulkan bahwa prototipe ini efektif untuk pemantauan dan

pembersihan udara secara *real-time* dengan biaya rendah serta berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut.

Pada penelitian ini, dikembangkan rancangan yang lebih mutakhir namun tetap mengusung konsep DIY dengan biaya yang lebih terjangkau menggunakan mikrokontroler ESP32-S3 Wroom N16R8-Cam OV2640. Sistem penyaringan udara dirancang dengan memadukan HEPA filter dan sinar UVC untuk meningkatkan efektivitas pemurnian udara. Lampu UVC secara spesifik ditujukan untuk membunuh dan menginaktivasi bakteri serta mikroorganisme yang rawan berkembang biak pada tingkat kelembapan udara yang tinggi. Selain itu, ditambahkan fitur *monitoring* berbasis *web* untuk memudahkan pengawasan kondisi udara secara berkala, serta otomasi pengoperasian *air purifier* berdasarkan kondisi lingkungan guna meningkatkan efisiensi energi.

1.3. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dipaparkan sebelumnya, permasalahan yang menjadi fokus dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana rancangan dan implementasi *Smart Air Purifier* Berbasis Esp-32 dengan Kombinasi Kontrol Logika *Fuzzy* Sugeno dan Algoritma YOLO V11 untuk Optimasi Kualitas Udara?
2. Bagaimana kinerja sistem *smart air purifier* dalam menurunkan konsentrasi polutan udara di dalam ruangan menggunakan Logika *Fuzzy* dan Algoritma YOLO V11?

1.4. Tujuan dan Manfaat

1.4.1. Tujuan

Tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan mengimplementasikan *Smart Air Purifier* Berbasis Esp-32 dengan Kombinasi Kontrol Logika *Fuzzy* Sugeno dan Algoritma YOLO V11 untuk Optimasi Kualitas Udara.
2. Menganalisis kinerja sistem *smart air purifier* dalam menurunkan konsentrasi polutan udara di dalam ruangan.

1.4.2. Manfaat

Manfaat dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Manfaat akademik

Berkontribusi di khasanah bidang keilmuan teknik kendali, khususnya pada sistem kendali cerdas dan IoT, melalui penerapan logika *Fuzzy Sugeno* yang dikombinasikan dengan algoritma YOLO v11 pada prototipe *smart air purifier* untuk pemantauan dan pengendalian kualitas udara dalam ruangan.

2. Manfaat aplikatif

Penelitian ini menghasilkan prototipe *smart air purifier* yang dapat digunakan sebagai solusi pemurnian udara untuk ruang tertutup skala kecil, dengan kemampuan memantau parameter kualitas udara secara berkala dan menyesuaikan operasi perangkat secara otomatis sesuai kondisi lingkungan serta keberadaan/jumlah orang, sekaligus menyediakan antarmuka pemantauan berbasis *web* lokal agar pengguna dapat melakukan *monitoring* dan pengoperasian tanpa aplikasi tambahan.

1.5. Batasan Masalah

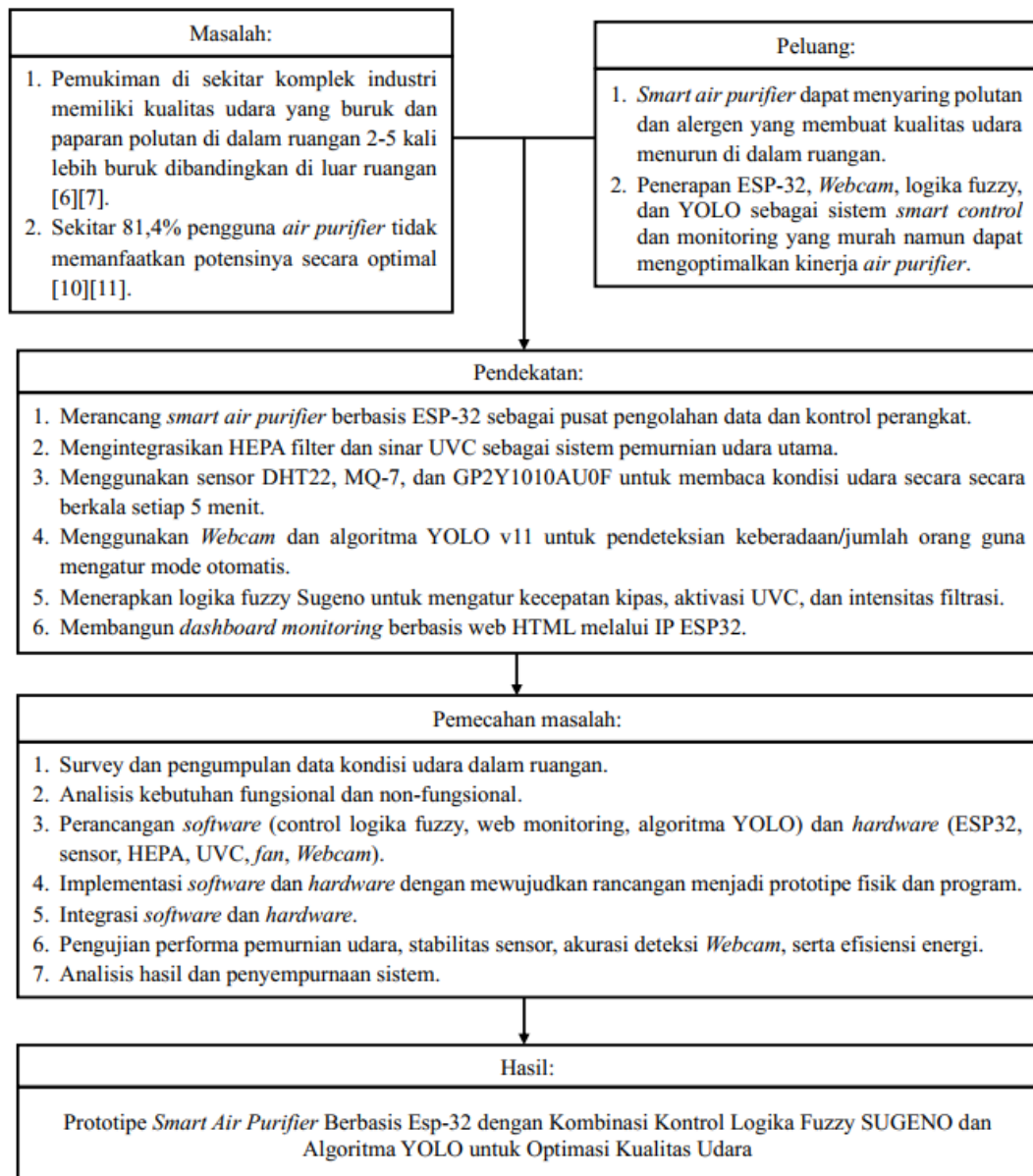
Agar penelitian ini lebih terfokus dan dapat diselesaikan secara efektif sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan, maka ruang lingkup penelitian dibatasi pada beberapa hal sebagai berikut:

1. Algoritma *You Only Look Once* (YOLO) V11 digunakan untuk mendeteksi keberadaan orang di dalam ruangan dengan jumlah maksimal tiga orang.
2. ESP-32 yang digunakan adalah 38-pin ESP32 *development board*.
3. Sistem hanya melakukan pemantauan terhadap parameter kualitas udara yang dapat diukur oleh sensor yang digunakan, yaitu konsentrasi CO (MQ-7), partikulat debu GP2Y1010AU0F, suhu, dan kelembapan (DHT-22).
4. Pengujian dan perancangan difokuskan pada ruangan tertutup berukuran 3x3 m² (kamar/ruang mess rumah kompleks industri di Kota Cimahi) .

5. Sistem hanya menggunakan modul pemurnian berupa HEPA filter, dua DC *fan* 12V sebagai penggerak aliran udara, dan lampu UVC sebagai inaktivator mikroorganisme biologis yang perkembangbiakannya dipicu oleh kelembapan udara.
6. Sistem *monitoring* akan menggunakan *website* HTML yang terhubung dengan *local host* yang tersedia pada ESP-32.
7. *Monitoring* dan perhitungan *Fuzzy* dilakukan secara berkala setiap 5 menit.
8. Rancang bangun terbatas pada pembuatan prototipe.
9. Parameter uji yang diukur:
 - a. Kualitas udara: perubahan nilai CO, gas/CO₂, dan partikulat/debu (PM/debu) sebelum dan sesudah proses pemurnian. Nilai ideal berdasarkan nilai Indeks Standar Pencemaran Udara.
 - b. Kondisi termal ruangan: suhu dan kelembapan selama perangkat beroperasi.
 - c. Kinerja sistem: respons perubahan kecepatan *fan*/aktivasi UVC terhadap perubahan kondisi udara dan/atau keberadaan/jumlah orang.

1.6. Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir merupakan representasi menyeluruh yang menjelaskan alur logis dan dasar konseptual dari suatu penelitian. Kerangka ini disusun berdasarkan teori-teori yang relevan dan mendukung metode yang digunakan dalam penelitian. Visualisasi dari kerangka berpikir tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.1, yang menggambarkan hubungan antara konsep, variabel, dan pendekatan yang digunakan dalam studi ini.



Gambar 1.1. Kerangka berpikir.

1.7. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan berfungsi sebagai pedoman dalam menyusun dan menyajikan proposal penelitian agar memiliki struktur yang runtut, jelas, dan sesuai dengan kaidah penulisan ilmiah. Proposal penelitian ini disusun berdasarkan kerangka dan sistematika yang telah ditetapkan, dengan susunan penulisan yang mencakup beberapa bagian utama sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan bagian awal dari penelitian yang menjadi landasan dalam penyusunan proposal. Di dalamnya memuat komponen utama seperti latar belakang, penelitian terdahulu, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, kerangka berpikir, serta sistematika penulisan.

BAB II TEORI DASAR

BAB II memuat teori-teori yang menjadi landasan ilmiah dalam perancangan *smart air purifier*, meliputi konsep kualitas udara dalam ruangan serta berbagai jenis polutan yang relevan, prinsip kerja sensor-sensor pendukung seperti MQ-7 untuk deteksi CO, MQ-135 untuk gas berbahaya, GP2Y1010AU0F untuk partikel debu, dan DHT-22 untuk suhu serta kelembapan. Pembahasan juga mencakup teori filtrasi menggunakan HEPA filter serta mekanisme dengan sinar UVC sebagai bagian dari proses pemurnian. Selain itu, bab ini menguraikan karakteristik mikrokontroler ESP-32 sebagai pusat pengolahan data dan pengendalian aktuator, serta konsep logika *Fuzzy*, khususnya metode Sugeno, yang digunakan untuk pengambilan keputusan otomatis berdasarkan variasi kondisi udara. Seluruh dasar teori ini menjadi pijakan dalam merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi sistem secara terstruktur.

BAB III METODOLOGI DAN JADWAL PENELITIAN

Bab ini menguraikan metode yang digunakan dalam melaksanakan penelitian, meliputi tahapan-tahapan yang ditempuh mulai dari studi literatur, perumusan masalah, analisis kebutuhan sistem, perancangan dan implementasi perangkat keras maupun perangkat lunak, integrasi sistem, hingga pengujian dan analisis hasil. Selain itu, bab ini juga memuat jadwal kegiatan penelitian untuk menggambarkan alur kerja yang sistematis.

BAB IV PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

Bab ini membahas perancangan dan implementasi perangkat keras (ESP-32, sensor MQ-7, GP2Y1010AU0F, DHT-22, kipas DC, relai lampu UVC, filter HEPA, dan *casing*) serta perangkat lunak (konversi nilai ISPU, deteksi orang berbasis YOLO v11n, kontrol logika *Fuzzy* Sugeno, dan *dashboard web monitoring* lokal berbasis HTML).

BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS

Bab ini menyajikan hasil kalibrasi sensor udara dan termal, evaluasi performa deteksi orang YOLO v11n, validasi akurasi kontrol *Fuzzy Sugeno* dan kendali manual, analisis pengaruh okupansi terhadap polutan, pengujian efektivitas penurunan kadar CO dan PM2,5, serta evaluasi pemenuhan kebutuhan non-fungsional sistem.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian kinerja *smart air purifier* berdasarkan tujuan penelitian, disertai saran untuk pengembangan sistem selanjutnya.

