

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Kondisi lingkungan dalam ruangan memengaruhi kenyamanan, kesehatan, dan produktivitas penghuni dalam melakukan berbagai aktivitas (Naimah *et al.*, 2024). Seiring meningkatnya aktivitas di ruang tertutup, pemantauan kondisi lingkungan menjadi semakin penting karena sebagian besar waktu manusia dihabiskan di dalam ruangan (World Health Organization, 2021). Parameter yang umum digunakan untuk menggambarkan kondisi lingkungan ruangan meliputi suhu udara, kelembapan udara, dan estimasi konsentrasi partikel debu yang dipengaruhi oleh aktivitas penghuni, ventilasi, serta kondisi lingkungan sekitar sehingga perlu dipantau secara berkala.

Kondisi lingkungan yang baik ditunjukkan oleh suhu, kelembapan, dan kualitas udara yang berada dalam kisaran yang direkomendasikan. Berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 261/MENKES/SK/II/1998, suhu ruangan yang direkomendasikan berada pada kisaran 18–26 °C dengan kelembapan 40%–60% (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 1998). Sementara itu, berdasarkan kategori kualitas udara BMKG (2025), konsentrasi partikulat (PM_{2.5}) sebesar 0–15,5 µg/m³ termasuk kategori baik, 15,6–55,4 µg/m³ sedang, 55,5–150,4 µg/m³ tidak sehat, 150,5–250,4 µg/m³ sangat tidak sehat, dan lebih dari 250,5 µg/m³ berbahaya. Paparan partikel debu yang tinggi dapat meningkatkan risiko gangguan saluran pernapasan, yang ditunjukkan oleh masih tingginya angka kejadian Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA) di Indonesia (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2022).

Salah satu perangkat yang digunakan untuk membantu menjaga kondisi udara ruangan adalah *air purifier* yang dilengkapi media penyaring (*filter*). Fajarr *et al.* (2023) melaporkan bahwa penggunaan *air filter* mampu menurunkan paparan partikulat pada kondisi tertentu. Namun, penelitian ini tidak bertujuan mengevaluasi efektivitas pemurnian udara, melainkan mengembangkan prototipe yang mampu mengukur suhu, kelembapan, dan mengestimasi konsentrasi partikel debu sebagai parameter kondisi lingkungan ruangan.

Penelitian prototipe pengukuran suhu, kelembapan dan estimasi partikel debu diruangan berbasis IoT mengacu pada *Air Quality Guidelines* (AQGs) yang diterbitkan oleh *World Health Organization* (WHO, 2021) sebagai landasan teori dalam memahami karakteristik parameter pencemar udara. Pengukuran dilakukan menggunakan sensor GP2Y1010AU0F yang bekerja berdasarkan prinsip *light scattering*, sehingga hanya menghasilkan estimasi konsentrasi partikel debu dan tidak mengukur PM_{2.5} maupun PM₁₀ secara spesifik. Oleh karena itu, nilai ambang batas PM_{2.5} dan PM₁₀ pada *Air Quality Guidelines* (AQGs) digunakan sebagai landasan teori, bukan sebagai acuan langsung hasil pengukuran. Nilai ambang batas parameter pencemar udara menurut *Air Quality Guidelines* (AQGs) disajikan pada Tabel 1.1.

Tabel 1. 1. Kualitas udara yang baik menurut WHO

Polutan	Waktu Rata-Rata	Nilai Ambang Batas WHO (AQGs 2021)
PM _{2.5}	Tahunan	5 µg/m ³
	24 Jam	15 µg/m ³
PM ₁₀	Tahunan	15 µg/m ³
	24 Jam	45 µg/m ³
NO ₂	Tahunan	10 µg/m ³
	24 Jam	25 µg/m ³
O ₃	8 Jam	100 µg/m ³
	Musim Puncak	60 µg/m ³
SO ₂	1 jam	40 µg/m ³
CO	1 jam	4 mg/m ³

Sumber: (WHO, 2021)

Berdasarkan Tabel 1.1, *Air Quality Guidelines* (AQGs) yang diterbitkan oleh *World Health Organization* (WHO) tahun 2021 menetapkan nilai ambang batas beberapa parameter pencemar udara, meliputi partikulat PM_{2.5}, PM₁₀, nitrogen dioksida (NO₂), ozon (O₃), sulfur dioksida (SO₂), dan karbon monoksida (CO). Pada penelitian ini, nilai ambang batas tersebut digunakan sebagai landasan teori untuk memahami karakteristik parameter pencemar udara, bukan sebagai acuan pengukuran secara langsung (WHO, 2021).

Salah satu parameter pencemar udara yang umum digunakan adalah partikulat PM_{2.5} dan PM₁₀ yang dibedakan berdasarkan ukuran aerodinamisnya (WHO, 2021). Perbedaan ukuran tersebut memengaruhi karakteristik, sumber pencemar, dan penyebarannya di udara. Namun, penelitian prototipe pengukuran suhu, kelembapan dan estimasi partikel debu diruangan berbasis IoT tidak mengukur

PM_{2.5} maupun PM₁₀ secara spesifik karena sensor GP2Y1010AU0F bekerja berdasarkan prinsip *light scattering* sehingga hanya menghasilkan estimasi konsentrasi partikel debu. Oleh karena itu, pembahasan mengenai PM_{2.5} dan PM₁₀ hanya digunakan sebagai dasar untuk memahami karakteristik partikulat udara. Perbedaan karakteristik PM_{2.5} dan PM₁₀ menurut WHO disajikan pada Tabel 1.2.

Tabel 1. 2. Perbedaan Aspek kualitas udara PM 2,5 dan PM 10 menurut WHO

Aspek	PM _{2,5}	PM ₁₀
Ukuran partikel	$\leq 2,5 \mu\text{m}$	$\leq 10 \mu\text{m}$
Karakteristik Sumber utama	Partikel sangat halus. Pembakaran bahan bakar (kendaraan, industri, listrik) dan reaksi kimia atmosfer.	Partikel kasar. Debu jalan, erosi tanah, serbuk sari, aktivitas pertanian pertanian dan konstruksi.
Kemampuan penetrasi	Menembus hingga alveoli paru-paru dan aliran darah.	Umumnya tertahan di saluran pernapasan atas.
Dampak Kesehatan	Risiko tinggi penyakit kardiovaskular, pernapasan, kanker paru, dan kematian dini.	Iritasi saluran pernapasan, batuk, dan gangguan pernapasan ringan hingga sedang.
Signifikansi Kesehatan	Paling berbahaya dan menjadi fokus utama pengendalian polusi udara.	Berbahaya, namun dampaknya relatif lebih rendah dibanding PM _{2,5} .
Peran sebagai Indikator	Indikator utama kualitas udara dan dampak Kesehatan.	Indikator pendukung kualitas udara.

Sumber : (WHO, 2021)

Berdasarkan Tabel 1.2, PM_{2.5} dan PM₁₀ memiliki karakteristik yang berbeda berdasarkan ukuran partikel, sumber pencemar, serta perilaku penyebarannya di udara. PM_{2.5} merupakan partikel berukuran $\leq 2,5 \mu\text{m}$ yang umumnya berasal dari proses pembakaran bahan bakar dan reaksi kimia di atmosfer, sedangkan PM₁₀ merupakan partikel berukuran $\leq 10 \mu\text{m}$ yang banyak berasal dari debu jalan, erosi tanah, aktivitas pertanian, dan konstruksi (WHO, 2021). Perbedaan karakteristik tersebut digunakan sebagai landasan teori untuk memahami sumber partikulat di udara.

Selain mengacu pada *Air Quality Guidelines* (AQGs), Indonesia juga menggunakan *Indeks Standar Pencemar Udara* (ISPU) sebagai acuan dalam mengklasifikasikan kualitas udara berdasarkan tingkat konsentrasi berbagai polutan. Pada penelitian prototipe pengukuran suhu, kelembapan dan estimasi

partikel debu diruangan berbasis IoT, ISPU hanya digunakan sebagai landasan teori untuk memahami kategori kualitas udara, sedangkan pengukuran yang dilakukan terbatas pada suhu, kelembapan, dan estimasi konsentrasi partikel debu. Kategori kualitas udara menurut ISPU disajikan pada Tabel 1.3.

Tabel 1. 3. Kualitas udara yang baik menurut ISPU

Kategori	Baik	Sedang	Tidak Sehat	Sangat Tidak Sehat	Berbahaya
Angka Rentang	0-50	51-100	101-200	201-300	>300
24 Jam Partikulat (PM ₁₀) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50	150	350	420	500
24 Jam Partikulat (PM _{2.5}) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	15,5	55,4	150,4	250,4	500
24 Jam Sulfur Dioksida (SO ₂)	52	180	400	800	1200
24 Jam Karbon Monoksida (CO) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	4000	8000	15000	30000	45000
24 Jam Ozon (O ₃) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	120	235	400	800	1000
24 Jam Nitrogen Dioksida $\mu\text{g}/\text{m}^3$	80	200	1130	2260	3000
24 Jam Hidrokarbon (HC) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	45	100	215	432	648

Sumber : (ISPU, 2023)

Berdasarkan Tabel 1.3, Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) mengelompokkan kualitas udara ke dalam lima kategori, yaitu Baik, Sedang, Tidak Sehat, Sangat Tidak Sehat, dan Berbahaya berdasarkan konsentrasi berbagai parameter pencemar udara (ISPU, 2023). Pada penelitian ini, kategori ISPU digunakan sebagai landasan teori untuk memahami klasifikasi kualitas udara, sedangkan pengukuran dilakukan terhadap suhu, kelembapan, dan estimasi konsentrasi partikel debu menggunakan sensor GP2Y1010AU0F.

Berdasarkan studi pendahuluan yang dilakukan pada lokasi penelitian, prototipe dikembangkan dan diuji pada ruangan tertutup berukuran $4\text{ m} \times 3\text{ m} \times 3\text{ m}$ dengan volume 36 m^3 yang memiliki ventilasi terbatas sehingga sirkulasi udara kurang optimal. Aktivitas penghuni dan kondisi lingkungan sekitar menyebabkan perubahan suhu, kelembapan, serta estimasi konsentrasi partikel debu di dalam ruangan. Pengukuran awal menunjukkan bahwa ketiga parameter tersebut berubah sesuai kondisi lingkungan, sedangkan proses *monitoring* masih dilakukan secara

manual sehingga perubahan kondisi ruangan tidak dapat diketahui secara berkala. Oleh karena itu, diperlukan suatu prototipe yang mampu melakukan pengukuran dan *monitoring* suhu, kelembapan, serta estimasi konsentrasi partikel debu secara terpadu.

Perkembangan teknologi, khususnya *Internet of Things* (IoT), memberikan peluang dalam pengembangan sistem *monitoring* kondisi lingkungan secara lebih efektif. Melalui jaringan internet, data hasil pembacaan sensor dapat ditampilkan secara lokal pada LCD serta dipantau dari jarak jauh melalui aplikasi *Blynk*. Pada penelitian prototipe pengukuran suhu, kelembapan dan estimasi partikel debu diruangan berbasis IoT, sistem dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32 yang telah dilengkapi modul WiFi, sensor DHT22 sebagai pengukur suhu dan kelembapan, sensor GP2Y1010AU0F sebagai pengestimasi konsentrasi partikel debu, serta didukung *relay* dan modul *Real-Time Clock* (RTC) sebagai pendukung fungsi sistem.

Berdasarkan penelitian Ermawita *et al.* (2024), telah dikembangkan sistem *monitoring* suhu, kelembapan, dan kualitas udara berbasis *Internet of Things* menggunakan *Blynk*, tetapi belum mengintegrasikan sensor GP2Y1010AU0F. Maulana *et al.* (2021) mengembangkan sistem *monitoring* suhu dan debu menggunakan Telegram, namun belum menyediakan tampilan lokal melalui LCD maupun *Blynk*. Irfani *et al.* (2025) mengembangkan sistem kendali *exhaust fan* berbasis ESP32 menggunakan parameter suhu dan kelembapan, tetapi belum mengintegrasikan estimasi konsentrasi partikel debu. Sementara itu, Suryantoro dan Kusriyanto *et al.* (2023) berfokus pada pengukuran PM_{2.5} menggunakan sensor PMS5003, sedangkan Surbakti *et al.* (2024) hanya melakukan *monitoring* suhu dan kelembapan berbasis MQTT tanpa pengukuran estimasi konsentrasi partikel debu maupun tampilan lokal melalui LCD.

Berdasarkan kajian terhadap penelitian-penelitian tersebut, belum ditemukan penelitian yang mengintegrasikan sensor DHT22, sensor GP2Y1010AU0F, ESP32, LCD 16×2 I2C, aplikasi *Blynk*, *relay*, dan modul *Real-Time Clock* (RTC) dalam satu prototipe *monitoring* suhu, kelembapan, dan estimasi konsentrasi partikel debu berbasis *Internet of Things*.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian prototipe pengukuran suhu, kelembapan dan estimasi partikel debu diruangan berbasis IoT bertujuan mengembangkan prototipe *monitoring* suhu, kelembapan, dan estimasi konsentrasi partikel debu berbasis *Internet of Things* yang mampu melakukan pengukuran secara lokal melalui LCD dan pemantauan jarak jauh melalui aplikasi *Blynk*. Prototipe pengukuran suhu, kelembapan dan estimasi partikel debu diruangan berbasis IoT diharapkan dapat membantu proses *monitoring* kondisi lingkungan ruangan secara lebih mudah dan terintegrasi serta menjadi dasar dalam penyusunan identifikasi masalah penelitian.

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, maka identifikasi masalah dalam penelitian prototipe pengukuran suhu, kelembapan dan estimasi partikel debu diruangan berbasis IoT adalah sebagai berikut.

1. Kondisi suhu, kelembapan, dan estimasi konsentrasi partikel debu di dalam ruangan perlu dipantau secara berkala karena ketiga parameter tersebut digunakan sebagai indikator untuk menggambarkan kondisi lingkungan ruangan secara terbatas.
2. Pengukuran suhu, kelembapan, dan estimasi konsentrasi partikel debu di dalam ruangan masih sering dilakukan secara terpisah sehingga diperlukan suatu prototipe yang mampu mengukur ketiga parameter tersebut secara terintegrasi dalam satu perangkat.
3. Diperlukan sistem berbasis *Internet of Things (IoT)* yang memanfaatkan aplikasi *Blynk* sebagai media *monitoring* jarak jauh sehingga pengguna dapat memantau hasil pengukuran suhu, kelembapan, dan estimasi konsentrasi partikel debu tanpa mengubah fungsi utama sistem yang dijalankan oleh mikrokontroler ESP32.
4. Diperlukan pengujian terhadap hasil pembacaan sensor DHT22 dan sensor GP2Y1010AU0F menggunakan alat pembanding untuk mengetahui tingkat kesesuaian hasil pengukuran pada kondisi penelitian.
5. Diperlukan pengujian komunikasi data antara mikrokontroler ESP32 dan aplikasi *Blynk* untuk memastikan data hasil pengukuran dapat dikirim dan ditampilkan dengan baik.

6. Diperlukan pengujian terhadap fitur pendukung sistem, meliputi relay, modul *Real-Time Clock (RTC)*, sensor magnet MC-38, exhaust fan, dan lampu UV-C untuk memastikan seluruh komponen berfungsi sesuai dengan rancangan penelitian.

1.3. Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah dalam penelitian prototipe pengukuran suhu, kelembapan dan estimasi partikel debu diruangan berbasis IoT adalah sebagai berikut:

1. Penelitian prototipe pengukuran suhu, kelembapan dan estimasi partikel debu diruangan berbasis IoT berfokus pada perancangan, pembuatan, dan pengujian prototipe pengukuran suhu, kelembapan, dan estimasi konsentrasi partikel debu di dalam ruangan berbasis *Internet of Things (IoT)*. Pengujian dilakukan pada ruangan tertutup berukuran 4 m × 3 m × 3 m dengan volume 36 m³, dengan jumlah pengulangan pengujian yang terbatas sehingga hasil penelitian hanya berlaku pada kondisi pengujian tersebut dan tidak dimaksudkan untuk digeneralisasikan pada seluruh kondisi ruangan.
2. Parameter yang diukur pada penelitian prototipe pengukuran suhu, kelembapan dan estimasi partikel debu diruangan berbasis IoT hanya meliputi suhu udara, kelembapan udara, dan estimasi konsentrasi partikel debu menggunakan sensor DHT22 dan sensor GP2Y1010AU0F yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32. Sensor GP2Y1010AU0F digunakan untuk mengestimasi konsentrasi partikel debu berdasarkan prinsip *light scattering* dan tidak digunakan untuk mengukur maupun membedakan konsentrasi partikulat PM_{2.5} dan PM₁₀ secara spesifik. Penelitian prototipe pengukuran suhu, kelembapan dan estimasi partikel debu diruangan berbasis IoT juga tidak membahas pengukuran gas pencemar udara seperti CO₂, CO, *volatile organic compounds (VOC)*, formaldehida (HCHO), maupun mikroorganisme seperti bakteri, virus, dan jamur.
3. Aplikasi *Blynk* digunakan sebagai media *monitoring* dan kendali jarak jauh, sedangkan proses pengukuran utama dilakukan oleh ESP32 dan sensor pada prototipe. Fitur *monitoring* dan kendali melalui *Blynk* hanya dapat

digunakan ketika koneksi internet tersedia, sedangkan pada saat koneksi internet terputus sistem lokal tetap dapat melakukan pengukuran, menjalankan logika kendali, dan menampilkan hasil pengukuran melalui LCD 16×2.

4. Penelitian prototipe pengukuran suhu, kelembapan dan estimasi partikel debu diruangan berbasis IoT tidak membahas efektivitas sistem dalam menurunkan konsentrasi partikel debu maupun meningkatkan kualitas udara di dalam ruangan. Lampu UV-C hanya diuji secara fungsional pada kondisi *ON* dan *OFF* sesuai logika kendali sehingga tidak membuktikan efektivitas sterilisasi udara, sedangkan *exhaust fan*, relay, sensor magnet MC-38, dan modul *Real-Time Clock* (RTC) digunakan sebagai fitur pendukung sistem sesuai fungsi yang dirancang.

1.4. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, identifikasi masalah, dan batasan masalah yang telah diuraikan, maka rumusan masalah pada penelitian prototipe pengukuran suhu, kelembapan dan estimasi partikel debu diruangan berbasis IoT adalah: Bagaimana proses mengembangkan prototipe pengukuran suhu, kelembapan, dan estimasi konsentrasi partikel debu di dalam ruangan berbasis *Internet of Things (IoT)* yang mampu melakukan *monitoring* secara lokal melalui LCD dan *monitoring* jarak jauh melalui aplikasi *Blynk*, serta memberikan respons kendali berdasarkan hasil pembacaan sensor?

1.5. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah ditetapkan, maka tujuan penelitian prototipe pengukuran suhu, kelembapan dan estimasi partikel debu diruangan berbasis IoT adalah untuk mengembangkan prototipe pengukuran suhu, kelembapan, dan estimasi konsentrasi partikel debu di dalam ruangan berbasis *Internet of Things (IoT)* menggunakan mikrokontroler ESP32 yang mampu melakukan monitoring secara lokal melalui LCD 16×2 I2C, *monitoring* dan kendali jarak jauh melalui aplikasi Blynk, serta memberikan respons kendali terhadap aktuator berdasarkan hasil pembacaan sensor sesuai dengan logika sistem yang telah dirancang.

1.6. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian prototipe pengukuran suhu, kelembapan dan estimasi partikel debu diruangan berbasis IoT adalah sebagai berikut.

1. Manfaat Teoritis

- a. Penelitian prototipe pengukuran suhu, kelembapan dan estimasi partikel debu diruangan berbasis IoT diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan sistem pengukuran suhu, kelembapan, dan estimasi konsentrasi partikel debu berbasis *Internet of Things (IoT)*, khususnya dalam integrasi sensor DHT22, sensor GP2Y1010AU0F, mikrokontroler ESP32, LCD 16×2 I2C, aplikasi *Blynk*, modul *Real-Time Clock (RTC)*, sensor magnet MC-38, dan modul relay sebagai satu kesatuan sistem pengukuran dan *monitoring* berbasis *Internet of Things*.
- b. Penelitian prototipe pengukuran suhu, kelembapan dan estimasi partikel debu diruangan berbasis IoT diharapkan dapat menjadi referensi bagi mahasiswa, peneliti, dan Program Studi Pendidikan Teknik Elektronika dalam pengembangan media pembelajaran, praktikum, maupun penelitian yang berkaitan dengan penerapan sensor, mikrokontroler, sistem kendali, dan teknologi *Internet of Things (IoT)*.

2. Manfaat Praktis

Prototipe yang dikembangkan diharapkan dapat membantu pengguna dalam memantau suhu, kelembapan, dan estimasi konsentrasi partikel debu di dalam ruangan melalui tampilan lokal pada LCD 16×2 maupun aplikasi *Blynk* sebagai media *monitoring* dan kendali jarak jauh sesuai dengan logika sistem yang telah dirancang.

3. Manfaat bagi Penelitian Selanjutnya

Penelitian prototipe pengukuran suhu, kelembapan dan estimasi partikel debu diruangan berbasis IoT diharapkan dapat menjadi dasar bagi pengembangan penelitian selanjutnya.