

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Bayi prematur, yang didefinisikan sebagai bayi yang lahir sebelum minggu kehamilan ke-37, memerlukan perawatan intensif dan lingkungan yang terkontrol secara ketat untuk mempertahankan fungsi vital mereka. Indonesia menghadapi beban kesehatan yang signifikan terkait dengan kelahiran prematur. Berdasarkan data Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas) tahun 2018, prevalensi kelahiran prematur di Indonesia mencapai 29,5 per 1.000 kelahiran hidup, menempatkan Indonesia pada posisi kelima tertinggi di dunia dengan sekitar 657,700 – 675,700 kasus kelahiran prematur setiap tahunnya (Rachmantiawan et al., 2022). Sebagai perbandingan, Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) mencatat bahwa pada tahun 2020, terdapat 13,4 juta bayi lahir prematur secara global, atau lebih dari 1 dari setiap 10 kelahiran. (Ohuma et al., 2023)

Inkubator bayi menjadi alat medis krusial untuk menciptakan lingkungan mikroklimatik yang stabil dengan suhu 32-37°C dan kelembapan 50-80% RH sesuai standar SNI IEC 60601-2-19:2014 (Badan Standardisasi Nasional, 2009). Namun, akses terhadap inkubator berkualitas masih terbatas terutama di rumah sakit umum daerah (RSUD). Sistem inkubator manual memiliki beberapa kelemahan diantaranya yaitu: akurasi rendah yang mana akurasi pada inkubator manual adalah $\pm 2-5^{\circ}\text{C}$ sedangkan kebutuhan medis saat ini adalah $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Fuzzy logic Mamdani telah terbukti efektif dalam pengendalian suhu inkubator dengan akurasi $\pm 0.65-2.44^{\circ}\text{C}$ dan settling time 10-16 menit pada penelitian terdahulu (Setiawan et al., 2025). Kombinasi aktuator Peltier (pendingin), PTC heater (pemanas), dan *ultrasonic humidifier* (kelembapan) memungkinkan *dual-control* presisi yang belum dioptimasi pada penelitian sebelumnya.

Pada tugas akhir ini, dirancang sebuah sistem pengendali suhu dan kelembapan ruangan menggunakan sensor suhu dan kelembapan sebagai parameter input. Perancangan sistem IoT untuk inkubator sederhana dengan NodeMCU/ESP32 dan sensor DHT22 menunjukkan bahwa kombinasi ini lazim digunakan untuk pemantauan suhu dan kelembapan secara *real-time* melalui platform IoT. (Fauzi, 2020) Aktuator yang digunakan meliputi peltier sebagai

sumber pendingin, PTC heater sebagai sumber panas dan ultrasonic atomizer humidifier sebagai pengatur kelembapan, sehingga sistem ini mampu menjaga kondisi ruangan tetap stabil dan sesuai dengan nilai yang diinginkan. Fokus sistem adalah kontrol otomatis berbasis mikrokontroler dengan konektivitas IoT, sehingga seluruh proses pengendalian berlangsung secara *real-time*, cepat, dan mandiri. Pendekatan ini sesuai untuk aplikasi ruangan kecil, laboratorium sederhana, inkubator, ataupun prototipe sistem HVAC skala mikro.

Penelitian ini menjadi semakin penting karena tidak hanya mengembangkan sistem kendali suhu dan kelembapan berbasis fuzzy logic, tetapi juga mengintegrasikan IoT untuk mode kontrol manual dan otomatis serta monitoring suhu dan kelembapan secara real-time. Melalui IoT, dokter atau perawat dapat memantau kondisi inkubator dari jarak jauh dan beralih antara mode otomatis (dikendalikan fuzzy) dan mode manual (setpoint diatur langsung oleh pengguna) tanpa harus selalu berada di dekat alat, sehingga meningkatkan fleksibilitas dan keselamatan operasional. Integrasi ini sekaligus mengisi kekurangan penelitian terdahulu yang umumnya hanya berfokus pada kontrol lokal tanpa pemantauan jarak jauh atau hanya monitoring tanpa kecerdasan kendali. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menawarkan inkubator lokal yang lebih presisi dan terjangkau, tetapi juga selaras dengan tuntutan era industri 4.0 di sektor kesehatan melalui pemanfaatan teknologi IoT untuk meningkatkan mutu layanan, keselamatan bayi prematur, dan kesiapan implementasi di rumah sakit modern.

Penelitian ini memiliki keterkaitan dengan beberapa tujuan Sustainable Development Goals (SDGs), khususnya SDG 3 (Kehidupan Sehat dan Sejahtera) menjamin kehidupan yang sehat dan mendorong kesejahteraan bagi semua orang; SDG 9 (Industri, Inovasi, dan Infrastruktur) melalui pengembangan teknologi otomasi cerdas berbasis mikrokontroler; serta SDG 13 (Penanganan Perubahan Iklim) karena efisiensi energi pada skala kecil berkontribusi pada pengurangan emisi tidak langsung dalam jangka panjang. Selain itu, penelitian ini juga mendukung Asta Cita Indonesia Maju, terutama agenda pembangunan berkelanjutan dan ekonomi hijau, dengan mendorong inovasi teknologi hemat energi dan peningkatan kualitas lingkungan hidup yang lebih nyaman dan sehat.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, dapat dilihat bahwa masih terdapat sejumlah tantangan yang perlu dikaji lebih lanjut agar sistem pengendalian suhu dan kelembapan dapat bekerja secara optimal. Oleh karena itu, penting untuk mengidentifikasi permasalahan yang menjadi dasar penelitian ini. Adapun identifikasi masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Indonesia memiliki 657.700–675.700 kasus kelahiran prematur per tahun, menempatkan Indonesia di posisi ke-5 tertinggi dunia. (Kemenkes RI, 2018)
Bayi prematur membutuhkan lingkungan suhu stabil 32–37°C dan kelembapan 50–80% RH yang tidak dapat disediakan secara konsisten di fasilitas kesehatan daerah. (Knobel, 2014)
- 2) Belum adanya sistem kontrol suhu dan kelembapan yang bekerja secara otomatis dan adaptif pada skala ruangan kecil, khususnya yang memanfaatkan kombinasi pemanas PTC, peltier, dan ultrasonic atomizer humidifier.
- 3) Minimnya penelitian lokal yang fokus pada kontrol suhu–kelembapan terpadu dengan memanfaatkan IoT, terutama yang mengutamakan efisiensi energi dan kenyamanan lingkungan pada ruang berskala kecil.
- 4) Belum tersedianya sistem terjangkau yang dapat menjaga kualitas lingkungan (thermal & humidity comfort) untuk penggunaan rumah sakit daerah dan pusat kesehatan masyarakat.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang telah dipaparkan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

- 1) Bagaimana merancang sistem yang mampu mengendalikan suhu dan kelembapan ruangan secara otomatis menggunakan peltier, PTC dan *ultrasonic atomizer humidifier*?
- 2) Bagaimana memanfaatkan parameter suhu dan kelembapan, untuk menghasilkan pengendalian yang lebih stabil dan responsif?

- 3) Bagaimana implementasi IoT memungkinkan monitoring suhu dan kelembapan secara *real-time* untuk meningkatkan fleksibilitas operasional inkubator bagi tenaga medis?

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian tidak meluas dan tetap berada dalam ruang lingkup yang dapat ditangani, maka perlu ditetapkan batasan masalah yang menjadi fokus utama penelitian ini. Adapun batasan masalah tersebut adalah sebagai berikut:

- 1) Penelitian hanya mengendalikan dua parameter utama: suhu (33-34°C) dan kelembapan (70-80% RH) sesuai standar kebutuhan bayi prematur. Parameter lain seperti oksigen, CO₂, noise level, atau airflow velocity tidak dimasukkan dalam sistem pengendalian.
- 2) Perangkat keras dan aktuator yang digunakan dibatasi pada ESP32 sebagai mikrokontroler, DHT22 sebagai sensor suhu dan kelembapan, peltier sebagai pendingin, PTC thermostat sebagai pemanas, dan *ultrasonic atomizer humidifier* sebagai penghasil kelembapan.
- 3) Udara di dalam inkubator tercampur sempurna (sistem parameter terpusat).
- 4) Sifat termofisik udara dan material dianggap konstan pada rentang operasi.
- 5) Tidak terjadi kondensasi pada dinding (suhu dinding dijaga di atas titik embun); efek kondensasi diabaikan.
- 6) Tekanan di dalam inkubator kira-kira sama dengan tekanan atmosfer luar (ada celah kecil).
- 7) Humidifier menghasilkan uap air pada suhu mendekati suhu udara (kabut dingin ultrasonik); kontribusi kalor sensibel dari humidifier diabaikan.
- 8) Tidak ada pengukuran suhu dan kelembapan pada bayi.
- 9) Penelitian dilakukan pada ruang kecil atau inkubator.
- 10) Evaluasi performa difokuskan pada kestabilan dan respons kontrol, bukan pada konsumsi energi secara mendalam.

1.5 Tujuan Penelitian

Rumusan dan batasan masalah yang telah ditentukan tersebut kemudian menjadi dasar dalam penyusunan tujuan penelitian. Tujuan penelitian ini dirancang

untuk menggambarkan hasil yang ingin dicapai secara jelas. Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Membangun sistem pengendali suhu dan kelembapan yang menggunakan sensor sebagai dasar pengambilan keputusan.
- 2) Mengimplementasikan metode *Fuzzy Logic* untuk mengatur kinerja peltier, PTC thermostat dan *ultrasonic atomizer humidifier*.
- 3) Mengevaluasi performa sistem dalam mengatur kondisi ruangan secara stabil dan responsif.

1.6 Manfaat Penelitian

Selain tujuan yang ingin dicapai, penelitian ini juga diharapkan memberikan kontribusi nyata baik secara akademik maupun praktis. Oleh karena itu, manfaat penelitian dapat dijelaskan sebagai berikut:

- 1) **Manfaat Akademik:** Menjadi bahan ajar praktikum teknik kontrol, IoT, dan teknik biomedis di perguruan tinggi.
- 2) **Manfaat Teknologis:** Menjadi acuan pengembangan perangkat pengendali lingkungan yang lebih efisien, responsif, dan mudah diterapkan.
- 3) **Manfaat Praktis:** Menawarkan solusi kontrol lingkungan skala kecil yang ekonomis untuk penggunaan rumah tangga, laboratorium mini, atau perangkat portabel.
- 4) **Manfaat Lingkungan:** Mendukung tujuan SDGs, terutama pada aspek kesehatan dan kenyamanan lingkungan (SDG 3 & 7), melalui pengaturan kondisi ruang yang lebih stabil dan efisien energi.
- 5) Menjadi referensi bagi pengembangan sistem kontrol lingkungan pada skala kecil maupun terapan lain seperti inkubator, vivarium, dan penyimpanan alat sensitif.
- 6) Menambah pengetahuan dan pengalaman dalam perancangan sistem kontrol adaptif pada bidang Teknologi Rekayasa Otomasi.