BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Integrasi teknologi informasi dalam ekosistem kesehatan global saat ini tengah memasuki era *Health 4.0*, di mana peran *Internet of Things* (IoT) menjadi tulang punggung bagi digitalisasi layanan medis yang proaktif dan presisi. Konsep ini menekankan pada interkonektivitas antar perangkat medis untuk menjamin aliran data yang *real-time* dan akurat. Di lingkungan laboratorium medik, data hasil pemeriksaan merupakan variabel kritis yang menjadi landasan utama bagi klinisi dalam pengambilan keputusan diagnosis. Oleh karena itu, pengelolaan data yang efisien melalui *Laboratory Information System* (LIS) mutlak diperlukan untuk meminimalkan risiko keterlambatan dan inkonsistensi informasi kesehatan [1], [2].

Namun, tantangan besar yang dihadapi pada fase implementasi adalah masalah interoperabilitas akibat heterogenitas instrumen laboratorium [3]. Berdasarkan pengamatan lapangan, banyak laboratorium masih mengoperasikan alat medis *legacy* yang menggunakan antarmuka serial RS-232, sementara instrumen modern telah mengadopsi protokol berbasis jaringan TCP/IP [4] . Ketimpangan teknologi ini memaksa laboratorium untuk tetap mengandalkan proses transkripsi data secara manual dari layar alat ke sistem LIS. Proses manual ini tidak hanya tidak efisien, tetapi juga memiliki risiko tinggi terhadap *human error* yang dapat berakibat fatal pada keselamatan pasien. Penelitian di lingkungan Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung juga telah mengeksplorasi potensi sistem tertanam (*embedded system*) dalam skenario IoT untuk meningkatkan efisiensi dan kendali sistem secara otomatis, yang menggarisbawahi pentingnya stabilitas koneksi dalam pertukaran data [5].

Dalam disiplin *Distributed Computing*, integrasi antar node heterogen memerlukan sebuah perangkat perantara (*gateway*) yang cerdas untuk melakukan standarisasi data di sisi *edge* sebelum ditransmisikan ke pusat data [6]. Sebagian besar solusi integrasi yang tersedia saat ini bersifat statis dan kaku, di mana satu perangkat hanya dirancang untuk satu protokol tertentu. Hal

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
SUNAN GUNUNG DJATI
BANDUNG

ini menciptakan kendala operasional karena setiap pergantian instrumen memerlukan pengunggahan ulang kode (*re-flashing*) secara manual. Diperlukan sebuah solusi *gateway* universal yang mampu menjalankan peran sebagai *protocol translator* yang modular dan fleksibel [7].

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan rancang bangun perangkat IoT *embedded* berbasis mikrokontroler WT32-ETH01 yang mengintegrasikan jalur komunikasi multi-protokol (TCP Server, TCP Client, dan RS-232). Perangkat ini tidak sekadar berfungsi sebagai jembatan fisik, tetapi juga menerapkan algoritma parsing data yang efisien untuk mengekstraksi parameter medis dari *string* mentah instrumen dan mentransformasikannya secara sistematis ke dalam format JSON yang terstandarisasi [8].

Sebagai langkah validasi dan implementasi nyata, penelitian ini secara spesifik menjadikan instrumen laboratorium Mindray BC-5130 (penganalisis hematologi) dan Mindray BS-240 (penganalisis kimia klinis) sebagai objek pengujian utama. Pemilihan kedua instrumen ini didasarkan pada kemampuannya dalam merepresentasikan heterogenitas protokol komunikasi yang menjadi akar permasalahan interoperabilitas di fasilitas kesehatan modern. Kedua instrumen tersebut mewakili kategori perangkat medis yang mentransmisikan data uji klinis kompleks (menggunakan standar HL7 atau ASTM) melalui antarmuka yang bervariasi, baik melalui jaringan TCP/IP maupun Serial RS-232. Karakteristik keluaran (*output*) data mentah dari kedua seri Mindray ini memberikan skenario pengujian yang ideal untuk mengukur beban komputasi dan tingkat akurasi algoritma *parsing* pada *edge gateway* yang dikembangkan, sekaligus memastikan bahwa solusi *middleware* yang diusulkan memiliki relevansi tinggi terhadap kebutuhan industri operasional laboratorium saat ini.

Alasan utama pemilihan penelitian ini adalah untuk menghadirkan inovasi berupa fitur konfigurasi nirkabel melalui *Bluetooth Low Energy* (BLE). Dengan fitur ini, parameter operasional seperti pemilihan protokol dan jenis alat dapat disesuaikan secara dinamis melalui aplikasi pendamping tanpa perlu modifikasi *firmware*. Melalui pendekatan ini, diharapkan tercipta sistem

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
BANDUNG

integrasi alat laboratorium yang *seamless*, andal, dan mampu meningkatkan validitas data medis secara signifikan guna mendukung pelayanan kesehatan yang lebih aman dan berkualitas.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah dan analisis terhadap *gap* pada penelitian terdahulu yang bersifat statis dan kaku dalam menangani heterogenitas alat laboratorium, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana membangun arsitektur *edge gateway* multi-protokol (TCP dan Serial) yang dilengkapi dengan algoritma *parsing regural expression* untuk mentransformasi data mentah (*raw data*) instrumen medis menjadi format JSON secara modular?
2. Bagaimana mengintegrasikan fitur konfigurasi nirkabel melalui *Bluetooth Low Energy* (BLE) guna meningkatkan fleksibilitas operasional perangkat di lingkungan laboratorium tanpa modifikasi *firmware*?
3. Bagaimana kinerja dari perangkat *edge gateway* yang dihasilkan dalam hal akurasi *parsing* data dan stabilitas pengiriman data menuju *Laboratory Information System* (LIS)?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Membangun arsitektur *edge gateway* multi-protokol (TCP dan Serial) yang dilengkapi dengan algoritma *parsing regural expression* untuk mentransformasi data mentah (*raw data*) instrumen medis menjadi format JSON secara modular.
2. Mengintegrasikan fitur konfigurasi nirkabel melalui *Bluetooth Low Energy* (BLE) guna meningkatkan fleksibilitas operasional perangkat di lingkungan laboratorium tanpa modifikasi *firmware*.
3. Mengetahui kinerja dari perangkat *edge gateway* yang dihasilkan dalam hal akurasi *parsing* data dan stabilitas pengiriman data menuju *Laboratory Information System* (LIS).

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
SUNAN GUNUNG DJATI
BANDUNG

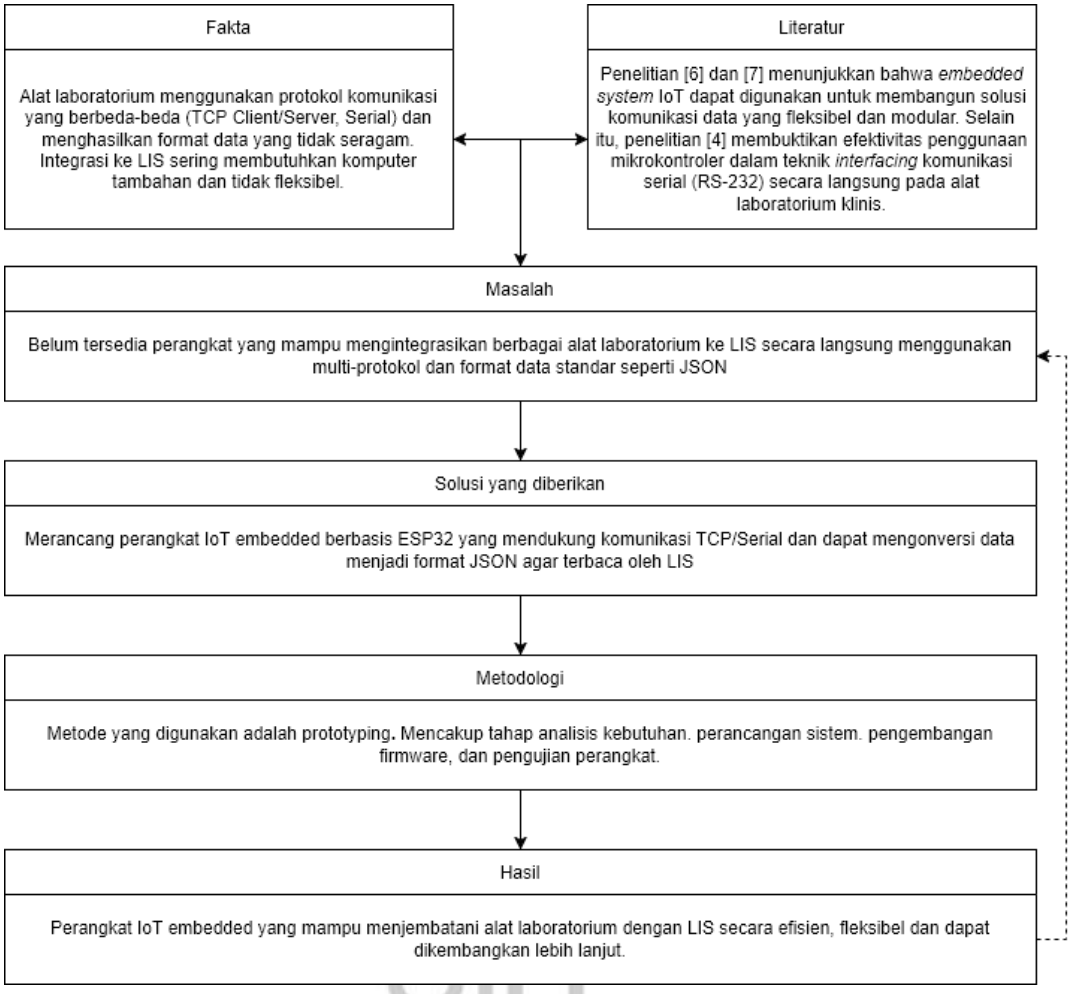
1.4 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan penelitian, ditetapkan batasan masalah sebagai berikut:

1. Protokol komunikasi yang didukung terbatas pada TCP Server, TCP Client, dan Serial RS-232
2. Format data medis yang diproses terbatas pada standar protokol internasional HL7 (*Health Level Seven*) dan ASTM (*American Society for Testing and Materials*).
3. Format output data difokuskan pada JSON dengan struktur yang disesuaikan dengan kebutuhan LIS
4. Pengujian menggunakan sistem LIS simulasi, bukan sistem LIS komersial
5. Alat laboratorium yang digunakan untuk pengujian adalah Mindray BC-5130 dan Mindray BS-240
6. Penelitian tidak mencakup aspek enkripsi data (*encryption at transit* maupun *at rest*), namun tetap mencakup mekanisme autentikasi dasar berbasis token
7. Konfigurasi parameter perangkat dilakukan secara nirkabel melalui antarmuka BLE (Bluetooth Low Energy)
8. Pengiriman data hasil parsing ke Laboratory Information System (LIS) dilakukan melalui koneksi WiFi menggunakan protokol HTTP, dengan URL dan token autentikasi yang dapat dikonfigurasi via BLE.

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
BANDUNG

1.5 Kerangka Pemikiran



Gambar 1.1 Kerangka Pemikiran

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
SUNAN GUNUNG DJATI
BANDUNG

Kerangka pemikiran dalam penelitian ini disusun berdasarkan alur logis yang mengintegrasikan observasi lapangan, landasan teoretis, dan pendekatan metodologis untuk menghasilkan solusi teknis yang tepat sasaran. Alur ini diawali dengan identifikasi fakta lapangan di mana instrumen laboratorium medis saat ini memiliki karakteristik komunikasi yang heterogen, meliputi protokol TCP Server, TCP Client, dan Serial (RS-232). Kondisi ini menyebabkan proses integrasi data ke *Laboratory Information System* (LIS) menjadi tidak efisien karena sering kali memerlukan komputer perantara (PC) tambahan di setiap alat, yang meningkatkan biaya operasional dan kompleksitas ruang laboratorium.

Gagasan untuk menyelesaikan masalah ini diperkuat oleh studi literatur terdahulu. Penelitian oleh Madona et al. [7] menunjukkan bahwa sistem

embedded modular sangat efektif untuk komunikasi data berbasis IoT dalam skala laboratorium. Selain itu, studi oleh Ochilov et al. [6] menegaskan peran krusial sistem tertanam dalam ekosistem IoT modern, khususnya dalam kemampuan pengolahan data ringan di sisi edge sebelum dikirim ke server. Lebih spesifik lagi, penelitian [4] membuktikan bahwa instrumen laboratorium klinis dapat diintegrasikan secara langsung menggunakan mikrokontroler melalui teknik interfacing komunikasi serial, sebuah pendekatan yang jauh lebih hemat daya dan ringkas dibandingkan metode konvensional.

Dari sintesa fakta dan literatur tersebut, dirumuskan sebuah permasalahan utama: belum tersedianya perangkat *gateway embedded* IoT yang mampu menangani multi-protokol sekaligus melakukan standarisasi data menjadi format JSON secara mandiri. Hal ini menjadi hambatan dalam mewujudkan digitalisasi laboratorium yang *seamless* dan ekonomis.

Sebagai solusi, penelitian ini mengusulkan rancang bangun perangkat IoT berbasis mikrokontroler ESP32 (menggunakan modul WT32-ETH01 dan IC MAX3232). Perangkat ini dirancang untuk mampu melakukan akuisisi data dari berbagai protokol, mengonversinya menjadi format JSON yang kompatibel dengan LIS, dan mentransmisikannya melalui jaringan Ethernet yang stabil.

Metodologi yang diterapkan adalah metode prototyping. Pendekatan ini dipilih karena sifatnya yang iteratif, memungkinkan pengembangan dimulai dari identifikasi kebutuhan teknis alat (Mindray BC-5130, dan Mindray BS-240), perancangan perangkat keras, pengembangan *firmware*, hingga tahap evaluasi intensif untuk memastikan reliabilitas perangkat.

Luaran (output) yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebuah prototipe perangkat keras *embedded* IoT yang ringkas dan andal. Perangkat ini diproyeksikan mampu menghilangkan ketergantungan pada komputer tambahan dalam proses integrasi alat laboratorium, serta memiliki potensi untuk dikembangkan menjadi produk solusi integrasi medis yang komersial dan modular.

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
BANDUNG

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan disusun untuk memberikan gambaran logis mengenai tahapan pelaksanaan dan pelaporan Tugas Akhir. Secara garis besar, keterkaitan antar bab dijabarkan sebagai berikut:

BAB I: PENDAHULUAN Bab ini menguraikan fenomena integrasi data pada alat laboratorium dan permasalahan interoperabilitas protokol yang menjadi landasan penelitian, meliputi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, kerangka pemikiran, dan sistematika penulisan.

BAB II: KAJIAN LITERATUR Bab ini menyajikan hasil penelusuran literatur penelitian terdahulu (*State of the Art*) untuk memetakan posisi penelitian, serta landasan teori mengenai teknologi IoT, mikrokontroler WT32-ETH01, komunikasi RS-232 dan TCP, *distributed computing*, *Finite State Machine* (FSM), dan *Regular Expression* (RegEx) sebagai dasar logika pemrosesan data.

BAB III: METODOLOGI PENELITIAN Bab ini menjelaskan langkah-langkah sistematis pembangunan sistem menggunakan metode *prototyping*, meliputi analisis kebutuhan, perancangan arsitektur perangkat keras, serta perancangan logika program melalui *flowchart* dan *pseudocode*.

BAB IV: HASIL DAN PEMBAHASAN Bab ini berisi laporan implementasi perangkat, mulai dari integrasi perangkat keras hingga fungsionalitas algoritma *parsing* pada *firmware*, hasil pengujian fungsional (*blackbox testing*), dan analisis akurasi transformasi data mentah menjadi format JSON, difokuskan pada pemecahan masalah yang dirumuskan pada bab pertama.

BAB V: KESIMPULAN DAN SARAN Bab ini merupakan bagian penutup yang berisi rangkuman hasil penelitian, jawaban atas tujuan penelitian, serta saran pengembangan lebih lanjut agar perangkat dapat diimplementasikan secara lebih luas dan andal.

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
SUNAN GUNUNG DJATI
BANDUNG