



Sistem Monitoring Multi-Parameter Tanda Vital Berbasis Internet of Things untuk Mendukung Telemedicine

Giati Sigit Purwoko¹, Nita Nurdiana^{2*}, Emidiana³

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas PGRI Palembang

¹giatisigitpurwoko7307@gmail.com, ^{2*}nurdiana78@univpgri-palembang.ac.id, ³emidiana@univpgri-palembang.ac.id

Abstract

This study aims to design and develop an Internet of Things (IoT)-based multi-parameter vital sign monitoring system using the ESP32 microcontroller to measure heart rate, body temperature, and blood pressure in real time. Unlike previous studies that generally focus on one or two physiological parameters, this research integrates three essential vital sign parameters into a single embedded IoT platform, enabling local data acquisition, real-time visualization, and remote monitoring to support telemedicine applications. The research employed an experimental method involving hardware and software development, system integration, prototype implementation, and performance evaluation against standard medical devices. The developed system integrates the MAX30102 sensor for heart rate measurement, the MLX90614 infrared sensor for non-contact body temperature measurement, and the HX710B sensor combined with a blood pressure cuff for blood pressure measurement. Measurement data are processed by the ESP32 microcontroller, displayed on a 16×2 I2C LCD, and transmitted via a Wi-Fi network to the Blynk platform for remote monitoring. System evaluation was conducted on five healthy adult participants, with each vital sign measured three times and compared with reference medical instruments. The experimental results show that the MAX30102 sensor achieved an average accuracy of 98.24% with an average deviation of 1.4 BPM, the MLX90614 sensor achieved an average accuracy of 99.62% with an average deviation of 1.2°C, while the HX710B sensor achieved an average accuracy of 95.38%, with average deviations of 5.6 mmHg for systolic pressure and 4.2 mmHg for diastolic pressure. These results demonstrate that the proposed system is capable of integrating multi-parameter vital sign monitoring within a single ESP32-based IoT platform, providing real-time physiological data acquisition and remote accessibility to support telemedicine and remote patient monitoring. The evaluation was limited to a preliminary study involving five healthy participants.

Keywords: ESP32, Internet of Things, vital sign monitoring, Heart Rate, Body Temperature, Blood Pressure.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan merancang dan mengembangkan sistem monitoring multi-parameter tanda vital berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32 yang mampu mengukur detak jantung, suhu tubuh, dan tekanan darah secara real-time. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya hanya memantau satu atau dua parameter fisiologis, penelitian ini mengintegrasikan tiga parameter utama tanda vital ke dalam satu platform embedded berbasis IoT sehingga mampu mendukung akuisisi data, tampilan lokal, dan pemantauan jarak jauh dalam satu sistem terpadu untuk mendukung layanan telemedicine. Penelitian menggunakan metode eksperimen yang meliputi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, integrasi sistem, implementasi prototipe, serta evaluasi kinerja dengan membandingkan hasil pengukuran terhadap alat kesehatan standar. Sistem mengintegrasikan sensor MAX30102 untuk mengukur detak jantung, sensor inframerah MLX90614 untuk mengukur suhu tubuh tanpa kontak, serta sensor HX710B yang dipadukan dengan manset tekanan darah untuk mengukur tekanan darah. Data hasil pengukuran diproses oleh ESP32, ditampilkan pada LCD 16×2 I2C, kemudian dikirim melalui jaringan Wi-Fi ke platform Blynk sehingga dapat dipantau secara jarak jauh. Evaluasi sistem dilakukan pada lima responden dewasa sehat dengan tiga kali pengulangan pengukuran untuk setiap parameter. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor MAX30102 memperoleh

akurasi rata-rata 98,24% dengan rata-rata selisih 1,4 BPM, sensor MLX90614 memperoleh akurasi rata-rata 99,62% dengan rata-rata selisih 1,2°C, sedangkan sensor HX710B memperoleh akurasi rata-rata 95,38% dengan rata-rata selisih tekanan sistolik 5,6 mmHg dan diastolik 4,2 mmHg. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu mengintegrasikan monitoring multi-parameter tanda vital dalam satu platform IoT berbasis ESP32 dengan kemampuan pemantauan secara real-time untuk mendukung telemedicine dan remote patient monitoring. Pengujian pada penelitian ini masih merupakan studi awal yang melibatkan lima responden dewasa sehat.

Kata kunci: Internet of Things, ESP32, Monitoring Tanda Vital, Telemedicine, Pemantauan Pasien Jarak Jauh

© 2026 Author

Creative Commons Attribution 4.0 International License



1. Pendahuluan

Pemantauan tanda vital, yang meliputi detak jantung, suhu tubuh, dan tekanan darah, merupakan bagian penting dalam deteksi dini gangguan kesehatan, evaluasi kondisi fisiologis, serta pengambilan keputusan klinis secara berkelanjutan. Ketiga parameter tersebut menjadi indikator utama dalam diagnosis berbagai penyakit, khususnya penyakit kardiovaskular yang masih menjadi salah satu penyebab kematian tertinggi di dunia. Oleh karena itu, ketersediaan sistem pemantauan yang mampu menyajikan data fisiologis secara cepat, akurat, dan berkelanjutan menjadi kebutuhan penting dalam pelayanan kesehatan modern [1].

Perkembangan Internet of Things (IoT) telah mendorong transformasi sistem kesehatan menuju layanan yang lebih terhubung, adaptif, dan berorientasi pada pemantauan pasien secara real-time. Integrasi sensor medis, jaringan komunikasi, komputasi tertanam (*embedded system*), dan layanan komputasi awan telah melahirkan konsep Internet of Medical Things (IoMT) yang memungkinkan data fisiologis diperoleh, diproses, dan dikirim secara otomatis kepada tenaga kesehatan tanpa dibatasi ruang dan waktu [2], [3]. Perkembangan tersebut menjadi fondasi penting bagi implementasi telemedicine dan remote patient monitoring, terutama untuk pemantauan pasien penyakit kronis, lanjut usia, maupun masyarakat yang memiliki keterbatasan akses terhadap fasilitas kesehatan [4], [5]. Selain itu, perkembangan arsitektur IoT modern juga mulai mengintegrasikan *embedded system*, *edge computing*, dan komunikasi cerdas untuk meningkatkan efisiensi pemrosesan data, mengurangi latensi komunikasi, serta meningkatkan keandalan sistem monitoring kesehatan berbasis IoT.

Dalam implementasinya, *embedded system* berbasis mikrokontroler berperan sebagai pusat akuisisi data dan pengendalian berbagai sensor fisiologis. Salah satu platform yang banyak digunakan adalah ESP32 karena memiliki prosesor berperforma tinggi, konsumsi daya rendah, serta modul Wi-Fi dan Bluetooth terintegrasi sehingga sesuai untuk aplikasi monitoring kesehatan berbasis IoT. Integrasi

kemampuan komputasi lokal pada perangkat *embedded* dengan komunikasi nirkabel memungkinkan proses pengumpulan, pengolahan, dan pengiriman data fisiologis dilakukan secara efisien dalam satu perangkat terpadu.

Berbagai penelitian telah mengembangkan sistem monitoring kesehatan berbasis ESP32 dan IoT menggunakan berbagai kombinasi sensor fisiologis. Hakim *et al.* [6] mengembangkan perangkat monitoring detak jantung dan suhu tubuh berbasis ESP32 yang mampu melakukan pemantauan secara real-time. Andriani *et al.* [7] mengembangkan sistem monitoring kesehatan berbasis IoT menggunakan sensor MAX30102 untuk mengukur detak jantung, kadar oksigen darah, dan suhu tubuh. Penelitian Nur *et al.* [8] memanfaatkan platform ThingSpeak untuk melakukan monitoring detak jantung dan suhu tubuh secara daring. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa sensor MAX30102 memiliki performa yang baik dalam pengukuran detak jantung berbasis *photoplethysmography* (PPG) [9], sensor MLX90614 mampu melakukan pengukuran suhu tubuh tanpa kontak dengan tingkat sensitivitas yang tinggi [10], sedangkan sensor HX710B telah dimanfaatkan dalam sistem pengukuran tekanan darah otomatis berbasis IoT [11]. Platform Blynk juga telah banyak digunakan sebagai media komunikasi dan visualisasi data IoT secara real-time [12].

Meskipun demikian, hasil telaah terhadap penelitian terdahulu menunjukkan masih terdapat beberapa keterbatasan. Pertama, sebagian besar penelitian hanya memonitor satu atau dua parameter fisiologis sehingga informasi kondisi pasien yang diperoleh belum bersifat komprehensif [6]–[8]. Kedua, sebagian besar penelitian lebih menitikberatkan pada implementasi sensor tanpa mengintegrasikan proses akuisisi data multisensor, pemrosesan lokal, tampilan lokal, dan komunikasi IoT ke dalam satu arsitektur *embedded system* yang terpadu. Ketiga, implementasi sistem monitoring kesehatan masih banyak berorientasi pada pengukuran lokal sehingga belum sepenuhnya mendukung kebutuhan remote patient monitoring dalam layanan telemedicine. Selain itu, perkembangan IoMT saat ini juga

menuntut integrasi perangkat yang lebih efisien, mampu melakukan pemrosesan data secara real-time, serta memiliki interoperabilitas yang baik dengan platform layanan kesehatan digital.

Berdasarkan kondisi tersebut, research gap penelitian ini tidak hanya terletak pada jumlah parameter fisiologis yang dimonitor, tetapi juga pada belum tersedianya sistem monitoring berbasis ESP32 yang mengintegrasikan tiga parameter utama tanda vital—detak jantung, suhu tubuh, dan tekanan darah—dalam satu platform *embedded* berbasis IoT yang mampu melakukan akuisisi data multisensor, pemrosesan lokal, visualisasi melalui LCD, serta transmisi data secara real-time menuju platform monitoring jarak jauh. Dengan demikian, sistem tidak hanya berfungsi sebagai perangkat akuisisi data, tetapi juga sebagai sebuah node IoT yang mendukung implementasi telemedicine.

Kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan arsitektur sistem monitoring multi-parameter tanda vital yang mengintegrasikan sensor MAX30102, MLX90614, dan HX710B ke dalam satu *embedded system* berbasis ESP32 dengan kemampuan akuisisi data multisensor, pemrosesan lokal, tampilan lokal, dan komunikasi IoT secara real-time melalui platform Blynk. Integrasi tersebut menghasilkan satu platform monitoring yang mampu menyajikan informasi fisiologis secara lebih komprehensif dibandingkan penelitian sebelumnya yang umumnya hanya memonitor satu atau dua parameter fisiologis menggunakan perangkat yang terpisah.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan merancang, mengembangkan, dan mengevaluasi sistem monitoring multi-parameter tanda vital berbasis Internet of Things menggunakan ESP32 untuk mengukur detak jantung, suhu tubuh, dan tekanan darah secara real-time. Kinerja sistem dievaluasi melalui pengujian terhadap alat kesehatan standar untuk menilai kemampuan sistem dalam mendukung implementasi telemedicine dan *remote patient monitoring*.

2. Metode Penelitian

2.1 Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen (experimental research) yang bertujuan merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi sistem monitoring multi-parameter tanda vital berbasis Internet of Things (IoT). Tahapan penelitian meliputi analisis kebutuhan sistem, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, integrasi sensor dengan mikrokontroler ESP32, implementasi prototipe, pengujian akurasi terhadap alat kesehatan standar, serta analisis hasil pengujian.

Sistem yang dikembangkan dirancang untuk mengukur tiga parameter tanda vital, yaitu detak jantung, suhu tubuh, dan tekanan darah. Seluruh data sensor diproses oleh mikrokontroler ESP32,

ditampilkan secara lokal melalui LCD 16×2 berbasis I²C, serta dikirim melalui jaringan Wi-Fi menuju platform Blynk sehingga hasil pengukuran dapat dipantau secara real-time menggunakan perangkat bergerak.

2.1 Arsitektur Sistem

Arsitektur sistem yang dikembangkan ditunjukkan pada Gambar 1. Sistem terdiri atas empat subsistem utama, yaitu subsistem akuisisi data, subsistem pengendali, subsistem tampilan lokal, dan subsistem komunikasi Internet of Things (IoT).

Subsistem akuisisi data menggunakan sensor MAX30102 untuk mengukur detak jantung, sensor MLX90614 untuk mengukur suhu tubuh tanpa kontak, serta sensor HX710B yang diintegrasikan dengan manset tekanan darah untuk memperoleh tekanan sistolik dan diastolik. Sensor MAX30102 dan MLX90614 berkomunikasi dengan ESP32 menggunakan antarmuka I²C, sedangkan sensor HX710B menggunakan komunikasi digital melalui pin DOUT dan SCK.

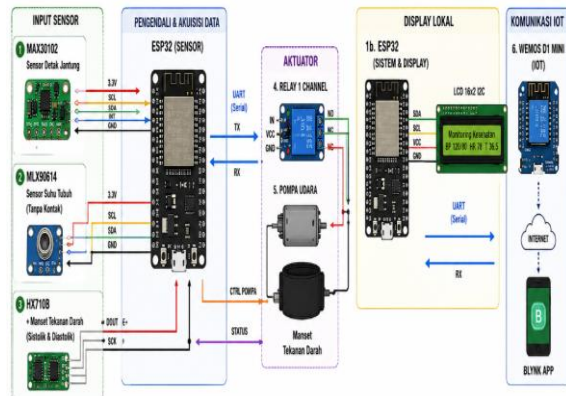
Data hasil pembacaan sensor diproses oleh ESP32 sebagai pengendali utama. Pada proses pengukuran tekanan darah, ESP32 mengendalikan relay yang mengaktifkan pompa udara untuk melakukan inflasi manset. Setelah tekanan maksimum tercapai, pompa dihentikan dan tekanan dilepaskan secara bertahap sehingga sensor HX710B merekam perubahan tekanan untuk menentukan nilai sistolik dan diastolik.

Seluruh data hasil pembacaan sensor diproses oleh ESP32 sebagai pengendali utama. Data kemudian ditampilkan pada LCD 16×2 I²C dan dikirimkan melalui jaringan Wi-Fi menuju platform Blynk sehingga dapat dipantau secara real-time menggunakan telepon pintar.

Arsitektur sistem yang dikembangkan mengadopsi konsep Internet of Things (IoT) yang terdiri atas empat lapisan utama, yaitu lapisan akuisisi data (data acquisition layer), lapisan pemrosesan (processing layer), lapisan komunikasi (communication layer), dan lapisan aplikasi (application layer). Lapisan akuisisi terdiri atas sensor MAX30102, MLX90614, dan HX710B. Seluruh data diproses oleh ESP32 sebagai *embedded controller*, kemudian dikirim melalui jaringan Wi-Fi menuju platform Blynk sebagai media visualisasi dan pemantauan jarak jauh. Diagram blok sistem dapat dilihat pada gambar 1.

2.2 Perancangan Perangkat Keras

Perangkat keras dirancang dengan mengintegrasikan beberapa sensor fisiologis, mikrokontroler, aktuatur, serta perangkat komunikasi sehingga mampu membentuk sistem monitoring kesehatan yang bekerja secara otomatis. Spesifikasi perangkat yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada Tabel 1.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem Monitoring Alat Vital

Tabel 1. Spesifikasi Perangkat Keras

Komponen	Spesifikasi	Fungsi
ESP32 DevKit V1	Dual-Core Xtensa LX6, 240 MHz, Wi-Fi 802.11 b/g/n, Bluetooth 4.2	Pengendali utama sistem, akuisisi data sensor, pengolahan data, tampilan LCD, dan komunikasi IoT
Sensor MAX30102	Sensor Photoplethysmography (PPG)	Mengukur detak jantung (Heart Rate)
Sensor MLX90614	Infrared Thermometer Sensor	Mengukur suhu tubuh tanpa kontak
Sensor HX710B + Manset	Pressure Sensor ADC 24-bit	Mengukur tekanan darah sistolik dan diastolik
Relay Channel 5 V	Modul relay	Mengendalikan pompa udara
Pompa Udara DC	Tegangan kerja 12 V	Mengembangkan manset selama proses pengukuran tekanan darah
Solenoid Valve DC	Katup pelepas tekanan	Mengatur proses deflasi manset
LCD 16x2 I2C	Antarmuka I ² C	Menampilkan hasil pengukuran secara lokal
Buzzer	Active Buzzer 5 V	Indikator proses pengukuran selesai
Catu Daya	Adaptor DC 12 V dan regulator 5 V	Menyuplai daya seluruh sistem

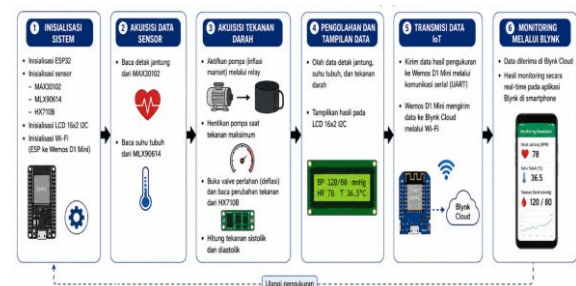
Seluruh komponen dihubungkan sesuai fungsi masing-masing. Sensor MAX30102 dan MLX90614 menggunakan antarmuka I²C, sedangkan sensor HX710B dihubungkan menggunakan komunikasi digital. Relay digunakan untuk mengendalikan pompa udara selama proses inflasi manset, sedangkan komunikasi antar mikrokontroler dilakukan melalui UART.

2.3 Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak dikembangkan menggunakan Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C++. Program dirancang untuk menginisialisasi seluruh perangkat keras, melakukan akuisisi data dari sensor MAX30102, MLX90614, dan HX710B, memvalidasi hasil pembacaan sensor, mengendalikan proses pengukuran tekanan darah,

mengolah data hasil pengukuran, memperbarui tampilan pada LCD 16x2 I2C, serta mengirimkan data ke platform Blynk melalui jaringan Wi-Fi secara real-time.

Pada tahap akuisisi data, ESP32 melakukan pembacaan setiap sensor sesuai antarmuka komunikasi yang digunakan. Sensor MAX30102 dan MLX90614 diakses melalui komunikasi I²C, sedangkan sensor HX710B menggunakan komunikasi digital melalui pin DOUT dan SCK. Nilai hasil pembacaan diperiksa untuk memastikan data berada pada rentang pengukuran yang valid sebelum ditampilkan dan dikirim ke aplikasi Blynk. Alur kerja perangkat lunak ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir proses kerja sistem

Proses diawali dengan inisialisasi seluruh perangkat keras, meliputi mikrokontroler ESP32, sensor, LCD, modul relay, serta koneksi Wi-Fi dan platform Blynk. Setelah proses inisialisasi berhasil, sistem melakukan pembacaan data detak jantung menggunakan sensor MAX30102 dan suhu tubuh menggunakan sensor MLX90614. Data hasil pembacaan kemudian divalidasi sebelum diproses lebih lanjut.

Selanjutnya pengguna melakukan pengukuran tekanan darah. ESP32 mengaktifkan pompa udara melalui relay untuk melakukan inflasi manset hingga tekanan tertentu. Setelah tekanan maksimum tercapai, pompa dihentikan dan tekanan dilepaskan secara bertahap melalui solenoid valve. Selama proses deflasi, sensor HX710B merekam perubahan tekanan yang selanjutnya diolah untuk menentukan nilai tekanan sistolik dan diastolik.

Setelah seluruh parameter tanda vital berhasil diperoleh, ESP32 mengintegrasikan data hasil pengukuran, memperbarui tampilan pada LCD 16x2 I2C, kemudian mengirimkan data ke aplikasi Blynk melalui jaringan Wi-Fi. Proses pengiriman dilakukan secara periodik sehingga hasil pengukuran dapat dipantau secara real-time melalui perangkat bergerak yang terhubung ke platform Blynk.

2.4 Implementasi Sistem

Tahap implementasi menghasilkan sebuah prototipe sistem monitoring multi-parameter tanda vital berbasis Internet of Things (IoT) yang mengintegrasikan seluruh komponen perangkat

keras dan perangkat lunak menjadi satu sistem fungsional. Prototipe terdiri atas unit akuisisi data yang mencakup sensor MAX30102, MLX90614, dan HX710B, unit pemrosesan berbasis mikrokontroler ESP32, unit tampilan lokal menggunakan LCD 16×2 I2C, serta unit komunikasi IoT melalui jaringan Wi-Fi yang terhubung ke platform Blynk. Untuk proses pengukuran tekanan darah, sistem dilengkapi dengan pompa udara, relay, solenoid valve, dan manset yang bekerja secara terintegrasi.

Implementasi perangkat lunak dilakukan pada mikrokontroler ESP32 menggunakan Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C++. Program mengoordinasikan proses inisialisasi perangkat, akuisisi data sensor, pengendalian aktuator selama pengukuran tekanan darah, pemrosesan hasil pengukuran, pembaruan tampilan pada LCD, serta pengiriman data menuju aplikasi Blynk melalui jaringan Wi-Fi.

Hasil implementasi menunjukkan bahwa seluruh subsistem dapat beroperasi secara terpadu sesuai dengan rancangan sistem. ESP32 berhasil mengakuisisi data dari ketiga sensor, mengendalikan proses inflasi dan deflasi manset secara otomatis, menampilkan hasil pengukuran pada LCD, serta mengirimkan data detak jantung, suhu tubuh, dan tekanan darah ke platform Blynk untuk pemantauan secara real-time. Dengan demikian, implementasi yang dilakukan membuktikan bahwa arsitektur sistem yang diusulkan mampu mendukung proses monitoring multi-parameter tanda vital dalam satu platform IoT berbasis ESP3

2.5 Metode Pengujian

2.5.1 Karakteristik Responden

Pengujian sistem dilakukan terhadap lima responden dewasa sehat yang berusia antara 20–30 tahun. Seluruh responden berada dalam kondisi sehat pada saat pengambilan data dan tidak memiliki riwayat gangguan kardiovaskular yang diketahui. Setiap responden menjalani tiga kali pengukuran untuk setiap parameter tanda vital pada kondisi istirahat. Nilai rata-rata dari tiga kali pengukuran digunakan sebagai data analisis untuk mengurangi pengaruh fluktuasi pengukuran.

Karena penelitian ini merupakan studi awal (*preliminary study*), jumlah responden yang digunakan masih terbatas dan bertujuan untuk mengevaluasi kinerja awal prototipe yang dikembangkan.

2.5.2 Pengujian Akurasi

Pengujian akurasi dilakukan terhadap lima responden dewasa sehat berusia 20–30 tahun. Masing-masing responden menjalani pengukuran detak jantung, suhu tubuh, dan tekanan darah menggunakan prototipe serta alat kesehatan standar sebagai pembanding. Setiap parameter diukur sebanyak tiga kali pada kondisi yang sama. Nilai

rata-rata dari tiga kali pengukuran digunakan sebagai data analisis untuk meminimalkan pengaruh fluktuasi hasil pengukuran.

Tabel 2. Metode pengujian akurasi

Parameter	Sensor	Alat Referensi	Replikasi
Detak Jantung	MAX30102	Pulse Oximeter	3 kali
Suhu Tubuh	MLX90614	Thermometer Digital	3 kali
Tekanan Darah	HX710B	Digital Sphygmomanometer	3 kali

Pengujian dilakukan secara berurutan menggunakan prototipe dan alat referensi pada interval waktu yang sama untuk meminimalkan variasi fisiologis responden.

2.5.3 Pengujian Komunikasi IoT

Pengujian komunikasi dilakukan untuk memverifikasi kemampuan sistem dalam mengirimkan data hasil pengukuran menuju platform Blynk melalui jaringan Wi-Fi. Parameter yang diamati meliputi keberhasilan koneksi perangkat ke jaringan, keberhasilan pengiriman data, serta kesesuaian nilai parameter yang ditampilkan pada aplikasi Blynk dengan hasil pengukuran yang ditampilkan pada LCD. Pengujian ini bersifat fungsional (*functional testing*) dan tidak mencakup evaluasi Quality of Service (QoS) seperti latency, packet loss, maupun throughput. Evaluasi terhadap parameter QoS menjadi bagian dari pengembangan penelitian selanjutnya.

2.6 Metode Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran prototipe terhadap alat kesehatan standar untuk setiap parameter tanda vital, yaitu detak jantung, suhu tubuh, dan tekanan darah. Setiap responden menjalani tiga kali pengukuran pada kondisi yang sama, kemudian nilai rata-rata hasil pengukuran digunakan sebagai dasar analisis untuk mengurangi pengaruh fluktuasi sesaat selama proses pengukuran. Formula pengukuran error dan akurasi ditinjau menggunakan formula (1) dan (2).

$$\text{Error}(\%) = \left| \frac{X_p - X_r}{X_r} \right| \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Akurasi}(\%) = 100 - \text{Error}(\%) \quad (2)$$

dengan (X_p) merupakan hasil pengukuran menggunakan prototipe, sedangkan (X_r) merupakan hasil pengukuran menggunakan alat kesehatan standar sebagai nilai acuan.

Nilai rata-rata error dan rata-rata akurasi dihitung untuk setiap sensor guna mengevaluasi performa sistem monitoring yang dikembangkan. Analisis data pada penelitian ini bersifat deskriptif, dengan menyajikan nilai rata-rata hasil pengukuran, rata-rata persentase kesalahan, dan rata-rata tingkat akurasi sebagai indikator kinerja sistem.

Mengingat penelitian ini merupakan studi awal (preliminary study) dengan jumlah responden yang masih terbatas, analisis statistik inferensial, seperti uji signifikansi, confidence interval, maupun analisis variansi, belum dilakukan. Oleh karena itu, hasil penelitian difokuskan pada evaluasi kinerja fungsional prototipe, sedangkan analisis statistik yang lebih komprehensif dengan jumlah responden yang lebih besar menjadi bagian dari penelitian selanjutnya.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Implementasi Sistem

Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan berhasil mengintegrasikan tiga parameter utama tanda vital, yaitu detak jantung, suhu tubuh, dan tekanan darah, ke dalam satu platform berbasis ESP32 dan Internet of Things (IoT). Seluruh subsistem, yang meliputi akuisisi data sensor, pemrosesan data, pengendalian aktuator pada proses pengukuran tekanan darah, tampilan lokal melalui LCD 16×2 I2C, serta komunikasi data melalui jaringan Wi-Fi menuju platform Blynk, dapat beroperasi secara terpadu sesuai dengan rancangan sistem.

Keberhasilan implementasi tersebut menunjukkan bahwa ESP32 mampu menjalankan fungsi sebagai embedded controller yang menangani akuisisi data multisensor, pengendalian perangkat keras, serta komunikasi IoT secara real-time dalam satu perangkat. Integrasi berbagai fungsi tersebut memberikan kemudahan dalam proses monitoring karena seluruh parameter fisiologis dapat diperoleh secara bersamaan tanpa memerlukan beberapa perangkat yang terpisah. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan memiliki potensi untuk mendukung implementasi layanan telemedicine dan remote patient monitoring melalui penyediaan data fisiologis yang dapat diakses secara jarak jauh. Realisasi perangkat keras yang telah dikembangkan ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Prototipe sistem monitoring tanda vital kesehatan berbasis ESP32.

Berdasarkan Gambar 3, prototipe terdiri atas mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali, sensor MAX30102 untuk pengukuran detak jantung, sensor MLX90614 untuk pengukuran suhu tubuh tanpa

kontak, sensor HX710B yang terhubung dengan manset tekanan darah, LCD 16×2 I2C sebagai media tampilan lokal, serta modul relay, pompa udara, dan solenoid valve yang berfungsi mengatur proses inflasi dan deflasi manset. Seluruh komponen ditempatkan dalam satu unit sehingga membentuk sistem monitoring yang terintegrasi.

Implementasi perangkat lunak dilakukan menggunakan Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C++. Program berhasil menginisialisasi seluruh perangkat, melakukan akuisisi data dari setiap sensor, mengendalikan pompa udara dan solenoid valve selama proses pengukuran tekanan darah, mengolah hasil pengukuran, memperbarui tampilan pada LCD, serta mengirimkan data hasil pengukuran ke aplikasi Blynk melalui jaringan Wi-Fi. Selama pengujian, proses komunikasi antara ESP32 dan aplikasi Blynk berjalan dengan baik sehingga hasil pengukuran dapat dipantau secara real-time melalui perangkat bergerak.

3.2 Hasil Monitoring pada Aplikasi Blynk

Hasil pengukuran yang diperoleh dari sensor MAX30102, MLX90614, dan HX710B berhasil dikirimkan ke platform Blynk melalui jaringan Wi-Fi. Data yang ditampilkan meliputi nilai detak jantung (*beats per minute*), suhu tubuh (°C), serta tekanan darah sistolik dan diastolik (mmHg). Selain itu, aplikasi juga menampilkan status koneksi perangkat sehingga pengguna dapat memantau kondisi sistem secara real-time menggunakan telepon pintar. Tampilan hasil monitoring pada aplikasi Blynk ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Tampilan Monitoring Aplikasi Blynk

3.3 Hasil Pengujian Sensor MAX30102

Pengujian sensor MAX30102 dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran detak jantung menggunakan prototipe terhadap pulse oximeter digital sebagai alat referensi. Setiap responden diukur pada kondisi yang sama sehingga diperoleh data sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Pengujian Sensor MAX30102 terhadap Pulse Oximeter

Respon den	Rata-rata Sensor (BPM)	Rata-rata Pulse Oximeter (BPM)	Selisih	Error (%)	Akurasi (%)
1	78	77	1	1,29	98,71
2	82	81	1	1,23	98,77
3	76	74	2	2,70	97,30
4	88	86	2	2,32	97,68
5	80	79	1	1,26	98,74

3.4 Hasil Pengujian Sensor MLX90614

Pengujian sensor MLX90614 dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran suhu tubuh terhadap termometer digital sebagai alat referensi. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil Pengujian Sensor MLX90614 terhadap Termometer Digital

Respon den	Rata-rata Sensor (°C)	Rata-rata Termometer (°C)	Selisih	Error (%)	Akurasi (%)
1	35	36	1	2,78	97,22
2	34	35	1	2,86	97,14
3	36	36	0	0,00	100
4	37	38	1	2,63	97,37
5	38	36	2	5,56	94,44

3.5 Hasil Pengujian Sensor HX710B

Pengujian sensor HX710B dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran tekanan darah menggunakan prototipe terhadap tensimeter digital. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Hasil Pengujian Sensor HX710B terhadap Tensimeter Digital

Respon den	Rata-rata Sensor (mmHg)	Rata-rata Tensimeter (mmHg)	Selisih	Error (%)	Akurasi (%)
1	120/80	118/79	2/1	1,69	98,31
2	125/82	114/75	11/7	9,64	90,36
3	117/78	116/77	1/1	0,86	99,14
4	130/85	118/74	12/11	10,10	89,90
5	122/81	121/80	1/1	0,83	99,17

Untuk mempermudah evaluasi kinerja sistem, rata-rata selisih pengukuran, persentase error, dan tingkat akurasi masing-masing sensor dirangkum pada Tabel 6.

Tabel 6. Ringkasan hasil pengujian

Sensor	Rata-rata Selisih	Rata-rata Error (%)	Rata-rata Akurasi (%)
MAX30102	1,4 BPM	1,76	98,24
MLX90614	1,2 °C	0,38	99,62
HX710B	5,6 mmHg (Sistolik) / 4,2 mmHg (Diastolik)	4,62	95,38

3.6 Pembahasan

Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan berhasil mengintegrasikan tiga parameter utama tanda vital, yaitu detak jantung, suhu tubuh, dan tekanan darah, ke dalam satu platform berbasis ESP32 dan Internet of Things (IoT). Seluruh subsistem, mulai dari akuisisi data sensor, pemrosesan data, pengendalian aktuator pada proses pengukuran tekanan darah, tampilan hasil pada LCD, hingga pengiriman data ke aplikasi Blynk melalui jaringan Wi-Fi, dapat beroperasi sesuai dengan rancangan sistem. Keberhasilan integrasi tersebut menunjukkan bahwa ESP32 memiliki kemampuan yang memadai sebagai embedded controller untuk menangani akuisisi data multisensor sekaligus komunikasi IoT secara real-time, sehingga sesuai digunakan pada sistem remote patient monitoring berbasis IoT [1][2] [3].

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 6, sensor MLX90614 menghasilkan tingkat akurasi tertinggi sebesar 99,62%, diikuti sensor MAX30102 sebesar 98,24%, sedangkan sensor HX710B memperoleh akurasi sebesar 95,38%. Perbedaan tingkat akurasi tersebut dipengaruhi oleh karakteristik kerja masing-masing sensor dan kompleksitas proses pengukuran pada setiap parameter fisiologis.

Sensor MLX90614 menunjukkan performa terbaik karena bekerja menggunakan prinsip pengukuran radiasi inframerah tanpa kontak (non-contact infrared sensing), sehingga tidak memerlukan kontak langsung dengan permukaan kulit dan relatif lebih stabil terhadap variasi tekanan saat pengukuran. Pada penelitian ini, jarak pengukuran dijaga relatif konstan sehingga variasi hasil pengukuran menjadi kecil. Meskipun demikian, akurasi sensor inframerah tetap dapat dipengaruhi oleh perubahan suhu lingkungan, sudut pengukuran, serta jarak antara sensor dan permukaan kulit.

Faktor-faktor tersebut dapat menyebabkan perubahan energi radiasi yang diterima sensor sehingga memengaruhi hasil pengukuran apabila prosedur pengukuran tidak dilakukan secara konsisten. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang melaporkan bahwa sensor MLX90614 memiliki sensitivitas tinggi dan stabilitas yang baik untuk aplikasi pengukuran suhu tubuh tanpa kontak [10].

Sensor MAX30102 memperoleh tingkat akurasi sebesar 98,24%, yang menunjukkan bahwa sensor mampu menghasilkan pengukuran detak jantung yang mendekati alat referensi. Sensor ini bekerja menggunakan metode photoplethysmography (PPG), yaitu mendeteksi perubahan volume darah melalui intensitas cahaya yang dipantulkan oleh jaringan tubuh. Oleh karena itu, kualitas sinyal PPG sangat dipengaruhi oleh posisi jari pada sensor, tekanan jari terhadap permukaan sensor, intensitas cahaya lingkungan, serta artefak gerakan (motion artifact).

Selama proses pengujian, responden diupayakan berada dalam kondisi istirahat dan posisi jari dijaga tetap untuk meminimalkan gangguan tersebut. Namun demikian, variasi kecil pada posisi jari maupun gerakan tubuh masih dapat menyebabkan fluktuasi sinyal sehingga menghasilkan perbedaan kecil terhadap hasil pengukuran menggunakan pulse oximeter. Rata-rata kesalahan sebesar 1,76% menunjukkan bahwa sensor MAX30102 masih memiliki tingkat keandalan yang baik untuk aplikasi monitoring detak jantung berbasis IoT [9].

Berbeda dengan kedua sensor lainnya, sensor HX710B menghasilkan tingkat akurasi sebesar 95,38%, yang merupakan nilai akurasi terendah di antara ketiga sensor yang digunakan. Meskipun demikian, tingkat akurasi tersebut masih menunjukkan kesesuaian yang baik terhadap alat referensi untuk keperluan pemantauan kesehatan secara real-time. Nilai deviasi yang lebih besar dibandingkan sensor MAX30102 dan MLX90614 disebabkan oleh karakteristik pengukuran tekanan darah yang memiliki kompleksitas lebih tinggi dibandingkan pengukuran detak jantung maupun suhu tubuh.

Pengukuran tekanan darah dilakukan menggunakan metode osilometrik yang bergantung pada perubahan tekanan udara di dalam manset selama proses inflasi dan deflasi. Penentuan nilai tekanan sistolik dan diastolik diperoleh dari analisis pola osilasi tekanan, sehingga akurasinya sangat dipengaruhi oleh kestabilan tekanan udara, kecepatan pelepasan tekanan, posisi pemasangan manset pada lengan, serta posisi lengan terhadap tinggi jantung. Selain itu, kemungkinan adanya kebocoran kecil pada sistem pneumatik, respons fisiologis setiap responden, maupun pergerakan lengan selama proses pengukuran dapat menyebabkan perubahan amplitudo osilasi sehingga meningkatkan deviasi hasil pengukuran dibandingkan alat referensi [11].

Hasil pengujian pada Tabel 5 menunjukkan bahwa responden 2 dan responden 4 memiliki nilai kesalahan yang lebih besar dibandingkan responden lainnya. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa proses pengukuran tekanan darah lebih sensitif terhadap variasi posisi manset, kestabilan tekanan udara, dan kondisi fisiologis responden dibandingkan parameter detak jantung maupun suhu tubuh. Oleh karena itu, konsistensi prosedur pengukuran menjadi faktor penting untuk memperoleh hasil yang lebih akurat.

Temuan ini menunjukkan bahwa sensor HX710B masih layak digunakan sebagai bagian dari sistem monitoring tekanan darah berbasis IoT. Namun, peningkatan akurasi masih dapat dilakukan melalui proses kalibrasi yang lebih baik, optimasi algoritma pengolahan sinyal osilometrik, serta pengendalian proses inflasi dan deflasi manset agar perubahan tekanan berlangsung lebih stabil.

Dari aspek komunikasi data, seluruh hasil pengukuran berhasil dikirimkan ke aplikasi Blynk melalui jaringan Wi-Fi dan ditampilkan sesuai dengan data yang muncul pada LCD. Hal tersebut menunjukkan bahwa mekanisme komunikasi antara ESP32 dan platform Blynk telah berjalan dengan baik sehingga pengguna dapat memantau nilai detak jantung, suhu tubuh, dan tekanan darah secara real-time melalui perangkat bergerak. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa platform Blynk efektif digunakan sebagai antarmuka monitoring IoT berbasis ESP32 karena mampu menyediakan visualisasi data secara real-time dan mendukung pemantauan jarak jauh [13].

Meskipun demikian, penelitian ini hanya mengevaluasi aspek fungsional komunikasi, yaitu keberhasilan pengiriman dan sinkronisasi data antara perangkat dan aplikasi Blynk. Parameter Quality of Service (QoS), seperti latency, packet loss, throughput, dan jitter, belum dianalisis sehingga performa komunikasi jaringan secara kuantitatif belum dapat disimpulkan. Dengan demikian, klaim sistem bekerja secara real-time pada penelitian ini masih terbatas pada keberhasilan fungsional pengiriman data dan belum mencakup evaluasi performa jaringan secara kuantitatif. Oleh karena itu, evaluasi QoS perlu dilakukan pada penelitian selanjutnya untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai keandalan komunikasi data pada sistem monitoring kesehatan berbasis IoT [15].

Tabel 7. Perbandingan sistem yang dikembangkan dengan penelitian terdahulu

Penelitian	Parameter yang Dimonitor	Platform/Sistem	Monitoring Real-Time
Hakim <i>et al.</i> [1]	Detak jantung, suhu tubuh	ESP32	Ya
Andriani <i>et al.</i> [7]	Detak jantung, SpO ₂ , suhu tubuh	ESP32–Blynk	Ya
Nur <i>et al.</i> [8]	Detak jantung, suhu tubuh	ESP8266–ThingSpeak *	Ya
Penelitian ini	Detak jantung, suhu tubuh, tekanan darah	ESP32–Blynk + LCD	Ya

Berdasarkan Tabel 7, penelitian yang dikembangkan memiliki keunggulan dibandingkan penelitian terdahulu dalam hal integrasi parameter fisiologis dan sistem monitoring. Penelitian sebelumnya umumnya hanya memonitor satu atau dua parameter fisiologis menggunakan platform IoT tertentu [1], [7], [8], sedangkan penelitian ini mengintegrasikan tiga parameter utama tanda vital, yaitu detak jantung, suhu tubuh, dan tekanan darah, ke dalam satu sistem berbasis ESP32 yang dilengkapi tampilan lokal menggunakan LCD serta monitoring real-time melalui platform Blynk. Integrasi tersebut menghasilkan sistem monitoring yang lebih

komprehensif sehingga berpotensi mendukung implementasi layanan telemedicine dan remote patient monitoring [16].

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem monitoring multi-parameter tanda vital berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan ESP32 yang mampu mengintegrasikan pengukuran detak jantung, suhu tubuh, dan tekanan darah dalam satu perangkat. Sistem berhasil melakukan akuisisi data multisensor, menampilkan hasil pengukuran pada LCD, serta mengirimkan data secara real-time ke aplikasi Blynk melalui jaringan Wi-Fi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor MLX90614 memperoleh tingkat akurasi tertinggi sebesar 99,62%, diikuti sensor MAX30102 sebesar 98,24%, sedangkan sensor HX710B mencapai akurasi sebesar 95,38%. Kontribusi penelitian ini terletak pada integrasi tiga parameter utama tanda vital dalam satu sistem berbasis ESP32 yang mendukung pemantauan kesehatan secara real-time, sehingga berpotensi mendukung implementasi layanan telemedicine dan remote patient monitoring.

Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki keterbatasan, yaitu jumlah responden yang terbatas, analisis data yang masih bersifat deskriptif, serta belum dilakukannya evaluasi parameter Quality of Service (QoS) pada komunikasi jaringan. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan melibatkan jumlah responden yang lebih besar dan beragam, menerapkan analisis statistik yang lebih komprehensif, mengevaluasi performa komunikasi jaringan berdasarkan parameter QoS, serta mengembangkan metode pengolahan sinyal atau algoritma kecerdasan buatan untuk meningkatkan akurasi sistem, khususnya pada pengukuran tekanan darah.

Daftar Rujukan

- [1] D. A. Hakim, M. A. Falah, and M. H. Dzikri, "A Device for Detecting Patient Heart Rate and Body Temperature Based on ESP-32," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Electronics*, vol. 2, no. 2, pp. 47–53, Jun. 2025.
- [2] A. Rejeb, K. Rejeb, S. Zailani, J. G. Keogh, and H. Treiblmaier, "The Internet of Things (IoT) in Healthcare: Taking Stock and Moving Forward," *Internet of Things*, vol. 22, Art. no. 100721, 2023, doi: 10.1016/j.iot.2023.100721.
- [3] F. Almulhim et al., "IoT-Based Healthcare-Monitoring System towards Improving Quality of Life: A Review," *Healthcare*, vol. 10, no. 11, Art. no. 2105, 2022.
- [4] Y. Ma et al., "Telemedicine Application in Patients with Chronic Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis," *BMC Medical Informatics and Decision Making*, vol. 22, Art. no. 105, 2022, doi: 10.1186/S12911-022-01845-2.
- [5] R. Uddin and I. Koo, "Real-Time Remote Patient Monitoring: A Review of Biosensors Integrated with Multi-Hop IoT Systems via Cloud Connectivity," *Applied Sciences*, vol. 14, no. 5, Art. no. 1876, 2024, doi: 10.3390/app14051876.
- [6] M. S. Yazariz, N. Sohrabi Safa, and M. A. Azad, "Edge Computing in IoT for Smart Healthcare," *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, vol. 16, no. 4, pp. 409–438, 2024, doi: 10.3233/AIS-230009.
- [7] N. Andriani, A. Siswanto, M. Faris, M. Fuzi, R. Adderley, and J. M. Gining, "Monitoring System for Heart Rate, Blood Oxygen Level, and Body Temperature Using MAX30102 Sensor Based on Internet of Things," *International Journal of Scientific Research*, pp. 56–60, Aug. 2024, doi: 10.25299/ijsr.2024.23687.
- [8] N. Nur, A. Romadhini, A. Kholiq, T. Rahmawati, and F. Masood, "Monitoring BPM and Body Temperature Based Internet of Things (IoT) ThingSpeak Platform," *Jurnal Teknokes*, vol. 16, no. 3, pp. 130–137, 2023.
- [9] Muthmainnah, D. B. Tabriawan, and I. Tazi, "Karakterisasi Sensor MAX30102 Sebagai Alat Ukur Detak Jantung dan Suhu Tubuh Berbasis Photoplethysmograph," *Jurnal Pendidikan MIPA*, vol. 12, no. 3, pp. 726–731, 2022, doi: 10.37630/jpm.v12i3.655.
- [10] Mukhammad and A. S. Hyperastuty, "Sensitivitas Sensor MLX90614 Sebagai Alat Pengukur Suhu Tubuh Non-Contact pada Manusia," *IJPN*, vol. 1, no. 2, pp. 51–53, 2020, doi: 10.30587/ijpn.v1i2.2339.
- [11] R. Ashshiddiq and B. Rahmadya, "Rancang Alat Pengukur Tekanan Darah Otomatis Berbasis Internet of Things," *Chipset*, vol. 4, no. 1, pp. 23–35, 2023.
- [12] M. Zuhri, F. I. Karin, A. A. Setiawan, and A. Setiawan, "Rancang Bangun Sistem dan Aplikasi Pengukur Berat Badan dan Tekanan Darah Self-Service Berbasis Mikrokontroler ESP32," *Journal of Internet and Software Engineering*, vol. 2, no. 4, pp. 1–23, 2025, doi: 10.47134/pjise.v2i4.5017.
- [13] W. Setianto, D. A. Aji, I. D. Laksana, S. Giovanka, and V. Saputra, "Evaluasi Kinerja dan Skalabilitas Platform Blynk untuk Aplikasi Internet of Things (IoT)," *ELANG: Journal of Interdisciplinary Research*, vol. 3, no. 1, pp. 46–52, 2025.
- [14] S. Kouchaki, X. Ding, and S. Sanei, "AI- and IoT-Enabled Solutions for Healthcare," *Sensors*, vol. 24, no. 8, Art. no. 2607, 2024, doi: 10.3390/s24082607.
- [15] G. Gopichand et al., "Use of IoT Sensor Devices for Efficient Management of Healthcare Systems: A Review," *Discover Internet of Things*, vol. 4, Art. no. 8, 2024.
- [16] R. L. Bashshur, J. D. Howell, E. A. Krupinski, K. M. Harms, N. Bashshur, and C. R. Doarn, "The Empirical Foundations of Telemedicine Interventions in Primary Care," *Telemedicine and e-Health*, vol. 22, no. 5, pp. 342–375, 2016, doi: 10.1089/tmj.2016.0045.