

Design and Development of an IoT-Based Vital Sign Monitoring System Using Mamdani Fuzzy Logic and Firebase Realtime Database

Putri Liana ^{1*}, Muhammad Jauhar Vikri ², April Evan Pajri³

* Teknik Informatika, Universitas Nahdlatul Ulama Sunan Giri

** Sistem Komputer, Universitas Nahdlatul Ulama Sunan Giri

putriliana@unugiri.ac.id ¹, vikri@unugiri.ac.id ², afri@unugiri.ac.id ³

Article Info

Article history:

Received 2026-07-27

Revised 2026-08-30

Accepted 2026-10-17

Keyword:

*Internet of Things,
Vital Sign Monitoring,
Fuzzy Mamdani,
Firebase Realtime Database,
Sensor.*

ABSTRACT

Vital sign monitoring plays an important role in supporting early detection of health conditions. However, most Internet of Things (IoT)-based health monitoring systems are limited to displaying physiological data without providing automatic health status classification and integrated real-time cloud-based monitoring. This study aims to design and develop an IoT-based vital sign monitoring system using Mamdani Fuzzy Logic and Firebase Realtime Database to classify health conditions into Normal, Alert, and Emergency categories. The proposed system employs a NodeMCU ESP8266 microcontroller, a MAX30102 sensor to measure heart rate and blood oxygen saturation (SpO₂), an MLX90614 sensor to measure body temperature, Firebase Realtime Database for cloud data synchronization, and a web-based monitoring dashboard. The Mamdani Fuzzy method utilizes three input variables with 15 fuzzy rules, Max–Min inference, and centroid defuzzification. Sensor validation was conducted on five healthy adult respondents aged 25–30 years by comparing the sensor measurements with reference medical devices. The MLX90614 sensor achieved a Mean Absolute Error (MAE) of 0.136°C, a Root Mean Square Error (RMSE) of 0.140°C, and a correlation coefficient of 0.998. For heart rate measurement, the MAX30102 sensor produced an MAE of 1.6 BPM, an RMSE of 1.673 BPM, and a correlation coefficient of 0.956, while SpO₂ measurement resulted in an MAE of 1.2%, an RMSE of 1.265%, and a correlation coefficient of 0.968. Verification of the Mamdani Fuzzy implementation against MATLAB simulation showed an average difference of 0.37 on a fuzzy output scale of 0–100 without affecting the resulting health status classification. The developed system successfully performs real-time vital sign monitoring and automatic health status classification through a web interface and Firebase Realtime Database. Nevertheless, the system is intended as an initial health monitoring support tool rather than a medical diagnostic device, as clinical validation with healthcare professionals has not yet been conducted.



This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

I. PENDAHULUAN

Kesehatan merupakan hal yang penting dan tidak dapat dipisahkan dari kehidupan manusia karena jika manusia tidak memiliki Kesehatan yang baik maka manusia akan kesulitan dalam melakukan aktivitas sehari-hari [1]. Kesehatan tubuh merupakan elemen vital yang perlu diperhatikan karena sangat penting dalam menunjang berbagai kehidupan manusia [2], [3]. Namun, di banyak fasilitas kesehatan,

terutama di daerah pedesaan, proses pemantauan masih dilakukan secara manual sehingga memperlambat penanganan pasien dan menurunkan efektivitas pelayanan, khususnya dalam kondisi darurat[4]. Saat ini Alat monitoring suhu tubuh, detak jantung dan tekanan darah secara umum pemeriksaan masih melalui tatap muka dengan dokter [5].

Internet of Things (IoT) adalah revolusi teknologi yang merepresentasikan masa depan komputasi dan komunikasi,

dan perkembangannya bergantung pada inovasi teknis yang dinamis di sejumlah bidang penting, mulai dari sensor nirkabel hingga teknologi nano [6]. Komunikasi nirkabel telah mengalami banyak perkembangan terkini yang berdampak signifikan pada pengembangan sistem pemantauan kesehatan cerdas. Secara khusus, terdapat peningkatan permintaan untuk pemantauan pasien jarak jauh, serta untuk perangkat medis yang dapat dikenakan dan transmisi data fisiologis secara real-time [3], [7], [8]. IoT berkerja dengan sistem yang menghubungkan objek fisik melalui jaringan internet dengan proses pertukaran data dan dapat dikendalikan melalui jarak jauh [9]. Teknologi IoT sudah banyak dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari dan dapat memudahkan pengguna memantau serta mengendalikan teknologi dimanapun dan kapanpun [10]. Dibandingkan dengan lingkungan internet tradisional, sistem IoT biasanya dicirikan oleh heterogenitas perangkat yang kuat, beragam protokol komunikasi, keterbatasan sumber daya, dan konektivitas online jangka Panjang [11]

Teknologi kesehatan saat ini banyak sekali teknologi yang terus dikembangkan salah satunya, Penelitian oleh [12] mengembangkan sistem monitoring kesehatan berbasis IoT untuk memantau suhu tubuh, detak jantung, dan saturasi oksigen secara real-time menggunakan sensor MAX30102, DS18B20, NodeMCU ESP8266, dan aplikasi Blynk. Penelitian oleh [13] mengembangkan alat pengukur suhu tubuh pintar berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan sensor MLX90614, NodeMCU ESP8266, dan aplikasi Blynk untuk melakukan pemantauan suhu tubuh secara real-time. Sistem yang dikembangkan mampu menampilkan hasil pengukuran melalui LCD OLED, aplikasi Blynk, dan notifikasi suara dengan tingkat akurasi mencapai 99,33%. Penelitian oleh [14] menunjukkan bahwa penerapan Internet of Things (IoT) memberikan manfaat dalam meningkatkan efisiensi layanan kesehatan dan mendukung pemantauan kesehatan jarak jauh. Selanjutnya, [15] mengkaji pengembangan aplikasi mobile berbasis Android yang terintegrasi dengan sensor IoT dan Firebase untuk monitoring kesehatan secara real-time. Namun, berdasarkan penelitian terdahulutersebut belum menerapkan metode Fuzzy Mamdani untuk menganalisis kondisi kesehatan pengguna secara otomatis, sehingga masih terdapat peluang pengembangan pada aspek pengambilan keputusan berbasis kecerdasan dan juga belum terintegrasi pada firebase real time.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat diketahui bahwa penelitian-penelitian sebelumnya yang memanfaatkan sensor MAX30102, MLX90614, maupun integrasi Firebase pada umumnya masih berfokus pada pemantauan parameter fisiologis dan penyajian data mentah tanpa mekanisme klasifikasi kondisi kesehatan secara otomatis. Selain itu, sebagian besar penelitian masih menggunakan pendekatan berbasis threshold sederhana atau hanya mengimplementasikan logika fuzzy tanpa disertai validasi implementasi algoritma maupun evaluasi kinerja sensor secara kuantitatif. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini mengidentifikasi research gap, yaitu belum tersedianya sistem

monitoring kesehatan berbasis Internet of Things (IoT) yang tidak hanya mengintegrasikan metode Fuzzy Mamdani untuk mengklasifikasikan kondisi kesehatan ke dalam kategori Normal, Waspada, dan Darurat berdasarkan ambang klinis, tetapi juga memverifikasi implementasi algoritma menggunakan simulasi MATLAB, memvalidasi akurasi sensor terhadap alat medis pembanding, serta menyediakan sinkronisasi data secara real-time melalui Firebase Realtime Database yang terhubung dengan dashboard berbasis web. Oleh karena itu, kontribusi utama penelitian ini tidak hanya terletak pada integrasi teknologi IoT, Fuzzy Mamdani, dan cloud database, tetapi juga pada penyediaan suatu sistem monitoring kesehatan berbiaya rendah yang telah divalidasi melalui pengujian akurasi sensor, diverifikasi terhadap implementasi algoritma menggunakan MATLAB, serta mampu melakukan klasifikasi kondisi kesehatan secara otomatis berdasarkan parameter klinis untuk mendukung pemantauan kesehatan jarak jauh secara real-time.

Penelitian bertujuan untuk merancang dan membangun sistem monitoring kesehatan real-time berbasis IoT yang mengintegrasikan sensor MAX30102 dan MLX90614, mikrokontroler ESP 8266, Firebase Realtime Database, dan metode Fuzzy Mamdani untuk klasifikasi kondisi kesehatan. Sistem ini diharapkan dapat membantu tenaga medis dalam memantau kondisi pasien secara cepat dan akurat.

II. METODE

A. Analisis Kebutuhan

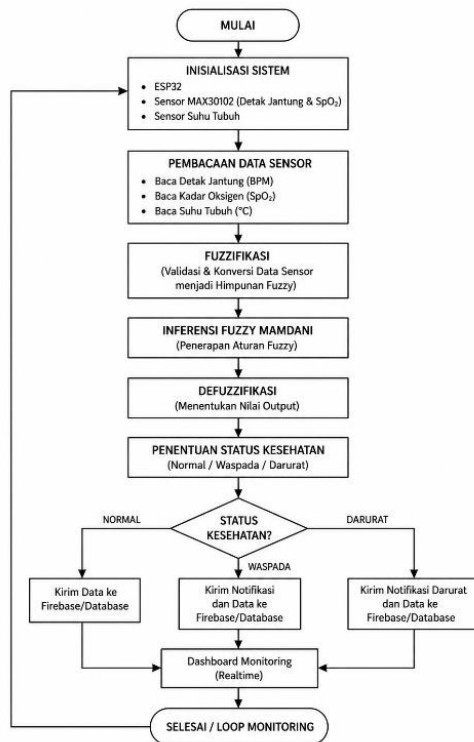
Pada tahap analisis kebutuhan, dilakukan identifikasi terhadap komponen perangkat keras dan perangkat lunak yang diperlukan untuk membangun sistem monitoring kesehatan berbasis IoT. Sistem ini dirancang untuk memantau tiga parameter vital secara real-time, yaitu detak jantung (BPM), saturasi oksigen darah (SpO2), dan suhu tubuh. Sensor MAX30100 digunakan untuk mendeteksi BPM dan SpO2 dengan memanfaatkan prinsip photoplethysmography (PPG), yakni memancarkan cahaya merah dan inframerah melalui dioda LED kemudian mendeteksi cahaya yang dipantulkan oleh aliran darah [16]. Sensor MLX90614 digunakan untuk mengukur suhu tubuh secara non-kontak menggunakan teknologi inframerah. Mikrokontroler ESP32 dipilih sebagai unit pemroses utama karena memiliki kemampuan konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth yang terintegrasi serta daya komputasi yang memadai untuk menjalankan algoritma Fuzzy Mamdani.

B. Alur Kerja Sistem

Sistem menunjukkan alur kerja alat monitoring kesehatan dimulai dari proses inisialisasi sistem hingga pengiriman data ke sistem monitoring yang terdapat pada gambar 1. Tahapan pertama dimulai dengan inisialisasi mikrokontroler NodeMCU ESP8266 dan seluruh sensor yang digunakan. Kemudian sistem membaca data dari sensor. Pembacaan data dari sensor kemudian diproses menggunakan metode logika

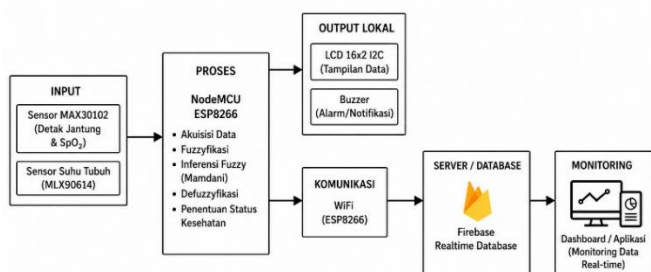
fuzzy mamdani untuk menentukan status kondisi kesehatan yaitu normal, waspada, atau darurat. Hasil keseluruhan pembacaan *output* sistem ditampilkan pada LCD s

erta dikirimkan ke firebase untuk ditampilkan pada website monitoring. Proses monitoring akan berjalan secara terus menerus selama sistem aktif sehingga kondisi dapat dipantau secara real-time.



Gambar 1. Flowchart sistem

Blok diagram sistem monitoring kesehatan terdiri dari berbagai komponen yang digunakan dalam alat monitoring berbasis IoT. Diagram blok system deteksi Kesehatan pada gambar 2, dimana sistem terdiri dari tiga bagian utama yaitu *input*, *proses*, dan *output*. Pada bagian input terdiri dari tiga sensor yaitu MPU6050, MAX30102, dan MLX90614 yang berfungsi untuk membaca kondisi fisik. Data dari pembacaan sensor kemudian dikirimkan ke NodeMCU ESP8266 untuk diproses dan menghasilkan output yang ditampilkan pada lcd I2C dan monitoring melalui website.



Gambar 2. Diagram Blok

C. Implementasi Fuzzy Mamdani

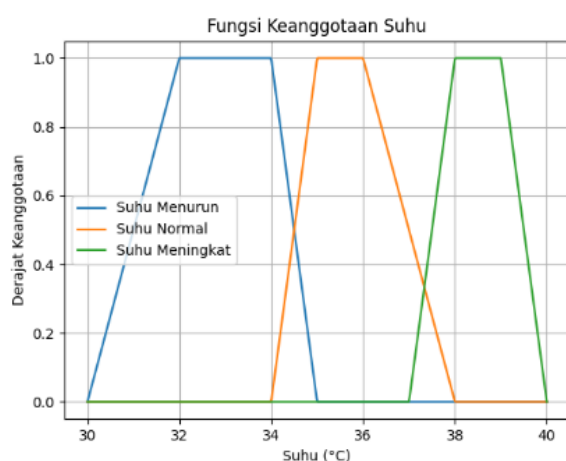
Penelitian monitoring kesehatan menggunakan metode fuzzy Mamdani karena keunggulannya dalam menangani berbagai karakteristik kompleks dan non-linier dalam sistem kontrol, terutama dalam mengelola variabel masukan yang bersifat linguistik dan tidak pasti [17]. Metode Fuzzy Mamdani dipilih dibandingkan Fuzzy Sugeno, pendekatan machine learning, maupun metode berbasis threshold karena penelitian ini memerlukan klasifikasi kondisi kesehatan ke dalam kategori linguistik (normal, waspada, dan darurat) berdasarkan kombinasi suhu tubuh, detak jantung (BPM), dan saturasi oksigen (SpO₂) yang memiliki batas nilai saling tumpang tindih. Dibandingkan Fuzzy Sugeno yang menghasilkan keluaran berupa nilai crisp, metode Mamdani menghasilkan keluaran berbentuk himpunan fuzzy yang dapat difuzzifikasi menjadi kategori linguistik sehingga lebih mudah diinterpretasikan pada sistem pendukung keputusan di bidang kesehatan [17].

Selain itu, metode Mamdani mampu merepresentasikan pengetahuan pakar dalam bentuk rule base yang transparan tanpa memerlukan proses pelatihan model seperti pada sebagian besar pendekatan machine learning, sehingga lebih sesuai dengan karakteristik penelitian ini [18]. Sementara itu, metode berbasis threshold menggunakan batas nilai yang bersifat tegas sehingga kurang mampu merepresentasikan transisi bertahap antar kondisi fisiologis. Meskipun metode machine learning berpotensi memberikan akurasi yang lebih tinggi apabila tersedia dataset berlabel dalam jumlah besar, metode tersebut memerlukan proses pelatihan dan validasi yang lebih kompleks. Oleh karena itu, metode Mamdani dipilih karena lebih fleksibel dalam menangani ketidakpastian data hasil pengukuran sensor, mudah diinterpretasikan, serta memiliki kompleksitas komputasi yang rendah untuk diimplementasikan pada NodeMCU ESP8266. Namun demikian, penelitian ini belum melakukan perbandingan kinerja secara eksperimental dengan metode klasifikasi lain, sehingga belum dapat disimpulkan bahwa metode Mamdani merupakan pendekatan yang paling optimal untuk kasus monitoring kesehatan. Rentang nilai normal pada Tabel 1 mengacu pada referensi klinis pada penelitian [19] dan digunakan sebagai dasar penyusunan fungsi keanggotaan serta rule base.

TABEL 1.
INDIKATOR KONDISI KESEHATAN

Parameter	Rentang Normal
Detak Jantung	60-100 BPM
SpO ₂	95-100%
Suhu Tubuh	36-37.5 C

Tahapan Fungsi keanggotaan fuzzy mamdani dalam system monitoring kesehatan didefinisikan menggunakan bentuk trapesium untuk mewakili transisi bertahap antara kondisi suhu tubuh, detak jantung, kadar oksigen dalam darah. Pada gambar 3, merupakan fungsi keanggotaan suhu tubuh Dimana dibagi menjadi suhu menurun, suhu normal dan suhu meningkat.



Gambar 3. Fungsi Keanggotaan Suhu

Fungsi keanggotaan suhu gambar 3, yaitu membagi nilai suhu tubuh menjadi tiga himpunan fuzzy yaitu suhu menurun, suhu normal, dan suhu meningkat pada rentang nilai sekitar 30–40 °C.

$$\mu_{Menurun}(x) = \begin{cases} 0 & x < 30 \text{ atau } x > 35 \\ \frac{x-30}{32-30} & 30 \leq x \leq 32 \\ 1 & 32 \leq x \leq 34 \\ \frac{35-x}{35-34} & 34 \leq x \leq 35 \end{cases} \quad (1)$$

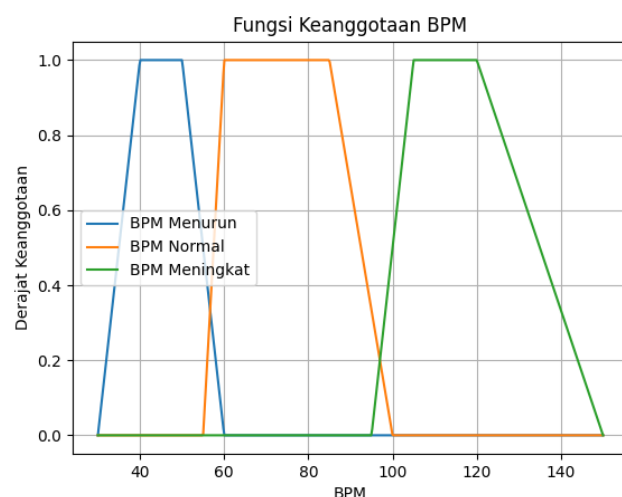
Fungsi keanggotaan suhu menurun pada persamaan (1), bernilai 0 di luar 30–35 °C, meningkat linier pada 30–32 °C, bernilai 1 pada 32–34 °C, dan menurun pada 34–35 °C.

$$\mu_{Normal}(x) = \begin{cases} 0 & x < 34 \text{ atau } x > 38 \\ \frac{x-34}{36-34} & 34 \leq x \leq 36 \\ 1 & 36 \leq x \leq 37 \\ \frac{38-x}{38-37} & 37 \leq x \leq 38 \end{cases} \quad (2)$$

Persamaan (2), fungsi suhu normal bernilai 0 di luar 34–38 °C, meningkat pada 34–36 °C, bernilai 1 pada 36–37 °C, dan menurun pada 37–38 °C.

$$\mu_{Meningkat}(x) = \begin{cases} 0 & x < 37 \text{ atau } x > 40 \\ \frac{x-37}{38-37} & 37 \leq x \leq 38 \\ 1 & 38 \leq x \leq 39 \\ \frac{40-x}{40-39} & 39 \leq x \leq 40 \end{cases} \quad (3)$$

Fungsi suhu meningkat pada persamaan (3), yaitu bernilai 0 di luar 37–40 °C, meningkat pada 37–38 °C, bernilai 1 pada 38–39 °C, dan menurun pada 39–40 °C.



Gambar 4. Fungsi Keanggotaan Detak Jantung

Gambar 4, Fungsi keanggotaan BPM dengan dibagi menjadi tiga kategori detak jantung yaitu BPM menurun, BPM normal, dan BPM meningkat dengan rentang nilai sekitar 40–150 BPM.

$$\mu_{Menurun}(x) = \begin{cases} 0 & x < 40 \text{ atau } x > 65 \\ \frac{x-40}{50-40} & 40 \leq x \leq 50 \\ 1 & 50 \leq x \leq 60 \\ \frac{65-x}{65-60} & 60 \leq x \leq 65 \end{cases} \quad (4)$$

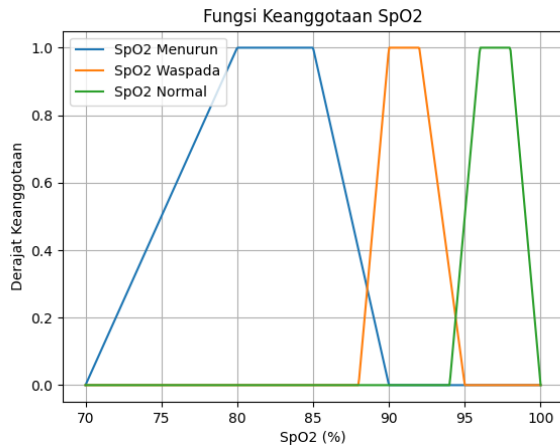
persamaan (4), merupakan fungsi BPM menurun bernilai 0 di luar 40–65 BPM, meningkat pada 40–50 BPM, bernilai 1 pada 50–60 BPM, dan menurun pada 60–65 BPM.

$$\mu_{Normal}(x) = \begin{cases} 0 & x < 55 \text{ atau } x > 95 \\ \frac{x-55}{65-55} & 55 \leq x \leq 65 \\ 1 & 65 \leq x \leq 85 \\ \frac{95-x}{95-85} & 85 \leq x \leq 95 \end{cases} \quad (5)$$

Fungsi BPM normal pada persamaan (5), bernilai 0 di luar 55–95 BPM, meningkat pada 55–65 BPM, bernilai 1 pada 65–85 BPM, dan menurun pada 85–95 BPM.

$$\mu_{Meningkat}(x) = \begin{cases} 0 & x < 90 \text{ atau } x > 150 \\ \frac{x-90}{100-90} & 90 \leq x \leq 100 \\ 1 & 100 \leq x \leq 120 \\ \frac{150-x}{150-120} & 120 \leq x \leq 150 \end{cases} \quad (6)$$

Persamaan (6), merupakan fungsi BPM meningkat bernilai 0 di luar 90–150 BPM, meningkat pada 90–100 BPM, bernilai 1 pada 100–120 BPM, dan menurun pada 120–150 BPM.

Gambar 5. Fungsi Keanggotaan SpO₂

Fungsi keanggotaan SpO₂ gambar 5, Terbagi menjadi tiga kategori yaitu SpO₂ menurun, SpO₂ waspada, dan SpO₂ normal pada rentang nilai sekitar 70–100%. Pembagian digunakan untuk merepresentasikan kondisi kadar oksigen dalam darah berdasarkan nilai yang diperoleh dari sensor.

$$\mu_{Menurun}(x) = \begin{cases} 0 & x < 70 \text{ atau } x > 95 \\ \frac{x-70}{80-70} & 70 \leq x \leq 80 \\ 1 & 80 \leq x \leq 85 \\ \frac{90-x}{90-85} & 85 \leq x \leq 90 \end{cases} \quad (7)$$

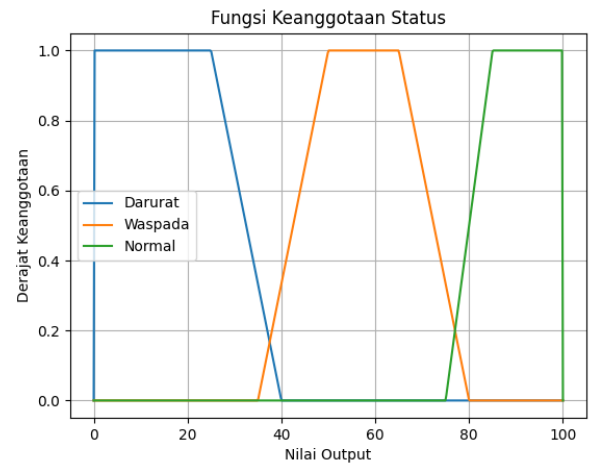
Persamaan (7) merepresentasikan fungsi keanggotaan SpO₂ menurun dengan nilai 0 di luar rentang 70–90%. Nilai keanggotaan meningkat linier pada 70–80%, mencapai nilai maksimum pada 80–85%, dan menurun kembali pada 85–90%.

$$\mu_{Waspada}(x) = \begin{cases} 0 & x < 88 \text{ atau } x > 96 \\ \frac{x-88}{92-88} & 88 \leq x \leq 92 \\ 1 & 92 \leq x \leq 94 \\ \frac{96-x}{96-94} & 94 \leq x \leq 96 \end{cases} \quad (8)$$

Persamaan (8) menunjukkan fungsi keanggotaan SpO₂ waspada dengan nilai 0 di luar rentang 88–96%. Nilai meningkat pada 88–92%, bernilai maksimum pada 92–94%, dan menurun pada 94–96%.

$$\mu_{Normal}(x) = \begin{cases} 0 & x < 94 \text{ atau } x > 100 \\ \frac{x-94}{96-94} & 94 \leq x \leq 96 \\ 1 & 96 \leq x \leq 98 \\ \frac{100-x}{100-98} & 98 \leq x \leq 100 \end{cases} \quad (9)$$

Persamaan (9) menggambarkan fungsi keanggotaan SpO₂ normal dengan nilai 0 di luar rentang 94–100%. Nilai meningkat pada 94–96%, mencapai maksimum pada 96–98%, dan menurun pada 98–100%.



Gambar 6. Fungsi Keanggotaan Output status

Berdasarkan Gambar 6, sistem fuzzy menggunakan tiga himpunan keanggotaan yaitu Darurat, Waspada, dan Normal. Himpunan Darurat berbentuk trapesium pada rentang 0–40, Waspada berbentuk segitiga pada rentang 40–80 dengan puncak pada nilai 60, sedangkan Normal berbentuk trapesium pada rentang 80–100 dengan nilai keanggotaan maksimum pada nilai di atas 90.

$$\mu_{Darurat}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1, & 0 < x \leq 30 \\ \frac{40-x}{40-30}, & 30 < x \leq 40 \\ 0, & x > 40 \end{cases} \quad (10)$$

Fungsi keanggotaan status darurat pada persamaan (10), yaitu dengan nilai maksimum pada rentang 0–30. Nilai keanggotaan kemudian menurun secara linier pada 30–40 dan bernilai 0 di luar rentang tersebut.

$$\mu_{Waspada}(x) = \begin{cases} 0 & x < 30 \text{ atau } x > 80 \\ \frac{x-30}{50-30} & 30 \leq x \leq 50 \\ 1 & 50 \leq x \leq 70 \\ \frac{80-x}{80-70} & 70 \leq x \leq 80 \end{cases} \quad (11)$$

Persamaan (11) menunjukkan fungsi keanggotaan status waspada dengan nilai 0 di luar 30–80. Nilai meningkat linier pada 30–50, mencapai maksimum pada 50–70, dan menurun pada 70–80.

$$\mu_{Normal}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 75 \\ \frac{x-75}{85-75}, & 75 < x \leq 85 \\ 1, & 85 < x \leq 100 \\ 0, & x > 100 \end{cases} \quad (12)$$

Persamaan (12) merupakan fungsi keanggotaan status normal dengan nilai 0 di bawah 75, meningkat pada 75–85, dan mencapai nilai maksimum pada rentang 85–100. Sistem fuzzy menggunakan tiga variabel input, yaitu suhu tubuh, detak jantung (heart rate), dan saturasi oksigen (SpO₂), serta satu variabel output berupa status kondisi

kesehatan yang diklasifikasikan menjadi Normal, Waspada, dan Darurat. Masing-masing variabel input direpresentasikan menggunakan fungsi keanggotaan berdasarkan rentang nilai fisiologis yang mengacu pada referensi klinis yang digunakan dalam penelitian [19]. Sebanyak 15 aturan (rule base) disusun berdasarkan kombinasi parameter fisiologis yang diperoleh dari studi literatur dan referensi ilmiah mengenai batas normal maupun abnormal suhu tubuh, detak jantung, dan saturasi oksigen, kemudian diimplementasikan menggunakan pendekatan inferensi Fuzzy Mamdani [19]. Dengan demikian, penyusunan aturan fuzzy didasarkan pada bukti yang dilaporkan dalam literatur ilmiah. Proses inferensi menggunakan metode Max–Min Mamdani, yaitu operator AND menggunakan nilai minimum (minimum operator) dan agregasi antaraturan menggunakan nilai maksimum (maximum operator). Selanjutnya, proses defuzzification dilakukan menggunakan metode Centroid (Center of Area) untuk menghasilkan nilai keluaran tegas pada rentang 0–100 yang kemudian dipetakan ke dalam kategori Normal, Waspada, atau Darurat.

Tabel 2
Fuzzy rule

Suhu	bpm	Spo2	Output
Normal	Normal	Normal	Normal
Normal	Normal	Waspada	Waspada
Meningkat	Normal	Normal	Waspada
Normal	Meningkat	Normal	Waspada
Meningkat	Meningkat	Normal	Waspada
Menurun	Menurun	Normal	Waspada
Normal	Normal	Menurun	Darurat
Meningkat	Normal	Menurun	Darurat
Normal	Meningkat	Menurun	Darurat
Meningkat	Meningkat	Menurun	Darurat
Menurun	Menurun	Menurun	Darurat
Meningkat	Meningkat	Waspada	Darurat
Normal	Menurun	Menurun	Darurat
Menurun	Normal	Menurun	Darurat
Meningkat	Menurun	menurun	Darurat

D. Pengujian

Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sistem monitoring kesehatan yang dikembangkan mampu bekerja dengan baik serta menghasilkan data yang akurat. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor pada sistem terhadap alat ukur referensi yang umum digunakan dalam bidang kesehatan. Sensor MAX30102 divalidasi menggunakan pulse oximeter sebagai alat pembanding untuk mengukur detak jantung (heart rate) dan saturasi oksigen (SpO_2), sedangkan sensor MLX90614 divalidasi menggunakan termometer digital untuk mengukur suhu tubuh.

Pengujian melibatkan lima responden dewasa sehat yang terdiri atas tiga laki-laki dan dua perempuan dengan rentang usia 25–30 tahun. Seluruh responden tidak memiliki riwayat penyakit kardiovaskular, gangguan pernapasan, maupun

demam pada saat pengujian berlangsung. Sebelum proses pengambilan data, responden diminta beristirahat selama kurang lebih lima menit untuk menstabilkan kondisi fisiologis. Setiap parameter diukur sebanyak satu kali pada posisi duduk di dalam ruangan dengan suhu lingkungan normal. Selama proses pengukuran, responden diminta menjaga posisi jari tetap stabil pada sensor MAX30102 untuk meminimalkan pengaruh motion artifact. Hasil pengukuran sensor kemudian dibandingkan dengan alat referensi berupa pulse oximeter dan termometer digital untuk mengevaluasi tingkat akurasi sistem.

Analisis akurasi dilakukan menggunakan parameter statistik berupa Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE), standar deviasi, dan koefisien korelasi guna mengetahui tingkat kesesuaian hasil pengukuran sensor terhadap alat referensi. Selanjutnya, implementasi metode Fuzzy Mamdani pada NodeMCU ESP8266 divalidasi dengan membandingkan hasil inferensi sistem terhadap hasil simulasi menggunakan perangkat lunak MATLAB. Pada penelitian ini, MATLAB digunakan sebagai alat verifikasi implementasi algoritma, bukan sebagai ground truth untuk diagnosis medis.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

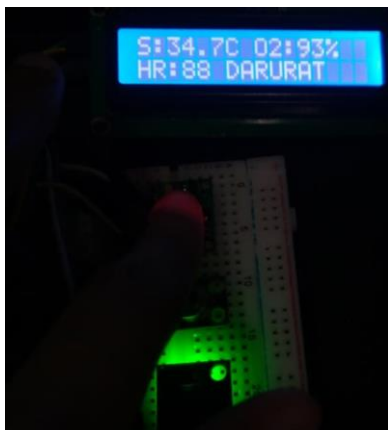
A. Hasil Implementasi Sistem

Implementasi sistem monitoring kesehatan dilakukan dengan mengintegrasikan berbagai perangkat menjadi sistem portable berbasis Internet of Things (IoT). Komponen Perangkat terdiri dari mikrokontroler NodeMCU ESP8266, sensor MAX30102 untuk mengukur detak jantung dan kadar oksigen dalam darah (SpO_2), sensor MLX90614 untuk mengukur suhu tubuh. Seluruh sensor dihubungkan dengan NodeMCU menggunakan komunikasi I2C melalui pin SDA dan SCL. Perakitan komponen sistem monitoring kesehatan dan deteksi jatuh yaitu pada gambar 7.



Gambar 7. Perakitan Komponen

Gambar 8. Hasil pengolahan data ditampilkan secara langsung pada LCD I2C sehingga pengguna dapat melihat kondisi kesehatan secara lokal. Selain itu, data juga dikirimkan ke database Firebase melalui koneksi WiFi sehingga dapat dipantau secara real-time melalui website monitoring.



Gambar 8. Hasil Pembacaan Sistem

B. Pengujian Sensor

Pengujian sensor dalam sistem monitoring kesehatan dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur referensi yang umum digunakan dalam bidang kesehatan. Sensor MLX90614 dibandingkan dengan termometer digital untuk mengukur suhu tubuh, sedangkan sensor MAX30102 dibandingkan dengan *pulse oximeter* untuk mengukur detak jantung (BPM) dan saturasi oksigen (SpO₂). Pengujian dilakukan terhadap lima responden dewasa usia sekitar 25 sampai 30 tahun, dengan setiap responden dilakukan satu kali pengukuran pada kondisi istirahat dan posisi duduk di dalam ruangan. Hasil pembacaan sensor kemudian dibandingkan dengan alat referensi untuk mengevaluasi tingkat akurasi sistem. Gambar 9 menunjukkan hasil pembacaan data pada *serial monitor* sistem monitoring kesehatan.



Gambar 9 Serial Monitor Pembacaan Data Sistem

Berdasarkan analisis statistik, sensor MLX90614 menghasilkan Mean Absolute Error (MAE) sebesar 0,136°C, Root Mean Square Error (RMSE) sebesar 0,140°C, dan koefisien korelasi sebesar 0,998 terhadap termometer digital. Nilai tersebut menunjukkan bahwa hasil pengukuran sensor memiliki tingkat kesalahan yang rendah dan hubungan yang sangat kuat dengan alat referensi.

Pengujian sensor MAX30102 dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan detak jantung terhadap *pulse oximeter* sebagai alat referensi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor mampu mengukur detak jantung

dengan selisih pengukuran sekitar 1–2 BPM, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.

TABEL 2.
PENGUJIAN SENSOR XML906114

No	Sensor XML906114 (°C)	Termometer Digital (°C)	Selisih
1	35.62	35.75	0.13
2	34.90	35.04	0.14
3	37.13	37.23	0.10
4	36.80	36.91	0.11
5	33.75	33.95	0.20

Berdasarkan analisis statistik, sensor MLX90614 menghasilkan Mean Absolute Error (MAE) sebesar 0,136°C, Root Mean Square Error (RMSE) sebesar 0,140°C, dan koefisien korelasi sebesar 0,998 terhadap termometer digital. Nilai tersebut menunjukkan bahwa hasil pengukuran sensor memiliki tingkat kesalahan yang rendah dan hubungan yang sangat kuat dengan alat referensi. Standar deviasi selisih pengukuran sensor MLX90614 terhadap termometer digital tercatat sebesar 0,039°C, yang menunjukkan sebaran galat pengukuran yang kecil dan konsisten antarresponden.

Pengujian sensor MAX30102 dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan detak jantung terhadap *pulse oximeter* sebagai alat referensi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor mampu mengukur detak jantung dengan selisih pengukuran sekitar 1–2 BPM, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.

TABEL 3.
PENGUJIAN SENSOR MAX30100 (BPM)

No	Sensor MAX30102 (BPM)	Pulse Oximeter (BPM)	Selisih
1	80	79	1
2	75	77	2
3	87	86	1
4	91	93	2
5	86	84	2

Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa sensor MAX30102 menghasilkan MAE sebesar 1,6 BPM, RMSE sebesar 1,673 BPM, dan koefisien korelasi sebesar 0,956. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sensor mampu mengukur detak jantung dengan tingkat akurasi yang baik dan memiliki kesesuaian yang tinggi terhadap alat referensi. Standar deviasi selisih pengukuran detak jantung tercatat sebesar 1,871 BPM, yang mengindikasikan variasi selisih antarresponden masih berada pada rentang yang wajar untuk pengukuran berbasis photoplethysmography.

Pengujian pada Tabel 4, sensor MAX30102 dapat membaca kadar oksigen dalam darah dengan hasil selisih sekitar 1–2% dibandingkan dengan alat *pulse oximeter*. Terbukti bahwa MAX30102 dapat digunakan sebagai perangkat *input* SpO₂ dalam sistem monitoring kesehatan berbasis IoT.

TABEL 4.
PENGUJIAN SENSOR MAX30100 (SpO₂)

No	Sensor MAX30102 (%)	Pulse Oximeter (%)	Selisih
1	84	86	2
2	97	98	1
3	92	93	1
4	89	88	1
5	96	95	1

Analisis statistik menunjukkan bahwa pengukuran SpO₂ menghasilkan MAE sebesar 1,2%, RMSE sebesar 1,265%, dan koefisien korelasi sebesar 0,968 terhadap *pulse oximeter*. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sensor MAX30102 mampu memberikan hasil pengukuran saturasi oksigen yang akurat dan konsisten terhadap alat referensi. Standar deviasi selisih pengukuran SpO₂ tercatat sebesar 1,342%, yang menunjukkan konsistensi hasil pengukuran meskipun rentang sampel masih terbatas.

Untuk memberikan gambaran kuantitatif yang lebih lengkap, dilakukan analisis statistik menggunakan parameter *Mean Absolute Error* (MAE), *Root Mean Square Error* (RMSE), dan koefisien korelasi. Pengujian melibatkan lima responden dewasa berusia 25–30 tahun, yang masing-masing menjalani satu kali pengukuran untuk setiap parameter dalam kondisi istirahat. Hasil analisis menunjukkan bahwa sensor MLX90614 memiliki MAE sebesar 0,136°C, RMSE sebesar 0,140°C, dan koefisien korelasi sebesar 0,998. Sensor MAX30102 menghasilkan MAE sebesar 1,6 BPM, RMSE sebesar 1,673 BPM, dan koefisien korelasi sebesar 0,956 untuk pengukuran detak jantung, sedangkan pada pengukuran SpO₂ diperoleh MAE sebesar 1,2%, RMSE sebesar 1,265%, dan koefisien korelasi sebesar 0,968. Nilai MAE dan RMSE yang rendah serta koefisien korelasi yang mendekati 1 menunjukkan bahwa hasil pengukuran sensor memiliki tingkat akurasi dan konsistensi yang baik terhadap alat referensi. Namun, hasil validasi ini masih bersifat validasi awal karena hanya melibatkan lima responden dewasa, sehingga diperlukan pengujian dengan jumlah responden yang lebih besar serta kondisi kesehatan yang lebih beragam untuk meningkatkan tingkat kepercayaan dan kemampuan generalisasi sistem.

Pengujian sensor pada penelitian ini dilakukan pada kondisi lingkungan yang relatif terkendali, yaitu di dalam ruangan dengan suhu lingkungan normal serta intensitas pencahayaan yang stabil. Selain itu, seluruh responden berada dalam kondisi istirahat sehingga pengaruh aktivitas fisik terhadap hasil pengukuran belum dievaluasi. Oleh karena itu, kinerja sensor pada variasi suhu lingkungan, intensitas cahaya, maupun kondisi fisiologis yang berbeda, seperti setelah melakukan aktivitas fisik atau pada kondisi kesehatan tertentu, belum dapat disimpulkan. Pengujian pada berbagai kondisi tersebut perlu dilakukan pada penelitian selanjutnya untuk mengevaluasi kestabilan dan keandalan sistem secara lebih komprehensif.

C. Pengujian Sistem dengan Matlab

Data pengujian monitoring Kesehatan menggunakan tiga parameter *inputan* utama yaitu suhu tubuh, detak jantung (bpm), dan kadar oksigen dalam darah (SpO₂). *Output* sistem diklasifikasikan dalam tiga status yaitu Darurat, Waspada, dan Normal. Hasil pembacaan *input* dan *output* dengan metode fuzzy mamdani kemudian di uji dengan hasil pembacaan dari hasil perhitungan Matlab.

TABEL 5.
PENGUJIAN OUTPUT FUZZY MAMDANI

Suhu	bpm	SpO ₂	Output Fuzzy (Matlab)	Output Fuzzy (ESP8266)	Status Kondisi	Selisih
36.60	80	97	89.52	89.26	Normal	0.26
33.74	75	84	16.28	15.77	Darurat	0.51
34.68	87	92	57.50	57.17	Waspada	0.33
35.54	91	89	46.31	45.88	Waspada	0.43
34.87	86	94	57.50	57.21	Waspada	0.29
35.65	83	96	90.04	89.67	Normal	0.37
34.27	86	95	88.43	88.09	Normal	0.34
32.84	82	84	16.28	15.70	Darurat	0.58
33.77	84	93	50.00	49.69	Waspada	0.31
37.89	105	83	16.62	16.34	Darurat	0.28
Rata-rata Selisih						0.37

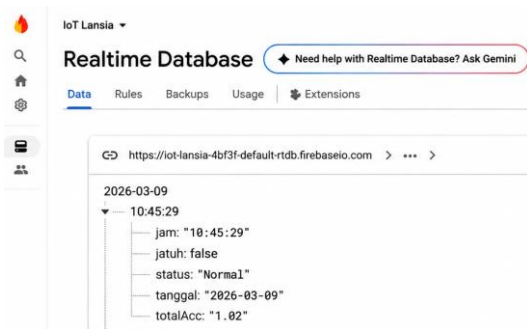
Tabel 5 hasil pengujian sistem menggunakan MATLAB menunjukkan perbandingan antara keluaran fuzzy hasil simulasi MATLAB dan implementasi pada mikrokontroler ESP8266. Selisih nilai antara hasil perhitungan dengan MATLAB dan ESP8266 relatif kecil, dengan rata-rata selisih sekitar 0,37, sehingga menunjukkan bahwa implementasi sistem pada perangkat keras memiliki tingkat kesesuaian yang baik dengan hasil simulasi.

Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sistem monitoring kesehatan yang dikembangkan mampu bekerja dengan baik serta menSimulasi MATLAB pada penelitian ini digunakan sebagai alat verifikasi implementasi algoritma Fuzzy Mamdani pada mikrokontroler ESP8266, bukan sebagai ground truth klinis, karena keduanya menggunakan fungsi keanggotaan, rule base, metode inferensi, dan proses defuzzifikasi yang identik. Nilai rata-rata selisih sebesar 0,37 merupakan perbedaan pada skala keluaran fuzzy 0–100, bukan satuan fisiologis, dengan nilai Mean Absolute Error (MAE) sebesar 0,370, Root Mean Square Error (RMSE) sebesar 0,383, serta koefisien korelasi yang mendekati 1, sehingga menunjukkan bahwa implementasi algoritma pada ESP8266 memiliki tingkat kesesuaian yang sangat tinggi terhadap hasil simulasi MATLAB tanpa memengaruhi hasil klasifikasi kondisi Normal, Waspada, dan Darurat pada seluruh data uji. Sistem yang dikembangkan mengklasifikasikan kondisi kesehatan berdasarkan pendekatan berbasis aturan (rule-based) menggunakan metode Fuzzy Mamdani. Oleh karena itu, validasi pada penelitian ini difokuskan pada kesesuaian implementasi algoritma terhadap hasil simulasi MATLAB serta validasi akurasi sensor menggunakan alat referensi. Evaluasi performa klasifikasi menggunakan confusion matrix, accuracy, precision, recall, dan F1-score belum dilakukan karena belum tersedia dataset klinis berlabel maupun hasil penilaian tenaga

kesehatan sebagai ground truth independen. Selain itu, penelitian ini juga belum melakukan validasi keputusan sistem terhadap dokter atau tenaga kesehatan, sehingga hasil klasifikasi yang diperoleh masih bersifat pendukung (decision support) dan bukan sebagai dasar diagnosis medis. Oleh karena itu, penggunaan ground truth klinis serta evaluasi menggunakan confusion matrix, accuracy, precision, recall, dan F1-score menjadi salah satu arah pengembangan pada penelitian selanjutnya. Penelitian ini juga belum melakukan pengukuran waktu respons sistem secara end-to-end, mulai dari pembacaan sensor, pemrosesan fuzzy, pengiriman data ke Firebase Realtime Database, hingga visualisasi pada website.

D. Sistem Monitoring berbasis Web

Sistem monitoring berbasis web dikembangkan untuk menampilkan data kesehatan secara real-time. Data yang diperoleh dari ESP8266 dikirimkan ke Firebase Realtime Database melalui jaringan internet yang terdapat pada gambar 10.



Gambar 10. Monitoring firebase real time

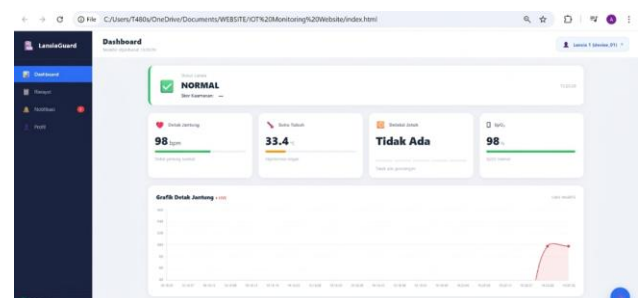
Sistem monitoring berbasis web dikembangkan sebagai antarmuka pengguna untuk menampilkan data kesehatan secara real-time menggunakan Firebase Realtime Database. Data yang diperoleh dari NodeMCU ESP8266 dikirim melalui jaringan internet ke Firebase, kemudian ditampilkan pada website dalam bentuk nilai numerik dan grafik sehingga memudahkan proses pemantauan kondisi kesehatan pengguna. Implementasi sistem, data sensor dibaca secara periodik dengan interval sekitar 2 detik, kemudian diproses menggunakan metode Fuzzy Mamdani sebelum dikirimkan ke Firebase Realtime Database dan disinkronkan dengan website monitoring. Selain mengevaluasi akurasi sensor dan implementasi algoritma fuzzy, sistem juga diuji dari aspek fungsional komunikasi IoT. Selama proses pengujian, seluruh data hasil pembacaan sensor berhasil dikirim dari NodeMCU ESP8266 ke Firebase Realtime Database dan ditampilkan pada website monitoring secara real-time tanpa ditemukan kegagalan sinkronisasi selama koneksi internet berada dalam kondisi stabil. Hasil ini menunjukkan bahwa mekanisme komunikasi antara perangkat IoT, basis data, dan website telah berjalan sesuai dengan fungsi yang dirancang. Dalam penelitian ini, istilah *real-time* mengacu pada kemampuan sistem memperbarui data pada website pada setiap siklus pembacaan sensor sehingga pengguna dapat memantau perubahan kondisi kesehatan secara langsung. Namun

demikian, penelitian ini belum melakukan pengukuran secara kuantitatif terhadap parameter komunikasi jaringan, seperti *end-to-end latency*, *packet delivery rate* (PDR), maupun reliabilitas sinkronisasi data dalam berbagai kondisi jaringan. Oleh karena itu, performa komunikasi sistem pada kondisi jaringan yang tidak stabil belum dapat dievaluasi secara menyeluruh dan menjadi salah satu aspek yang perlu dikaji pada penelitian selanjutnya.

Apabila koneksi internet terputus, data hasil pengukuran tetap ditampilkan pada LCD lokal sehingga pengguna masih dapat memperoleh informasi kesehatan secara langsung. Namun, sistem belum dilengkapi dengan mekanisme *buffering* maupun *retransmission*, sehingga data yang gagal dikirim saat koneksi terputus tidak tersimpan pada Firebase Realtime Database.

Gambar 11 menunjukkan tampilan dashboard monitoring yang menampilkan parameter suhu tubuh, detak jantung (*heart rate*), saturasi oksigen (SpO_2), serta status kondisi kesehatan hasil klasifikasi menggunakan metode Fuzzy Mamdani ke dalam kategori Normal, Waspada, dan Darurat. Selain itu, dashboard juga menyajikan grafik perubahan nilai parameter kesehatan secara periodik untuk memudahkan pengguna memantau kondisi kesehatan secara *real-time*.

Data hasil pengukuran dikirim dari NodeMCU ESP8266 menuju Firebase Realtime Database melalui jaringan internet menggunakan protokol HTTPS sehingga proses transmisi data dilakukan secara terenkripsi. Firebase Realtime Database berfungsi sebagai media penyimpanan sekaligus sinkronisasi data secara *real-time* antara perangkat IoT dan website monitoring. Pada tahap pengembangan prototipe ini, akses terhadap basis data dibatasi hanya untuk proses pengujian sehingga belum menerapkan mekanisme autentikasi pengguna maupun pengaturan hak akses secara spesifik. Selain itu, fitur keamanan lanjutan seperti Firebase Authentication, Firebase Security Rules, serta enkripsi data pada tingkat aplikasi belum diimplementasikan. Oleh karena itu, aspek keamanan dan perlindungan data kesehatan masih menjadi salah satu keterbatasan penelitian dan perlu dikembangkan lebih lanjut sebelum sistem diterapkan pada lingkungan pelayanan kesehatan yang sesungguhnya.



Gambar 11. Dashboard monitoring kesehatan

Website monitoring dikembangkan sebagai antarmuka untuk menampilkan data hasil pengukuran secara real-time yang diperoleh dari Firebase Realtime Database. Dashboard menampilkan suhu tubuh, detak jantung (*heart rate*), saturasi oksigen (SpO_2), status hasil klasifikasi Fuzzy Mamdani, serta

grafik perubahan parameter kesehatan secara periodik. Selain menampilkan data terkini, Firebase Realtime Database juga menyimpan riwayat hasil pengukuran sehingga data dapat diakses kembali melalui website selama masih tersedia pada basis data. Namun demikian, pada penelitian ini sistem belum dilengkapi dengan fitur notifikasi otomatis ketika kondisi pengguna berada pada kategori Waspada maupun Darurat. Pengembangan mekanisme notifikasi melalui aplikasi seluler, SMS, atau media komunikasi lainnya menjadi salah satu arah pengembangan pada penelitian selanjutnya.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, sistem monitoring tanda vital berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan NodeMCU ESP8266, sensor MAX30102, sensor MLX90614, Firebase Realtime Database, dan website monitoring berhasil dirancang dan diimplementasikan. Sistem mampu memantau suhu tubuh, detak jantung, dan saturasi oksigen (SpO₂) secara real-time serta mengklasifikasikan kondisi kesehatan menjadi Normal, Waspada, dan Darurat menggunakan metode Fuzzy Mamdani.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor MLX90614 menghasilkan MAE sebesar 0,136 °C, RMSE sebesar 0,140 °C, dan korelasi 0,998 terhadap termometer digital. Sensor MAX30102 menghasilkan MAE sebesar 1,6 BPM, RMSE sebesar 1,673 BPM, dan korelasi 0,956 untuk detak jantung, serta MAE sebesar 1,2%, RMSE sebesar 1,265%, dan korelasi 0,968 untuk SpO₂. Implementasi Fuzzy Mamdani pada ESP8266 memiliki rata-rata selisih 0,37 terhadap simulasi MATLAB dan tidak mengubah hasil klasifikasi pada data pengujian. Sistem berhasil melakukan sinkronisasi data ke Firebase Realtime Database dan menampilkannya pada website secara real-time selama koneksi internet stabil. Namun, penelitian ini masih terbatas pada lima responden dewasa sehat berusia 25–30 tahun, belum memiliki validasi klinis sebagai *ground truth*, belum melakukan evaluasi performa klasifikasi menggunakan metrik seperti accuracy dan F1-score, serta belum mengevaluasi *end-to-end latency* dan keamanan data secara menyeluruh. Oleh karena itu, sistem ditujukan sebagai alat bantu monitoring kesehatan awal, bukan alat diagnosis medis. Penelitian selanjutnya perlu melibatkan responden yang lebih beragam, validasi klinis, evaluasi metode klasifikasi, serta peningkatan aspek komunikasi dan keamanan sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Kamajaya, A. Pracoyo, L. N. Palupi, And A. R. Hidayat, "Sistem Telemonitoring Kesehatan Berbasis Iot," *Jurnal Elektronika Dan Otomasi Industri*, Vol. 10, No. 2, Pp. 137–145, Jul. 2023, Doi: 10.33795/Elkolind.V10i2.3062.
- [2] R. Natalina, H. M. Simanungkalit, T. Istinningsih, And A. Nurjanah, "Tiga Aspek Penting Dalam Kesehatan," *Jurnal Forum Kesehatan : Media Publikasi Kesehatan Ilmiah*, Vol. 11, Feb. 2021.
- [3] T. Lauteslager *et al.*, "Real-World Evaluation of a Remote Patient Monitoring Service for Early Detection of Clinical Deterioration in Skilled Nursing Facilities," *Journal of the American Medical Directors Association*, vol. 27, no. 5, May 2026, Art. no. 106141, doi: 10.1016/j.jamda.2026.106141.
- [4] M. Yasin Candra Pratama And J. Ximenes Guterres, "Rompi Dengan Alat Pendeteksi Detak Jantung Dan Suhu Tubuh Berbasis Esp32," *Journal Of Computer And Electrical Engineering*, Vol. 2, No. 3, 2025, [Online]. Available: <https://journal.ajbnews.com/index.php/Akiratech>
- [5] H. Isyanto, A. S. Wahid, and W. Ibrahim, "Desain Alat Monitoring Real Time Suhu Tubuh, Detak Jantung dan Tekanan Darah secara Jarak Jauh melalui Smartphone berbasis Internet of Things Smart Healthcare," *RESISTOR (Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer)*, vol. 5, no. 1, pp. 39–48, May 2022, doi: 10.24853/resistor.5.1.39-48
- [6] F. A. Pratama, A. I. Pradana, And D. Hartanti, "Pengembangan Aplikasi Mobile Untuk Monitoring Detak Jantung, Saturasi Oksigen Darah, Dan Suhu Tubuh Dengan Integrasi Iot Menggunakan Esp32," *Infotek: Journal Of Technology Information*, Vol. 10, No. 1, Pp. 27–36, Jun. 2024, Doi: 10.37365/Jti.V10i1.244.
- [7] A. Elhadad and A. Rayan, "Advancements in Remote Healthcare Monitoring: A Comprehensive System for Improved Health Management," *J. Radiat. Res. Appl. Sci.*, vol. 18, no. 1, Art. no. 101310, Mar. 2025, doi: 10.1016/j.jrras.2025.101310.
- [8] Y. Siraj, Y. Khadioui, Y. Mejdoub, H. Elmannai, J. Foshi, And M. El Ghzaoui, "Patch Antenna Design And Experimental Validation For Biomedical Iot Communication In 2.4 Ghz Esp32-Based Health Monitoring Systems," *Sensors*, Vol. 26, No. 12, P. 3841, Jun. 2026, Doi: 10.3390/S26123841.
- [9] D. Auly Yasmin And A. Zafia, "Sistem Monitoring Kesehatan Mahasiswa Berdasarkan Saturasi Oksigen, Detak Jantung Dan Suhu Tubuh Berbasis Iot," *Kumpulan Artikel Mahasiswa Pendidikan Teknik Informatika (Karmapati)*, Vol. 14, No. 2, 2025.
- [10] W. R. Hidayani And A. F. Santosa, "Wearable Iot Dalam Bidang Kesehatan: Tantangan Dan Peluang," *Bincang Sains Dan Teknologi*, Vol. 3, No. 02, Pp. 78–84, Jul. 2024, Doi: 10.56741/Bst.V3i02.599.
- [11] A. Elhadad and A. Rayan, "Advancements in Remote Healthcare Monitoring: A Comprehensive System for Improved Health Management," *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, vol. 18, no. 1, Art. no. 101310, Mar. 2025, doi: 10.1016/j.jrras.2025.101310.
- [12] M. Aldi, A. , R. Widiarto, R. Suwartika, And K. , "Health Monitoring System Dengan Indikator Suhu Tubuh, Detak Jantung Dan Saturasi Oksigen Berbasis Internet Of Things (Iot)," *Jurnal Petik*, Vol. 7, No. 2, Pp. 2021–108.
- [13] A. R. Halim, M. Saiful, And L. Kertawijaya, "Rancang Bangun Alat Pengukur Suhu Tubuh Pintarberbasis Internet Of Things," *Infotek: Jurnal Informatika Dan Teknologi*, Vol. 5, No. 1, Pp. 117–127, Jan. 2022, Doi: 10.29408/Jit.V5i1.4615.
- [14] D. P. Kartikasari, T. S. R. Dini, P. S. Alhirani, P. M. Husania, and T. A. T. Tambak, "Pengaruh Internet of Things (IoT) dalam Bidang Kesehatan terhadap Masyarakat Umum," *IJESPG (International Journal of Engineering, Economic, Social Politic and Government)*, vol. 1, no. 3, pp. 21–26, Jul. 2023, doi: 10.26638/ijespg.v1i3.29.
- [15] Mohammad Fathoni *Et Al.*, "Pengembangan Aplikasi Mobile Berbasis Android Untuk Monitoring Kesehatan Menggunakan Sensor Iot," *Jurnal Pengabdian Masyarakat Dan Riset Pendidikan*, Vol. 4, No. 2, Pp. 12070–12075, Dec. 2025, Doi: 10.31004/Jerkin.V4i2.3963.
- [16] N. Tourmatzis, S. Katsoulis, I. C. Panagou, E. Nannos, I. Christakis, And G. Koulouras, "Secure And Efficient Biometric Data Streaming With Iot For Wearable Healthcare," In *The 6th International Electronic Conference On Applied Sciences*, Basel Switzerland: Mdpi, Feb. 2026, P. 33. Doi: 10.3390/Engproc2026124033.
- [17] R. Saatchi, "Fuzzy Logic Concepts, Developments And Implementation," *Information*, Vol. 15, No. 10, Oct. 2024, Doi: 10.3390/Info15100656.
- [18] J. Cao *et al.*, "Fuzzy inference system with interpretable fuzzy rules: Advancing explainable artificial intelligence for disease diagnosis—A comprehensive review," *Inf. Sci. (N. Y.)*, vol. 662, p. 120212, Mar. 2024, doi: 10.1016/J.INS.2024.120212.
- [19] S. Abdulmalek *et al.*, "IoT-Based Healthcare-Monitoring System towards Improving Quality of Life: A Review," Oct. 01, 2022, *MDPI*. doi: 10.3390/healthcare10101993.