

Penerapan Fuzzy Logic Dalam Sistem Pemantauan Vital Sign Berbasis Internet of Things

Muhammad Rafy Rahmatulloh¹, Narwikant Indroasyoko², Hilda Khoirunnisa³

mrafy544@gmail.com¹, asyoko@polman-bandung.ac.id², hilda@polman-bandung.ac.id³

^{1,2,3} Politeknik Manufaktur Bandung

Informasi Artikel

Diterima : 10 Jun 2024

Direview : 22 Jun 2024

Disetujui : 25 Jul 2024

Kata Kunci

Fuzzy logic, IoT, NEWS, vital sign

Abstrak

Perkembangan *Internet of Things* (IoT) telah membawa inovasi dalam sektor kesehatan, khususnya dalam pemantauan *vital sign* yang krusial untuk mendeteksi perubahan fisiologis dan mendukung diagnosis penyakit. Pemantauan *vital sign* pada pasien rawat jalan sering terabaikan akibat kendala waktu dan peralatan. Penelitian mengenai pemantauan *vital sign* banyak dilakukan sebelumnya salah satunya menggunakan teknologi *bluetooth* namun keterbatasan jangkauan, sementara solusi lain belum mampu mengklasifikasikan kondisi pasien. Penelitian ini mengembangkan alat pemantauan *vital sign* berbasis IoT dengan empat parameter: tekanan darah, suhu tubuh, detak jantung, dan saturasi oksigen, yang dapat diakses secara online. Alat ini memanfaatkan *fuzzy logic* untuk mengklasifikasikan status pasien. Hasil pengujian pada penelitian ini menunjukkan tingkat akurasi dalam pembacaan tekanan darah sebesar 96.4% dan 91.3%, pembacaan detak jantung 98%, pembacaan saturasi oksigen sebesar 98% dan pembacaan suhu tubuh 98%. Dari hasil pengujian klasifikasi pasien menunjukkan 9 dari 10 sampel memiliki keluaran risiko yang sama dengan perhitungan menggunakan penilaian NEWS.

Keywords

Fuzzy logic, IoT, NEWS, vital sign

Abstract

The development of the Internet of Things (IoT) has brought innovations in healthcare, especially in vital sign monitoring, crucial for detecting physiological changes and supporting disease diagnosis. Outpatient vital sign monitoring is often neglected due to time and equipment constraints. Previous research, such as using Bluetooth technology, showed range limitations, while other solutions couldn't classify patient conditions. This study develops an IoT-based vital sign monitoring device with four parameters: blood pressure, body temperature, heart rate, and oxygen saturation, accessible online. The device uses fuzzy logic to classify patient status. Test results show accuracy rates of 96.4% and 91.3% for blood pressure, 98% for heart rate, 98% for oxygen saturation, and 98% for body temperature readings. Patient classification tests showed 9 out of 10 samples had the same risk output as the NEWS assessment.

A. Pendahuluan

Perkembangan *Internet of Things* (IoT) telah membawa inovasi signifikan dalam sektor kesehatan [1], terutama dalam menghadapi permintaan peningkatan pelayanan terhadap pasien yang bertambah [2]. Data menunjukkan peningkatan signifikan jumlah pasien di rumah sakit, seperti di RSUP Dr. Hasan Sadikin, yang mengalami kenaikan sebesar 22% dengan jumlah kunjungan 512.613 pasien dan diperkirakan akan naik 8% di tahun 2023 dan 7% di periode tahun 2024-2025 [3]. Peningkatan ini menjadi tantangan yang kompleks dalam memonitor kesehatan pasien. Salah satu aspek kritis dalam pelayanan kesehatan adalah pemeriksaan tanda vital, yang berperan penting dalam mendeteksi perubahan fisiologis pada pasien dan memperkuat diagnosis suatu penyakit dalam menentukan perencanaan perawatan medis pada pasien [4], [5]. Penelitian menunjukkan bahwa pemantauan tanda vital dapat membantu mengidentifikasi penurunan kondisi kesehatan sebelum efek serius terjadi, seperti kematian atau perawatan intensif [6]. Meskipun pemeriksaan tanda vital telah menjadi langkah rutin pada pasien rawat inap dan menjalani prosedur medis, pemantauan *vital sign* pada pasien rawat jalan seringkali terabaikan. Hal ini disebabkan oleh kendala waktu dan kurangnya peralatan yang memadai [7]. Keterbatasan ini muncul karena seringkali pengumpulan parameter vital dilakukan secara tidak teratur akibat metode pengukuran analog yang terbatas dan kekurangan penyimpanan data [8]. Dalam konteks ini, diperlukan pengembangan alat yang dapat memantau kondisi pasien dari jarak jauh. Solusi ini harus mampu mengumpulkan data tanda vital secara otomatis, mengintegrasikannya dalam penyimpanan data, dan memberikan akses mudah bagi tim medis untuk menganalisis kesehatan pasien secara efektif.

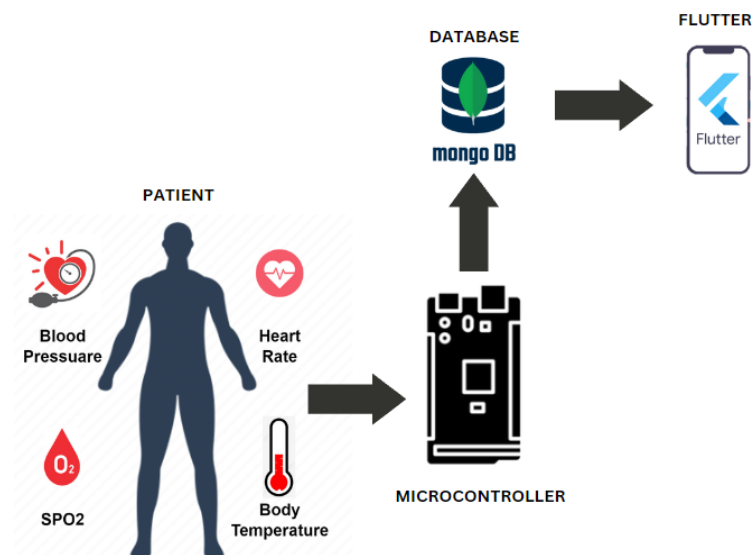
Penelitian mengenai pemantauan *vital sign* ini telah beberapa kali dilakukan. Ary Sulisty Utomo di tahun 2019 telah berhasil membuat pemantauan detak jantung dan saturasi oksigen berbasis IoT [9] dan adapun Salam Khalaf Abdullah telah membuat penelitian mengenai *remote heart rate monitor system* menggunakan NodeMCU dan *easy pulse sensor v1.1* sebagai sensornya [10]. Di tahun yang sama Mohammad Shahidul Islam telah membuat penelitian mengenai monitoring body signal berbasis IoT dengan menggunakan LoRa [11]. Asmawaty Azis di tahun 2020 telah membuat rancang bangun sistem telemedis untuk pasien rawat jalan dengan menggunakan *Wireless Body Area Network* [4]. Alamsyah pada tahun tersebut juga telah membuat sistem monitoring vital sign berbasis IoT dengan menggunakan Raspberry PI [12]. Putu Risky Dewanta pada tahun 2021 telah membuat pemantauan tanda vital non kontak berbasis *website* [13] dan berbasis IoT menggunakan ESP32 [14]. Ariq Monetra pada tahun 2021 telah membuat perancangan sistem monitoring tanda vital berbasis LoRa dan *Decision Tree J48* sebagai klasifikasi pasien [15]. Amelia Cahyana pada tahun 2023 telah membuat sistem cerdas pemantau kesehatan pasien lanjut usia berbasis IoT dengan menggunakan 3 parameter tanda vital dan menggunakan ESP32 [16]. Penelitian terkait monitor vital sign dengan memanfaatkan teknologi *bluetooth* juga beberapa kali dilakukan [17], [18], [19], [20], akan tetapi kendala yang dihadapi dalam teknologi ini adalah terbatasnya jangkauan, sehingga diperlukan modul elektronik tambahan agar dapat memperluas koneksinya dan terhubung dengan internet. Meskipun penelitian terkait pemantauan tanda vital berbasis IoT sudah banyak dilakukan sebelumnya, namun masih sedikit penelitian yang mengintegrasikannya

dengan sistem pengklasifikasi kondisi pasien yang berstandar dengan metode *fuzzy logic*, dan belum ada yang menggunakan Flutter sebagai antarmukanya. Oleh karena itu, diperlukan metode *fuzzy logic* dalam penelitian ini sebagai metode dalam mengklasifikasikan kondisi pasien berdasarkan parameter *vital sign*.

Dalam penelitian ini, berfokus pada pembuatan alat pemantauan *vital sign* dengan 4 parameter yaitu, tekanan darah, detak jantung, saturasi oksigen, dan suhu tubuh. Selain itu, alat yang dirancang pada penelitian ini harus dapat diakses secara online untuk pemantauan jarak jauh. Dengan penerapan *fuzzy logic* pada alat ini diharapkan mampu mengklasifikasikan status pasien berdasarkan tanda vital pasien tersebut secara akurat dan efisien [6] yang mana logika ini merujuk pada *National Early Warning Scoring* (NEWS) yang direkomendasikan dalam pengklasifikasian pasien. Sehingga keluaran yang diharapkan dari penelitian ini yaitu dapat membantu pasien rawat jalan dan pihak fasilitas kesehatan untuk mengetahui kondisi kesehatan pasien dan dapat mengklasifikasikan pasien tersebut dengan tepat dan cepat. Dengan demikian, penggunaan implementasi teknologi IoT dan *fuzzy logic* sebagai alat pengklasifikasian pasien dalam pemantauan kesehatan diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas pelayanan pasien rawat jalan, dalam upaya memberikan perhatian yang lebih baik kepada pasien rawat jalan.

B. Metode Penelitian

1. Gambaran Umum Sistem

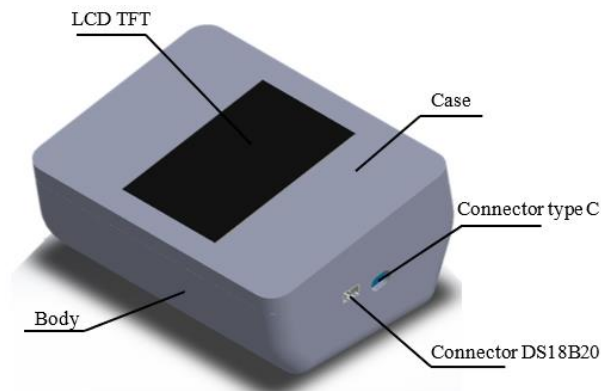


Gambar 1. Gambaran umum sistem

Gambar 1 menunjukkan alur sistem pengolahan data dalam proses pemantauan *vital sign* pada pasien. Pasien sebagai objek dari sistem ini akan dipasangkan beberapa sensor pada tubuhnya. Kemudian, hasil dari pembacaan sensor tersebut yang terdiri dari parameter tekanan darah, detak jantung, saturasi oksigen dan suhu tubuh akan dinilai dengan sistem *fuzzy logic* yang merujuk pada penilai NEWS. Data-data parameter dan keterangan kondisi pasien tersebut akan dikirimkan oleh *microcontroller* ke *database*. Data tersebut kemudian diilustrasikan secara *realtime* melalui antarmuka Flutter.

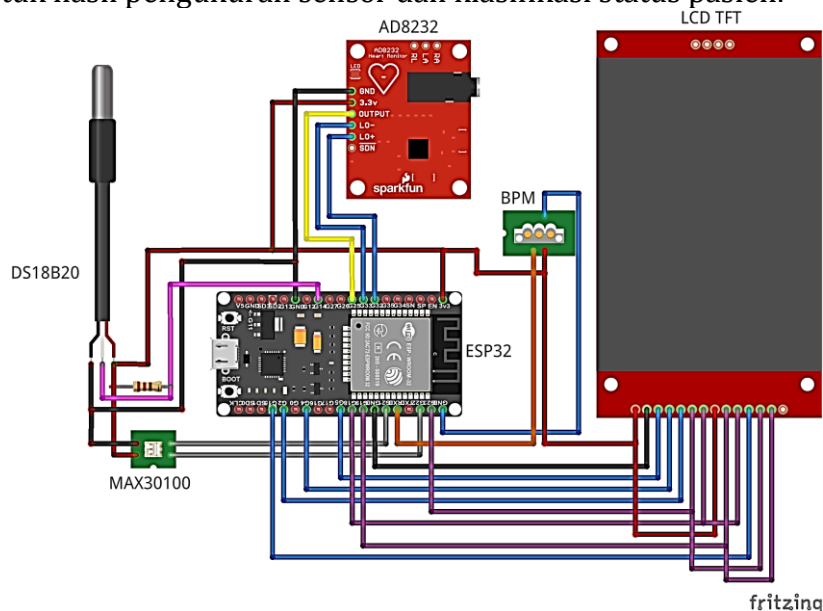
2. Rancangan Hardware

Rancangan alat ini mencakup dari segi rancangan mekanik dan rancangan elektrik dari penelitian ini. Rancangan mekanik dari penelitian ini berupa desain rangka alat yang akan dibuat. Rangka ini berfungsi sebagai pendukung dan pelindung komponen-komponen yang ada di alat, ini untuk mendeteksi nilai *vital sign* pasien. Adapun rancangan dari rangka alat yang dibuat diilustrasikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Rancangan mekanik

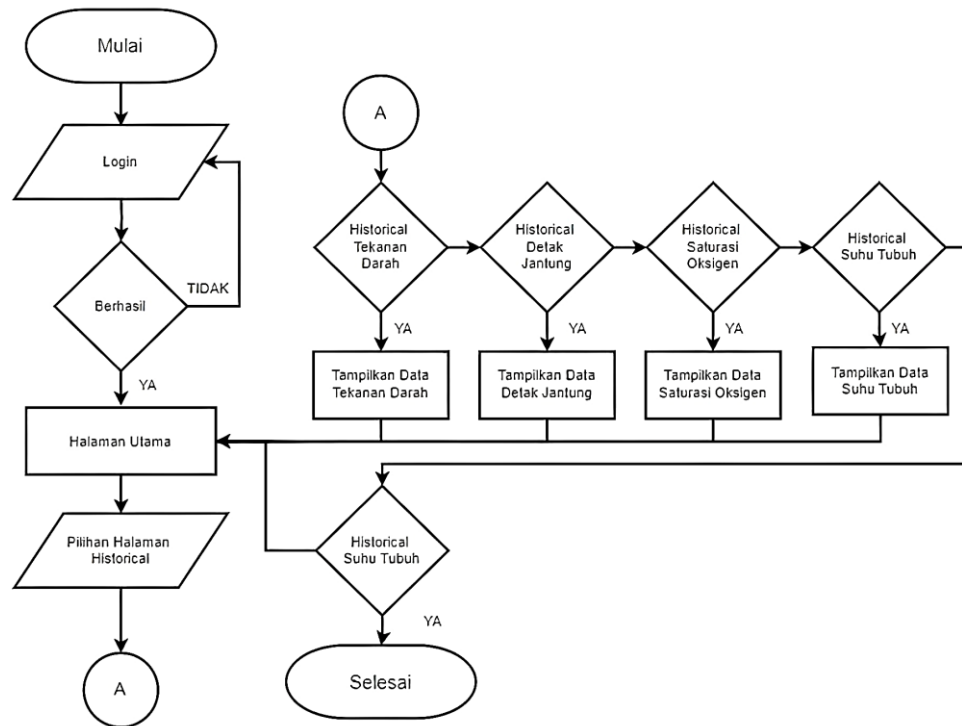
Pada sistem elektrik yang dibuat pada sistem ini memuat *wiring* komponen secara umum dari alat yang dibuat. Pada alat ini terdiri dari empat sensor, yakni sensor suhu, sensor detak jantung, sensor saturasi oksigen, dan *port input* data dari digital *blood pressure monitor* (Serial). Adapun sensor yang digunakan dalam mendeteksi detak jantung menggunakan sensor AD8232, mendeteksi saturasi oksigen dengan MAX30100, dan mendeteksi suhu tubuh dengan DS18B20. Keempat sensor ini terhubung dengan ESP32 sebagai *microcontroller*. Selain sensor, sistem ini juga memiliki output berupa layar LCD TFT yang berfungsi sebagai tampilan untuk hasil pengukuran sensor dan klasifikasi status pasien.



Gambar 3. Rancangan elektrik

3. Rancangan Software

Gambar 4 menunjukkan alur penggunaan aplikasi dimulai dari proses *login* hingga proses monitoring data *vital sign*. Pada halaman utama aplikasi terdapat tampilan pengukuran terakhir beserta status klasifikasi kondisinya. Sedangkan pada halaman *historical* terdapat grafik yang menunjukkan data-data pengukuran sebelumnya.



Gambar 4. Diagram alir Flutter

4. Rancangan Fuzzy Logic

Penggunaan *fuzzy logic* pada alat ini berfungsi sebagai pengambilan keputusan keputusan untuk mengklasifikasikan status pasien menggunakan *fuzzy logic* yang merujuk pada *National Early Warning Score* (NEWS) seperti yang ditampilkan pada Tabel 1. Adapun pada penelitian ini akan fokus pada 4 parameter saja dan parameter lainnya dianggap dalam keadaan normal.

Tabel 1. Sistem Penilaian *National Early Warning Score* (NEWS)

Vital Sign Parameter	Risk Band						
	Low3	Low2	Low1	Normal	High1	High2	High3
<i>Systolic Blood Pressure</i>	≤90	91-100	101-110	111-219			≥220
<i>Heart Rate</i>	≤40		41-50	51-90	91-110	111-130	≥131
<i>SPO2</i>	≤91	92-93	94-95	≥96			
<i>Body Temperature</i>	≤35.0		35.1-36.0	36.1-38.0	38.1-39.0	≥39.1	
<i>Air/oxygen</i>		Oxygen		Air			
<i>Respiration Rate</i>	≤8		9-11	12-20		21-24	≥25
<i>Consciousness</i>				Alert			CVPU

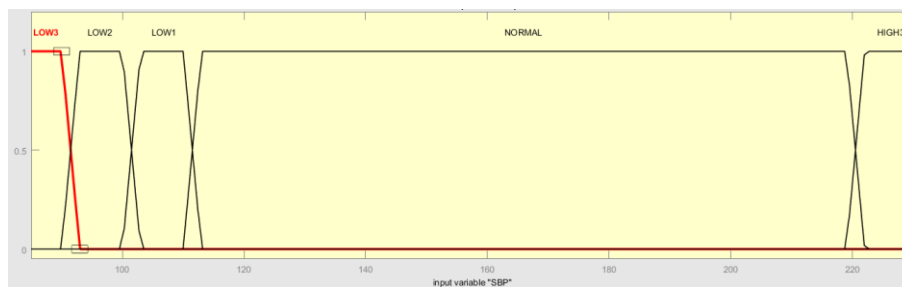
5. Rancangan Fuzzy Logic

a. Fuzzifikasi

Dalam sistem yang dibuat, terdapat 4 buah input himpunan *fuzzy* yang dinyatakan dengan himpunan *fuzzy* SBP, himpunan *fuzzy* HR, himpunan *fuzzy* SPO2 dan himpunan *fuzzy* temp. Keempat himpunan *fuzzy* tersebut nantinya akan diproses sehingga menghasilkan suatu keluaran berupa resiko kesehatan pasien. Tabel 2 menunjukkan range himpunan fuzzy yang dibuat.

Tabel 2. Fuzzifikasi merujuk penilaian NEWS

Vital Sign Parameter	Risk Band						
	Low3	Low2	Low1	Normal	High1	High2	High3
SBP	≤93	90-103	100-113	110-222			≥219
HR	≤43		40-53	50-93	90-113	110-133	≥130
SPO2	≤92	91-94	93-96	≥95			
TEMP	≤35.2		35.0-36.2	36.0-38.3	38.0-39.2	≥39.0	



Gambar 5. Himpunan *fuzzy* SBP

Himpunan *fuzzy* SBP ini dikelompokkan dalam 5 kategori yaitu *low3*, *low2*, *low1*, *normal* dan *high1*. Nilai himpunan ini akan diambil dari pembacaan *blood pressure monitor*. Gambar 5 menunjukkan himpunan dari *fuzzy* SBP.

$$\mu_{Low3}(x) = \begin{cases} 1, & x < 90 \\ \frac{93-x}{3}, & 90 \leq x < 93 \\ 0, & x \geq 93 \end{cases} \quad (1)$$

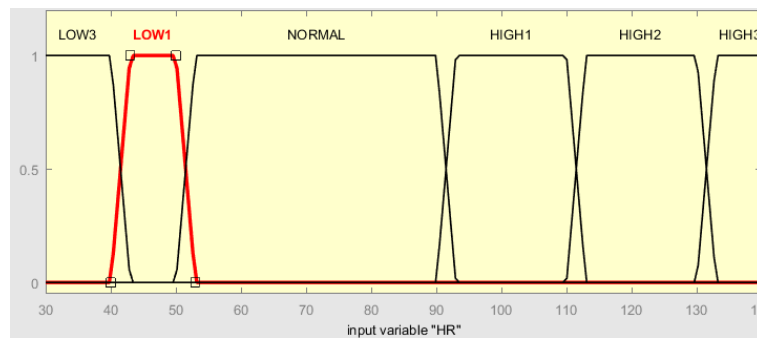
$$\mu_{Low2}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 90, x \geq 103 \\ \frac{x-90}{3}, & 90 < x < 93 \\ 1, & 93 \leq x \leq 100 \\ \frac{103-x}{3}, & 100 < x < 103 \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_{Low1}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 100, x \geq 113 \\ \frac{x-90}{3}, & 100 < x < 103 \\ 1, & 103 \leq x \leq 110 \\ \frac{103-x}{3}, & 110 < x < 113 \end{cases} \quad (3)$$

$$\mu_{Normal}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 110, x \geq 222 \\ \frac{x-90}{3}, & 110 < x < 113 \\ 1, & 113 \leq x \leq 219 \\ \frac{222-x}{3}, & 219 < x < 222 \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu_{High3}(x) = \begin{cases} 0, & x < 219 \\ \frac{x-219}{3}, & 219 < x \leq 222 \\ 1, & x \geq 222 \end{cases} \quad (5)$$

Himpunan *fuzzy HR* ini dikelompokkan dalam 6 kategori yaitu *low3*, *low1*, *normal*, *high1*, *high2* dan *high3*. Nilai himpunan ini akan diambil dari pembacaan sensor AD8232. Pada Gambar 6 menunjukan himpunan *fuzzy* dari HR.



Gambar 6. Himpunan *fuzzy* HR

$$\mu_{Low3}(x) = \begin{cases} 1, & x < 40 \\ \frac{43-x}{3}, & 40 \leq x < 43 \\ 0, & x \geq 43 \end{cases} \quad (6)$$

$$\mu_{Low1}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 40, x \geq 53 \\ \frac{x-40}{3}, & 40 < x < 43 \\ 1, & 43 \leq x \leq 50 \\ \frac{53-x}{3}, & 50 < x < 53 \end{cases} \quad (7)$$

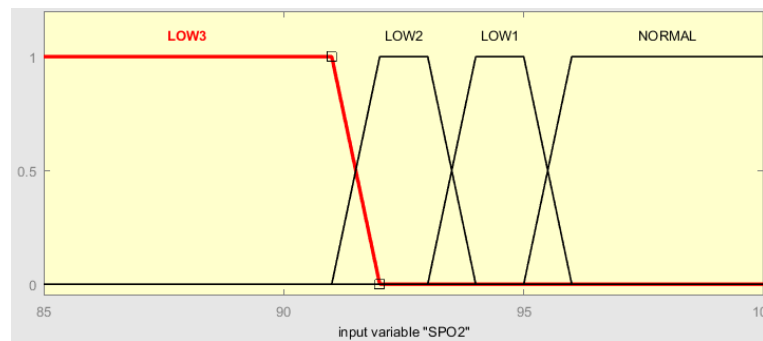
$$\mu_{Normal}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 50, x \geq 93 \\ \frac{x-50}{3}, & 50 < x < 53 \\ 1, & 53 \leq x \leq 90 \\ \frac{93-x}{3}, & 90 < x < 93 \end{cases} \quad (8)$$

$$\mu_{High1}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 90, x \geq 113 \\ \frac{x-90}{3}, & 90 < x < 93 \\ 1, & 93 \leq x \leq 110 \\ \frac{113-x}{3}, & 110 < x < 113 \end{cases} \quad (9)$$

$$\mu_{High2}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 110, x \geq 133 \\ \frac{x-110}{3}, & 110 < x < 113 \\ 1, & 113 \leq x \leq 130 \\ \frac{133-x}{3}, & 130 < x < 133 \end{cases} \quad (10)$$

$$\mu_{High3}(x) = \begin{cases} 0, & x < 130 \\ \frac{x-130}{3}, & 130 < x \leq 133 \\ 1, & x \geq 133 \end{cases} \quad (11)$$

Himpunan *fuzzy* *SPO2* ini dikelompokkan dalam 4 kategori yaitu *low3*, *low2*, *low1* dan *normal*. Nilai himpunan ini akan diambil dari pembacaan sensor MAX30100. Gambar 7 menunjukkan himpunan *fuzzy* dari *SPO2*.



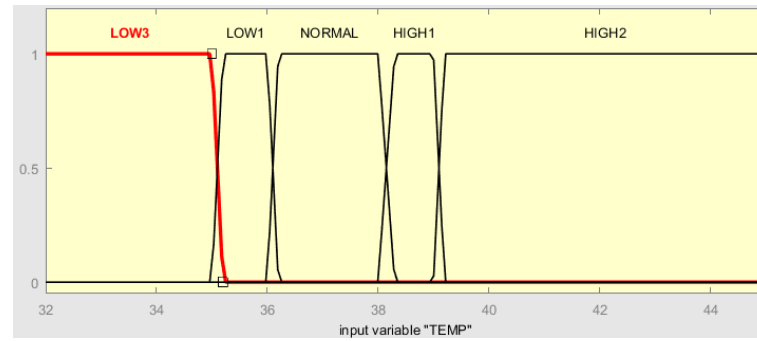
Gambar 7. Himpunan *fuzzy* *SPO2*

$$\mu_{Low3}(x) = \begin{cases} 1, & x < 91 \\ \frac{92-x}{1}, & 91 \leq x < 92 \\ 0, & x \geq 92 \end{cases} \quad (12)$$

$$\mu_{Low2}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 91, x \geq 94 \\ \frac{x-91}{1}, & 91 < x < 92 \\ 1, & 92 \leq x \leq 93 \\ \frac{94-x}{1}, & 93 < x < 94 \end{cases} \quad (13)$$

$$\mu_{Low1}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 93, x \geq 96 \\ \frac{x-93}{1}, & 93 < x < 94 \\ 1, & 94 \leq x \leq 95 \\ \frac{96-x}{1}, & 95 < x < 96 \end{cases} \quad (14)$$

$$\mu_{Normal}(x) = \begin{cases} 0, & x < 95 \\ \frac{x-95}{1}, & 95 < x \leq 96 \\ 1, & x \geq 96 \end{cases} \quad (15)$$



Gambar 8. Himpunan fuzzy Temp

Himpunan fuzzy Temp ini dikelompokkan dalam 5 kategori yaitu *low3*, *low1*, *normal*, *high* dan *high2*. Nilai himpunan ini akan diambil dari pembacaan sensor DS18B20. Gambar 8 menunjukkan himpunan fuzzy dari Temp.

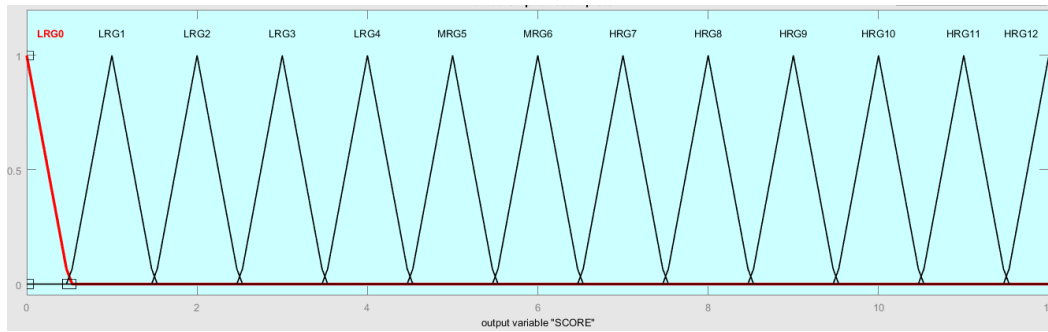
$$\mu_{Low3}(x) = \begin{cases} 1, & x < 35 \\ \frac{35.2-x}{0.2}, & 35 \leq x < 35.2 \\ 0, & x \geq 35.2 \end{cases} \quad (16)$$

$$\mu_{Low1}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 35, x \geq 36.2 \\ \frac{x-35}{0.2}, & 35 < x < 35.2 \\ 1, & 35.2 \leq x \leq 36 \\ \frac{36.2-x}{0.2}, & 36 < x < 36.2 \end{cases} \quad (17)$$

$$\mu_{Normal}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 36, x \geq 38.3 \\ \frac{x-36}{0.2}, & 36 < x < 36.2 \\ 1, & 36.2 \leq x \leq 38 \\ \frac{38.2-x}{0.3}, & 38 < x < 38.3 \end{cases} \quad (18)$$

$$\mu_{High1}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 38, x \geq 39.2 \\ \frac{x-38}{0.3}, & 38 < x < 38.3 \\ 1, & 38.3 \leq x \leq 39 \\ \frac{39.2-x}{0.2}, & 39 < x < 39.2 \end{cases} \quad (19)$$

$$\mu_{High2}(x) = \begin{cases} 0, & x < 39 \\ \frac{x-39}{0.2}, & 39 < x \leq 39.2 \\ 1, & x \geq 39 \end{cases} \quad (20)$$



Gambar 9. Himpunan output fuzzy

Pada Gambar 9 merupakan himpunan output *fuzzy* terdiri dari *score* penilaian yang mungkin terjadi pada perhitungan *fuzzy*. Himpunan ini terdiri dari 12 *fuzzy set* dimulai LRG0 (Low Range 0) sampai dengan HRG12 (High Range 12).

Tabel 3. Himpunan output *fuzzy*

Output Range	Range	Fuzzy Set
<i>Low Risk</i>	$0 < RG < 0.5$	LRG0
<i>Low Risk</i>	$0.5 < RG < 1.5$	LRG1
<i>Low Risk</i>	$1.5 < RG < 2.5$	LRG2
<i>Low Risk</i>	$2.5 < RG < 3.5$	LRG3
<i>Low Risk</i>	$3.5 < RG < 4.5$	LRG4
<i>Medium Risk</i>	$4.5 < RG < 5.5$	MRG5
<i>Medium Risk</i>	$5.5 < RG < 6.5$	MRG6
<i>High Risk</i>	$6.5 < RG < 7.5$	HRG7
<i>High Risk</i>	$7.5 < RG < 8.5$	HRG8
<i>High Risk</i>	$8.5 < RG < 9.5$	HRG9
<i>High Risk</i>	$9.5 < RG < 10.5$	HRG10
<i>High Risk</i>	$10.5 < RG < 11.5$	HRG11
<i>High Risk</i>	$11.5 < RG < 12$	HRG12

b. Inferensi

Pada proses inferensi, masukan *fuzzy* yang telah melalui tahap fuzzifikasi akan diproses menggunakan aturan-aturan *fuzzy*. Aturan-aturan ini diperoleh berdasarkan 4 parameter *vital sign* yang dipantau dengan merujuk pada sistem penilaian NEWS, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4. Dari data tersebut, diperoleh total 600 kombinasi aturan, dengan rincian 5 kombinasi pada himpunan *fuzzy* SBP dan Temp, 6 kombinasi pada himpunan *fuzzy* HR, serta 4 kombinasi pada himpunan *fuzzy* SPO2.

Tabel 4. Aturan Fuzzy

Aturan	SBP	HR	Temp	SPO2	Output
R1	<i>Low3</i>	<i>Low3</i>	<i>Low3</i>	<i>Low3</i>	HRG12
R2	<i>Low3</i>	<i>Low3</i>	<i>Low3</i>	<i>Low2</i>	HRG11
R3	<i>Low3</i>	<i>Low3</i>	<i>Low3</i>	<i>Low1</i>	HRG10
R4	<i>Low3</i>	<i>Low3</i>	<i>Low3</i>	<i>Normal</i>	HRG9

R5	Low3	Low3	Low1	Low3	HRG10
R6	Low3	Low3	Low1	Low2	HRG8
...	...	...	...	...	...
R599	High3	High3	High2	Low1	HRG9
R600	High3	High3	High2	Normal	HRG8

c. Defuzzifikasi

Dalam proses defuzzifikasi yang digunakan pada sistem ini menggunakan metode *centroid*. Metode ini berguna untuk mencari nilai rata-rata yang tertimbang pada *fuzzy*. Secara umum rumus dari metode ini sebagai berikut.

$$Z^k = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i Z_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i} \quad (21)$$

Keterangan

$A_i = \alpha$ predikat ke-i

Z_i = *Output* pada anteseden aturan ke-i

n = Banyaknya aturan yang digunakan

C. Hasil dan Pembahasan

1. Implementasi alat

Pada **Gambar 10** ditunjukkan implementasi sistem pemantauan *vital sign* berbasis *Internet of Things*. Sistem ini terdiri dari *enclosure* yang menyimpan PCB yang dirancang untuk memproses sistem elektrik pada alat ini. Di dalam *body enclosure* tersebut terdapat konektor-konektor yang digunakan untuk menghubungkan sensor-sensor yang akan diletakkan pada bagian tubuh. Sensor-sensor tersebut meliputi sensor MAX30100 yang ditempatkan pada ujung jari, blood pressure monitor yang dipasang pada pergelangan tangan, sensor ECG pad AD8232 yang diletakkan pada dada, dan sensor DS18B20 yang diletakkan pada ketiak.



Gambar 10. Implementasi alat

2. Implementasi antarmuka

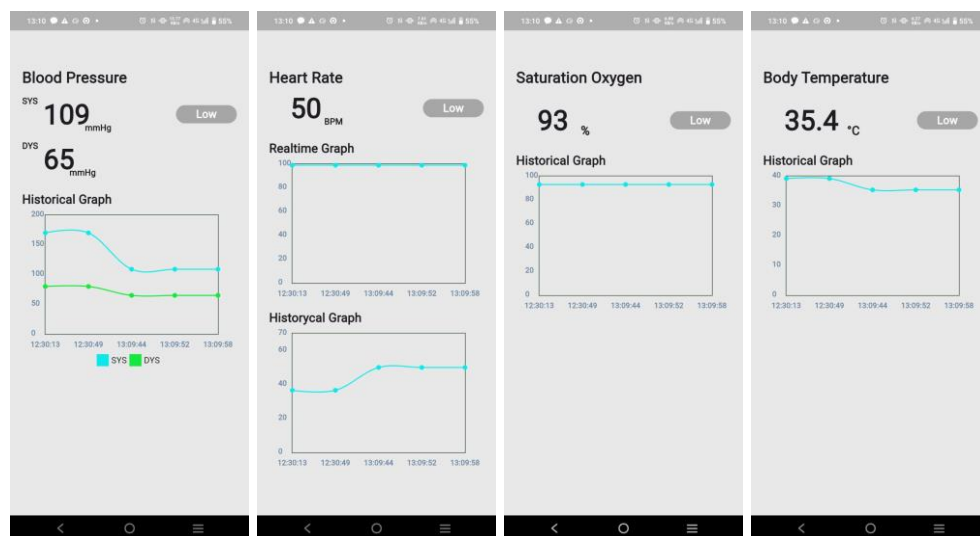
Setelah pengguna melakukan *login*, mereka akan diarahkan ke *dashboard* utama dari aplikasi ini. Halaman *dashboard* memungkinkan pengguna untuk melihat data

terakhir dari pengukuran yang telah dilakukan. Data ini mencakup informasi tentang status risiko kesehatan, tekanan darah, detak jantung, saturasi oksigen, dan suhu tubuh, seperti yang ditampilkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Halaman *dashboard* utama

Selain itu juga pengguna dapat melihat *historical* grafik dari 5 pengukuran sebelumnya. Grafik ini juga disertai data aktual pengukuran terbaru dengan status ambang normal setiap parameteranya. Dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Halaman *historical* grafik

3. Pengujian

a. Pengujian Pembacaan Parameter Tekanan Darah

Pada penelitian terdapat beberapa pengujian terhadap alat dan sistem yang dibuat. Pengujian pertama dilakukan yang pengujian pembacaan parameter vital sign. Pada bagian ini ada 4 pengujian yaitu pembacaan parameter tekanan darah

yang didapatkan dari alat yang diusulkan menggunakan *blood pressure monitor* yang diambil datanya secara serial, lalu pembacaan parameter detak jantung dengan sensor AD8232, pembacaan parameter saturasi oksigen dengan sensor MAX30100 dan pembacaan parameter suhu tubuh dengan menggunakan sensor DS18B20. Pengujian ini dibandingkan dengan alat ukur yang sudah terjual dipasaran yang memiliki nomor AKL.

Pada hasil pengujian pembacaan parameter tekanan darah yang tercantum pada Tabel 5 dilakukan pengujian sebanyak lima sampel. Hasil *error* yang didapatkan sebesar 3.6% untuk pembacaan Sistole dan 8.7% untuk pembacaan diastole. Pada parameter ini hanya sistole yang digunakan sebagai input parameter *fuzzy*. Sehingga akurasi dalam pembacaan sistole dapat dihitung sebagai berikut:

$$Akurasi(\%) = 100 - 3.6 = 96.4\% \quad (22)$$

Tabel 5. Hasil pengujian pembacaan parameter tekanan darah

Sampel	Alat Peneliti		ONEMED Tensi One 1A		Error (%)	Error (%)
	Sys(mmHg)	Dys(mmHg)	Sys(mmHg)	Dys(mmHg)	Sys	Dys
1	127	89	129	81	1.6	9.9
2	126	87	121	79	4.1	10.1
3	109	75	107	70	1.9	7.1
4	123	74	123	77	0.0	3.9
5	147	93	133	106	10.5	12.3
<i>Error rate</i>					3.6	8.7

b. Pengujian Pembacaan Parameter Detak Jantung

Pengujian pembacaan detak jantung dilakukan menggunakan sensor AD8232 yang dipasangkan pada bagian dada sampel. Pada Tabel 6 menunjukan bahwa pengujian dilakukan sebanyak lima kali dengan nilai *error* tertinggi sebesar 6.25%. Nilai *error rate* dari pengujian pembacaan detak jantung menggunakan sensor AD8232 sebesar 2%.

$$Akurasi(\%) = 100 - 2 = 98\% \quad (23)$$

Tabel 6. Hasil pengujian pembacaan parameter detak jantung

Sampel	Alat Peneliti	YUWELL YX102	<i>Error</i> (BPM)	<i>Error</i> (%)
	BPM	BPM		
1	86	86	0	0.00
2	80	81	1	1.23
3	77	79	2	2.53
4	107	106	1	0.94
5	90	96	6	6.25
<i>Error rate</i>				2.2

c. Pengujian Pembacaan Parameter Saturasi Oksigen

Pengujian pada pembacaan saturasi oksigen dan pada suhu tubuh juga dilakukan sebanyak lima sampel. Pengujian pembacaan saturasi oksigen menggunakan sensor MAX30100 yang dipasangkan pada ujung jari. Pada **Error! Reference source not found.** menunjukan nilai *error* tertinggi pada pembacaan

saturasi oksigen sebesar 2.08%. *Error rate* yang dihasilkan dari pengujian ini sebesar 2.2%.

$$Akurasi(\%) = 100 - 2.2 = 97.8\% \quad (23)$$

Tabel 7. Hasil pengujian pembacaan parameter saturasi oksigen

Sampel	Alat Peneliti	YUWELL YX102	Error (BPM)	Error (%)
	%	%		
1	96	95	1	1.05
2	96	96	0	0.00
3	95	94	1	1.06
4	98	96	2	2.08
5	97	96	1	1.04
<i>Error rate</i>				1.15

d. Pengujian Pembacaan Parameter Suhu Tubuh

Sensor DS18B20 digunakan dalam mengukur pengujian pembacaan suhu tubuh yang dipasangkan pada ketiak sampel. Pada Tabel 8 menunjukkan nilai *error* tertinggi sebesar 6.25% sedangkan, pada pembacaan suhu tubuh *error* terjadi bisa terjadi karena respon sensor yang terlalu lama sehingga belum mencapai puncak pengujian. *Error rate* yang dihasilkan pada pengujian ini adalah sebesar 1.15%.

$$Akurasi(\%) = 100 - 2 = 98\% \quad (24)$$

Tabel 8. Hasil pengujian pembacaan parameter suhu tubuh

Sampel	Alat Peneliti	BEURER FT-09/1	Error (°C)	Error (%)
	°C	°C		
1	37.06	36.6	0	0.00
2	35.25	35.1	1	1.23
3	34.81	34.6	2	2.53
4	35.13	35	1	0.94
5	35.18	35.2	6	6.25
<i>Error rate</i>				2

e. Pengujian Fuzzy Logic

Pengujian selanjutnya yaitu proses klasifikasi kondisi pasien menggunakan *fuzzy logic*. Klasifikasi pasien ini merujuk pada sistem penilaian NEWS, hanya saja parameter yang diujikan hanya 4 parameter sedangkan parameter *respiration rate*, alat bantu nafas, dan kondisi kesadaran pasien dianggap normal. Adapun klasifikasi pasien berdasarkan penilai NEWS ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Ambang kriteria penilaian NEWS

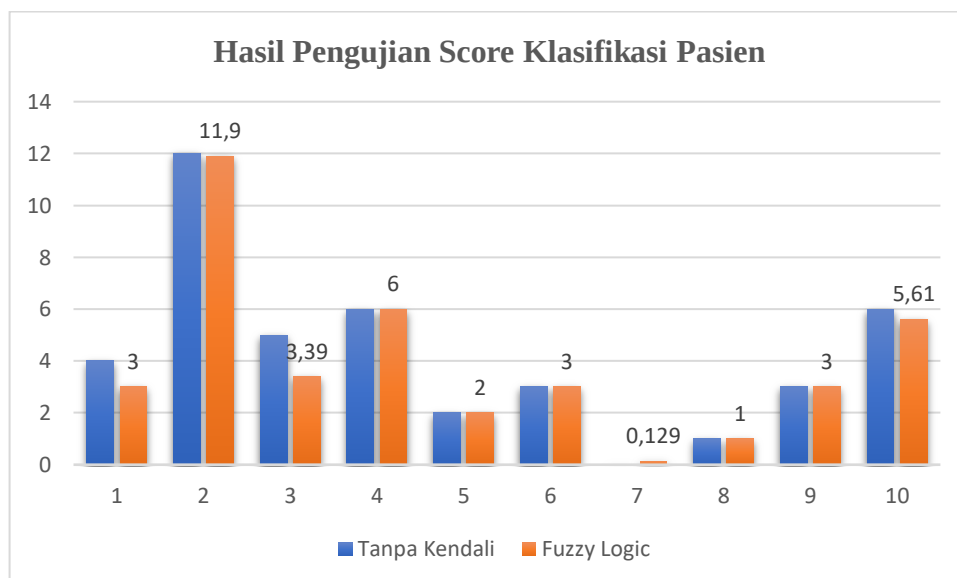
NEWS score	Clinical risk	Response
Aggregate score 0-4	Low	Ward based response
Red score of 3 in any individual parameter	Low-medium	Urgent ward based response
Aggregate score 5-6	Medium	Key threshold for urgent response

<i>Aggregate score 7 or more</i>	<i>High</i>	<i>Urgent or emergency response</i>
----------------------------------	-------------	-------------------------------------

Dari ambang kriteria tersebut yang digunakan pada penelitian ini hanya 3 kriteria yaitu *low*, *medium* dan *high*. Kondisi *low risk* terpenuhi jika *score* yang dihasilkan berada di *range* 0-4. Kondisi *medium risk* akan terpenuhi jika *score* berada di *range* 5-6 dan terakhir kondisi *high risk* akan terpenuhi jika *score* yang dihasilkan berada di atas 6.

Tabel 10. Hasil pengujian pembacaan klasifikasi risiko kesehatan dengan *fuzzy*

Sampel	Vital Sign				NEWS		Fuzzy Logic	
	SBP	HR	SPO2	Temp	Risk Status	Score	Risk Status	Score
1	158	85	92.5	38.5	Low	4	Low	3
2	85	30	85	32	High	12	High	11.9
3	130	131	98	38.7	Medium	5	Low	3.39
4	170	120	93	39.2	Medium	6	Medium	6
5	105	78	95	37.5	Low	2	Low	2
6	98	105	99	36.7	Low	3	Low	3
7	120	90	100	37.9	Low	0	Low	0.129
8	119	68	97	36	Low	1	Low	1
9	109	77	93	36.5	Low	3	Low	3
10	97	123	94	38.2	Medium	6	Medium	5.61



Gambar 13. Grafik pengujian pembacaan klasifikasi risiko kesehatan dengan *fuzzy*

Berdasarkan Tabel 10, terdapat 9 dari 10 pengujian yang memiliki status yang sama. Perbedaan ditemukan pada sampel data yang ke-3. Pada data tersebut sistem pakar yaitu NEWS menunjukkan penilaian di angka 5 dengan status resiko menengah, sedangkan pada penilaian *fuzzy logic* berada pada nilai 3.39 dengan status resiko rendah. Dengan berdasar pada pengujian yang dilakukan pada 10 pengujian, tingkat akurasi dari sistem klasifikasi *fuzzy* ini adalah sebagai berikut:

$$Akurasi(\%) = \frac{9}{10} \times 100\% = 90\% \quad (24)$$

D. Simpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem pemantauan vital sign berbasis IoT dengan penerapan *fuzzy logic* memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi pada berbagai parameter *vital sign*. Pengujian pada parameter tekanan darah menunjukkan *error rate* sebesar 3.6% untuk sistole, menghasilkan akurasi sebesar 96.4%, dan *error rate* sebesar 8.7% untuk diastole, dengan akurasi 91.3%. Pengujian saturasi oksigen menggunakan sensor MAX30100 menunjukkan *error rate* sebesar 2.2% dan akurasi 97.8%. Untuk suhu tubuh, pengujian menggunakan sensor DS18B20 menunjukkan *error rate* sebesar 1.15% dan akurasi 98.85%, meskipun respon sensor yang lambat dapat menyebabkan kesalahan pengukuran. Pengujian detak jantung menggunakan sensor AD8232 menunjukkan *error rate* sebesar 2% dan akurasi 98%.

Perbandingan antara sistem fuzzy dan NEWS menunjukkan bahwa 9 dari 10 pengujian mendapatkan hasil yang sama berdasarkan status risiko, dengan beberapa perbedaan pada nilai yang dihasilkan. Keseluruhan hasil pengujian ini menunjukkan bahwa sistem pemantauan *vital sign* berbasis IoT dengan penerapan *fuzzy logic* memiliki potensi besar untuk memberikan hasil yang akurat dan andal, meskipun diperlukan perbaikan lebih lanjut dalam metode pengukuran dan penyesuaian teknis untuk meningkatkan keandalan dan akurasi sistem. Implementasi sistem ini dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam pemantauan kesehatan pasien, terutama dalam kondisi klinis yang dinamis.

E. Referensi

- [1] A. Rejeb *et al.*, "The Internet of Things (IoT) in healthcare: Taking stock and moving forward," *Internet of Things (Netherlands)*, vol. 22, no. February, p. 100721, 2023, doi: 10.1016/j.iot.2023.100721.
- [2] A. N. Azizah and Y. Sundaya, "Estimasi Model Permintaan Kesehatan Rumah Tangga di Indonesia pada Masa Pandemi Covid-19," *J. Ris. Ilmu Ekon. dan Bisnis*, pp. 73–80, 2022, doi: 10.29313/jrieb.vi.1164.
- [3] C. W. Nurfitroh and D. S. H. Putra, "Prediksi Jumlah Kunjungan Pasien Rawat Jalan Tahun 2023-2025 Di RSUP Dr. Hasan Sadikin Bandung," 2023.
- [4] A. Azis, A. Amaliah, and Anggada, "RANCANG BANGUN SISTEM TELEMEDIS WIRELESS BODY AREA NETWORK (WBAN) UNTUK MONITORING PASIEN RAWAT JALAN," *J. Elektron. Telekomun. Comput.*, vol. 15, no. 2, pp. 1–10, 2020.
- [5] M. J. M. Breteler *et al.*, "Vital Signs Monitoring with Wearable Sensors in High-risk Surgical Patients," *Anesthesiology*, pp. 424–439, 2020, doi: 10.1097/ALN.0000000000003029.
- [6] J. A. Al-Dmour, A. Sagahyoon, A. R. Al-Ali, and S. Abusnana, "A fuzzy logic-based warning system for patients classification," *Health Informatics J.*, vol. 25, no. 3, pp. 1004–1024, 2019, doi: 10.1177/1460458217735674.
- [7] J. Adler and J. Dekerlegand, "Implementation of a Vital Sign Guidelines for the Outpatient Therapist," *Patient Saf.*, vol. 5, no. 3, pp. 1–6, 2023, doi: 10.33940/001c.88307.
- [8] M. Jacobsen, T. A. Dembek, G. Kobbe, P. W. Gaidzik, and L. Heinemann,

- “Noninvasive Continuous Monitoring of Vital Signs With Wearables: Fit for Medical Use?,” *J. Diabetes Sci. Technol.*, vol. 15, no. 1, pp. 34–43, 2020, doi: 10.1177/1932296820904947.
- [9] A. S. Utomo, E. H. P. Negoro, and M. Sofie, “Monitoring Heart Rate Dan Saturasi Oksigen Melalui Smartphone,” *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 10, no. 1, pp. 319–324, 2019, doi: 10.24176/simet.v10i1.3024.
- [10] S. K. Abdullah, “Remote Heart Rate Monitor System using NodeMcu Microcontroller and easy pulse sensor v1.1,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019. doi: 10.1088/1757-899X/518/5/052016.
- [11] M. S. Islam, M. T. Islam, A. F. Almutairi, G. K. Beng, N. Misran, and N. Amin, “Monitoring of the Human Body Signal through the Internet of Things (IoT) based LoRa Wireless Network System,” *Appl. Sci.*, vol. 9, no. 9, 2019, doi: 10.3390/app9091884.
- [12] Alamsyah, M. Subito, M. Ikhlaiy, and E. Setijadi, “Internet of things-based vital sign monitoring system,” *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 10, no. 6, pp. 5891–5898, 2020, doi: 10.11591/ijece.v10i6.pp5891-5898.
- [13] P. R. Dewanta, N. A. Karna, and H. Fauzi Putra, “Pemantauan Tanda Vital Non Kontak Berbasis Website,” in *e-Proceeding of Engineering*, 2021, pp. 5170–5177.
- [14] A. S. Sanjaya, N. B. A. Karna, and H. F. T. S. Putra, “Pemantauan Tanda Vital Non-Kontak Berbasis Iot Menggunakan Mikrokontroler Esp32,” in *e-Proceeding of Engineering*, 2021, p. 5178.
- [15] A. Monetra, M. Hannats, H. Ichsan, and R. Maulana, “Perancangan Sistem Monitoring Tanda Vital Pada Tubuh Manusia Secara Real Time Dengan Tampilan Desktop,” *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 5, no. 1, pp. 79–87, 2021, [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [16] A. Cahyana, M. Y. Hariyawan, W. Indani, and S. Ramadona, “Sistem Cerdas Pemantau Kesehatan Pasien Lanjut Usia Berbasis IoT (Hardware),” *J. Politek. Caltex Riau*, vol. 9, no. 1, pp. 160–169, 2023.
- [17] H. P. Guna and H. Purwoko, “Vital Sign Monitor,” *Med. Tek. J. Tek. Elektromedik Indones.*, vol. 1, no. 2, 2020, doi: 10.18196/mt.010209.
- [18] W. Al Haq, “Rancang Alat Pengukur Denyut Nadi Berbasis Sensor Strain Gauge Melalui Media Bluetooth Smartphone,” *SinarFe7-4*, vol. 4, no. 1, pp. 497–502, 2021.
- [19] C. Polley *et al.*, “Wearable Bluetooth Triage Healthcare Monitoring System,” *Sensors*, vol. 21, no. 22, pp. 1–20, 2021, doi: 10.3390/s21227586.
- [20] R. Jansi, R. Amutha, and S. Radha, “Remote monitoring of children with chronic illness using wearable vest,” *Telemed. Technol. Big Data, Deep Learn. Robot. Mob. Remote Appl. Glob. Healthc.*, pp. 121–137, 2019, doi: 10.1016/B978-0-12-816948-3.00008-8.