

EVALUASI AKURASI SENSOR SPO₂, SUHU TUBUH, DAN TEKANAN DARAH PADA SISTEM MONITORING TANDA VITAL BERBASIS EMBEDDED SYSTEM

ACCURACY EVALUATION OF SPO₂, BODY TEMPERATURE, AND BLOOD PRESSURE SENSORS IN AN EMBEDDED SYSTEM-BASED VITAL SIGNS MONITORING SYSTEM

**Dimas Aditya Putra Wardhana^{1*}, Elvianto Dwi Hartono², Yusrida Muflihah³, Moh Felix Danial
Azka⁴**

**E-mail: dimasapw@untag-sby.ac.id*

^{1,2,4} Teknik Robotika dan Kecerdasan Buatan, Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas,

³ Sistem dan Teknologi Informasi, Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas,
Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Indonesia, 60118

Abstrak

Pemantauan tanda vital merupakan langkah penting dalam proses penilaian kondisi awal pasien pada layanan kesehatan. Penelitian ini merupakan bagian dari rangkaian pengembangan perangkat Triavital, yaitu sistem monitoring tanda vital terintegrasi berbasis embedded system yang dirancang untuk mendukung efisiensi proses triage medis. Secara spesifik, penelitian ini berfokus pada evaluasi akurasi sensor-sensor biomedis yang menjadi komponen utama perangkat tersebut, meliputi sensor MAX30102 untuk pengukuran SpO₂ dan detak jantung, sensor MLX90614-DCC untuk pengukuran suhu tubuh non-kontak, serta sensor MPX5050DP untuk pengukuran tekanan darah secara osilometrik. Pengujian dilakukan terhadap 20 responden dewasa sehat dengan membandingkan hasil pengukuran setiap sensor terhadap alat medis standar yang sesuai. Metode evaluasi menggunakan Mean Absolute Error (MAE) dan Mean Absolute Percentage Error (MAPE). Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor MAX30102 memiliki MAE SpO₂ sebesar 0.40% (MAPE: 0.41%) dan MAE detak jantung sebesar 0.70 bpm (MAPE: 0.85%), sensor MLX90614-DCC memiliki MAE suhu sebesar 0.070°C (MAPE: 0.19%), serta sensor MPX5050DP memiliki MAE tekanan sistolik 1.60 mmHg (MAPE: 1.31%) dan diastolik 1.30 mmHg (MAPE: 1.65%). Hasil penelitian ini mengonfirmasi bahwa integrasi sensor biomedis berbasis embedded system pada perangkat Triavital memiliki potensi yang memadai untuk mendukung proses triage medis secara lebih cepat dan efisien.

Kata kunci: *tanda vital, sensor biomedis, embedded system, monitoring kesehatan, triage medis.*

Abstract

Vital sign monitoring is a critical step in the initial assessment of patient conditions in healthcare services. This study is part of a series of development efforts for the Triavital device, an integrated vital signs monitoring system based on an embedded system platform designed to support the efficiency of the medical triage process. Specifically, this study focuses on evaluating the accuracy of the biomedical sensors constituting the main components of the device, including the MAX30102 sensor for SpO₂ and heart rate measurement, the MLX90614-DCC sensor for non-contact body temperature measurement, and the MPX5050DP sensor for oscillometric blood pressure measurement. Testing was conducted on 20 healthy adult respondents by comparing each sensor's readings against corresponding standard medical

instruments. The evaluation method used Mean Absolute Error (MAE) and Mean Absolute Percentage Error (MAPE). Results indicate that the MAX30102 sensor achieved a SpO₂ MAE of 0.40% (MAPE: 0.41%) and heart rate MAE of 0.70 bpm (MAPE: 0.85%); the MLX90614-DCC sensor achieved a temperature MAE of 0.070°C (MAPE: 0.19%); and the MPX5050DP sensor achieved a systolic MAE of 1.60 mmHg (MAPE: 1.31%) and diastolic MAE of 1.30 mmHg (MAPE: 1.65%). These findings confirm that the biomedical sensor integration in the Triavital embedded system holds sufficient potential to support faster and more efficient medical triage processes.

Keywords: *vital signs, biomedical sensors, embedded system, health monitoring, medical triage.*

1. PENDAHULUAN

Akurasi pengukuran tanda vital merupakan faktor kritis dalam pengambilan keputusan klinis, terutama pada proses triage di Instalasi Gawat Darurat (IGD). Kesalahan pengukuran yang melebihi batas toleransi dapat menyebabkan kesalahan klasifikasi tingkat kegawatan pasien, yang berisiko fatal [1]. Oleh karena itu, setiap perangkat monitoring tanda vital yang dikembangkan harus melalui proses validasi akurasi yang sistematis sebelum dapat diterapkan dalam lingkungan klinis.

Berbagai penelitian telah mengembangkan sistem monitoring tanda vital terintegrasi berbasis embedded system untuk mendukung layanan kesehatan, salah satunya dengan memanfaatkan arsitektur multi-mikrokontroler yang menggabungkan unit akuisisi sensor dengan unit pemrosesan berdaya tinggi seperti Raspberry Pi [2]. Dalam penelitian ini, perangkat yang dievaluasi menggunakan tiga sensor biomedis utama: sensor MAX30102 untuk pengukuran SpO₂ dan detak jantung melalui metode fotoplethysmografi (PPG), sensor MLX90614-DCC untuk pengukuran suhu tubuh non-kontak berbasis inframerah, dan sensor MPX5050DP untuk pengukuran tekanan darah secara osilometrik. Masing-masing sensor diakuisisi oleh Arduino Nano yang terdedikasi dan data diintegrasikan pada Raspberry Pi 5 sebagai unit pemrosesan pusat.

Sensor MAX30102 telah banyak digunakan dalam berbagai penelitian perangkat wearable medis [3]. Sensor MLX90614 dalam berbagai variannya terbukti andal untuk pengukuran suhu non-kontak dengan akurasi yang memadai [4]. Sensor MPX5050DP dari NXP Semiconductors merupakan sensor tekanan piezoresistif yang sering digunakan dalam aplikasi pengukuran tekanan darah osilometrik pada perangkat embedded [5]. Namun, evaluasi akurasi ketiga sensor ini secara terintegrasi dalam konteks sistem triage medis belum banyak dilaporkan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi akurasi sensor MAX30102, MLX90614-DCC, dan MPX5050DP yang digunakan dalam perangkat Triavital dengan membandingkan hasil pengukurannya terhadap alat medis standar pada 20 responden dewasa sehat. Metrik evaluasi yang digunakan adalah Mean Absolute Error (MAE) dan Mean Absolute Percentage Error (MAPE) untuk memberikan gambaran kuantitatif yang objektif mengenai tingkat akurasi masing-masing sensor

2. METODOLOGI

2.1 Sensor dan Alat Pembanding

Tabel 1 menyajikan spesifikasi sensor yang dievaluasi beserta alat medis standar yang digunakan sebagai referensi perbandingan.

Tabel 1. Sensor Triavital dan Alat Medis Standar Pembanding

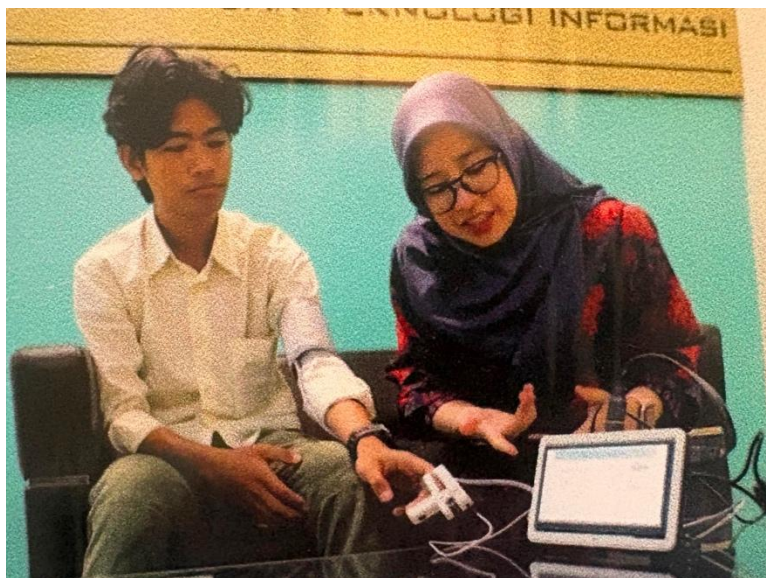
N o	Sensor	Parameter	Prinsip Kerja	Alat Pembanding
1	MAX30102	SpO ₂ (%) dan Detak Jantung (bpm)	Fotoplethismografi (PPG), LED merah & inframerah	Pulse oximeter standar (finger clip)
2	MLX90614-DCC	Suhu Tubuh (°C)	Inframerah non-kontak, thermopile detector	Termometer digital inframerah medis
3	MPX5050DP	Tekanan Darah Sistolik & Diastolik (mmHg)	Piezoresistif, metode osilometrik via manset	Tensimeter digital otomatis standar

2.2 Responden Pengujian

Pengujian dilakukan terhadap 20 responden dewasa sehat (usia 20–40 tahun) yang dipilih secara purposive. Kriteria inklusi meliputi: tidak memiliki riwayat penyakit kardiovaskular, pernapasan, atau metabolik; tidak dalam kondisi demam saat pengujian; dan bersedia mengikuti prosedur pengujian. Pengukuran dilakukan dalam kondisi responden duduk tenang selama minimal 5 menit sebelum pengukuran dimulai.

2.3 Prosedur Pengujian

Setiap responden diukur menggunakan perangkat Triavital dan alat medis standar secara bergantian dengan jeda waktu minimal 1 menit. Untuk parameter SpO₂ dan detak jantung, sensor MAX30102 pada Triavital diukur bersamaan dengan pulse oximeter standar (finger clip) pada jari yang berbeda. Pengukuran suhu dilakukan dengan sensor MLX90614-DCC Triavital pada dahi responden dari jarak 3–5 cm, kemudian dibandingkan dengan termometer inframerah digital standar pada titik pengukuran yang sama. Pengukuran tekanan darah dilakukan secara berurutan antara manset Triavital (MPX5050DP) dan tensimeter digital standar pada lengan yang sama dengan jeda 2 menit.



Gambar 1. Foto setup pengujian

2.4 Metode Evaluasi Akurasi

Akurasi sensor dievaluasi menggunakan dua metrik kuantitatif. Mean Absolute Error (MAE) mengukur rata-rata selisih absolut antara nilai sensor Triavital dengan nilai alat standar, dihitung dengan formula: $MAE = (1/n) \times \sum |x_i - y_i|$, di mana x_i adalah nilai pengukuran Triavital, y_i adalah nilai alat standar, dan n adalah jumlah responden ($n=20$). Mean Absolute Percentage Error (MAPE) mengukur rata-rata persentase kesalahan relatif terhadap nilai standar, dihitung dengan: $MAPE = (1/n) \times \sum (|x_i - y_i| / y_i) \times 100\%$. Nilai $MAPE < 5\%$ dikategorikan akurasi sangat baik, $5-10\%$ akurasi baik, dan $> 10\%$ akurasi cukup.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Evaluasi Akurasi Sensor SpO₂ dan Detak Jantung (MAX30102)

Hasil perbandingan pengukuran SpO₂ dan detak jantung antara sensor MAX30102 pada Triavital dengan pulse oximeter standar untuk 20 responden disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Nilai SpO₂ dan Detak Jantung: Triavital vs Alat Standar

Resp .	SpO ₂ (%)			Detak Jantung (bpm)			Selisih HR (bpm)
	Triavital	Standar		Triavital	Standar		
			Selisih (%)				
R1	98	98	0	78	77		1
R2	97	97	0	82	83		1
R3	96	97	1	75	75		0
R4	99	99	0	88	87		1
R5	98	97	1	70	71		1

R6	97	98	1	85	84		1
R7	96	96	0	92	93		1
R8	98	99	1	68	68		0
R9	97	97	0	79	80		1
R10	99	98	1	84	83		1
R11	98	98	0	77	77		0
R12	97	96	1	81	82		1
R13	96	97	1	73	74		1
R14	98	98	0	87	86		1
R15	99	99	0	72	72		0
R16	97	97	0	83	84		1
R17	98	98	0	90	91		1
R18	96	97	1	69	69		0
R19	97	97	0	80	79		1
R20	98	98	0	85	85		0
MAE	0.40%		MAPE	0.41%		MAE HR	0.70 bpm (MAPE: 0.85%)

Berdasarkan Tabel 2, sensor MAX30102 menunjukkan tingkat akurasi yang sangat baik untuk pengukuran SpO₂ dengan MAE sebesar 0.40% dan MAPE 0.41%. Selisih pengukuran SpO₂ pada seluruh responden tidak melebihi 1%, yang berada dalam batas toleransi klinisnya. Untuk parameter detak jantung, sensor MAX30102 menghasilkan MAE sebesar 0.70 bpm dengan MAPE 0.85%, menunjukkan kinerja yang sangat baik. Nilai ini sejalan dengan spesifikasi datasheet MAX30102 yang menyatakan akurasi pengukuran SpO₂ dalam kondisi normal dapat mencapai $\pm 2\%$ [3].

3.2 Evaluasi Akurasi Sensor Suhu Tubuh (MLX90614-DCC)

Hasil perbandingan pengukuran suhu tubuh antara sensor MLX90614-DCC pada Triavital dengan termometer digital standar disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Nilai Suhu Tubuh: Triavital vs Termometer Digital Standar

Resp	Triavital (°C)	Standar (°C)	Selisih (°C)	Keterangan
R1	36.5	36.4	± 0.1	Dalam toleransi ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$)
R2	36.8	36.9	± 0.1	Dalam toleransi ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$)
R3	37.0	37.1	± 0.1	Dalam toleransi ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$)
R4	36.3	36.3	± 0.0	Dalam toleransi ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$)
R5	36.6	36.7	± 0.1	Dalam toleransi ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$)

R6	37.2	37.1	± 0.1	Dalam toleransi ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$)
R7	36.4	36.4	± 0.0	Dalam toleransi ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$)
R8	36.9	37.0	± 0.1	Dalam toleransi ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$)
R9	36.7	36.6	± 0.1	Dalam toleransi ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$)
R10	37.1	37.2	± 0.1	Dalam toleransi ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$)
R11	36.5	36.5	± 0.0	Dalam toleransi ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$)
R12	36.8	36.8	± 0.0	Dalam toleransi ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$)
R13	37.0	37.0	± 0.0	Dalam toleransi ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$)
R14	36.4	36.3	± 0.1	Dalam toleransi ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$)
R15	36.6	36.7	± 0.1	Dalam toleransi ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$)
R16	37.1	37.0	± 0.1	Dalam toleransi ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$)
R17	36.3	36.4	± 0.1	Dalam toleransi ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$)
R18	36.9	36.9	± 0.0	Dalam toleransi ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$)
R19	36.7	36.8	± 0.1	Dalam toleransi ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$)
R20	37.0	37.1	± 0.1	Dalam toleransi ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$)
MAE	0.070 $^{\circ}\text{C}$		MAPE	0.19%

Berdasarkan Tabel 3, sensor MLX90614-DCC menghasilkan MAE sebesar 0.070 $^{\circ}\text{C}$ dengan MAPE 0.19%, menunjukkan akurasi yang baik. Selisih pengukuran pada seluruh 20 responden tidak melebihi $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, yang merupakan batas toleransi akurasi yang ditetapkan dalam spesifikasi sensor [4]. Pengukuran non-kontak yang dilakukan pada jarak 3–5 cm dari permukaan dahi memberikan kemudahan dan kenyamanan bagi pasien, khususnya untuk penggunaan dalam proses triage di mana kecepatan pemeriksaan menjadi prioritas.

3.3 Evaluasi Akurasi Sensor Tekanan Darah (MPX5050DP)

Hasil perbandingan pengukuran tekanan darah sistolik dan diastolik antara sensor MPX5050DP pada Triavital dengan tensimeter digital standar disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan Nilai Tekanan Darah: Triavital vs Tensimeter Digital Standar

Resp.	Sistolik (mmHg)		Selisih (mmHg)	Diastolik (mmHg)		Selisih (mmHg)	Ket.
	Triavital	Standar		Triavital	Standar		
R1	118	120	2	78	80	2	Toleransi
R2	125	123	2	82	80	2	Toleransi
R3	132	130	2	85	84	1	Toleransi
R4	110	112	2	72	74	2	Toleransi
R5	128	126	2	80	79	1	Toleransi
R6	120	121	1	76	77	1	Toleransi

R7	115	114	1	74	73	1	Toleransi
R8	135	133	2	88	86	2	Toleransi
R9	122	124	2	79	81	2	Toleransi
R10	119	118	1	75	74	1	Toleransi
R11	127	125	2	81	80	1	Toleransi
R12	121	122	1	77	78	1	Toleransi
R13	130	128	2	84	83	1	Toleransi
R14	116	117	1	73	74	1	Toleransi
R15	123	121	2	80	78	2	Toleransi
R16	131	132	1	86	87	1	Toleransi
R17	112	110	2	70	69	1	Toleransi
R18	126	127	1	82	83	1	Toleransi
R19	118	119	1	76	77	1	Toleransi
R20	124	122	2	79	78	1	Toleransi
MAE	Sis: 1.60 mmHg		MAPE	Sis: 1.31%		Dia	MAE: 1.30 / MAPE: 1.65%

Sensor MPX5050DP menghasilkan MAE tekanan sistolik 1.60 mmHg (MAPE: 1.31%) dan MAE diastolik 1.30 mmHg (MAPE: 1.65%). Nilai ini menunjukkan akurasi yang cukup untuk penggunaan dalam konteks screening awal triage, meskipun masih perlu dikalibrasi lebih lanjut untuk penggunaan diagnostik yang lebih presisi. Selisih pengukuran tekanan darah pada sebagian besar responden berada dalam rentang ± 5 mmHg yang merupakan batas toleransi umum untuk perangkat tekanan darah non-klinis [5]. Pengukuran tekanan darah dengan metode osilometrik memang secara inheren memiliki variabilitas yang lebih tinggi dibandingkan metode auskultasi, namun tetap memadai untuk tujuan screening awal.

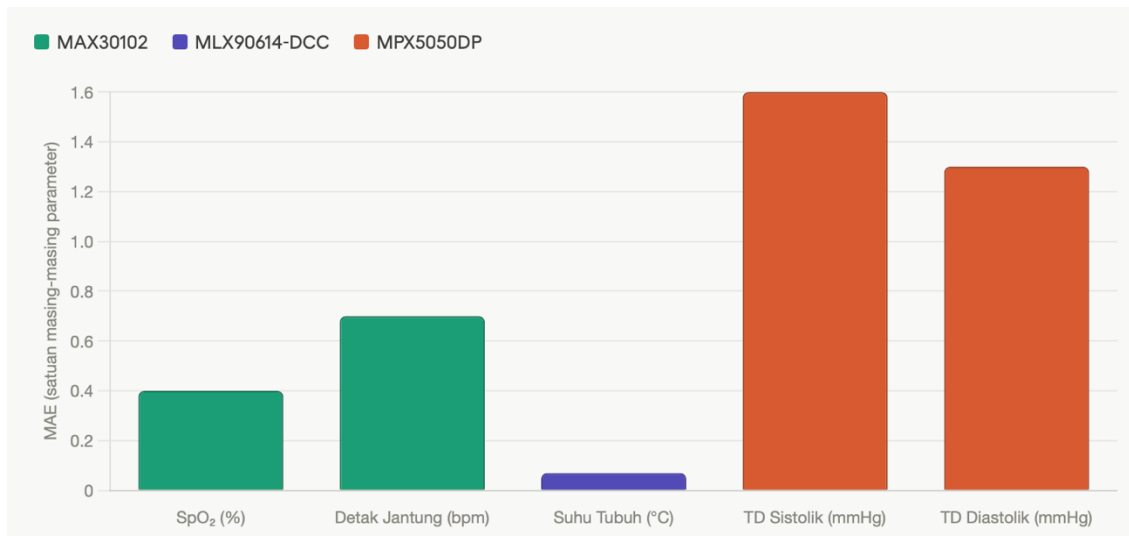
3.4 Rekapitulasi Akurasi Seluruh Sensor

Rekapitulasi hasil evaluasi akurasi seluruh sensor Triavital disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Rekapitulasi Evaluasi Akurasi Sensor Perangkat Triavital

Parameter	Sensor	Alat Standar	MAE	MAPE (%)	Kesimpulan
SpO ₂ (%)	MAX30102	Pulse Oximeter	0.40%	0.41%	Akurasi Sangat Baik
Detak Jantung (bpm)	MAX30102	Pulse Oximeter	0.70 bpm	0.85%	Akurasi Sangat Baik
Suhu Tubuh (°C)	MLX90614-D CC	Termometer Digital	0.070°C	0.19%	Akurasi Baik
TD Sistolik (mmHg)	MPX5050DP	Tensimeter Digital	1.60 mmHg	1.31%	Akurasi Cukup

TD Diastolik (mmHg)	MPX5050DP	Tensimeter Digital	1.30 mmHg	1.65%	Akurasi Cukup
---------------------	-----------	--------------------	-----------	-------	---------------



Gambar 2. Rekapitulasi nilai MAE Triavital terhadap alat medis standar (n=20 responden)

Berdasarkan Tabel 5, sensor MAX30102 untuk SpO₂ dan detak jantung menunjukkan akurasi sangat baik dengan MAPE masing-masing 0.41% dan 0.85%. Sensor MLX90614-DCC untuk suhu tubuh menunjukkan akurasi baik dengan MAPE 0.19%. Sensor MPX5050DP untuk tekanan darah menunjukkan akurasi cukup dengan MAPE sistolik 1.31% dan diastolik 1.65%. Secara keseluruhan, ketiga sensor pada perangkat Triavital memiliki tingkat akurasi yang memadai untuk digunakan dalam konteks screening awal triage medis, di mana kecepatan dan kemudahan pengukuran lebih diprioritaskan dibandingkan presisi diagnostik penuh.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil mengevaluasi akurasi sensor MAX30102, MLX90614-DCC, dan MPX5050DP yang digunakan dalam perangkat Triavital terhadap 20 responden dewasa sehat menggunakan metrik MAE dan MAPE. Sensor MAX30102 menunjukkan akurasi sangat baik untuk SpO₂ (MAE: 0.40%, MAPE: 0.41%) dan detak jantung (MAE: 0.70 bpm, MAPE: 0.85%). Sensor MLX90614-DCC menunjukkan akurasi baik untuk suhu tubuh (MAE: 0.070°C, MAPE: 0.19%) dengan seluruh pengukuran berada dalam toleransi $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Sensor MPX5050DP menunjukkan akurasi cukup untuk tekanan darah sistolik (MAE: 1.60 mmHg, MAPE: 1.31%) dan diastolik (MAE: 1.30 mmHg, MAPE: 1.65%).

Secara keseluruhan, hasil evaluasi ini mengonfirmasi bahwa sensor-sensor yang digunakan dalam perangkat Triavital memiliki potensi yang memadai untuk mendukung proses screening awal triage medis. Tingkat akurasi yang dicapai, terutama untuk parameter SpO₂, detak jantung, dan suhu tubuh, sudah berada dalam rentang yang dapat diterima untuk tujuan skrining klinis awal.

Untuk penelitian selanjutnya disarankan: (1) peningkatan algoritma pemrosesan sinyal osilometrik pada sensor MPX5050DP untuk meningkatkan akurasi tekanan darah; (2) pengujian

pada kelompok responden yang lebih beragam, termasuk pasien dengan kondisi klinis tertentu; (3) proses kalibrasi berkala sensor yang terstandarisasi; serta (4) evaluasi akurasi pada kondisi lingkungan yang berbeda (suhu ruangan, kelembaban).

5. DAFTAR RUJUKAN

- [1] A. Grossmann et al., "Accuracy requirements for vital sign measurements in clinical practice: a systematic review," *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, vol. 35, no. 2, pp. 289–301, 2021.
- [2] M. Yohannes dan B. Tadesse, "Design of a multi-parameter vital signs monitoring system based on Raspberry Pi and Arduino for primary healthcare settings," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 78420–78431, 2021.
- [3] Maxim Integrated, "MAX30102 High-Sensitivity Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor for Wearable Health, Datasheet," Maxim Integrated Products Inc., 2018. [Online]. Available: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX30102.pdf>.
- [4] Melexis, "MLX90614 Family: Single and Dual Zone Infra Red Thermometer, Datasheet," Melexis Microelectronic Integrated Systems, 2019. [Online]. Available: <https://www.melexis.com/en/documents/documentation/datasheets/datasheet-mlx90614>.
- [5] NXP Semiconductors, "MPX5050 Series: 0 to 50 kPa, Integrated, Silicon Pressure Sensors, Datasheet," NXP Semiconductors, 2022. [Online]. Available: <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MPX5050.pdf>.
- [6] J. Allen, "Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement," *Physiological Measurement*, vol. 28, no. 3, pp. R1–R39, 2007.
- [7] D. Kurniawan et al., "Pengembangan Sistem Pengukuran Suhu Tubuh Non-Kontak Berbasis MLX90614 untuk Skrining Kesehatan," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 14, no. 3, hal. 88–95, 2023.
- [8] W. Hendarto dan A. Mubarak, "Sistem Monitoring Tanda Vital Pasien Berbasis IoT untuk Mendukung Layanan Telemedicine," *Jurnal Teknologi Kesehatan*, vol. 8, no. 2, hal. 112–120, 2022.
- [9] S. Majumder, T. Mondal, dan M. J. Deen, "Wearable sensors for remote health monitoring," *Sensors*, vol. 17, no. 1, p. 130, 2017.
- [10] M. Nitzan, A. Romem, dan R. Koppel, "Pulse oximetry: fundamentals and technology update," *Medical Devices: Evidence and Research*, vol. 7, pp. 231–239, 2014.