Jurnal Otomasi Kontrol dan Instrumentasi Vol 18 (2), 2026 ISSN: 2085-2517
https://doi.org/10.5614/joki.2026.18.2.2 E-ISSN: 2460-6340

Rancang Bangun Alat *Pulse Oximeter* Portabel Berbiaya Rendah Berbasis IoT

Design and Development of a Low-Cost IoT-Based Portable Pulse Oximeter

[1] Indri Desriani, [1]Mona Berlian Sari*)

[1]Departemen Fisika, Universitas Negeri Padang, 25131, Padang, Indonesia

*) *corresponding email : monaberliansari@fmipa.unp.ac.id*

Abstrak

Pemantauan detak jantung dan saturasi oksigen secara *real-time* masih dilakukan menggunakan perangkat medis konvensional yang kurang praktis untuk penggunaan sehari-hari. Penelitian ini bertujuan untuk merancang prototipe *pulse oximeter* portabel berbasis *Internet of Things* (IoT) berbiaya rendah untuk pemantauan kesehatan secara *real*-time. Sistem dikembangkan menggunakan sensor MAX30100 sebagai pengukur BPM dan SpO_2, mikrokontroler ESP32 sebagai komponen pengolah data, serta layar OLED sebagai tampilan hasil pengukuran. Selain itu, data juga dikirim ke aplikasi Blynk sehingga dapat dipantau melalui *smartphone* secara jarak jauh. Pengujian dilakukan terhadap 20 responden yang terdiri dari 10 laki-laki dan 10 perempuan dengan membandingkan hasil pengukuran terhadap *pulse oximeter* komersial Serenity OX-48. Evaluasi kinerja sistem menggunakan parameter akurasi, *Mean Absolute Error* (MAE), standar deviasi, dan korelasi Pearson. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kelompok laki-laki menghasilkan akurasi rata-rata 98,71% untuk BPM (MAE = 1,09 BPM; r = 0,99) dan 99,16% untuk SpO_2 (MAE = 0,80%; r = 0,92). Sementara itu, kelompok perempuan menghasilkan akurasi rata-rata 98,88% untuk BPM (MAE = 1,01 BPM; r = 0,99) dan 99,17% untuk SpO_2 (MAE = 0,80%). Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem memiliki kinerja pengukuran yang akurat, stabil, dan konsisten pada kedua kelompok responden. Dengan demikian, sistem dapat mendukung pemantauan kondisi fisiologis secara *real-time* berbasis IoT.

Kata Kunci: BPM, SpO_2, pulse oximeter, sensor max30100

Abstract

Real-time monitoring of heart rate and oxygen saturation is commonly performed using conventional medical devices that are impractical for daily use. This study aims to design a low-cost, Internet of Things (IoT)-based portable pulse oximeter prototype for real-time health monitoring. The system employs a MAX30100 sensor to measure BPM and SpO_2, an ESP32 microcontroller for data processing, and an OLED to display the results. The measured data are also transmitted to the Blynk application for remote smartphone monitoring. Performance was evaluated on 20 participants consisting of 10 men and 10 women, by comparing the measurement results with those of the commercial Serenity OX-48 pulse oximeter. System performance was assessed using accuracy, Mean Absolute Error (MAE), standard deviation, and Pearson correlation. The male group achieved an average accuracy of 98.71% for BPM (MAE = 1.09 BPM; r = 0.99) and 99.16% for SpO_2 (MAE = 0.80%; r = 0.92). Meanwhile, the female group achieved an average accuracy of 98.88% for BPM (MAE = 1.01 BPM; r = 0.99) and 99.17% for SpO_2 (MAE = 0.80%). These results indicate that the system delivers accurate, stable, and reliable measurements and is suitable for real-time IoT-based physiological monitoring.

Keywords : BPM, SpO_2, pulse oximeter, max30100 sensor

Makalah diterima 25 April 2026 – makalah direvisi 22 Juni 2026 – disetujui 14 Juli 2026

Karya ini adalah naskah akses terbuka dengan lisensi CC BY-SA.

1 Pendahuluan

Jantung merupakan salah satu organ paling vital dalam tubuh manusia yang berfungsi memompa darah serta mendistribusikan oksigen dan nutrisi penting ke seluruh tubuh [1], [2]. Gangguan pada fungsi jantung dapat menimbulkan dampak yang serius bahkan berakibat fatal [3]. Salah satunya adalah kondisi henti jantung (*cardiac arrest*), yaitu keadaan ketika aktivitas listrik jantung terganggu atau otot jantung kekurangan oksigen akibat penyumbatan arteri oleh darah beku [4], [5]. Kondisi ini tidak hanya terjadi pada penderita penyakit jantung, tetapi juga dapat menyerang seseorang yang sebelumnya tampak sehat [6]. Di Indonesia, henti jantung masih menjadi masalah kesehatan yang cukup besar dengan perkiraan 300.000 – 350.000 kasus setiap tahunnya [7], [8]. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa pasien yang mengalami henti jantung umumnya telah menunjukkan perubahan atau abnormalitas pada parameter fisiologis 1 hingga 4 jam sebelum kejadian, namun perubahan tersebut sering kali tidak terpantau secara kontinu sehingga berpotensi menyebabkan keterlambatan deteksi penanganan [9].

Kondisi ini menunjukkan masih terbatasnya sistem deteksi dini, terutama di luar fasilitas kesehatan [10]. Saat ini, berbagai sistem *Early Warning Score* (EWS) telah digunakan di fasilitas kesehatan untuk membantu mendeteksi penurunan kondisi pasien berdasarkan evaluasi tanda vital dan parameter fisiologis lainnya. Pada perkembangannya, sistem tersebut juga mulai dikombinasikan dengan pemantauan biosinyal, seperti elektrokardiogram (ECG) guna meningkatkan kemampuan deteksi [11]. Namun, penggunaannya masih terbatas di lingkungan klinis, sehingga masyarakat umum dan keluarga pasien belum memiliki akses terhadap alat pemantauan kesehatan secara *real-time* dalam kehidupan sehari-hari [12]. Kondisi ini mendorong perlunya pengembangan perangkat pemantauan kesehatan yang lebih praktis, portabel, dan dapat diakses secara mandiri oleh pengguna di luar fasilitas kesehatan. Tanpa adanya sistem pemantauan dini, peluang pasien untuk mendapatkan penanganan cepat menjadi rendah, sehingga risiko kematian semakin meningkat [13], [14].

Beberapa penelitian telah mengembangkan teknologi pemantauan non-invasif untuk mengatasi permasalahan tersebut, salah satunya melalui penggunaan *pulse oximeter* yang mampu mengukur saturasi oksigen dalam darah dan detak jantung. Kedua parameter ini merupakan indikator penting dalam menilai kondisi kardiovaskular. Nilai normal saturasi oksigen (SpO_2) berada pada kisaran 95%-100%, sedangkan nilai di bawah 85% menunjukkan kondisi hipoksia, dan di bawah 70% termasuk kondisi kritis yang memerlukan penangan intensif [15]. Sementara itu, detak jantung yang tidak normal seperti bradikardia (BPM < 60) dan takikardia (BPM > 100) juga dapat menjadi indikasi adanya gangguan jantung [16]. Oleh karena itu, pemantauan kedua parameter ini secara terus-menerus sangat penting untuk mendukung deteksi dini dan pencegahan henti jantung [17].

Saat ini *pulse oximeter* komersial telah banyak digunakan sebagai perangkat non-invasif untuk mengukur saturasi oksigen dan detak jantung secara cepat dan praktis. Namun, sebagian besar *pulse oximeter* yang umum digunakan untuk pemantauan mandiri masih berfokus pada penampilan hasil pengukuran secara langsung pada perangkat, sehingga kemampuan pemantauan jarak jauh masih terbatas. Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, beberapa penelitian telah mengembangkan *pulse oximeter* berbasis sensor optik untuk pemantauan detak jantung dan saturasi oksigen. Yulianti & Prakoso (2023) mengembangkan *pulse oximeter* menggunakan sensor MAX30100 yang terhubung dengan aplikasi Blynk sehingga hasil pengukuran dapat dipantau melalui *smartphone* [18]. Namun, perangkat yang dikembangkan masih memiliki ukuran yang relatif besar sehingga kurang portabel dan belum optimal untuk penggunaan secara luas. Sementara itu, Septiar et al. (2024) mengembangkan *pulse oximeter* yang mampu mengukur SpO_2 dan detak jantung, namun alat tersebut belum terintegrasi dengan IoT dan masih dipengaruhi oleh noise pada hasil pengukurannya [19]. Penelitian lain terkait perangkat kesehatan berbasis IoT juga menunjukkan potensi yang baik, namun masih memiliki keterbatasan dari segi portabilitas, akurasi, maupun kemudahan penggunaan [20].

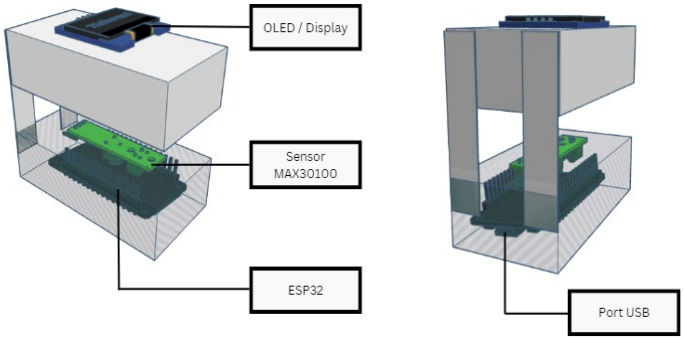
Temuan-temuan tersebut menunjukkan adanya dua celah penelitian utama yang masih perlu diatasi, yaitu: (1) keterbatasan portabilitas perangkat akibat ukuran dan integrasi komponen yang belum optimal, serta (2) belum tersedianya sistem pemantauan berbasis IoT yang memungkinkan akses data fisiologis secara *real-time* dari lokasi yang berbeda. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan perangkat *pulse oximeter* yang mampu mengintegrasikan kemampuan pengukuran fisiologis, komunikasi IoT, dan desain perangkat yang lebih ringkas dalam satu sistem yang mudah digunakan.

Berbeda dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini mengintegrasikan desain perangkat yang ringkas berbasis *layered enclosure* dengan sistem pemantauan IoT menggunakan ESP32 dan aplikasi Blynk, sehingga hasil pengukuran dapat dipantau secara langsung melalui layar OLED maupun secara jarak jauh melalui *smartphone*. Integrasi tersebut diharapkan dapat meningkatkan kemudahan penggunaan perangkat dalam aktivitas pemantauan kesehatan sehari-hari di luar fasilitas kesehatan. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengevaluasi prototipe *pulse oximeter* portabel berbasis IoT yang mampu mengukur detak jantung dan saturasi oksigen secara *real-time* menggunakan sensor MAX30100. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran perangkat terhadap alat *pulse oximeter* komersial untuk memperoleh tingkat akurasi sistem dengan target akurasi pengukuran minimal 95%.

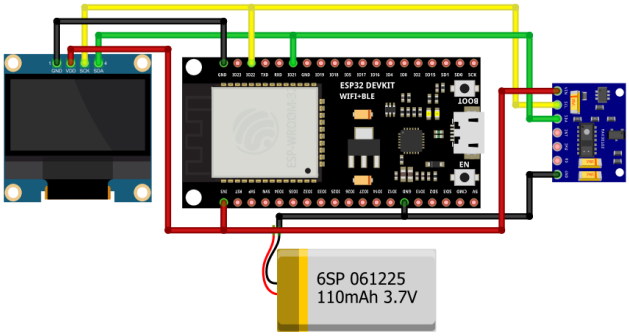
2 Metode

Penelitian ini merupakan penelitian rekayasa (*engineering research*) yang berfokus pada perancangan, pembuatan, dan evaluasi prototipe *pulse oximeter* portabel berbasis IoT. Tahapan penelitian meliputi perancangan sistem, implementasi perangkat keras dan perangkat lunak, integrasi sistem, serta pengujian dan evaluasi kinerja perangkat. Desain sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini mengintegrasikan komponen perangkat keras dan perangkat lunak ke dalam satu struktur yang ringkas dan portabel. Komponen utama yang digunakan meliputi sensor MAX30100 untuk mendeteksi saturasi oksigen (SpO_2) dan detak jantung, mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemrosesan data, layar OLED untuk menampilkan hasil

pengukuran, serta aplikasi Blynk sebagai platform pemantauan berbasis IoT. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, desain fisik alat menggunakan konsep bertingkat (*layered enclosure*), di mana bagian atas digunakan untuk menempatkan layar OLED, sedangkan bagian bawah berisi mikrokontroler ESP32 dan sensor MAX30100. Konfigurasi ini memberikan susunan komponen yang efisien, mudah digunakan, dan meningkatkan portabilitas alat. Perangkat yang dikembangkan memiliki dimensi keseluruhan 70 × 30 × 50 mm dengan berat sekitar 90 gram. Sistem menggunakan sumber daya baterai, sehingga dapat beroperasi secara mandiri tanpa catu daya eksternal. Dimensi yang relatif kecil dan bobot yang ringan mendukung penggunaan perangkat sebagai alat pemantauan fisiologis portabel.

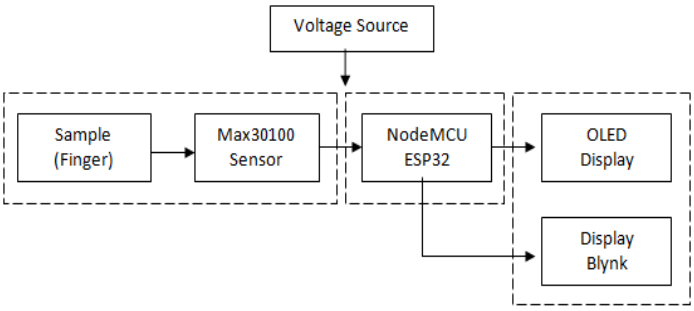


Gambar 1. Desain sistem



Gambar 2. Rangkaian elektronika sistem

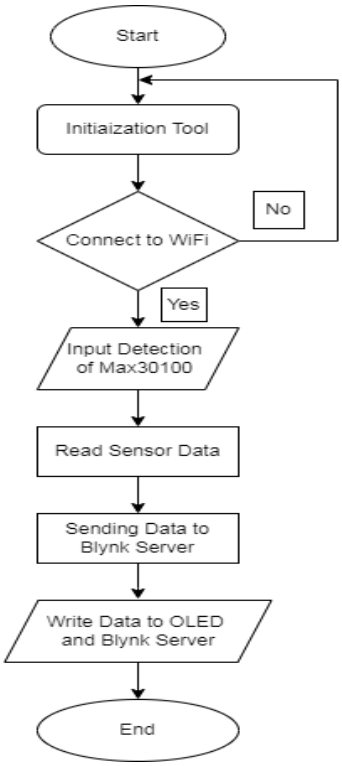
Gambar 2 menunjukkan wiring diagram antara sensor MAX30100, OLED, dan ESP32. Sensor MAX30100 serta OLED menggunakan komunikasi *Inter-Integrated Circuit* (I2C) dengan konfigurasi pin SDA pada GPIO21 dan pin SCL pada GPIO22 ESP32. Tegangan kerja sensor dan OLED diperoleh dari keluaran 3,3 V ESP32. Prinsip kerja keseluruhan sistem *pulse oximeter* ditunjukkan pada Gambar 3. Sistem ini terdiri dari empat bagian utama, yaitu aktivator, blok input, blok proses, dan blok output. Aktivator menyediakan sumber tegangan DC untuk mengoperasikan ESP32. Selanjutnya, ESP32 mendistribusikan tegangan 3,3 V ke blok input dan output. Blok input berupa sensor MAX30100 yang berfungsi mengukur detak jantung dan saturasi oksigen. Blok proses berupa ESP32 yang bertugas menerima data digital dari sensor, mengolah sinyal, serta menyiapkan data untuk ditampilkan. Blok output terdiri dari OLED dan aplikasi Blynk yang menampilkan nilai BPM dan SpO_2 secara *real-time*.



Gambar 3. Diagram blok sistem

Sistem dikembangkan menggunakan Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C++. Sensor dikonfigurasi pada mode pengukuran SpO_2 dan detak jantung dengan frekuensi sampling sebesar 100 Hz. Parameter sensor menggunakan arus LED inframerah sebesar 50 mA, arus LED merah sebesar 27,1 mA, lebar pulsa LED

sebesar 1600 µs, serta resolusi ADC 16-bit pada mode resolusi tinggi (*high-resolution mode*). Data hasil pembacaan sensor diproses menggunakan algoritma bawaan *library* MAX30100 untuk menghitung nilai BPM dan SpO_2. Proses akuisisi data dilakukan secara kontinu melalui pemanggilan fungsi pembaruan sensor (*sensor update*). Hasil pengukuran ditampilkan pada layar OLED dan dikirimkan ke aplikasi Blynk melalui jaringan WiFi dengan interval pengiriman data setiap 6 detik. Interval pengiriman 6 detik dipilih untuk menjaga kestabilan komunikasi data dan mengurangi beban transmisi pada jaringan WiFi.



Gambar 4. *Flowchart* algoritma pemrograman

Urutan operasional sistem *pulse oximeter* ditunjukkan pada Gambar 4 berupa flowchart algoritma pemrograman. Proses dimulai dengan inisialisasi ESP32, kemudian sistem melakukan pengecekan koneksi Wifi. Apabila koneksi gagal, sistem akan mengulang proses koneksi, sedangkan jika berhasil sensor MAX30100 akan diaktifkan. Setelah sensor aktif, pengguna meletakkan jari pada sensor untuk melakukan pengukuran BPM dan SpO_2. Data yang diperoleh kemudian diproses oleh mikrokontroler dan hasilnya dikirim secara bersamaan ke layar OLED untuk pemantauan langsung dan ke server Blynk untuk pemantauan jarak jauh secara *real-time*.

Pengambilan data dalam penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fisika, Universitas Negeri Padang. Responden yang terlibat berjumlah 20 orang yang terdiri dari 10 laki-laki dan 10 perempuan dengan rentang usia 20-24 tahun. Seluruh responden berada dalam kondisi sehat dan tidak memiliki riwayat penyakit kardiovaskular maupun gangguan pernapasan yang diketahui pada saat pengujian. Kriteria inklusi penelitian meliputi kesediaan responden untuk mengikuti seluruh rangkaian pengujian dan tidak memiliki gangguan pada jari yang digunakan untuk pengukuran. Adapun kriteria eksklusi meliputi adanya luka pada jari serta kondisi lainnya yang dapat mengganggu proses pembacaan sensor optik.

Sebelum pengujian utama dilakukan, fungsi sensor diverifikasi melalui pengukuran awal untuk memastikan sistem dapat menampilkan BPM dan SpO_2 secara stabil serta memberikan hasil yang sebanding dengan alat pembanding. Sebagai alat pembanding digunakan *pulse oximeter* komersial Serenity OX-48 (*fingertip pulse oximeter*) yang telah memiliki izin edar Kemenkes RI (AKL 20502520022). Perangkat pembanding ini memiliki rentang pengukuran saturasi oksigen sebesar 70-100% dengan akurasi ±2% dan pengukuran denyut jantung sebesar 30-240 BPM dengan akurasi ±2 BPM. Pengujian akurasi dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran BPM dan SpO_2 dari perangkat yang dikembangkan terhadap hasil pengukuran Serenity OX-48. Metode komparatif ini digunakan untuk mengevaluasi kinerja perangkat non-invasif dan disusun dengan mempertimbangkan prinsip umum pengujian *pulse oximeter* yang direkomendasikan dalam standar ISO 80601-2-61. Pengukuran dilakukan secara simultan (pada waktu yang sama) saat kondisi istirahat dengan menempatkan perangkat yang dikembangkan dan alat pembanding pada responden yang sama.

Nilai BPM dan SpO_2 yang diperoleh dari kedua perangkat kemudian digunakan untuk mengevaluasi tingkat akurasi sistem serta menganalisis karakteristik statistik hasil pengukuran. Analisis statistik dilakukan untuk menilai tingkat kesalahan pengukuran, sebaran galat, dan hubungan linier antara perangkat yang dikembangkan dengan alat pembanding. Tingkat kesalahan dan akurasi setiap pengukuran dihitung menggunakan Persamaan (1) dan (2).

$$Galat\ (\%) = \frac{|X_{sistem} - X_{standar}|}{X_{standar}} \times 100 \tag{1}$$

$$Akurasi\ (\%) = 100 - Galat\ (\%) \tag{2}$$

Untuk mengetahui rata-rata deviasi hasil pengukuran sistem terhadap alat standar, dihitung nilai *Mean Absolute Error* (MAE) menggunakan Persamaan (3).

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|X_{sistem,i} - X_{standar,i}\right| \tag{3}$$

Sebaran galat dianalisis menggunakan standar deviasi galat (*standard deviation of error*) yang dihitung berdasarkan Persamaan (4).

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(|e_i| - |\bar{e}|)^2}{n-1}} \tag{4}$$

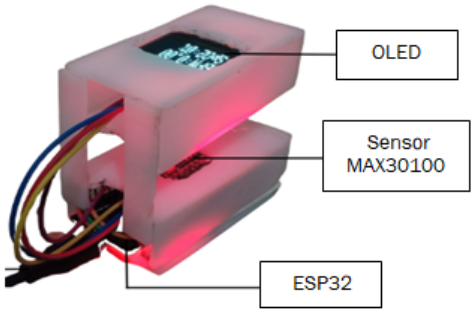
Hubungan linier antara hasil pengukuran sistem dan alat pembanding dievaluasi menggunakan koefisien korelasi Pearson (*r*) sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (5):

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_{standar,i} - \bar{X}_{standar})(X_{sistem,i} - \bar{X}_{sistem})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(X_{standar,i} - \bar{X}_{standar})^2 . \sum_{i=1}^{n}(X_{sistem,i} - \bar{X}_{sistem})^2}} \tag{5}$$

Pada Persamaan (1)-(5), X_{sistem} merupakan nilai hasil pengukuran perangkat yang dikembangkan, $X_{standar}$ merupakan nilai hasil pengukuran alat pembanding, *n* adalah jumlah data pengukuran, e_i adalah galat absolut pada pengukuran ke-*i*, dan $|\bar{e}|$ adalah rata-rata galat absolut.

3 Hasil & Diskusi

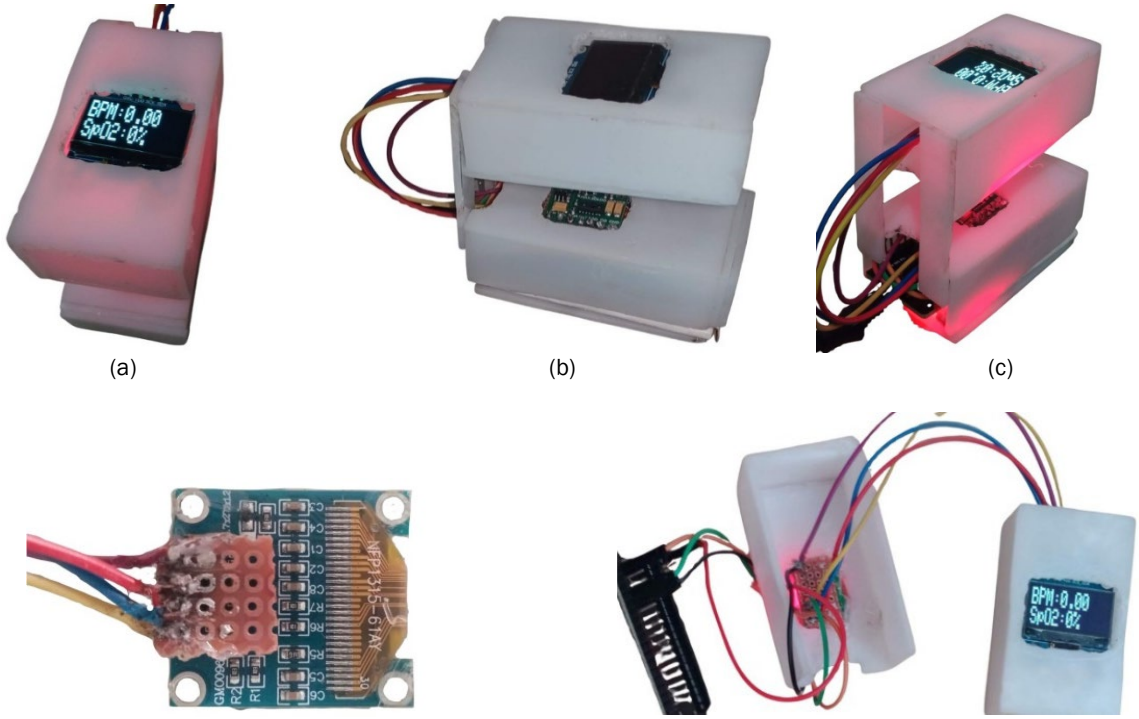
Sistem perangkat keras dari *pulse oximeter* yang dikembangkan telah berhasil dibuat untuk menghasilkan keluaran berupa nilai detak jantung (BPM) dan saturasi oksigen dalam darah (%). Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5, prototipe yang dirakit terdiri dari sensor MAX30100, ESP32, layar OLED, serta kabel penghubung antar komponen. Seluruh komponen tersebut diintegrasikan menjadi sebuah perangkat yang ringkas dan portabel, sehingga mampu mendukung pemantauan kesehatan secara berkelanjutan.



Gambar 5. Sistem perangkat keras

Desain fisik perangkat ditunjukkan pada Gambar 6 yang menampilkan alat dari berbagai sudut pandang. Gambar 6(a) menunjukkan tampak atas, Gambar 6(b) tampak samping, dan Gambar 6(c) tampak belakang, sedangkan Gambar 6(d) dan 6(e) memperlihatkan rangkaian internal, yaitu bagian OLED yang ditempatkan pada kompartemen atas serta sensor MAX30100 dan mikrokontroler ESP32 pada bagian bawah. Konfigurasi bertingkat ini dirancang untuk mengoptimalkan penempatan komponen dan mempermudah proses perakitan

sistem. Dari sisi perangkat lunak, aplikasi Blynk digunakan sebagai antarmuka untuk mendukung pemantauan data secara *real-time* yang mana aplikasi ini menampilkan nilai BPM dan SpO_2 hasil pemrosesan ESP32 pada *smartphone* pengguna.



(a) (b) (c)

(d) (e)

Gambar 6. (a) Tampak atas, (b) Tampak samping, (c) Tampak belakang, (d) Tampak dalam 1, (e) Tampak dalam 2

Pengujian akurasi alat dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sistem terhadap alat pembanding *pulse oximeter* Serenity OX-48, sebagaimana disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian pada responden laki-laki, sedangkan Tabel 2 pada responden perempuan. Untuk mengevaluasi kinerja sistem, dilakukan analisis menggunakan parameter rata-rata galat absolut (*Mean Absolute Error*/MAE), standar deviasi galat (SD), dan koefisien korelasi Pearson (r), sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 1. Hasil pengujian akurasi BPM dan SpO2 pada responden laki-laki

Responden	BPM				SpO_2			
	Serenity OX-48	Sistem	Galat (%)	*Acc* (%)	Serenity OX-48	Sistem	Galat (%)	*Acc* (%)
Subject-1	94,00	95,50	1,59	98,41	95,00	94,00	1,05	98,94
Subject-2	40,00	40,97	2,42	97,58	94,00	94,00	0,00	100,00
Subject-3	107,00	109,22	2,07	97,93	96,00	98,00	2,08	97,92
Subject-4	97,00	97,31	0,31	99,69	96,00	97,00	1,04	98,96
Subject-5	99,00	101,19	2,21	97,79	97,00	98,00	1,03	98,97
Subject-6	91,00	91,97	1,06	98,94	96,00	96,00	0,00	100,00
Subject-7	85,00	86,01	1,18	98,82	94,00	93,00	1,06	98,94
Subject-8	76,00	76,08	0,11	99,89	96,00	97,00	1,04	98,96
Subject-9	87,00	87,73	0,83	99,17	95,00	96,00	1,05	98,95
Subject-10	91,00	90,00	1,09	98,91	94,00	94,00	0,00	100,00
$Accuracy_{Avg}$				98,71				99,16

Tabel 2. Hasil pengujian akurasi BPM dan SpO_2 pada responden perempuan

Responden	BPM				SpO_2			
	Serenity OX-48	Sistem	Galat (%)	*Acc* (%)	Serenity OX-48	Sistem	Galat (%)	*Acc* (%)
Subject-11	95,00	95,00	0,00	100,00	98,00	98,00	0,00	100,00
Subject-12	96,00	98,02	2,10	97,90	96,00	99,00	3,12	96,88
Subject-13	98,00	99,30	1,32	98,68	97,00	97,00	0,00	100,00
Subject-14	78,00	78,34	0,43	99,57	97,00	97,00	0,00	100,00
Subject-15	96,00	97,01	1,05	98,95	96,00	96,00	0,00	100,00
Subject-16	102,00	102,91	0,91	99,09	97,00	98,00	1,03	98,97
Subject-17	97,00	97,01	0,01	99,99	97,00	98,00	1,03	98,97
Subject-18	93,00	92,82	0,19	99,81	96,00	98,00	2,08	97,92
Subject-19	85,00	86,90	2,23	97,77	97,00	97,00	0,00	100,00
Subject-20	81,00	83,41	2,97	97,03	96,00	95,00	1,04	98,96
$Accuracy_{Avg}$				98,88				99,17

Tabel 3. Parameter evaluasi kinerja sistem

Parameter	BPM		SpO_2	
	Laki-Laki	Perempuan	Laki-Laki	Perempuan
Akurasi Rata-Rata	98,71%	98,88%	99,16%	99,17%
MAE	1,09	1,01	0,80	0,80
Standar Deviasi	0,70	0,88	0,63	1,03
Korelasi (r)	0,99	0,99	0,92	0,27

Berdasarkan hasil pengujian, sistem menghasilkan rata-rata akurasi BPM sebesar 98,71% pada kelompok laki-laki dan 98,88% pada kelompok perempuan. Pada pengukuran SpO_2 diperoleh rata-rata akurasi sebesar 99,16% dan 99,17%. Selisih akurasi antara kedua kelompok kurang dari 0,2% menunjukkan bahwa performa sistem tetap konsisten pada seluruh responden yang diuji. Nilai MAE pengukuran BPM sebesar 1,09 BPM untuk laki-laki dan 1,01 BPM untuk kelompok perempuan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa rata-rata perbedaan pembacaan sistem terhadap alat pembanding berada pada kisaran satu denyut per menit. Pada parameter SpO_2, nilai MAE sebesar 0,80% pada kedua kelompok menunjukkan bahwa rata-rata selisih pengukuran berada di bawah 1%. Nilai galat tersebut menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu menghasilkan pengukuran yang mendekati alat *pulse oximeter* komersial Serenity OX-48. Standar deviasi galat BPM sebesar 0,70 pada kelompok laki-laki dan 0,88 pada kelompok perempuan. Pada pengukuran SpO_2 diperoleh standar deviasi sebesar 0,63 dan 1,03. Nilai standar deviasi yang rendah menunjukkan bahwa galat pengukuran antar responden tidak mengalami penyebaran yang besar, sehingga performa sistem tetap terjaga pada seluruh sampel pengujian.

Koefisien korelasi Pearson untuk pengukuran BPM mencapai 0,99 pada kedua kelompok responden. Nilai tersebut menunjukkan hubungan linier yang sangat kuat antara hasil pengukuran sistem dan alat pembanding. Pada pengukuran SpO_2 diperoleh nilai korelasi sebesar 0,92 pada kelompok laki-laki yang menunjukkan kesesuaian yang kuat antara kedua pengukuran. Sementara itu, kelompok perempuan menghasilkan koefisien korelasi sebesar 0,27. Nilai korelasi yang relatif rendah ini disebabkan oleh rentang data SpO_2 yang sempit, yaitu hanya berkisar antara 95-99%, sehingga variasi data yang tersedia tidak cukup besar untuk menghasilkan korelasi yang tinggi. Meskipun demikian, nilai MAE yang rendah (0,80%) dan rata-rata akurasi yang tinggi (99,17%) menunjukkan bahwa hasil pengukuran sistem tetap memiliki kesesuaian yang baik dengan alat pembanding.

Salah satu responden, yaitu *Subject-2*, memiliki nilai BPM sebesar 40 BPM. Secara klinis nilai tersebut termasuk kategori bradikardia, namun responden merupakan seorang atlet sehingga denyut jantung istirahat yang rendah masih dapat dijumpai sebagai bentuk adaptasi fisiologis terhadap aktivitas latihan yang rutin. Nilai tersebut masih berada dalam rentang pengukuran sensor MAX30100 berdasarkan *datasheet*, yaitu 27-

208 BPM. Sistem menghasilkan nilai pembacaan sebesar 40,97 BPM dengan galat 2,42%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem tetap mampu melakukan pengukuran pada kondisi detak jantung rendah tanpa mengalami kehilangan sinyal maupun kegagalan pembacaan. Oleh karena itu, pengukuran pada responden tersebut dinilai masih valid dan konsisten dengan hasil yang ditunjukkan oleh alat pembanding.

Beberapa responden menunjukkan nilai galat yang relatif lebih tinggi dibandingkan responden lainnya, seperti pengukuran BPM pada responden *Subject-20* dengan galat sebesar 2,97% dan pengukuran SpO_2 pada responden *Subject-12* dengan galat sebesar 3,12%. Perbedaan tersebut kemungkinan dipengaruhi oleh faktor eksternal selama proses pengukuran, seperti posisi jari pada sensor atau adanya gerakan selama proses pengambilan data. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa akurasi sensor optik seperti MAX30100 sangat dipengaruhi oleh kondisi pengukuran dan stabilitas sinyal. Meskipun demikian, nilai MAE yang diperoleh dari hasil pengujian cukup rendah dan tingkat akurasi di atas 95% yang menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan kualitas pengukuran dengan baik.

Salah satu karakteristik sistem yang dikembangkan adalah penggunaan komponen berbiaya rendah. Untuk mengevaluasi aspek tersebut, dilakukan analisis biaya berdasarkan komponen yang digunakan dalam pembangunan perangkat. Rincian biaya komponen ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Biaya komponen sistem

Komponen	Harga (Rp)
Sensor MAX30100	17.000
ESP32	55.000
OLED 128 x 64	23.000
Baterai	22.000
Casing dan kabel	10.000
TOTAL	127.000

Berdasarkan rincian komponen yang digunakan, total biaya pembuatan perangkat sebesar Rp127.000, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4. Nilai tersebut menunjukkan bahwa perangkat dapat direalisasikan dengan biaya komponen yang relatif rendah dibandingkan banyak *pulse oximeter* komersial yang tersedia di pasaran. Meskipun dibangun dengan biaya yang relatif rendah, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan akurasi pengukuran BPM dan SpO_2 diatas 95% serta mendukung pemantauan data secara *real-time* melalui platform IoT.

Tabel 5. Perbandingan sistem yang dikembangkan dengan penelitian terdahulu

Penelitian	Mikrokontroler	IoT	Portabel	Akurasi BPM	Akurasi SpO_2
Yulianti & Prakoso (2023) [18]	ESP8266	Ya	Tidak	98,30%	99,50%
Septiar et al. (2024) [19]	ESP32	Tidak	Ya	96,51%	97,91%
Penelitian ini	ESP32	Ya	Ya	98,79%	99,17%

Berdasarkan Tabel 5, sistem yang dikembangkan menghasilkan akurasi BPM sebesar 98,79% dan akurasi SpO_2 sebesar 99,17%. Nilai tersebut diperoleh dari rata-rata akurasi seluruh responden yang diuji. Jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu, akurasi yang diperoleh lebih tinggi dibandingkan penelitian Septiar et al. (2024) yang memperoleh akurasi BPM sebesar 96,51% dan akurasi SpO_2 sebesar 97,91%, serta sebanding dengan penelitian Yulianti dan Prakoso (2023) yang memperoleh akurasi BPM sebesar 98,30% dan akurasi SpO_2 sebesar 99,50%. Selain itu, sistem yang dikembangkan juga mengintegrasikan kemampuan pemantauan berbasis IoT dan desain perangkat yang portabel. Penelitian Yulianti dan Prakoso (2023) telah menerapkan IoT menggunakan Blynk, namun perangkat yang digunakan masih berupa susunan komponen dalam sebuah kotak sehingga kurang mendukung portabilitas. Sementara itu, penelitian Septiar et al. (2024) telah menghasilkan perangkat yang portabel, tetapi belum mendukung pemantauan berbasis IoT. Pada penelitian ini, seluruh komponen diintegrasikan ke dalam casing bertingkat yang ringkas sehingga perangkat tetap portabel sekaligus mendukung pemantauan data secara *real-time*.

4 Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan mengembangkan *pulse oximeter* portabel berbasis IoT menggunakan sensor MAX30100 untuk pemantauan detak jantung (BPM) dan saturasi oksigen (SpO_2) secara *real-time*. Sistem yang dikembangkan mengintegrasikan pengukuran BPM dan SpO_2, tampilan melalui OLED, serta pemantauan jarak jauh melalui *smartphone* dalam satu perangkat portabel. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kelompok laki-laki menghasilkan akurasi rata-rata 98,71% untuk BPM (MAE = 1,09; r = 0,99) dan 99,16% untuk SpO_2 (MAE = 0,80%; r = 0,92). Sementara itu, kelompok perempuan menghasilkan akurasi rata-rata 98,88% untuk BPM (MAE = 1,01; r = 0,99) dan 99,17% untuk SpO_2 (MAE = 0,80%; r = 0,27). Secara keseluruhan, sistem menunjukkan tingkat kesalahan yang rendah dan konsistensi pengukuran yang baik terhadap perangkat pembanding berupa *pulse oximeter* komersial Serenity OX-48. Namun, penelitian ini masih terbatas pada jumlah responden yang relatif sedikit dan rentang usia yang sempit. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan melibatkan responden yang lebih beragam serta pengujian pada berbagai kondisi fisiologis untuk meningkatkan validitas hasil penelitian.

5 Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini merupakan bagian dari kegiatan “Penelitian Dosen Pemula” yang didukung oleh LPPM Universitas Negeri Padang dengan No. Kontrak Penelitian 1157/UN35.15/LT/2023. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi, Departemen Fisika, Universitas Negeri Padang, atas dukungan yang diberikan berupa penyediaan fasilitas selama proses penelitian dan pengambilan data.

6 Nomenklatur

BPM	=	*Beats Per Minute* (denyut jantung per menit)
ECG	=	*Electrocardiogram*
$\bar{e}$	=	Rata-rata galat absolut dari seluruh pengukuran
e_i	=	Galat absolut pada data ke-i
EWS	=	*Early Warning Score*
I2C	=	*Inter Integrated Circuit* (protokol komunikasi serial)
IoT	=	*Internet of Things*
MAE	=	*Mean Absolute Error* (rata-rata galat absolut)
OLED	=	*Organic Light Emitting Diode*
PPG	=	*Photoplethysmography*
r	=	*Koefisien korelasi Pearson*
SCL	=	*Serial Clock Line* (komunikasi I2C)
SDA	=	*Serial Data Line* (komunikasi I2C)
SD	=	Standar deviasi galat pengukuran
SpO_2	=	*Peripheral Oxygen Saturation* (saturasi oksigen perifer)
X_{sistem}	=	Nilai hasil pengukuran dari sistem
$X_{standar}$	=	Nilai hasil pengukuran dari alat pembanding

7 Referensi

[1] B. Furst and J. González-Alonso, “The heart, a secondary organ in the control of blood circulation,” *Exp. Physiol.*, vol. 110, no. 5, pp. 649–665, 2025. https://doi.org/10.1113/EP091387

[2] M. S. Amran, N. B. Bahar, and S. Akash, “Perspective chapter: physiology and pathology of the cardiovascular system,” *Nov. Pathog. Treat. Cardiovasc. Dis.*, Aug. 23, 2023. https://doi.org/10.5772/intechopen.108355

[3] P. A. Heidenreich *et al.*, "2022 AHA/ACC/HFSA guideline for the management of heart failure: A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on clinical practice guidelines," *Circulation*, vol. 145, no. 18. 2022. https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000001063

[4] S. M. Perman *et al.*, "2023 American Heart Association. Focused update on adult advanced cardiovascular life support : An update to the American Heart Association guidelines for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care," *Circulation*, vol. 149, no. 5, pp. E254–E273, 2024. https://doi.org /10.1161/CIR.0000000000001194

[5] A. S. Sholikhah, C. Susilo, and M. A. Hamid, "Pengaruh pendidikan kesehatan resusitasi jantung paru terhadap kemampuan penangan pre hospital korban henti jantung pada karang taruna di kecamatan Balung," *ASSYIFA: J. Ilmu Keshnt.*, vol. 2, no. 2, pp. 250–255, 2024. https://doi.org/10.62085 /ajk.v2i2.69

[6] R. B. Brown, "Phosphate toxicity and SERCA2a dysfunction in sudden cardiac arrest," *FASEB J.*, vol. 37, no. 7, pp. 1–8, 2023. https://doi.org/10.1096/fj.202300414r

[7] A. Haedar, A. Y. Nagara, B. Soenarto, H. Tanjoyo, A. Josafat, and J. Johannes, "EMS system performance for sudden cardiac arrest in Malang - Indonesia," *Malaysian Journal of Medicine and Health Sciences,* no.21 (4), pp. 144 - 151, July 2025. https://doi.org/10.47836/mjmhs.21.4.19

[8] K. D. Ana and A. Kusyani, "Pengetahuan bantuan hidup dasar dengan tingkat kecemasan keluarga pada pasien henti jantung," *J. Educ. Res.*, vol. 4, no. 1, pp. 100–106, 2023. https://doi.org/10.37985/jer.v4i1.131

[9] L. W. Andersen, W. Y. Kim, M. Chase, K. M. Berg, S. J. Mortensen, A. Moskowitz, V. Novack, M. N. Cocchi, and M. W. Donnino, "The prevalence and significance of abnormal vital signs prior to in-hospital cardiac arrest," *Resuscitation*, vol. 98, pp. 112-117, 2016. https://doi.org/10.1016 /j.resuscitation.2015.08.016

[10] C. H. Lin, S. L. Cheng, C. Z. Chen, C. H. Chen, S. H. Lin, and H. C. Wang, "Current progress of COPD early detection: key points and novel strategies," *Int. J. COPD*, vol. 18, no. July, pp. 1511–1524, 2023. https://doi.org/10.2147/copd.s413969

[11] D. Park, K. So, S. K. Prabhakar, C. Kim, J. J. Lee, J.-H. Sohn, J.-H. Kim, S.-H. Lee, and D.-O. Won, "Early warning score and feasible complementary approach using artificial intelligence-based bio-signal monitoring system: A review," *Biomedical Engineering Letters*, vol. 15, pp. 717–734, 2025. https://doi.org/10.1007/s13534-025-00486-4

[12] L. P. Serrano *et al.*, "Benefits and Challenges of remote patient monitoring as perceived by health care practitioners: systematic review," *Perm. J.*, vol. 27, no. 4, 2023. https://doi.org/10.7812/TPP/23.022

[13] D. S. Silver *et al.*, "Association between timing of operative interventions and mortality in emergency general surgery," *Trauma Surg. Acute Care Open*, vol. 9, no. 1, pp. 1–9, 2024. https://doi.org/10.1136/tsaco-2024-001479

[14] K. Zhang *et al.*, "National Early Warning score does not accurately predict mortality for patients with infection outside the intensive care unit: A systematic review and meta-Analysis," *Front. Med.*, vol. 8, no. July, pp. 1–10, 2021. https://doi.org/10.3389/fmed.2021.704358

[15] S. Dewi, F. A. Zahroh, and F. Firdaus, "Sistem *monitoring of heart rate and blood oxygen automatic oximeter*+ berbasis Internet of Things (IOT)," *Kappa J.*, vol. 7, no. 2, pp. 294–299, 2023. https://doi.org/10.29408/kpj.v7i2.20318

[16] K. A. Mayuga *et al.*, "Sinus Tachycardia: A multidisciplinary expert focused review," *Circulation : Arrtyhmia and Electrophysiology*, vol. 15, no. 9, 2023. https://doi.org/10.1161/CIRCEP.121.007960

[17] F. Michard and B. Saugel, "New sensors for the early detection of clinical deterioration on general wards and beyond - a clinician's perspective," *J. Clin. Monit. Comput.*, vol. 39, no. 2, pp. 435–442, 2025. https://doi.org/10.1007/s10877-024-01235-1

[18] B. Yulianti and I. Prakoso, "Rancang bangun pulse oximeter menggunakan aplikasi Blynk," *J. Teknol. Ind.*, vol. 12, no. 1, pp. 14–20, 2023. https://doi.org/10.35968/jti.v12i1.1043

[19] R. S. Septiar, A. Situmeang, and V. E. Kristianti, "Prototype pengukur detak jantung, saturasi oksigen, dan suhu tubuh manusia secara *portable*," *J. Tek. dan Sci.*, vol. 3, no. 2, pp. 84–93, 2024. https://doi.org/10.56127/jts.v3i2.1535

[20] M. Z. H. Kolk, S. Ruipérez-Campillo, A. A. M. Wilde, R. E. Knops, S. M. Narayan, and F. V. Y. Tjong, "Prediction of sudden cardiac death using artificial intelligence: Current status and future directions," *Hear. Rhythm*, vol. 22, no. 3, pp. 756–766, 2025. https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2024.09.003