



## Validation of SpO<sub>2</sub> and Heart Rate Monitoring in a Smart Patient Bed System for Home Care

<sup>1</sup>Eko Arianto, <sup>2</sup>Dion Sulisty, <sup>3</sup>Syarif Hidayat, <sup>4</sup>Sebastianus Christian Dwiatmojo

<sup>1</sup>Teknologi Elektromedis, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta, Indonesia

<sup>2</sup>Direktorat SDM dan Umum, Rumah Sakit Panti Rapih Yogyakarta, Indonesia

<sup>3</sup>Elektromedis, Rumah sakit Santa Maria Pemasang, Indonesia

<sup>4</sup>Staff Produksi, PT ENDO Indonesia, Indonesia

Email: eko.arianto@usd.ac.id<sup>1</sup>, dion1703@gmail.com<sup>2</sup>, shidayat5757@gmail.com<sup>3</sup>, bastianbasbas01@gmail.com<sup>4</sup>

\*Corresponding author: eko.arianto@usd.ac.id

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><b>Keywords:</b> Smart patient bed SpO<sub>2</sub> Heart rate Continuous monitoring Homecare</p>	<p>Continuous monitoring of vital signs is essential in-patient care, especially for home care and hospital-at-home applications requiring long-term, non-diagnostic observation. Oxygen saturation (SpO<sub>2</sub>) and heart rate are commonly monitored; however, conventional systems rely on standalone or wearable devices that may reduce patient comfort and compliance. Integrating monitoring into a smart patient bed system enables passive and continuous data acquisition without interfering with patient activity. This study aims to validate the performance of SpO<sub>2</sub> and heart rate monitoring integrated into a smart patient bed system for home care applications. The main contribution is the experimental validation of a smart patient bed system as a non-diagnostic monitoring solution, offering an alternative to wearable systems. Validation was performed by comparing measurements from the proposed system with a commercial pulse oximeter and a bedside patient monitor under resting conditions. Absolute error, mean absolute error, and standard deviation were calculated to evaluate accuracy and stability. Results show good agreement with both reference devices. The mean absolute error was below 1% for SpO<sub>2</sub> and below 1 bpm for heart rate, with low standard deviations indicating stable performance. In conclusion, the system provides a reliable solution for continuous vital sign monitoring in home care environments. This study also demonstrates the feasibility of integrating optical sensing into a smart patient bed system for long-term monitoring.</p>
<p><b>Article History</b> Received: 9<sup>th</sup> April 2026 Revised: 20<sup>th</sup> April 2026 Accepted: 25<sup>th</sup> April 2026</p>	<p style="text-align: right;"><i>This is an open access article under the CC BY-SA license</i></p> <div data-bbox="1198 1266 1409 1339" style="text-align: right;"> </div>
<p><b>To cite this article :</b> E. Arianto, D. Sulisty, S. Hidayat, and S. C. Dwiatmojo, “Validation of SpO<sub>2</sub> and Heart Rate Monitoring in a Smart Patient Bed System for Home Care,” Journal of Renewable Energy and Smart Device (JORESD), vol. 3, no. 2, Apr. 2026, doi: 10.66314/joresd.v3i2.581.</p>	

### 1. PENDAHULUAN

Pemantauan tanda vital merupakan aspek penting dalam pelayanan kesehatan untuk memantau kondisi fisiologis pasien secara kontinu[1], [2]. Parameter saturasi oksigen (SpO<sub>2</sub>) dan denyut jantung (*heart rate*) banyak digunakan untuk menilai status kardiopulmoner pasien, baik di lingkungan rumah sakit maupun di luar fasilitas kesehatan[3], [4]. Pada pasien dengan penyakit kronis, pasien lanjut usia, serta pasien pasca rawat inap, pemantauan tanda vital secara berkelanjutan menjadi sangat penting untuk mendeteksi perubahan kondisi secara dini dan mendukung pengambilan keputusan klinis yang tepat[5], [6]. Seiring berkembangnya layanan kesehatan menuju konsep home care dan hospital-at-home, kebutuhan akan sistem pemantauan yang andal, nyaman, dan mampu beroperasi secara kontinu semakin meningkat[7], [8].

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengkaji pemantauan SpO<sub>2</sub> dan denyut jantung menggunakan sensor optik, baik dalam bentuk perangkat mandiri maupun perangkat *wearable*[9], [10]. Sensor MAX30102 banyak digunakan karena dimensinya yang kecil, konsumsi daya rendah, serta kemampuannya dalam mengukur SpO<sub>2</sub> dan denyut jantung secara simultan[11], [12]. Beberapa studi melaporkan bahwa sensor ini memiliki tingkat akurasi yang cukup baik mencapai 97-98% pada kondisi statis dan pengukuran jangka pendek[4], [13]. Selain itu,

penggunaan sensor berbasis optik memungkinkan sistem pemantauan yang relatif sederhana dan mudah diintegrasikan dengan sistem berbasis mikrokontroler[14].

Meskipun demikian, penelitian-penelitian terdahulu juga menunjukkan adanya beberapa keterbatasan dalam penggunaan sensor SpO<sub>2</sub> dan denyut jantung berbasis MAX30102[15], [16]. Kinerja sensor dapat dipengaruhi oleh pergerakan pasien, posisi pemasangan sensor, serta kondisi lingkungan pengukuran[17], [18]. Selain itu, sebagian besar studi masih berfokus pada evaluasi sensor sebagai perangkat tunggal atau *wearable device*, sehingga kurang mempertimbangkan integrasi sensor dalam sistem pemantauan pasien yang lebih komprehensif. Pendekatan tersebut memiliki keunggulan dari sisi fleksibilitas, namun kurang optimal untuk pemantauan jangka panjang yang membutuhkan kestabilan dan minim intervensi pengguna[19], [20], [21].

Sistem smart patient bed dikembangkan sebagai *platform* pemantauan pasien yang memungkinkan integrasi berbagai parameter fisiologis secara pasif dan berkelanjutan[22], [23], [24]. Sistem ini dirancang untuk mendukung pemantauan pasien tanpa mengganggu kenyamanan atau aktivitas sehari-hari, sehingga sesuai untuk aplikasi *home care* dan *hospital-at-home*[19], [25]. Integrasi modul pemantauan seperti berat badan, saturasi oksigen, dan denyut jantung dalam satu sistem *smart patient bed* berpotensi meningkatkan efektivitas pemantauan pasien serta mempermudah pengelolaan data kesehatan secara terpusat[26], [27], [28], [29].

Namun demikian, evaluasi kinerja pemantauan SpO<sub>2</sub> dan denyut jantung sebagai bagian dari sistem smart patient bed masih relatif terbatas[30], [31]. Belum banyak penelitian yang secara khusus memvalidasi kinerja modul pemantauan SpO<sub>2</sub> dan denyut jantung dalam konteks sistem smart patient bed, terutama dengan perbandingan langsung terhadap perangkat referensi klinis seperti pulse oximeter komersial dan *bedside patient monitor*[32], [33]. Ketiadaan validasi tersebut menjadi celah penelitian (*research gap*) yang perlu dijawab untuk memastikan keandalan sistem sebelum diterapkan pada lingkungan *home care*.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan validasi pemantauan SpO<sub>2</sub> dan denyut jantung yang terintegrasi dalam sistem smart patient bed untuk aplikasi *home care* berkelanjutan. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sistem terhadap *pulse oximeter* komersial dan *bedside patient monitor* sebagai perangkat referensi klinis. Penelitian ini dilakukan untuk memastikan keandalan sistem pemantauan sebelum diterapkan pada lingkungan *home care* serta memberikan dasar ilmiah bagi pengembangan sistem *smart patient bed* yang terintegrasi, aman, dan andal untuk pemantauan pasien secara berkelanjutan di luar fasilitas kesehatan.

## 2. METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian ini disusun sebagai kerangka validasi eksperimental untuk mengevaluasi kinerja pemantauan saturasi oksigen (SpO<sub>2</sub>) dan denyut jantung (*heart rate*) yang terintegrasi dalam sistem *smart patient bed*. Fokus metodologi adalah pada bagaimana data diperoleh, diproses, dan dianalisis secara statistik untuk menilai kesesuaian sistem terhadap aplikasi pemantauan berkelanjutan pada lingkungan *home care*.



**Gambar 1.** System architecture of the smart patient bed for SpO<sub>2</sub> and heart rate monitoring.

Gambar 1 menunjukkan arsitektur sistem smart patient bed yang digunakan untuk pemantauan SpO<sub>2</sub> dan denyut jantung secara kontinu. Sistem ini terdiri dari sensor SpO<sub>2</sub> berbasis MAX30102 yang berfungsi untuk memperoleh sinyal fotoplethismografi dari pengguna[9], [34], [35]. Data yang diperoleh kemudian diproses oleh mikrokontroler ESP32, yang berperan sebagai unit akuisisi dan pengolahan data. Selanjutnya, data dikirimkan



melalui koneksi Wi-Fi ke server berbasis web yang menggunakan basis data MySQL untuk penyimpanan. Data yang telah tersimpan dapat diakses dan dimanfaatkan untuk berbagai keperluan pemantauan melalui antarmuka berbasis web atau perangkat lainnya. Arsitektur ini dirancang untuk memungkinkan pemantauan secara pasif, kontinu, dan terintegrasi dalam lingkungan home care.

Penelitian ini menggunakan desain validasi eksperimental yang melibatkan satu orang subjek untuk mengevaluasi kinerja sistem smart patient bed dalam mengukur SpO<sub>2</sub> dan denyut jantung. Subjek merupakan individu dewasa dengan kondisi fisik stabil dan tidak memiliki gangguan kardiovaskular maupun respirasi yang diketahui. Pengukuran dilakukan dalam kondisi terkontrol dengan subjek berada dalam keadaan istirahat untuk meminimalkan artefak gerakan serta memastikan konsistensi hasil pengukuran. Kondisi istirahat dipilih untuk memberikan baseline performa sistem pada kondisi optimal sebelum diuji pada kondisi yang lebih dinamis. Meskipun jumlah subjek terbatas, pengambilan data dilakukan secara berulang untuk memperoleh dataset yang representatif dalam mengevaluasi kinerja sistem.

## 2.1 Dataset

Dataset dalam penelitian ini terdiri dari data SpO<sub>2</sub> dan denyut jantung yang diperoleh dari modul pemantauan yang terintegrasi dalam sistem *smart patient bed*. Sebagai pembanding, digunakan dua perangkat referensi klinis, yaitu pulse oximeter komersial tipe LK87 dan bedside patient monitor tipe AM1200. Seluruh data direkam dalam bentuk deret waktu (time-series) dan digunakan untuk keperluan analisis kesalahan pengukuran serta evaluasi kinerja sistem.

Nilai SpO<sub>2</sub> dinyatakan dalam satuan persentase (%), sedangkan denyut jantung dinyatakan dalam satuan denyut per menit (*beats per minute*, bpm). Dataset diperoleh dari pengukuran berulang pada subjek dalam kondisi istirahat dan stabil. Jumlah data pengukuran pada setiap skenario berkisar antara 37 hingga 39 titik data, sebagaimana tercantum pada hasil eksperimen. Dataset ini merepresentasikan kondisi pemantauan non-diagnostik yang umum dijumpai pada aplikasi *home care* berkelanjutan.

## 2.2 Data Collection

Pengambilan data dilakukan dengan menempatkan sensor SpO<sub>2</sub> dan denyut jantung berbasis MAX30102 pada jari subjek yang terhubung ke sistem akuisisi data sistem *smart patient bed*. Pada waktu yang sama, pengukuran pembanding dilakukan secara simultan menggunakan *pulse oximeter* komersial dan bedside patient monitor. Penggunaan ketiga perangkat secara bersamaan bertujuan untuk memastikan bahwa data yang dibandingkan berasal dari kondisi fisiologis yang sama.

Seluruh pengukuran dilakukan pada kondisi subjek dalam keadaan istirahat untuk meminimalkan artefak gerakan dan memperoleh sinyal yang lebih stabil sebagai dasar validasi awal sistem [17], [36]. Selain itu, dilakukan beberapa skenario pemasangan sensor pada jari, termasuk pertukaran posisi sensor antara sistem smart patient bed dan perangkat referensi. Pendekatan ini digunakan untuk mengevaluasi konsistensi hasil pengukuran serta mengurangi potensi bias akibat perbedaan posisi sensor.

Data hasil pengukuran dari sistem *smart patient bed* dikirimkan dan disimpan ke dalam basis data MySQL sebelum ditampilkan melalui antarmuka web. Nilai referensi dari pulse oximeter dan *bedside patient monitor* dicatat dan diselaraskan dengan waktu pengambilan data dari sistem smart patient bed untuk keperluan analisis selanjutnya.

Data SpO<sub>2</sub> dan denyut jantung dari sistem *smart patient bed* diperoleh melalui sensor berbasis fotoplethysmografi yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32. Data yang diperoleh selanjutnya dikirimkan ke server berbasis web dan disimpan dalam basis data MySQL untuk proses pencatatan dan analisis lebih lanjut. Setiap nilai pengukuran yang digunakan dalam analisis merupakan hasil pembacaan stabil pada masing-masing sesi pengukuran, yang kemudian dibandingkan secara langsung dengan nilai yang ditampilkan oleh perangkat referensi klinis pada waktu yang sama. Selisih absolut dihitung untuk setiap pasangan data guna mengevaluasi tingkat kesesuaian antar sistem.

## 2.3 Data Processing

Data mentah yang diperoleh dari sistem *smart patient bed* diproses untuk menghasilkan nilai SpO<sub>2</sub> dan denyut jantung yang representatif. Tahap pemrosesan data meliputi pemilihan data yang stabil pada setiap sesi pengukuran serta perhitungan nilai rata-rata pada interval waktu tertentu. Pendekatan ini bertujuan untuk mengurangi fluktuasi sinyal sesaat yang dapat disebabkan oleh noise sensor atau variasi pembacaan jangka pendek.

Nilai SpO<sub>2</sub> dan denyut jantung hasil pemrosesan kemudian dibandingkan dengan nilai yang diperoleh dari perangkat referensi klinis. Selisih antara nilai pengukuran sistem smart patient bed dan perangkat referensi dihitung

pada setiap titik data. Selisih tersebut digunakan sebagai dasar untuk perhitungan kesalahan pengukuran (measurement error) pada masing-masing parameter.

Data yang menunjukkan anomali ekstrem akibat gangguan teknis atau kondisi pengukuran yang tidak stabil dicatat dan dianalisis secara terpisah untuk memastikan bahwa hasil evaluasi mencerminkan kinerja sistem pada kondisi pemantauan normal.

## 2.4 Statistical Analysis

Analisis statistik dilakukan untuk mengevaluasi kinerja pemantauan SpO<sub>2</sub> dan denyut jantung yang terintegrasi dalam sistem smart patient bed. Kesalahan pengukuran dihitung sebagai selisih antara nilai yang diperoleh dari sistem smart patient bed dan nilai yang diperoleh dari perangkat referensi klinis. Nilai rata-rata (mean absolute error) dan standar deviasi digunakan untuk menggambarkan tingkat kesalahan dan variasi pengukuran pada masing-masing parameter.

Analisis dilakukan secara terpisah untuk nilai SpO<sub>2</sub> dan denyut jantung, serta untuk masing-masing perangkat referensi. Pendekatan analisis statistik ini difokuskan pada evaluasi kesesuaian sistem untuk pemantauan berkelanjutan non-diagnostik, sesuai dengan konteks aplikasi home care. Hasil analisis statistik selanjutnya digunakan sebagai dasar interpretasi kinerja sistem dan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik pada bagian hasil dan pembahasan.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil pengukuran SpO<sub>2</sub> dan denyut jantung yang diperoleh dari sistem smart patient bed serta perbandingannya dengan perangkat referensi klinis.

### 3.1 Perbandingan Pengukuran SpO<sub>2</sub> antara Sistem Smart Patient Bed dan Pulse Oximeter

Hasil pengukuran saturasi oksigen (SpO<sub>2</sub>) yang diperoleh dari sistem smart patient bed dibandingkan dengan pulse oximeter komersial disajikan pada Tabel 1. Tabel tersebut menampilkan nilai SpO<sub>2</sub> yang diukur oleh kedua sistem pada setiap sesi pengukuran, beserta selisih dan kesalahan pengukuran yang dihasilkan. Perbandingan ini dilakukan untuk mengevaluasi kesesuaian hasil pengukuran sistem smart patient bed terhadap perangkat referensi klinis yang umum digunakan pada pemantauan pasien.

Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai SpO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh sistem smart patient bed memiliki kecenderungan yang sejalan dengan nilai yang diperoleh dari pulse oximeter komersial. Selisih pengukuran yang teramati berada dalam rentang yang relatif kecil, dengan variasi kesalahan yang masih dapat diterima untuk aplikasi pemantauan non-diagnostik. Pada sebagian besar titik pengukuran, perbedaan nilai SpO<sub>2</sub> tidak menunjukkan penyimpangan ekstrem, yang mengindikasikan bahwa sistem smart patient bed mampu mengikuti perubahan nilai SpO<sub>2</sub> yang terdeteksi oleh perangkat referensi.

Secara kuantitatif, hasil pengukuran menunjukkan bahwa rata-rata kesalahan (mean absolute error) SpO<sub>2</sub> berada pada kisaran rendah, dengan standar deviasi yang mencerminkan kestabilan pengukuran pada kondisi subjek dalam keadaan istirahat. Variasi kesalahan yang muncul pada beberapa titik pengukuran diduga berkaitan dengan fluktuasi sinyal optik atau perbedaan waktu respons antara sistem smart patient bed dan pulse oximeter komersial. Meskipun demikian, pola kesalahan yang diamati tidak menunjukkan adanya bias sistematis yang signifikan.

Hasil perbandingan ini menunjukkan bahwa sistem smart patient bed memiliki kinerja yang sebanding dengan pulse oximeter komersial dalam mengukur SpO<sub>2</sub> pada kondisi pemantauan berkelanjutan. Temuan ini mendukung potensi penggunaan sistem smart patient bed sebagai bagian dari solusi pemantauan SpO<sub>2</sub> pada aplikasi home care, di mana konsistensi dan kestabilan pengukuran menjadi faktor penting.

**Tabel 1.** Perbandingan pengukuran SpO<sub>2</sub> antara sistem smart patient bed dan pulse oximeter:

No.	SpO <sub>2</sub> Smart Patient Bed (%)	SpO <sub>2</sub> Pulse Oximeter (%)	Selisih Absolut (%)
1	98	97	1
2	97	97	0
3	98	98	0

4	96	97	1
5	97	96	1
6	98	97	1
7	97	98	1
8	98	97	1
9	97	97	0
10	98	98	0

Rata-rata selisih absolut sebesar 0.73% dengan standar deviasi sebesar 0.45%.

**Keterangan:**

Selisih absolut dihitung sebagai nilai mutlak perbedaan antara hasil pengukuran SpO<sub>2</sub> sistem smart patient bed dan *pulse oximeter* pada setiap sesi pengukuran.

### 3.2 Perbandingan SpO<sub>2</sub> antara Smart Patient Bed dan Bedside Patient Monitor

Hasil perbandingan pengukuran saturasi oksigen (SpO<sub>2</sub>) antara sistem smart patient bed dan bedside patient monitor sebagai perangkat referensi klinis ditunjukkan pada Tabel 2. Perbandingan ini bertujuan untuk mengevaluasi kesesuaian hasil pengukuran sistem smart patient bed terhadap perangkat pemantauan pasien yang umum digunakan di lingkungan klinis. Seluruh data diperoleh dari pengukuran simultan pada kondisi subjek dalam keadaan istirahat, sehingga perbedaan nilai yang diamati mencerminkan kinerja sistem secara objektif.

Berdasarkan hasil yang disajikan pada Tabel 2, nilai SpO<sub>2</sub> yang diukur oleh sistem smart patient bed menunjukkan kecenderungan yang sejalan dengan nilai yang diperoleh dari bedside patient monitor. Pada sebagian besar sesi pengukuran, selisih absolut antara kedua sistem berada pada rentang yang relatif kecil. Hal ini menunjukkan bahwa sistem memiliki kemampuan representasi sinyal SpO<sub>2</sub> yang sebanding dengan perangkat referensi pada kondisi statis. Perbedaan nilai yang muncul pada beberapa titik pengukuran dapat disebabkan oleh perbedaan karakteristik sensor, algoritma pemrosesan sinyal, serta waktu respons antar perangkat.

Secara kuantitatif, hasil pengukuran menunjukkan bahwa rata-rata selisih absolut SpO<sub>2</sub> antara sistem smart patient bed dan bedside patient monitor berada pada tingkat yang masih dapat diterima untuk aplikasi pemantauan berkelanjutan non-diagnostik. Nilai standar deviasi selisih pengukuran memberikan gambaran mengenai kestabilan sistem selama proses pemantauan. Variasi kesalahan yang teramati tidak menunjukkan adanya penyimpangan ekstrem atau bias sistematis yang signifikan. Temuan ini mengindikasikan bahwa sistem smart patient bed memiliki performa yang sebanding dengan bedside patient monitor dalam mengukur SpO<sub>2</sub> pada kondisi pemantauan berkelanjutan.

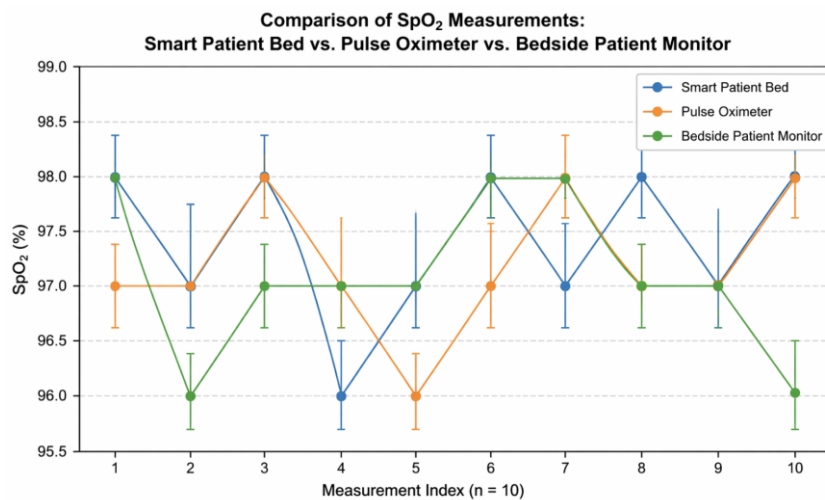
**Tabel 2.** Perbandingan hasil pengukuran SpO<sub>2</sub> antara sistem smart patient bed dan bedside patient monitor:

No.	SpO <sub>2</sub> Smart Patient Bed (%)	SpO <sub>2</sub> Bedside Monitor (%)	Selisih Absolut (%)
1	98	98	0
2	97	96	1
3	98	97	1
4	97	97	0
5	96	97	1
6	97	98	1
7	98	98	0
8	97	97	0
9	98	97	1
10	97	96	1

Rata-rata selisih absolut sebesar 0.60% dengan standar deviasi sebesar 0.49%.

**Keterangan:**

Selisih absolut dihitung sebagai nilai mutlak perbedaan antara hasil pengukuran SpO<sub>2</sub> sistem smart patient bed dan bedside patient monitor pada setiap sesi pengukuran.



**Gambar 2.** Comparison of SpO<sub>2</sub> measurements obtained from the smart patient bed system, pulse oximeter, and bedside patient monitor across 10 measurement points. Error bars represent the standard deviation of measurements.

Gambar 2 menyajikan perbandingan hasil pengukuran SpO<sub>2</sub> yang diperoleh dari sistem smart patient bed, pulse oximeter, dan bedside patient monitor. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa ketiga kurva memiliki tren yang sangat mirip pada seluruh titik data. Nilai yang dihasilkan oleh sistem smart patient bed secara konsisten mendekati nilai yang diperoleh dari kedua perangkat referensi, yang menunjukkan adanya kesesuaian yang baik. Variasi kecil yang muncul pada beberapa titik pengukuran relatif tidak signifikan dan tidak menunjukkan adanya penyimpangan sistematis. Perbedaan tersebut dapat disebabkan oleh karakteristik sensor, algoritma pemrosesan sinyal, serta perbedaan waktu respons antar perangkat. Secara keseluruhan, keselarasan yang tinggi antara ketiga kurva ini mendukung hasil analisis statistik, di mana rata-rata kesalahan absolut berada di bawah 1%, sehingga menunjukkan bahwa sistem layak digunakan untuk pemantauan kontinu non-diagnostik.

### 3.3 Perbandingan Pengukuran *Heart Rate* antara Sistem *Smart Patient Bed* dan *Pulse Oximeter*

Hasil perbandingan pengukuran denyut jantung (*heart rate*) antara sistem smart patient bed dan pulse oximeter komersial sebagai perangkat referensi ditunjukkan pada Tabel 3. Perbandingan ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem smart patient bed dalam mengukur denyut jantung dibandingkan dengan perangkat yang umum digunakan dalam pemantauan klinis. Seluruh data diperoleh dari pengukuran simultan pada kondisi subjek dalam keadaan istirahat, sehingga perbedaan nilai yang muncul dapat mencerminkan kinerja sistem secara objektif tanpa pengaruh signifikan dari artefak gerakan.

Berdasarkan hasil yang disajikan pada Tabel 3, nilai denyut jantung yang diukur oleh sistem smart patient bed menunjukkan kecenderungan yang sejalan dengan nilai yang diperoleh dari pulse oximeter komersial. Pada sebagian besar sesi pengukuran, selisih absolut denyut jantung berada pada rentang yang relatif kecil. Hal ini menunjukkan bahwa sistem smart patient bed mampu mengikuti perubahan denyut jantung yang terdeteksi oleh perangkat referensi dengan baik. Variasi selisih yang muncul pada beberapa titik pengukuran dapat disebabkan oleh fluktuasi sinyal fotoplethismografi serta perbedaan algoritma deteksi denyut jantung antar perangkat.

Secara kuantitatif, hasil pengukuran menunjukkan bahwa rata-rata selisih absolut denyut jantung berada pada tingkat yang masih dapat diterima untuk aplikasi pemantauan berkelanjutan non-diagnostik. Nilai standar deviasi selisih pengukuran memberikan gambaran mengenai kestabilan sistem selama proses pemantauan. Variasi kesalahan yang teramati tidak menunjukkan adanya penyimpangan ekstrem atau bias sistematis yang signifikan. Temuan ini mengindikasikan bahwa sistem smart patient bed memiliki performa yang sebanding dengan pulse oximeter komersial dalam mengukur denyut jantung pada kondisi pemantauan berkelanjutan.

**Tabel 3.** Perbandingan hasil pengukuran heart rate antara sistem smart patient bed dan pulse oximeter:

No.	Heart Rate Smart Patient Bed (bpm)	Heart Rate Pulse Oximeter (bpm)	Selisih Absolut (bpm)
1	78	77	1
2	76	76	0
3	79	78	1
4	77	78	1
5	76	75	1
6	78	79	1
7	77	77	0
8	76	76	0
9	79	78	1
10	78	77	1

Rata-rata selisih absolut sebesar 0.70 bpm dengan standar deviasi sebesar 0.46 bpm.

**Keterangan:**

Selisih absolut dihitung sebagai nilai mutlak perbedaan antara hasil pengukuran denyut jantung sistem smart patient bed dan pulse oximeter komersial pada setiap sesi pengukuran.

**3.4 Perbandingan Pengukuran Heart Rate antara Sistem Smart Patient Bed dan Bedside Patient Monitor**

Hasil perbandingan pengukuran denyut jantung (*heart rate*) antara sistem smart patient bed dan bedside patient monitor sebagai perangkat referensi klinis ditunjukkan pada Tabel 4. Perbandingan ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem smart patient bed dalam mengukur denyut jantung dibandingkan dengan perangkat pemantauan pasien yang umum digunakan di lingkungan klinis. Seluruh data diperoleh dari pengukuran simultan pada kondisi subjek dalam keadaan istirahat, sehingga perbedaan nilai yang diamati mencerminkan kinerja sistem secara objektif tanpa pengaruh signifikan dari artefak gerakan.

Berdasarkan hasil yang disajikan pada Tabel 4, nilai denyut jantung yang diukur oleh sistem smart patient bed menunjukkan kecenderungan yang sejalan dengan nilai yang diperoleh dari bedside patient monitor. Pada sebagian besar sesi pengukuran, selisih absolut denyut jantung berada pada rentang yang relatif kecil. Hal ini menunjukkan bahwa sistem smart patient bed mampu mengikuti perubahan denyut jantung yang terdeteksi oleh bedside patient monitor secara konsisten. Perbedaan nilai yang muncul pada beberapa titik pengukuran dapat disebabkan oleh perbedaan algoritma deteksi denyut jantung, karakteristik sensor, serta waktu respons antar perangkat.

Secara kuantitatif, hasil pengukuran menunjukkan bahwa rata-rata selisih absolut denyut jantung antara sistem smart patient bed dan bedside patient monitor berada pada tingkat yang masih dapat diterima untuk aplikasi pemantauan berkelanjutan non-diagnostik. Nilai standar deviasi selisih pengukuran memberikan gambaran mengenai kestabilan sistem selama proses pemantauan. Variasi kesalahan yang teramati tidak menunjukkan adanya penyimpangan ekstrem atau bias sistematis yang signifikan. Temuan ini mengindikasikan bahwa sistem smart patient bed memiliki performa yang sebanding dengan bedside patient monitor dalam mengukur denyut jantung pada kondisi pemantauan berkelanjutan.

**Tabel 4.** Perbandingan pengukuran heart rate antara smart patient bed dan bedside patient monitor:

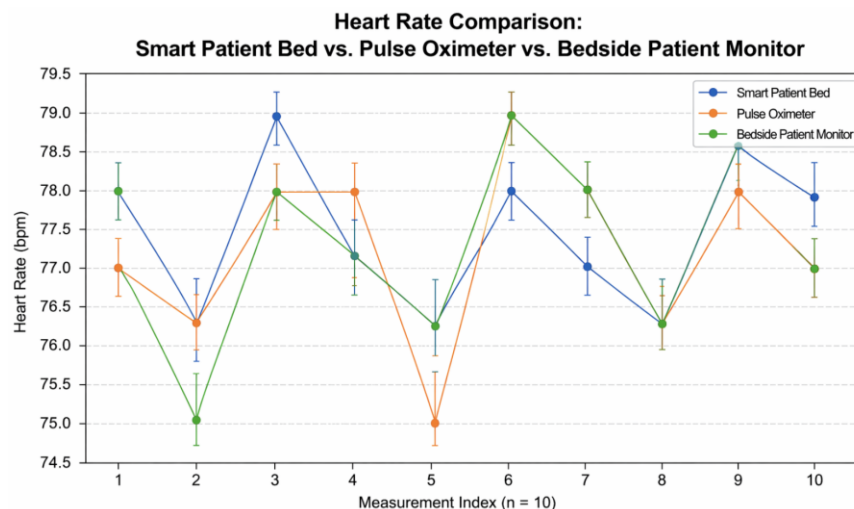
No.	Heart Rate Smart Patient Bed (bpm)	Heart Rate Bedside Monitor (bpm)	Selisih Absolut (bpm)
1	78	78	0
2	76	75	1
3	79	78	1

4	77	77	0
5	76	76	0
6	78	79	1
7	77	78	1
8	76	76	0
9	79	79	0
10	78	77	1

Rata-rata selisih absolut sebesar 0.50 bpm dengan standar deviasi sebesar 0.50 bpm.

**Keterangan:**

Selisih absolut dihitung sebagai nilai mutlak perbedaan antara hasil pengukuran denyut jantung sistem smart patient bed dan bedside patient monitor pada setiap sesi pengukuran.



**Gambar 3.** Comparison of heart rate measurements obtained from the smart patient bed system, pulse oximeter, and bedside patient monitor across 10 measurement points. Error bars represent the standard deviation of measurements.

Gambar 3 menunjukkan perbandingan hasil pengukuran denyut jantung antara sistem smart patient bed, pulse oximeter, dan bedside patient monitor. Kurva hasil pengukuran dari ketiga perangkat menunjukkan tren yang serupa dan saling berdekatan pada seluruh titik pengamatan. Sistem smart patient bed mampu mengikuti perubahan denyut jantung yang terdeteksi oleh kedua perangkat referensi dengan baik. Perbedaan kecil yang muncul pada beberapa titik pengukuran berada dalam rentang yang dapat diterima dan tidak menunjukkan adanya penyimpangan sistematis. Variasi tersebut kemungkinan disebabkan oleh perbedaan karakteristik sensor, metode akuisisi sinyal, serta algoritma pemrosesan data yang digunakan oleh masing-masing perangkat. Hasil ini sejalan dengan analisis statistik yang menunjukkan bahwa rata-rata kesalahan absolut berada di bawah 1 bpm dengan simpangan baku yang rendah. Dengan demikian, sistem smart patient bed menunjukkan kinerja yang stabil dan andal untuk pemantauan denyut jantung secara kontinu dalam konteks non-diagnostik.

Secara keseluruhan, hasil pengukuran menunjukkan bahwa sistem smart patient bed memiliki tingkat kesesuaian yang baik dengan perangkat referensi klinis untuk parameter SpO<sub>2</sub> dan denyut jantung. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem tidak hanya mampu menghasilkan pengukuran yang stabil, tetapi juga memiliki potensi untuk digunakan sebagai alternatif pemantauan non-diagnostik pada lingkungan home care. Dengan pendekatan pemantauan yang bersifat pasif, sistem ini dapat mendukung pemantauan jangka panjang tanpa mengganggu kenyamanan pasien. Temuan ini juga memperkuat bahwa integrasi sensor optik dalam sistem smart patient bed merupakan pendekatan yang layak untuk pengembangan sistem pemantauan kesehatan berbasis IoT.

### 3.5 Diskusi

Pembahasan ini bertujuan untuk menginterpretasikan hasil pengukuran yang telah diperoleh serta mengevaluasi kinerja sistem smart patient bed dalam konteks pemantauan pasien secara berkelanjutan.

Perbandingan hasil pengukuran SpO<sub>2</sub> antara sistem smart patient bed dan pulse oximeter komersial (Bagian 3.1) serta bedside patient monitor (Bagian 3.2) menunjukkan pola kesesuaian yang konsisten. Rata-rata selisih absolut dan standar deviasi yang diperoleh mencerminkan kestabilan sistem pada kondisi pengukuran subjek dalam keadaan istirahat, yang menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan estimasi SpO<sub>2</sub> yang andal untuk pemantauan non-diagnostik. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang melaporkan bahwa sensor optik berbasis fotoplethysmografi, seperti MAX30102, mampu memberikan estimasi SpO<sub>2</sub> yang cukup akurat pada kondisi statis [13], [37]. Namun demikian, penelitian ini tidak hanya mengevaluasi kinerja sensor secara individual, tetapi juga memvalidasi performanya sebagai bagian dari sistem smart patient bed yang terintegrasi, sehingga memberikan kontribusi tambahan dalam konteks implementasi sistem pemantauan untuk aplikasi home care.

Untuk parameter denyut jantung, hasil perbandingan antara sistem smart patient bed dengan pulse oximeter komersial (Bagian 3.3) dan bedside patient monitor (Bagian 3.4) juga menunjukkan kesesuaian yang baik. Selisih pengukuran denyut jantung yang relatif kecil menunjukkan bahwa sistem mampu mengikuti dinamika denyut jantung yang terdeteksi oleh perangkat referensi. Variasi kesalahan yang muncul pada beberapa titik pengukuran diduga berkaitan dengan fluktuasi sinyal fotoplethysmograf serta perbedaan algoritma deteksi denyut jantung antar perangkat. Selain itu, faktor seperti posisi pemasangan sensor dan variasi kondisi fisiologis subjek juga dapat mempengaruhi kualitas sinyal yang diperoleh. Temuan ini konsisten dengan laporan pada literatur yang menyebutkan bahwa algoritma pemrosesan sinyal dan waktu respons sistem dapat mempengaruhi akurasi pengukuran denyut jantung berbasis sensor optik [38], [39].

Salah satu kontribusi utama penelitian ini adalah validasi kinerja pemantauan SpO<sub>2</sub> dan denyut jantung dalam konteks sistem smart patient bed yang dirancang untuk aplikasi home care. Berbeda dengan sebagian besar penelitian sebelumnya yang berfokus pada perangkat wearable, pendekatan sistem smart patient bed memungkinkan pemantauan yang lebih pasif dan berkelanjutan, sehingga dapat meningkatkan kenyamanan pasien dan kepatuhan penggunaan dalam jangka panjang [19], [40]. Selain itu, pendekatan ini juga memberikan nilai tambah dalam hal integrasi sistem, di mana data pemantauan dapat langsung terhubung dengan infrastruktur berbasis web untuk keperluan penyimpanan dan analisis lebih lanjut [41]. Integrasi modul pemantauan ini juga membuka peluang pengembangan sistem pemantauan multiparameter yang lebih komprehensif, seperti integrasi dengan modul pemantauan berat badan atau parameter fisiologis lainnya. Sistem smart patient bed menunjukkan performa yang sebanding dengan perangkat referensi, sekaligus memberikan keunggulan dalam kenyamanan dan keberlanjutan pemantauan jangka panjang. Hal ini menjadi penting dalam konteks layanan home care, di mana kenyamanan pasien dan keberlangsungan pemantauan jangka panjang merupakan faktor utama dalam efektivitas sistem pemantauan kesehatan.

Meskipun hasil penelitian menunjukkan performa yang menjanjikan, beberapa keterbatasan perlu diperhatikan. Pengujian dilakukan pada kondisi subjek dalam keadaan istirahat, sehingga kinerja sistem pada kondisi dengan artefak gerakan yang lebih signifikan belum dievaluasi secara mendalam. Selain itu, jumlah subjek dan durasi pengambilan data masih terbatas, sehingga generalisasi hasil untuk populasi yang lebih luas perlu dilakukan dengan hati-hati. Keterbatasan ini memberikan arah bagi penelitian selanjutnya untuk mengevaluasi kinerja sistem pada kondisi penggunaan yang lebih beragam, termasuk pada pasien dengan aktivitas terbatas atau kondisi fisiologis tertentu, serta pada skenario pemantauan jangka panjang yang lebih kompleks.

Secara keseluruhan, hasil dan pembahasan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa sistem smart patient bed memiliki kinerja yang memadai untuk pemantauan SpO<sub>2</sub> dan denyut jantung secara berkelanjutan pada aplikasi home care. Dengan mempertimbangkan keterbatasan yang ada, sistem ini berpotensi dikembangkan lebih lanjut sebagai bagian dari solusi pemantauan pasien pada sistem smart patient bed yang terintegrasi, adaptif, dan berorientasi pada kenyamanan serta keberlanjutan pemantauan.

### 3.6 Limitations

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Pertama, jumlah subjek yang digunakan dalam penelitian ini terbatas pada satu individu, sehingga generalisasi hasil terhadap populasi yang lebih luas masih terbatas. Meskipun pengambilan data dilakukan secara berulang untuk memperoleh dataset yang representatif, variasi antar individu belum dapat dievaluasi secara menyeluruh.

Kedua, pengujian dilakukan dalam kondisi subjek berada dalam keadaan istirahat. Oleh karena itu, kinerja sistem pada kondisi dengan artefak gerakan yang lebih signifikan, seperti saat pasien bergerak atau beraktivitas, belum dievaluasi dalam penelitian ini.

Ketiga, durasi pengambilan data dalam penelitian ini masih terbatas pada skenario pengukuran jangka pendek. Evaluasi lebih lanjut pada skenario pemantauan jangka panjang diperlukan untuk menilai stabilitas sistem dalam penggunaan yang lebih realistis.

Keterbatasan-keterbatasan ini memberikan arah bagi penelitian selanjutnya untuk mengembangkan dan mengevaluasi sistem pada kondisi yang lebih beragam, termasuk dengan melibatkan lebih banyak subjek, kondisi aktivitas yang berbeda, serta durasi pemantauan yang lebih panjang.

## 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini telah melakukan validasi kinerja pemantauan saturasi oksigen ( $SpO_2$ ) dan denyut jantung yang terintegrasi dalam sistem smart patient bed untuk aplikasi pemantauan berkelanjutan pada lingkungan home care. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sistem smart patient bed terhadap dua perangkat referensi klinis, yaitu pulse oximeter komersial dan bedside patient monitor, pada kondisi pengukuran simultan dengan subjek dalam keadaan istirahat.

Berdasarkan hasil pengujian, sistem smart patient bed menunjukkan kesesuaian yang baik dengan perangkat referensi untuk nilai  $SpO_2$  dan denyut jantung. Untuk nilai  $SpO_2$ , rata-rata selisih absolut terhadap pulse oximeter komersial dan bedside patient monitor berada di bawah 1%, dengan variasi pengukuran yang relatif kecil. Untuk parameter denyut jantung, rata-rata selisih absolut terhadap kedua perangkat referensi berada di bawah 1 bpm. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem memiliki kestabilan pengukuran yang memadai untuk pemantauan non-diagnostik secara berkelanjutan.

Integrasi modul pemantauan  $SpO_2$  dan denyut jantung ke dalam sistem smart patient bed memungkinkan pemantauan tanda vital dilakukan secara pasif tanpa mengganggu kenyamanan pasien. Dengan pendekatan sistem smart patient bed, sistem ini berpotensi meningkatkan kepatuhan penggunaan dalam jangka panjang dibandingkan perangkat wearable konvensional. Oleh karena itu, sistem smart patient bed yang dikembangkan memiliki potensi untuk mendukung implementasi layanan home care dan hospital-at-home sebagai solusi pemantauan pasien berbasis teknologi.

Meskipun hasil yang diperoleh menunjukkan performa yang menjanjikan, penelitian ini masih memiliki keterbatasan, antara lain pengujian yang dilakukan pada kondisi subjek dalam keadaan istirahat dan jumlah data yang terbatas. Penelitian selanjutnya dapat difokuskan pada evaluasi kinerja sistem pada kondisi penggunaan yang lebih beragam, termasuk adanya artefak gerakan serta pengujian pada populasi subjek yang lebih luas, untuk memperkuat validitas sistem dalam skenario penggunaan nyata.

Sistem ini berpotensi menjadi bagian dari ekosistem pemantauan kesehatan berbasis IoT yang mendukung transformasi layanan kesehatan menuju model home care yang lebih efisien dan berkelanjutan. Untuk pengembangan lebih lanjut, penelitian selanjutnya dapat mengintegrasikan metode filtering sinyal adaptif guna meningkatkan akurasi pada kondisi dinamis.

## 5. ACKNOWLEDGEMENT



Penelitian ini didukung oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Sanata Dharma. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknologi Elektromedis Universitas Sanata Dharma atas dukungan fasilitas serta kepada Rumah Sakit Panti Rapih Yogyakarta atas bantuan dalam proses pengambilan data. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada mahasiswa yang telah membantu dalam pelaksanaan pengambilan data penelitian ini.

## REFERENSI

- [1] A. K. Khanna, M. Flick, and B. Saugel, "Continuous vital sign monitoring of patients recovering from surgery on general wards: a narrative review," Feb. 01, 2025, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.bja.2024.10.045.
- [2] B. A. Rowland, V. Motamedi, F. Michard, A. K. Saha, and A. K. Khanna, "Impact of continuous and wireless monitoring of vital signs on clinical outcomes: a propensity-matched observational study of surgical ward patients," *Br. J. Anaesth.*, vol. 132, no. 3, pp. 519–527, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.bja.2023.11.040.
- [3] T. S. Park *et al.*, "Wearable Technology in Diving: A Review of Heart Rate and Oxygen Saturation Monitoring for Enhanced Safety and Performance," Sep. 01, 2025, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/healthcare13182346.
- [4] T. Vijgeboom, M. Muller, K. Ebrahimkheil, C. van Eijck, and E. Ronner, "Evaluation of photoplethysmography-based monitoring of pulse rate, interbeat-intervals, and oxygen saturation during high-intensity interval training," *Biomed. Eng. Online*, vol. 23, no. 1, Dec. 2024, doi: 10.1186/s12938-024-01309-w.
- [5] G. B. Weller, J. Mault, M. E. Ventura, J. Adams, F. J. Campbell, and K. K. Tremper, "A Retrospective Observational Study of Continuous Wireless Vital Sign Monitoring via a Medical Grade Wearable Device on Hospitalized Floor Patients," *J. Clin. Med.*, vol. 13, no. 16, Aug. 2024, doi: 10.3390/jcm13164747.
- [6] F. Michard and C. J. Kalkman, "Rethinking Patient Surveillance on Hospital Wards," Sep. 01, 2021, *Lippincott Williams and Wilkins*. doi: 10.1097/ALN.0000000000003843.
- [7] J. A. Pandit, J. B. Pawelek, B. Leff, and E. J. Topol, "The hospital at home in the USA: current status and future prospects," Dec. 01, 2024, *Nature Research*. doi: 10.1038/s41746-024-01040-9.
- [8] S. Y. Tan, J. Sumner, Y. Wang, and A. Wenjun Yip, "A systematic review of the impacts of remote patient monitoring (RPM) interventions on safety, adherence, quality-of-life and cost-related outcomes," Dec. 01, 2024, *Nature Research*. doi: 10.1038/s41746-024-01182-w.
- [9] K. B. Kim and H. J. Baek, "Photoplethysmography in Wearable Devices: A Comprehensive Review of Technological Advances, Current Challenges, and Future Directions," Jul. 01, 2023, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/electronics12132923.
- [10] D. Ray, T. Collins, S. Woolley, and P. Ponnappalli, "A Review of Wearable Multi-Wavelength Photoplethysmography," 2023, *Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc*. doi: 10.1109/RBME.2021.3121476.
- [11] K. V. S. S. Ganesh, S. P. S. Jeyanth, and A. R. Bevi, "IOT based portable heart rate and SpO2 pulse oximeter," *HardwareX*, vol. 11, Apr. 2022, doi: 10.1016/j.ohx.2022.e00309.
- [12] B. Lin, Z. Ma, M. Atef, L. Ying, and G. Wang, "Low-Power High-Sensitivity Photoplethysmography Sensor for Wearable Health Monitoring System," *IEEE Sens. J.*, vol. 21, no. 14, pp. 16141–16151, Jul. 2021, doi: 10.1109/JSEN.2021.3062189.
- [13] R. Gunawan, A. Andang, and M. Ridwan, "Performance Comparison for Hearth Rate Signal Detection for Different Location in Fingertip and Wrist Using Sensor MAX30102," *Journal of Biomimetics, Biomaterials and Biomedical Engineering*, vol. 59, pp. 131–143, Feb. 2023, doi: 10.4028/p-op1nzx.
- [14] G. Georgieva-Tsaneva, K. Cheshmedzhiev, Y. A. Tsanev, M. Dechev, and E. Popovska, "Healthcare Monitoring Using an Internet of Things-Based Cardio System," *Internet of Things*, vol. 6, no. 1, Mar. 2025, doi: 10.3390/iot6010010.



- [15] G. Hwang Lee *et al.*, “A P P L I E D S C I E N C E S A N D E N G I N E E R I N G Stretchable PPG sensor with light polarization for physical activity-permissible monitoring,” 2022. [Online]. Available: <https://www.science.org>
- [16] D. Seok, S. Lee, M. Kim, J. Cho, and C. Kim, “Motion Artifact Removal Techniques for Wearable EEG and PPG Sensor Systems,” *Frontiers in Electronics*, vol. 2, May 2021, doi: 10.3389/felec.2021.685513.
- [17] N. Mark *et al.*, “Comparison of the Effects of Motion and Environment Conditions on Accuracy of Handheld and Finger-Based Pulse Oximeters,” *Mil. Med.*, vol. 186, no. Supplement\_1, pp. 465–472, Jan. 2021, doi: 10.1093/milmed/usaa314.
- [18] K. K. Giuliano, R. N. Bilkovski, J. Beard, and S. Lamminmäki, “Comparative analysis of signal accuracy of three SpO<sub>2</sub> monitors during motion and low perfusion conditions,” *J. Clin. Monit. Comput.*, vol. 37, no. 6, pp. 1451–1461, Dec. 2023, doi: 10.1007/s10877-023-01029-x.
- [19] A. Angelucci, M. Greco, M. Cecconi, and A. Aliverti, “Wearable devices for patient monitoring in the intensive care unit,” Dec. 01, 2025, *Springer Nature*. doi: 10.1186/s40635-025-00738-8.
- [20] P. Lago, “Wearable Health Systems,” 2025. doi: 10.3233/SHTI251433.
- [21] Y. Zhang, X. T. Zheng, X. Zhang, J. Pan, and A. V.-Y. Thean, “Hybrid Integration of Wearable Devices for Physiological Monitoring,” *Chem. Rev.*, vol. 124, no. 18, pp. 10386–10434, Sep. 2024, doi: 10.1021/acs.chemrev.3c00471.
- [22] M. Hassan *et al.*, “IoT-Based Smart Health Monitoring System for Efficient Service in the Medical Sector,” *International Journal of Engineering Trends and Technology*, vol. 71, no. 4, pp. 159–170, Apr. 2023, doi: 10.14445/22315381/IJETT-V71I4P215.
- [23] I. Shafi *et al.*, “Design and development of patient health tracking, monitoring and big data storage using Internet of Things and real time cloud computing,” *PLoS One*, vol. 19, no. 3 March, Mar. 2024, doi: 10.1371/journal.pone.0298582.
- [24] S. Abdulmalek *et al.*, “IoT-Based Healthcare-Monitoring System towards Improving Quality of Life: A Review,” Oct. 01, 2022, *MDPI*. doi: 10.3390/healthcare10101993.
- [25] M. Joshi *et al.*, “Short-Term Wearable Sensors for In-Hospital Medical and Surgical Patients: Mixed Methods Analysis of Patient Perspectives,” *JMIR Perioper. Med.*, vol. 4, no. 1, p. e18836, Apr. 2021, doi: 10.2196/18836.
- [26] M. Muhammad Arslan, X. Yang, Z. Zhang, S. Ur Rahman, M. Ullah, and Q. H. Abbasi, “Advancing Healthcare Monitoring: Integrating Machine Learning With Innovative Wearable and Wireless Systems for Comprehensive Patient Care,” *IEEE Sens. J.*, vol. 24, no. 18, pp. 29199–29210, Sep. 2024, doi: 10.1109/JSEN.2024.3434409.
- [27] G. Gasciauskaitė, J. Lunkiewicz, T. R. Roche, D. R. Spahn, C. B. Nöthiger, and D. W. Tscholl, “Human-centered visualization technologies for patient monitoring are the future: a narrative review,” Dec. 01, 2023, *BioMed Central Ltd*. doi: 10.1186/s13054-023-04544-0.
- [28] Y.-C. Tsao, F.-J. Cheng, Y.-H. Li, and L.-D. Liao, “An IoT-Based Smart System with an MQTT Broker for Individual Patient Vital Sign Monitoring in Potential Emergency or Prehospital Applications,” *Emerg. Med. Int.*, vol. 2022, pp. 1–13, Jan. 2022, doi: 10.1155/2022/7245650.
- [29] N. Shankar, M. K. Nallakaruppan, V. Ravindranath, M. Senthilkumar, and B. P. Bhagavath, “Smart IoMT Framework for Supporting UAV Systems with AI,” *Electronics (Switzerland)*, vol. 12, no. 1, Jan. 2023, doi: 10.3390/electronics12010086.
- [30] V. Bhardwaj, R. Joshi, and A. M. Gaur, “IoT-Based Smart Health Monitoring System for COVID-19,” *SN Comput. Sci.*, vol. 3, no. 2, Mar. 2022, doi: 10.1007/s42979-022-01015-1.
- [31] E. Arianto, “Penelitian dan Pengembangan Smart Patient Bed dengan Sistem Pemantauan Berat Badan Pasien Berbasis IoT,” *J. Teknol.*, vol. 14, no. 1, pp. 13–19, 2024, doi: 10.35134/jitekin.v12i1.117.
- [32] Y. Jiang, C. Spies, J. Magin, S. J. Bhosai, L. Snyder, and J. Dunn, “Investigating the accuracy of blood oxygen saturation measurements in common consumer smartwatches,” *PLOS Digital Health*, vol. 2, no. 7, Jul. 2023, doi: 10.1371/journal.pdig.0000296.



- [33] C. Spaccarotella, A. Polimeni, C. Mancuso, G. Pelaia, G. Esposito, and C. Indolfi, “Assessment of Non-Invasive Measurements of Oxygen Saturation and Heart Rate with an Apple Smartwatch: Comparison with a Standard Pulse Oximeter,” *J. Clin. Med.*, vol. 11, no. 6, Mar. 2022, doi: 10.3390/jcm11061467.
- [34] C. Nwibor *et al.*, “Remote Health Monitoring System for the Estimation of Blood Pressure, Heart Rate, and Blood Oxygen Saturation Level,” *IEEE Sens. J.*, vol. 23, no. 5, pp. 5401–5411, Mar. 2023, doi: 10.1109/JSEN.2023.3235977.
- [35] A. Imad, N. A. Malik, B. A. Hamida, G. H. Seng, and S. Khan, “Acoustic Photometry of Biomedical Parameters for Association with Diabetes and Covid-19,” *Emerging Science Journal*, vol. 6, no. Special Issue, pp. 42–56, 2022, doi: 10.28991/esj-2022-SPER-04.
- [36] W. Wang, Y. H. Lee, H. W. Tseng, Y. L. Chen, and Z. Liu, “Elimination of Motion Artifacts in Signal of Photoplethysmography Sensor,” *Sensors and Materials*, vol. 34, no. 9, pp. 3461–3477, 2022, doi: 10.18494/SAM3919.
- [37] N. N. Sari, M. N. Gani, R. A. Maharani Yusuf, and R. Firmando, “Telemedicine for silent hypoxia: Improving the reliability and accuracy of Max30100-based system,” *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 22, no. 3, pp. 1419–1426, Jun. 2021, doi: 10.11591/ijeecs.v22.i3.pp1419-1426.
- [38] S. Ismail, U. Akram, and I. Siddiqi, “Heart rate tracking in photoplethysmography signals affected by motion artifacts: a review,” Dec. 01, 2021, *Springer Science and Business Media Deutschland GmbH*. doi: 10.1186/s13634-020-00714-2.
- [39] S. Blok, M. A. Piek, I. I. Tulevski, G. A. Somsen, and M. M. Winter, “The accuracy of heartbeat detection using photoplethysmography technology in cardiac patients,” *J. Electrocardiol.*, vol. 67, pp. 148–157, Jul. 2021, doi: 10.1016/j.jelectrocard.2021.06.009.
- [40] M. Rehman, L. M. Higdon, and M. R. Sperling, “Long-Term Home EEG Recording: Wearable and Implantable Devices,” *Journal of Clinical Neurophysiology*, vol. 41, no. 3, pp. 200–206, Mar. 2024, doi: 10.1097/WNP.0000000000001014.
- [41] E. Rama, S. Zuberi, M. Aly, A. Askari, and F. M. Iqbal, “Clinical Outcomes of Passive Sensors in Remote Monitoring: A Systematic Review,” Jun. 01, 2025, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/s25113285.