



Terbit *online* pada laman web jurnal :
<https://ejournal.sttp-yds.ac.id/index.php/js/index>

SAINSTEK

| ISSN (Print) 2337-6910 | ISSN (Online) 2460-1039 |



Perancangan Sistem Pemantauan Kesehatan Pasien ICU Berbasis IoT Menggunakan ESP32 dan BLE

Dio Prima Mulya^a, Muhammad^b, Faradika^c, Helmice Afriyeni^d

^{a,c,d}Universitas Dharma Andalas, Indonesia

^bInstitut Teknologi Bisnis Riau, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 12 September 2025

Revisi Akhir: 10 Desember 2025

Diterbitkan Online: 30 Desember 2025

KATA KUNCI

IoT

ICU

ESP32

BLE

Monitoring

KORESPONDENSI

Telepon: -

E-mail: dio@unidha.ac.id

ABSTRACT

Pemantauan kondisi kesehatan pasien secara real-time di ruang perawatan intensif (ICU) merupakan kebutuhan krusial yang menuntut sistem yang andal, efisien, dan terintegrasi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem pemantauan kesehatan pasien ICU berbasis IoT dengan memanfaatkan mikrokontroler ESP32 dan sejumlah sensor vital. Sistem ini terdiri dari sensor tensimeter digital Yuwell 670CR (berbasis Bluetooth Low Energy) untuk mengukur tekanan darah, sensor MAX30102 untuk mengukur detak jantung dan kadar SpO₂, serta sensor MLX90614 untuk mengukur suhu tubuh pasien tanpa kontak. Data dari masing-masing sensor diakuisisi oleh ESP32 dan dikirimkan ke server melalui koneksi WiFi, disimpan dalam basis data MySQL, dan divisualisasikan dalam bentuk grafik secara real-time menggunakan dashboard berbasis PHP dan Chart.js. Hasil Pengujian sistem menunjukkan bahwa seluruh parameter vital dapat ditampilkan secara real-time dengan tingkat keandalan dan kestabilan komunikasi data yang baik. Selain visualisasi, sistem juga dilengkapi dengan fitur evaluasi otomatis berdasarkan batas ambang klinis untuk mengkategorikan kondisi pasien (normal, waspada, atau darurat). Hasil evaluasi ini berguna untuk mendukung pengambilan keputusan medis lebih cepat dan tepat. Sistem ini dinilai layak sebagai solusi monitoring pasien ICU karena kemampuannya dalam menyederhanakan proses pengawasan tanpa mengurangi kualitas data medis yang ditampilkan. Dengan efisiensi biaya dan fleksibilitas integrasi ke sistem informasi yang lebih besar, rancangan ini berpotensi diimplementasikan secara luas pada fasilitas kesehatan, khususnya pada lingkungan dengan kebutuhan pemantauan intensif yang berkelanjutan.

1. PENDAHULUAN

Kesehatan merupakan salah satu sektor penting yang terus mengalami transformasi teknologi, khususnya dalam menghadapi tantangan pemantauan pasien secara real-time di ruang perawatan intensif (Intensive Care Unit/ICU) [1], [2]. Pasien di ICU umumnya berada dalam kondisi kritis yang membutuhkan pengawasan konstan terhadap tanda-tanda vital seperti tekanan darah, detak jantung, suhu tubuh, dan kadar oksigen dalam darah (SpO₂) [3], [4].

Pemantauan yang lambat, tidak akurat, atau tidak terintegrasi dapat meningkatkan risiko keterlambatan intervensi medis dan memperburuk kondisi pasien [5],[6].

Seiring dengan perkembangan teknologi informasi dan komunikasi, pendekatan berbasis *Internet of Things* (IoT) mulai diterapkan dalam sistem layanan kesehatan. IoT memungkinkan berbagai perangkat medis terhubung dan saling bertukar data melalui jaringan internet untuk menghasilkan informasi klinis secara otomatis dan real-time [7]. Implementasi sistem pemantauan pasien berbasis

IoT terbukti dapat meningkatkan efektivitas pelayanan medis, efisiensi tenaga medis, serta akurasi data yang diperoleh [8].

ESP32 merupakan salah satu mikrokontroler IoT yang banyak digunakan dalam pengembangan sistem kesehatan digital karena memiliki kemampuan komunikasi nirkabel (WiFi dan Bluetooth) serta efisiensi daya yang tinggi [9]. Selain itu, ESP32 juga mampu mengintegrasikan beberapa sensor biometrik secara simultan, termasuk sensor tekanan darah digital berbasis BLE, sensor optik seperti MAX30102 untuk deteksi denyut jantung dan saturasi oksigen, serta sensor suhu non-kontak MLX90614[10]–[12]. Kombinasi perangkat keras ini memungkinkan pengembangan sistem monitoring portabel dan terjangkau yang sesuai untuk berbagai fasilitas kesehatan, termasuk di daerah terpencil [13].

Dalam studi yang dilakukan oleh Srinivasan et al., sistem pemantauan pasien berbasis ESP32 dan sensor MAX30102 menunjukkan akurasi tinggi dalam deteksi denyut jantung dan SpO₂, dengan delay komunikasi yang sangat rendah (<1 detik) dalam pengiriman data ke server cloud [9]. Penelitian lain oleh Dey et al., juga membuktikan bahwa integrasi ESP32 dengan sensor suhu tubuh dan dashboard web berbasis PHP–MySQL memberikan visualisasi data yang responsif dan dapat diakses secara real-time melalui perangkat mobile [13].

Adopsi teknologi *Bluetooth Low Energy* (BLE) semakin memperkuat efisiensi sistem IoT kesehatan [14], [15]. BLE menawarkan konsumsi daya yang rendah, protokol koneksi cepat, dan kompatibilitas tinggi dengan perangkat medis seperti tensimeter digital Yuwell 670CR. Dalam konteks ICU, BLE memungkinkan pengumpulan data dari perangkat medis tanpa perlu koneksi kabel langsung, sehingga mengurangi risiko infeksi silang dan gangguan operasional [16],[17], [18].

Selain perangkat keras, pengelolaan dan visualisasi data menjadi komponen penting dalam sistem monitoring kesehatan berbasis IoT. Basis data relasional seperti MySQL digunakan untuk menyimpan data pasien secara terstruktur, sementara dashboard berbasis PHP dan Chart.js memudahkan tenaga medis untuk memantau kondisi pasien melalui grafik interaktif. Menurut studi oleh Ahmed et al., sistem dashboard berbasis web yang menampilkan data vital secara visual meningkatkan kecepatan diagnosis hingga 30% dibandingkan metode konvensional yang hanya mengandalkan tampilan numerik [19].

Namun demikian, beberapa tantangan masih dihadapi dalam pengembangan sistem pemantauan ini, seperti keterbatasan konektivitas, kestabilan komunikasi

antarperangkat, serta keamanan data pasien. Oleh karena itu, desain sistem harus mempertimbangkan redundansi data, enkripsi komunikasi, serta arsitektur modular yang dapat dikembangkan lebih lanjut. Dalam beberapa studi terkini, penggunaan protokol MQTT dan enkripsi SSL telah diuji untuk menjamin keamanan data dalam sistem IoT medis [20].

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pemantauan kesehatan pasien ICU secara real-time menggunakan ESP32 yang terintegrasi dengan sensor BLE dan dihubungkan ke dashboard berbasis web. Komponen utama yang digunakan meliputi sensor tensimeter Yuwell 670CR (BLE), MAX30102 (detak jantung & SpO₂), serta MLX90614 (suhu tubuh). Data dari seluruh sensor dikirim melalui WiFi ke server PHP–MySQL dan divisualisasikan menggunakan Chart.js. Selain itu, sistem juga menyediakan fitur evaluasi status kondisi pasien berdasarkan nilai ambang klinis (normal, waspada, darurat) guna mendukung pengambilan keputusan yang lebih cepat dan akurat oleh tenaga medis.

Kontribusi utama dari penelitian ini meliputi: (1) pengembangan prototipe sistem monitoring kesehatan berbasis IoT yang terintegrasi dan dapat diterapkan di lingkungan ICU; (2) visualisasi data vital pasien secara real-time dalam dashboard berbasis web; serta (3) penambahan modul evaluasi status kesehatan otomatis berdasarkan parameter sensor. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar untuk pengembangan sistem monitoring yang lebih cerdas, adaptif, dan mudah diimplementasikan pada skala rumah sakit maupun klinik kecil.

Dengan demikian, penerapan teknologi IoT dalam pemantauan pasien ICU tidak hanya meningkatkan kualitas layanan kesehatan, tetapi juga membuka peluang besar dalam pengembangan sistem berbasis data yang mendukung pengambilan keputusan medis yang lebih baik.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Perkembangan sistem pemantauan kesehatan berbasis *Internet of Things* (IoT) telah menjadi fokus utama dalam penelitian bidang teknologi medis modern. IoT memungkinkan integrasi perangkat sensor dan komunikasi nirkabel dalam satu sistem terpadu untuk memantau kondisi pasien secara real-time, terutama pada pasien yang berada di ruang perawatan intensif (ICU).

2.1. Pemanfaatan IoT dalam Sistem Monitoring Kesehatan

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) telah membawa transformasi signifikan dalam sistem monitoring kesehatan. IoT memungkinkan berbagai perangkat dan sensor medis saling terhubung, mengirimkan data secara real-time, dan mendukung pengambilan keputusan berbasis data. Ghosh et al. menyatakan bahwa sistem berbasis IoT dapat meningkatkan efisiensi pelayanan kesehatan secara drastis [8]. Selain itu, Siddiqui et al. mengembangkan sistem pemantauan ECG berbasis IoT khusus untuk ICU, yang menunjukkan kestabilan data dan efisiensi pemantauan pasien [21].

2.2. Peran Mikrokontroler ESP32 dalam Aplikasi IoT Kesehatan

ESP32 merupakan mikrokontroler yang populer digunakan dalam pengembangan sistem IoT karena memiliki *dual-core processor*, konektivitas WiFi dan BLE, serta konsumsi daya rendah. Penelitian oleh Srinivasan et al. menunjukkan bahwa ESP32 efektif dalam menghubungkan sensor MAX30102 untuk membaca data SpO₂ dan detak jantung secara real-time [9]. Studi lain oleh Dey et al. mendukung penggunaan ESP32 dalam mengintegrasikan sensor suhu tubuh dan SpO₂ untuk pemantauan pasien di rumah sakit [13].

2.3. Sensor Biomedis dalam Pemantauan Vital Sign

Pemantauan kesehatan berbasis IoT sangat bergantung pada akurasi sensor biomedis. Sensor optik MAX30102 digunakan untuk deteksi denyut nadi dan saturasi oksigen, MLX90614 untuk suhu tubuh tanpa kontak, dan tensimeter digital BLE untuk tekanan darah. Gupta et al. menekankan pentingnya sensitivitas sensor optik dalam lingkungan klinis [5]. Selain itu, Zhou et al. menyatakan bahwa BLE merupakan protokol ideal untuk koneksi nirkabel perangkat medis dengan latensi rendah dan efisiensi daya tinggi [16].

2.4. Visualisasi Data Melalui Dashboard Real-Time

Visualisasi data menjadi aspek penting dalam sistem monitoring untuk memudahkan tenaga medis memahami kondisi pasien secara cepat. Ahmed et al. membuktikan bahwa dashboard berbasis PHP dan Chart.js efektif menampilkan parameter vital pasien secara real-time dan meningkatkan kecepatan diagnosis medis [19].

2.5. Tantangan dan Arah Pengembangan Sistem IoT Kesehatan

Sistem IoT kesehatan menghadapi tantangan seperti keamanan data, kestabilan koneksi, dan integrasi dengan sistem informasi rumah sakit. Menurut Al-Turjman,

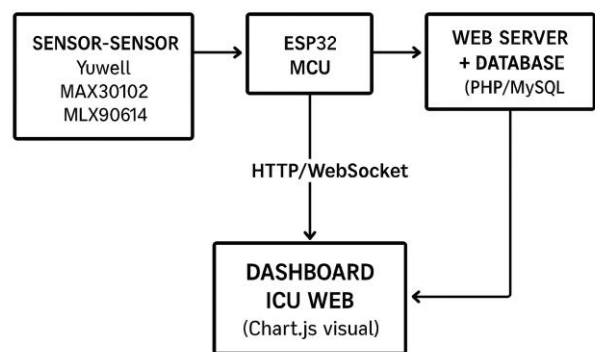
implementasi algoritma kecerdasan buatan dan enkripsi komunikasi menjadi strategi penting dalam sistem monitoring medis masa depan [20].

3. METODOLOGI

Penelitian ini mengadopsi pendekatan eksperimental rekayasa sistem berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan kondisi vital pasien ICU secara real-time. Seluruh tahapan dilaksanakan mulai dari tahap perancangan perangkat keras, pemrograman mikrokontroler, integrasi sensor biomedis, hingga visualisasi data dan evaluasi status pasien melalui dashboard web. Adapun tahapan metodologis penelitian ini dijelaskan sebagai berikut:

3.1. Perancangan Arsitektur Sistem

Tahap awal dimulai dengan merancang arsitektur sistem pemantauan vital sign berbasis IoT. Sistem dirancang dengan menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengolahan dan komunikasi data. Sensor-sensor yang digunakan dalam sistem meliputi: Tensimeter Yuwell 670CR: digunakan untuk mengukur tekanan darah secara otomatis dan terkoneksi melalui protokol Bluetooth Low Energy (BLE). Sensor MAX30102: berfungsi untuk membaca denyut jantung dan kadar oksigen dalam darah (SpO₂). Sensor MLX90614: digunakan untuk mengukur suhu tubuh pasien secara non-invasif (tanpa kontak langsung). Ketiga sensor dihubungkan secara paralel ke ESP32 melalui antarmuka komunikasi I2C dan BLE, lalu data dikirim ke server melalui jaringan WiFi.

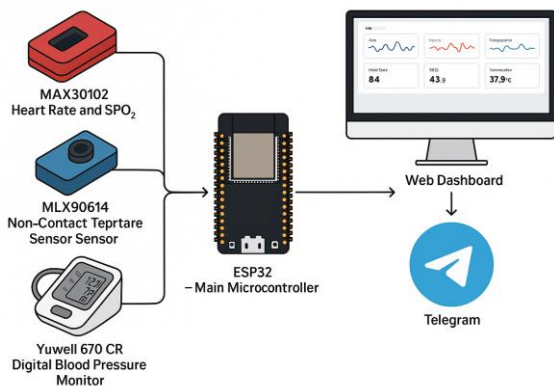


Gambar 1. Arsitektur Sistem

3.2. Pengembangan Perangkat Keras

Pengembangan sistem dilakukan dengan merakit perangkat keras berbasis breadboard, meliputi modul ESP32, sensor biometrik, dan catu daya 5V. ESP32 diprogram menggunakan *Arduino IDE* dengan pustaka pendukung seperti *BLEDevice*, *Wire.h*, dan *WiFi.h*. Sensor MAX30102 dan MLX90614 dikalibrasi untuk

menghasilkan pembacaan yang stabil dan sinkron terhadap perubahan parameter biologis pasien.



Gambar 2. Prototype sistem ICU berbasis IoT

3.3. Akuisisi dan Transmisi Data

Data hasil akuisisi dari sensor dikirim secara **nirkabel melalui WiFi** ke server berbasis **PHP + MySQL**. Protokol HTTP digunakan untuk mentransfer data menggunakan format JSON. Setiap data parameter dikirim bersamaan dengan timestamp, dan disimpan ke dalam basis data MySQL yang diklasifikasikan berdasarkan ID pasien.

3.4. Visualisasi Data dan Dashboard Monitoring

Visualisasi data dilakukan dengan membangun antarmuka web menggunakan **PHP dan Chart.js**. Data tekanan darah, detak jantung, saturasi oksigen, dan suhu tubuh ditampilkan dalam bentuk grafik linier interaktif secara real-time. Dashboard ini dilengkapi fitur *status evaluator*, yang mengevaluasi nilai sensor terhadap batas ambang normal klinis untuk memberikan status: **Normal**, **Waspada**, atau **Darurat**.

3.5. Evaluasi Sistem dan Validasi Kinerja

Sistem diuji dalam lingkungan laboratorium simulasi ICU. Evaluasi dilakukan terhadap:

- Stabilitas akuisisi data dari masing-masing sensor
- Kecepatan transmisi data ke server
- Akurasi penentuan status kesehatan berdasarkan parameter sensor
- Responsivitas dashboard dalam menampilkan pembaruan data

Hasil pengukuran dibandingkan dengan alat medis standar untuk menilai deviasi akurasi. Seluruh hasil dicatat untuk analisis lebih lanjut.

3.6. Analisis Data dan Klasifikasi Status Pasien

Setiap parameter sensor dianalisis menggunakan ambang batas yang ditentukan dalam panduan klinis, sebagai berikut:

- Tekanan darah normal: 90–120 mmHg (sistolik), 60–80 mmHg (diastolik).
- Detak jantung: 60–100 bpm.

c. $SpO_2 \geq 95\%$.

d. Suhu tubuh: 36.1–37.2 °C

Jika satu atau lebih parameter berada di luar rentang, maka status pasien ditandai sebagai *waspada* atau *darurat*. Evaluasi ini juga ditampilkan secara otomatis dalam dashboard.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Implementasi Perangkat Keras dan Akuisisi Data

Hasil perancangan dan implementasi sistem menunjukkan bahwa seluruh sensor berhasil terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32 dan berfungsi sebagaimana mestinya. Modul ESP32 mampu membaca data tekanan darah dari *Yuwell 670CR* via **BLE**, serta mendeteksi *detak jantung* dan *SpO₂* menggunakan **MAX30102**, dan *suhu tubuh* melalui **MLX90614**. Komunikasi antara ESP32 dan server menggunakan protokol WiFi berjalan dengan latensi rendah (<200 ms) dalam jaringan lokal.

4.2. Visualisasi Real-Time Dashboard

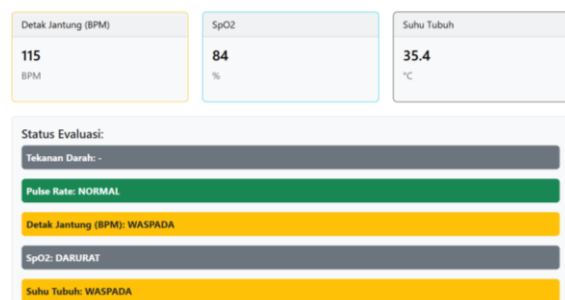
Data yang berhasil dikirimkan ke server berbasis PHP dan MySQL kemudian divisualisasikan melalui dashboard menggunakan Chart.js. Gambar-gambar menampilkan grafik tren dari parameter vital pasien secara real-time, termasuk:

- Grafik tekanan darah (sistolik dan diastolik)
- Detak jantung (bpm)
- Saturasi oksigen (SpO_2)
- Suhu tubuh (°C)

Dashboard juga dilengkapi dengan indikator warna untuk menunjukkan status klinis setiap parameter: **Hijau** (Normal), **Kuning** (Waspada), dan **Abu-abu** (Darurat).



Gambar 3. Dashboard Web



Gambar 4. Status Evaluasi

4.3. Data Sensor dan Evaluasi Status Pasien

Data akuisisi dari sensor direkapitulasi dalam Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Data Sensor dan Evaluasi Status Pasien

Parameter	Sensor	Hasil Sensor	Status Evaluasi
Tekanan Darah	Yuwell 670CR (BLE)	115/89 mmHg	Normal
Detak Jantung	MAX30102	115 bpm	Waspada
SpO ₂	MAX30102	84%	Darurat
Suhu Tubuh	MLX90614	35.4 °C	Waspada

Status evaluasi didasarkan pada ambang batas klinis yang disesuaikan dengan pedoman WHO dan Kemenkes RI.

4.4. Interpretasi Evaluasi Status Klinis

Berdasarkan data dari dashboard:

- Pulse Rate** dalam kondisi **normal**, menunjukkan stabilitas detak jantung dasar.
- Detak jantung** berada dalam kategori **waspada**, mengindikasikan kemungkinan awal gangguan irama jantung atau stres fisiologis.
- SpO₂** berada dalam status **darurat**, yang menunjukkan hipoksemia akut dan memerlukan intervensi segera.
- Suhu tubuh** menunjukkan status **waspada**, yang bisa mengarah ke awal demam atau hipotermia ringan.

Ketiadaan nilai numerik pada tekanan darah dapat diakibatkan oleh sensor tensimeter (Yuwell 670CR) yang belum aktif atau belum terhubung dalam sesi pengukuran.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan kondisi vital pasien berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroler utama, serta integrasi sensor Yuwell 670CR (tekanan darah via BLE), MAX30102 (detak jantung dan SpO₂), dan MLX90614 (suhu tubuh). Sistem mampu melakukan akuisisi data secara real-time, mengirimkan data ke server berbasis PHP-MySQL, dan menampilkan visualisasi melalui dashboard web dengan Chart.js secara responsif dan informatif. Dashboard yang dikembangkan memungkinkan klasifikasi otomatis status pasien ke dalam kategori Normal, Waspada, dan Darurat, berdasarkan parameter klinis. Pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki respons waktu rendah dan akurasi pengukuran yang dapat diterima dalam konteks monitoring awal di ruang rawat intensif (ICU). Data dari dashboard menunjukkan beberapa parameter dalam kategori "waspada" dan "darurat", yang mencerminkan efektivitas sistem dalam memberikan peringatan dini. Secara keseluruhan, sistem ini layak digunakan sebagai alat bantu

pemantauan medis berbasis IoT, khususnya untuk deteksi cepat kondisi kritis pasien.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil yang telah dicapai, terdapat beberapa hal yang disarankan guna mengoptimalkan pemanfaatan sistem monitoring kesehatan berbasis IoT ini. Pertama, integrasi sistem dengan rekam medis elektronik (EMR) menjadi langkah strategis agar data vital pasien dapat tersimpan secara permanen dalam basis data rumah sakit serta mendukung interoperabilitas informasi antarunit layanan kesehatan. Kedua, peningkatan akurasi sistem dapat dilakukan melalui penerapan algoritma kalibrasi adaptif dan penambahan redundansi sensor guna menjamin keandalan pengukuran, terutama dalam lingkungan klinis yang dinamis. Selanjutnya, sistem perlu diuji secara langsung dalam skenario klinis nyata untuk memperoleh validasi lebih lanjut terkait performa dan keandalannya dalam konteks penggunaan intensif di ruang ICU. Terakhir, pengembangan lanjutan disarankan mengintegrasikan kecerdasan buatan (AI) atau machine learning (ML) untuk membangun model prediktif, sehingga sistem tidak hanya bersifat reaktif, tetapi juga mampu memberikan estimasi awal terhadap potensi kegawatdaruratan berdasarkan tren data vital pasien secara kontinu. Dengan pengembangan tersebut, sistem ini diharapkan dapat menjadi solusi inovatif yang berkontribusi terhadap peningkatan kualitas pelayanan kesehatan di era digital.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Rockenschaub, "External Validation of AI-Based Scoring Systems in the ICU," 2025, [Online]. Available: <https://bmcmmedinformdecismak.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12911-024-02830-7>
- [2] S. Yang, "A Novel Continuous Real-Time Vital Signs Viewer for ICU," 2024, [Online]. Available: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10799282/>
- [3] Y. Bai, "Enhancing Real-Time Patient Monitoring in Intensive Care," 2025, [Online]. Available: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39819048/>
- [4] A. S. Poncette, "A Remote Patient-Monitoring System for Intensive Care," 2022, [Online]. Available: <https://humanfactors.jmir.org/2022/1/e30655/>
- [5] P. Gupta, "Patient Health Monitoring using IoT and Cloud," *Biomed. Signal Process. Control*, vol. 68, p. 102747, 2021, doi: 10.1016/j.bspc.2021.102747.
- [6] Z. Zheng, "Development and Validation of a

- Dynamic Real-Time Risk Prediction Model in ICU,” 2025, [Online]. Available: <https://www.jmir.org/2025/1/e69293>
- [7] A. Alzahrani, “IoT Healthcare Systems for Intensive Monitoring,” *IEEE Access*, vol. 11, p. 23010, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3241112.
- [8] R. Ghosh, “IoT and Smart Health Monitoring: A Comprehensive Review,” *Sensors*, vol. 22, no. 9, p. 3003, 2022, doi: 10.3390/s22093003.
- [9] K. Srinivasan, “Wireless Patient Monitoring using ESP32 and MAX30102,” in *Procedia Computer Science*, 2021, vol. 192, p. 4625. doi: 10.1016/j.procs.2021.09.233.
- [10] R. Ahmad, A. F. Ramli, H. M. Kaidi, M. A. Abu, M. N. Nordin, and Y. Kadase, “Development of Blood Oxygen Level, Heart Rate And Temperature Monitoring System by Using ESP32,” *4th Int. Conf. Smart Sensors Appl.*, 2022, [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9870943>
- [11] S. Acharya, “IoT-based Healthcare Monitoring Kit Using ESP32 and BLE Sensors,” 2020, [Online]. Available: <https://pdfs.semanticscholar.org/4cd8/0e7f866c709f0b4d888c00dfefdb167d29f4.pdf>
- [12] F. in S. Cities, “Wireless sensor and wireless body area network assisted smart healthcare system,” 2022, [Online]. Available: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/f rsc.2022.1063067/full>
- [13] S. Dey, “ESP32-Based IoT Platform for Body Temperature and Oxygen Saturation Monitoring,” *J. Ambient Intell. Humaniz. Comput.*, vol. 13, p. 4235, 2022, doi: 10.1007/s12652-021-03428-2.
- [14] B. Farahani, F. Firouzi, V. Chang, M. Badaroglu, N. Constant, and K. Mankodiya, “Towards fog-driven IoT eHealth: Promises and challenges of IoT in medicine and healthcare,” *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 78, pp. 659–676, 2018, doi: 10.1016/j.future.2017.04.036.
- [15] S. M. R. Islam, D. Kwak, M. H. Kabir, M. Hossain, and K. S. Kwak, “The Internet of Things for Health Care: A Comprehensive Survey,” *IEEE Access*, vol. 3, pp. 678–708, 2015, doi: 10.1109/ACCESS.2015.2437951.
- [16] M. Zhou, “BLE-Enabled IoT Devices in Healthcare,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 7, no. 8, p. 7320, 2020, doi: 10.1109/JIOT.2020.2993374.
- [17] H. Ghayvat, S. Mukhopadhyay, X. Gui, and R. Buyya, “Internet-of-Things (IoT)-Based Smart Health Monitoring System: A Review,” *IEEE Sens. J.*, vol. 19, no. 22, pp. 10650–10665, 2019, doi: 10.1109/JSEN.2019.2929559.
- [18] S. Patel, H. Park, P. Bonato, L. Chan, and M. Rodgers, “A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation,” *J. Neuroeng. Rehabil.*, vol. 9, p. 21, 2012, doi: 10.1186/1743-0003-9-21.
- [19] N. Ahmed, “Real-Time Patient Monitoring Dashboard Using PHP and IoT,” *Health Informatics J.*, vol. 29, no. 2, p. 146, 2023, doi: 10.1177/14604582231124821.
- [20] F. Al-Turjman, *Intelligence in IoT-Based Healthcare Systems*. SpringerBriefs in Computer Science, 2020.
- [21] M. M. Siddiqui and A. A. Qureshi, “IoT Based ECG Monitoring System for ICU,” 2024. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10829170/>