JURNAL ILMIAH SISTEM INFORMASI (JUSI)
VOL 5, No. 2, Mei 2026, pp. 206 - 217
p-ISSN : 2803-1507 (media cetak) | e-ISSN : 2803-1531 (media online)
Link Publikasi: https://ejurnal.provisi.ac.id/index.php/JUISI/issue/view/171

Miniature Medical Car Didukung dengan Pulse Arm Band Berbasis Algoritma XGBoost dalam Deteksi Pola Abnormal Detak Jantung

Adamsyach Prana Walidin*[1], Dedy Kiswanto[2], Tri Sapta Warman Zai[3], Fafmi Sagala[4]
[1,2,3,4] Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan
Jl. Willem Iskandar, Pasar V Medan Estate, Percut Sei Tuan, 20221, Deli Serdang, Sumatera Utara, Indonesia
e-mail: adamsyachpranawalidin@gmail.com*[1], dedykiswanto@unimed.ac.id[2], muridholmeswatson@mhs.unimed.ac.id[3], fhmisagala.4231250020@mhs.unimed.ac.id[4]

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 25-12-2025
Revised: 01-01-2026
Accepted: 19-02-2026
Published: 21-05-2026

ABSTRACT

The increasing prevalence of cardiovascular disorders highlights the need for heart rate monitoring systems that are not only accurate but also capable of providing rapid responses to abnormal conditions. This study aims to develop an Internet of Things (IoT)-based heart rate monitoring system integrated with the Extreme Gradient Boosting (XGBoost) algorithm to detect abnormal heart rate patterns in real time and trigger an automated response through a Miniature Medical Car. A quantitative simulation-based research method was employed, in which heart rate signals were collected using an ESP32-C3 Mini–based Pulse Armband equipped with a MAX30102 sensor and transmitted to a cloud server for processing through a data-mining pipeline. The dataset consisted of 800 samples categorized into normal and abnormal classes, which were transformed into 14 statistical and variability-based features for model training. The results indicate that the XGBoost model achieved 94% accuracy, 93.3% precision, 93.3% recall, an F1-score of 0.933, and an ROC-AUC of 0.96, demonstrating strong performance in distinguishing normal from abnormal heart rate patterns. Integration with the miniature car enables the system to deliver an automated physical response when abnormal patterns are detected. The study contributes an efficient real-time IoT–ML architecture, compact statistical feature engineering for physiological signals, and a robotic response mechanism. These findings imply potential applications in remote medical monitoring, public-area emergency alert systems, and low-cost assistive devices.

Keywords: *IoT, Heart Rate Monitoring, XGBoost, Wearable Device, Anomaly Detection.*

Abstrak

Peningkatan kasus gangguan kardiovaskular menuntut adanya sistem pemantauan detak jantung yang tidak hanya akurat, tetapi juga mampu memberikan respons cepat terhadap kondisi abnormal. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem pemantauan detak jantung berbasis *Internet of Things* (IoT) yang terintegrasi dengan algoritma *Extreme Gradient Boosting* (XGBoost) untuk mendeteksi pola detak jantung

DOI: https://doi.org/10.51903/p4ey0516

p-ISSN : 2803-1507 e-ISSN : 2803-1531

abnormal secara real-time serta memicu respons otomatis melalui *Miniature Medical Car*. Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif dengan metode simulasi, di mana data denyut jantung dikumpulkan menggunakan *Pulse Armband* berbasis ESP32-C3 Mini dan sensor MAX30102, kemudian dikirim ke server untuk diproses melalui pipeline data mining. Dataset penelitian terdiri dari 800 sampel yang dibagi menjadi kelas normal dan abnormal, kemudian diolah menjadi 14 fitur statistik dan variabilitas detak jantung untuk proses pelatihan model. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model XGBoost mencapai akurasi 94%, precision 93,3%, recall 93,3%, F1-score 0,933, serta ROC-AUC 0,96, yang mengindikasikan kinerja tinggi dalam membedakan pola detak jantung normal dan abnormal. Integrasi model dengan miniature car memungkinkan sistem memberikan respons fisik secara otomatis saat mendeteksi kondisi berisiko. Kontribusi penelitian ini mencakup pengembangan sistem IoT–ML real-time yang efisien, penggunaan fitur statistik ringkas untuk data fisiologis, serta implementasi respons berbasis robotik. Implikasi penelitian membuka peluang penerapan pada sistem monitoring medis jarak jauh, lingkungan publik, maupun perangkat asistif berbiaya rendah.

Kata Kunci: *IoT, Heart Rate Monitoring, XGBoost, Wearable Device, Anomaly Detection.*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dalam bidang kesehatan telah memungkinkan adanya pemantauan kesehatan secara terus-menerus (real-time) tanpa perlu selalu berada di fasilitas medis. Salah satu teknologi yang menawarkan kemudahan ini adalah *Internet of Things* (IoT), di mana sensor fisik dapat terhubung ke jaringan untuk mengirim data vital secara terus-menerus ke server. Dengan demikian, parameter seperti detak jantung (dalam satuan Beats Per Minute, BPM) bisa dimonitor secara real-time melalui perangkat wearable ringan seperti armband. Dalam konteks penyakit jantung atau gangguan irama jantung, deteksi dini ketidaknormalan detak jantung sangat penting agar dapat dilakukan intervensi cepat sebelum kondisi memburuk.

Fenomena saat ini menunjukkan bahwa banyak orang — terutama di area dengan akses layanan kesehatan terbatas — tidak memiliki sarana pemantauan detak jantung secara kontinu. Sistem medis konvensional biasanya mengandalkan pemeriksaan periodik, yang menyebabkan celah antara pemeriksaan dan kondisi nyata pengguna di kehidupan sehari-hari. Berbagai penelitian telah membangun prototipe perangkat berbasis IoT untuk monitoring detak jantung dan parameter vital lain seperti saturasi oksigen (SpO_2) dan suhu tubuh. Sebagai contoh, sistem berbasis sensor PPG (*photoplethysmography*) seperti modul MAX30102 telah digunakan untuk mendeteksi BPM dan SpO_2 serta memberikan peringatan ketika terjadi anomali [1]. Namun, banyak dari sistem ini hanya sebatas memberi alert atau menyimpan data; belum banyak yang mengintegrasikan kemampuan analisis lanjutan menggunakan algoritma cerdas untuk memprediksi pola abnormalitas jantung secara otomatis.

Seiring meningkatnya kemampuan komputasi dan perkembangan teknik *Machine Learning* (ML), integrasi ML dengan IoT menjadi semakin menarik. Sebuah meta-analisis menunjukkan bahwa penerapan ML pada sistem IoT dan IoMT (*Internet of Medical Things*) untuk deteksi, prediksi, atau monitoring penyakit kardiovaskular menawarkan potensi besar dalam meningkatkan akurasi dan efisiensi deteksi dini [2]. Lebih spesifik, ada penelitian terbaru yang berhasil menggabungkan IoT dengan algoritma kuat seperti XGBoost untuk prediksi penyakit jantung dari data fisik pengguna yang dikumpulkan secara *real-time* [3]. Selain itu, untuk tujuan pemantauan jantung secara real-time dan noninvasif, perangkat wearable berbasis PPG telah dibuktikan dapat menghasilkan data detak jantung (dan variabilitasnya) yang layak — meskipun tantangan seperti noise, gerakan, dan artefak sinyal tetap ada [4].

Meskipun demikian, terdapat beberapa gap (kekurangan) yang perlu diatasi dalam penelitian-penelitian sebelumnya. Pertama, banyak sistem IoT monitoring jantung yang hanya melakukan pembacaan detak jantung dan menampilkan data — tanpa analisis lanjutan untuk mengidentifikasi pola abnormalitas yang bisa mengindikasikan risiko kondisi kritis [5], [6]. Kedua, sedikit sekali sistem yang menggabungkan deteksi abnormalitas secara otomatis dengan respons fisik (misalnya pengiriman alert atau tindakan darurat otomatis) [7]. Ketiga, meskipun ada penelitian yang memanfaatkan ML, tidak banyak yang menghubungkan hasil deteksi dengan aksi nyata (misalnya intervensi fisik atau alert ke pengguna secara otomatis) — sehingga masih terbatas pada visualisasi dan notifikasi [8]. Oleh karena itu, dibutuhkan penelitian yang tidak hanya memonitor, tetapi juga mampu menentukan pola abnormalitas secara otomatis dan melakukan respons nyata ketika kondisi tersebut terjadi.

p-ISSN : 2803-1507 e-ISSN : 2803-1531

Berdasarkan gap tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sebuah sistem wearable-IoT yang mampu mendeteksi detak jantung secara real-time, menganalisis data menggunakan algoritma XGBoost untuk mengidentifikasi pola detak jantung normal dan abnormal, serta melakukan respons otomatis melalui gerakan objek fisik. Dalam hal ini, sebuah miniature car mendekati pengguna ketika abnormalitas terdeteksi. Dengan demikian, sistem ini tidak hanya memberi peringatan digital, tetapi juga menghadirkan tindakan fisik sebagai bentuk respons darurat. Kontribusi penelitian ini meliputi: (1) implementasi sistem wearable real-time dengan sensor PPG (MAX30102) dan mikrokontroler ESP32 untuk pembacaan BPM; (2) penerapan model XGBoost pada server untuk klasifikasi pola normal vs abnormal detak jantung berdasarkan data historis dan parameter demografis seperti umur; (3) integrasi sistem deteksi dengan perangkat fisik (*miniature medical car*) yang bergerak otomatis sebagai respons ketika terjadi abnormalitas, sesuatu yang belum ditemukan di literatur sebelumnya menurut penelusuran kami; dan (4) validasi end-to-end dari deteksi hingga respons fizikal sebagai proof-of-concept sistem darurat berbasis IoT + ML.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Perkembangan Sistem Monitoring Jantung Berbasis IoT dan Wearable*

Penelitian mengenai pemantauan kesehatan jantung telah mengalami transformasi signifikan melalui pemanfaatan *Internet of Things* (IoT) dan perangkat *wearable*. Penggunaan sensor *photoplethysmography* (PPG) seperti MAX30102 menjadi standar dalam akuisisi data detak jantung (BPM) dan saturasi oksigen secara non-invasif. Meskipun sistem berbasis IoT telah banyak dikembangkan untuk pengiriman data secara *real-time* ke platform daring, sebagian besar penelitian terdahulu masih terbatas pada fungsi visualisasi data dan pemberian peringatan (*alert*) digital sederhana. Hal ini menunjukkan adanya kebutuhan akan integrasi metode analitik yang lebih cerdas agar sistem tidak sekadar menjadi alat pengumpul data, melainkan sistem deteksi aktif [1].

2.2. *Implementasi Machine Learning dan Algoritma XGBoost*

Penerapan *Machine Learning* (ML) dalam domain *Internet of Medical Things* (IoMT) telah terbukti meningkatkan akurasi diagnosis dini penyakit kardiovaskular. Di antara berbagai algoritma, XGBoost menunjukkan performa yang unggul dalam menangani data klasifikasi medis dengan tingkat akurasi dan presisi yang tinggi. Beberapa studi telah berhasil menerapkan XGBoost pada data sensor jarak jauh melalui *cloud-based pipeline*. Namun, mayoritas implementasi tersebut masih mengandalkan dataset klinis statis atau data retrospektif, dan belum banyak diaplikasikan pada data *wearable* hidup (*live*) yang terintegrasi langsung dengan aksi intervensi fisik secara otomatis [3].

2.3. *Sintesis Penelitian Terkait dan Kebaruan Sistem*

Perbandingan antara penelitian ini dengan beberapa studi terkait disajikan untuk mempertegas posisi penelitian dalam literatur IoMT. Sistem pemantauan konvensional umumnya memberikan respons berupa notifikasi atau penyimpanan data pada server. Sebagai contoh, sistem peringatan berbasis BPM dan SpO2 yang ada saat ini hanya berfokus pada pemberian *alert* saat ambang batas tertentu terlewati [9].

2.4. *Machine Learning (ML) dalam Monitoring Kesehatan Jantung*

Machine Learning (ML) telah berkembang pesat dalam bidang kesehatan, terutama untuk diagnosis, prediksi, dan pemantauan penyakit kardiovaskular. Tinjauan sistematis menunjukkan bahwa ML yang digabungkan dengan IoT atau IoMT (*Internet of Medical Things*) memungkinkan deteksi dini, prediksi, dan pemantauan penyakit jantung secara real-time, dengan potensi meningkatkan akses layanan kesehatan di area terpencil. Dalam praktiknya, sejumlah penelitian berhasil menggunakan data jantung (ECG atau heartbeat rate) yang dikumpulkan dari sensor/wearable lalu dianalisis dengan ML untuk mendeteksi abnormalitas seperti aritmia. Misalnya, studi yang menggunakan data detak jantung (bukan data ECG penuh) dari smartwatch menunjukkan bahwa teknik ML dapat mengklasifikasikan antara pasien dengan dan tanpa aritmia [10]. Namun, banyak dari sistem ini belum mengintegrasikan keseluruhan pipeline, dari pengukuran real-time, transmisi melalui IoT, analisis secara otomatis, sampai respons otomatis, sehingga masih ada ruang untuk inovasi dengan sistem end-to-end, dari wearable sampai aksi fisik jika abnormalitas terdeteksi.

2.5. *Algoritma XGBoost dalam Prediksi Penyakit Jantung / Pemantauan Jantung*

Salah satu algoritma ML populer dan efektif untuk klasifikasi pada data kardiovaskular adalah XGBoost (*Extreme Gradient Boosting*). Sebuah studi komprehensif terbaru menunjukkan bahwa model XGBoost yang

p-ISSN : 2803-1507 e-ISSN : 2803-1531

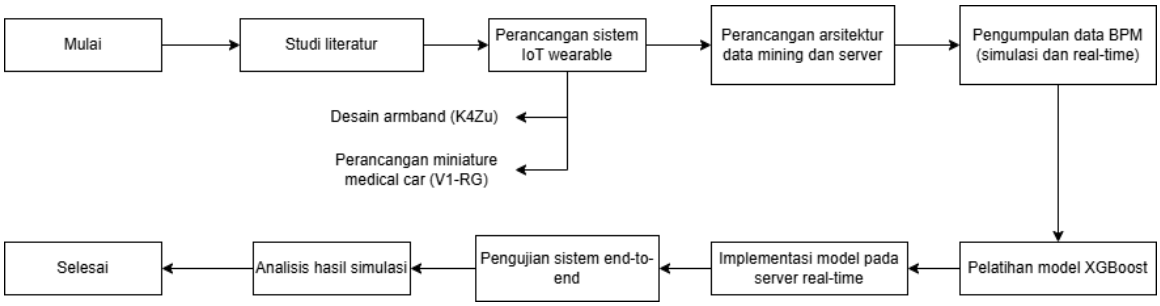
dioptimasi mampu mencapai performa tinggi dalam prediksi penyakit jantung — dengan akurasi, presisi, recall, dan F1-score sangat baik [11], [12], [13]. Lebih lanjut, penelitian yang menggabungkan IoT untuk pemantauan jantung real-time menggunakan pipeline berbasis cloud + XGBoost + jaringan (cloud-based) berhasil menunjukkan bahwa deteksi penyakit jantung dari data sensor jarak jauh (remote) memungkinkan, membuka peluang bagi sistem kesehatan jarak jauh (remote healthcare) [14], [15], [16].

Di samping itu, penggunaan XGBoost untuk kualitas sinyal PPG (memisahkan sinyal berkualitas baik versus buruk) juga telah diteliti — menunjukkan bahwa XGBoost (bersama dengan algoritma boosting lain) dapat diandalkan untuk memproses data PPG wearable meskipun terdapat noise dan artefak [17], [18]. [19]. Meski demikian, sebagian besar studi menggunakan data retrospektif atau dataset klinis/publik (ECG/PPG), dan belum banyak yang menerapkan model XGBoost secara real-time pada data wearable hidup (live) [20], [21], [22], lalu menghubungkannya dengan respons fisik otomatis sebagai bentuk intervensi. Ini merupakan gap yang cukup besar dan menjadi motivasi kuat untuk penelitian kamu: menggabungkan IoT + wearable + real-time ML + aksi otomatis (miniature car) sebagai respons darurat.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. *Metode Penelitian yang Digunakan*

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode simulasi, di mana sistem yang dirancang dievaluasi berdasarkan pengukuran numerik, performa pemodelan, serta respons perangkat fisik terhadap kondisi tertentu. Metode simulasi dipilih karena penelitian ini melibatkan proses pemantauan data fisiologis secara real-time melalui perangkat IoT, pengolahan data menggunakan algoritma *Machine Learning* (ML), dan pemicu aksi otomatis menggunakan miniature medical car [23], [24], [25]. Seluruh alur kerja sistem mulai dari akuisisi data, pengiriman, pengolahan, hingga respons, diuji dalam bentuk lingkungan yang merepresentasikan kondisi nyata pengguna namun tetap dapat dikontrol untuk mendapatkan hasil yang konsisten. Tahapan lengkap proses penelitian tersebut divisualisasikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Pendekatan kuantitatif digunakan karena penelitian ini mengandalkan pengukuran numerik berupa nilai *heartbeat per minute* (BPM), waktu deteksi abnormalitas, akurasi model klasifikasi XGBoost, serta waktu respons sistem. Melalui pendekatan ini, berbagai variabel dapat dianalisis secara terukur guna menilai performa sistem dalam mendeteksi pola normal dan abnormal. Sedangkan metode simulasi dilakukan untuk memvalidasi perilaku sistem tanpa harus menempatkan pengguna dalam kondisi berisiko, misalnya kondisi detak jantung abnormal yang disimulasikan berdasarkan data yang sudah dilatih dalam model.

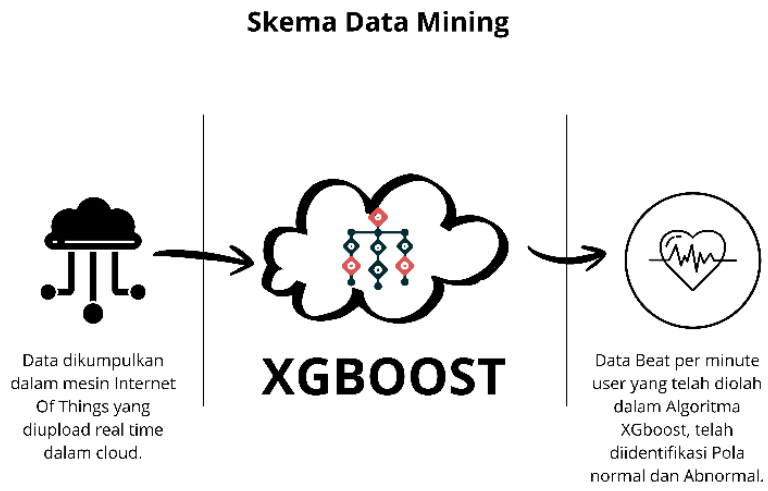
Lingkup simulasi meliputi empat komponen utama, yaitu: (1) perangkat armband sebagai pengambil data BPM secara real-time menggunakan sensor MAX30102; (2) jaringan IoT berbasis ESP32-C3 dan protokol komunikasi untuk mengirim data ke server; (3) modul data mining dan model XGBoost pada server yang memprediksi pola BPM; dan (4) sistem aktuator miniature medical car yang bergerak ketika terdeteksi kondisi abnormal. Seluruh tahapan ini dipantau dan diukur untuk memastikan bahwa sistem bekerja secara konsisten, responsif, dan akurat.

3.2. *Arsitektur Sistem dan Skema Data Mining*

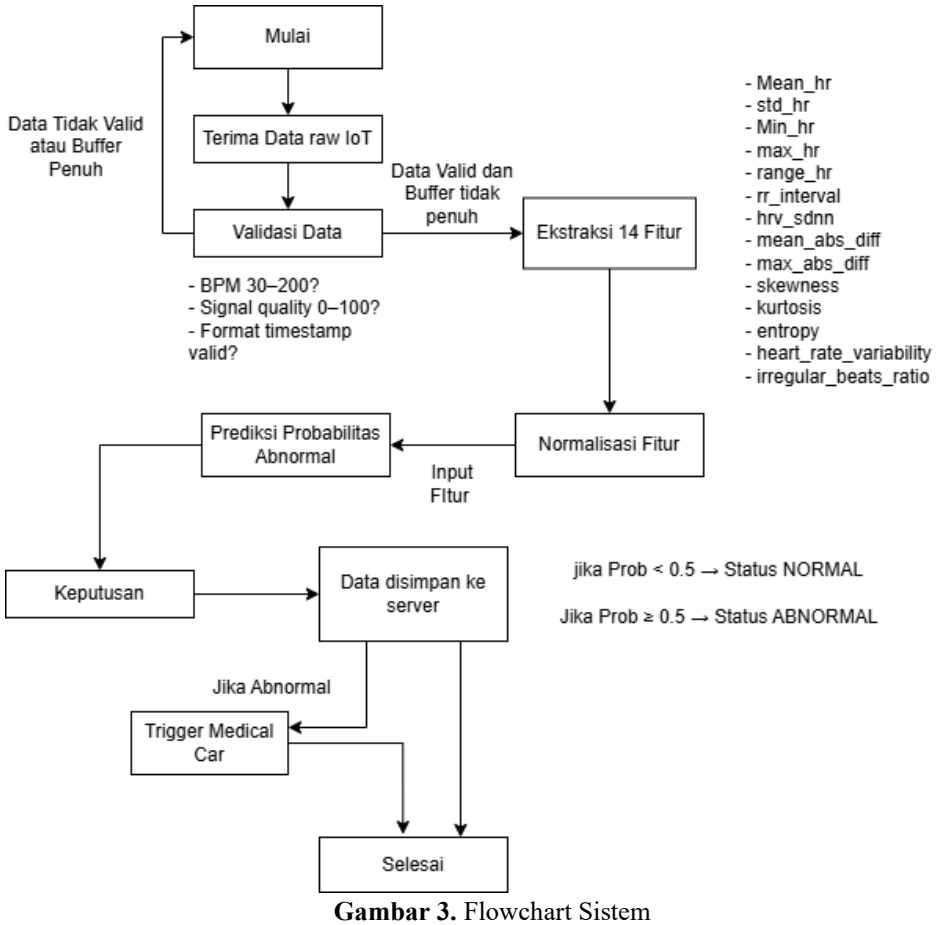
Arsitektur sistem dirancang sebagai sebuah ekosistem terpadu yang menghubungkan tiga lapisan fungsional utama: *data acquisition layer*, *processing layer*, dan *action layer*. Sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 2, alur pemrosesan data (skema data mining) dimulai dari perangkat *wearable* yang mengirimkan data *beat per minute* (BPM) secara kontinu menuju *cloud server* melalui jaringan nirkabel. Di dalam server, data tersebut melewati serangkaian prosedur yang mencakup verifikasi validitas data, pembersihan nilai anomali sinyal, serta proses *feature engineering* yang menggabungkan informasi parameter demografis pengguna seperti umur. Integrasi ini memastikan bahwa setiap data yang diolah memiliki konteks medis yang relevan

p-ISSN : 2803-1507 e-ISSN : 2803-1531

sebelum masuk ke tahap klasifikasi.



Gambar 2. Skema Data Mining



Gambar 3. Flowchart Sistem

3.3. *Perancangan Model XGBoost*

Model XGBoost yang digunakan dalam penelitian ini merupakan model *binary classification* yang dirancang untuk mendeteksi abnormalitas pola detak jantung berdasarkan data yang dikirim oleh perangkat IoT. Model

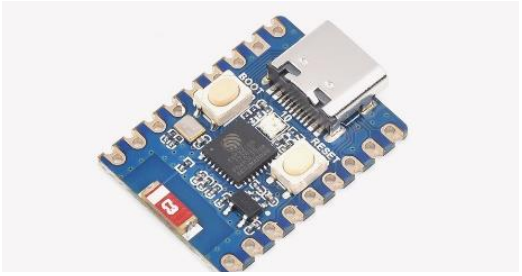
p-ISSN : 2803-1507 e-ISSN : 2803-1531

ini diimplementasikan melalui modul *HeartRateAnomalyDetectionPipeline* yang berisi tiga komponen utama, yaitu: *HeartRateDataProcessor*, *XGBoostHeartRateDetector*, dan *Prediction Pipeline*. Inti dari kecerdasan sistem ini terletak pada model *binary classification* berbasis algoritma *Extreme Gradient Boosting* (XGBoost)[9]. Berdasarkan logika pada Gambar 3, model bekerja dengan memproses *window* data yang berisi 5 sampel detak jantung yang divalidasi pada rentang 30–200 BPM. Dari data tersebut, diekstraksi 14 fitur statistik kompleks yang mencakup nilai *mean*, *rr_nterval*, hingga *irregular_beats_ratio* untuk merepresentasikan pola takikardia, bradikardia, maupun aritmia[11]. Secara teknis, model ini menggunakan konfigurasi $n_{estimators}$=100 dengan kedalaman pohon (*depth*) 6 dan *learning rate* 0,1[12]. Keputusan status kondisi didasarkan pada probabilitas prediksi; jika nilai probabilitas abnormal ≥ 0.5, maka sistem secara otomatis akan memicu sinyal intervensi menuju unit aktuator.

3.4. *Instrumen IoT dan Dataset*

3.4.1. *Instrumen Yang Digunakan*

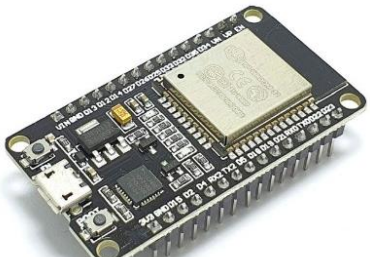
Implementasi fisik penelitian ini melibatkan dua instrumen utama yang bekerja secara sinkron melalui jaringan Wi-Fi. Instrumen pertama adalah *Pulse Armband* yang menggunakan ESP32-C3 Mini sebagai unit pemroses mikro dan sensor optik MAX30102 yang menerapkan prinsip *photoplethysmography* (PPG) untuk menangkap perubahan volume darah di pergelangan tangan (Gambar 4, dan Gambar 5). Instrumen kedua adalah *Miniature Medical Car* (V1-RG) yang berfungsi sebagai unit respons fisik (Gambar 10). Unit ini dikendalikan oleh ESP32 DevKit V1 dan didukung oleh *driver* motor L298N untuk menggerakkan sistem 4WD, serta sensor ultrasonik dan servo yang memungkinkan navigasi otonom untuk menghindari rintangan di lingkungan sekitar (Gambar 6, Gambar 7, dan Gambar 8). Seluruh instrumen IoT ini terhubung melalui jaringan nirkabel dan berkomunikasi secara sinkron dengan server VPS yang menjalankan pipeline Machine Learning untuk mendeteksi pola detak jantung abnormal.



Gambar 4. ESP32-C3



Gambar 5. Sensor MAX30102



Gambar 6. ESP32



Gambar 7. Driver Motor



Gambar 8. Ultrasonik & Servo

3.4.2. *Dataset Training*

Dataset yang digunakan dalam penelitian ini merupakan kumpulan data detak jantung (beats per

p-ISSN : 2803-1507 e-ISSN : 2803-1531

minute/BPM) yang sudah diolah dalam format JSON. Setiap entri terdiri dari dua atribut utama, yaitu timestamp yang merepresentasikan waktu pengambilan data, serta nilai BPM yang merupakan hasil pembacaan sensor. Dataset ini berisi ratusan baris data BPM yang direkam secara berurutan sehingga membentuk pola deret waktu (*time series*). Dataset telah dibersihkan dari anomali serta distandardisasi sehingga siap digunakan sebagai input bagi algoritma pemodelan.

Dataset pengukuran detak jantung ini direkam selama 300 detik oleh perangkat IoT dengan ID IOT001. Data mencakup informasi metadata seperti usia, gender, lokasi pengambilan data, serta timestamp pengukuran. Setiap detik, sistem mencatat empat atribut utama, yaitu nilai BPM, klasifikasi kondisi (normal/abnormal), confidence, serta indeks waktu (*second*). Berdasarkan pengolahan data, nilai rata-rata BPM mencapai 83.21 dengan standar deviasi 11.15, menunjukkan variasi detak jantung yang moderat. Nilai BPM terendah yang tercatat adalah 69 dan tertinggi 124, dengan persentase data yang terklasifikasi sebagai abnormal sebesar 6,33%. Rincian metadata, statistik ringkasan, serta cuplikan timeline detak jantung dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3.

Tabel 1. Metadata Pengukuran Detak Jantung

Atribut	Nilai
Gender	F
Usia	20 tahun
Device ID	IOT001
Lokasi Pengukuran	Campus
Durasi Pengukuran	300 detik
Timestamp Pengukuran	2025-11-29 10:54:50 (UTC)
Label Orang (person_label)	0

Tabel 2. Statistik Ringkasan Dataset

Parameter	Nilai
Baseline BPM	81.24
Mean BPM	83.21
Standar Deviasi	11.15
BPM Minimum	69
BPM Maksimum	124
Persentase Abnormal	6.33%

Tabel 3. Cuplikan Timeline Detak Jantung (10 Baris Pertama)

Detik	BPM	Klasifikasi	Confidence
1	69	Normal	0.86
2	69	Normal	0.88
3	70	Normal	0.92
4	71	Normal	0.92
5	69	Normal	0.96
6	69	Normal	0.89
7	70	Normal	0.96
8	71	Normal	0.95
9	71	Normal	0.87
10	71	Normal	0.98

Perlu ditekankan bahwa penelitian ini memiliki batasan pada pendekatan simulasi yang dilakukan dalam lingkungan terkendali, yang mungkin belum sepenuhnya mencerminkan noise gerakan ekstrem atau dinamika kerumunan di dunia nyata. Selain itu, dataset yang digunakan masih terbatas pada rentang usia dan kondisi medis tertentu, sehingga generalisasi model untuk populasi yang lebih luas memerlukan penelitian lebih lanjut dengan volume data yang lebih masif.

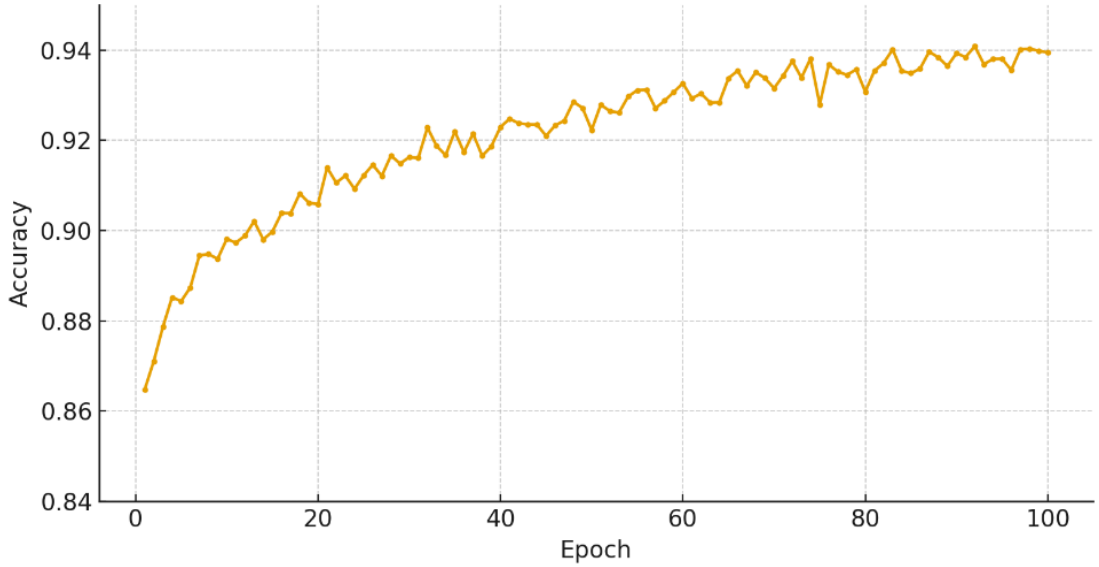
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 *Hasil Penelitian*

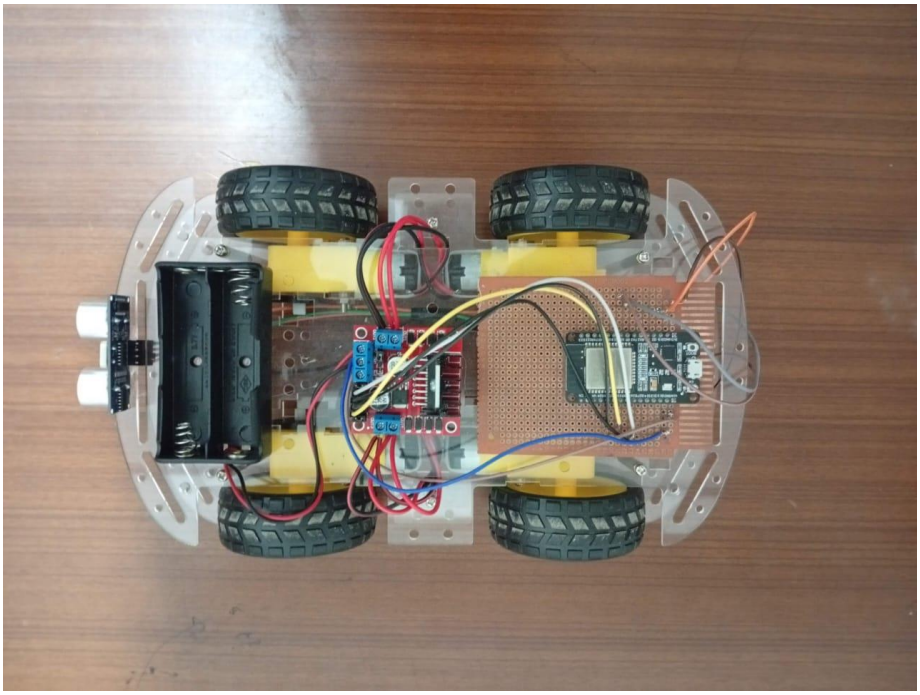
Hasil penelitian menunjukkan bahwa model *Extreme Gradient Boosting (XGBoost)* yang diterapkan dalam sistem deteksi pola detak jantung mampu bekerja secara efektif dalam mengidentifikasi kondisi normal dan abnormal berdasarkan data yang dikirim oleh perangkat *Pulse Armband*. Proses pelatihan model menghasilkan kurva peningkatan akurasi yang stabil sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4, di mana akurasi pelatihan meningkat dari sekitar 0,86 pada iterasi awal dan mencapai nilai mendekati 0,94 pada epoch ke-100. Peningkatan akurasi yang bertahap dan mendatar pada bagian akhir mengindikasikan bahwa model telah mencapai *convergence* tanpa indikasi *overfitting* yang signifikan. Evaluasi lebih lanjut menggunakan

p-ISSN : 2803-1507 e-ISSN : 2803-1531

data pengujian menghasilkan matriks kebingungan yang disajikan pada Gambar 2, dengan nilai *True Positive* (TP) = 42, *True Negative* (TN) = 72, *False Positive* (FP) = 3, dan *False Negative* (FN) = 3. Berdasarkan matriks tersebut diperoleh metrik performa berupa akurasi sebesar 94%, precision 93,3%, recall 93,3%, F1-Score 0,933, serta ROC-AUC sebesar 0,96. Hasil ini menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan prediksi yang kuat, baik dalam mendeteksi kondisi abnormal maupun dalam menjaga kesalahan klasifikasi pada tingkat yang rendah. Visualisasi kurva akurasi hasil pelatihan model tersebut dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik Akurasi Model

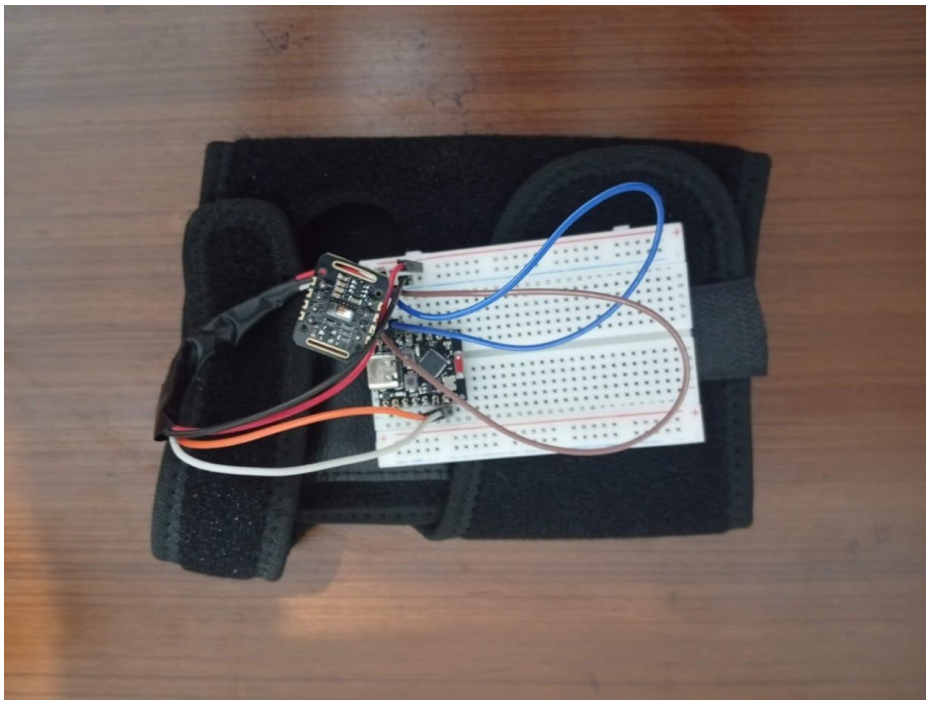


Gambar 10. Miniature Medical Car V1-RG

Temuan kuantitatif ini juga memperkuat evaluasi performa pada pipeline sistem secara keseluruhan. Berdasarkan dokumentasi sistem yang digunakan di cloud, model diintegrasikan dalam pipeline inferensi real-time yang memproses data BPM dalam window lima sampel dan mengubahnya menjadi 14 fitur statistik serta variabilitas detak jantung sebelum dilakukan normalisasi dan klasifikasi. Berdasarkan pengujian

p-ISSN : 2803-1507 e-ISSN : 2803-1531

lapangan yang dilakukan menggunakan armband dan infrastruktur sistem server, model mampu memberikan prediksi dalam rentang waktu yang sangat singkat, memungkinkan respon cepat untuk mengaktifkan *Miniature Medical Car* apabila kondisi abnormal terdeteksi secara konsisten. Dengan tingkat FN yang relatif rendah pada pengujian (FN = 3), risiko kegagalan sistem dalam mendeteksi kondisi abnormal dapat dikatakan minimal, sehingga model layak digunakan pada sistem berbasis respons otomatis seperti penelitian ini. Implementasi perangkat keras yang digunakan dalam pengujian ditunjukkan pada Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 11. Pulse Armband K4ZU

5. DISKUSI

Bahwa pendekatan klasifikasi detak jantung menggunakan XGBoost sangat sesuai untuk penggunaan pada sistem IoT berbasis *real-time medical alert*. Performa model yang konsisten dengan nilai ROC-AUC tinggi (0,96) mengindikasikan bahwa model mampu membedakan pola *normal* dan *abnormal* secara presisi pada data PPG/BPM yang relatif ringkas. Hal ini sejalan dengan berbagai penelitian sebelumnya yang mendemonstrasikan keunggulan XGBoost dalam tugas klasifikasi medis berbasis fitur statistik, terutama pada domain kardiovaskular. Namun, penelitian ini menawarkan konteks berbeda dibandingkan dengan mayoritas studi terdahulu karena sistem tidak bergantung pada sinyal ECG kompleks, melainkan pada sinyal BPM sederhana dengan window data sempit, yang membuktikan bahwa representasi fitur statistik yang efektif dapat menggantikan kebutuhan dataset fisiologis yang besar bila fitur dirancang dengan tepat.

Integrasi pipeline IoT–ML dalam penelitian ini menghasilkan kontribusi praktis yang signifikan. Tidak hanya menghasilkan prediksi abnormal secara digital, sistem ini juga memicu tindakan fisik melalui *Miniature Medical Car* yang bergerak menuju pengguna armband saat pola detak jantung abnormal terdeteksi. Respons otomatis berbasis model ML seperti ini masih jarang dibahas dalam literatur IoMT, sehingga memperlihatkan nilai kebaruan dalam implementasi. Temuan ini membuka peluang pengembangan sistem bantuan darurat berbiaya rendah untuk individu dengan risiko kardiovaskular, terutama di lingkungan privat maupun fasilitas publik. Secara teoretis, penelitian ini memperkaya pemahaman tentang bagaimana kombinasi fitur statistik sederhana dan metode boosting dapat diadaptasi untuk kebutuhan inferensi cepat dan minimnya latensi pada sistem kesehatan berbasis IoT.

Meskipun demikian, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Pertama, dataset yang digunakan masih relatif kecil dan tidak sepenuhnya mencerminkan kondisi fisiologis beragam, seperti variasi usia ekstrem, aktivitas fisik berat, atau kondisi medis tertentu yang dapat memengaruhi pola BPM.

p-ISSN : 2803-1507 e-ISSN : 2803-1531

Kedua, sinyal PPG dari sensor MAX30102 rentan terhadap noise gerakan, sehingga meskipun model bekerja baik pada kondisi terkontrol, performanya dapat berubah pada kondisi lingkungan nyata yang lebih dinamis. Ketiga, uji lapangan terhadap *Miniature Medical Car* belum dilakukan pada skenario kompleks, seperti kerumunan dinamis atau rintangan bergerak. Keterbatasan ini membuka ruang bagi penelitian lanjutan yang dapat berfokus pada perluasan dataset, penerapan teknik *noise reduction*, serta integrasi sensor pendukung seperti akselerometer dan gyroscope untuk meningkatkan *robustness* sistem. Namun secara keseluruhan, penelitian ini telah berhasil menunjukkan bahwa integrasi XGBoost dengan sistem IoT respons otomatis mampu memberikan hasil yang kuat dan konsisten untuk aplikasi pemantauan dan penanganan darurat detak jantung.

6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. *Kesimpulan*

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem pemantauan detak jantung berbasis *Internet of Things* yang terintegrasi dengan algoritma *Extreme Gradient Boosting (XGBoost)* untuk mendeteksi pola detak jantung abnormal secara real-time. Sistem yang terdiri dari *Pulse Armband*, server data mining, dan *Miniature Medical Car* ini menunjukkan performa yang baik dengan akurasi 94%, precision 93,3%, recall 93,3%, dan ROC-AUC 0,96. Hasil tersebut membuktikan bahwa pendekatan *feature engineering* sederhana dan model XGBoost mampu memberikan deteksi anomali yang cepat, stabil, dan dapat diandalkan. Selain itu, integrasi respons otomatis melalui miniature car menegaskan kontribusi praktis penelitian ini dalam pengembangan sistem asistif berbasis Io

6.2. *Saran*

Pengembangan selanjutnya perlu memperluas jangkauan komunikasi dengan mengganti Wi-Fi dan BLE ke teknologi jarak jauh seperti LoRa atau NB-IoT agar sistem dapat beroperasi lebih luas. Selain itu, navigasi miniature car perlu ditingkatkan dengan menambahkan sensor lingkungan yang lebih canggih, seperti LiDAR atau kamera kedalaman, untuk meningkatkan kemampuan menghindari rintangan. Dataset penelitian juga sebaiknya diperluas agar model dapat menangani variasi kondisi yang lebih kompleks dan meningkatkan generalisasi. Terakhir, uji lapangan pada skenario nyata perlu dilakukan untuk menilai kesiapan sistem dalam kondisi penggunaan sebenarnya.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. Kavya, Anjali, Ankita, and R. Patil, “IoT Based Real Time BPM and SpO_2 Monitoring and Alert System Using MAX30102,” *Int. Educ. Res. J.*, vol. 10, no. 5, pp. 247–251, 2024. doi:10.51903/ierj.v10i5.3947.

[2] A. Cuevas-Chávez *et al*., “A Systematic Review of Machine Learning and IoT Applied to the Prediction and Monitoring of Cardiovascular Diseases,” *Healthcare*, vol. 11, no. 16, p. 2240, Aug. 2023, doi: 10.3390/healthcare11162240.

[3] S. A. Alzakari *et al*., “Enhanced Heart Disease Prediction in Remote Healthcare Monitoring Using IoT-Enabled Cloud-Based XGBoost and Bi-LSTM,” *Alexandria Engineering Journal*, vol. 105, pp. 280–291, 2024, doi: 10.1016/j.aej.2024.06.036.

[4] N. Tasmurzayev, B. Amangeldy, T. Imankulov, B. Imanbek, O. A. Postolache, and A. Konysbekova, “A Wearable IoT-Based Measurement System for Real-Time Cardiovascular Risk Prediction Using Heart Rate Variability,” *Eng.*, vol. 6, no. 10, p. 259, 2025, doi:10.3390/eng6100259.

[5] G. Fadhilah and D. Faiza, “Rancang Bangun Alat Pendeteksi Detak Jantung dan Kadar Oksigen Berbasis IoT dengan Integrasi ThingSpeak,” *ELEKTIF: Jurnal Elektronika dan Informatika*, vol. 2, no. 2, pp. 160–177, 2024, doi: 10.24036/elektif.v2i2.72.

[6] D. Kiswanto, H. Listia, and S. Wardania, “Implementasi Algoritma A* (A Star) untuk Penentuan Jalur Terpendek dari Universitas Negeri Medan ke Kualanamu International Airport,” *Journal of Software Engineering, Information and Communication Technology (SEICT)*, vol. 4, no. 1, pp. 15–24, Jun. 2023, doi: 10.17509/seict.v4i1.59213.

[7] M. Muthmainnah and D. B. Tabriawan, "Prototipe Alat Ukur Detak Jantung Menggunakan Sensor MAX30102 Berbasis Internet of Things (IoT) ESP8266 dan Blynk," *JISKA (Jurnal Informatika Sunan Kalijaga)*, vol. 7, no. 3, pp. 163–176, 2022, doi: 10.14421/jiska.2022.7.3.163-176.

[8] R. A. Nugroho, A. Wijaya, and F. Ramadhan, "Sistem Monitoring Detak Jantung Berbasis Wearable Device dan Internet of Things," *J. RESTI (Rekayasa Syst. dan Teknol. Inf.)*, vol. 6, no. 1, pp. 91–98, 2022, doi:10.29207/resti.v3i2.974.

[9] X. Zang, J. Du, and Y. Song, "Early Prediction of Heart Disease via LSTM-XGBoost," in *Proceedings of the ACM Conference*, New York, NY, USA, pp. 631-637, 2023, doi: 10.1145/3594315.3594383.

[10] H. A. Huillcen Baca *et al*., "Detection of Arrhythmias Using Heart Rate Signals from Smartwatches," *Applied Sciences*, vol. 14, no. 16, p. 7233, 2024, doi: 10.3390/app14167233.

[11] A. Ogunpola *et al*., "Machine Learning-Based Predictive Models for Detection of Cardiovascular Diseases," *Diagnostics*, vol. 14, no. 2, p. 144, 2024, doi: 10.3390/diagnostics14020144.

[12] S. Banerjee, P. Dutta, and R. Sarkar, "A Machine Learning-Based Framework for Cardiovascular Disease Prediction Using Physiological Signals," *arXiv Preprint*, arXiv:2307.08766, 2023. [Online]. Available: https://doi.org/10.48550/arxiv.2307.08766

[13] D. Lapsa, R. Janeliukstis, M. Metshein, and L. Selavo, "PPG and Bioimpedance-Based Wearable Applications in Heart Rate Monitoring—A Comprehensive Review," *Appl. Sci.*, vol. 14, no. 17, p. 7451, 2024, doi: 10.3390/app14177451.

[14] A. Hannan, S. M. Cheema, and I. M. Pires, "Machine Learning-Based Smart Wearable System for Cardiac Arrest Monitoring Using Hybrid Computing," *Biomed. Signal Process. Control*, vol. 87, p. 105519, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.bspc.2023.105519.

[15] H. Xie, L. Yang, B. Jiang, Z. Huang, and Y. Lin, "State-of-the-Art Wearable Sensors for Cardiovascular Health: A Review," *npj Cardiovasc. Health*, vol. 2, no. 1, p. 53, 2025, doi: 10.1038/s44325-025-00090-6.

[16] A. Abedi, A. Verma, D. Jain, J. Kaetheeswaran, C. Chui, M. Lankarany, and S. S. Khan, "AI-Driven Real-Time Monitoring of Cardiovascular Conditions with Wearable Devices: Scoping Review," *JMIR Mhealth Uhealth*, vol. 13, e73846, Nov. 11, 2025, doi: 10.2196/73846.

[17] K. B. Kim and H. J. Baek, "Photoplethysmography in Wearable Devices: A Comprehensive Review of Technological Advances, Current Challenges, and Future Directions," *Electronics*, vol. 12, no. 13, p. 2923, 2023, doi: 10.3390/electronics12132923.

[18] C. Zheng, C. Yong, Q. Wei, and F. Qiao, "Flexible Wearable Heart Rate Monitoring System and Low-Power Design: A Review," *Sensors*, vol. 25, no. 16, p. 4913, 2025, doi: 10.3390/s25164913.

[19] C.-J. Ku, Y. Wang, C.-Y. Chang, M.-T. Wu, S.-T. Dai, and L.-D. Liao, "Noninvasive Blood Oxygen, Heartbeat Rate, and Blood Pressure Parameter Monitoring by Photoplethysmography Signals," *Heliyon*, vol. 8, no. 11, e11698, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e11698.

[20] K. Sasirekha, D. Asha, P. Sivaganga, and R. Harini, "Efficient IoT-Based Heart Disease Prediction Framework with Weight Updated Trans-Bidirectional Long Short-Term Memory–Gated Recurrent Unit," *Web Intelligence*, vol. 23, no. 3, pp. 502–525, 2024, doi: 10.3233/web-230063.

[21] D. Asmawati, L. A. Sanjani, C. D. Renggana, C. Fatichah, and T. Mustaqim, "Arrhythmia Classification With ECG Signal Using Extreme Gradient Boosting (XGBoost) Algorithm," *Appl. Comput. Eng.*, vol. 95, pp. 57–67, 2024, doi:10.54254/2755-2721/95/2024bj0057.

[22] Zhadyra Alimbayeva, Chingiz Alimbayev, Kassymbek Ozhikenov, Nurlan Bayanbay, and Aiman Ozhikenova, "Wearable ECG Device and Machine Learning for Heart Monitoring," *Sensors*, vol. 24, no. 13, pp. 4201–4219, 2024, doi:10.3390/s24134201

[23] D. Sasmoko, R. Veliyanti, and R. A. Pradana, "IoT-Based System of Monitoring Realtime Air Quality With MQ135 and Automatic Chicken Feeding," *J. Technol. Inform. Eng.*, vol. 1, no. 2, pp. 16–24, 2022, doi:10.51903/jtie.v1i2.136.

p-ISSN : 2803-1507 e-ISSN : 2803-1531

[24] E. A. Rowani, D. Erwanto, and D. A. Widhining Kusumastutie, "Monitoring Kadar Oksigen Pasien COVID-19 Untuk Isolasi Mandiri Berbasis IoT," *J. Ilm. Sist. Inf.* (JUISI), vol. 1, no. 3, pp. 14–24, 2022, doi:10.51903/juisi.v1i3.379.

[25] D. A. Setya Rahardjo, M. Andriana, and S. H. Prasastono, "Consumer Behavior and Purchase Intentions: A Machine Learning-Based Sentiment Analysis of Social Media Data," *J. Manag. Inform.* (JMI), vol. 3, no. 1, pp. 157–173, 2024, doi:10.51903/jmi.v3i1.45.