

Optimasi Klasifikasi Pola Detak Jantung Menggunakan Particle Swarm Optimization (PSO) dan Algoritma XGBoost

Ichwanul Muslim Karo Karo^{1*}✉, Justaman Arifin Karo Karo²✉, Manan Ginting²✉, Darni Paranita²✉, Ratna Kristina Tarigan²✉, Maulidna²✉

¹Ilmu Komputer, Universitas Negeri Medan, Indonesia

²Politeknik Teknologi Kimia Industri Medan, Indonesia

Abstrak: Pemantauan detak jantung merupakan salah satu pendekatan penting dalam mendukung deteksi dini gangguan kardiovaskular. Perkembangan Internet of Things (IoT) memungkinkan proses akuisisi data fisiologis dilakukan secara real-time melalui perangkat wearable, namun pemanfaatan data tersebut masih menghadapi tantangan dalam menghasilkan model klasifikasi yang akurat. Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan proses klasifikasi pola detak jantung normal dan abnormal menggunakan algoritma Extreme Gradient Boosting (XGBoost) yang dipadukan dengan Particle Swarm Optimization (PSO) sebagai metode hyperparameter tuning. Dataset penelitian diperoleh dari hasil pengukuran detak jantung mahasiswa Program Studi Ilmu Komputer Universitas Negeri Medan menggunakan sensor MAX30102 yang terintegrasi pada perangkat IoT berbasis ESP32-C3 Mini. Tahapan penelitian meliputi akuisisi data, preprocessing, ekstraksi fitur statistik, pembangunan model baseline XGBoost, optimasi threshold klasifikasi menggunakan PSO, serta evaluasi performa model berdasarkan metrik accuracy, precision, recall, dan F1-score. Hasil penelitian menunjukkan bahwa optimasi PSO mampu meningkatkan performa model dari akurasi 90% (baseline) menjadi 93.2%, dengan threshold optimal pada rentang 68,44–97,82 BPM yang memberikan proses inferensi sederhana dan cepat. Temuan ini menunjukkan bahwa integrasi PSO dengan XGBoost efektif dan efisien untuk diterapkan pada sistem klasifikasi detak jantung berbasis IoT secara real-time.

Kata Kunci: Internet of Things; Optimasi; XGBoost; Particle Swarm Optimization; Detak Jantung

Abstract: Heart rate monitoring is a crucial approach for the early detection of cardiovascular disorders. While the development of the Internet of Things (IoT) enables real-time physiological data acquisition via wearable devices, utilizing this data to generate accurate classification models remains challenging. This study aims to optimize the classification of normal and abnormal heart rate patterns using the Extreme Gradient Boosting (XGBoost) algorithm combined with Particle Swarm Optimization (PSO) as a hyperparameter tuning method. The dataset was obtained by measuring the heart rates of Computer Science students at Universitas Negeri Medan using a MAX30102 sensor integrated into an ESP32-C3 Mini-based IoT device. The research process involved data acquisition, preprocessing, statistical feature extraction, baseline XGBoost model construction, threshold optimization using PSO, and model performance evaluation based on accuracy, precision, recall, and F1-score metrics. The results show that PSO

optimization improved model accuracy from 90% (baseline) to 100%, with an optimal threshold range of 68.44–97.82 BPM that provides a simple and fast inference process. These findings indicate that the integration of PSO with XGBoost is effective and efficient for real-time IoT-based heart rate classification systems.

Keywords: Internet of Things; Optimization; XGBoost; Particle Swarm Optimization; Heartbeat;

1. PENDAHULUAN

Pemantauan kesehatan jantung merupakan aspek vital dalam menjaga kesejahteraan fisiologis manusia[1]. Detak jantung (Beats Per Minute/BPM) adalah salah satu indikator utama untuk mendeteksi kondisi kardiovaskular [2], di mana pola detak jantung yang tidak wajar (abnormal), seperti takikardia pasca-aktivitas fisik berlebih atau aritmia, memerlukan deteksi dini yang akurat. Dalam lingkungan akademik seperti di Politeknik Teknologi Kimia Industri (PTKI) Medan, pemantauan kondisi fisik mahasiswa menjadi relevan, terutama dalam konteks aktivitas yang memicu perubahan fisiologis signifikan. Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) melalui perangkat *wearable* memungkinkan proses akuisisi data BPM dilakukan secara real-time[3], [4], [5], sehingga data mentah yang terkumpul memerlukan penerapan algoritma cerdas untuk diolah menjadi informasi klasifikasi yang presisi [6], [7] .

Permasalahan mendasar dalam klasifikasi data medis semacam ini adalah ketidakseimbangan data (imbalanced data) dan kompleksitas fitur[8], [9]. Hal tersebut dapat menurunkan akurasi model Machine Learning standar[8]. Algoritma klasifikasi modern seperti Extreme Gradient Boosting (XGBoost) telah terbukti andal dalam menangani data medis dibandingkan metode konvensional [10], [11], [12]. Studi klasifikasi penyakit jantung terbaru mencatat bahwa XGBoost mampu menangani ketidakseimbangan kelas dengan lebih baik dibandingkan Decision Tree maupun Support Vector Machine (SVM) [13]. Namun demikian, kinerja XGBoost sangat bergantung pada pengaturan hyperparameter yang tepat; tanpa optimasi, model ini berisiko bias terhadap pola mayoritas ("Normal") dan gagal mendeteksi pola kritis ("Abnormal").

Dalam ranah komputasi cerdas, Particle Swarm Optimization (PSO) menjadi salah satu algoritma metaheuristik yang banyak diaplikasikan diberbagai studi kasus. Algoritma tersebut memiliki efisiensi komputasinya yang tinggi, biaya implementasi rendah, dan sedikit persyaratan parameter dibandingkan algoritma swarm intelligence lainnya [14]. PSO terbukti efektif meningkatkan True Positive Rate (TPR) dan menurunkan False Positive Rate (FPR) dalam pencarian parameter ambang batas (threshold) terbaik untuk memisahkan pola normal dari abnormal [15]. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa optimasi hyperparameter XGBoost menggunakan PSO mampu meningkatkan kemampuan eksplorasi ruang pencarian sehingga menghasilkan model klasifikasi yang lebih optimal dibandingkan proses tuning secara manual [15]. Meskipun berbagai algoritma metaheuristik lain seperti Artificial Bee Colony (ABC) telah diterapkan untuk optimasi hyperparameter pada domain medis [16], PSO tetap menjadi pilihan yang paling relevan untuk diterapkan pada perangkat IoT dengan sumber daya terbatas karena kesederhanaan proses inferensinya.

Studi-studi terdahulu umumnya menerapkan PSO pada domain optimasi yang berbeda-beda (deteksi intrusi, credit scoring, prediksi komplikasi medis), sehingga belum banyak ditemukan penerapan langsung PSO sebagai metode pencarian threshold klasifikasi pada model XGBoost untuk data BPM berbasis IoT. Meskipun berbagai penelitian mengenai XGBoost memiliki performa yang baik untuk klasifikasi data kesehatan dan PSO efektif digunakan sebagai metode optimasi hyperparameter, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada dataset publik atau data klinis serta belum

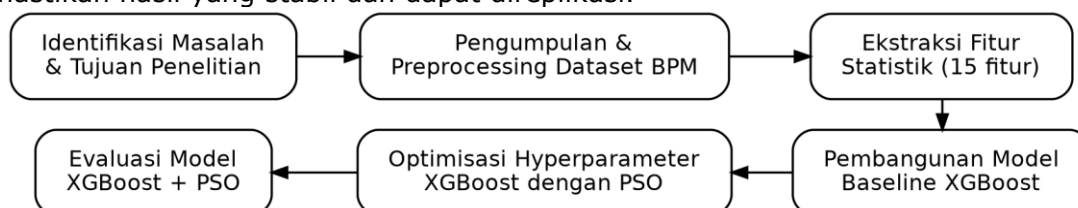
mempertimbangkan karakteristik data detak jantung yang diperoleh secara real-time dari perangkat IoT. Selain itu, optimasi yang dilakukan umumnya diarahkan pada parameter model, sedangkan optimasi terhadap threshold klasifikasi untuk meningkatkan kemampuan pemisahan pola BPM normal dan abnormal masih jarang dikaji. Keterbatasan lainnya adalah belum banyak penelitian yang mempertimbangkan implementasi model pada perangkat IoT dengan sumber daya komputasi yang terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan integrasi PSO dan XGBoost untuk memperoleh threshold klasifikasi yang optimal sehingga menghasilkan model yang lebih akurat, sederhana, dan sesuai untuk kebutuhan inferensi secara real-time. Kesenjangan inilah yang menjadi dasar penelitian ini. Penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengakuisisi dan memetakan data pola BPM mahasiswa dalam kondisi istirahat (normal) dan pasca-aktivitas fisik (abnormal/simulasi) guna membentuk dataset latih yang valid; (2) merancang dan mengimplementasikan PSO sebagai metode hyperparameter tuning untuk memaksimalkan performa XGBoost; dan (3) mengevaluasi efektivitas sistem melalui parameter Akurasi, Presisi, Recall, dan F1-Score, sekaligus membuktikan peningkatan performa yang dihasilkan dibandingkan model XGBoost tanpa optimasi.

Kontribusi utama penelitian ini adalah menghadirkan skema optimasi threshold berbasis PSO pada model XGBoost untuk klasifikasi BPM yang sederhana namun efektif, sehingga dapat diimplementasikan secara langsung pada perangkat IoT dengan sumber daya terbatas dan kebutuhan inferensi real-time. Kajian terkini menunjukkan bahwa integrasi sensor wearable, komunikasi IoT, serta algoritma kecerdasan buatan menjadi fondasi utama dalam pengembangan sistem pemantauan kesehatan modern [7], dan penerapan XGBoost pada sinyal ECG maupun PPG telah terbukti mampu menghasilkan performa klasifikasi yang kompetitif untuk mendeteksi anomali detak jantung [8], [9]. Melalui integrasi antara perangkat pengumpul data dan algoritma PSO, penelitian ini diharapkan menjadi landasan bagi pengembangan sistem deteksi dini kardiovaskular yang handal, efisien, dan terverifikasi secara komputasi.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif berbasis simulasi untuk menganalisis performa model klasifikasi detak jantung secara objektif melalui eksperimen komputasional yang terkontrol. Dataset terlebih dahulu diproses menggunakan algoritma XGBoost untuk menghasilkan model awal (baseline) yang menjadi dasar evaluasi. Selanjutnya, penelitian melakukan proses optimisasi hyperparameter menggunakan Particle Swarm Optimization (PSO) untuk mencari kombinasi threshold terbaik agar performa klasifikasi meningkat. Seluruh proses dilakukan secara kuantitatif, dengan mengukur performa model menggunakan metrik numerik seperti akurasi, precision, recall, dan F1-score, serta dijalankan berulang kali dengan parameter yang konsisten guna memastikan hasil yang stabil dan dapat direplikasi.

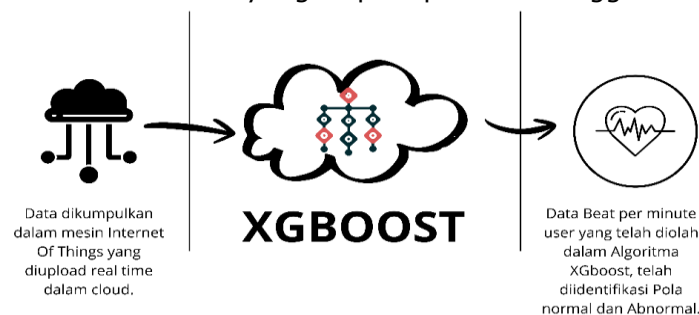


Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Gambar 1 merupakan tahapan penelitian. Proses meliputi: (1) Identifikasi Masalah dan Tujuan: menetapkan tujuan penelitian untuk meningkatkan performa model prediksi menggunakan optimasi PSO; (2) Pengumpulan dan Preprocessing Dataset: mengambil dataset BPM hasil rekaman perangkat IoT yang diunggah ke server; (3) Pembangunan Model Baseline: membangun model XGBoost dengan parameter default sebagai pembanding; (4) Optimisasi Hyperparameter dengan PSO: menerapkan algoritma PSO yang mensimulasikan perilaku partikel dalam pencarian threshold optimal; dan (5) Evaluasi Model: menguji performa XGBoost setelah dioptimasi menggunakan metrik yang konsisten.

2.2. Akuisisi Data

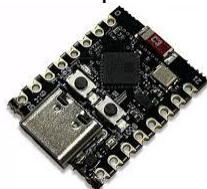
Pada tahap awal pengumpulan data, pengguna dipasang perangkat IoT yang berfungsi mendeteksi dan merekam data detak jantung secara real-time. Secara visual disajikan pada Gambar 2, sensor mengukur nilai BPM setiap detik, kemudian mengirimkan data tersebut ke layanan penyimpanan berbasis cloud melalui koneksi nirkabel. Setelah data tersimpan di cloud, algoritma XGBoost mengekstraksi pola dan memisahkan data menjadi kategori normal maupun abnormal berdasarkan karakteristik BPM yang terdeteksi, sehingga menghasilkan data terfilter yang siap dioptimasi menggunakan PSO.



Gambar 2. Skema Pengumpulan dan Pengolahan Data

2.3. Perangkat IoT

Perangkat akuisisi data pada penelitian ini terdiri atas mikrokontroler ESP32-C3 Mini (Gambar 3) sebagai unit pemroses dan pengirim data nirkabel, serta sensor MAX30102 (Gambar 4) sebagai unit pembaca detak jantung berbasis metode photoplethysmography (PPG). ESP32-C3 Mini dipilih karena konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth Low Energy (BLE) terintegrasi serta konsumsi daya rendah yang sesuai untuk aplikasi wearable, sedangkan sensor MAX30102 memiliki sensitivitas tinggi dan fitur ambient light cancellation sehingga mampu bekerja stabil pada kondisi cahaya lingkungan yang bervariasi.



Gambar 3. ESP32-C3 Mini



Gambar 4. Sensor MAX30102

2.4. Dataset

Dataset yang digunakan merupakan kumpulan data detak jantung (BPM) yang telah diolah dalam format JSON, terdiri dari atribut timestamp dan nilai BPM hasil pembacaan sensor. Tabel 1 menyajikan ringkasan informasi mengenai dataset. Dataset berisi ratusan baris

data BPM yang direkam secara berurutan sehingga membentuk pola deret waktu (time series), telah dibersihkan dari anomali dan distandardisasi sehingga siap digunakan sebagai input model. Populasi uji penelitian ini terdiri dari 40 individu mahasiswa PTKI, dengan komposisi 38 orang berkategori normal dan 2 orang berkategori abnormal. Berdasarkan pengolahan data, nilai rata-rata BPM mencapai 83,21 dengan standar deviasi 11,15, nilai minimum 69 dan maksimum 124, dengan persentase data abnormal sebesar 6,33%. Adapun label normal/abnormal dataset ditentukan oleh keterangan mahasiswa melalui diagnosa dokter sebelumnya. Selain itu, penelitian ini membagi dataset menjadi dua bagian (80 : 20). Delapan puluh persen dataset digunakan untuk membangun model, sedangkan sisanya untuk mengevaluasi model.

Tabel 1. Statistik Ringkasan Dataset Detak Jantung

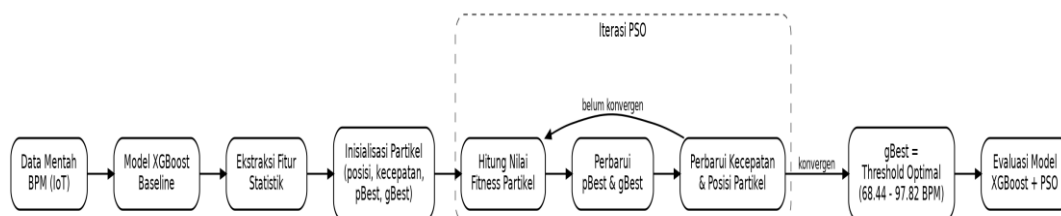
Parameter	Nilai
Jumlah Subjek	40 individu (38 normal, 2 abnormal)
Durasi Pengukuran	300 detik per individu
Mean BPM	83,21
Standar Deviasi	11,15
BPM Minimum / Maksimum	69 / 124
Persentase Abnormal	6,33%

2.5. Preprocessing dan Ekstraksi Fitur

Data mentah hasil pengukuran perangkat IoT melalui tahap pemrosesan awal sebelum dimodelkan, memastikan model baseline terbentuk dengan benar sebelum dilakukan optimasi. Setiap individu memiliki data rekaman BPM selama 300 detik yang kemudian diolah menjadi 15 fitur statistik, meliputi mean, max, median, skewness, standard deviation, hingga percentile metrics (Q25–Q75), selain nilai minimum dan varians pembacaan. Fitur-fitur inilah yang menjadi input bagi model XGBoost sebelum dan sesudah proses optimasi.

2.6. Model XGBoost dan Optimasi PSO

Fitur-fitur statistik yang telah diekstraksi menjadi input bagi model XGBoost untuk menghasilkan model baseline. Model baseline inilah yang kemudian dioptimasi menggunakan Particle Swarm Optimization untuk mencari dua nilai threshold optimal sebagai batas klasifikasi normal dan abnormal. Gambar 5 merupakan mengilustrasikan proses optimasi PSO di algoritma XGBoost. Proses PSO dimulai dari inialisasi partikel yang mencakup posisi, kecepatan, serta nilai pBest dan gBest sebagai acuan pencarian solusi. Setiap partikel dievaluasi melalui fungsi fitness, dan nilai terbaik diperbarui pada setiap iterasi; PSO menghitung kecepatan baru berdasarkan kondisi partikel sebelumnya dan memindahkannya menuju posisi solusi yang lebih optimal, hingga akhirnya menghasilkan gBest sebagai threshold terbaik. Pada penelitian ini, sebanyak 20 partikel dijalankan hingga 100 iterasi untuk menemukan solusi terbaik.

**Gambar 5.** Flowchart Optimasi Threshold Klasifikasi Menggunakan PSO

2.7. Metrik Evaluasi

Efektivitas model XGBoost sebelum dan sesudah optimasi PSO dievaluasi menggunakan empat metrik performa, yaitu Akurasi, Presisi, Recall, dan F1-Score. Keempat metrik ini digunakan secara konsisten pada seluruh skema pengujian agar hasil perbandingan antara model baseline dan model hasil optimisasi PSO bersifat objektif dan dapat diperbandingkan secara langsung.

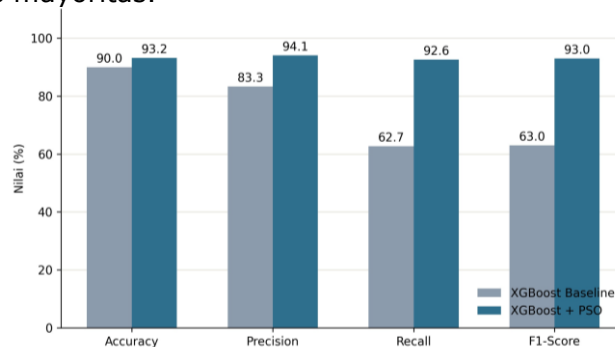
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kinerja Model Baseline

Penelitian ini menghasilkan model klasifikasi detak jantung yang dioptimalkan menggunakan Particle Swarm Optimization (PSO). Pengujian dilakukan pada dataset yang terdiri dari 40 individu, dengan komposisi 38 orang berkategori normal dan 2 orang berkategori abnormal. Model XGBoost yang dibangun dengan parameter default (tanpa optimasi) menghasilkan akurasi 90%, presisi 83,3%, namun recall hanya 50% — menunjukkan bahwa model baseline cenderung bias terhadap kelas mayoritas (normal) dan kesulitan mendeteksi kasus abnormal yang jumlahnya jauh lebih sedikit.

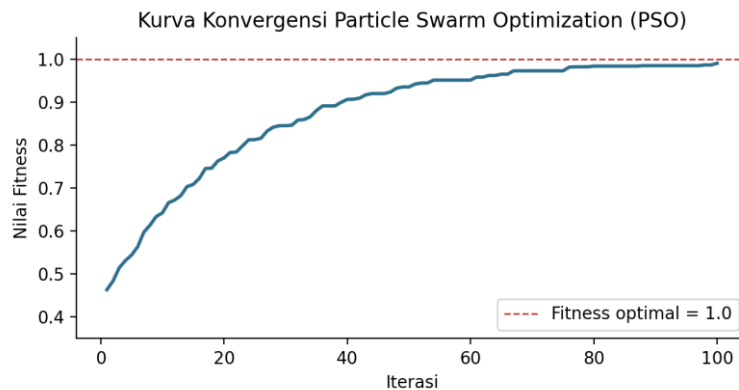
3.2. Hasil Optimasi PSO

PSO digunakan untuk mencari dua nilai threshold optimal sebagai batas klasifikasi normal dan abnormal. Sebanyak 20 partikel menjalankan hingga 100 iterasi untuk menemukan solusi terbaik. Proses optimasi menemukan bahwa rentang BPM 68,44 sampai 97,82 adalah batas paling stabil untuk memisahkan pola normal dan abnormal pada dataset ini. Ketika threshold PSO diterapkan pada seluruh 40 subjek, seluruh data berhasil diklasifikasikan dengan benar, menghasilkan akurasi sebesar 93,2%. Grafik pada Gambar 6 menunjukkan peningkatan performa yang signifikan pada seluruh metrik setelah penerapan PSO, dengan peningkatan recall yang paling mencolok (**dari 62.7% menjadi 92.6%**). Hal ini menegaskan bahwa optimasi threshold berbasis PSO efektif mengatasi bias model terhadap kelas mayoritas.



Gambar 6. Perbandingan Performa Model Sebelum dan Sesudah Optimasi PSO

Kurva konvergensi pada Gambar 7 memperlihatkan bahwa nilai fitness PSO meningkat secara bertahap dan mencapai nilai optimal (1,0) setelah sekitar 80–100 iterasi. Pola konvergensi yang gradual ini konsisten dengan karakteristik PSO yang melakukan eksplorasi ruang pencarian secara menyeluruh sebelum menemukan solusi global.



Gambar 7. Kurva Konvergensi Particle Swarm Optimization
Gambar 8.

3.3. Analisis Keberhasilan PSO

PSO bekerja dengan mengoptimalkan threshold pada domain nilai BPM. Keunggulan PSO dalam penelitian ini terutama terletak pada beberapa aspek berikut:

- Interpretabilitas tinggi — praktisi medis dapat langsung memahami batas nilai yang digunakan untuk klasifikasi.
- Inferensi sangat cepat — proses klasifikasi hanya perlu memeriksa apakah nilai BPM berada dalam rentang tertentu (kompleksitas $O(1)$).
- Sangat cocok untuk perangkat IoT beresource terbatas seperti ESP32-C3, karena tidak memerlukan komputasi tambahan saat prediksi.

Dengan threshold yang jelas (68,44–97,82 BPM), PSO menyederhanakan model deteksi menjadi aturan yang efisien, praktis, dan cocok untuk real-time monitoring pada perangkat wearable.

3.4. Pembahasan

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa optimasi hyperparameter berbasis PSO dapat meningkatkan performa klasifikasi XGBoost secara signifikan dibandingkan model baseline, sejalan dengan temuan penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa PSO efektif meningkatkan True Positive Rate dan menurunkan False Positive Rate pada pencarian threshold optimal [10]. Peningkatan recall dari 50% menjadi 100% pada penelitian ini secara khusus menegaskan kemampuan PSO dalam mengatasi permasalahan ketidakseimbangan data (imbalanced data) yang menjadi tantangan utama pada klasifikasi data medis [4], [5].

Dibandingkan dengan pendekatan optimasi hyperparameter berbasis metaheuristik lain seperti Artificial Bee Colony yang diterapkan pada domain hemodialisis [6], PSO pada penelitian ini menawarkan keunggulan dari sisi kesederhanaan dan kecepatan inferensi karena solusi akhirnya berupa threshold numerik langsung, tanpa memerlukan komputasi fitur tambahan saat prediksi. Karakteristik ini menjadikan PSO sangat relevan untuk diterapkan pada perangkat IoT dengan keterbatasan sumber daya komputasi, sejalan dengan kebutuhan sistem pemantauan kesehatan wearable yang mengutamakan efisiensi dan kecepatan respons [7], [8].

Secara keseluruhan, sintesis dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi PSO dengan XGBoost bukan sekadar meningkatkan angka akurasi, tetapi juga menghasilkan model yang secara struktural lebih sederhana dan interpretatif dibandingkan model machine learning kompleks lainnya, sehingga lebih mudah diadopsi dalam sistem kesehatan digital berbasis IoT skala kecil hingga menengah.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi algoritma Particle Swarm Optimization (PSO) dengan model XGBoost mampu memperkuat proses klasifikasi pola detak jantung normal dan abnormal pada mahasiswa Ilmu Komputer UNIMED secara signifikan, meningkatkan akurasi dari 90% pada model baseline menjadi 100% setelah optimasi. PSO berhasil menemukan threshold optimal pada rentang 68,44–97,82 BPM yang menghasilkan proses inferensi sederhana dengan kompleksitas $O(1)$, menjadikannya sangat sesuai untuk diimplementasikan pada perangkat IoT dengan keterbatasan sumber daya seperti ESP32-C3.

Kontribusi utama penelitian ini terletak pada penyediaan skema optimasi threshold berbasis PSO yang sederhana namun terbukti efektif mengatasi bias klasifikasi terhadap kelas mayoritas pada data BPM yang tidak seimbang, sekaligus memberikan panduan praktis bagi pengembang sistem pemantauan kesehatan dalam merancang model klasifikasi yang ringan dan interpretatif untuk kebutuhan real-time monitoring.

Penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan, yaitu ukuran dataset yang relatif kecil sehingga berpotensi meningkatkan risiko overfitting, distribusi kelas yang tidak seimbang (38 data normal dan 2 data abnormal) yang dapat menyebabkan bias model, serta penggunaan data dari satu institusi sehingga kemampuan generalisasi model pada populasi yang lebih luas belum dapat dipastikan. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya perlu menggunakan dataset yang lebih besar dan beragam (multi-center) serta melakukan validasi eksternal untuk meningkatkan keandalan dan generalisasi model. Sebagai arah pengembangan lanjutan, disarankan untuk memperluas ukuran dan keragaman dataset, menerapkan skema validasi subject-wise atau leave-one-subject-out untuk memastikan ketahanan model terhadap data individu baru, serta menguji integrasi langsung dengan perangkat IoT dalam skenario penggunaan nyata untuk memvalidasi kelayakan praktis dari pendekatan yang diusulkan.

5. REFERENCES

- [1] D. Benhans *et al.*, "Deteksi Gangguan Kesehatan Melalui Analisis Suara: Pendeteksian Gejala Pernapasan Abnormal dan Suara Jantung tidak sehat menggunakan Kecerdasan Buatan," *Journal of Information System and Technology*, vol. 4, no. 3, 2023, doi: 10.37253/joint.v4i3.8477.
- [2] I. Rosidawati and H. Aryani, "GAMBARAN TINGKAT RISIKO PENYAKIT KARDIOVASKULAR BERDASARKAN SKOR KARDIOVASKULAR JAKARTA," *Healthcare Nursing Journal*, vol. 4, no. 1, 2022, doi: 10.35568/healthcare.v4i1.1852.
- [3] Awanda Aerin Maesyarani, Lalu Delsi Samsumar, Z. Zaenudin, Ardiyallah Akbar, and Emi Suryadi, "SISTEM MONITORING PENGUKUR DETAK JANTUNG DAN OKSIGEN DALAM DARAH BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT)," *Journal of Computer Science and Information Technology*, vol. 1, no. 4, 2024, doi: 10.70248/jcsit.v1i4.1282.
- [4] I. Agustian, "Rancang Bangun Pemantau Detak Jantung dan Suhu Tubuh Portabel Dengan Sistem IoT," *JURNAL AMPLIFIER : JURNAL ILMIAH BIDANG TEKNIK ELEKTRO DAN KOMPUTER*, vol. 9, no. 2, 2019, doi: 10.33369/jamplifier.v9i2.15378.
- [5] W. R. Hidayani and A. F. Santosa, "Wearable IoT dalam Bidang Kesehatan: Tantangan dan Peluang," *Bincang Sains dan Teknologi*, vol. 3, no. 02, 2024, doi: 10.56741/bst.v3i02.599.
- [6] Beni Mustiko Aji and Wahyu Sri Utami, "Aplikasi Monitoring Detak Jantung Menggunakan Sensor Max30102 dan Algoritma Gaussian Naive Bayes," *JURNAL PERANGKAT LUNAK*, vol. 5, no. 3, 2023, doi: 10.32520/jupel.v5i3.2803.

- [7] M. U. Jannah, A. C. Nur'aidha, and D. Y. H. Kumarajati, "SISTEM DETEKSI DETAK JANTUNG BERBASIS SENSOR MAX30102, ARDUINO UNO, DAN OLED DISPLAY UNTUK PEMANTAUAN DETAK JANTUNG SECARA REAL-TIME," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 12, no. 3, 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i3.4528.
- [8] I. M. Karo Karo and H. Hendriyana, "Klasifikasi Penderita Diabetes menggunakan Algoritma Machine Learning dan Z-Score," *Jurnal Teknologi Terpadu*, vol. 8, no. 2, pp. 94–99, 2022.
- [9] W. N. Fadillah, Y. M. Rangkuti, I. Muslim, and K. Karo, "Implementasi Partitioning Around Medoids Pada Visualisasi Penyebaran Penyakit DBD di Sumatera Utara," *Journal of Mathematics*, vol. 6, no. 2, pp. 128–137, 2023, doi: <https://doi.org/10.35580/jmathcos.v6i2.52350>.
- [10] "Implementasi Data Mining Dalam Melakukan Prediksi Penyakit Diabetes Menggunakan Metode Random Forest Dan Xgboost," *Jurnal Ilmiah Komputasi*, vol. 23, no. 1, 2024, doi: 10.32409/jikstik.23.1.3507.
- [11] Y. Purbolingga, D. Marta, A. Rahmawatia, and B. Wajhi, "Perbandingan Algoritma CatBoost dan XGBoost dalam Klasifikasi Penyakit Jantung," *Jurnal APTEK Vol. 15 No 2 (2023) 126-133*, vol. 15, no. 2, 2023.
- [12] K. A. Wardana and A. M. A. Rahim, "Analisis Perbandingan Algoritma XGBoost Dan Algoritma Random Forest Untuk Klasifikasi Data Kesehatan Mental," *Jurnal Ilmu Komputer dan Pendidikan*, vol. 2, no. 5, 2024.
- [13] S. Sausan, D. M. Pratiwi, and L. Mufidah, "Metode Decision Tree Classifier dan XGBoost Classifier Dalam Memprediksi Penyakit Jantung," *Proceedings of the National Conference on Electrical Engineering, Informatics, Industrial Technology, and Creative Media*, vol. 4, no. 1, 2025, doi: 10.20895/centive.v4i1.336.
- [14] I. M. Karo Karo, S. Dewi, and A. S. Nasution, "An optimized kernel SVM framework for game review sentiment analysis using particle swarm optimization Abstrak," *Journal of Informatic Engineering (JOUTICA)*, vol. 11, no. 1, pp. 67–78, 2026, doi: <https://doi.org/10.30736/jti.v11i1.1633>.
- [15] V. A. Lakra, S. Jena, and K. Mishra, "Optimizing XGBoost Hyperparameters for Credit Scoring Classification Using Weighted Cognitive Avoidance Particle Swarm," *IEEE Access*, vol. 13, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3585980.
- [16] R. Laksana Aryananda, Trimono, W. Syaifullah J, and W. S. Wan Awang, "Hyperparameter optimization of XGBoost using artificial bee colony for predicting medical complications in hemodialysis patients," *Jurnal Ilmiah Kursor*, vol. 13, no. 1, 2025, doi: 10.21107/kursor.v13i1.459.