

BAB I

PENDAHULUAN

Bab ini memuat latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, serta struktur organisasi skripsi yang menjelaskan alur penyajian isi setiap bab secara sistematis.

1.1 Latar Belakang Penelitian

Sistem kardiovaskular memainkan peran kritis dalam distribusi darah ke seluruh jaringan tubuh, yang dilakukan melalui kontraksi jantung yang teratur dan terkoordinasi. Proses ini dimulai dari nodus sinoatrial (SA), yang berfungsi sebagai pacemaker alami, lalu menyebar ke nodus atrioventrikular (AV), berkas His, dan akhirnya ke serabut Purkinje. Aktivitas listrik yang dihasilkan oleh sistem konduksi jantung memungkinkan terjadinya irama jantung normal, yang esensial untuk efisiensi pemompaan darah [1]. Disrupsi dalam sistem konduksi ini dapat menyebabkan aritmia, yang didefinisikan sebagai gangguan irama jantung, baik dalam bentuk takiaritmia yang ditandai dengan denyut jantung yang cepat, bradikardia dengan denyut yang lambat, atau irama yang tidak teratur [2], [3].

Aritmia merupakan kondisi yang tidak dapat dianggap sepele, karena dapat menghasilkan gejala ringan seperti palpitasi hingga komplikasi berat yang mengancam jiwa, termasuk stroke, gagal jantung, bahkan kematian mendadak. Salah satu bentuk aritmia yang paling umum adalah *Atrial Fibrillation* (AF), yang menurut data dari *World Health Organization* (WHO), telah memengaruhi jutaan individu secara global. AF menjadi faktor risiko utama stroke iskemik dan turut berkontribusi pada perkembangan gagal jantung. WHO juga mencatat bahwa penyakit kardiovaskular secara keseluruhan menjadi penyebab lebih dari 17,9 juta kematian setiap tahun, dengan aritmia sebagai salah satu penyumbang signifikan dalam kelompok penyakit jantung struktural [4].

Diperkirakan bahwa pada tahun 2050, prevalensi *atrial fibrillation* (AF) akan terus meningkat secara signifikan di berbagai belahan dunia, dengan estimasi mencapai 6 hingga 16 juta kasus di Amerika Serikat, 14 juta kasus di Eropa, dan sekitar 72 juta kasus di Asia. Di Indonesia sendiri, angka penderita AF diperkirakan

akan mencapai sekitar 3 juta orang. Selain AF, jenis aritmia lain seperti *ventricular tachycardia* juga menjadi perhatian serius karena memiliki tingkat mortalitas yang tinggi dan sering kali berujung pada komplikasi fatal. Meskipun demikian, informasi epidemiologis yang mendetail terkait prevalensi aritmia di tingkat komunitas di Indonesia masih tergolong terbatas. Namun, data dari Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas) yang dikeluarkan oleh Kementerian Kesehatan Republik Indonesia menunjukkan adanya tren peningkatan kasus penyakit jantung secara umum. Lebih lanjut, laporan dari institusi pelayanan tersier seperti Pusat Jantung Nasional Harapan Kita mengonfirmasi bahwa aritmia merupakan salah satu penyebab utama kunjungan rawat jalan dan tindakan intervensi elektrofisiologi. Fakta ini menegaskan urgensi untuk mengembangkan sistem pemantauan jantung yang bersifat portabel, praktis, dan dapat digunakan di luar lingkungan rumah sakit. Sistem semacam ini diharapkan mampu meningkatkan deteksi dini dan manajemen aritmia secara lebih luas di populasi umum, terutama di negara berkembang dengan keterbatasan akses layanan kardiologi [5].

Electrocardiography (ECG) telah lama menjadi metode utama dalam diagnosis aritmia, karena kemampuannya dalam merekam aktivitas listrik jantung secara *real-time* dan memberikan gambaran langsung tentang kondisi ritme jantung. Meski demikian, ECG konvensional memiliki keterbatasan dari sisi fleksibilitas penggunaan karena memerlukan pemasangan elektroda langsung pada tubuh pasien dan pengoperasian oleh tenaga medis yang terlatih. Hal ini menjadikan ECG kurang ideal untuk pemantauan berkelanjutan di luar lingkungan klinis.

Dalam beberapa tahun terakhir, kemajuan teknologi *wearable* dan *Internet of Things* (IoT) telah membuka peluang baru dalam pemantauan ritme jantung. Salah satu alternatif yang berkembang pesat adalah penggunaan *Photoplethysmography* (PPG), yaitu metode non-invasif yang mendeteksi perubahan volume darah melalui sensor optik. Teknologi ini telah banyak diadopsi dalam perangkat *wearable* seperti jam tangan pintar, menjadikannya solusi yang praktis dan nyaman untuk pemantauan ritme jantung secara mandiri dan berkelanjutan.

Muhammad Wildan Alfarizy, 2025

DETEKSI ARITMIA JANTUNG BERBASIS INTEGRASI SINYAL ECG DAN PPG DENGAN PENDEKATAN MACHINE LEARNING DAN DEEP LEARNING DALAM SISTEM IOT

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

Sejumlah penelitian telah mengeksplorasi integrasi antara sinyal ECG dan PPG guna meningkatkan akurasi deteksi aritmia. Studi oleh Sekar dan Kumar menunjukkan bahwa pendekatan klasifikasi multimodal yang memadukan fitur dari kedua sinyal mampu memberikan kinerja deteksi yang lebih baik dibandingkan penggunaan sinyal tunggal [6]. Demikian pula, penelitian oleh Aldughayfiq et al. menemukan bahwa kombinasi fitur seperti *Beats Per Minute* (BPM), rata-rata interval RR, dan median interval RR dari sinyal ECG dan PPG dapat digunakan secara efektif untuk mendeteksi *Atrial Fibrillation* dengan tingkat akurasi yang tinggi [7].

Dalam aspek algoritmik, berbagai pendekatan *machine learning* telah diadopsi untuk mendukung proses klasifikasi sinyal jantung. Model-model seperti *Convolutional Neural Network* (CNN), *Support Vector Machine* (SVM), serta *Light Gradient Boosting Machine* (LightGBM) terbukti memiliki performa yang menjanjikan dalam pengolahan biosinyal. Salah satu studi terkini oleh Wu et al. memperkenalkan model *hybrid* bernama Res-BiANet, yang menggabungkan arsitektur CNN dan Bi-LSTM, dan mampu mencapai akurasi mendekati 98% dalam mendeteksi aritmia berbasis sinyal PPG [8].

SVM, sebagai salah satu algoritma klasifikasi terpopuler, telah terbukti memberikan performa unggul pada berbagai tugas analisis sinyal jantung. Implementasinya pada basis data aritmia MIT-BIH standar mampu mencapai tingkat deteksi 99,87%, yang menunjukkan reliabilitasnya dalam mengidentifikasi kelainan irama jantung[9]. Pada kasus klasifikasi aritmia, SVM dengan *kernel* linear menghasilkan akurasi keseluruhan sebesar 98,03% dengan nilai *Matthew's Correlation Coefficient* (MCC) mencapai 91,84% pada dataset MIT-BIH *arrhythmia* [10]. Di sisi lain, LightGBM menonjol dalam pengolahan sinyal *electrocardiography* (ECG) berkat keseimbangan antara akurasi dan efisiensi komputasi, sehingga sangat cocok untuk aplikasi *real-time*. Dengan memanfaatkan metode *feature selection* berbasis *wrapper*, LightGBM berhasil mencapai akurasi 91,04% dalam tugas klasifikasi sinyal ECG[11]. Keunggulan LightGBM terletak

Muhammad Wildan Alfarizy, 2025

DETEKSI ARITMIA JANTUNG BERBASIS INTEGRASI SINYAL ECG DAN PPG DENGAN PENDEKATAN MACHINE LEARNING DAN DEEP LEARNING DALAM SISTEM IOT

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

pada arsitektur *gradient boosting* yang dioptimalkan, yang mampu mengurangi waktu pelatihan tanpa mengorbankan kualitas prediksi. Riset terkini menunjukkan bahwa LightGBM dapat dimanfaatkan secara efektif untuk deteksi dini penyakit kardiovaskular menggunakan data monitoring ECG dan bioimpedansi dari perangkat *wearable* [12]. Bahkan, dalam studi stratifikasi tekanan darah berbasis sinyal PPG, algoritma ini berhasil meraih nilai *F1 score* hingga 97,51%, membuktikan kelayakannya untuk digunakan pada sistem pemantauan kesehatan berbasis teknologi portabel [13].

Namun, sebagian besar dari studi-studi tersebut masih terbatas pada lingkungan laboratorium atau rumah sakit, serta sering kali bergantung pada perangkat mahal yang tidak dirancang untuk penggunaan di lapangan. Hal ini menciptakan kebutuhan akan solusi berbasis sistem tertanam (*embedded system*) yang tidak hanya mampu melakukan deteksi aritmia secara *real-time*, tetapi juga memiliki portabilitas tinggi dan efisiensi dalam konsumsi daya serta komputasi.

Merespons kebutuhan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem deteksi aritmia berbasis mikrokontroler ESP32 yang memanfaatkan kombinasi sinyal ECG dan PPG. Sistem ini akan mengolah data secara *real-time* dengan menggunakan fitur utama seperti *Beats Per Minute* (BPM), Mean RR Interval, dan Median RR Interval sebagai input untuk proses klasifikasi. Tiga algoritma pembelajaran mesin, yaitu CNN, SVM, dan LightGBM, akan dibandingkan untuk menentukan metode paling efektif dalam konteks sistem pemantauan kesehatan jantung berbasis IoT. Diharapkan, solusi yang dikembangkan dapat berfungsi sebagai alat *monitoring* aritmia yang terjangkau, praktis, dan mendukung deteksi dini gangguan jantung di luar lingkungan rumah sakit.

1.2 Rumusan Masalah Penelitian

Rumusan masalah dari penelitian berdasarkan latar belakang yang disusun adalah:

1. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan sistem *monitoring* aritmia jantung berbasis *Internet of Things* yang mampu mengakuisisi sinyal ECG dan PPG secara *real-time*?
2. Bagaimana cara memproses dan menggabungkan sinyal ECG dan PPG untuk mendeteksi aritmia secara efektif menggunakan algoritma *machine learning* dan *deep learning*?
3. Bagaimana kinerja model CNN, SVM, dan LightGBM dalam klasifikasi kondisi jantung normal dan aritmia berdasarkan akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang merupakan jawaban dari rumusan masalah adalah:

1. Merancang dan mengimplementasikan sistem *monitoring* aritmia jantung berbasis *Internet of Things* yang mampu mengakuisisi sinyal ECG dan PPG secara *real-time*.
2. Mengembangkan metode pemrosesan dan integrasi sinyal ECG dan PPG untuk deteksi aritmia secara efektif dengan memanfaatkan algoritma *machine learning* dan *deep learning*.
3. Menganalisis dan membandingkan kinerja model CNN, SVM, dan LightGBM dalam mengklasifikasikan kondisi jantung normal dan aritmia berdasarkan metrik evaluasi seperti akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas

1.4 Batasan Masalah Penelitian

Batasan dari masalah ditentukan agar penelitian dapat berfokus mencapai tujuan. Batasan masalah tersebut adalah:

1. Penelitian ini tidak mencakup pengembangan *hardware* baru, perangkat sensor yang digunakan adalah perangkat standar yang sudah tersedia di pasaran.
2. Sistem hanya mendeteksi dua kelas kondisi jantung, yaitu Normal dan Aritmia.

3. Penelitian ini menggunakan dua jenis data, yaitu data dari dataset publik dan data *real-time* yang diperoleh dari sistem prototipe. Akuisisi data *real-time* dilakukan secara terbatas pada beberapa subjek sehat untuk uji fungsionalitas sistem, bukan untuk validasi klinis berskala besar.
4. Penelitian dilakukan berdasarkan tingkat akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas.
5. Algoritma yang diuji meliputi CNN, SVM, dan *LighGBM*.
6. Menggunakan bahasa pemrograman Python dan C/C++.
7. Monitoring sinyal ECG dan PPG dilakukan secara *real-time* melalui tampilan pada web dashboard, namun klasifikasi aritmia tidak dilakukan secara *real-time*. Model klasifikasi dijalankan secara offline menggunakan data hasil akuisisi
8. Data diambil dari dataset publik atau simulasi, belum diuji dengan pasien nyata dalam skala klinis.

1.5 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan yang telah dirumuskan, penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1.5.1 Manfaat Teoritis

Secara teoretis, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang mekatronika, kecerdasan buatan, dan teknologi kesehatan digital. Manfaat teoretis dari penelitian ini adalah

1. Menjadi referensi ilmiah bagi penelitian selanjutnya yang berfokus pada pengembangan sistem pemantauan kesehatan berbasis *Internet of Things* (IoT) dan kecerdasan buatan.
2. Menyumbangkan gambaran teknis dan metodologis mengenai perancangan sistem deteksi aritmia *real-time* yang terjangkau, portabel, dan efisien

3. Berkontribusi pada khazanah pengembangan teknologi kesehatan digital yang adaptif terhadap kebutuhan masyarakat, terutama dalam pemanfaatan integrasi sinyal fisiologis untuk diagnosis dini

1.5.2 Manfaat Praktis

Secara praktis, penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat langsung bagi beberapa pihak, antara lain:

1.5.2.1 Bagi Penulis

1. Memberikan wawasan dan pengalaman mendalam mengenai proses perancangan serta pengembangan sistem pemantauan kesehatan jantung yang mengintegrasikan *Internet of Things*, *machine learning* dan *Deep Learning*.
2. Meningkatkan keterampilan praktis dalam hal integrasi perangkat keras seperti sensor ECG dan PPG , pemrograman mikrokontroler ESP32 , pengolahan data sinyal biologis , dan pengembangan antarmuka *dashboard* berbasis web

1.5.2.2 Bagi masyarakat dan dunia kesehatan

1. Sebuah prototipe sistem yang berpotensi menjadi solusi efektif untuk skrining dini aritmia, khususnya bagi masyarakat yang memiliki akses terbatas terhadap fasilitas dan layanan medis.
2. Mendukung upaya deteksi dini gangguan jantung di luar lingkungan rumah sakit melalui perangkat *monitoring* yang praktis dan terjangkau

1.6 Sistematika Penulisan

Struktur organisasi skripsi ditulis dengan tujuan agar keseluruhan skripsi yang telah disusun dapat dipahami. Skripsi dapat dibagi menjadi tiga bagian seperti di bawah ini:

1. Bagian Awal

Berisikan halaman judul, lembar hak cipta, lembar pengesahan, surat pernyataan bebas plagiarisme, kata pengantar, abstrak berbahasa indonesia dan bahasa inggris, serta daftar-daftar.

2. Bagian Isi

Bagian isi kembali dibagi menjadi lima bab yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Berisikan latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat dari penelitian serta sistematika penulisan.

BAB II KAJIAN PUSTAKA

Berisikan landasan penelitian, dan penelitian terdahulu yang relevan.

BAB III METODE PENELITIAN

Berisikan desain dari penelitian, dan perancangan sistem.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi pembahasan dari temuan serta analisis dari penelitian yang telah dilakukan.

BAB V KESIMPILAN DAN SARAN

Berisikan kesimpulan dan saran.

3. Bagian Akhir

Berisikan halaman daftar pustaka, riwayat hidup penulis, dan lampiran – lampiran.