

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan proses penelitian, mulai dari perancangan, implementasi, hingga evaluasi sistem deteksi aritmia jantung, dapat ditarik tiga kesimpulan utama yang secara langsung:

1. Sistem monitoring aritmia jantung berbasis *Internet of Things* (IoT) telah berhasil dirancang dan diimplementasikan. Sistem ini mampu mengakuisisi sinyal ECG dan PPG secara *real-time* menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor AD8232 dan MAX30102. Data biosinyal berhasil dikirimkan ke *Firebase Realtime Database* dan divisualisasikan melalui sebuah *dashboard web* interaktif, yang memungkinkan pemantauan jarak jauh secara efektif.
2. Metode pemrosesan dan integrasi sinyal ECG dan PPG telah berhasil dikembangkan untuk deteksi aritmia. Proses ini melibatkan beberapa tahapan, yaitu pra-pemrosesan (termasuk *filtering* dan normalisasi), segmentasi sinyal, dan ekstraksi fitur-fitur kunci seperti interval RR dan BPM dari kedua sinyal. Penggabungan fitur dari kedua sinyal terbukti efektif meningkatkan performa deteksi, dengan algoritma LightGBM mampu memanfaatkan informasi multimodal ini secara optimal untuk klasifikasi.
3. Kinerja model CNN, SVM, dan LightGBM menunjukkan hasil yang bervariasi, di mana LightGBM menunjukkan performa terbaik secara keseluruhan. Pada pengujian data *real-time* dengan fitur gabungan dari ECG dan PPG, model LightGBM mencapai performa tertinggi dengan akurasi 95,35%, sensitivitas 96,43%, dan spesifisitas 93,33%. Meskipun CNN unggul pada data ECG murni, LightGBM terbukti paling robust, seimbang, dan efisien dalam berbagai skenario pengujian, termasuk pada data gabungan dan data *real-time*, menjadikannya model paling andal untuk sistem yang dikembangkan.

5.2 Saran

Berdasarkan temuan dan batasan dalam penelitian ini, berikut adalah beberapa saran yang dapat menjadi acuan untuk pengembangan sistem di masa mendatang:

1. Validasi Klinis dan Perluasan Dataset. Sebaiknya dilakukan pengujian sistem pada skala yang lebih luas dengan melibatkan populasi subjek yang lebih beragam dan heterogen, termasuk pasien dengan riwayat penyakit jantung yang terverifikasi secara klinis. Bekerja sama dengan institusi medis akan meningkatkan validitas dan keandalan sistem sebelum diterapkan secara massal.
2. Pengembangan Model *Hybrid* dan Klasifikasi Multi-Kelas. Untuk meningkatkan akurasi, penelitian selanjutnya dapat mengeksplorasi arsitektur model *hybrid*, seperti menggabungkan CNN dengan *Long Short-Term Memory* (LSTM) untuk menangkap pola temporal sinyal dengan lebih baik. Selain itu, kemampuan sistem dapat ditingkatkan dari klasifikasi biner (Normal vs. Aritmia) menjadi klasifikasi multi-kelas untuk mendeteksi jenis-jenis aritmia yang lebih spesifik (misalnya, *Atrial Fibrillation*, *Tachycardia*, *Bradycardia*).
3. Implementasi pada Perangkat *Edge* (Edge AI). Saat ini, proses klasifikasi dijalankan pada *backend server*. Untuk mengurangi latensi dan ketergantungan pada koneksi internet, model klasifikasi (khususnya LightGBM yang efisien) dapat dioptimalkan dan diimplementasikan langsung pada mikrokontroler (*on-device*). Hal ini akan menciptakan sistem deteksi yang lebih cepat, mandiri, dan responsif.
4. Optimalisasi Antarmuka dan Pengalaman Pengguna (UI/UX). *Dashboard* web dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan fitur-fitur seperti analisis tren jangka panjang, laporan medis yang dapat diunduh, serta sistem notifikasi yang lebih personal dan terintegrasi dengan aplikasi seluler. Peningkatan ini akan membuat sistem lebih ramah pengguna dan bermanfaat bagi pasien maupun tenaga medis.