

BAB V

SIMPULAN SARAN

5.1 Simpulan

Penelitian ini berhasil mengembangkan pendekatan *hybrid* multimodal untuk klasifikasi aritmia dengan menggabungkan sinyal ECG dan laporan medis berbahasa Jerman. Proses penelitian menggunakan Data ECG PTB-XL dari PhysioNet, Dengan menerapkan CNN-LSTM Sequential, RoBERTa, dan Pendekatan *hybrid* multimodal CNN-LSTM Dan, RoBERTa. Berdasarkan hasil penelitian, model *CNN-LSTM sequential* berhasil mengintegrasikan kemampuan konvolusi spasial dan memori jangka panjang untuk mendeteksi pola temporal pada sinyal ECG secara efektif. Model ini mencapai akurasi keseluruhan sebesar 89%, dengan nilai AUC ROC 0,910 dan *Average Precision* (AP) 0,921. Dari sisi efisiensi, rata-rata waktu pelatihan per epoch menurun dari 14,0 detik menjadi 12,8 detik pada akhir proses, dengan total waktu pelatihan 643,40 detik (sekitar 10,72 menit) dan waktu prediksi per sampel 0,54 detik. Hasil ini menunjukkan bahwa CNN-LSTM mampu mendeteksi aritmia namun masih kurang cukup optimal.

Model *RoBERTa* menunjukkan kemampuan unggul dalam memahami konteks semantik dari laporan medis melalui representasi teks yang kaya. Model ini mencapai akurasi sebesar 93%, dengan nilai *AUC ROC* 0,979 dan *Average Precision (AP)* 0,980, serta waktu pemrosesan rata-rata 1,827 detik per batch, waktu maksimum 1,996 detik, dan minimum 0,981 detik. Kinerja ini membuktikan bahwa *RoBERTa* mampu mengekstraksi informasi klinis yang kompleks dan relevan secara efisien, serta mengenali pola linguistik halus yang berkaitan dengan indikasi aritmia dalam laporan medis pasien. Meskipun performanya cukup optimal, model ini masih bergantung sepenuhnya pada informasi tekstual, sehingga diperlukan pendekatan yang dapat mengombinasikan pemahaman konteks klinis dengan karakteristik temporal dari sinyal fisiologis untuk memperoleh hasil deteksi yang lebih menyeluruh dan akurat. Pendekatan *hybrid multimodal* yang menggabungkan

fitur temporal *ECG* dan embedding teks laporan medis berhasil memaksimalkan potensi kedua modalitas.

Model *hybrid CNN-LSTM sequential* dan *RoBERTa* menunjukkan hasil terbaik dengan akurasi sebesar 94%, distribusi presisi dan *recall* yang seimbang antar kelas, serta waktu pemrosesan 0,96 detik per batch yang jauh lebih cepat dibandingkan model berbasis teks tunggal. Integrasi kedua modalitas ini berhasil meningkatkan stabilitas dan kemampuan generalisasi model, dengan tingkat kesalahan klasifikasi yang sangat rendah. Dengan performa yang optimal dan efisiensi tinggi, model ini dinilai layak untuk *deployment* dalam penelitian sebagai sistem deteksi aritmia otomatis. Meskipun demikian, kinerja model masih berpotensi ditingkatkan, khususnya dalam menangani variasi temporal yang lebih kompleks serta memperdalam keterkaitan antar fitur *multimodal*. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya akan diarahkan pada peningkatan ketepatan segmentasi sinyal dan penguatan strategi penggabungan fitur guna menghasilkan model yang lebih adaptif, presisi, dan kontekstual dalam mendeteksi aritmia pada berbagai kondisi klinis.

5.2 Saran

Permasalahan dalam penelitian ini terletak pada keterbatasan dataset yang digunakan. Dataset yang relatif kecil, khususnya pada laporan medis multibahasa, serta sinyal ECG dengan variasi durasi dan pola yang terbatas, membatasi kemampuan model dalam menangkap keragaman pola aritmia yang kompleks dan mengurangi potensi generalisasi terhadap populasi pasien yang lebih luas. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya akan difokuskan pada perluasan dan diversifikasi dataset dengan menambahkan catatan medis multibahasa dan sinyal ECG dari berbagai populasi, kondisi klinis, serta tingkat keparahan penyakit. Langkah ini diharapkan dapat meningkatkan robustnes model dan membuat sistem lebih representatif terhadap variasi nyata di lingkungan klinis.

Permasalahan terkait dengan keterbatasan model dalam analisis temporal dan proses fusi fitur antar-modalitas. Walaupun arsitektur LSTM mampu menangkap dinamika temporal sinyal ECG, model masih kesulitan menganalisis urutan sinyal yang panjang dan kompleks secara mendetail. Selain itu, proses penggabungan

antara sinyal ECG dan *embedding* teks belum sepenuhnya optimal, sehingga sensitivitas terhadap segmen penting dari kedua modalitas masih terbatas. Berdasarkan hal tersebut, penelitian lanjutan akan diarahkan pada penerapan pendekatan *Sliding Window* yang dapat meningkatkan resolusi temporal sinyal serta memperkuat mekanisme *Attention Feature Fusion*, sehingga model mampu berfokus pada informasi paling relevan dari sinyal dan teks secara Optimal untuk menghasilkan deteksi aritmia yang lebih presisi.

Permasalahan terkait implementasi *deployment* dalam penelitian ini masih terbatas pada klasifikasi jenis aritmia. Model belum memberikan dukungan keputusan klinis yang lebih komprehensif bagi tenaga medis. Untuk itu, penelitian di masa mendatang akan diarahkan pada pengembangan model *menjadi Clinical Decision Support System (CDSS)* yang mampu memberikan rekomendasi diagnostik, menentukan tingkat urgensi pemeriksaan, serta menawarkan saran klinis yang dapat membantu dokter dalam mengambil keputusan secara cepat, tepat, dan berbasis data. Dengan demikian, hasil penelitian tidak hanya berfungsi sebagai alat deteksi aritmia otomatis, tetapi juga sebagai sistem cerdas yang mendukung pelayanan medis yang lebih responsif dan efektif.

