

BAB V

SIMPULAN SARAN

5.1 Simpulan

Model *ResNet BiLSTM Attention* pada sinyal elektrokardiogram menunjukkan kemampuan klasifikasi aritmia yang baik dengan performa konsisten pada semua kelas. Model mencapai *F1-Score* tertinggi pada kelas *NORM* sebesar 86,00% dan menunjukkan peningkatan signifikan dibandingkan penelitian terdahulu, khususnya pada kelas minoritas seperti *MI* dan *STTC*. Nilai micro, macro, dan weighted average masing-masing mencapai 79,00%, 78,00%, dan 79,00%, menandakan kemampuan model dalam menangani ketidakseimbangan data serta memberikan prediksi yang stabil. Hasil ini memperlihatkan bahwa pendekatan berbasis deep learning dengan arsitektur *ResNet* dan *BiLSTM*, ditambah mekanisme attention, mampu mengekstraksi fitur temporal dan spasial dari sinyal ECG secara efektif.

Metode *RoBERTa* yang diterapkan pada laporan medis juga menampilkan kinerja tinggi dalam klasifikasi aritmia, dengan *F1-Score* 87,36% pada kelas *NORM* dan performa yang seimbang pada kelas *MI*, *STTC*, dan *CD*. *Micro average*, *macro average*, dan weighted average model ini berada di kisaran 81%, menunjukkan stabilitas dan kemampuan *RoBERTa* dalam menangkap konteks dan pola penting dari teks medis sehingga dinilai mampu meningkatkan akurasi terutama pada kelas *MI*, yang menegaskan keunggulan pendekatan berbasis natural language processing dalam mengekstraksi informasi klinis untuk mendukung diagnosis aritmia.

Integrasi *multimodal* melalui model *hybrid* yang menggabungkan *ResNet BiLSTM Attention* dengan *RoBERTa* menghasilkan performa terbaik di seluruh kelas, dengan *F1-Score* mencapai 90,14% pada *NORM* dan peningkatan signifikan pada *MI*, *STTC*, dan *CD* dibandingkan model tunggal. Rata-rata micro, macro, dan weighted average masing-masing sebesar 82,57%, 81,07%, dan 82,62%, menegaskan efektivitas pendekatan multimodal dalam memanfaatkan sinyal ECG

dan laporan medis secara bersamaan. Selain meningkatkan akurasi, pendekatan ini juga dinilai mampu mengurangi risiko *overfitting* karena model mempelajari representasi data dari dua modalitas yang saling melengkapi fitur temporal dari sinyal ECG dan konteks klinis dari teks sehingga prediksi menjadi lebih general dan robust. Hasil ini menunjukkan bahwa penggabungan informasi multimodal dapat menghasilkan klasifikasi aritmia yang lebih akurat dan andal, memberikan solusi komprehensif untuk mendukung diagnosis medis berbasis data. Berdasarkan hasil penelitian, terdapat beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Dataset laporan medis yang digunakan masih terbatas dari segi jumlah, keragaman, dan konsistensi terminologi sehingga ruang pemahaman *RoBERTa* terhadap variasi konteks klinis menjadi kurang optimal. Selain itu, perbedaan gaya penulisan dan bahasa medis antar fasilitas kesehatan serta negara dapat membatasi kemampuan generalisasi model. Untuk meningkatkan kinerja dan aplikabilitas sistem, penelitian selanjutnya perlu menggunakan dataset yang lebih besar, lebih beragam, serta mencakup berbagai bahasa dan domain klinis agar model mampu beradaptasi dengan keragaman linguistik dan praktik medis yang berbeda.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan evaluasi model, terdapat beberapa keterbatasan dalam penelitian yang dapat diperbaiki untuk meningkatkan kinerja dan aplikabilitas sistem klasifikasi aritmia ini. yaitu, keterbatasan dataset, khususnya pada laporan medis, menjadi tantangan utama. Ukuran dan keragaman dataset masih terbatas, sementara bahasa medis yang digunakan cenderung formal dan terminologi klinisnya tidak seragam antar rumah sakit maupun negara. Hal ini dapat membatasi kemampuan model *RoBERTa* dalam memahami konteks semantik yang lebih luas. Penelitian selanjutnya disarankan untuk melibatkan dataset yang lebih besar dan beragam, mencakup berbagai bahasa serta domain klinis, sehingga model mampu beradaptasi terhadap variasi linguistik dan budaya medis yang berbeda.

Variasi durasi dan kualitas sinyal ECG juga menjadi kendala yang memengaruhi stabilitas ekstraksi fitur spasial-temporal oleh model *ResNet*

BiLSTM Attention. Noise, gangguan baseline, atau perbedaan frekuensi sampling masih dapat menurunkan kinerja model meskipun telah dilakukan normalisasi dan filtering. Untuk itu, penelitian berikutnya sebaiknya mengembangkan mekanisme signal normalization adaptif dan mengintegrasikan teknik denoising, seperti autoencoder, agar model lebih tangguh terhadap variasi sinyal di dunia nyata serta mampu menjaga akurasi pada dataset yang lebih heterogen.

Kompleksitas arsitektur multimodal dan keterbatasan interpretabilitas klinis perlu menjadi perhatian. Model hybrid yang menggabungkan ResNet BiLSTM Attention dengan RoBERTa membutuhkan sumber daya komputasi yang signifikan, sehingga penerapan di fasilitas kesehatan dengan infrastruktur terbatas bisa menjadi kendala. Selain itu, interpretasi klinis pada kasus aritmia yang kompleks masih memerlukan validasi tambahan oleh tenaga medis. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengeksplorasi versi lightweight dari model, seperti DistilRoBERTa atau MobileNet-based CNN, serta mengembangkan modul explainability berbasis SHAP atau LIME. Pendekatan ini akan memungkinkan visualisasi kontribusi fitur ECG dan teks pada setiap prediksi, sehingga hasil model lebih transparan, dapat dipercaya, dan praktis diterapkan dalam klinik.

