

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Deteksi dini aritmia, yakni gangguan pada ritme atau irama jantung, merupakan langkah krusial dalam upaya pencegahan komplikasi kardiovaskular yang berpotensi mengancam jiwa, seperti serangan jantung dan stroke. Aritmia dapat mengganggu fungsi pompa jantung secara signifikan sehingga menyebabkan gangguan hemodinamik dan peningkatan risiko kejadian fatal pada sistem kardiovaskular [1][2]. Dalam praktik klinis saat ini, analisis sinyal elektrokardiogram (EKG) masih banyak bergantung pada interpretasi manual oleh tenaga medis profesional. Meskipun ahli medis memiliki kompetensi dalam menganalisis EKG, proses ini tidak hanya memakan waktu, tetapi juga rentan terhadap variabilitas subjektif dan potensi kesalahan manusia, terutama dalam situasi volume data yang tinggi [3].

Seiring berkembangnya teknologi, khususnya dalam bidang kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence/AI*) dan pembelajaran mendalam (*deep learning*), muncul peluang besar untuk merevolusi pendekatan konvensional dalam mendeteksi aritmia [4]. Algoritma *deep learning* memiliki kemampuan untuk mengenali pola kompleks dalam sinyal EKG secara otomatis, bahkan pada kondisi yang sulit dikenali oleh mata manusia [5]. Hal ini membuka jalan bagi sistem yang mampu memberikan diagnosis awal secara cepat, akurat, dan konsisten. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan untuk mengembangkan sistem deteksi dini aritmia berbasis algoritma *deep learning* yang dilatih menggunakan data EKG dari dunia nyata (*real-world data*), guna meningkatkan efisiensi dan efektivitas diagnosis aritmia pada tahap awal.

Teknologi yang telah tersedia secara komersial di pasar saat ini mencakup berbagai alat dan sistem pemantauan jantung berbasis AI, seperti perangkat *wearable* yang dapat dipakai pengguna sehari-hari, mesin EKG digital, serta *Holter monitor* yang memungkinkan pemantauan ritme jantung dalam jangka waktu panjang [6][7]. Perangkat ini telah mengalami adopsi luas dalam berbagai konteks klinis maupun personal, didukung oleh peningkatan performa perangkat keras,

miniaturisasi sensor, dan kemudahan integrasi dengan aplikasi digital. Namun demikian, di tengah kemajuan teknologi tersebut, inovasi terkini dalam bidang pemantauan jantung masih terus bermunculan dan belum banyak tersedia secara komersial. Beberapa di antaranya meliputi pemantauan jantung *non-invasif* berbasis nanoteknologi, *wearable* berbasis fotonik yang mampu mendeteksi perubahan optik mikroskopis pada jaringan, sistem pembelajaran berkelanjutan berbasis AI untuk deteksi personal aritmia, serta pemanfaatan jaringan saraf tiruan (*neural network*) untuk pemantauan elektrofisiologi jantung, terutama dalam kasus penggunaan perangkat implan. Inovasi lainnya mencakup pendekatan berbasis biomarker molekuler untuk identifikasi aritmia sejak dini, sistem portabel berbasis *ultrasound* untuk pemantauan aktivitas jantung secara dinamis, dan solusi multimodal berbasis AI yang menggabungkan data dari berbagai sensor untuk menghasilkan diagnosis yang lebih holistik. Berbagai teknologi tersebut saat ini sedang dikembangkan secara aktif oleh komunitas ilmiah dan industri, dan telah menjadi subjek utama dalam penelitian interdisipliner yang menggabungkan bidang kardiologi, kecerdasan buatan, teknologi *wearable*, serta nanoteknologi.

Meskipun banyak dari teknologi tersebut menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan deteksi dan penanganan aritmia, sebagian besar masih berada pada tahap uji coba laboratorium, validasi klinis, atau pengembangan prototipe [8]. Dalam konteks ini, perbedaan yang jelas dapat diamati antara teknologi yang telah digunakan secara luas di pasar dan teknologi yang masih dalam tahap eksplorasi. Teknologi yang telah dipasarkan umumnya telah melalui proses sertifikasi, pengujian klinis, dan memenuhi standar keselamatan serta efektivitas medis. Selain itu, teknologi tersebut telah mendapatkan penerimaan dari masyarakat luas, serta didukung oleh kesiapan infrastruktur distribusi dan dukungan teknis [9]. Sebaliknya, teknologi yang belum tersedia di pasar masih menghadapi berbagai hambatan, antara lain belum tercapainya validasi klinis yang memadai, tantangan dalam produksi massal, serta hambatan regulasi dan perizinan dari otoritas kesehatan seperti FDA dan EMA [10]. Oleh karena itu, penting untuk mendorong penelitian dan kolaborasi lintas sektor guna mempercepat pengembangan dan adopsi teknologi deteksi aritmia berbasis AI yang aman, efektif, dan dapat diakses secara luas oleh masyarakat.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dipaparkan di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

- Sejauh mana algoritma deep learning dapat meningkatkan akurasi deteksi dini aritmia dibandingkan dengan metode konvensional?
- Apa saja fitur sinyal EKG yang paling relevan dan berpengaruh dalam proses klasifikasi aritmia oleh model deep learning?
- Bagaimana performa sistem yang dikembangkan dalam mengklasifikasikan tingkat risiko aritmia berdasarkan data EKG?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

- Menganalisis efektivitas algoritma deep learning dalam meningkatkan akurasi deteksi dini aritmia dibandingkan dengan metode konvensional.
- Mengidentifikasi fitur-fitur sinyal EKG yang paling relevan dan berpengaruh dalam proses klasifikasi aritmia menggunakan model deep learning.
- Mengembangkan dan mengevaluasi performa sistem klasifikasi tingkat risiko aritmia berbasis sinyal EKG dengan memanfaatkan model deep learning.

1.4 Batasan Penelitian

Adapun batasan penelitian ini adalah:

- Data EKG yang digunakan dibatasi pada data yang tersedia dari dataset terbuka (open dataset) atau hasil rekaman dengan durasi dan format tertentu.
- Jenis aritmia yang diklasifikasikan dibatasi pada beberapa kategori umum, seperti *normal*, *abnormal*, *high risk potential*, *potential for arrhythmia*, dan *very high risk potential*, sesuai dengan ketersediaan data.
- Perbandingan metode konvensional dilakukan dengan menggunakan pendekatan machine learning dasar seperti SVM (*Support Vector Machine*) atau *decision tree*, bukan seluruh metode konvensional secara luas.

- Evaluasi performa sistem dibatasi pada metrik seperti akurasi, sensitivitas, spesifisitas, dan *F1-score*, tanpa mencakup evaluasi klinis secara langsung di rumah sakit atau praktik medis.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

- Memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan teknologi deteksi aritmia berbasis deep learning, khususnya dalam pemrosesan sinyal EKG.
- Meningkatkan efisiensi diagnosis awal dengan memanfaatkan teknologi otomatisasi klasifikasi sinyal EKG.
- Memberikan gambaran teknis tentang performa model AI dalam klasifikasi risiko penyakit jantung, yang dapat digunakan dalam pengembangan alat medis berbasis AI.