

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Cardiovascular Disease (CVD) atau penyakit kardiovaskular merupakan penyebab kematian utama secara global[1]. Dari 17 juta kematian dini (di bawah usia 70) akibat penyakit tidak menular, 38% disebabkan oleh CVD. Angka kematian tersebut diperkirakan meningkat menjadi 24,2 juta pada tahun 2030. Salah satu bentuk CVD yang paling umum dan berbahaya adalah Penyakit Jantung Koroner (PJK) atau *Coronary Artery Disease* (CAD). Secara global, pada tahun 2022, jumlah kasus CAD mencapai 315 juta[2]. Sedangkan di Indonesia sendiri prevalensi CAD mencapai 1,9% kejadian tersebut menyerang semua kelompok umur. Hasil statistik tersebut menunjukkan bahwa penyakit ini menjadi beban kesehatan yang sangat serius. Deteksi dini CAD sangat penting untuk pencegahan dan pengobatan yang efektif[3].

CAD terjadi karena adanya masalah di pembuluh darah koroner yang menyebabkan penyempitan serta penyumbatan yang bisa mengganggu tahapan transportasi energi tubuh, juga dapat menjadikan ketidakseimbangan diantara kebutuhan oksigen serta suplai oksigen[4]. Untuk mendeteksi kondisi ini, salah satu modalitas diagnostik yang umum digunakan adalah Elektrokardiogram (EKG), yang merekam aktivitas listrik jantung secara *non-invasif*. Setiap gelombang terdiri dari gelombang P, kompleks QRS, dan gelombang T, yang mewakili depolarisasi dan repolarisasi otot jantung. Salah satu informasi penting yang dapat diperoleh dari sinyal EKG adalah interval R–R, yaitu jarak waktu antar puncak gelombang R pada kompleks QRS. Ketika interval R–R diolah secara matematis dan statistik, akan dihasilkan parameter yang dikenal sebagai *Heart Rate Variability* (HRV). Menganalisis gelombang-gelombang ini dapat membantu mengidentifikasi berbagai jenis penyakit jantung berdasarkan ukuran, bentuk, dan rentang frekuensinya. Namun, metode analisis HRV konvensional berbasis pendekatan linier sering kali tidak mampu menangkap dinamika kompleks jantung yang bersifat *non-linier*. Menginterpretasikan detail-detail kecil dalam gelombang-

gelombang ini secara manual menyulitkan dan dapat menghambat diagnosis yang akurat.

Sistem kardiovaskular dicirikan oleh berbagai bentuk perilaku, salah satunya *deterministic chaos* dan keacakan[5], karena memiliki ketergantungan *non*-linier pada variabel seperti potensial transmembran atau gradien konsentrasi ion melintasi dalam membran sel[6]. Hal ini dapat dikaitkan dengan fakta bahwa sinyal biomedis seperti EKG dapat dihasilkan oleh sistem dinamik *non*-linier. Metode analisis sinyal *nonlinier* yang banyak dieksplorasi salah satunya adalah analisis rekonstruksi ruang fase[7]. Metode ini memungkinkan visualisasi dan karakterisasi struktur pola *non*-linier dari sinyal HRV, yang mencerminkan kondisi sistem kardiovaskular. Pendekatan ini berpotensi mendeteksi perubahan halus pada mekanisme kontrol kardiovaskular yang terjadi pada tahap awal CAD. Dengan rekonstruksi ruang fase, sinyal 1D diubah menjadi representasi 2D yang menggambarkan pola lintasan perilaku sistem jantung dari waktu ke waktu. Ini memungkinkan kita untuk melihat pola *non*-linier (*chaotic*, periodik, *limit cycle*, dll) yang tidak bisa ditangkap oleh analisis *time series* konvensional.

Dengan demikian, pendekatan *attractors non*-linier berbasis rekonstruksi ruang fase dan *Convolutional Neural Network* (CNN) yang diusulkan dalam penelitian ini dapat menjadi langkah awal dalam pengembangan sistem deteksi dini penyakit jantung koroner, dengan memanfaatkan sinyal HRV sebagai indikator fisiologis yang mudah diakses.

1.2. Rumusan Masalah

Pada penelitian ini terdapat beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana metode *attractors* dapat diterapkan pada sinyal EKG untuk menganalisis pola yang mengindikasikan adanya penyakit jantung koroner?
2. Bagaimana peran parameter *delay* dalam membentuk *attractors* dari sinyal EKG?
3. Bagaimana performa CNN dalam membedakan PSR CAD dan normal dengan menggunakan *attractors*?

1.3. Tujuan dan Manfaat

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disebutkan, maka tujuan dalam penelitian ini adalah:

1. Mengaplikasikan metode *attractors* untuk mendeteksi pola-pola yang relevan dalam sinyal HRV untuk deteksi awal penyakit jantung koroner.
2. Mengetahui pengaruh variasi nilai *delay* terhadap bentuk, struktur, dan kemampuan klasifikasi dari pola *attractors* yang dihasilkan dari sinyal EKG.
3. Mengevaluasi performa CNN dalam membedakan kelas CAD dan normal berdasarkan fitur-fitur yang diperoleh dari analisis *attractors*.

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan kontribusi dalam pengembangan metode analisis *non*-linier pada sinyal HRV, khususnya dalam penerapan rekonstruksi ruang fase untuk mendeteksi CAD.
2. Menambah wawasan dalam pemanfaatan fitur *non*-linier untuk meningkatkan kualitas analisis sinyal biologis.
3. Menjadi landasan bagi penelitian lanjutan dalam bidang teknologi medis dan analisis sinyal.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah yang menjadi ruang lingkup dalam dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah:

1. Data yang digunakan terbatas pada analisis sinyal HRV yang diambil dari rekaman elektrokardiogram (EKG). Sinyal fisiologis lainnya (seperti tekanan darah atau sinyal respirasi) tidak dianalisis dalam penelitian ini.
2. Data HRV dari subjek yang terdiri dari dua kelas, yaitu normal dan CAD. Data dari pasien dengan penyakit jantung jenis lain atau gangguan kardiovaskular yang tidak berkaitan dengan CAD tidak disertakan.
3. Dalam analisis sinyal HRV, berfokus pada aspek teknis dan matematis menggunakan *attractors*. Aspek klinis seperti interpretasi medis mendalam atau aplikasi klinis di rumah sakit akan dibahas secara terbatas.

4. Dataset CAD yang digunakan dalam penelitian ini adalah dataset dari basis data aritmia *12-lead incart St Petersburg*[8].
5. Dataset EKG normal yang digunakan dalam penelitian ini adalah dataset dari MIT-BIH *Arrhythmia Database*[9].

1.5. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan bersifat eksperimental dengan langkah-langkah berikut:

1. Studi literatur terkait *attractors*, terutama rekonstruksi ruang fase.
2. Meninjau konsep dasar *attractors*, serta metode klasifikasi berdasarkan gambar menggunakan CNN.
3. Pengumpulan data, dataset CAD diperoleh dari basis data aritmia *12-lead incart St Petersburg*[8] dan dataset normal menggunakan dataset MIT-BIH *Arrhythmia Database*[9].
4. Melakukan visualisasi sinyal EKG yang sudah diperoleh menggunakan Python.
5. *Pre-processing* data.
6. Ekstraksi fitur HRV yang meliputi SDRR, dan RMSSD.
7. Menentukan parameter rekonstruksi yaitu *delay* waktu (τ) dan dimensi *embedding*.
8. Melakukan rekonstruksi ruang fase.
9. Ekstraksi ukuran geometris PSR (diameter).
10. Uji Kolmogorov-Smirnov dua sampel dan plot distribusi data diameter CAD dan normal.
11. Klasifikasi menggunakan CNN.
12. Evaluasi kinerja algoritma menggunakan akurasi, sensitivitas, spesifisitas, dan *area under the curve*.