

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Menurut Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), penyakit *kardiovaskular* menyumbang hampir 32% dari total kematian global setiap tahunnya. Dengan meningkatnya prevalensi penyakit jantung, kebutuhan akan sistem deteksi dini yang akurat dan efisien menjadi semakin mendesak. Aritmia jantung adalah gangguan irama jantung yang dapat menyebabkan detak jantung terlalu cepat (*takikardi*), terlalu lambat (*bradikardi*), atau tidak teratur [1][2]. Gangguan ini terjadi akibat disfungsi dalam sistem kelistrikan jantung yang mengatur detak jantung. Aritmia dapat disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk penyakit jantung, ketidakseimbangan elektrolit, stres, dan penggunaan obat-obatan tertentu.

Sebelum penemuan elektrokardiogram (EKG), diagnosis aritmia dilakukan melalui observasi klinis dan pengamatan gejala yang dirasakan pasien, seperti palpitasi, pusing, atau nyeri dada. Dokter menggunakan stetoskop untuk mendengarkan suara jantung, tetapi metode ini memiliki keterbatasan karena tidak dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai aktivitas listrik jantung [3]. Penemuan EKG oleh *Willem Einthoven* pada awal abad ke-20 merupakan terobosan besar dalam kardiologi, memungkinkan perekaman aktivitas listrik jantung secara langsung melalui elektroda yang diletakkan pada kulit pasien. Dengan EKG, dokter dapat mengidentifikasi berbagai jenis aritmia berdasarkan pola gelombang yang dihasilkan [4].

Seiring waktu, teknologi EKG telah berkembang menjadi lebih canggih, dari alat konvensional yang memerlukan peralatan besar hingga perangkat *portabel* dan sistem pemantauan jarak jauh yang memungkinkan pemantauan jantung [6]. Meskipun teknologi medis modern telah mengalami kemajuan yang pesat, deteksi aritmia masih menghadapi berbagai tantangan. Metode konvensional sering kali kurang efektif dalam membedakan pola sinyal EKG normal dan abnormal, terutama keduanya memiliki kemiripan morfologi yang dapat berpotensi menyebabkan keterlambatan dalam proses diagnosis dan penanganan klinis[7][8]

Tantangan utama dalam mendeteksi aritmia terletak pada kompleksitas morfologi sinyal EKG, dimensi data yang tinggi, serta ketidakseimbangan distribusi kelas antara detak jantung normal dan aritmia dalam *dataset*. Ketimpangan ini menyebabkan model klasifikasi cenderung bias terhadap kelas mayoritas (*beat normal*), sehingga sensitivitas sistem dalam mengenali beat aritmia yang lebih jarang menjadi rendah [7]. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penelitian ini menerapkan strategi penyeimbangan data (*data balancing*) menggunakan teknik undersampling sebelum tahap ekstraksi fitur. Pendekatan ini bertujuan untuk mengurangi dominasi jumlah sampel dari kelas mayoritas, sehingga proporsi antara kelas menjadi lebih seimbang. Dengan distribusi data yang lebih proporsional, algoritma pembelajaran mesin diharapkan mampu mengenali pola-pola minoritas (aritmia) secara lebih akurat, tanpa mengorbankan kinerja klasifikasi secara keseluruhan [7]. Selain itu, keberadaan gangguan (*noise*) dan banyaknya fitur dalam sinyal EKG berdimensi tinggi sering kali menyulitkan proses pembelajaran, yang pada akhirnya dapat menurunkan akurasi sistem [10].

Dalam menjawab tantangan tersebut, diperlukan solusi yang menyeluruh, antara lain melalui pemilihan algoritma klasifikasi yang lebih adaptif, teknik dekomposisi sinyal yang tepat, serta metode ekstraksi fitur yang efektif [7]. Dalam konteks ini, pemrosesan sinyal menjadi hal yang penting untuk meningkatkan kualitas data sebelum dilakukan analisis lebih lanjut. Salah satu metode yang terbukti efektif adalah *Discrete Wavelet Transform* (DWT), yang mampu memecah sinyal EKG ke dalam komponen frekuensi dan waktu secara bertingkat atau berlapis, sehingga memungkinkan analisis yang lebih rinci terhadap struktur sinyal pada berbagai skala. [4]. Basis wavelet Daubechies 4 (db4) secara khusus dipilih karena memiliki bentuk yang menyerupai morfologi sinyal EKG, terutama pada kompleks QRS, sehingga efektif dalam mendeteksi gelombang R dan mendukung proses ekstraksi fitur yang relevan [11]. DWT juga mampu memisahkan komponen sinyal berdasarkan rentang frekuensi, seperti kompleks QRS (22,5–45 Hz), gelombang P, dan gelombang T (0,5–11,25 Hz), serta mereduksi noise seperti baseline wander dan interferensi frekuensi tinggi [12][13]. Kendati demikian, proses ekstraksi fitur dari koefisien hasil dekomposisi DWT tetap menjadi

tantangan tersendiri, khususnya dalam membedakan karakteristik sinyal EKG normal dan aritmia secara akurat.

Kullback–Leibler Divergence (KL Divergence) merupakan ukuran statistik yang digunakan untuk menghitung jarak atau perbedaan antara dua distribusi probabilitas, dan dalam konteks ini menawarkan pendekatan yang menjanjikan untuk ekstraksi fitur dari sinyal EKG [14][15]. Metode ini memungkinkan pengukuran seberapa besar perbedaan distribusi koefisien hasil dekomposisi DWT antara sinyal aritmia dan distribusi referensi, sehingga menghasilkan representasi probabilistik yang sensitif terhadap perubahan morfologi sinyal [16]. Keunggulan utama *KL Divergence* dibandingkan metode ekstraksi fitur konvensional, seperti *transformasi linier* yang terletak pada kemampuannya menangkap karakteristik non-linier dan distribusi kompleks yang umum dijumpai dalam sinyal biomedis. Penelitian terbaru juga mendukung efektivitas *KL Divergence* dalam aplikasi klasifikasi medis, karena dapat mengidentifikasi perbedaan halus antar kelas dengan lebih akurat dibandingkan metode statistik standar [14].

Namun, penerapan metode tersebut dalam deteksi aritmia masih menghadapi beberapa kendala, antara lain efisiensi waktu pemrosesan yang belum optimal serta performa klasifikasi yang belum konsisten pada berbagai kondisi data. Penelitian ini mengusulkan penggunaan sistem yang menggabungkan *Discrete Wavelet Transform* sebagai metode dekomposisi sinyal dan *Kullback-Leibler Divergence* sebagai teknik ekstraksi fitur. Penerapan ini dapat menjadi solusi untuk meningkatkan akurasi dan menjaga kestabilan dalam mendeteksi aritmia.

Pendekatan yang diusulkan menggunakan empat jenis *KL Divergence* berdasarkan perbandingan terhadap empat jenis distribusi: *Uniform* (untuk melihat ketidakaturan sinyal), *Exponential* (untuk melihat kecenderungan nilai-nilai sinyal yang menurun secara cepat), *Gaussian* (untuk mengukur kemiripan sinyal dengan pola distribusi normal), dan *Combined* (gabungan dari ketiga pendekatan *Kullback-Leibler Divergence*) [14][16]. Sistem ini memanfaatkan klasifikasi *Support Vector Machine* dengan kernel *Radial Basis Function* (RBF) untuk mengklasifikasi fitur yang diekstraksi, yang telah terbukti efektif untuk data biomedis dengan dimensi tinggi [18].

Keunggulan utama dari program yang diusulkan adalah kemampuannya dalam mengintegrasikan analisis multi-skala DWT dengan pengukuran distribusi probabilitik *KL Divergence*, sehingga dapat menangkap karakteristik morfologi sinyal EKG pada level yang lebih mendalam. Dengan menggunakan dataset MIT-BIH yang komprehensif dari 48 record pasien, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan sistem deteksi aritmia yang lebih akurat dan robust untuk implementasi klinis [18].

1.2 Rumusan Masalah

Dalam upaya untuk mengoptimalkan deteksi aritmia pada sinyal EKG, terdapat beberapa permasalahan yang perlu diidentifikasi dan dijawab. Permasalahan-permasalahan ini akan menjadi fokus utama dalam penelitian ini dan akan dijawab melalui model sistem, analisis, serta kesimpulan yang dihasilkan. Rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengembangan algoritma deteksi aritmia dalam mengklasifikasikan denyut jantung normal dan aritmia pada *dataset MIT-BIH Arrhythmia Database*?
2. Bagaimana penerapan masing-masing pendekatan *Kullback-Leibler Divergence* (*Uniform*, *Exponential*, *Gaussian*, dan *Combined*) memengaruhi performa sistem dalam hal akurasi dan efisiensi untuk klasifikasi aritmia?

1.3 Tujuan dan Manfaat

1.3.1 Tujuan

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang telah disusun, tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Pengembangan algoritma deteksi aritmia melalui beberapa tahapan yang dapat membantu dalam mengklasifikasikan denyut normal dan aritmia pada dataset *MIT-BIH Arrhythmia Database*.
2. Menganalisis dan membandingkan keempat metode *Kullback-Leibler Divergence* (*Uniform*, *Exponential*, *Gaussian*, dan *Combined*) untuk menentukan performa metode yang optimal berdasarkan hasil dari *multiple metrics evaluation* dalam klasifikasi denyut aritmia.

1.3.2 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari adanya penelitian ini, antara lain:

1. Melalui analisis sinyal EKG menggunakan pendekatan probabilistik, algoritma dapat memberikan informasi klasifikasi aritmia secara otomatis, yang kemudian diperkuat dengan integrasi *multiple metrics evaluation* untuk menghasilkan hasil diagnosis yang lebih akurat dan komprehensif.
2. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan metode ekstraksi fitur probabilistik dalam bidang pemrosesan sinyal biomedis, khususnya untuk klasifikasi EKG.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada kondisi dan asumsi yang berlaku pada rumusan masalah, berikut batasan-batasan masalah yang dikaji sebagai berikut:

1. Penelitian menggunakan *MIT-BIH Arrhythmia Database*, sehingga validitas hasil terbatas pada karakteristik demografis dan kondisi rekaman sinyal denyut yang tercakup dalam dataset ini.
2. Analisis terbatas pada lead MLII dan V1 yang tersedia dalam dataset MIT-BIH, tidak mencakup konfigurasi *12-lead* EKG yang umum digunakan dalam praktik klinis.
3. Sistem hanya mengklasifikasikan 17 kategori beat yang terbagi menjadi dua bagian dari distribusi normal dan aritmia yang telah dianotasi dalam dataset MIT-BIH.

1.5 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan studi literatur dengan cara menelusuri, mengumpulkan, dan mempelajari referensi dari jurnal ilmiah, makalah penelitian, serta sumber daring yang relevan dengan topik Tugas Akhir. Fokus utama studi literatur adalah untuk memahami karakteristik sinyal EKG, penerapan metode *Discrete Wavelet Transform* (DWT) untuk proses dekomposisi sinyal, konsep

Kullback–Leibler Divergence dalam ekstraksi fitur, serta penggunaan algoritma *Support Vector Machine* (SVM) dengan *kernel Radial Basis Function* (RBF) sebagai metode klasifikasi. Seluruh kajian ini diarahkan pada konteks pengembangan sistem deteksi aritmia berbasis pembelajaran mesin (*machine learning*).

2. Dataset dan Preprocessing

Pada tahap ini, persiapan dan pembersihan data menjadi langkah pertama yang penting untuk memastikan bahwa sinyal EKG yang digunakan dalam analisis siap untuk proses lebih lanjut.

- **Dataset:** Data sinyal EKG diambil dari *MIT-BIH Arrhythmia Database* yang tersedia di *PhysioNet*, yang digunakan untuk analisis aritmia.
- **Loading Data:** Memuat data dari *file* dengan format (*.dat*, *.hea*, dan *.atr*) yang berisi sinyal EKG dan anotasi terkait.
- **Pemilihan Lead:** Memilih lead MLII dan V1 untuk analisis, karena kedua *lead* ini relevan dalam mendeteksi aritmia pada sinyal EKG.
- **Filtering Sinyal:** Menggunakan *band-pass filter* (0.5–40 Hz) untuk menghilangkan *noise* yang dapat mengganggu kualitas sinyal, seperti *baseline wander* dan gangguan otot.
- **Segmentasi Beat:** Melakukan segmentasi berdasarkan deteksi *R-peak* dengan panjang *window* ± 128 sampel untuk memisahkan sinyal EKG menjadi segmen-segmen detak jantung individual.
- **Normalisasi:** Menerapkan normalisasi *Min-Max per-beat* pada setiap segmen untuk menyeragamkan skala atau rentang sinyal antar individu.
- **Balancing Data:** Setelah normalisasi, dilakukan penyeimbangan distribusi kelas menggunakan metode *random undersampling*. Teknik ini mengurangi jumlah sampel pada kelas mayoritas (normal) sehingga sebanding dengan jumlah sampel pada kelas minoritas (aritmia).

3. Perancangan dan Implementasi Sistem

Pada tahap ini, sistem deteksi aritmia dirancang dan diimplementasikan dengan menggunakan teknik dekomposisi sinyal dan ekstraksi fitur, serta metode klasifikasi untuk membedakan sinyal normal dari aritmia.

- **Dekomposisi Sinyal dengan DWT:** Menggunakan *Discrete Wavelet Transform* (DWT) dengan basis *Daubechies 4* pada level 4 untuk memecah sinyal menjadi komponen frekuensi yang lebih mendetail.
- **Ekstraksi Fitur dengan KL Divergence:** Menghitung empat jenis *Kullback-Leibler Divergence* (KL), yaitu *KL Uniform*, *KL Exponential*, *KL Gaussian*, dan *KL Combined*, untuk mengukur perbedaan antara distribusi sinyal dan distribusi referensi.
- **Model Klasifikasi dengan SVM:** Membangun model klasifikasi menggunakan *Support Vector Machine* (SVM) dengan *kernel Radial Basis Function* (RBF) untuk membedakan antara sinyal normal dan aritmia.

4. Pengujian dan Validasi Sistem

Pada tahap pengujian dan validasi, sistem yang telah dibangun diuji untuk memastikan keandalan dan performanya dalam mengklasifikasikan sinyal EKG yang diuji.

- **Pembagian Data:** Data dibagi menggunakan *stratified train-test split* (80:20) untuk memastikan bahwa distribusi data tetap seimbang antara data pelatihan dan pengujian.
- **Cross-Validation:** Menggunakan *cross-validation 5-fold* untuk menguji kestabilan dan keandalan model di berbagai subset data.
- **Evaluasi Performa:** Menggunakan berbagai *Multiple Metrics Evaluation* dalam menilai kinerja sistem klasifikasi.

5. Analisis Data dan Perbandingan Performa

Pada tahap ini, hasil eksperimen dianalisis secara mendalam untuk membandingkan performa berbagai metode dan mengidentifikasi pendekatan terbaik dalam mendeteksi aritmia.

- **Perbandingan Metode KL Divergence:** Melakukan perbandingan antara empat pendekatan *KL Divergence* (*Uniform*, *Exponential*, *Gaussian*, dan *Combined*) untuk menentukan metode yang paling efektif dalam mendeteksi aritmia.
- **Interpretasi Multiple Metrics Evaluation:** Menganalisis hasil *Multiple Metrics Evaluation* untuk mengevaluasi kesalahan klasifikasi dan memberikan gambaran lebih jelas tentang performa model.

- **Rekomendasi Penggunaan Metode:** Berdasarkan analisis yang dilakukan, memberikan rekomendasi mengenai pendekatan *KL Divergence* yang lebih unggul untuk digunakan dalam sistem deteksi aritmia ini.