

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Penyakit jantung koroner (PJK) merupakan penyebab utama kematian di berbagai negara, termasuk Indonesia. Menurut laporan dari *World Health Organization* (WHO), penyakit iskemik jantung menyumbang sekitar 13% dari seluruh kematian global pada tahun 2021, atau setara dengan lebih dari 9 juta jiwa per tahun [1]. Salah satu factor pemicunya adalah stress oksidatif yang melibatkan spesies oksigen dan nitrogen reaktif (ROS/RNS), yang berperan penting dalam proses kerusakan endotel dan pembentukan plak. Dalam pengobatannya, selain terapi farmakologis, pendekatan non farmakologis seperti konsumsi antioksidan juga menjadi pilihan karena terbukti dapat menghambat oksidasi LDL dan memperlambat pengerasan pembuluh darah [2]. Di Indonesia, prevelensi penyakit jantung berdasarkan data Survei Kesehatan Indonesia 2023 mencapai 0,85% dari total 877.531 responden [3].

Salah satu komplikasi yang paling fatal dari penyakit jantung koroner adalah kematian jantung mendadak (*sudden cardiac death*), yaitu kondisi Ketika jantung berhenti secara mendadak dan tak terduga, sering kali terjadi dalam waktu satu jam sejak timbulnya gejala awal [4]. Oleh karna itu, deteksi dini sangat penting dalam mengurangi risiko komplikasi PJK. Namun, akses ke fasilitas kesehatan yang memadai masih menjadi kendala utama, terutama bagi pasien yang tinggal di wilayah terpencil atau dengan infrastruktur terbatas. Banyak pasien harus melakukan perjalanan jauh, yang memakan biaya dan waktu serta berpotensi menunda deteksi dini komplikasi penyakit jantung. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa *telemedicine* dapat secara signifikan mengurangi kebutuhan perjalanan jauh, sehingga menghemat biaya dan waktu pasien, serta meningkatkan akses layanan kesehatan di daerah yang sulit dijangkau [5]. Selain itu, model remote patient monitoring (RPM) berbasis teknologi digital memungkinkan pemantauan kondisi pasien secara kontinu dari jarak jauh melalui perangkat IoT dan aplikasi web *real-time*, sehingga dapat menyiasati keterbatasan mobilitas dan tenaga medis di fasilitas kesehatan lokal [6]

Integrasi teknologi *Internet of Things (IoT)* dengan platform berbasis web telah membuka peluang luas dalam pengembangan sistem pemantauan Kesehatan secara waktu nyata. Pendekatan ini memungkinkan data sinyal *ECG* dikirim secara nirkabel, sehingga mendukung peningkatan aksesibilitas layanan, efisiensi operasional, serta kenyamanan bagi pasien dan tenaga medis dalam proses pemantauan kondisi jantung dari jarak jauh [7]. Teknologi seperti *ESP32* dan komunikasi *WebSocket* memungkinkan transmisi data sinyal *ECG* dari perangkat ke *server* secara langsung dan cepat.

Untuk memperkuat akurasi sistem pemantauan, studi oleh Purboyo et al, (2024) menunjukkan efektivitas penggunaan parameter *Hjorth (Activity, Mobility, Complexity)* dan uji statistik *Kolmogorov-Smirnov* dalam membedakan jenis denyut jantung, mencapai akurasi tinggi pada *multi-lead ECG* [8]. Meskipun sistem ini belum menerapkan klasifikasi menggunakan *Hjorth* metode berbasis statistik seperti yang dikembangkan dalam penelitian sebelumnya dapat menjadi landasan untuk pengembangan fitur analitik di masa mendatang.

Pemilihan platform berbasis *website* dalam sistem ini bertujuan untuk memberikan kemudahan akses bagi tenaga kesehatan di berbagai lokasi, termasuk daerah terpencil, tanpa memerlukan instalasi aplikasi tambahan. Aplikasi web dapat diakses melalui berbagai perangkat seperti laptop maupun smartphone hanya dengan koneksi internet dan browser, sehingga sangat cocok digunakan dalam konteks *telemedicine* dan pemantauan pasien jarak jauh[9]

Selain itu, penggunaan protokol *WebSocket* memungkinkan pertukaran data dua arah secara terus-menerus tanpa perlu permintaan berulang seperti polling *HTTP*. Hal ini menghasilkan sistem yang lebih efisien dalam penggunaan *bandwidth* dan memiliki latensi yang jauh lebih rendah, yang sangat penting dalam pemantauan sinyal fisiologis secara *real-time*. *WebSocket* terbukti lebih responsif dan stabil dibandingkan protokol seperti *MQTT* dalam aplikasi monitoring klinis berbasis web [10].

Berdasarkan latar belakang tersebut, dikembangkan sistem pemantauan *ECG* berbasis web *real-time*, menggunakan teknologi *WebSocket* dan *cloud*

platform (Railway) dengan tujuan menyediakan *monitoring* yang mudah diakses, efisien, dan akurat.

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang sistem pemantauan sinyal *ECG* berbasis *website* secara *real-time* menggunakan teknologi *WebSocket*?
2. Bagaimana mengimplementasikan klasifikasi otomatis untuk mendeteksi kondisi jantung *abnormal* seperti *bradikardia* dan *takikardia*, serta menampilkan notifikasi secara *real-time*?
3. Bagaimana memastikan data hasil pemantauan dapat disimpan secara otomatis dan diakses kembali secara akurat melalui antarmuka pengguna?
4. Bagaimana mengevaluasi pengalaman pengguna terhadap sistem yang dikembangkan, khususnya dari segi kemudahan pengguna, kejelasan visualisasi, dan kebermanfaatan fitur.

1.3. Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari pengembangan sistem ini adalah untuk menciptakan solusi pemantauan sinyal jantung yang efisien, *real-time*, dan mudah diakses oleh tenaga Kesehatan. Adapun tujuan spesifik yang ingin dicapai antara lain:

1. Mengembangkan sistem pemantauan sinyal *ECG* berbasis *website* secara *real-time*.
2. Mengintegrasikan sistem penyimpanan data ke dalam basis data *cloud* menggunakan *PostgreSQL*.
3. Menerapkan notifikasi otomatis untuk kondisi jantung *abnormal* (*bradikardia* dan *takikardia*).
4. Mengevaluasi pengalaman pengguna tenaga kesehatan terhadap sistem yang dikembangkan

Manfaat yang diharapkan dari sistem ini adalah memberikan kontribusi nyata dalam meningkatkan efektivitas layanan kesehatan digital. Beberapa manfaat utama yang dapat diperoleh antara lain:

1. Mempercepat proses diagnosis melalui akses data *ECG* secara *real-time* oleh tenaga medis dari jarak jauh.
2. Mengurangi keterlambatan dalam mendeteksi gangguan jantung yang beresiko tinggi.

3. Menyediakan Solusi pemantauan Kesehatan yang fleksibel, terutama untuk wilayah dengan keterbatasan akses terhadap fasilitas medis.
4. Memberikan dasar evaluasi terhadap kesiapan sistem untuk diimplementasikan secara nyata melalui penilaian langsung dari *end-user* tenaga kesehatan.

1.4. Batasan Masalah

1. Penelitian ini hanya mencakup pemrosesan dan pemantauan sinyal *ECG* secara digital, tanpa mencakup pengembangan perangkat keras (*hardware*) secara mendalam.
2. Sumber data *ECG* yang digunakan berasal dari *mikrokontroler ESP32* yang telah tersedia di pasaran, dengan sinyal simulasi atau uji coba non-medis.
3. Sistem tidak melakukan proses *filtering* atau pembersihan noise terhadap sinyal *ECG* yang diterima. Data yang masuk ditampilkan dan dianalisis langsung tanpa pemrosesan sinyal lanjutan.
4. Fokus utama sistem adalah pada visualisasi sinyal *ECG* secara *real-time*, penyimpanan data, dan deteksi kondisi *abnormal* berbasis nilai *BPM*, bukan pada interpretasi bentuk gelombang (seperti deteksi gelombang P, QRS, atau T) maupun diagnosis klinis.
5. Pengujian sistem dilakukan dalam kondisi koneksi internet normal dan stabil, tanpa menguji performa pada jaringan yang terbatas atau terganggu.

1.5. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan berikut:

1. Studi Literatur: Melakukan kajian mendalam terhadap literatur ilmiah tentang teknologi *ECG*, *Node.js*, *WebSocket*, *PostgreSQL*, dan *ESP32* untuk mengidentifikasi metode dan teknologi terkini yang relevan.
2. Perancangan Sistem: Merancang arsitektur sistem secara terperinci meliputi desain *Frontend* dan *Backend*, menentukan alur transmisi data, serta pemilihan *platform* teknologi yang optimal.
3. Implementasi: Mengintegrasikan perangkat *ESP32* dengan *server* berbasis *WebSocket* untuk memastikan transmisi data sinyal *ECG* secara *real-time*. Penyimpanan data *ECG* dilakukan dengan basis data *PostgreSQL*,

sedangkan visualisasi data *ECG* secara dinamis dikembangkan menggunakan *Chart.js*. selain itu, notifikasi kondisi *abnormal* pada pengguna ditampilkan menggunakan *library SweetAlert2*.

4. Pengujian: melakukan serangkaian pengujian meliputi pengujian performa sistem (latensi, kecepatan transmisi data), akurasi notifikasi kondisi *abnormal*, serta uji fungsional aplikasi secara menyeluruh untuk memastikan sistem berjalan dengan baik dan stabil.
5. Kesimpulan: melakukan evaluasi hasil pengujian untuk menarik kesimpulan mengenai efektifitas dan kinerja sistem serta memberikan rekomendasi untuk pengembangan lebih lanjut.