

Pengembangan Aplikasi Berbasis Website pada Sistem ECG Nirkabel sebagai Node dengan End-User Tenaga Kesehatan di Dalam Jaringan

1st Syaiful Aryf

School of Electrical Engineering
Telkom university

Bandung, Indonesia

syaifularyf@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Tito Waluyo P

School of Electrical Engineering
Telkom university

Bandung, Indonesia

titowaluyo@telkomuniversity.ac.id

3rd M. Darfyma Putra

School of Electrical Engineering
Telkom university

Bandung, Indonesia

mdarfymap@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Penelitian ini merancang sekaligus meningkatkan sistem pemantauan sinyal ECG nirkabel berbasis web yang mampu menampilkan data secara real-time, mengirim peringatan bila terdeteksi kelainan jantung, serta menyimpan rekam medis digital. Node pengirim menggunakan ESP32 untuk mentransmisikan data melalui protokol WebSocket ke Backend Node.js/Express, kemudian divisualisasikan pada antarmuka Frontend React.js dengan dukungan Chart.js dan SweetAlert2. Uji performa meliputi keterlambatan transmisi, akurasi klasifikasi BPM (bradikardia, normal, takikardia), pengelolaan/akses riwayat data, pengalaman pengguna dari tenaga kesehatan, dan kemampuan koneksi multi-client. Hasil menunjukkan rata-rata delay 360–365 ms dan frame rate hingga 77 FPS. Pada data simulasi, klasifikasi BPM mencapai akurasi 100%. Penyimpanan di PostgreSQL berjalan optimal, dan data dapat dipanggil kembali sesuai kategori atau waktu. Sebanyak 93,8% responden berhasil mengakses sistem, dan 87,5% menilai fitur notifikasi serta riwayat medis berfungsi dengan baik. Sistem mampu berjalan stabil hingga 13 koneksi simultan, sementara dua koneksi tambahan berbasis Android mengalami kegagalan, menandakan adanya keterbatasan kompatibilitas. Secara keseluruhan, sistem memenuhi target teknis dan memiliki prospek untuk dikembangkan menjadi solusi pemantauan jantung jarak jauh yang mudah diakses oleh tenaga kesehatan.

Kata kunci— E ECG, ESP32, WebSocket, pemantauan real-time, bradikardia dan takikardia, PostgreSQL

I. PENDAHULUAN

Penyakit jantung koroner masih menjadi salah satu penyebab kematian tertinggi di dunia. Teknologi telemedicine dan *remote patient monitoring* (RPM) berbasis IoT serta aplikasi web menghadirkan peluang untuk melakukan pemantauan kondisi fisiologis pasien secara real-time, sekaligus meningkatkan akses terhadap layanan kesehatan. Penelitian ini mengembangkan sistem ECG nirkabel berbasis web dengan integrasi ESP32, WebSocket, Backend Node.js/Express, Frontend React.js, pustaka Chart.js dan SweetAlert2, serta penyimpanan data di PostgreSQL. Permasalahan yang dibahas meliputi: (1) perancangan alur transmisi data real-time dengan latensi rendah; (2) pendeteksian bradikardia dan takikardia berdasarkan BPM; (3) perekaman dan pengelolaan riwayat data; dan (4) evaluasi pengalaman pengguna serta kinerja multi-client. Tujuan penelitian ini adalah menciptakan sistem pemantauan berbasis web yang responsif, mudah digunakan, dan dapat dikembangkan lebih lanjut untuk kebutuhan klinis. kajian teori.

A. Electrocardiogram (ECG)

Electrocardiogram atau ECG merupakan metode perekaman aktivitas listrik jantung yang dihasilkan selama proses kontraksi dan relaksasi otot jantung [11]. Sinyal ini divisualisasikan dalam bentuk grafik yang menampilkan beberapa komponen utama, yaitu:

1. Gelombang P – Menandakan terjadinya depolarisasi di atrium.
2. Kompleks QRS – merepresentasikan depolarisasi ventrikel sekaligus repolarisasi atrium.
3. Gelombang T – menunjukkan proses repolarisasi ventrikel [12].

Perubahan di bentuk atau durasi gelombang dapat mengindikasikan gangguan irama jantung. Dua kondisi umum yang sering diamati adalah bradikardia, yakni denyut jantung di bawah 60 BPM, dan takikardia, yaitu denyut di atas 100 BPM [14][15].

B. Teknologi Pendukung alat Sistem ECG Berbasis Web

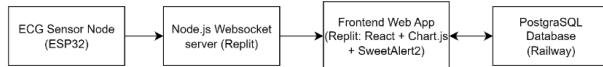
Pembangunan alat sistem pemantauan ECG secara daring membutuhkan kombinasi alat keras dan alat lunak yang saling ter-integrasi. Komponen yang digunakan dalam Studi ini antara lain:

1. ESP32 – Papan mikrokontroler serta modul Wi-Fi/Bluetooth, ADC 12-bit, dan prosesor multi-core yang bekerja untuk membaca dan mengirim sinyal ECG [22].
2. Node.js & Express.js – Platform JavaScript untuk sisi server dan kerangka kerja pengelola API, menopang koneksi real-time serta respons cepat [17][19].
3. WebSocket – Protokol komunikasi dua arah yang menjaga koneksi tetap terbuka hingga dapat dikirim secara kontinu serta latensi rendah [10].
4. PostgreSQL – basis data relasional bersifat open-source yang dapat menangani penyimpanan data berkapasitas besar serta andal [20][21].
5. Chart.js & SweetAlert2 – Pustaka JavaScript untuk menampilkan grafik ECG interaktif serta menyediakan notifikasi otomatis apabila terdeteksi kondisi abnormal [23][24].
6. Railway – layanan cloud untuk deployment backend dan basis data tanpa konfigurasi yang kompleks [25].
7. Arduino IDE & Replit – lingkungan pengembangan kode untuk pemrograman ESP32 serta platform kolaborasi daring berbasis peramban [26][28].

II. METODE

A. Desain Sistem

Alat sistem pemantauan ECG yang dikembangkan dirancang untuk memfasilitasi pemantauan kondisi jantung secara real-time melalui platform web. Arsitektur alat sistem terdiri dari empat komponen:



GAMBAR 1

1. ECG Sensor Node (ESP32) – bertugas membaca sinyal listrik jantung dari sensor dan mengirimkan data melalui jaringan Wi-Fi.
2. Node.js WebSocket Server (Replit) – bekerja sebagai pengelola koneksi real-time antara alat pengirim (ESP32) dan aplikasi web. Server ini juga melakukan pemrosesan awal, termasuk perhitungan BPM dan klasifikasi kondisi denyut jantung.
3. Frontend Web App (Replit: React + Chart.js + SweetAlert2) – menyediakan antarmuka bagi pengguna untuk menampilkan grafik ECG secara langsung, menyediakan notifikasi kondisi abnormal, serta menyediakan akses ke riwayat data.
4. PostgreSQL Database (Railway) – menyimpan data rekam medis ECG secara terstruktur, mencakup informasi timestamp, BPM, dan kategori kondisi jantung.

B. Alur Sistem

Proses kerja alat sistem diawali serta akuisisi sinyal ECG oleh ESP32. Data yang dihasilkan dikirim melalui koneksi Wi-Fi memakai protokol WebSocket menuju server Node.js. Server memproses sinyal tersebut untuk menghitung BPM dan menentukan kategori kondisi jantung. Jika mode perekaman aktif, hasil pengolahan disimpan di basis data PostgreSQL di platform Railway. Secara paralel, aplikasi web frontend menampilkan sinyal ECG secara real-time dalam bentuk grafik, menampilkan notifikasi otomatis ketika terdeteksi kondisi abnormal, dan menyediakan akses ke riwayat rekaman yang tersimpan.

C. Perancangan Perangkat Lunak

Pengembangan perangkat lunak mencakup:

1. Frontend – menyediakan halaman login, dashboard, tampilan live ECG, pengaturan profil, dan halaman riwayat medis.
2. Backend – mengatur pengelola data, autentikasi pengguna, serta layanan API.
3. Backend – menyimpan informasi pengguna dan riwayat rekaman ECG secara aman dan terstruktur.

D. Skenario Pengujian

Lima jenis pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem:

1. Pengujian Visualisasi real-time
 - Mengukur delay transmisi data serta persamaan:

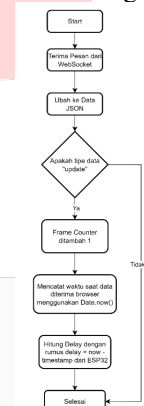
$$\text{Delay} = \text{Date.now()} - \text{timestamp}_{\text{ESP32}} \quad (3.1)$$

Menghitung waktu saat ini berdasarkan referensi sinkronisasi NTP di ESP32:



GAMBAR 2

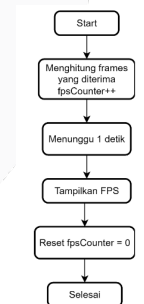
Proses Perhitungan Delay di Frontend:



GAMBAR 3

- Mengukur frame rate serta persamaan:

$$FPS = \frac{\text{Jumlah frame diterima}}{1 \text{ detik}} \quad (3.2)$$



GAMBAR 4

2. Pengujian Deteksi kondisi abnormal

- Menggunakan klasifikasi BPM:
 - Bradikardia (BPM < 60)
 - Normal (60 BPM 100)
 - Takikardia (BPM > 100)

(3.3)

- BPM dihitung dari interval antar pucuk gelombang:

$$BPM = \frac{60000}{\text{interval (ms)}} \quad (3.4)$$

3. Pengujian Penyimpanan dan akses data

- memeriksa keberhasilan penyimpanan dan penampilan ulang data di database.
- Pengujian Pengalaman pengguna
 - Memakai kuesioner berbasis skala Bintang untuk menilai kemudahan pengguna, kejelasan visualisasi, dan manfaat fitur.
 - Pengujian multi-client
 - Mengamati kestabilan visualisasi dan notifikasi saat sistem diakses oleh beberapa pengguna secara bersamaan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Visualisasi Real-Time

Pengujian ini bertujuan mengevaluasi performa alat sistem dalam menampilkan sinyal ECG di browser secara real-time. Dua parameter yang dianalisis adalah delay dan frame rate (FPS). Nilai delay dihitung memakai persamaan (3.1), sedangkan FPS dihitung serta persamaan (3.2).

TABEL 1

No	BPM	Delay Rata-rata (ms)	FPS (frames/s)
1	30	367,4	12,75
2	40	367,0	17,30
3	50	368,5	21,50
4	60	366	26
5	70	365,6	30
6	80	365,2	34
7	90	364,7	38
8	100	364,7	41
9	110	364,7	48
10	120	362,5	50
11	130	361,5	55
12	140	361,5	60
13	150	360,6	62
14	160	359,8	67
15	170	362,5	71
16	180	362	77

B. Hasil Pengujian Deteksi Kondisi Abnormal

Pengujian ini memeriksa akurasi klasifikasi kondisi denyut jantung berdasarkan BPM (persamaan 3.3–3.5). BPM dihitung memakai persamaan (3.6). Hasil mengindikasikan akurasi deteksi 100% di kategori bradikardia, normal, dan takikardia. Selisih pembacaan antara data ESP32 dan tampilan web berkisar 1–4 BPM, kemungkinan disebabkan latensi jaringan atau packet loss.

TABEL 2

No	BPM Dikirim (ESP32)	BPM Terbaca (Website)	Selisih	Kategori	Notifikasi Muncul
1	30	30	0	Bradikardia	Ya
2	40	40	0	Bradikardia	Ya
3	50	49	1	Bradikardia	Ya
4	60	60	1	Normal	Tidak
5	70	70	0	Normal	Tidak
6	80	78	2	Normal	Tidak
7	90	89	1	Normal	Tidak
8	100	96	4	Normal	Tidak
9	110	110	0	Takikardia	Ya
10	120	117	3	Takikardia	Ya
11	130	129	1	Takikardia	Ya
12	140	138	2	Takikardia	Ya
13	150	148	2	Takikardia	Ya
14	160	156	4	Takikardia	Ya
15	170	168	2	Takikardia	Ya
16	180	180	0	Takikardia	Ya

C. Hasil Pengujian Penyimpanan dan Akses Data

Pengujian ini memastikan data tersimpan di PostgreSQL dan dapat diakses kembali melalui fitur riwayat. Keberhasilan penyimpanan dihitung serta persamaan (3.7). Seluruh data di kategori normal, bradikardia, dan campuran tersimpan serta persentase keberhasilan 100%. Data dapat difilter berdasarkan kategori atau waktu perekaman, dan disajikan sesuai urutan.

D. Hasil Pengujian Pengalaman Pengguna

Evaluasi melibatkan 16 tenaga kesehatan sebagai responden. Hasil survei mengindikasikan:

- 93.8% berhasil mengakses sistem.
- 81.3% melihat grafik ECG muncul dengan baik.
- 87.5% menyatakan notifikasi abnormal sangat membantu.
- 87.5% menilai fitur rekam medis bermanfaat dan mudah dipahami.

Mayoritas responden memberi skor kemudahan penggunaan dan kejelasan tampilan di bintang 5.

E. Hasil Pengujian multi-client

Alat sistem diuji serta 15 koneksi simultan. Hasilnya:

- Hingga 13 koneksi, grafik ECG dan notifikasi muncul serentak di semua client.
- di koneksi ke-14 dan ke-15 (alat Android), visualisasi dan notifikasi gagal muncul.

Temuan ini mengindikasikan keterbatasan kompatibilitas di platform Android untuk koneksi simultan serta beban tinggi.

F. Pembahasan

Hasil pengujian mengindikasikan bahwa alat sistem pemantauan ECG berbasis web yang dikembangkan telah dapat memenuhi seluruh tujuan teknis yang dirumuskan di tahap perancangan. Visualisasi sinyal ECG berjalan lancar serta delay rata-rata sekitar 362 ms dan frame rate yang meningkat hingga 77 FPS di BPM tinggi, hingga memenuhi kriteria responsivitas untuk pemantauan real-time. Akurasi deteksi kondisi bradikardia, normal, dan takikardia mencapai 100% di data simulasi, yang mengindikasikan bahwa algoritma klasifikasi berbasis BPM bekerja secara konsisten.

Integrasi basis data PostgreSQL menyediakan peluang penyimpanan dan pengambilan data rekam medis tanpa kesalahan, serta tingkat keberhasilan 100% untuk semua kategori. Responden yang terdiri dari tenaga kesehatan menyediakan tanggapan positif terhadap kemudahan penggunaan antarmuka, kejelasan grafik, serta kebermanfaatan fitur notifikasi dan riwayat medis. Hal ini menegaskan bahwa alat sistem memiliki potensi untuk digunakan dalam konteks pelayanan medis jarak jauh.

Meskipun demikian, beberapa keterbatasan masih ditemukan. Klasifikasi saat ini hanya mengandalkan nilai BPM tanpa analisis morfologi gelombang, hingga informasi klinis yang dihasilkan masih terbatas. Fitur perekaman data juga masih bergantung di aktivasi manual oleh pengguna, hingga berpotensi melewatkan data penting di luar sesi perekaman. Selain itu, uji multi-client mengindikasikan adanya masalah kompatibilitas di alat Android ketika jumlah

koneksi simultan melebihi 13, yang mengindikasikan perlunya optimasi di pengelolaan koneksi WebSocket untuk platform tersebut.

IV. KESIMPULAN

Studi ini berhasil membuat dan menyempurnakan alat sistem pemantauan ECG berbasis web yang dapat menampilkan sinyal secara real-time, mendeteksi kondisi jantung abnormal, serta menyimpan data rekam medis secara terstruktur. Hasil pengujian mengindikasikan bahwa alat sistem dapat beroperasi serta delay rata-rata ± 362 ms dan frame rate hingga 77 FPS, hingga menyediakan visualisasi yang lancar dan responsif. Algoritma klasifikasi berbasis BPM dapat membedakan kondisi bradikardia, normal, dan takikardia serta akurasi 100% di data simulasi.

Integrasi serta basis data PostgreSQL menyediakan peluang pencatatan riwayat ECG serta keberhasilan penyimpanan 100%, sementara evaluasi oleh tenaga kesehatan mengindikasikan tingkat kepuasan tinggi terhadap kemudahan penggunaan, kejelasan tampilan, dan kebermanfaatan fitur. Meskipun demikian, terdapat beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan, antara lain absennya analisis morfologi gelombang, ketergantungan perekaman di aktivasi manual, serta masalah kompatibilitas multi-client di platform Android.

Secara keseluruhan, alat sistem ini memiliki potensi untuk diimplementasikan sebagai solusi pemantauan jantung jarak jauh yang mudah diakses, dan dapat ditingkatkan lebih lanjut untuk meningkatkan akurasi klinis dan dukungan multi-platform.

REFERENSI

- [10] F. P. Eka Putra, F. Muslim, N. Hasanah, Holipah, R. Paradina, and R. Alim, "Analisis Komparasi Protokol *WebSocket* dan *MQTT* Dalam Proses Push Notification," *Jurnal Sistim Informasi dan Teknologi*, pp. 63–72, Jan. 2024, doi: 10.60083/jsisfotek.v5i4.325.
- [11] J. Utama, "Electrocardiogram (ECG) with Noise Reduction Based on Wavelet Using LabVIEW Programming," *Telekontran : Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Kendali dan Elektronika Terapan*, vol. 1, no. 1, p. 6, Apr. 2019, doi: 10.34010/telekontran.v1i1.1560.
- [12] S. Laksono, "INTERPRETASI EKG NORMAL PRAKTIS BAGI PEMULA: SUATU TINJAUAN MINI," *JURNAL KEDOKTERAN*, vol. 7, no. 1, p. 1, Dec. 2021, doi: 10.36679/kedokteran.v7i1.408.
- [14] S. Sidhu and J. E. Marine, "Evaluating and managing bradycardia," *Trends Cardiovasc Med*, vol. 30, no. 5, pp. 265–272, Jul. 2020, doi: 10.1016/j.tcm.2019.07.001.
- [15] V. Gurajala and K. Narayanan, "Approach to electrocardiographic diagnosis of narrow QRS tachycardia," *Medicover Journal of Medicine*, vol. 1, no. 3, pp. 115–121, Jul. 2024, doi: 10.4103/MJM.MJM_25_24.
- [17] A. F. D. Nugraha, "Efektivitas penggunaan Node.js dalam pembuatan REST API aplikasi Katastrofa," 2024.
- [19] M. Lukeyanrizki, "Express.js: From Zero to Hero."
- [20] Percona, "What is PostgreSQL? Key Features, Benefits, and Real-World Uses," Percona Blog.
- [21] I. Ahmed, "Postgres Scalability: Navigating Horizontal and Vertical Scalability Pathways," pgEdge Blog.
- [23] Chart.js Team, "Chart.js: Open source HTML5 Charts for your website."
- [24] SweetAlert2, "SweetAlert2 – a beautiful, responsive, customizable and accessible replacement for JavaScript's popup boxes."
- [25] "Report: Railway Business Breakdown & Founding Story," Contrary Research.
- [26] M. Bravo-Zanoguera, D. Cuevas-González, J. P. García-Vázquez, R. L. Avitia, and M. A. Reyna, "Portable ECG System Design Using the AD8232 Microchip and Open-Source Platform," in *The 6th International Electronic Conference on Sensors and Applications*, Basel Switzerland: MDPI, Nov. 2019, p. 49. doi: 10.3390/ecsa-6-06584.
- [28] Arsturn Blog, "Replit vs. Traditional IDEs: A Comprehensive Comparison."