

PENGEMBANGAN SISTEM PEMANTAUAN PASIEN JARAK JAUH BERBASIS IOT UNTUK DETEKSI DINI SERANGAN JANTUNG

¹ Sayoga Dwi Yonida, ² Irmalia Suryani Faradisa, ³ F Yudi Limpraptono

¹ Teknik Elektro S1, Institut Teknologi Nasional Malang, Malang

¹ Sayogadirty@gmail.com, ² irmalisa_suryani_faradisa@lecturer.itn.ac.id, ³ fyudil@lecturer.itn.ac.id

Abstract - The heart is a vital organ that pumps blood throughout the body. Disorders such as bradycardia or tachycardia often occur without obvious symptoms, so a heart monitoring system capable of detecting these conditions early is needed. This study aims to design an Internet of Things (IoT)-based heart monitoring system using AD8232 and MAX30100 sensors with an ESP32 microcontroller. The system displays real-time data via a 16x2 LCD and a local web server. The research method used is experimental, including hardware and software design as well as testing under various heart rate conditions. The system is designed to read electrocardiogram (ECG) signals, calculate heart rate (BPM), measure oxygen saturation (SpO₂), and classify heart conditions. Test results show that the system can read ECG signals, calculate BPM based on R-peak detection, and classify conditions into NORMAL, BRADYCARDIA, or TACHYCARDIA categories. The five-point moving average digital filter method proved effective in reducing noise in ECG signals. Data is displayed synchronously via LCD and web pages using the Server-Sent Events (SSE) method. An additional switch also successfully displays the local IP address. This system is considered efficient, portable, and usable by the general public, especially in areas with limited access to medical services.

Keywords – IoT, ECG, AD8232, MAX30100, ESP32, BPM, SpO₂, heart rate monitoring.

Abstrak - Jantung merupakan organ vital yang memompa darah ke seluruh tubuh. Gangguan seperti bradikardia atau takikardia sering terjadi tanpa gejala yang jelas, sehingga dibutuhkan sistem pemantauan jantung yang mampu mendeteksi kondisi tersebut secara dini. Penelitian ini bertujuan merancang sistem monitoring jantung berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan sensor AD8232 dan MAX30100 dengan mikrokontroler ESP32. Sistem menampilkan data real-time melalui LCD 16x2 dan web server lokal. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen, meliputi perancangan perangkat keras dan lunak serta pengujian dengan variasi kondisi denyut jantung. Sistem dirancang untuk membaca sinyal elektrokardiogram (ECG), menghitung denyut jantung (BPM), mengukur saturasi oksigen (SpO₂), dan mengklasifikasikan kondisi jantung. Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu membaca sinyal ECG, menghitung BPM berdasarkan deteksi puncak R, dan mengklasifikasikan kondisi ke dalam kategori NORMAL, BRADYCARDIA, atau TACHYCARDIA. Metode filter digital moving average lima titik terbukti efektif dalam meredam noise pada sinyal ECG. Data ditampilkan secara sinkron melalui LCD dan halaman web menggunakan metode Server-Sent Events (SSE). Saklar tambahan juga berhasil menampilkan alamat IP lokal. Sistem ini dinilai efisien, portabel, dan dapat digunakan oleh masyarakat umum, terutama di wilayah yang memiliki keterbatasan akses layanan medis.

Kata kunci – IoT, ECG, AD8232, MAX30100, ESP32, BPM, SpO₂, monitoring jantung.

I. PENDAHULUAN

Jantung merupakan organ vital yang berperan memompa darah ke seluruh tubuh. Organ ini terdiri dari dua atrium dan dua ventrikel yang bekerja secara terkoordinasi untuk memastikan distribusi oksigen dan nutrisi ke jaringan tubuh serta pengembalian karbon dioksida ke paru-paru.[1] Gangguan pada organ ini, seperti serangan jantung, dapat menyebabkan kerusakan jaringan atau kematian, terutama jika tidak tertangani dengan cepat. [2]

Menurut data dari Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), sekitar 17,9 juta orang meninggal setiap tahunnya akibat penyakit kardiovaskular, dengan sebagian besar kasus disebabkan oleh serangan jantung dan stroke.[3] Gejala serangan jantung sering tidak spesifik, sehingga penting adanya sistem pemantauan kesehatan jantung yang mampu mendeteksi dini kondisi berbahaya tersebut.[4] Detak jantung dan saturasi oksigen (SpO₂) merupakan parameter

utama dalam penilaian kondisi jantung. Namun, biaya alat medis dan keterbatasan akses menjadi hambatan pemantauan secara rutin.[5]

Teknologi Internet of Things (IoT) memungkinkan pengembangan sistem pemantauan kesehatan yang efisien, portabel, dan real-time.[6] Sensor AD8232 dan MAX30100 telah banyak digunakan untuk mendeteksi sinyal EKG dan SpO₂ secara akurat, sedangkan ESP32 memungkinkan pengolahan dan tampilan data langsung melalui jaringan lokal tanpa ketergantungan cloud.[7] Integrasi beberapa sensor dalam platform IoT memungkinkan akuisisi tanda-tanda vital secara bersamaan dan penyampaian informasi secara real-time, sehingga mendukung pemantauan kesehatan yang berkelanjutan dan dapat diakses dengan mudah. [8]

Keunggulan utama dari sistem ini adalah kemampuannya untuk mengukur detak jantung, saturasi oksigen, dan tekanan darah secara sinkron, serta menampilkan hasil pemantauan dalam kategori kesehatan sesuai standar WHO. Desain alat yang minimalis dan portabel mempermudah penggunaannya sehingga dapat digunakan oleh berbagai kalangan masyarakat terutama kalangan menengah kebawah yang tinggal di tempat minim akses dan jauh dari rumah sakit.[9]

Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai sistem pemantauan sinyal vital berbasis Internet of Things (IoT) telah banyak dilakukan oleh berbagai peneliti sebelumnya. Fina Mushoffa mengembangkan alat pemantau detak jantung dan SpO₂ menggunakan sensor MAX30100 berbasis IoT untuk sistem telemedika. Namun, sistem ini belum dilengkapi fitur notifikasi atau tampilan grafik *real-time*. [10] Penelitian oleh Umami Anisyah menggunakan MAX30100 dan NodeMCU yang terhubung ke Telegram untuk mengirimkan notifikasi hasil pemantauan. Meskipun notifikasi berjalan baik, visualisasi sinyal dan filtering belum dioptimalkan. [11] Juwita Topista Wibowo merancang sistem berbasis Android menggunakan ESP8266 dan MAX30100 untuk menampilkan BPM, namun belum menyediakan visualisasi sinyal EKG atau pemrosesan lanjutan. [12] Penelitian oleh Mardana menambahkan fitur pelacakan lokasi pasien menggunakan GPS yang terintegrasi dengan sensor MAX30100. Data dikirim melalui jaringan internet ke smartphone. Namun, sistem ini hanya fokus pada kondisi darurat dan belum mengintegrasikan pengolahan sinyal EKG. [13] Imam mengembangkan sistem Wireless ECG menggunakan tiga sensor berbeda, termasuk AD8232, dan ditampilkan melalui layar TFT. Sistem ini menunjukkan kemampuan multi-sensor namun konsumsi daya lebih tinggi. [14] Dari berbagai penelitian tersebut, terlihat bahwa penggunaan sensor AD8232 dan MAX30100 dalam sistem berbasis IoT sangat potensial, namun masih terbatas dari sisi filtering digital, tampilan real-time, dan fleksibilitas penggunaan. Penelitian ini mencoba menjawab kekurangan tersebut dengan menggabungkan pemantauan EKG dan SpO₂ secara real-time berbasis web server lokal menggunakan ESP32, dilengkapi fitur filtering digital.

Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi sensor AD8232 dan MAX30100 dalam satu sistem berbasis ESP32 yang menampilkan data *real-time* melalui LCD dan web server lokal tanpa ketergantungan *cloud*. Metode filter digital *moving average* juga diimplementasikan untuk meningkatkan kualitas sinyal ECG agar lebih mendekati hasil rekaman medis. Selain itu, sinkronisasi data antara LCD dan web server menggunakan *Server-Sent Events* (SSE) menjadi nilai tambah yang jarang ditemukan pada penelitian terdahulu.

II. METODE PENELITIAN

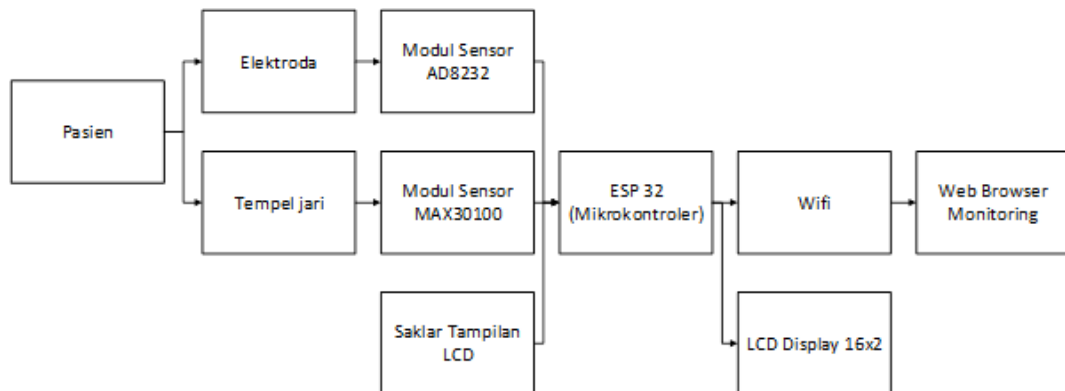
A. Metode Penelitian Sistem Monitoring Detak Jantung

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dalam pengembangan sistem monitoring kondisi jantung berbasis *Internet of Things* (IoT). Penelitian dilaksanakan di Rumah, pada periode September 2024 hingga Juni 2025. Sistem dirancang untuk dapat membaca sinyal elektrokardiogram (ECG) dan kadar oksigen dalam darah (SpO₂) secara real-time menggunakan sensor AD8232 dan MAX30100, serta menampilkannya melalui LCD dan web server lokal berbasis mikrokontroler ESP32. Metode penelitian ini terbagi menjadi dua bagian utama, yaitu perancangan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*).

1. Blok Diagram

Blok diagram sistem menggambarkan alur kerja sistem pemantauan denyut jantung dan kadar oksigen dalam darah yang berbasis mikrokontroler ESP32. Data biologis diperoleh dari pasien melalui dua jenis sensor, yaitu sensor elektrokardiogram (ECG) AD8232 yang mendeteksi sinyal listrik jantung melalui elektroda, dan sensor SpO_2 MAX30100 yang mengukur kadar oksigen dalam darah menggunakan sensor optik yang ditempelkan pada jari pasien. Kedua sensor tersebut mengirimkan data ke mikrokontroler ESP32 untuk diproses.

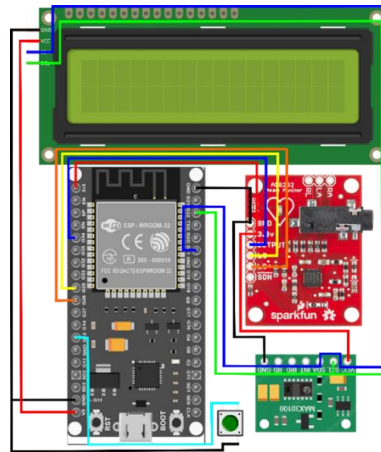
Hasil pemrosesan ditampilkan pada LCD 16x2 secara lokal, serta dikirimkan secara real-time ke halaman web melalui koneksi WiFi untuk dapat diakses melalui peramban (*web browser*). Sistem ini juga dilengkapi dengan saklar (GPIO12) yang berfungsi sebagai input untuk memilih tampilan pada baris bawah LCD, yakni antara menampilkan hasil diagnosis (normal, bradycardia, tachycardia, atau leads off) atau alamat IP web server lokal yang dapat diakses oleh pengguna.



Gambar 1. Blok Diagram Hardware

Keterangan:

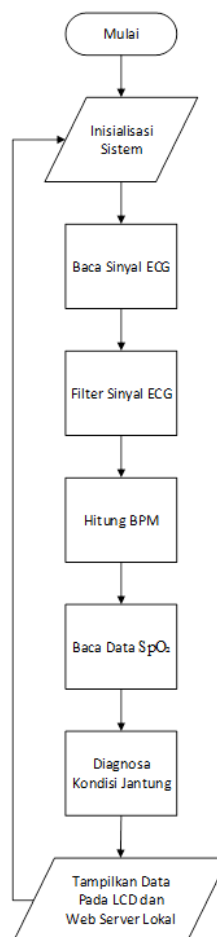
1. Pasien: Subjek utama yang menjadi sumber data biologis berupa sinyal detak jantung dan kadar oksigen dalam darah.
2. Elektroda: Perangkat yang ditempelkan pada tubuh pasien untuk mendeteksi sinyal listrik jantung (*electrokardiogram*).
3. Modul Sensor AD8232: Sensor *electrokardiogram* yang membaca sinyal analog dari elektroda dan mengirimkannya ke pin ADC pada ESP32. Sensor ini juga dapat mendeteksi kondisi kabel terlepas (*leads off*).
4. Tempel Jari: Antarmuka fisik antara jari pasien dan sensor MAX30100 yang memungkinkan pengukuran kadar oksigen (SpO_2) secara optik.
5. Modul Sensor MAX30100: Sensor optik yang menggabungkan LED inframerah dan fotodetektor untuk mengukur kadar oksigen (SpO_2). Data dikirim ke ESP32 melalui komunikasi I2C.
6. Saklar Tampilan LCD (GPIO12): Saklar yang berfungsi sebagai masukan (input) ke ESP32. Digunakan untuk memilih tampilan diagnosis atau alamat IP pada baris bawah LCD.
7. ESP32 (Mikrokontroler): Unit pengendali utama yang memproses data dari sensor, menghitung nilai BPM, melakukan diagnosis, dan menampilkan data ke LCD serta mengirimkannya ke halaman web.
8. LCD 16x2: Media tampilan lokal yang menampilkan BPM, kadar SpO_2 , nilai sinyal ECG mentah, dan hasil diagnosis atau alamat IP web server.
9. WiFi: Koneksi nirkabel yang digunakan oleh ESP32 untuk mentransmisikan data ke perangkat pengguna secara lokal.
10. Web Browser Monitoring: Halaman pemantauan berbasis web yang menampilkan grafik ECG secara real-time beserta nilai BPM, SpO_2 , dan status kondisi pasien. Komunikasi data dilakukan melalui metode *Server-Sent Events* (SSE).



Gambar 2. Keseluruhan Rangkaian Alat

2. Desain Software

Untuk menjalankan alat maka digunakan berupa piranti lunak Software. Sebelum pembuatan program untuk menjalankan alat, terlebih dahulu penulis dibuat alur program Flowchart agar mempermudah perencanaan program.



Gambar 3. Flowchart Software

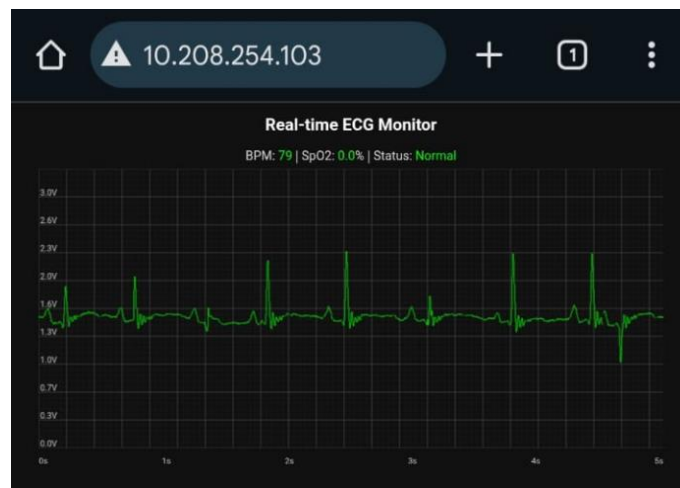
Penjelasan Flowchart Software

1. Mulai: Proses dimulai ketika perangkat diaktifkan.
2. Inisialisasi Sistem: ESP32 menginisialisasi sensor ECG (AD8232), sensor SpO₂ (MAX30100), serta modul komunikasi WiFi.
3. Baca Sinyal ECG: Sinyal listrik jantung dibaca secara real-time dari sensor AD8232.
4. Filter Sinyal ECG: Data sinyal ECG yang terbaca difilter menggunakan metode penghalusan (misalnya moving average) untuk mengurangi noise.
5. Hitung BPM: Berdasarkan sinyal ECG yang sudah difilter, perangkat lunak mendeteksi R-peak untuk menghitung nilai BPM (detak jantung per menit).
6. Baca Data SpO₂: Perangkat membaca data kadar oksigen dalam darah dari sensor MAX30100.
7. Diagnosa Kondisi Jantung: Data BPM dan SpO₂ dianalisis untuk mendeteksi kondisi normal atau adanya potensi anomali.
8. Tampilkan Data pada LCD dan Web Server Lokal: Hasil monitoring (grafik ECG, BPM, dan SpO₂) ditampilkan pada LCD I2C dan halaman web server lokal.
9. Proses Berulang: Sistem kembali membaca data sensor secara berulang hingga perangkat dimatikan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pembacaan dan Visualisasi Sinyal ECG (AD8232)

Setelah sistem berhasil diinisialisasi, langkah berikutnya adalah pembacaan sinyal elektrokardiogram (ECG) yang diperoleh dari sensor AD8232. Sensor ini mendeteksi aktivitas listrik jantung melalui elektroda yang ditempelkan pada tubuh pengguna, kemudian mengubahnya menjadi sinyal analog yang dibaca oleh pin ADC pada mikrokontroler ESP32. Sinyal ECG yang diperoleh akan menjadi dasar dalam analisis detak jantung dan perhitungan BPM (*Beats per Minute*). Sistem ini menyediakan dua bentuk tampilan untuk memudahkan pemantauan hasil pembacaan ECG secara *real-time*.



Gambar 4. Tampilan sinyal ECG pada Web Server Lokal

Pada Gambar 4 terlihat tampilan grafik ECG yang divisualisasikan secara real-time melalui halaman web server lokal berbasis ESP32. Sinyal ini diperoleh dari pembacaan sensor AD8232 dan ditampilkan menggunakan elemen `<canvas>` berbasis JavaScript. Grafik menunjukkan gelombang khas ECG dengan komponen P, QRS, dan T yang terdeteksi dalam rentang waktu kontinu. Web server ini diakses melalui alamat IP lokal yang ditampilkan di LCD saat saklar ditekan. Data dikirimkan dari ESP32 ke browser menggunakan metode *Server-Sent Events (SSE)*, yang memungkinkan update data secara langsung tanpa perlu menyegarkan halaman secara manual.



Gambar 5. Nilai sinyal ECG ditampilkan di LCD 16x2

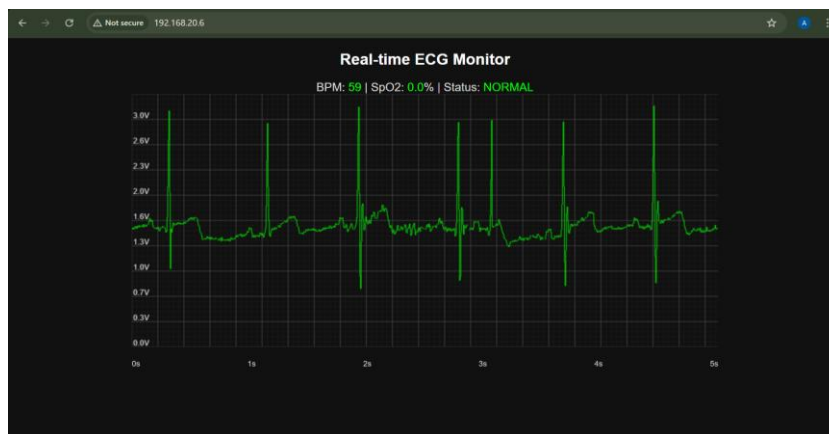
Pada Gambar 5 sistem menampilkan nilai sinyal ECG dalam bentuk numerik pada LCD 16x2. Tampilan ini membantu pengguna untuk melihat kondisi sinyal secara langsung dari perangkat tanpa harus membuka browser. Nilai ini merupakan hasil pembacaan ADC dari sinyal analog yang dikirim oleh sensor AD8232, dan diperbarui secara periodik setiap beberapa milidetik. Walaupun tidak menampilkan bentuk gelombang, nilai numerik ini tetap berguna sebagai indikator stabilitas sinyal dan fungsi sensor.

Kedua antarmuka ini bekerja secara simultan dan mendukung pemantauan sinyal ECG secara *real-time*, baik dalam bentuk visual grafik maupun tampilan numerik. Hal ini sangat penting untuk memastikan bahwa sistem dapat digunakan dalam situasi nyata di mana pemantauan cepat dan responsif terhadap perubahan kondisi jantung sangat dibutuhkan.

2. Filter Moving Average

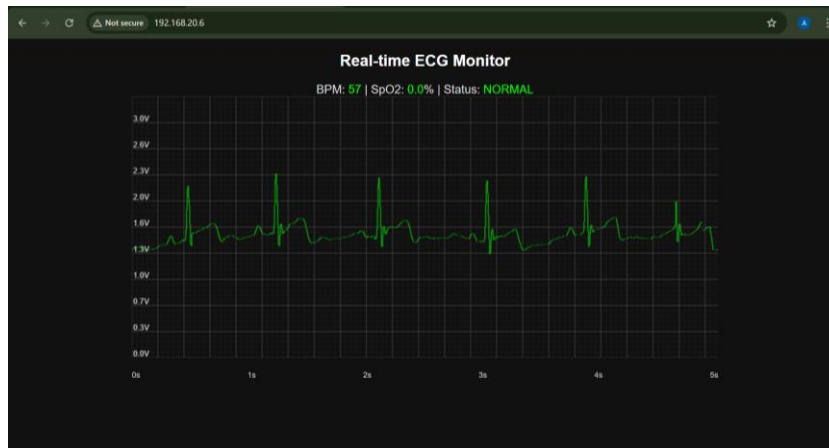
Sinyal ECG yang diperoleh dari sensor AD8232 cenderung tidak stabil karena mengandung noise, baik dari gerakan tubuh, gangguan listrik, maupun interferensi lingkungan. Untuk memperoleh sinyal yang lebih halus dan mudah dianalisis, sistem menggunakan metode penyaringan digital Moving Average. Metode ini bekerja dengan merata-ratakan sejumlah data terakhir (berukuran tetap) dari pembacaan sinyal ECG.

Filter ini diimplementasikan dalam program sebagai buffer data sepanjang lima titik, yang diperbarui setiap kali pembacaan baru masuk. Data yang ditampilkan ke LCD dan web server berasal dari hasil filter ini.



Gambar 6. Sinyal ECG Tanpa Filter

Gambar 6 menunjukkan sinyal ECG mentah yang diambil langsung dari pembacaan ADC tanpa melalui proses filter. Tampak jelas bahwa sinyal mengalami banyak fluktuasi tajam yang tidak membentuk pola gelombang jantung yang jelas. Kondisi ini menyulitkan proses deteksi puncak R karena adanya gangguan-gangguan tak teratur dalam sinyal.

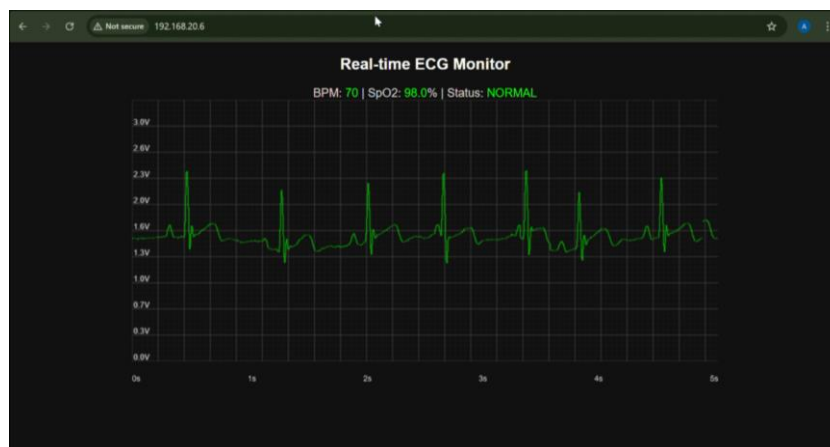


Gambar 7. Sinyal ECG Setelah Difilter

Pada Gambar 7 ditampilkan sinyal ECG setelah diterapkan filter Moving Average. Bentuk gelombang menjadi lebih halus dan menyerupai karakteristik gelombang jantung sesungguhnya. Puncak-puncak R menjadi lebih menonjol, dan fluktuasi tajam akibat noise berhasil ditekan.

3. Hasil BPM pada Kondisi Normal

Pada kondisi ini, sistem mendeteksi detak jantung dengan ritme yang teratur dan berada dalam rentang normal, yaitu antara 40 hingga 130 BPM. Puncak R muncul secara periodik dengan interval yang stabil. Sistem secara otomatis menampilkan status NORMAL berdasarkan hasil perhitungan BPM yang berada dalam kisaran tersebut.



Gambar 8. Tampilan Web Server Monitoring



Gambar 9. Tampilan LCD 16x2

Dari gambar 8 dan gambar 9 terlihat bahwa nilai BPM dan status yang ditampilkan adalah sama, membuktikan sinkronisasi data antar antarmuka.

Berdasarkan tampilan grafik pada Gambar 8, dapat dilihat bahwa dua puncak R terjadi pada waktu:

- Puncak R pertama: ~0,8 detik
- Puncak R kedua: ~1,66 detik
- Selisih waktu = 0,86 detik = 860 ms

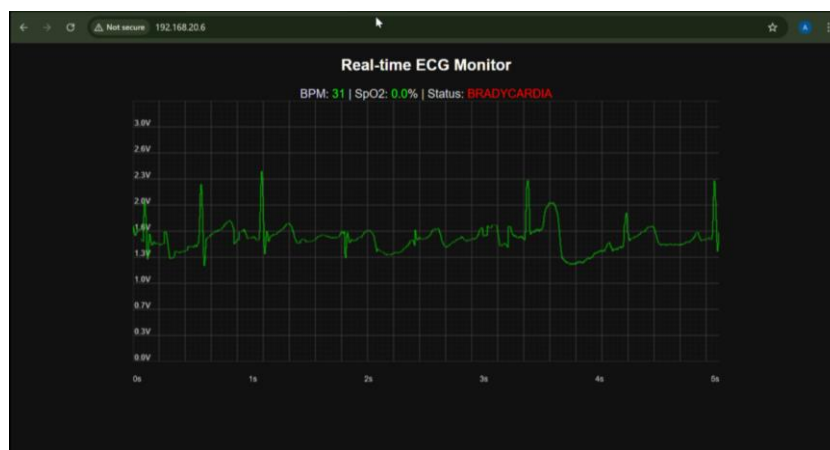
Dengan demikian:

$$\text{BPM} = \frac{60.000}{860} \approx 69,77 \approx 70 \text{ BPM}$$

Hasil perhitungan ini sesuai dengan nilai BPM: 70 yang ditampilkan oleh sistem pada LCD maupun web monitoring. Ini membuktikan bahwa sistem telah menghitung BPM berdasarkan deteksi puncak R secara akurat dan sesuai dengan rumus yang digunakan.

4. Hasil BPM pada Kondisi *Bradycardia*

Pada kondisi ini, sistem mendeteksi simulasi detak jantung yang berada di bawah rentang normal, yaitu di bawah 40 BPM. Pola gelombang menunjukkan jarak antar puncak R yang cukup panjang, yang merupakan ciri khas dari kondisi bradikardia. Sistem secara otomatis menampilkan status BRADYCARDIA berdasarkan hasil perhitungan BPM yang rendah.



Gambar 10. Tampilan Web Server Monitoring



Gambar 11. Tampilan LCD 16x2

Dari gambar 10 dan gambar 11 terlihat bahwa nilai BPM dan status yang ditampilkan adalah sama, membuktikan sinkronisasi data antar antarmuka.

Berdasarkan tampilan grafik pada Gambar 10, dapat dilihat bahwa dua puncak R terjadi pada waktu:

- Puncak R pertama: ~0,8 detik
- Puncak R kedua: ~2,75 detik
- Selisih waktu = 1,95 detik = 1950 ms

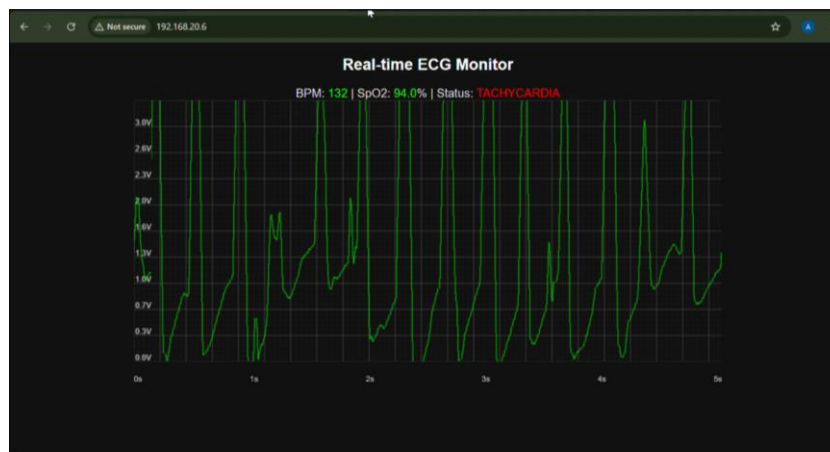
Dengan demikian:

$$\text{BPM} = \frac{60.000}{1950} \approx 30,77 \approx 31 \text{ BPM}$$

Hasil perhitungan ini sesuai dengan nilai BPM: 31 yang ditampilkan oleh sistem pada LCD maupun web monitoring. Ini membuktikan bahwa sistem telah menghitung BPM berdasarkan deteksi puncak R secara akurat dan sesuai dengan rumus yang digunakan.

5. Hasil BPM pada Kondisi *Tachycardia*

Pada kondisi ini, sistem mendeteksi simulasi detak jantung yang lebih cepat dari normal, dengan nilai BPM yang melebihi 130. Pola gelombang ECG menunjukkan jarak antar puncak R yang sangat rapat, yang menjadi karakteristik utama dari kondisi takikardia. Sistem secara otomatis menampilkan status TACHYCARDIA berdasarkan hasil perhitungan BPM yang tinggi.



Gambar 12. Tampilan Web Server Monitoring



Gambar 13. Tampilan LCD 16x2

Dari gambar 12 dan gambar 13 terlihat bahwa nilai BPM dan status yang ditampilkan adalah sama, membuktikan sinkronisasi data antar antarmuka.

Berdasarkan tampilan grafik pada Gambar 12, dapat dilihat bahwa dua puncak R terjadi pada waktu:

- Puncak R pertama: ~1,60 detik
- Puncak R kedua: ~2,06 detik
- Selisih waktu = 0,46 detik = 460 ms

Dengan demikian:

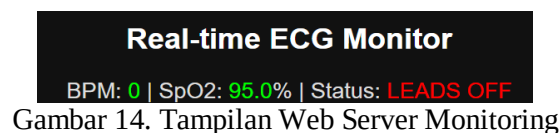
$$\text{BPM} = \frac{60.000}{460} \approx 130,43 \approx 132 \text{ BPM}$$

Hasil perhitungan ini sesuai dengan nilai BPM: 132 yang ditampilkan oleh sistem pada LCD maupun web monitoring. Ini membuktikan bahwa sistem telah menghitung BPM berdasarkan deteksi puncak R secara akurat dan sesuai dengan rumus yang digunakan.

6. Pembacaan SpO₂ dan Nadi dari MAX30100

Selain mendeteksi sinyal elektrokardiogram (ECG), sistem ini juga dilengkapi dengan sensor MAX30100 yang berfungsi untuk membaca kadar oksigen dalam darah (SpO₂). Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip fotopletismografi (PPG), yaitu dengan mendeteksi perubahan intensitas cahaya infra merah dan merah yang diserap oleh pembuluh darah kapiler di ujung jari. Perubahan ini digunakan untuk menghitung kadar saturasi oksigen dalam darah secara optik.

Sensor MAX30100 dihubungkan ke mikrokontroler ESP32 melalui komunikasi I2C dan diakses menggunakan library PulseOximeter. Nilai SpO₂ diperoleh secara langsung melalui fungsi `spo2Value = pox.getSpO2()`; dalam program utama. Nilai SpO₂ yang diperoleh dari sensor ditampilkan secara real-time melalui dua antarmuka, yaitu LCD 16x2 dan halaman web server lokal. Dengan cara ini, pengguna dapat memantau kondisi saturasi oksigen dalam darah secara langsung melalui perangkat keras maupun perangkat lunak.



Gambar 14. Tampilan Web Server Monitoring



Gambar 15. Tampilan LCD 16x2

Pada gambar 14 dan gambar 15 terlihat bahwa nilai SpO₂ yang ditampilkan adalah 95 sama antara LCD dan halaman web monitoring. Hal ini membuktikan bahwa data dari sensor berhasil dibaca dan dikirimkan secara real-time secara sinkron ke kedua tampilan.

Pembuktian dilakukan dengan cara menempelkan jari pengguna pada permukaan sensor. Ketika sensor mendeteksi kontak dengan baik, maka sistem menampilkan nilai SpO₂ yang dapat berubah sesuai kondisi tubuh pengguna. Nilai ini ditampilkan secara bersamaan baik di LCD maupun di halaman web.

Jika jari dilepaskan, sistem akan secara otomatis menampilkan nilai SpO₂: 0, yang menunjukkan bahwa tidak ada koneksi antara tubuh dengan sensor. Mekanisme ini menjadi validasi bahwa sistem mendeteksi kondisi sensor aktif atau tidak secara otomatis. Dengan tersedianya pembacaan SpO₂ secara langsung, sistem ini melengkapi fitur pemantauan kesehatan berbasis web dan mendukung tujuan pengembangan monitoring kesehatan secara *real-time*.

7. Evaluasi Sistem

Tabel 1 Hasil Evaluasi

No	Fitur Sistem	Deskripsi Hasil Pengujian	Status
1	Inisialisasi Sistem dan WiFi	ESP32 berhasil terhubung ke jaringan WiFi lokal dan semua sensor aktif	Berhasil
2	Pembacaan sinyal ECG	Sensor AD8232 berhasil membaca sinyal dan menampilkannya ke LCD serta web server	Berhasil

3	Filtering Moving Average	Sinyal ECG dapat difilter menggunakan moving average dan menghasilkan kurva yang halus	Berhasil
4	Deteksi R-Peak dan Hitung BPM	Sistem mampu menghitung BPM dari interval R-R dan menampilkan hasil di LCD dan Web	Berhasil
5	Klasifikasi Detak Jantung	Sistem mampu menampilkan diagnosis kondisi (Normal, Bradycardia, Tachycardia) otomatis	Berhasil
6	Pembacaan SpO ₂ dari MAX30100	Sensor mampu mendeteksi saturasi oksigen ketika jari ditempelkan	Berhasil
7	Sinkronisasi Web dan LCD	Tampilan nilai BPM, SpO ₂ , dan status jantung sama antara LCD dan Web Server	Berhasil
8	Saklar Tampilan IP / Status	Saklar berhasil mengubah tampilan LCD antara alamat IP dan status diagnosis	Berhasil

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan implementasi sistem monitoring kondisi jantung menggunakan sensor AD8232 dan sensor oksigen MAX30100 yang ditampilkan melalui LCD 16x2 dan web server lokal berbasis ESP32, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem berhasil menampilkan data denyut jantung (BPM), saturasi oksigen (SpO₂), serta status diagnosis kondisi jantung (NORMAL, BRADYCARDIA, atau TACHYCARDIA) secara real-time baik melalui tampilan LCD maupun melalui halaman web yang diakses dari jaringan lokal.
2. Penggunaan metode filter moving average lima titik pada sinyal ECG terbukti mampu meredam noise dan menghasilkan sinyal yang lebih halus dan stabil. Hal ini dibuktikan dengan perbandingan grafik antara sinyal sebelum dan sesudah difilter, serta melalui perhitungan BPM berdasarkan interval RR peak yang sesuai dengan hasil yang ditampilkan oleh sistem.
3. Sistem telah diujikan pada berbagai kondisi simulasi denyut jantung, dan menghasilkan nilai BPM yang sesuai dengan klasifikasi medis, yaitu:
 - BRADYCARDIA saat BPM < 40,
 - TACHYCARDIA saat BPM > 130,
 - NORMAL saat BPM berada di antara 40–130.
4. Fitur saklar tambahan berfungsi dengan baik dalam mengubah tampilan LCD antara alamat IP lokal dan status diagnosis, sehingga memudahkan pengguna mengakses sistem tanpa perlu membuka serial monitor.
5. Implementasi Server-Sent Events (SSE) pada web server lokal memungkinkan data dikirim dan ditampilkan ke halaman web secara real-time, dengan latensi yang rendah dan tampilan grafik ECG yang menyerupai alat medis profesional.

Jika dibandingkan dengan penelitian-penelitian sebelumnya, penelitian ini memiliki keunggulan pada aspek visualisasi ECG *real-time* yang ditampilkan melalui web server lokal, serta penggunaan filter digital untuk meningkatkan akurasi deteksi BPM. Hal ini membedakan penelitian ini dari karya terdahulu yang sebagian besar hanya menampilkan BPM atau SpO₂ tanpa mendukung grafik ECG yang sinkron di beberapa antarmuka sekaligus. Dengan demikian, penelitian ini memperkuat arah pengembangan IoT dalam bidang medis dengan menekankan pada deteksi dini serangan jantung melalui visualisasi sinyal *real-time*.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. A. Tsuroyya, K. N. Ramadhani, and E. O. Ramadhani, "Tinjauan Organ Jantung sebagai Pusat Kehidupan dalam Sistem Kardiovaskular," vol. 3, 2025.

-
- [2] A. Putra, Agung Sagung Mas Meiswaryasti *et al.*, “Edukasi Penangan Awal Pada Serangan Jantung,” *J. Pengabd. Magister Pendidik. IPA*, vol. 6, no. 4, pp. 4–7, 2023, [Online]. Available: <https://doi.org/10.29303/jpmipi.v6i4.5973>
- [3] R. C. Woodruff *et al.*, “Trends in Cardiovascular Disease Mortality Rates and Excess Deaths, 2010–2022,” *Am. J. Prev. Med.*, vol. 66, no. 4, pp. 582–589, 2024, doi: 10.1016/j.amepre.2023.11.009.
- [4] U. Pemantauan *et al.*, “Desain Sistem Internet of Things (IoT),” *KITEKTRO J. Online Tek. Elektro*, vol. 4, no. 1, pp. 31–39, 2019.
- [5] M. A. Adrian, M. R. Widiarto, and R. S. Kusumadiarti, “Health Monitoring System dengan Indikator Suhu Tubuh, Detak Jantung dan Saturasi Oksigen Berbasis Internet of Things (IoT),” *J. Petik*, vol. 7, no. 2, pp. 108–118, 2021, doi: 10.31980/jpetik.v7i2.1230.
- [6] Indra Kurniawan and L. Andraini, “Implementasi Internet of Things (Iot) Untuk Kesehatan,” vol. 2, no. 10, pp. 1–9, 2022.
- [7] F. T. Industri and U. I. Indonesia, “LANSIA YANG MENJALANI PERAWATAN RAWAT JALAN BERBASIS Internet of Things (IoT) LANSIA YANG MENJALANI PERAWATAN RAWAT JALAN BERBASIS Internet of Things (IoT),” 2024.
- [8] H. Taherdoost, “Wearable Healthcare and Continuous Vital Sign Monitoring with IoT Integration,” *Comput. Mater. Contin.*, vol. 81, no. 1, pp. 79–104, 2024, doi: 10.32604/cmc.2024.054378.
- [9] M. Szymczyk and P. Augustyniak, “Selected Energy Consumption Aspects of Sensor Data Transmission in Distributed Multi-Microcontroller Embedded Systems,” *Electron.*, vol. 11, no. 6, 2022, doi: 10.3390/electronics11060848.
- [10] Klaudia BR Semimbing, No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析Title. 2021.
- [11] U. Anisyah, *Sistem Pemantauan Detak Jantung Dan Saturasi Oksigen (Spo2) Menggunakan Sensor Max30100 Dengan Aplikasi Telegram Berbasis Internet of Things*. 2022.
- [12] Z. Al-Fa’izah, Y. . Rahayu, and N. Hikmah, “Digital Repository Universitas Jember Digital Repository Universitas Jember,” *Ef. Penyul. Gizi pada Kelompok 1000 HPK dalam Meningkatkan. Pengetah. dan Sikap Kesadaran Gizi*, vol. 3, no. 3, pp. 69–70, 2017.
- [13] A. J. P. Mardana, “Prototipe Sistem Deteksi Detak Jantung Manusia Berbasis Internet of Things,” p. 5, 2020.
- [14] M. O. H. M. Zuhdi, J. T. Elektro, F. Teknik, and U. I. Malang, “PERANCANGAN SISTEM MONITORING VITAL SIGN PADA TUBUH MANUSIA SECARA REAL TIME DENGAN METODE JANTUNG ” Dosen Pembimbing : M . Jasa Afroni , Bambang Minto Basuki , Teknik Elektro , Fakultas Teknik , Universitas Islam Malang,” 2022.