

Sistem Pemantauan Detak Jantung Berdasarkan *Beats Per Minute* (BPM) dan Usia Berbasis Web

Mukhsin¹, Ferry Kurniawan Margana², Denny Arief Rusamsi³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Komputer, Universitas Wiralodra

Jl. Ir. H. Djuanda Km.3 Indramayu 45213 Jawa Barat Indonesia

Email: mukhsin.ft@unwir.ac.id¹⁾, ferrymargana.ft@unwir.ac.id²⁾, denny.rusamsi@unwir.ac.id³⁾

ABSTRAK

Sistem pemantauan detak jantung merupakan salah satu solusi penting dalam dunia kesehatan untuk mendeteksi kondisi jantung secara dini. Penelitian ini merancang dan membangun sistem pemantauan detak jantung berbasis sensor AD8232 yang terhubung ke mikrokontroler ESP32. Data detak jantung berupa BPM (*Beats Per Minute*) dikirim secara real-time ke server menggunakan koneksi WiFi dan disimpan dalam database MySQL melalui platform web berbasis CodeIgniter 3. Sistem ini memungkinkan pengguna untuk memantau BPM melalui antarmuka web yang responsif, lengkap dengan grafik riwayat, klasifikasi berdasarkan kategori usia, serta peringatan otomatis jika nilai BPM berada di luar batas normal (bradikardia atau takikardia). Pengujian dilakukan pada berbagai kelompok usia, termasuk bayi, anak-anak, remaja, dewasa sehat, dan dewasa dengan riwayat jantung. Hasil menunjukkan bahwa selisih rata-rata antara BPM alat dan alat tensi berada dalam rentang 1–3 BPM, dengan akurasi mencapai 97%. Sistem ini dinilai cukup akurat dan konsisten dalam mendeteksi BPM secara sederhana, meskipun belum divalidasi secara klinis. Dengan fitur notifikasi otomatis dan visualisasi data yang informatif, sistem ini berpotensi digunakan untuk pemantauan kesehatan non-medis dan edukatif di lingkungan rumah atau komunitas.

Kata kunci: BPM, detak jantung, ESP32, sensor AD8232, sistem pemantauan.

ABSTRACT

Heart rate monitoring systems are an important solution in the healthcare world for early detection of heart conditions. This study designed and built a heart rate monitoring system based on an AD8232 sensor connected to an ESP32 microcontroller. Heart rate data in the form of BPM (Beats Per Minute) is sent in real-time to a server using a WiFi connection and stored in a MySQL database via a CodeIgniter 3-based web platform. This system allows users to monitor BPM through a responsive web interface, complete with historical graphs, classification by age category, and automatic alerts if the BPM value is outside the normal range (bradycardia or tachycardia). Tests were conducted on various age groups, including infants, children, adolescents, healthy adults, and adults with a history of heart disease. The results showed that the average difference between the BPM of the device and the blood pressure monitor was within the range of 1–3 BPM, with an accuracy of 97%. This system is considered quite accurate and consistent in detecting BPM simply, although it has not been clinically validated. With automatic notification features and informative data visualization, this system has the potential to be used for non-medical and educational health monitoring in home or community settings.

Keywords: AD8232 sensor, BPM, ESP32, heart rate, monitoring system.

Pendahuluan

Jantung merupakan organ vital yang harus selalu dijaga kesehatannya. Tidak hanya jantung, suhu tubuh juga penting untuk mengontrol kondisi tubuh dengan lingkungan dan mengetahui gejala penyakit serius. Denyut jantung dan suhu tubuh merupakan parameter yang sangat penting untuk mengetahui kondisi kesehatan seseorang. Pentingnya pemantauan kedua parameter tersebut sehingga diperlukan alat pengukur yang mudah digunakan dan dibawa sehingga dapat selalu memantau nilai kedua parameter tersebut dalam batas normal (Gamara & Hendryani, 2019).

Kesehatan merupakan bagian yang penting bagi manusia karena dengan sehat kita dapat melakukan berbagai kegiatan dan berpikir dengan baik. Salah satu kesehatan organ tubuh yang harus kita jaga adalah jantung. Jantung adalah organ tubuh manusia yang memiliki fungsi vital, kelainan kecil bisa berpengaruh besar pada kinerja tubuh kita (Udiyo Basuki, 2020). Semakin bertambahnya usia seseorang, akan berpengaruh pada fungsi jantung itu sendiri. Jantung bekerja secara terus menerus, sehingga akan berpengaruh pada kemampuan fungsi jantung dan akan mengalami penurunan. Jantung bekerja secara berulang dan berlangsung secara terus menerus yang disebut juga sebagai denyut jantung (Jarot Dian, 2021). Detak jantung dan saturasi oksigen dalam darah yang normal membantu darah dalam mengangkut oksigen ke seluruh tubuh sehingga kinerja jantung tidak mudah kelelahan. Normalnya, kecepatan detak jantung orang dewasa saat beristirahat berkisar 60 - 100 kali per menit (Nurahman, et al., 2021).

Detak jantung BPM (*Beats Per Minute*) merupakan parameter untuk menunjukkan kondisi jantung, dan cara untuk mengetahui kondisi jantung adalah dengan mengetahui frekuensi detak jantung. Kasus kematian sering terjadi pada bidang kesehatan atau medis. Salah satunya adalah terlambatnya dalam mengetahui kondisi tubuh. Kondisi tubuh sering dianggap normal oleh seseorang padahal dirinya dalam kondisi yang tidak baik, sehingga seringkali diabaikan. Banyak yang tidak mengetahui bagaimana kondisi tubuh mereka dan berakibat kelalaian dalam melakukan pemeriksaan medis dan kesehatan (Annisa, 2018).

Berbagai penelitian dan pengembangan sistem yang digunakan untuk kebutuhan monitoring aktivitas jantung yang dilakukan setiap hari, seperti yang dilakukan oleh Ria Hariri beserta rekan yang melakukan perancangan sistem alat monitoring aktivitas detak jantung menggunakan sensor AD8232 dengan menggunakan modul NodeMCU ESP8266 yang mendukung sistem internet of things (IoT). Monitoring dilakukan dalam mengetahui nilai BPM yang merupakan parameter untuk mengetahui kondisi jantung, hasil perekaman dapat diketahui langsung yang kemudian juga disimpan pada sebuah aplikasi WEB yang dikirimkan melalui media internet yang dikenal dengan berbasis IoT (Ria Hariri, 2019).

Penelitian yang dilakukan oleh Muthmainnah dan rekan yang mengembangkan alat pengukur detak jantung *non-invasive* dengan metode photoplethysmograph berbasis IoT, Modul IoT yang digunakan adalah ESP8266, Sensor detak jantung yang digunakan adalah sensor MAX30102 sebagai inputan, Aplikasi Blynk dipilih untuk menampilkan hasil pengukuran yang ditampilkan pada *smartphone*, alat ini dapat menghitung detak jantung dengan menempelkan permukaan ujung jari selama sepuluh detik, gelombang cahaya yang dipancarkan oleh sumber sensor akan mengenai permukaan jari, perubahan volume darah menyebabkan perubahan intensitas cahaya sesuai yang diterima oleh sensor (Muthmainnah & Tabriawan, 2022).

Penelitian lain yang dilakukan oleh Beni Mustiko Aji dan rekan yang membuat aplikasi monitoring detak jantung dengan sensor max30102 untuk memonitoring detak jantung menggunakan algoritma gaussian naive bayes yang diharapkan mampu membantu pemeriksaan detak jantung pada lansia, Aplikasi ini

memungkinkan pemantauan detak jantung secara terus menerus. Data yang dikirim ke firebase akan dibaca, dikalkulasi, dan dilakukan klasifikasi kondisi detak jantung menggunakan algoritma gaussian naive bayes lalu ditampilkan ke aplikasi, sehingga pengguna dapat mengetahui hasil pengukuran rata-rata detak jantung per menit dan kondisinya (Aji & Utami, 2023).

Dari beberapa banyak penelitian yang telah dilakukan, beberapa kendala masih ditemukan pada sistem yang dikembangkan sebelumnya dimana memiliki tingkat akurasi yang belum maksimal jika dibandingkan dengan alat baku yang telah digunakan. Oleh karena itu, pada penelitian ini, dikembangkan sistem monitoring detak jantung yang memanfaatkan sensor AD8232 untuk menangkap sinyal EKG, kemudian diproses oleh ESP32 DevKit V1 untuk menghitung BPM. ESP32 merupakan sebuah modul mikrokontroler dengan fitur mode ganda yakni WiFi dan bluetooth yang digunakan untuk mempermudah pengguna dalam membuat berbagai sistem aplikasi dan proyek berbasis IoT (*Internet of Things*). Pada ESP32 terdapat inti CPU serta Wi-Fi yang lebih cepat, GPIO yang lebih banyak, dan dukungan terhadap Bluetooth 4.2, serta konsumsi daya yang rendah, sehingga sangat cocok untuk membuat beberapa proyek-proyek elektronika berbasis *Internet of Things* (Arief Budijanto, 2021).

Data BPM yang diperoleh dari ESP32 kemudian dikirimkan secara berkala ke sebuah *web server* lokal menggunakan protokol HTTP. *Web server* dibangun menggunakan *framework CodeIgniter 3* untuk memproses data, menyimpan ke *database* MySQL, serta menampilkan informasi kepada pengguna melalui antarmuka yang ramah pengguna dan informatif atau disebut dengan konsep IoT. Menurut beberapa penelitian *Internet of Things* sudah banyak diterapkan di beberapa bidang keilmuan dan industri, seperti dalam bidang ilmu kesehatan, informatika, geografis dan beberapa bidang ilmu lain, berikut beberapa penelitian yang sudah dilakukan. Melakukan riset tentang monitoring kesehatan pasien menggunakan *wireless* sensor yang di pasang pada tubuh pasien, beberapa hal yang dipantau adalah psikologi pasien, tekanan darah, detak jantung semua kegiatan tersebut dilakukan secara *remote* melalui peralatan yang terhubung ke internet dengan tetap memperhatikan kerahasiaan data pasien (Junaidi, 2015).

Untuk memperoleh hasil yang informatif yang ditampilkan melalui webserver, pengguna dapat memilih kategori usia seperti bayi, anak-anak, remaja, dan dewasa untuk menyesuaikan rentang BPM normal yang dijadikan acuan. Sistem juga dilengkapi fitur *alert* otomatis apabila BPM yang terdeteksi melebihi atau di bawah batas normal, berdasarkan usia yang dipilih. Hal ini bertujuan untuk memberi peringatan dini kepada pengguna mengenai kemungkinan kondisi jantung yang tidak normal.

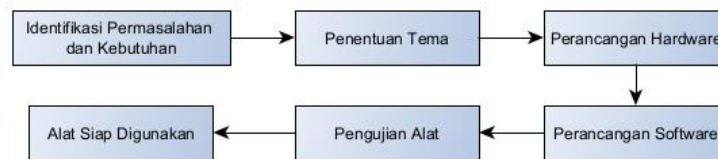
Dengan menggabungkan perangkat keras dan perangkat lunak dalam satu sistem terpadu, proyek ini diharapkan dapat menjadi solusi awal yang murah, fleksibel, dan mudah dikembangkan untuk keperluan monitoring kesehatan jantung berbasis teknologi *IoT*. Sistem ini tidak hanya bermanfaat dalam konteks individu, tetapi juga berpotensi diterapkan dalam layanan kesehatan primer, ruang praktik klinik, rumah sakit kecil, hingga keperluan edukasi dan penelitian.

Metode Penelitian

Prosedur Project

Pemilihan proyek ini dikarenakan memiliki kemampuan untuk memberikan peringatan dini terhadap kondisi detak jantung yang tidak normal, yang sangat penting dalam mencegah risiko kesehatan seperti pingsan, serangan jantung, atau

bahkan kematian mendadak. Dengan adanya alat ini, pengguna dapat memantau detak jantung mereka secara *real-time* di mana saja selama terhubung dengan jaringan WiFi, dan dapat langsung mengetahui apakah denyut jantung berada dalam rentang normal berdasarkan kategori usia yang dipilih. Sistem ini memungkinkan individu atau keluarga untuk lebih waspada terhadap gejala awal gangguan jantung, melakukan pemeriksaan lebih lanjut ke tenaga medis, serta membantu tenaga kesehatan dalam pemantauan pasien dari jarak jauh. Dengan alur pembuatan proyek ini:

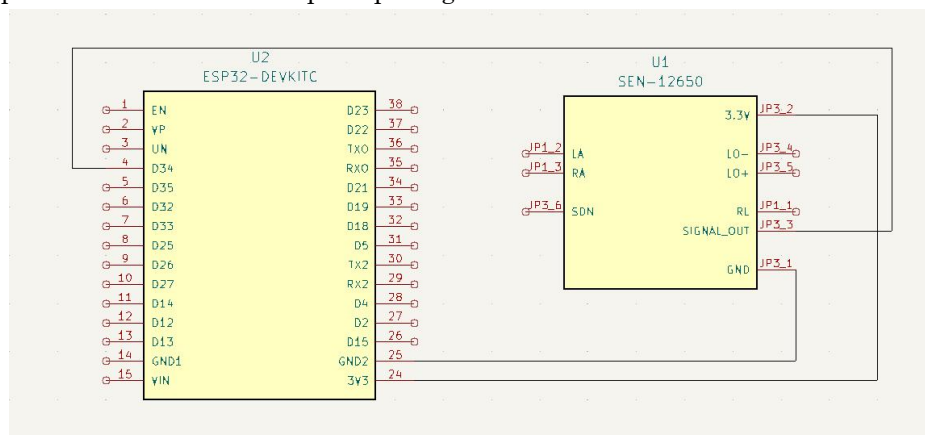


Gambar 1. Prosedur project

Perancangan Hardware

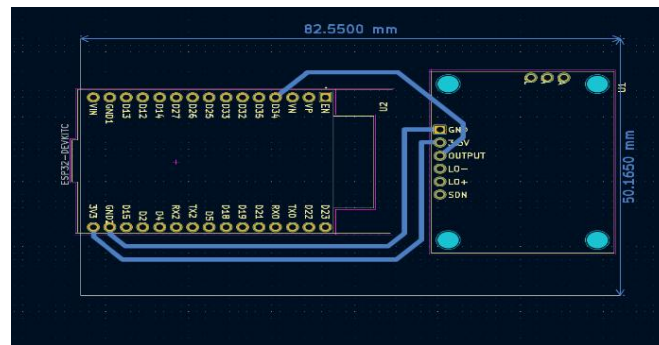
1. Desain Skematik

Pada inti skematik, modul AD8232 berfungsi sebagai sensor pendeteksi sinyal *elektrokardiografi* (ECG). Sensor ini memiliki tiga input elektroda — RA (kanan), LA (kiri), dan RL (*ground*) — yang ditempelkan ke tubuh pengguna. Keluaran sinyal dari AD8232 berupa sinyal analog yang kemudian dikirim ke pin ADC (*Analog to Digital Converter*) pada board ESP32. Dalam proyek ini, pin D34 (GPIO34) dipilih karena merupakan pin *input-only* dan cocok untuk pembacaan sinyal analog. Tampilan desain skematik seperti pada gambar 2 dibawah ini :



Gambar 2. Skematik rangkaian

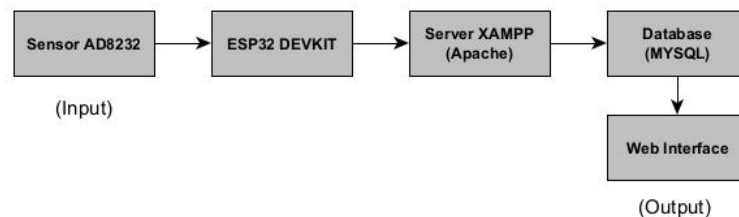
Sesudah merangkai skematik, selanjutnya dilakukan pembuatan *footprint* desain PCB. Desain PCB dapat dilihat di Gambar 3



Gambar 3. Desain PCB

2. Blok Diagram

Blok diagram menggambarkan alur kerja sistem secara keseluruhan dari *input* hingga *output* dalam bentuk blok-blok fungsional. Sistem ini dibangun untuk mendeteksi detak jantung seseorang menggunakan sensor ECG AD8232, mengolah data menggunakan mikrokontroler ESP32, dan menampilkan hasil secara *real-time* ke antarmuka web. Gambar 4 di bawah ini adalah blok diagram dari rancangan proyek ini :



Gambar 4. Blok diagram sistem

Sistem diawali dengan sensor AD8232 yang berfungsi sebagai pencatat sinyal detak jantung (sinyal EKG) dari tubuh pengguna. Sensor ini mendeteksi sinyal listrik dari aktivitas jantung melalui elektroda tempel dan mengubahnya menjadi sinyal analog. Sinyal analog tersebut kemudian dikirimkan ke ESP32 DevKit V1 melalui pin input analog. Setelah diterima oleh ESP32, sinyal diproses melalui algoritma penyaringan dan deteksi denyut jantung untuk menghasilkan data dalam satuan BPM (*Beats Per Minute*). Data BPM yang telah dikalibrasi ini akan dikirimkan secara nirkabel melalui koneksi Wi-Fi ke server lokal. ESP32 akan mengakses *endpoint* API berbasis PHP dan *CodeIgniter* 3 untuk mengirim data ke *database* MySQL, sekaligus menyimpan data usia dan waktu pencatatan.

Setelah data tersimpan, web interface monitoring akan mengambil data tersebut menggunakan *JavaScript* (AJAX) secara berkala dan menampilkannya dalam bentuk grafik dan tabel riwayat. Pengguna juga dapat memilih kelompok usia (balita, anak, remaja, dewasa) yang akan mempengaruhi ambang normal detak jantung yang ditampilkan. Sistem ini juga memberikan notifikasi (*toast*) ketika BPM berada di luar batas normal sebagai indikasi awal gangguan kesehatan.

3. Pengujian Tiap Komponen

Pengujian tiap komponen terhadap ESP32 DevKit V1 dibutuhkan untuk melihat sensitivitas dan akurasi tiap komponen supaya ketika sudah dirangkai

menjadi alat yang dapat menghasilkan performa yang baik. Responsivitas Sensor AD8232 dengan ESP32 sesuai harapan yang dibutuhkan, ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Interface sensor AD8232 dengan ESP32 DevKit V1

Tabel 1. Interface sensor AD8232 dengan ESP32 DevKit V1

Sensor AD8232	ESP32 DevKit V1
GND	GND
VCC	3.3V
Output	GPIO34 (D34)

Perancangan Sistem

Proses selanjutnya yaitu perancangan sistem dengan membuat desain sistem yang menggambarkan hasil dari sistem dalam bentuk desain *flowchart*, ditunjukkan Gambar 6.

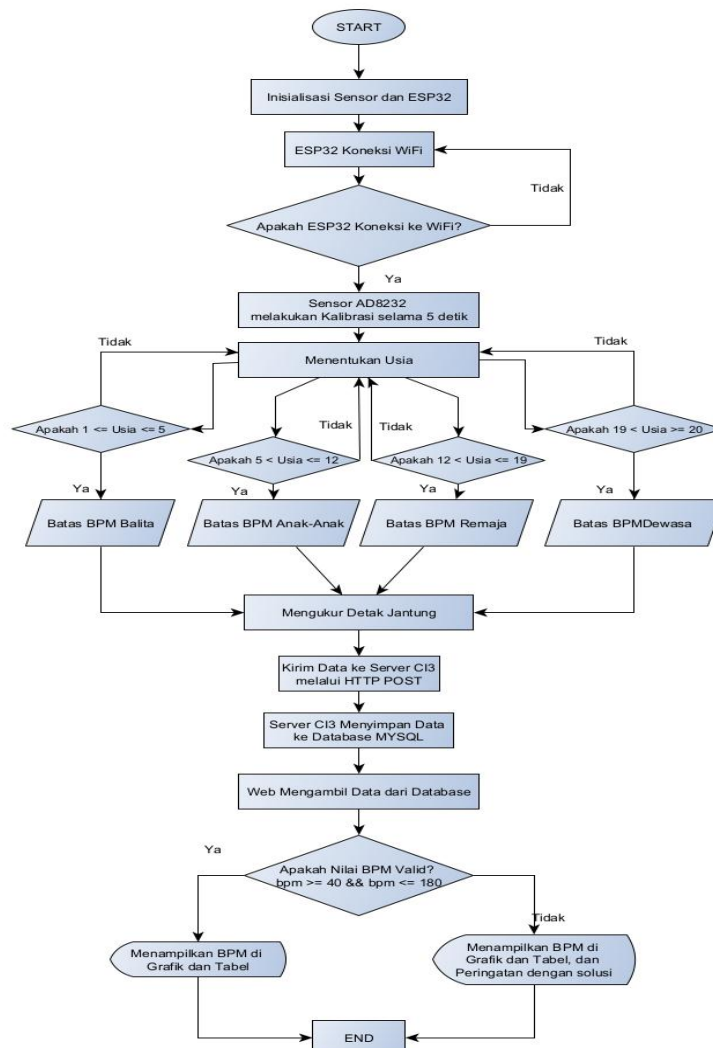
Hasil dan Pembahasan

Klasifikasi Detak Jantung (BPM) berdasarkan Usia

Untuk klasifikasi detak jantung normal atau tidak normal nya disini peneliti menggunakan data berdasarkan usia karena disetiap usia untuk detak jantung normal atau tidak normalnya berbeda-beda. Untuk klasifikasi nya dapat di dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi BPM berdasarkan usia

Kategori Usia	Normal (BPM)	Bradikardia (Rendah)	Takikardia (Tinggi)
Balita (1-5 thn)	100–160 BPM	< 100 BPM	> 160 BPM
Anak-anak (6-12 thn)	70–120 BPM	< 70 BPM	> 120 BPM
Remaja (13-19 thn)	60–100 BPM	< 60 BPM	> 100 BPM
Dewasa (20+ thn)	60–100 BPM	< 60 BPM	> 100 BPM



Gambar 6. Flowchart sistem

Spesifikasi Alat Monitoring Jantung

Penelitian ini memiliki tujuan untuk membuat suatu alat monitoring detak jantung. spesifikasi alat ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi alat monitoring jantung

Spesifikasi	Keterangan
Mikrokontroler	ESP32 dev kit V1
Tegangan operasi	3.3V
Tegangan input	5V – 2A
Sensor oximeter dan detak jantung	AD8232

Alat ini menggunakan sebuah ambang batas (*threshold*) yang dihitung dari nilai rata-rata sinyal maksimum dan minimum. Cara ini membantu membedakan mana sinyal yang benar-benar merupakan puncak detak jantung (*R-peak*) dan mana yang hanya gangguan (*noise*) (Clifford et al., 2006) dengan rumus :

$$Threshold = \frac{Sinyal Maksimum + Sinyal Minimum}{2} \quad (1)$$

Setelah puncak detak terdeteksi, langkah berikutnya adalah menghitung interval antar detak jantung (*R-R interval*). Interval ini kemudian digunakan untuk mendapatkan nilai *Beats Per Minute* (BPM) dengan rumus:

$$BPM = \frac{60.000}{Interval\ Detak\ (ms)} \quad (2)$$

Dengan kata lain, BPM dihitung dengan cara membagi jumlah milidetik dalam satu menit (60.000 ms) dengan rata-rata jarak waktu antar detak. Rumus sederhana ini membuat perubahan kecil pada interval detak dapat langsung terlihat dalam bentuk BPM, sehingga memudahkan analisis kondisi jantung seseorang secara real time (Clifford et al., 2006).

Hasil Pengujian Alat

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi akurasi alat monitoring detak jantung berbasis ESP32 dan sensor AD8232. Perbandingan dilakukan antara BPM dari alat (hasil pembacaan sensor) dengan BPM dari tensimeter digital sebagai alat ukur pembanding. Subjek pengujian berasal dari berbagai kategori usia: bayi, anak-anak, remaja, dewasa sehat, serta dewasa dengan riwayat penyakit jantung.

Setiap subjek dilakukan pengukuran sebanyak tiga kali agar hasil lebih akurat. Hasilnya dicatat dan dihitung nilai selisih serta rata-rata BPM untuk masing-masing metode. Tabel dibawah ini adalah hasil pengujian yang sudah kita ambil, dengan keterangan :

- B-n = Balita (1 – 5 Tahun)
- A-n = Anak-Anak (6 – 12 Tahun)
- R-n = Remaja (13 – 19 Tahun)
- D-n = Dewasa (20 Tahun ke atas)

Tabel 4. Pasien sehat dan riwayat jantung balita

Nama	BPM Alat			BPM Tensi			Kategori	Selisih Rata-rata
	1	2	3	1	2	3		
B-1	130	125	122	132	126	128	Normal	3.3
B-2	115	117	113	118	115	116	Normal	2.3
B-3	105	107	108	110	109	106	Normal	2.0
B-4	85	91	88	93	86	90	Bradikardia	2.3
B-5	94	96	92	100	95	96	Bradikardia	2.0

Tiga subjek bayi menunjukkan BPM dalam rentang normal (100–160 bpm), sedangkan dua lainnya di bawah ambang batas dan dikategorikan sebagai bradikardia. Selisih BPM antara alat dan tensi umumnya berada di bawah 5 bpm yang menunjukkan akurasi cukup baik. Sebagian besar anak umur 6-12 tahun memiliki BPM normal (70–120 bpm), namun dua subjek menunjukkan indikasi *bradikardia* dan *takikardia*. Rata-rata selisih menunjukkan alat memiliki tingkat keakuratan relatif tinggi terhadap tensimeter.

Tabel 5. Pasien sehat dan riwayat jantung anak

Nama	BPM Alat			BPM Tensi			Kategori	Selisih Rata-rata
	1	2	3	1	2	3		
A-1	95	98	91	93	97	95	Normal	1.7
A-2	85	80	83	82	85	81	Normal	3.7
A-3	110	115	108	111	117	110	Normal	1.7
A-4	60	63	58	65	66	64	Bradikardia	2.3
A-5	128	125	130	132	128	129	Takikardia	2.7

Tabel 6. Pasien sehat dan riwayat jantung remaja

Nama	BPM Alat			BPM Tensi			Kategori	Selisih Rata-rata
	1	2	3	1	2	3		
R-1	72	74	70	73	76	71	Normal	2.3
R-2	85	83	88	86	84	89	Normal	1.7
R-3	90	87	91	94	91	89	Normal	1.7
R-4	55	52	50	57	53	51	Bradikardia	1.7
R-5	102	106	108	102	101	106	Takikardia	1.3

Rata-rata BPM dari alat konsisten dengan tensi. Mayoritas remaja masuk kategori normal, dan terdapat satu subjek dengan indikasi *takikardia*, dan satu subjek dengan indikasi *bradikardia*. Selisih data menunjukkan sistem mampu menangkap variasi ritme jantung dengan akurat.

Tabel 7. Pasien sehat dan riwayat jantung dewasa

Nama	BPM Alat			BPM Tensi			Kategori	Nama Penyakit	Selisih Rata-rata
	1	2	3	1	2	3			
D-1	61	51	59	64	54	60	Normal	-	2.33
D-2	87	95	86	90	92	86	Normal	-	2
D-3	97	83	81	101	89	84	Normal	-	4.3
D-4	101	105	99	104	98	103	Takikardia	<i>Congestive Heart Failure</i>	5.3
D-5	88	96	99	98	90	96	Normal	<i>Congestive Heart Failure</i>	6.3
D-6	101	104	96	106	100	98	Takikardia	<i>Congestive Heart Failure</i>	3.6

Tingkat akurasi BPM antara alat dan tensimeter pada orang dewasa sehat cukup baik. Subjek dengan riwayat *Congestive Heart Failure* (CHF) menunjukkan BPM relatif tinggi. Alat mampu menangkap BPM abnormal dengan selisih rendah, menandakan akurasi tinggi yang penting untuk pemantauan penyakit jantung.

Akurasi dan Konsistensi Alat AD8232

Berdasarkan pengujian pada kelompok dewasa, sensor AD8232 yang terintegrasi dengan ESP32 DevKit V1 menunjukkan akurasi dan konsistensi yang cukup tinggi dalam mengukur detak jantung (BPM) jika dibandingkan dengan alat tensi digital sebagai alat referensi. Pada data dewasa sehat yaitu subjek D-1, hasil pengukuran BPM menggunakan alat adalah 61, 51, dan 59, sedangkan menggunakan alat tensimeter menghasilkan 64, 54, dan 60. Selisih rata-rata antara kedua metode sebesar 2.3 BPM, menunjukkan akurasi yang masih dalam batas toleransi ± 5 BPM.

Subjek lain seperti D-2 memperoleh hasil alat 87, 95, 86 dibandingkan tensimeter 90, 92, 86, dengan selisih rata-rata hanya 2 BPM. Ini menunjukkan bahwa alat dapat digunakan dengan sangat baik untuk kebutuhan pemantauan detak jantung sederhana pada orang sehat. Begitu pula pada subjek D-3, alat mencatat BPM 97, 83, 81 sementara tensi menunjukkan 101, 89, 84, menghasilkan selisih rata-rata 4.3 BPM. Nilai ini masih tergolong akurat dan menunjukkan konsistensi antar pembacaan. Secara keseluruhan, rata-rata akurasi pengukuran pada kelompok dewasa sehat berada di kisaran 97%, memperlihatkan bahwa sensor AD8232 mampu mengikuti irama jantung dengan cukup presisi.

Untuk pasien dengan *Congestive Heart Failure* (CHF), alat tetap menunjukkan kemampuan deteksi BPM yang stabil meskipun terdapat gangguan ritme jantung. Subjek D-4 (68 tahun) mencatat BPM alat 101, 105, 99, sedangkan tensimeter menunjukkan 104, 98, 103, dengan selisih rata-rata 5.3 BPM. Ini menunjukkan bahwa alat tetap responsif dan akurat bahkan pada pasien dengan irama jantung yang tidak normal. Pada subjek D-5 (53 tahun), BPM alat 88, 96, 99 dibandingkan tensi 98, 90, 99, menghasilkan selisih rata-rata 6.3 BPM. Subjek D-6 (61 tahun) menunjukkan nilai 101, 104, 96 (alat) dan 106, 100, 98 (tensi) dengan selisih rata-rata 6.3 BPM pula.

Nilai selisih ini menunjukkan bahwa alat mampu digunakan untuk mendeteksi kondisi jantung abnormal dengan cukup akurat, sehingga sangat potensial diterapkan sebagai alat monitoring awal di rumah bagi pasien risiko tinggi.

Rata-rata, Standar Deviasi, dan Akurasi

Dalam penelitian ini, perhitungan rata-rata $\bar{x}$, standar deviasi (s), dan akurasi (%) digunakan untuk mengevaluasi kinerja sensor AD8232 dalam mengukur detak jantung dibandingkan dengan alat acuan (tensimeter digital). Rumus rata rata BPM alat.

1. Rumus rata-rata :

Rumus ini digunakan untuk menghitung rata-rata BPM, baik dari sensor AD8232 maupun dari alat tensi sebagai pembanding (Muthmainnah & Tabriawan, 2022).

$$\text{Rata rata} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3)$$

Dimana:

x_i adalah nilai BPM ke- i dari hasil pengukuran

n adalah jumlah data pengukuran

2. Rumus selisih rata-rata BPM

Selisih rata-rata dihitung menggunakan konsep *Mean Absolute Error* (MAE), yang merupakan rata-rata dari nilai absolut selisih antara dua pengukuran:

$$\text{Selisih rata rata} = \frac{|x_i - y_i|}{n} \quad (4)$$

Dimana :

x_i adalah BPM dari alat AD8232

y_i adalah BPM dari alat tensi (pembanding)

MAE dipilih karena lebih mudah diinterpretasikan dibandingkan *Root Mean Square Error* (RMSE), khususnya untuk perbedaan yang relatif kecil (Willmott & Matsuura, 2005).

3. Rumus akurasi (%)

Untuk mengetahui tingkat akurasi sensor AD8232 dalam mendeteksi detak jantung, dilakukan perbandingan dengan alat konvensional berupa tensimeter digital. Rumus akurasi yang digunakan mengacu pada metode perhitungan error relatif, yaitu:

$$Akurasi (\%) = 100\% - \left| \frac{hasil\ alat\ tensi - hasil\ alat\ AD8232}{hasil\ alat\ tensi} \right| \times 100\% \quad (5)$$

Rumus ini digunakan untuk menghitung seberapa dekat hasil pengukuran alat rancangan (sensor AD8232 + ESP32) terhadap alat pembanding standar medis (tensimeter digital).

Dengan rumus tersebut, semakin kecil perbedaan antara hasil alat AD8232 dengan hasil alat tensi, maka nilai akurasi yang diperoleh akan semakin tinggi. Apabila hasil pengukuran identik, maka akurasi akan mencapai 100% (Muthmainnah & Tabriawan, 2022).

Tabel 8. Hasil rata-rata dan akurasi alat

Keterangan	Detak Jantung (BPM)			
	Dewasa Sehat		Dewasa dengan Riwayat Jantung	
	BPM Alat	BPM Tensi	BPM Alat	BPM Tensi
Rata - Rata	77.78	80.0	98.7	99.2
Akurasi	97.2%		99.4%	

Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan terhadap berbagai kelompok usia, dapat disimpulkan bahwa alat monitoring detak jantung berbasis ESP32 dan sensor AD8232 mampu mendeteksi denyut jantung (BPM) dengan akurasi yang cukup baik. Alat ini berhasil mengirim data secara *real-time* ke *server* berbasis web dan menampilkan informasi BPM dalam bentuk grafik, tabel, dan notifikasi otomatis sesuai klasifikasi usia yang dipilih. Data yang diterima dari alat berhasil ditampilkan secara interaktif melalui antarmuka web berbasis *CodeIgniter*, yang mempermudah pengguna untuk memantau kondisi detak jantung melalui grafik dan tabel riwayat pengukuran.

Sistem berhasil menyimpan data BPM ke dalam *database* MySQL, sehingga memungkinkan pelacakan data historis dan analisis perkembangan detak jantung dari waktu ke waktu. Sistem juga berhasil memberikan peringatan visual dalam

bentuk notifikasi (*toast*) apabila BPM di luar ambang normal sesuai usia, seperti deteksi *bradikardia* dan *takikardia*. Fitur ini menambah nilai fungsional dari alat sebagai sistem pemantauan dini yang mudah diakses dan digunakan oleh pengguna umum.

Penelitian selanjutnya direkomendasikan dikembangkan untuk memantau parameter kesehatan lainnya seperti saturasi oksigen (SpO_2), tekanan darah, atau EKG lengkap guna memperluas fungsionalitas sistem. Meskipun sistem saat ini tidak memberikan diagnosis medis, pengembangan lebih lanjut bisa diarahkan pada integrasi dengan sistem EHR (*Electronic Health Record*) atau konsultasi telemedis untuk membantu tenaga medis menganalisis data pasien.

Daftar Pustaka

- Aji, B. M. & Utami, W. S. (2023). Aplikasi Monitoring Detak Jantung Menggunakan Sensor MAX30102 dan Algoritma Guassian Naïve Bayes, *Jurnal Perangkat Lunak*, 5(3), 396-410.
- Annisa, M. S. (2018). "Heartbeats Detector" . *Jurnal Autocracy*, 31-45.
- Arief Budijanto, S. W. (2021). *Interfacing Esp32*. Malang: Media Pustaka Komputer.
- Clifford, G. D., Azuaje, F., & McSharry, P. E. (2006). *Advanced methods and tools for ECG data analysis*. Artech House.
- Gamara, A., & Hendryani, A. (2019). Rancang Bangun Alat Monitor Detak Jantung Dan Suhu Tubuh Berbasis Android. *Jurnal Sehat Mandiri*, 14(2), 1-9.
- Jarot Dian, F. D. (2021). Sistem Monitoring Detak Jantung Untuk Mendeteksi Tingkat Kesehatan Jantung Berbasis Internet Of Things Menggunakan Android. *Jupiter*.
- Junaidi, A. (2015). Internet Of Things, Sejarah, Teknologi Dan Penerapannya : Review. *Jurnal Ilmiah Teknologi Infomasi Terapan*, 1(3).
- Muthmainnah, M., & Tabriawan, D. B. (2022). Prototipe alat ukur detak jantung menggunakan sensor MAX30102 berbasis Internet of Things (IoT) ESP8266 dan Blynk. *JISKA (Jurnal Informatika Sunan Kalijaga)*, 7(3), 163-176.
- Nurahman, M. A., Sukowati, A. I. ., & Situmeang, A. . (2021). Rancang Bangun Alat Pendeteksi Detak Jantung Dan Saturasi Oksigen Dalam Darah Berbasis Arduino Mega 2560: Array. *Jurnal Ilmiah Komputasi*, 20(1), 59–68.
- Ria Hariri, L. H. (2019). Sistem Monitoring Detak Jantung Menggunakan Sensor Ad8232 Berbasis Internet Of Things. *Jurnal Telekomunikasi Dan Komputer*, 164-172.
- Udiyo Basuki (2020), "Merunut Konstitusionalisme Hak Atas Pelayanan Kesehatan Sebagai Hakasasi Manusia", Vol. 1, No. 1 : *Jurnal Hukum Caraka Justitia*, Yogyakarta, Indonesia.
- Willmott, C. J., & Matsuura, K. (2005). Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Climate Research*, 30(1), 79–82.