TUGAS AKHIR

PROTOTIPE SISTEM MONITORING HEART ATTACK MENGGUNAKAN SENSOR MAX30102 BERBASIS IOT

Diajukan Untuk Memenuhi Syarat memperoleh Gelar Sarjana Pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Disusun Oleh:

RYAN ALHADIAN

2207220063

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH

SUMATERA UTARA

MEDAN

2026

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Ryan Alhadian

NPM : 2207220063

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : PROTOTIPE SISTEM MONITORING HEART ATTACK MENGGUNAKAN SENSOR MAX30102 BERBASIS IOT

Bidang ilmu : Sistem Kendali

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 27 Agustus 2026

Mengetahui dan menyetujui:
Dosen Pembimbing I

Rahmat Fauzi Siregar S.T., M.T

Dosen Pembanding I / Penguji

Dr. Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T

Dosen Pembanding II / Peguji

Noorly Evalina, S.T., M.T

Program Studi Teknik Elektro
Ketua

Dr. Elvy Sahnur Nasution S.T., M.Pd

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap	: Ryan Alhadian
Tempat /Tanggal Lahir	: Tebing Tinggi, 15 April 2004
NPM	: 2207220063
Fakultas	: Teknik
Program Studi	: Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

"PROTOTIPE SISTEM MONITORING HEART ATTACK MENGGUNAKAN SENSOR MAX30102 BERBASIS IOT",

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/ kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Agustus 2026

Saya yang menyatakan,



Ryan Alhadian

ABSTRAK

Pemantauan kondisi jantung secara real-time diperlukan sebagai salah satu upaya untuk mendeteksi perubahan kondisi fisiologis secara lebih cepat. Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) memungkinkan sistem monitoring kesehatan dikembangkan secara portabel dengan kemampuan pengiriman dan pemantauan data secara jarak jauh. Tugas akhir ini merancang dan membangun prototipe sistem monitoring heart attack menggunakan sensor MAX30102 berbasis IoT dengan mikrokontroler ESP32. Sistem dirancang untuk memantau parameter detak jantung dalam satuan *Beats Per Minute* (BPM) dan saturasi oksigen dalam darah (SpO_2), serta dilengkapi GPS NEO-6M untuk mengetahui lokasi pengguna, OLED Display untuk menampilkan data secara lokal, *buzzer* sebagai sistem peringatan dini, dan dashboard IoT untuk pemantauan secara *real-time*. Proses pengujian dilakukan dengan menguji fungsi sistem dan membandingkan hasil pengukuran BPM sensor MAX30102 dengan smartwatch sebagai alat pembanding pada 10 orang subjek. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata pembacaan BPM pada alat sebesar 84,3 BPM, sedangkan smartwatch sebesar 86,6 BPM, dengan rata-rata *persentase error* sebesar 5,19% dan tingkat akurasi sebesar 94,81%. Sistem juga berhasil menampilkan data BPM dan SpO_2 pada OLED Display serta mengirimkan data ke dashboard IoT. Modul GPS NEO-6M mampu memberikan informasi koordinat lokasi pengguna, sedangkan *buzzer* dapat memberikan peringatan berdasarkan batas parameter yang telah ditentukan. Sistem ini dapat digunakan sebagai alat bantu pemantauan kondisi jantung secara *real-time*, namun tidak digunakan sebagai alat diagnosis medis.

Kata Kunci: **Internet of Things (IoT), MAX30102, Detak Jantung, BPM, SpO_2, ESP32**

ABSTRACT

Real-time monitoring of heart conditions is needed as an effort to detect changes in physiological conditions more quickly. The development of Internet of Things (IoT) technology enables health monitoring systems to be developed as portable devices with the capability of transmitting and monitoring data remotely. This final project aims to design and develop a heart attack monitoring prototype using the MAX30102 sensor based on IoT with an ESP32 microcontroller. The system is designed to monitor heart rate in Beats Per Minute (BPM) and blood oxygen saturation (SpO_2), and is equipped with a NEO-6M GPS module to determine the user's location, an OLED display to provide local data visualization, a buzzer as an early warning system, and an IoT dashboard for real-time monitoring. System testing was conducted by evaluating the functionality of the system and comparing the BPM measurements obtained from the MAX30102 sensor with a smartwatch as a reference device involving 10 test subjects. The results showed that the average BPM measurement obtained by the developed device was 84.3 BPM, while the smartwatch recorded an average of 86.6 BPM, resulting in an average percentage error of 5.19% and an accuracy level of 94.81%. The system was also able to display BPM and SpO_2 data on the OLED display and transmit the data to the IoT dashboard. The NEO-6M GPS module successfully provided the user's location coordinates, while the buzzer provided warnings based on predetermined parameter thresholds. The system can be used as a supporting tool for real-time heart condition monitoring but is not intended to serve as a medical diagnostic device.

Keywords: ***Internet of Things (IoT), MAX30102, Heart Attack, BPM, SpO_2, ESP32***

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul "Prototipe Sistem Monitoring Heart Attack Menggunakan Sensor MAX30102 Berbasis IOT" sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Rahmat Fauzi Siregar, ST., MT, Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Faisal Irsan Pasaribu, ST., MT, selaku Dosen Pembanding I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Noorly Evalina, ST., MT, selaku Dosen Pembanding II dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Ibu Elvy Sahnur Nasution, ST., MPd, yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Ketua Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Assoc. Prof. Ir.Ade Faisal ST., M.Sc., PH.D, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknikelektroan kepada penulis.
7. Orang tua penulis: Alm Bapak Nasruddin dan Ibu Hamidah Nasution yang

telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis

8. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Saudara Penulis: Alan Nuari Damanik yang membimbing dan memberikan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir
10. Teman-teman penulis: Rico Ardiansyah, M.Rizki Ananada Marpaung, Maulana Muhammad, M.Riflan Izzati dan teman kelas A1 angkatan 2022 lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu, terima kasih atas dukungan dan motivasi yang telah kalian berikan. Kalian membuat perjalanan ini tidak terasa sendirian.
11. Dan yang terakhir: Rahma Indri Sahara Terima kasih telah bersedia membantu dan memberikan saran kepada penulis, serta terimaksih juga atas perhatian, dan dukungan yang diberikan kepada penulis selama proses penyusunan skripsi ini.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi Teknik Elektro.

Medan, Agustus 2026

Penulis,



Ryan Alhadian
NPM. 2207220063

DAFTAR ISI

ABSTRAK ..... **i**
ABSTRACT ..... **ii**
KATA PENGANTAR ..... **iii**
DAFTAR ISI ..... **v**
DAFTAR GAMBAR ..... **viii**
DAFTAR TABEL ..... **ix**
BAB I PENDAHULUAN **1**
11.1 Latar Belakang 1
11.2 Rumusan Masalah 3
11.3 Tujuan Penelitian 4
11.4 Ruang Lingkup Penelitian 4
11.5 Manfaat 5
11.6 Sitematik 5
BAB II LANDASAN TEORI **7**
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan 7
2.2 Landasan Teori 10
2.2.1 Jantung 10
2.2.2 Besar Denyut Jantung Dewasa 12
2.2.3 Jenis-Jenis Sensor Denyut Jantung 13
2.2.4 Sensor MAX30102 14
2.2.5 Internet of Things (IoT) 19
2.2.6 Mikrokontroler ESP 32 20
2.2.7 Sistem Monitoring Jantung Berbasis IoT 22
2.2.8 Sistem Notifikasi dan Peringatan Dini 22
2.2.9 LCD OLED Display 12C 23
2.2.10 Batrai Lithium Ion (Li-ion) 26
2.2.11 GPS NEO-6M 28
2.2.12 Step-down DC to DC 12V ke 5V 29
2.2.13 Buzzer 30

2.3 Sistem Monitoring Detak Jantung 31
2.4 Kelebihan Sistem Monitoring Detak Jantung.....32
2.5 Kekurangan Monitoring Detak Jantung.....33
2.6 Tantangan dan Solusi 34
BAB III METODE PENELITIAN.....36
3.1 Tempat Penelitian 36
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....36
3.3 Desain Penelitian 38
3.4 Diagram Blok Sistem.....38
3.5 Desain Rangkaian 39
3.5.1 Alur Kerja Rangkaian Sistem Monitoring Detak Jantung.....40
3.5.2 Penentuan Ambang Batas (*Threshold*) dan Logika Notifikasi 42
3.6 Bagian Alur penelitian 44
3.6.1 Tahapan Penelitian.....44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 46
4.1 Hasil Perancangan Sistem 46
4.1.1 Hasil Rancangan Perangkat Keras.....47
4.1.2 Hasil Implementasi Perangkat Lunak.....50
4.1.3 Hasil Perancangan Dashboard IoT Kita 51
4.2 Pengujian Fungsional Sistem.....53
4.2.1 Pengujian ESP32 53
4.2.2 Pengujian OLED Display 12C 56
4.2.3 Pengujian Dashboard IoT Kita 58
4.2.4 Pengujian Sistem Peringatan Dini (*Buzzer*) 60
4.2.5 Pengujian Sistem Backup Baterai 63
4.3 Pengujian Sensor MAX30102 *Heart Attack* (BPM).....65
4.3.1 Prosedur dan Metode Pengujian Detak Jantung.....66
4.3.2 Data Hasil Pengujian Pembacaan BPM dan Analisis Akurasi 67
4.4 Pengujian GPS NEO – 6M 75
4.5 Pengujian SpO_2 *Heart Attack*.....78
4.6 Pengujian Step – Down LM2596 79
4.7 Hasil Pembahasan Penelitian 80

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 85
5.1 Kesimpulan 85
5.2 Saran 85
DAFTAR PUSTAKA 85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jantung (Sumber: pkmbabakansaribdg.com) 10
Gambar 2.2 Irama jantung normal dan tidak normal..... 12
Gambar 2.3 Sensor MAX30102 (Sumber: labrobotika.com) 15
Gambar 2.4 Mikrokontroler ESP32 (Sumber: forum.arduino.cc) 20
Gambar 2.5 Notifikasi & Peringatan Dini 23
Gambar 2.6 LCD OLED Display 12C..... 25
Gambar 2.7 Batrai Li – ion 3,7 V 26
Gambar 2.8 GPS NEO-6M..... 28
Gambar 2.9 Step - down DC to DC 12V ke 5V 30
Gambar 2.10 Buzzer SFM-27..... 31
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian Dekat Daerah Rumah.....36
Gambar 3.1 Desain Alat 38
Gambar 3.2 Blok Diagram Alir Penelitian 39
Gambar 3.3 Alur Kerja Sistem Kontrol Rangkaian..... 40
Gambar 3.4 Flowchart Alir Penelitian..... 44
Gambar 4.1 Keseluruhan Sistem Monitoring *Heart Attack* 47
Gambar 4.2 Perangkat Keras Sistem Monitoring.....49
Gambar 4.3 Tampilan Dashboard IoT Kita 52
Gambar 4.4 Proses Inisialisasi Sistem.....54
Gambar 4.5 Tampilan OLED Display Sistem Monitoring 56
Gambar 4.6 Tampilan Dashboard IoT Kita saat menerima Data ESP32.....59
Gambar 4.7 Sistem mendeteksi parameter berada di luar batas aman 62
Gambar 4.8 Sistem menggunakan Catu daya dari Baterai 64
Gambar 4.9 Pengujian Sensor MAX30102 *Heart Attack*.....68
Gambar 4.10 Grafik *Presentase Error* Sensor MAX30102 70
Gambar 4.11 Grafik Tingkat Akurasi Sensor MAX30102 73
Gambar 4.12 Tampilan GPS di Dashboard IoT Kita.....75

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Standarisasi Umum Denyut Jantung (BPM).....13
Tabel 2. 2 Tabel Spesifikasi Sensor MAX30102.....15
Tabel 2. 3 Nilai SpO_2 Normal Berdasarkan Usia 18 – 30 Tahun 17
Tabel 2. 4 Standarisasi Status Umum SpO_2.....17
Tabel 2. 5 Spesifikasi LCD OLED Display 12C 24
Tabel 2. 6 Parameter & Spesifikasi Baterai Li - ion 27
Tabel 2. 7 Parameter & Spesifikasi GPS NEO-6M 29
Tabel 3.1 Alat Penelitian.....36
Tabel 3.2 Bahan Penelitian 37
Tabel 3.3 Kriteria Status Monitoring Detak Jantung dan SpO_2.....43
Tabel 4.1 Identifikasi Komponen Perangkat Keras Sistem Monitoring.....50
Tabel 4.2 Hasil Pengujian ESP32.....55
Tabel 4.3 Hasil Pengujian OLED Display 12C 57
Tabel 4.4 Hasil Pengujian *Buzzer*.....61
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Backup Baterai 63
Tabel 4.6 Data Hasil Pengujian Pembacaan BPM dan Pembanding (*Smartwatch*) 68
Tabel 4.7 Hasil Pengujian GPS NEO-6M 75

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penyakit kardiovaskular hingga saat ini masih menjadi salah satu masalah kesehatan utama di dunia dan merupakan penyebab kematian tertinggi baik di negara maju maupun negara berkembang. World Health Organization (WHO) melaporkan bahwa penyakit kardiovaskular menyumbang lebih dari 17 juta kematian setiap tahun, dengan serangan jantung sebagai salah satu penyebab dominan kematian global [1]. Serangan jantung (heart attack) umumnya terjadi secara tiba-tiba dan sering kali tanpa gejala awal yang jelas. Kondisi ini menyebabkan banyak penderita tidak memperoleh penanganan medis secara cepat, sehingga meningkatkan risiko komplikasi serius hingga kematian [2]. Di Indonesia, prevalensi penyakit jantung menunjukkan tren peningkatan seiring perubahan gaya hidup masyarakat modern. Data Riset Kesehatan Dasar menunjukkan bahwa faktor risiko seperti merokok, kurang aktivitas fisik, pola makan tidak sehat, dan stres berkontribusi besar terhadap meningkatnya kasus penyakit jantung koroner [3].

Keterbatasan akses fasilitas kesehatan, khususnya di daerah pedesaan dan terpencil, menyebabkan pemantauan kesehatan jantung secara rutin sulit dilakukan. Kondisi ini mengakibatkan potensi gangguan jantung tidak terdeteksi sejak dini dan baru diketahui pada tahap lanjut [4].

Secara fisiologis, serangan jantung berkaitan erat dengan gangguan irama jantung atau aritmia. Aritmia ditandai dengan detak jantung yang terlalu cepat, terlalu lambat, atau tidak beraturan, yang dapat menjadi indikator awal gangguan serius pada sistem kardiovaskular [5]. Pemantauan detak jantung secara kontinu menjadi sangat penting dalam upaya pencegahan penyakit jantung. Namun, metode konvensional masih bergantung pada alat medis yang mahal dan tidak portabel, sehingga frekuensi pemantauan menjadi terbatas [6]. Perkembangan teknologi embedded system dan sensor biometrik membuka peluang pengembangan perangkat kesehatan yang portabel, murah, dan mudah digunakan. Teknologi ini

memungkinkan masyarakat melakukan pemantauan kesehatan secara mandiri dan berkelanjutan [7].

Internet of Things (IoT) merupakan salah satu teknologi yang berkembang pesat dan banyak diterapkan dalam bidang kesehatan. IoT memungkinkan perangkat fisik yang dilengkapi sensor untuk terhubung ke internet dan mengirimkan data secara real time ke server atau cloud [8]. Penerapan IoT dalam sistem monitoring kesehatan memberikan keunggulan berupa pemantauan jarak jauh, kemudahan akses data, serta efisiensi pengelolaan informasi kesehatan. Hal ini sangat relevan untuk pemantauan penyakit kronis seperti penyakit jantung [9].

Dalam sistem monitoring jantung, sensor biometrik berperan sebagai komponen utama untuk mengukur parameter fisiologis. Sensor MAX30102 merupakan salah satu sensor yang banyak digunakan karena mampu mengukur detak jantung dan saturasi oksigen dalam darah (SpO2) secara non-invasif dan real time [10]. Parameter SpO2 merupakan indikator penting yang mencerminkan kecukupan suplai oksigen dalam darah. Nilai SpO2 yang rendah dapat mengindikasikan gangguan pada sistem pernapasan dan sirkulasi, yang dapat memperberat kerja jantung [11]. Integrasi sensor MAX30102 dengan mikrokontroler berbasis IoT seperti ESP8266 atau ESP32 memungkinkan proses pengambilan, pengolahan, dan pengiriman data kesehatan dilakukan secara otomatis dan berkelanjutan [12]. Data detak jantung dan SpO2 yang dikirimkan ke platform IoT dapat divisualisasikan dalam bentuk grafik atau angka yang mudah dipahami melalui aplikasi web atau mobile. Visualisasi ini membantu pengguna memantau kondisi kesehatannya secara mandiri [13]. Sistem monitoring berbasis IoT juga dapat dikembangkan dengan fitur notifikasi dan peringatan dini. Sistem ini akan memberikan peringatan otomatis apabila parameter kesehatan berada di luar batas normal [14].

Keberadaan sistem peringatan dini sangat penting untuk meminimalkan risiko komplikasi akibat keterlambatan penanganan serangan jantung. Notifikasi yang cepat memungkinkan pengguna segera mengambil tindakan preventif [15]. Pengembangan sistem monitoring jantung berbasis IoT sejalan dengan konsep kesehatan digital (digital health) yang menekankan pemanfaatan teknologi

informasi untuk meningkatkan kualitas pelayanan kesehatan dan kesadaran masyarakat [16]. Dari sisi akademik, penelitian ini memberikan kontribusi dalam bidang teknik elektro, khususnya pada pengembangan sistem instrumentasi biomedis, embedded system, dan komunikasi data berbasis IoT [17].

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa sistem monitoring jantung berbasis sensor dan IoT memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dan berpotensi diterapkan secara luas dalam pemantauan kesehatan masyarakat [18]. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan prototipe sistem monitoring heart attack berbasis IoT yang mampu bekerja secara real time, akurat, dan mudah diakses oleh pengguna [19].

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun prototipe sistem monitoring serangan jantung menggunakan sensor MAX30102 berbasis IoT sebagai upaya deteksi dini gangguan jantung dan peningkatan kualitas hidup Masyarakat [20]. IoT diharapkan dapat menjadi solusi inovatif dalam mendukung deteksi dini gangguan jantung [21]. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat dihasilkan sebuah prototipe sistem yang mampu memantau detak jantung dan SpO2 secara kontinu, menampilkan informasi kesehatan secara real time, serta memberikan notifikasi dini ketika terdeteksi kondisi jantung yang tidak normal. Dengan demikian, sistem ini diharapkan dapat berkontribusi dalam upaya pencegahan serangan jantung dan peningkatan kualitas hidup Masyarakat.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang sistem IoT untuk mendeteksi dan memonitor kondisi jantung menggunakan sensor MAX30102?
2. Sejauh mana performa sistem dalam menghasilkan data yang akurat dan andal?
3. Bagaimana sistem memberikan notifikasi dini Ketika terdeteksi kondisi jantung yang tidak normal?
4. Bagaimana sistem mengintegrasikan data Lokasi GPS untuk mempermudah pelacakan pasien saat kondisi darurat?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Merancang dan membangun sistem IoT berbasis sensor MAX30102 untuk pemantauan kondisi jantung.
2. Mengevaluasi akurasi sistem dalam mendeteksi detak jantung dan parameter terkait.
3. Mengembangkan fitur notifikasi otomatis untuk memberikan peringatan dini terhadap potensi gangguan jantung.
4. Mengetauhi data Lokasi dan mempermudah pelacakan pada pasien saat konidisi darurat.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Agar pembahasan dalam penelitian ini lebih terarah dan tidak meluas dari tujuan yang direncanakan, maka diberikan batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Ruang Lingkup Penelitian

   Penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem *monitoring* kondisi kesehatan jantung dewasa berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mencakup pengukuran nilai parameter denyut jantung (*heart rate*) dalam satuan *Beats Per Minute* (BPM) dan tingkat saturasi oksigen dalam darah (SpO_2).
2. Komponen Hardware dan Sensor

   Pengukuran denyut jantung dan saturasi oksigen dilakukan menggunakan sensor optik MAX30102, mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pemrosesan data, serta Buzzer SFM-27 sebagai indikator peringatan suara (*audio alarm*).
3. Subjek Uji Coba

   Pengujian dan pengambilan data parameter denyut jantung terbatas pada manusia usia dewasa (18 tahun ke atas) dalam kondisi istirahat (*resting state*).
4. Sistem Komunikasi dan Platform IoT

   Pengiriman data hasil pengukuran dilakukan secara *wireless* melalui jaringan Wi-fi untuk ditampilkan pada *dashboard* platform IoT (smartphone

web) secara *real-time* atau secara langsung.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Masyarakat

   Memberikan kemudahan bagi masyarakat dalam melakukan pemantauan kondisi kesehatan jantung secara mandiri dan *real-time* berbasis *Internet of Things* (IoT), sehingga membantu deteksi dini terhadap potensi gangguan kardiovaskular.

2. Bagi Peneliti

   Menambah wawasan, pemahaman, dan keterampilan praktis peneliti dalam mengaplikasikan ilmu sistem tertanam (*embedded system*), pemrosesan sinyal sensor medis, serta integrasi teknologi *Internet of Things* (IoT) pada perangkat instrumen kesehatan.

3. Bagi Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

   Menjadi bahan pustaka, referensi akademik, serta acuan penelitian bagi mahasiswa lain di lingkungan kampus dalam melakukan pengembangan riset bertema *Internet of Things* (IoT) dan teknologi kesehatan (*medical devices*).

4. Bagi Bidang Inovasi Teknologi Medis

   Mendukung terciptanya inovasi perangkat monitoring kesehatan portable yang praktis, ekonomis, dan terintegrasi digital untuk menunjang pengembangan instrumen medis masa depan.

1.6 Sitematik

1. BAB I Pendahuluan

   Bab ini berisi uraian mengenai latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan. Bagian ini memberikan gambaran umum mengenai konteks penelitian dan arah kajian yang dilakukan.

2. BAB II Tinjauan Pustaka

   Bab ini membahas teori-teori yang mendasari penelitian, meliputi konsep budidaya ikan nila sistem bioflok, teknologi *Internet of Things* (IoT), serta prinsip kerja MAX30102, dan Detak jantung yang dibahas. Selain itu, bab ini juga memuat kajian penelitian terdahulu yang relevan sebagai landasan pengembangan sistem yang dirancang.

3. BAB III Metodologi Penelitian

   Bab ini menjelaskan metode yang digunakan dalam penelitian, meliputi lokasi penelitian, alat dan bahan, perancangan sistem, serta tahapan implementasi dan pengujian. Penyajian metodologi yang sistematis bertujuan agar proses perancangan dan evaluasi sistem dapat direplikasi dan dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

4. BAB IV Hasil dan Pembahasan

   Bab ini menyajikan hasil implementasi sistem IoT *monitoring* multi-parameter detak jantung termasuk data pengujian sensor max30102, serta tampilan sistem secara keseluruhan. Hasil tersebut kemudian dianalisis dan dibahas untuk menilai kinerja, keandalan, serta keterbatasan sistem dalam bekerja.

5. BAB V Penutup

   Bab ini memuat kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian serta saran untuk pengembangan lebih lanjut, baik dari sisi teknis sistem maupun penerapan pada monitoring detak jantung. Bagian ini menegaskan kontribusi penelitian terhadap penerapan teknologi IoT dalam pemantauan detak jantung secara real time.

BAB II
LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Penelitian ini berfokus pada rancang bangun sistem *monitoring* detak jantung (*heart attak*) pada manusia dan di bekali dengan sistem berbasis *Internet of Things (IoT).*Pada pada rancang bangun sistem *monitoring* detak jantung, perubahan detak jantung dapat berlangsung cepat akibat perubahan BPM (*Beats Per Minute*), sehingga *monitoring real-time* menjadi penting untuk mencegah kondisi ekstrem yang memicu stres dan kematian manusia.Karena itu, studi terdahulu yang relevan perlu ditinjau tidak hanya dari sisi sensor dan platform IoT, tetapi juga dari kelengkapan parameter, respons sistem, serta kesesuaian arsitektur untuk dipakai di lapangan.

Penelitian oleh Syah Alam et al. berjudul "Rancang Bangun Sistem Monitoring Detak Jantung Menggunakan Elektrokardiograf Berbasis Bluetooth dan LabVIEW" bertujuan mengembangkan prototipe sistem monitoring detak jantung manusia berbasis elektrokardiograf (EKG) yang mampu bekerja secara nirkabel untuk mengatasi keterbatasan jarak pada alat EKG konvensional. Metode yang digunakan meliputi perancangan rangkaian pengkondisi sinyal EKG (penguat instrumentasi AD620, bandpass filter, penguat akhir OP07, dan rangkaian clamper), integrasi mikrokontroler Arduino Uno, serta transmisi data menggunakan modul Bluetooth HC-05 dengan visualisasi sinyal dan perhitungan BPM melalui LabVIEW. Hasil penelitian menunjukkan sistem mampu melakukan monitoring detak jantung hingga jarak 5 meter tanpa halangan dengan tingkat akurasi sebesar 96,1% dibandingkan pengukuran denyut nadi manual. Keterbatasan penelitian ini terletak pada jangkauan komunikasi yang masih terbatas oleh Bluetooth serta belum tersedianya fitur monitoring berbasis internet dan deteksi otomatis kelainan jantung [22].

Penelitian oleh Sai Kumar et al. berjudul "An IoT Framework for Detecting Cardiac Arrhythmias in Real-Time Using Deep Learning ResNet Model" bertujuan mengembangkan sistem monitoring dan deteksi aritmia jantung secara real-time

berbasis Internet of Things (IoT) dengan dukungan deep learning untuk meningkatkan akurasi diagnosis gangguan irama jantung. Metode penelitian meliputi akuisisi sinyal elektrokardiogram (ECG), ekstraksi fitur menggunakan metode Pan–Tompkins untuk mendeteksi QRS dan interval RR, pengiriman data ke platform ThingSpeak, serta klasifikasi aritmia menggunakan model deep learning Multi-Channel Residual Network (MCH-ResNet) yang diuji pada dataset MIT-BIH Arrhythmia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan monitoring ECG secara real-time dan mencapai akurasi klasifikasi hingga sekitar 98–99% untuk beberapa kelas aritmia, sehingga menunjukkan kinerja yang sangat baik dalam mendeteksi gangguan irama jantung. Keterbatasan penelitian ini adalah ketergantungan pada kualitas dataset dan kompleksitas komputasi model deep learning, serta belum diuji secara luas pada kondisi klinis nyata dengan variasi pasien yang lebih beragam [23].

Penelitian oleh Umer et al. berjudul "Heart Failure Patients Monitoring Using IoT-Based Remote Monitoring System" bertujuan mengembangkan sistem monitoring pasien gagal jantung berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu memantau kondisi detak jantung dan parameter kesehatan pasien secara real-time serta jarak jauh. Metode penelitian meliputi pengumpulan data kesehatan pasien melalui perangkat IoT, pengiriman data ke cloud, serta analisis menggunakan model kecerdasan buatan ensemble ET-CNN untuk klasifikasi risiko penyakit jantung dengan dataset UCI Heart Failure. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan monitoring pasien secara efektif dengan tingkat akurasi klasifikasi mencapai sekitar 95%, sehingga berpotensi membantu deteksi dini dan pengambilan keputusan medis. Keterbatasan penelitian ini terletak pada ketergantungan terhadap koneksi internet dan infrastruktur cloud, serta belum diuji secara luas pada implementasi klinis nyata dengan jumlah pasien yang lebih besar. [24]

Penelitian oleh Rajalakshmi dan Devi mengembangkan sistem monitoring detak jantung berbasis Internet of Things (IoT) yang ditujukan untuk pemantauan kesehatan jarak jauh. Sistem ini menggunakan sensor detak jantung yang terhubung dengan mikrokontroler dan platform IoT untuk menampilkan data secara real-time

melalui aplikasi berbasis web. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu membantu pengguna dalam memantau kondisi detak jantung tanpa harus datang ke fasilitas kesehatan. Keterbatasan sistem ini adalah ketergantungan terhadap koneksi internet yang stabil serta belum adanya fitur analisis lanjutan terhadap data detak jantung [25].

Penelitian Oleh Acharya et al**.** melakukan penelitian mengenai analisis variasi detak jantung (heart rate variability) sebagai indikator kondisi kesehatan jantung. Sistem monitoring dirancang untuk merekam perubahan pola detak jantung dalam jangka waktu tertentu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi detak jantung dapat digunakan sebagai indikator awal adanya gangguan pada sistem kardiovaskular. Penelitian ini menegaskan pentingnya monitoring detak jantung secara kontinu sebagai bagian dari upaya pencegahan penyakit jantung [26].

Penelitian Oleh Pantelopoulos dan Bourbakis membahas pengembangan sistem monitoring kesehatan berbasis wearable sensor, termasuk pemantauan detak jantung. Sistem wearable memungkinkan pengguna melakukan pemantauan detak jantung dalam aktivitas sehari-hari tanpa mengganggu kenyamanan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknologi wearable sangat potensial untuk monitoring kesehatan jangka panjang. Namun, tantangan yang dihadapi adalah keterbatasan daya baterai dan kebutuhan peningkatan akurasi sensor [27].

Penelitian Oleh Tamura et al. meneliti penggunaan sensor PPG pada perangkat wearable untuk monitoring detak jantung dan parameter fisiologis lainnya. Penelitian ini menunjukkan bahwa sensor PPG dapat digunakan secara efektif untuk pemantauan detak jantung secara non-invasif dan berkelanjutan. Sistem yang dikembangkan mampu memberikan data detak jantung secara real-time. Keterbatasan penelitian ini terletak pada sensitivitas sensor terhadap noise dan gerakan pengguna [28].

Penelitian Oleh Al-Fuqaha et al**.** mengkaji penerapan Internet of Things (IoT) dalam sistem monitoring kesehatan, termasuk pemantauan detak jantung. Penelitian ini menekankan bahwa IoT memungkinkan integrasi berbagai sensor kesehatan dengan sistem pemantauan jarak jauh. Hasil kajian menunjukkan bahwa

IoT dapat meningkatkan efisiensi pemantauan kesehatan dan akses informasi medis. Namun, aspek keamanan data dan privasi pengguna masih menjadi tantangan utama dalam penerapan IoT di bidang Kesehatan [29].

Penelitian Oleh Clifton et al. meneliti sistem monitoring detak jantung berbasis teknologi wearable untuk pemantauan kesehatan berkelanjutan. Sistem ini dirancang untuk memantau detak jantung pengguna dalam kehidupan sehari-hari dan mengumpulkan data secara terus-menerus. Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknologi wearable dapat membantu deteksi dini gangguan kesehatan. Namun, diperlukan pengembangan lebih lanjut untuk meningkatkan keandalan sistem dan kenyamanan pengguna [30].

2.2 Landasan Teori

Penelitian ini mengimplementasikan sistem monitoring dan kontrol pada sensor max30102 berbais IOT, yang melibatkan beberapa landasan teori dan teknologi dasar. Bagian ini akan menjelaskan prinsip – prinsip yang melandasipemilihan dan fungsi komponen komponen yang digunakan.

2.2.1 Jantung

Jantung merupakan organ vital pada tubuh manusia yang berfungsi sebagai pompa untuk mengedarkan darah ke seluruh tubuh melalui sistem kardiovaskular. Darah yang dipompa oleh jantung membawa oksigen dan nutrisi ke seluruh jaringan tubuh serta mengangkut sisa metabolisme untuk dikeluarkan. Jantung bekerja secara ritmis dan terus-menerus sepanjang hidup manusia. Gambar jantung ditampilakan pada gambar 2.1 sebagai berikut.



Gambar 2.1 Jantung (Sumber: pkmbabakansaribdg.com)

Secara anatomis, jantung terdiri dari empat ruang utama, yaitu atrium kanan, atrium kiri, ventrikel kanan, dan ventrikel kiri. Atrium berfungsi menerima darah, sedangkan ventrikel berfungsi memompa darah keluar dari jantung. Kerja jantung diatur oleh sistem kelistrikan jantung yang menghasilkan impuls listrik untuk memicu kontraksi otot jantung secara teratur.

Kinerja jantung yang optimal sangat bergantung pada kestabilan irama detak jantung, kondisi pembuluh darah, serta kecukupan suplai oksigen. Gangguan pada salah satu komponen tersebut dapat menyebabkan penurunan fungsi jantung dan meningkatkan risiko terjadinya penyakit kardiovaskular [6].

Serangan jantung atau infark miokard merupakan kondisi medis serius yang terjadi akibat terhambatnya aliran darah ke otot jantung. Hambatan ini umumnya disebabkan oleh penyumbatan pembuluh darah koroner akibat penumpukan plak lemak (aterosklerosis). Ketika aliran darah terhenti, jaringan otot jantung akan kekurangan oksigen dan dapat mengalami kerusakan permanen. Gejala serangan jantung dapat bervariasi, mulai dari nyeri dada, sesak napas, keringat dingin, mual, hingga pingsan. Namun, pada beberapa kasus, serangan jantung dapat terjadi tanpa gejala yang jelas (silent heart attack), sehingga sulit terdeteksi tanpa pemantauan medis. Deteksi dini terhadap perubahan kondisi fisiologis jantung sangat penting untuk mencegah kerusakan yang lebih parah. Oleh karena itu, pemantauan parameter seperti detak jantung dan kadar oksigen dalam darah menjadi aspek penting dalam sistem monitoring jantung

Detak jantung adalah jumlah denyut jantung dalam satuan waktu tertentu, biasanya dinyatakan dalam satuan beats per minute (BPM). Detak jantung normal pada orang dewasa berkisar antara 60 hingga 100 BPM saat istirahat. Nilai detak jantung dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti usia, aktivitas fisik, kondisi kesehatan, dan tingkat stres.

Irama jantung normal dan tidak normal terletak pada gambar 2.2 sebagai berikut.



Gambar 2.2 Irama jantung normal dan tidak normal
(Sumber: heartology.id)

Irama jantung yang tidak normal disebut aritmia. Aritmia dapat berupa detak jantung yang terlalu cepat (takikardia), terlalu lambat (bradikardia), atau tidak beraturan. Kondisi ini dapat menjadi indikasi adanya gangguan serius pada sistem kelistrikan jantung dan berpotensi memicu serangan jantung.

Pemantauan detak jantung secara kontinu memungkinkan identifikasi pola-pola abnormal yang dapat digunakan sebagai peringatan dini terhadap potensi gangguan jantung [3].

2.2.2 Besar Denyut Jantung Dewasa

Besar denyut jantung (*heart rate*) diukur dalam satuan *Beats Per Minute* (BPM), yaitu jumlah denyutan atau kontraksi jantung yang terjadi dalam rentang waktu satu menit. Pengukuran denyut jantung menjadi salah satu indikator klinis utama untuk menilai kondisi kesehatan sistem kardiovaskular serta efisiensi fungsi jantung dalam memompa darah.

Dalam sistem monitoring yang dirancang, rentang tersebut digunakan sebagai acuan untuk menentukan kondisi hasil pembacaan sensor MAX30102. Nilai BPM 60–100 BPM dikategorikan sebagai kondisi normal, sedangkan nilai <60 BPM dan >100 BPM digunakan sebagai kondisi yang memerlukan perhatian. Pengelompokan tersebut kemudian dapat dihubungkan dengan sistem peringatan dini sehingga perubahan nilai BPM dapat menghasilkan status dan notifikasi

tertentu. Dapat dilihat pada tabel 2.1 standarisasi umum dari denyut jantung (BPM) berikut:

Tabel 2. 1 Standarisasi Umum Denyut Jantung (BPM)

No.	Rentang BPM	Kategori	Status Sistem
1	< 60 BPM	Bradikardia/detak lambat	Tidak normal/Alert
2	60–100 BPM	Normal	Normal
3	> 100 BPM	Takikardia/detak cepat	Tidak normal/Alert

Pada orang dewasa (usia 18 tahun ke atas) dalam kondisi istirahat (*resting heart rate*), nilai parameter denyut jantung dikategorikan ke dalam beberapa rentang sebagai berikut:

1. Denyut Jantung Normal (*Resting Heart Rate*): Berkisar antara 60 hingga 100 BPM. Pada rentang ini, jantung memompa darah secara efisien untuk memenuhi kebutuhan sirkulasi dan oksigenasi jaringan tubuh tanpa memberikan beban kerja berlebih pada otot jantung.
2. Bradikardia (Denyut Jantung Lambat): Kondisi ketika nilai denyut jantung berada di bawah 60 BPM. Bradikardia dapat mengindikasikan adanya gangguan pada nodus sinoatrial (SA node) atau sistem konduksi kelistrikan jantung. Namun, pada individu dengan tingkat kebugaran fisik tinggi seperti atlet terlatih, nilai denyut jantung istirahat di bawah 60 BPM sering kali dinilai normal karena efisiensi stroke volume jantung yang lebih tinggi.
3. Takikardia (Denyut Jantung Cepat): Kondisi ketika nilai denyut jantung melebihi 100 BPM saat kondisi istirahat. Takikardia dapat dipicu oleh faktor fisiologis seperti aktivitas fisik berlebih, stres emosional, dan demam, maupun kondisi patologis seperti gangguan kecemasan, hipertiroidisme, serta gangguan ritme jantung (aritmia).

2.2.3 Jenis-Jenis Sensor Denyut Jantung

Dalam pengembangan instrumen medis berbasis *embedded system* dan IoT, terdapat tiga jenis sensor denyut jantung yang paling umum digunakan berdasarkan prinsip kerja dan metode pembacaannya:

1. Sensor MAX30102 (*Optical Photoplethysmography - Integrated Pulse Oximeter*) Sensor modul terintegrasi berbasis optik yang mampu mengukur dua parameter fisiologis sekaligus, yaitu denyut jantung (BPM) dan saturasi oksigen dalam darah (SpO_2). Modul ini menggabungkan dua LED, fotodioda, elemen optik, serta pemrosesan sinyal analog berderau rendah dengan antarmuka komunikasi digital I^2C.
2. Pulse Sensor Amped (*Optical Photoplethysmography - Analog*) Sensor optik sederhana yang mengukur perubahan volume darah berbasis pemantulan cahaya. Sensor ini terdiri dari satu LED hijau dan fototransistor yang dilengkapi dengan rangkaian penguat (*operational amplifier*) serta filter pasif. Sensor ini menghasilkan keluaran sinyal analog berupa gelombang denyut nadi yang harus dikonversi oleh *Analog - to - Digital Converter* (ADC) mikrokontroler.
3. Sensor AD8232 (Elektrokardiogram / EKG Signal Conditioning Module) Sensor biopotensial yang bekerja dengan mengukur aktivitas listrik jantung (*electrocardiography*) melalui elektroda biomedis yang ditempelkan pada permukaan kulit dada atau ekstremitas tubuh. Modul AD8232 mengekstrak, memperkuat, dan memfilter sinyal biopotensial jantung yang sangat kecil di tengah gangguan sinyal otot (*electromyography*) maupun *ambient noise*.

2.2.4 Sensor MAX30102

Sensor MAX30102 merupakan sensor biometrik yang dirancang untuk mengukur detak jantung dan SpO_2 menggunakan metode PPG. Sensor ini dilengkapi dengan dua jenis LED, yaitu LED merah dan LED inframerah, serta fotodioda sebagai penerima cahaya.

Dalam sistem penelitian ini, MAX30102 berfungsi sebagai sensor utama yang menangkap data BPM dan SpO_2, kemudian data tersebut diproses oleh ESP32. Hasil pengukuran selanjutnya ditampilkan pada OLED Display dan dikirimkan ke dashboard IoT untuk dipantau secara langsung. Sensor ini dipilih karena memiliki ukuran yang relatif kecil, menggunakan komunikasi I2C**,** dan dapat diintegrasikan dengan mikrokontroler seperti ESP32.



Gambar 2.3 Sensor MAX30102 (Sumber: labrobotika.com)

Keunggulan sensor MAX30102 antara lain ukuran yang kecil, konsumsi daya yang rendah, serta tingkat akurasi yang cukup baik untuk aplikasi monitoring kesehatan. Sensor ini banyak digunakan pada perangkat wearable dan sistem monitoring berbasis mikrokontroler.

Data yang dihasilkan oleh sensor MAX30102 berupa sinyal digital yang dapat diproses oleh mikrokontroler untuk menghasilkan nilai BPM dan SpO2 secara real time [9]. Di dalam sensor MAX30102 ini dapat menghitung Sp02 (saturasi Oksigen dalam Darah) & PPG (*Photoplethysmography*), Berikut istilah kata pengertian di atas:

- Spesifikasi Sensor MAX30102

Tabel Spesifikasi Sensor MAX30102 dapat dilihat pada Tabel 2.4 Sebagai berikut:

Tabel 2. 2 Tabel Spesifikasi Sensor MAX30102

Parameter Spesifikasi	**Nilai / Keterangan**
Tegangan Operasi Utama (VDD)	1,8 V DC
Tegangan LED (VLED)	3,3 V – 5,0 V DC
Panjang Gelombang LED Merah	660 nm
Panjang Gelombang LED Inframerah	880 nm

Resolusi Analog to Digital Converter (ADC)	18-bit (*programmable*)
Kecepatan Sampling (Sample Rate)	50 hingga 3200 sampel/detik
Lebar Pulsa LED (LED Pulse Width)	69 µs hingga 411 µs
Konsumsi Arus Saat Aktif	600 µA – 1,2 mA (tergantung konfigurasi LED)
Konsumsi Arus Mode Shutdown	0,7 µA (sangat hemat energi)
Antarmuka Komunikasi	Serial I²C (Fast Mode, hingga 400 kHz)
Alamat I²C Default	`0x57` (7-bit address)
Suhu Operasi	-40 °C hingga +85 °C

- Alasan Pemilihan Sensor

Penggunaan sensor MAX30102 dalam perancangan sistem ini didasarkan pada beberapa keunggulan teknis utama, antara lain:

1. Pengukuran Parameter Ganda: Sensor ini merupakan modul terintegrasi yang mampu mengukur dua parameter fisiologis penting secara bersamaan, yaitu denyut jantung (BPM) dan tingkat saturasi oksigen dalam darah (SpO_2).
2. Antarmuka Komunikasi Digital: Dilengkapi dengan antarmuka komunikasi I²C serta pemrosesan sinyal internal yang memudahkan pengiriman data digital langsung ke mikrokontroler.
3. Efisiensi Daya yang Tinggi: Memiliki konsumsi arus mode *shutdown* yang sangat kecil sebesar 0,7 μA, sehingga sangat optimal dan hemat energi untuk perangkat berbasis *embedded system*.

- Saturasi Oksigen dalam Darah (SpO2)

Saturasi oksigen dalam darah atau SpO2 merupakan persentase hemoglobin dalam darah yang terikat oleh oksigen. Nilai SpO2 normal pada manusia sehat umumnya berada pada kisaran 95% hingga 100%. Nilai SpO2 yang rendah dapat mengindikasikan adanya gangguan pada sistem pernapasan atau sirkulasi darah.

Dalam konteks kesehatan jantung, kadar oksigen yang rendah dapat memperberat kerja jantung dan meningkatkan risiko terjadinya komplikasi. Serta perlu dicatat bahwa rentang normal SpO_2 pada orang dewasa sehat umumnya tidak dibedakan secara khusus untuk setiap usia dalam rentang 18 – 30 tahun**.** FDA menyebutkan bahwa SpO_2 pada sebagian besar individu sehat berada pada 95 – 100%**,** sedangkan WHO menyatakan saturasi oksigen arteri normal pada individu sehat dengan paru-paru normal dan bernapas di permukaan laut sekitar 95–100%. Berikut adalah tabel data nilai dan standarisasi SpO_2 (Saturasi Oksigen dalam Darah) khusus untuk rentang usia 18 – 30 tahun (dewasa dalam kondisi istirahat)

Tabel 2. 3 Nilai SpO_2 Normal Berdasarkan Usia 18 – 30 Tahun

No	Usia (Tahun)	Rentang SpO_2 Normal (%)	Kategori Status	Keterangan
1	18–20	95 – 100	Normal	Saturasi oksigen optimal
2	21–23	95 – 100	Normal	Saturasi oksigen optimal
3	24–26	95 – 100	Normal	Saturasi oksigen optimal
4	27–29	95 – 100	Normal	Saturasi oksigen optimal
5	30	95 – 100	Normal	Saturasi oksigen optimal

Tabel 2. 4 Standarisasi Status Umum SpO_2

No	Nilai SpO_2 (%)	Kategori	Status Sistem	Notifikasi
1	≥ 95	Normal	Normal	Normal
2	90 – 94	Rendah Ringan	Waspada	Warning
3	< 90	Hipoksemia	Tidak Normal	Alert

Berdasarkan tabel 2.2 dan tabel 2.3, saturasi oksigen dalam darah (SpO_2) pada individu dewasa sehat berusia 18 – 30 tahun secara umum berada pada rentang 95–100%. Rentang tersebut menunjukkan bahwa hemoglobin dalam darah membawa oksigen dalam jumlah yang memadai. Tidak terdapat dasar yang kuat untuk menetapkan rentang normal yang berbeda untuk usia 18 – 20, 21 – 23, 24–26, dan 27 – 30 tahun; oleh karena itu, rentang 95 –100% digunakan sebagai acuan umum untuk kelompok dewasa sehat.

Nilai 90 – 94% dapat digunakan dalam sistem Anda sebagai kategori waspada, sedangkan nilai di bawah 90% dapat digunakan sebagai kategori alert. Namun, kategori ini sebaiknya disebut sebagai batas sistem monitoring, bukan diagnosis medis. Nilai pulse oximeter dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain sirkulasi darah, suhu kulit, ketebalan kulit, gerakan, penggunaan cat kuku, dan karakteristik perangkat.

- *Photoplethysmography* (PPG)

Photoplethysmography (PPG) merupakan metode optik non-invasif yang digunakan untuk mengukur perubahan volume darah dalam jaringan tubuh. Metode ini bekerja dengan memancarkan cahaya ke permukaan kulit dan mengukur intensitas cahaya yang dipantulkan atau diserap oleh darah.

Perubahan volume darah akibat denyut jantung akan memengaruhi intensitas cahaya yang diterima oleh sensor. Data ini kemudian diolah untuk menghasilkan informasi detak jantung dan kadar oksigen dalam darah. Metode PPG banyak digunakan karena aman, mudah diterapkan, dan cocok untuk pemantauan jangka Panjang [19]. Pada sistem yang dirancang, prinsip PPG diterapkan melalui sensor MAX30102. Sensor tersebut memiliki sumber cahaya LED dan fotodetektor yang digunakan untuk memperoleh perubahan sinyal optik.

- Cara Kerja Sensor MAX30102

Sensor MAX30102 bekerja menggunakan prinsip *Photoplethysmography* (PPG), yaitu metode optik non-invasif untuk mendeteksi perubahan volume darah pada pembuluh darah kapiler di jaringan periferi (seperti ujung jari).

Mekanisme kerja sensor ini meliputi beberapa tahapan berikut:

1. Emisi Cahaya: Modul pemancar memancarkan dua panjang gelombang cahaya yang berbeda secara bergantian ke permukaan kulit, yaitu cahaya tampak Merah (Red LED) dengan panjang gelombang 660 nm dan cahaya Inframerah (IR LED) dengan panjang gelombang 880 nm.
2. Penyerapan dan Pemantulan Cahaya: Cahaya menembus jaringan kulit dan diserap oleh molekul hemoglobin dalam darah. Hemoglobin teroksigenasi (HbO_2) menyerap lebih banyak cahaya inframerah dan meneruskan cahaya

merah, sedangkan hemoglobin terdeoksigenasi (Hb) menyerap lebih banyak cahaya merah dan meneruskan cahaya inframerah.

3. Penerimaan Sinyal Optik: Cahaya yang dipantulkan atau diteruskan oleh pembuluh darah ditangkap oleh detector fotodioda (*photodiode*) yang sangat sensitif.
4. Deteksi Denyut dan Konversi Digital: Saat jantung berdenyut (fase sistolik), terjadi peningkatan volume darah arteri di kapiler yang menyebabkan penyerapan cahaya meningkat. Saat jantung relaksasi (fase diastolik), volume darah menurun sehingga penyerapan cahaya berkurang. Perubahan fluktuasi intensitas cahaya ini menghasilkan gelombang AC pada sinyal PPG. Sinyal analog tersebut diolah oleh ADC internal 18-bit pada MAX30102 dan diubah menjadi data digital.
5. Komunikasi Data: Data digital yang berisi nilai intensitas penyerapan gelombang merah dan inframerah dikirimkan ke mikrokontroler (ESP32) melalui jalur komunikasi serial I^2C untuk dihitung nilai BPM dan SpO_2-nya.

2.2.5 Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan konsep teknologi yang memungkinkan berbagai perangkat fisik terhubung ke internet dan saling bertukar data. Perangkat IoT umumnya dilengkapi dengan sensor, aktuator, mikrokontroler, serta modul komunikasi.

Dalam bidang kesehatan, IoT memungkinkan pemantauan kondisi pasien secara jarak jauh dan real time. Data kesehatan dapat dikirimkan ke server atau cloud untuk disimpan, dianalisis, dan ditampilkan melalui aplikasi berbasis web atau mobile. Penerapan IoT pada sistem monitoring jantung memberikan kemudahan akses data, meningkatkan efisiensi pemantauan, serta memungkinkan deteksi dini terhadap kondisi abnormal [5].

Keuntungan penerapan IoT pada monitoring detak jantung :

a. *Real-time* dan historis: data dapat dipantau saat itu juga dan dapat disimpan sebagai histori untuk evaluasi hasil detak jantung.

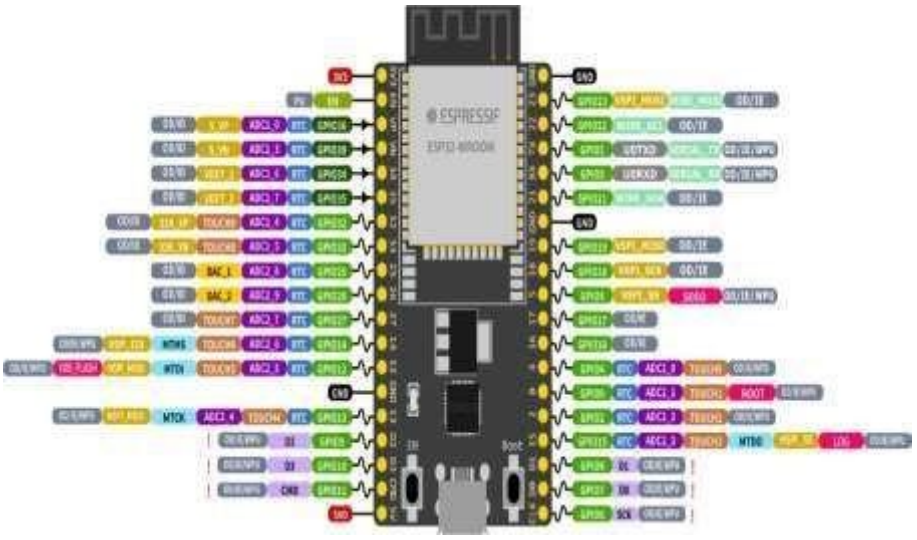
b. Peringatan dini: notifikasi membantu segera melakukan tindakan saat kondisi mulai tidak normal.

2.2.6 Mikrokontroler ESP 32

Mikrokontroler adalah sebuah sistem komputer miniatur yang terdiri dari Central Processing Unit (CPU), memori, dan periferal *input*/*output* (I/O) yang terintegrasi dalam satu chip tunggal.

Mikrokontroler dirancang untuk menjalankan program yang telah ditanamkan, sehingga mampu mengontrol berbagai perangkat secara otomatis. Kemampuannya dalam berinteraksi dengan sensor dan aktuator membuat mikrokontroler menjadi elemen penting dalam sistem otomatisasi.

Pemrograman mikrokontroler melibatkan bahasa seperti C atau C++ yang memungkinkan pengembang mengontrol perangkat keras dengan efisien. Dalam pengembangannya, mikrokontroler digunakan untuk berbagai aplikasi seperti pengendalian motor, pengolahan sinyal, dan pengumpulan data sensor, yang semuanya membutuhkan tingkat presisi tinggi dalam pemrogramannya. Pada gambar 2.4 berikut ini di tampilkan output pada Mikrokontroler ESP32.



Gambar 2.4 Mikrokontroler ESP32 (Sumber: forum.arduino.cc)

- Konsep Dasar dan Komponen ESP32

ESP32 merupakan mikrokontroler berarsitektur 32-bit yang dirancang untuk mendukung pengembangan sistem Internet of Things (IoT) dengan kemampuan komunikasi nirkabel yang terintegrasi. ESP32 memiliki modul WiFi

dan Bluetooth bawaan sehingga mampu mengirim dan menerima data melalui jaringan internet maupun komunikasi jarak dekat tanpa memerlukan modul tambahan. Dalam penerapannya, ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali sistem yang bertugas membaca data dari sensor, memproses data tersebut, serta mengirimkan hasilnya ke server atau aplikasi pengguna secara real-time. Hal ini menjadikan ESP32 sangat cocok digunakan pada sistem monitoring, otomasi, dan perangkat pintar berbasis jaringan.

Secara komponen, ESP32 terdiri dari CPU dual-core dengan kecepatan hingga 240 MHz yang berperan dalam menjalankan program dan pengolahan data. ESP32 juga dilengkapi dengan GPIO (*General Purpose Input Output*) yang digunakan untuk menghubungkan berbagai perangkat eksternal seperti sensor, aktuator, dan display. Selain itu, terdapat ADC (*Analog to Digital Converter*) yang memungkinkan ESP32 membaca data analog dari sensor, serta memori flash yang digunakan untuk menyimpan program dan data. ESP32 bekerja pada tegangan 3.3V dan memiliki fitur mode hemat daya (deep sleep) yang memungkinkan perangkat beroperasi lebih efisien, khususnya pada sistem berbasis baterai. Dengan kombinasi kemampuan pemrosesan, konektivitas, dan efisiensi daya, ESP32 menjadi salah satu mikrokontroler yang banyak digunakan dalam pengembangan sistem IoT modern

- Mekanisme Komunikasi dan Sinkronisasi Data

Mekanisme komunikasi dan sinkronisasi data pada sistem berbasis ESP32 dilakukan melalui jaringan internet dengan memanfaatkan konektivitas WiFi yang terintegrasi pada perangkat. ESP32 berfungsi sebagai node utama yang mengirimkan data hasil pembacaan sensor ke server atau platform IoT menggunakan protokol komunikasi seperti HTTP, MQTT, atau WebSocket. Data yang dikirimkan mencakup informasi kondisi sensor secara real-time, yang selanjutnya disimpan dan diproses pada server. Melalui mekanisme ini, pengguna dapat memantau kondisi sistem dari jarak jauh menggunakan perangkat seperti handphone atau komputer yang terhubung ke jaringan internet.

Sinkronisasi data terjadi ketika ESP32 dan server saling bertukar informasi secara dua arah (*two-way communication*). ESP32 secara periodik atau berdasarkan

event tertentu akan mengirimkan data terbaru ke server, sementara server dapat mengirimkan kembali perintah atau konfigurasi yang diberikan oleh pengguna melalui aplikasi. Proses sinkronisasi ini memastikan bahwa data yang ditampilkan pada aplikasi pengguna selalu sesuai dengan kondisi aktual sistem. Selain itu, penggunaan timestamp dan pembaruan data secara berkala membantu menjaga konsistensi informasi antara perangkat ESP32, server, dan aplikasi pengguna. Dengan mekanisme komunikasi dan sinkronisasi data yang terintegrasi, sistem IoT berbasis ESP32 mampu bekerja secara andal, real-time, dan efisien dalam mendukung kebutuhan monitoring dan kontrol jarak jauh.

2.2.7 Sistem Monitoring Jantung Berbasis IoT

Sistem monitoring jantung berbasis IoT merupakan sistem yang mengintegrasikan sensor biometrik, mikrokontroler, dan jaringan internet untuk memantau kondisi jantung secara kontinu. Sensor digunakan untuk mengambil data fisiologis, mikrokontroler berfungsi mengolah data, sedangkan IoT berperan sebagai media pengiriman dan penyimpanan data.

Sistem ini dapat dilengkapi dengan fitur visualisasi data dan notifikasi otomatis. Ketika nilai detak jantung atau SpO2 berada di luar batas normal, sistem dapat memberikan peringatan kepada pengguna atau pihak terkait (Maxim Integrated, 2018).

2.2.8 Sistem Notifikasi dan Peringatan Dini

Sistem notifikasi merupakan komponen penting dalam sistem monitoring kesehatan. Notifikasi berfungsi untuk memberikan peringatan secara otomatis ketika terdeteksi kondisi yang berpotensi berbahaya.

Sistem notifikasi dan peringatan dini adalah suatu sistem yang berfungsi untuk mendeteksi kondisi tertentu berdasarkan data yang diperoleh dari sensor, kemudian memberikan informasi atau peringatan kepada pengguna apabila nilai yang terdeteksi berada di luar batas normal yang telah ditentukan. Sistem ini bertujuan agar pengguna dapat mengetahui adanya kondisi yang memerlukan perhatian dan dapat mengambil tindakan lebih lanjut. Notifikasi dan peringatan dini dapat dilihat pada gambar 2.5 berikut ini.



Gambar 2.5 Notifikasi & Peringatan Dini

Dalam penelitian ini, sistem notifikasi dirancang untuk memberikan peringatan dini apabila nilai BPM atau SpO2 berada di luar rentang normal. Notifikasi ini diharapkan dapat membantu pengguna mengambil tindakan cepat untuk mencegah risiko serangan jantung [16].

Dengan demikian, sistem notifikasi dan peringatan dini pada penelitian ini berfungsi sebagai mekanisme pemberi informasi secara cepat terhadap perubahan kondisi parameter yang dipantau, sehingga pengguna dapat mengetahui kondisi sistem tanpa harus terus-menerus mengamati nilai sensor secara manual.

2.2.9 LCD OLED Display 12C

OLED display adalah modul tampilan digital berbasis teknologi Organic Light Emitting Diode (OLED) yang umumnya digunakan dengan resolusi seperti 128×64 atau 128×32 dan dikendalikan oleh driver SSD1306 atau kompatibel. OLED display biasanya menggunakan antarmuka I2C, sehingga komunikasi dengan mikrokontroler dapat dilakukan melalui protokol I2C. Penggunaan antarmuka I2C membuat koneksi menjadi lebih sederhana karena hanya memerlukan jalur SDA dan SCL (selain VCC dan GND), serta tidak memerlukan lampu latar seperti LCD konvensional karena setiap piksel OLED dapat

memancarkan cahaya sendiri. Berikut adalah tabel dari spesifikasi LCD OLED Display 12 C dapat dilihat pada tabel 2.5 dibawah ini.

Tabel 2. 5 Spesifikasi LCD OLED Display 12C

NO.	Parameter	Spesifikasi umum
1.	Jenis tampilan	OLED (Organic Light Emitting Diode)
2.	Matriks karakter	128 × 64 piksel *(grafik, bukan karakter tetap)*
3.	Pengendali LCD	SSD1306 (atau kompatibel)
4.	Antarmuka	I2C melalui I2C backpack (umumnya PCF8574/PCF8574A)
5.	Jumlah pin koneksi	4 pin: VCC, GND, SDA, SCL
6.	Tegangan operasi (umum)	5 V DC (sebagian modul mendukung 3,3 V tergantung rancangan)
7.	Alamat I2C (umum)	0x3C atau 0x3D
8.	Fitur tambahan modul	Konsumsi daya rendah, kontras tinggi, tidak memerlukan backlight, sudut pandang lebar, mendukung tampilan teks dan grafis

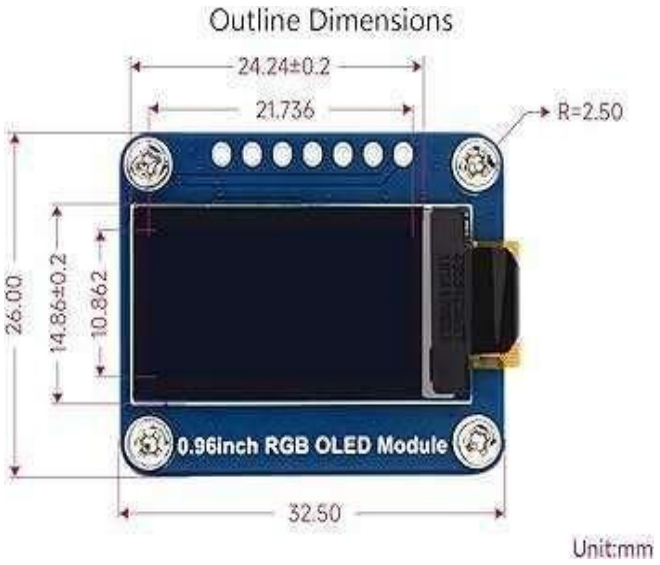
OLED display umumnya menggunakan pengendali seperti SSD1306 atau kompatibel yang bekerja secara langsung dengan data digital untuk mengatur tampilan piksel pada layar. Berbeda dengan LCD 16×2 yang menggunakan antarmuka paralel, OLED berbasis I2C tidak memerlukan IC ekspander I/O tambahan. Mikrokontroler mengirimkan perintah (command) dan data tampilan secara langsung melalui protokol I2C menggunakan jalur SDA dan SCL ke pengendali SSD1306, yang kemudian mengatur aktivasi piksel OLED untuk menampilkan teks maupun grafis. Dengan mekanisme ini, penggunaan OLED display menjadi lebih sederhana dan efisien dalam pemakaian pin mikrokontroler.

OLED display berbasis I2C umumnya menyediakan konektor 4 pin, yaitu VCC, GND, SDA, dan SCL. Tegangan kerja VCC pada modul OLED umumnya berada pada 3,3 V hingga 5 V, tergantung pada rancangan modul dan regulator internal yang digunakan. Pin SDA dan SCL berfungsi sebagai jalur data dan clock dalam komunikasi menggunakan protokol I2C.

Pada platform mikrokontroler seperti ESP32, jalur I2C dapat dipetakan ke GPIO tertentu; konfigurasi yang umum digunakan adalah SDA pada GPIO21 dan SCL pada GPIO22, meskipun pemetaan pin tersebut bersifat fleksibel dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan sistem.

Setiap perangkat yang terhubung pada bus I2C memiliki alamat 7-bit, sehingga OLED display harus diinisialisasi dengan alamat yang sesuai. Pada modul OLED berbasis pengendali SSD1306, alamat I2C yang umum digunakan adalah 0x3C atau 0x3D, tergantung pada konfigurasi modul. Oleh karena adanya variasi alamat tersebut, disarankan untuk melakukan pemindaian alamat I2C (I2C *scanner*) sebelum proses pemrograman guna memastikan alamat perangkat yang digunakan.

Komunikasi I2C (*Inter-Integrated Circuit*) merupakan metode komunikasi serial yang memungkinkan ESP32 berkomunikasi dengan OLED menggunakan jumlah jalur yang relatif sedikit. Pada komunikasi I2C terdapat dua jalur utama, yaitu SDA (Serial Data) yang digunakan untuk mengirimkan data dan SCL (*Serial Clock*) yang digunakan sebagai sinyal pewaktu.



Gambar 2.6 LCD OLED Display 12C

(Sumber: matharpacadyvillage.com)

Berbeda dengan LCD konvensional, OLED display tidak memerlukan pengaturan kontras maupun backlight, karena setiap piksel OLED mampu memancarkan cahaya secara mandiri. Hal ini menghasilkan tingkat kontras yang tinggi dan keterbacaan tampilan yang baik pada berbagai kondisi pencahayaan,

sekaligus membantu mengurangi konsumsi daya karena tidak adanya lampu latar tambahan.

2.2.10 Batrai Lithium Ion (Li-ion)

Baterai adalah suatu perangkat elektrokimia yang berfungsi untuk menyimpan energi dalam bentuk energi kimia dan mengubahnya menjadi energi listrik melalui reaksi kimia yang terjadi di dalamnya. Energi listrik yang dihasilkan oleh baterai dapat digunakan untuk menyuplai daya pada berbagai peralatan elektronik dan sistem kelistrikan, baik yang berskala kecil maupun besar.

Baterai Li-ion memiliki beberapa karakteristik yang membuatnya banyak digunakan pada perangkat elektronik, antara lain densitas energi yang relatif tinggi, ukuran yang ringkas, bobot yang relatif ringan, serta dapat digunakan berulang kali melalui proses pengisian ulang**.** Tegangan nominal satu sel Li-ion pada umumnya berada di sekitar 3,6–3,7 V, sedangkan tegangan ketika terisi penuh dapat mencapai sekitar 4,2 V, tergantung pada jenis dan spesifikasi baterai. Pada Gambar 2.7 ini menunjukkan baterai sebagai sumber alat tersebut.



Gambar 2.7 Batrai Li – ion 3,7 V

(Sumber: motoma.com)

Dalam sistem kelistrikan modern, baterai memiliki peran yang sangat penting karena mampu menyediakan sumber energi listrik portabel**,** stabil, dan independen dari sumber listrik utama. Oleh karena itu, baterai banyak digunakan pada perangkat elektronik konsumen, kendaraan listrik, sistem tenaga cadangan, serta teknologi Internet of Things (IoT).

Baterai bekerja berdasarkan prinsip reaksi elektrokimia, yaitu reaksi kimia yang menghasilkan aliran elektron. Di dalam baterai terdapat tiga komponen utama, yaitu:

1. Anoda (elektroda negatif)
2. Katoda (elektroda positif)
3. Elektrolit

Ketika baterai dihubungkan dengan beban, terjadi reaksi oksidasi di anoda yang melepaskan elektron. Elektron tersebut mengalir melalui rangkaian luar menuju katoda, sehingga menghasilkan arus listrik. Sementara itu, ion-ion bermuatan bergerak melalui elektrolit untuk menjaga keseimbangan muatan.

Selama proses ini berlangsung, energi kimia yang tersimpan dalam bahan aktif baterai akan berangsur-angsur berkurang dan diubah menjadi energi listrik. Pada baterai yang dapat diisi ulang, reaksi ini dapat dibalik dengan cara memberikan energi listrik dari luar.

Secara umum, baterai Li-Po dengan kapasitas 1000 mAh memiliki tegangan nominal sebesar 3,7volt dan tegangan maksimum pengisian sebesar 4,2 volt. Kapasitas 1000 mAh menunjukkan kemampuan baterai untuk menyuplai arus sebesar 1000 miliampere selama satu jam pada kondisi ideal. Baterai ini umumnya memiliki arus pengosongan (discharge current) yang bervariasi tergantung tipe C-rate, biasanya berkisar antara 1C hingga 20C, sehingga dapat digunakan pada aplikasi dengan kebutuhan arus rendah hingga sedang. Dapat dilihat pada tabel 2.6 paramater dan spesifikasi dari baterai Li – ion berikut ini.

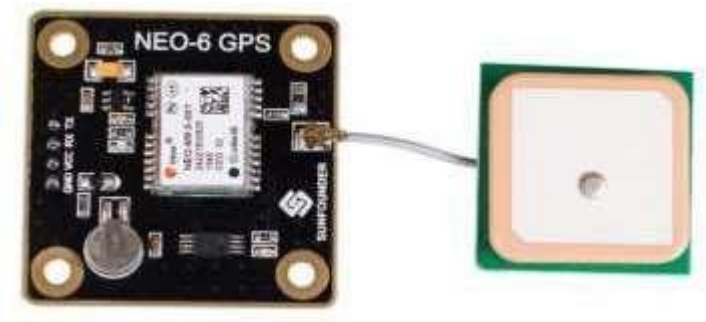
Tabel 2. 6 Parameter & Spesifikasi Baterai Li - ion

NO.	Parameter	Spesifikasi
1.	Jenis baterai	Lithium Polymer (Li-Po)
2.	Tegangan nominal	3,7 V
3.	Tegangan pengisian maksimum	4,2 V
4.	Kapasitas	1000 mAh
5.	Energi tersimpan	± 3,7 Wh
6.	Arus pengosongan (discharge)	1C–20C (tergantung tipe)

NO.	Parameter	Spesifikasi
7.	Arus pengisian	0,5C–1C (±500 mA–1000 mA)
8.	Dimensi	± 50 mm × 30 mm × 5 mm (estimasi umum)
9.	Berat	± 20–30 gram
10.	Rentang suhu operasi	−20 °C hingga 60 °C
11.	Siklus pengisian	± 300–500 siklus

2.2.11 GPS NEO-6M

Modul GPS NEO-6M merupakan perangkat penerima sinyal Global Positioning System (GPS) yang digunakan untuk menentukan posisi geografis berdasarkan koordinat lintang dan bujur. Modul ini diproduksi oleh u-blox dan banyak digunakan pada sistem navigasi, pelacakan kendaraan, serta aplikasi Internet of Things (IoT) karena memiliki ukuran kompak, konsumsi daya rendah, dan tingkat akurasi yang baik. Dapat dilihat pada gambar 2.8 ini menunjukkan GPS NEO-6M sebagai sumber alat tersebut berikut gambar komponen.



Gambar 2.8 GPS NEO-6M

(Sumber: wiki.sunfounder.cc)

NEO-6M bekerja dengan menerima sinyal dari satelit GPS pada frekuensi L1 sebesar 1575,42 MHz. Modul ini mampu menghitung posisi dalam bentuk data NMEA *(National Marine Electronics Association)* yang dikirimkan melalui

komunikasi serial UART. Data yang dihasilkan mencakup informasi koordinat latitude dan longitude, kecepatan, waktu, serta status satelit yang terhubung.

Modul ini dilengkapi dengan antena patch ceramic eksternal yang berfungsi untuk meningkatkan sensitivitas penerimaan sinyal satelit. Selain itu, modul GPS NEO-6M mendukung mode cold start, warm start, dan hot start dengan waktu akuisisi yang relatif cepat, sehingga cocok digunakan pada sistem monitoring berbasis mikrokontroler seperti Arduino dan ESP32.

Tabel 2. 7 Parameter & Spesifikasi GPS NEO-6M

NO.	Parameter	Spesifikasi
1.	Tipe modul	u-blox NEO-6M
2.	Sistem satelit	GPS (Global Positioning System)
3.	Frekuensi operasi	1575,42 MHz (L1 Band)
4.	Tegangan kerja	2,7 V – 3,6 V (umumnya 3,3 V)
5.	Arus konsumsi	± 45 mA (tracking mode)
6.	Antarmuka komunikasi	UART (TX, RX)
7.	Baud rate default	9600 bps
8.	Format data	NMEA 0183
9.	Akurasi posisi	± 2,5 meter (CEP)
10.	Sensitivitas tracking	−161 dBm
11.	Sensitivitas akuisisi	−148 dBm
12.	Waktu akuisisi awal (Cold Start)	± 27 detik
13.	Waktu akuisisi ulang (Hot Start)	± 1 detik
14.	Jumlah kanal	50 channel GPS
15.	Dimensi modul	± 25 mm × 35 mm × 6 mm
16.	Antena	Patch antenna 25 × 25 mm
17.	Suhu operasi	−40 °C hingga 85 °C

2.2.12 Step-down DC to DC 12V ke 5V

Step-down DC to DC 12V ke 5V merupakan suatu konverter daya berbasis regulator switching (buck converter) yang berfungsi untuk menurunkan tegangan arus searah dari 12 volt menjadi 5 volt secara efisien dan terkontrol, dengan

memanfaatkan proses penyaklaran berfrekuensi tinggi serta komponen induktor dan kapasitor, sehingga menghasilkan tegangan keluaran yang stabil dan sesuai untuk kebutuhan sistem elektronika dan mikrokontroler. Pada gambar 2.9 adalah alat komponen berupa Step-down DC to DC 12V ke 5V tersebut.



Gambar 2.9 Step - Down DC to DC 12V ke 5V
(Sumber: www.google.com)

Umumnya memiliki tegangan masukan (input voltage) pada rentang 7–35 V DC, dengan tegangan keluaran (output voltage) yang dapat diatur dan distabilkan pada 5 V DC, arus keluaran maksimum berkisar antara 2 A hingga 3 A tergantung jenis modul, serta efisiensi konversi yang tinggi yaitu sekitar 80–95%, sehingga menghasilkan panas yang relatif rendah; modul ini bekerja pada frekuensi switching antara 150 kHz sampai 300 kHz, dilengkapi dengan proteksi arus lebih (over-current protection) dan proteksi suhu berlebih (thermal protection), serta menggunakan komponen utama berupa IC regulator switching, induktor, dioda Schottky, dan kapasitor filter, yang menjadikannya sesuai untuk aplikasi mikrokontroler, sensor, dan sistem berbasis baterai.

2.2.13 Buzzer

Buzzer merupakan komponen elektronika yang berfungsi untuk mengubah sinyal listrik menjadi getaran suara. Pada sistem ini, buzzer digunakan sebagai indikator alarm atau peringatan suara (*audio alarm*) ketika terjadi kondisi

abnormal, seperti deteksi denyut jantung di luar batas aman. Pada gambar 2.10 ini adalah alat komponen berupa Buzzer, berikut gambar komponen tersebut.



Gambar 2. 10 Buzzer SFM-27

Buzzer yang digunakan pada gambar 2.10 adalah tipe SFM-27 bertipe *active buzzer piezoelektrik* dengan bentuk silinder dan dilengkapi telinga dudukan (*mounting ears*) di kedua sisinya untuk memudahkan pemasangan pada *casing* alat. Komponen ini beroperasi pada rentang tegangan 3–24V DC dengan tingkat keluaran suara mencapai 85–95 dB, sehingga menghasilkan bunyi peringatan yang cukup nyaring. Buzzer ini dilengkapi dengan dua kabel koneksi, yaitu kabel berwarna merah untuk jalur positif (V_{CC}) dan kabel hitam untuk jalur negatif (GND). Karena tergolong buzzer aktif, komponen ini akan langsung mengeluarkan suara peringatan ketika dialiri tegangan listrik dari rangkaian penggerak (*driver*) tanpa memerlukan pengatur frekuensi eksternal.

2.3 Sistem Monitoring Detak Jantung

Sistem monitoring detak jantung adalah suatu sistem elektronik dan medis yang dirancang untuk mengukur, memantau, dan menganalisis frekuensi denyut jantung (heart rate) seseorang secara real-time atau periodik, dengan tujuan untuk mengetahui kondisi fisiologis jantung serta mendeteksi adanya gangguan atau kelainan pada sistem kardiovaskular. Nilai detak jantung umumnya dinyatakan dalam satuan beats per minute (BPM).

Sistem ini banyak digunakan dalam bidang kesehatan klinis, olahraga, telemedisin, dan teknologi berbasis Internet of Things (IoT) karena mampu

memberikan informasi kesehatan secara cepat, akurat, dan berkelanjutan. Secara umum, sistem monitoring detak jantung bekerja dengan mendeteksi perubahan sinyal biologis yang dihasilkan oleh aktivitas jantung, kemudian mengolah sinyal tersebut menjadi data digital yang dapat ditampilkan, disimpan, atau dikirim ke sistem lain.

Pada sistem modern, prinsip kerja yang paling banyak digunakan adalah Photoplethysmography (PPG), yaitu metode optik yang mendeteksi perubahan volume darah pada pembuluh darah akibat kontraksi dan relaksasi jantung. Perubahan ini kemudian dikonversi menjadi sinyal listrik oleh sensor, diproses oleh mikrokontroler, dan ditampilkan dalam bentuk nilai BPM.

2.4 Kelebihan Sistem Monitoring Detak Jantung

Sistem monitoring detak jantung memiliki keunggulan utama berupa kemampuan pemantauan kondisi jantung secara real-time dan berkelanjutan, sehingga memungkinkan tenaga medis maupun pengguna untuk mengetahui perubahan denyut jantung secara langsung dan mendeteksi adanya indikasi gangguan kardiovaskular sejak dini, yang sangat penting dalam upaya pencegahan dan penanganan penyakit jantung [1].

Selain itu, sistem monitoring detak jantung umumnya bersifat non-invasif, sehingga tidak memerlukan tindakan medis yang kompleks dan dapat digunakan dengan aman serta nyaman dalam jangka waktu yang lama, baik pada pasien rumah sakit maupun pengguna sehari-hari, tanpa menimbulkan rasa sakit dan cedera [13].

Kelebihan lainnya adalah tingkat akurasi pengukuran yang cukup tinggi, terutama pada sistem yang menggunakan sensor optik berbasis Photoplethysmography (PPG) atau sensor elektrokardiografi (ECG), karena sensor tersebut mampu menangkap perubahan fisiologis aliran darah atau aktivitas listrik jantung secara presisi dan kemudian diolah menjadi data denyut jantung dalam satuan BPM [20].

Sistem monitoring detak jantung modern jug dapat diintegrasikan dengan mikrokontroler dan teknologi Internet of Things (IoT), sehingga data hasil pengukuran dapat dipantau dari jarak jauh melalui aplikasi atau server berbasis

cloud, yang sangat mendukung penerapan telemedisin da layanan kesehatan digital [11].

Dari sisi efisiensi, penggunaan sistem monitoring detak jantung mampu mengurangi beban tenaga medis, karena proses pemantauan dapat dilakukan secara otomatis dan kontinu, sekaligus meningkatkan efektivitas pelayanan kesehatan melalui penyediaan data historis yang dapat dianalisis untuk evaluasi kondisi pasien dalam jangka panjang [6]. Dengan adanya pemantauan kesehatan yang mudah dan berkelanjutan, pengguna dapat lebih sadar terhadap kondisi tubuhnya, yang pada akhirnya dapat meningkatkan kualitas hidup dan keselamatan kesehatan secara keseluruhan.

2.5 Kekurangan Monitoring Detak Jantung

Sistem monitoring detak jantung memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Salah satu kekurangan utama adalah akurasi pengukuran yang dapat dipengaruhi oleh gerakan pengguna, terutama pada sistem berbasis sensor optik (PPG), karena pergerakan tubuh dapat menimbulkan noise pada sinyal yang diterima sensor sehingga hasil pengukuran menjadi kurang stabil [28].

Selain itu, kualitas sensor yang digunakan sangat memengaruhi keandalan sistem, di mana sensor dengan spesifikasi rendah cenderung menghasilkan data yang kurang akurat dan sulit dikalibrasi secara konsisten [13]. Faktor fisiologis dan lingkungan, seperti warna kulit, suhu tubuh, keringat, serta posisi sensor, juga dapat menyebabkan variasi hasil pengukuran yang tidak merepresentasikan kondisi jantung secara tepat [8].

Kekurangan lainnya adalah ketergantungan pada catu daya, khususnya baterai, sehingga penggunaan jangka panjang memerlukan manajemen daya yang baik agar sistem dapat beroperasi secara optimal [15]. Pada sistem monitoring detak jantung berbasis IoT, kualitas koneksi jaringan internet menjadi faktor penting, karena gangguan jaringan dapat mengakibatkan keterlambatan atau kehilangan data pemantauan [11].

Selain itu, sistem monitoring detak jantung tidak dapat digunakan sebagai alat diagnosis medis utama, melainkan hanya sebagai alat bantu pemantauan yang

tetap memerlukan interpretasi oleh tenaga medis profesional [16]. Aspek lain yang perlu diperhatikan adalah keamanan dan privasi data kesehatan, karena data detak jantung termasuk informasi sensitif yang berisiko disalahgunakan apabila tidak dilindungi dengan sistem keamanan yang memadai [14].

2.6 Tantangan dan Solusi

Salah satu tantangan utama dalam sistem monitoring detak jantung adalah akurasi pengukuran, khususnya pada sistem berbasis sensor optik Photoplethysmography (PPG), karena hasil pengukuran sangat dipengaruhi oleh gerakan tubuh (motion artifact), kondisi kulit, intensitas cahaya lingkungan, dan posisi sensor, yang dapat menyebabkan distorsi sinyal dan kesalahan perhitungan nilai BPM [20]. Untuk mengatasi tantangan ini, diterapkan algoritma pemrosesan sinyal digital seperti filtering (low-pass dan band-pass filter) serta teknik motion artifact reduction, dan penggunaan sensor dengan kualitas optik tinggi agar data yang dihasilkan lebih stabil dan akurat [13].

Sistem monitoring detak jantung, terutama yang bersifat portable dan wearable, menghadapi tantangan berupa keterbatasan daya baterai, karena proses pembacaan sensor, pemrosesan data, dan komunikasi nirkabel membutuhkan konsumsi energi besar [14]. Solusi yang umum diterapkan adalah penggunaan mikrokontroler berdaya rendah, penerapan mode sleep, serta pemanfaatan step-down DC to DC dengan efisiensi tinggi untuk mengoptimalkan penggunaan energi dan memperpanjang umur baterai sistem [11].

Pada sistem monitoring detak jantung berbasis Internet of Things (IoT), tantangan yang sering muncul adalah ketidakstabilan koneksi jaringan, yang dapat menyebabkan keterlambatan pengiriman data atau kehilangan informasi penting, terutama saat pemantauan dilakukan secara real-time [8]. Untuk mengatasi masalah ini, digunakan mekanisme penyimpanan data lokal (buffering) pada perangkat, serta penerapan protokol komunikasi yang andal dan sistem sinkronisasi data agar informasi tetap dapat dikirim ketika koneksi kembali stabil [14].

Data detak jantung merupakan bagian dari data kesehatan pribadi yang bersifat sensitif, sehingga sistem monitoring detak jantung menghadapi tantangan

dalam menjaga keamanan dan kerahasiaan data pengguna dari akses yang tidak sah [21]. Solusi yang diterapkan meliputi penggunaan enkripsi data, autentikasi pengguna, serta pengelolaan akses berbasis sistem keamanan jaringan untuk melindungi data kesehatan dari kebocoran dan penyalahgunaan [21].

Sistem monitoring detak jantung sering kali menghadapi kesulitan dalam integrasi dengan sistem medis atau perangkat kesehatan lain, karena perbedaan standar data dan format sistem. Solusi yang dapat dilakukan adalah penerapan standar interoperabilitas data kesehatan dan penggunaan format data yang seragam agar sistem monitoring dapat terintegrasi dengan sistem informasi kesehatan secara lebih luas dan efektif [1].

Meskipun sistem monitoring detak jantung menghadapi berbagai tantangan teknis seperti akurasi pengukuran, konsumsi daya, keandalan transmisi data, serta keamanan informasi, tantangan-tantangan tersebut dapat diatasi melalui penerapan teknologi sensor yang tepat, algoritma pemrosesan sinyal yang optimal, sistem manajemen daya yang efisien, dan mekanisme keamanan data yang kuat.

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Tempat Penelitian

Lokasi penelitian ini berada di lingkungan rumah saya yang dimana dekat dengan klinik, di Dusun 2 Pasar 1, Desa Aras, Kecamatan Air putih, Kabupaten Batu Bara, Sumatra Utara. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada pertimbangan yang strategis dan sesuai dengan tujuan penelitian.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian Dekat Daerah Rumah

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Berikut merupakan alat dan bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini: Berikut merupakan alat dan bahan yang dibutuhkan dalam melakukan penelitian yang diuraikan dalam Tabel 3.1 dan Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Alat Penelitian

NO.	Alat penelitian	Fungsinya
1.	Solder	Menyolder komponen ke PCB agar rangkaian kuat dan tidak mudah lepas.
2.	Timah solder	Bahan penghantar untuk proses penyolderan.

3.	Multimeter	Mengukur tegangan, arus, resistansi, dan mengecek kontinuitas rangkaian saat perakitan/pengujian.
4.	Laptop/PC	Menulis program, mengunggah program ke mikrokontroler, serta melakukan pemantauan data (jika diperlukan).
5.	Kabel USB data	Menghubungkan mikrokontroler ke laptop/PC untuk upload program dan/atau komunikasi serial.
6.	Obeng	Membantu pemasangan modul, pengencangan sekrup, dan penataan perangkat.

Adapun bahan-bahan yang diperlukan dalam melakukan penelitian adalah sebagai berikut:

Tabel 3.2 Bahan Penelitian

NO.	Bahan penelitian	Fungsinya
1.	ESP 32 DevKit	Unit kendali untuk membaca sensor, memproses data, dan mengendalikan output.
2.	GPS NEO 6M	Sebagai penentu lokasi geografis
3.	Sensor MAX30102	Mengukur Detak jantung dalam bpm
4.	Oled display	Menampilkan data BPM, SpO2, dan koordinat lokasi GPS
5.	Kabel Jumper	Penghubung antar komponen
6.	Tombol botton	Mereset suatu rangkaian
7.	Tombol on/off	Sumber penyambung & pemutus rangkaian
8.	Batrai	Sumber tegangan untuk seluruh rangkaian.
9.	Breadboard atau PCB	Media perakitan rangkaian (sementara/permanen).
10.	Holder box batrai	Media tempat batrai
11.	Resistor	Pembatas arus/pembagi tegangan/pull-up sesuai kebutuhan rangkaian.

3.3 Desain Penelitian

Dalam membuat alat sistem monitoring, penulis perlu medesain bentuk alat sistem yang akan dibuat. Berikut adalah desain yang dibuatkan oleh penulis sendiri dapat dilihat pada gambar 3.2 Desain Alat yang dibuat oleh pen sebagai berikut.

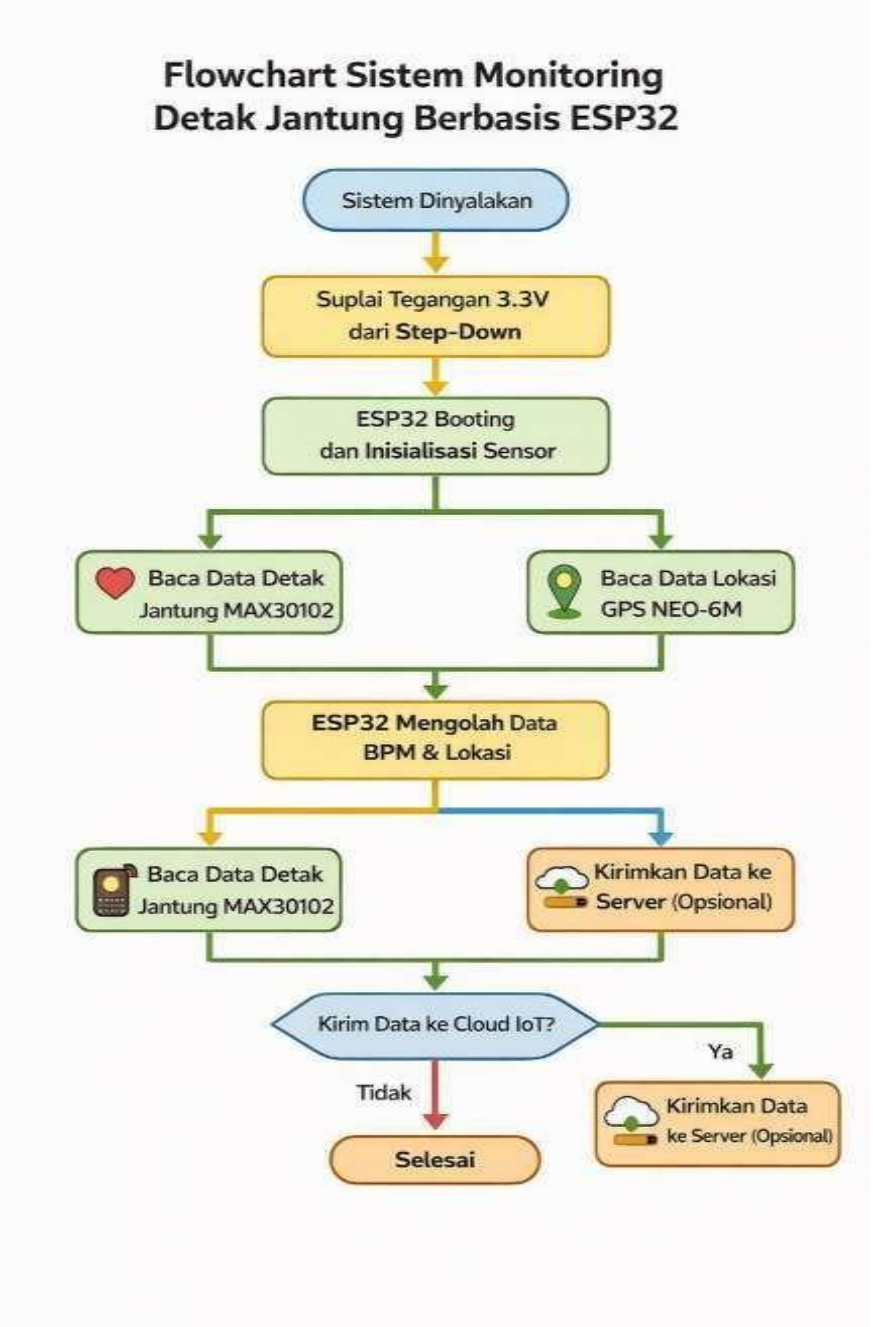


Gambar 3.2 Desain Alat

(Sumber: Dokumentasi dan perancangan penulis, 2026)

3.4 Diagram Blok Sistem

Sistem yang dirancang terdiri dari beberapa komponen utama yang saling terintegrasi, yaitu sensor MAX30102, GPS NEO 6M. Sebagai penentu lokasi geografis, ESP32 sebagai pengolah data, hasil pengukuran sensor dikirimkan ke cloud (*Arduino IoT Cloud*) sehingga dapat dimonitor secara *real-time* melalui aplikasi smartphone atau web. Berikut gambar dari blok diagram alir penelitiannya dapat dilihat pada gambar 3.3 tersebut



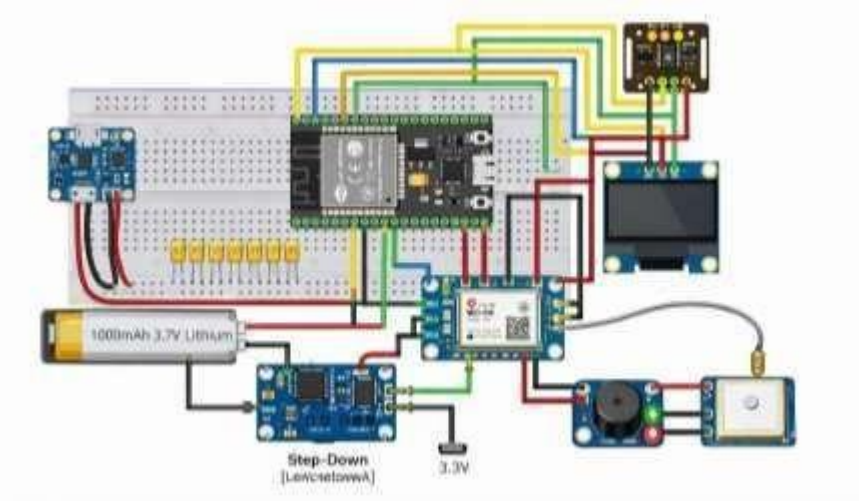
Gambar 3.3 Blok Diagram Alir Penelitian

(Sumber: Perancangan sistem oleh penulis, 2026)

3.5 Desain Rangkaian

Sensor MAX30102 berfungsi mendeteksi detak jantung dan mengirimkan data ke ESP32 untuk diproses menjadi nilai BPM. Hasil pengukuran ditampilkan pada layar OLED, sedangkan modul GPS NEO-6M digunakan untuk mengetahui

lokasi pengguna. Sistem juga dilengkapi buzzer sebagai indikator peringatan dan menggunakan baterai lithium dengan modul step-down sebagai sumber catu daya agar seluruh komponen dapat bekerja dengan stabil. Pada gambar 3.4 menunjukkan Alur Kerja Sistem Kontrol Rangkaian sebagai berikut.



Gambar 3.4 Alur Kerja Sistem Kontrol Rangkaian
(Sumber: Diagram sistem oleh penulis, 2026)

3.5.1 Alur Kerja Rangkaian Sistem Monitoring Detak Jantung

Sistem rangkaian monitoring detak jantung berbasis mikrokontroler ESP32 ini diawali dengan proses pemberian sumber daya menggunakan baterai lithium-ion berkapasitas 1000 mAh dengan tegangan nominal 3,7 V. Baterai ini berfungsi sebagai sumber energi utama yang memungkinkan sistem bekerja secara portabel tanpa harus terhubung ke sumber listrik eksternal. Namun, karena tegangan baterai dapat berubah-ubah antara 3,0 V hingga 4,2 V tergantung pada kondisi pengisian, maka digunakan modul step-down DC-DC converter untuk menurunkan dan menstabilkan tegangan menjadi 3,3 V. Tegangan 3,3 V ini kemudian didistribusikan ke seluruh komponen utama sistem, yaitu ESP32, sensor MAX30102, modul GPS Neo-6M, dan OLED display, sehingga semua komponen dapat bekerja dalam batas tegangan yang aman dan stabil.

Setelah sistem mendapatkan suplai daya yang stabil, tahap selanjutnya adalah proses inisialisasi sistem oleh mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali. Pada tahap ini, ESP32 melakukan konfigurasi awal terhadap seluruh periferal yang terhubung, termasuk pengaturan komunikasi I2C untuk sensor

MAX30102 dan OLED display, serta komunikasi UART untuk modul GPS Neo-6M. Proses inisialisasi ini sangat penting karena memastikan bahwa setiap perangkat keras terdeteksi dengan benar dan siap digunakan untuk proses pengambilan data. Selain itu, ESP32 juga menjalankan program utama yang telah diunggah sebelumnya untuk mengatur alur kerja sistem secara keseluruhan.

Setelah inisialisasi selesai, sensor MAX30102 mulai melakukan pembacaan data detak jantung pengguna. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip fotopletismografi (PPG), yaitu dengan memancarkan cahaya LED merah dan inframerah ke jaringan kulit, kemudian mendeteksi perubahan intensitas cahaya yang dipantulkan oleh pembuluh darah akibat aliran darah yang berdenyut. Sinyal analog yang dihasilkan kemudian dikonversi menjadi data digital dan dikirimkan ke ESP32 melalui jalur komunikasi I2C. Selanjutnya, ESP32 mengolah data tersebut menggunakan algoritma pemrosesan sinyal untuk menghitung nilai detak jantung dalam satuan Beats Per Minute (BPM) serta estimasi saturasi oksigen dalam darah (SpO2), sehingga informasi kesehatan pengguna dapat diperoleh secara real-time.

Pada saat yang sama, modul GPS Neo-6M bekerja untuk menentukan posisi geografis pengguna. Modul GPS ini menerima sinyal dari beberapa satelit navigasi global dan menghitung koordinat lintang (latitude) dan bujur (longitude) berdasarkan data satelit yang diterima. Data koordinat ini kemudian dikirimkan ke ESP32 melalui komunikasi serial UART. Informasi lokasi ini dapat digunakan sebagai fitur tambahan pada sistem monitoring kesehatan, terutama untuk mengetahui posisi pengguna dalam keadaan darurat atau untuk aplikasi pelacakan pasien secara jarak jauh.

Data detak jantung dan data lokasi yang telah diperoleh kemudian diproses lebih lanjut oleh ESP32. Mikrokontroler ini melakukan filtering sinyal untuk mengurangi noise, menghitung nilai rata-rata BPM, serta menggabungkan data sensor dengan data lokasi GPS. Data yang telah diolah kemudian diformat agar dapat ditampilkan pada OLED display dan juga dapat dikirimkan ke server atau aplikasi berbasis Internet of Things (IoT) melalui koneksi WiFi yang dimiliki oleh ESP32. Dengan adanya fitur IoT, data kesehatan pengguna dapat dipantau secara jarak jauh melalui smartphone atau komputer.

Tahap akhir dari alur kerja sistem adalah penampilan hasil pengukuran pada OLED display. Layar OLED digunakan sebagai antarmuka pengguna untuk menampilkan informasi detak jantung, nilai SpO2, status kerja sistem, serta koordinat lokasi GPS. Selain itu, sistem dapat dilengkapi dengan LED indikator untuk menunjukkan kondisi daya dan status sensor, serta buzzer sebagai alarm apabila nilai detak jantung berada di luar batas normal. Dengan demikian, sistem ini dapat berfungsi sebagai prototipe alat monitoring detak jantung portabel yang tidak hanya menampilkan data secara lokal, tetapi juga dapat dikembangkan untuk pemantauan kesehatan jarak jauh berbasis IoT.

Secara keseluruhan, alur kerja sistem dimulai dari pemberian sumber daya, penurunan dan stabilisasi tegangan, inisialisasi mikrokontroler, pembacaan data sensor detak jantung, pembacaan data lokasi GPS, pengolahan data oleh ESP32, hingga penampilan data pada OLED dan pengiriman data ke sistem IoT. Sistem ini diharapkan dapat memberikan solusi monitoring kesehatan yang praktis, portabel, dan real-time, sehingga dapat digunakan untuk pemantauan pasien, lansia, atau individu yang membutuhkan pemantauan kondisi kesehatan secara kontinu.

3.5.2 Penentuan Ambang Batas (*Threshold*) dan Logika Notifikasi

Sistem monitoring yang dirancang memerlukan batas nilai (*threshold*) untuk menentukan kondisi normal atau tidak normal berdasarkan parameter detak jantung (BPM) dan kadar saturasi oksigen (SpO_2). Penentuan ambang batas ini bertujuan agar sistem dapat memberikan notifikasi secara otomatis apabila nilai yang terbaca berada di luar rentang normal.

Nilai ambang batas ditentukan berdasarkan standar klinis umum untuk orang dewasa dalam kondisi istirahat, dimana detak jantung normal berada pada rentang 60–100 BPM dan nilai saturasi oksigen normal berada pada ≥95%. Apabila nilai berada di luar rentang tersebut, maka sistem akan mengaktifkan notifikasi peringatan. Secara umum, logika sistem dapat dituliskan sebagai nilai sensor → dibandingkan dengan threshold → menentukan kategori kondisi → menghasilkan notifikasi. Penentuan batas ini digunakan agar sistem dapat memberikan respons secara otomatis terhadap perubahan nilai BPM dan SpO_2 yang terdeteksi selama proses monitoring. Berikut tabel 3.3 yang menunjukkan kriteria ambang batas yang digunakan pada sistem.

Tabel 3.3 Kriteria Status Monitoring Detak Jantung dan SpO_2

No	Parameter	Rentang Nilai	Kategori	Status Sistem	Notifikasi
1	BPM	< 60 BPM	Bradikardia (Detak Lambat)	Tidak Normal	Alert
2	BPM	60 – 100 BPM	Normal (Dewasa Istirahat)	Normal	Normal
3	BPM	> 100 BPM	Takikardia (Detak Cepat)	Tidak Normal	Alert
4	SpO_2	≥ 95 %	Normal	Normal	Normal
5	SpO_2	90 – 94 %	Rendah Ringan	Waspada	Warning
6	SpO_2	< 90 %	Hipoksemia	Tidak Normal	Alert

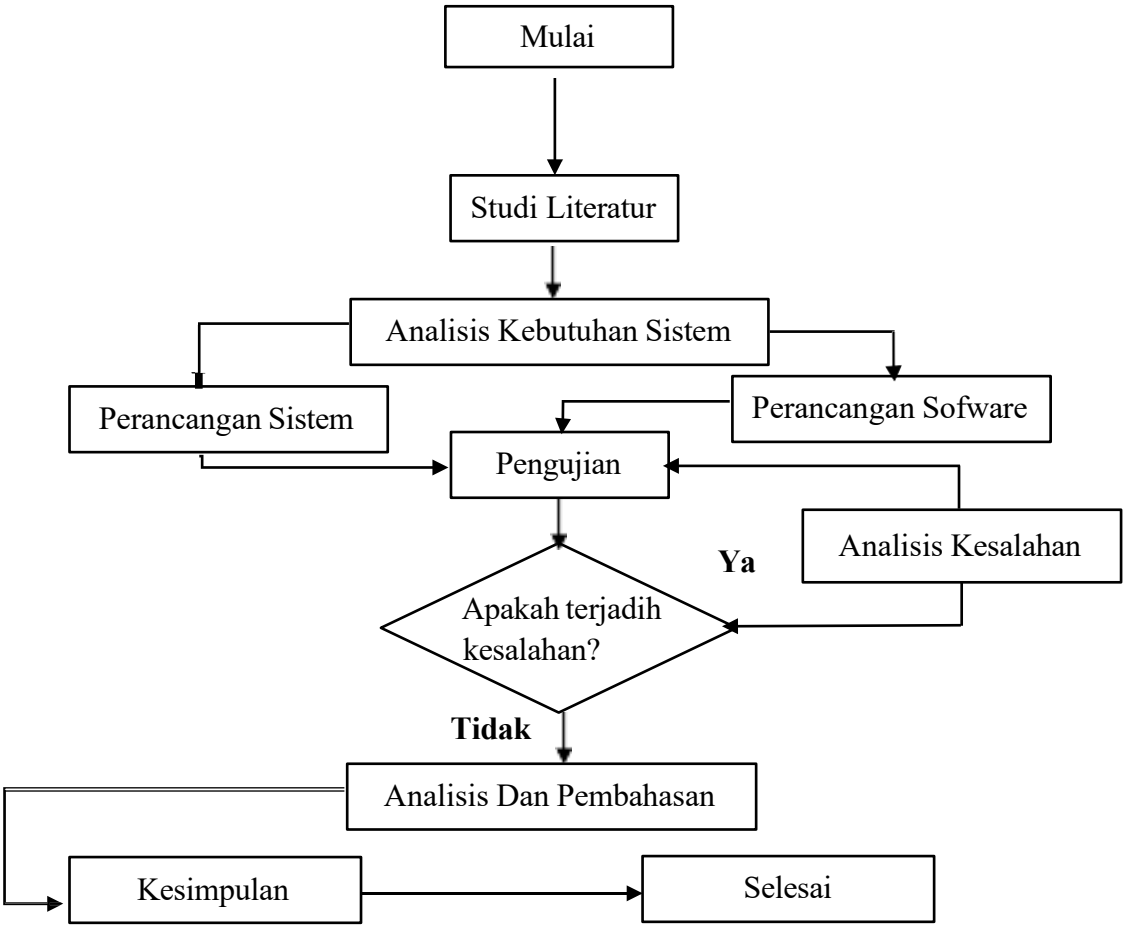
Berdasarkan tabel 3.3, pada parameter BPM (detak jantung), nilai < 60 BPM dikategorikan sebagai bradikardia (detak lambat). Pada kondisi ini, status sistem ditampilkan sebagai tidak normal dan sistem memberikan notifikasi Alert. Selanjutnya, nilai BPM pada rentang 60–100 BPM dikategorikan sebagai normal untuk orang dewasa dalam kondisi istirahat. Pada rentang tersebut, status sistem adalah normal dan notifikasi yang diberikan juga normal. Sementara itu, apabila nilai BPM > 100 BPM, kondisi dikategorikan sebagai takikardia (detak cepat). Sistem akan menetapkan status tidak normal dan memberikan notifikasi Alert.

Pada parameter SpO_2, nilai ≥ 95% dikategorikan sebagai kondisi normal, sehingga status sistem berada pada kondisi normal dan notifikasi yang diberikan adalah normal. Apabila nilai SpO_2 berada pada rentang 90–94%, kondisi dikategorikan sebagai rendah ringan. Pada kondisi tersebut, sistem memberikan status waspada dan notifikasi berupa Warning. Sedangkan apabila nilai SpO_2 < 90%, kondisi dikategorikan sebagai hipoksemia, sehingga sistem menetapkan kondisi tidak normal dan memberikan notifikasi Alert.

Dengan demikian, tabel tersebut berfungsi sebagai acuan penentuan kondisi dan sistem peringatan dini pada perangkat monitoring. Nilai BPM dan SpO_2 yang dibaca oleh sensor MAX30102 akan dibandingkan dengan batas yang telah

ditentukan. Apabila nilai masih berada pada kategori normal, sistem tidak memberikan peringatan khusus, sedangkan apabila nilai berada pada kategori tidak normal atau memerlukan perhatian, sistem akan memberikan Warning atau Alert sesuai dengan tingkat kondisi yang terdeteksi.

3.6 Bagian Alur penelitian



Gambar 3.5 Flowchart Alir Penelitian

3.6.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian disusun secara sistematis agar proses perancangan dan pengujian sistem berjalan terstruktur. Adapun tahapan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

   Tahap ini dilakukan dengan mempelajari berbagai referensi berupa jurnal ilmiah, buku, dan sumber terpercaya lainnya yang berkaitan dengan serangan jantung, detak jantung, sensor MAX30102, serta teknologi IoT.

2. Analisis Kebutuhan Sistem

   Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak yang diperlukan untuk membangun sistem monitoring jantung berbasis IoT.

3. Perancangan Sistem

   Tahap perancangan meliputi perancangan arsitektur sistem, blok diagram, serta alur kerja sistem.

4. Perancangan Sofware

   Merancang sebuah sofware untuk monitoring jarak jauh.

5. Implementasi Sistem

   Pada tahap ini dilakukan perakitan perangkat keras dan pemrograman perangkat lunak sesuai dengan desain yang telah dibuat.

6. Pengujian Sistem

   Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem dalam mengukur BPM dan SpO2, mengirimkan data, serta memberikan notifikasi.

7. Analisis dan Evaluasi

   Hasil pengujian dianalisis untuk menilai keandalan dan efektivitas sistem

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dibahas hasil implementasi sistem monitoring kualitas kesehatan pengguna denyut jantung dan saturasi oksigen berbasis *Internet of Things* (IoT) yang telah dirancang pada Bab III. Pembahasan meliputi hasil perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, pengujian fungsional setiap komponen, presentase error, pengujian akurasi, serta analisis kinerja sistem secara keseluruhan. Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh komponen sistem mampu bekerja sesuai dengan tujuan penelitian, yaitu memantau parameter kondisi kesehatan pengguna, khususnya detak jantung (BPM) dan saturasi oksigen dalam darah (SpO_2), serta kemampuan sistem dalam menampilkan, mengolah, dan mengirimkan data secara terintegrasi, menampilkan hasil pengukuran pada OLED Display, mengirimkan data ke Dashboard IoT Kita, serta memberikan peringatan melalui buzzer apabila parameter berada di luar batas aman.

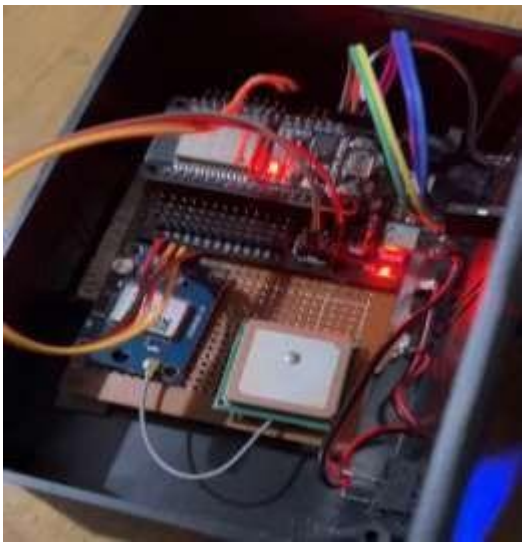
4.1 Hasil Perancangan Sistem

Pada penelitian ini telah dirancang dan direalisasikan sebuah prototipe sistem monitoring kondisi jantung berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan sensor MAX30102 dan mikrokontroler ESP32. Sistem dirancang untuk melakukan pemantauan parameter fisiologis berupa detak jantung dalam satuan Beats Per Minute (BPM) dan saturasi oksigen dalam darah (SpO_2). Selain itu, sistem dilengkapi dengan modul GPS NEO-6M untuk mengetahui lokasi pengguna, OLED display sebagai media tampilan lokal, serta sistem notifikasi sebagai peringatan apabila parameter yang diperoleh berada di luar batas yang telah ditentukan.

Secara keseluruhan, sistem bekerja dengan cara membaca data dari sensor MAX30102, kemudian data tersebut diproses oleh ESP32. Hasil pengolahan ditampilkan pada OLED dan dikirimkan melalui jaringan internet menuju platform IoT sehingga dapat dipantau secara real-time. Sistem juga menggunakan GPS NEO-6M untuk memperoleh informasi koordinat lokasi pengguna.

4.1.1 Hasil Rancangan Perangkat Keras

Hasil perancangan perangkat keras pada penelitian ini berupa sebuah prototipe sistem monitoring heart attack menggunakan sensor MAX30102 berbasis Internet of Things (IoT). Perangkat keras dirancang dengan mengintegrasikan beberapa komponen elektronik ke dalam satu wadah agar sistem dapat digunakan secara lebih praktis dan seluruh komponen dapat bekerja secara terintegrasi. Komponen utama yang digunakan terdiri dari sensor MAX30102, ESP32 DevKit V1, OLED Display 0,96 inch, GPS NEO-6M, logic level converter, buzzer aktif 3,3 V, tombol reset, baterai Li-ion 3,7 V 2200 mAh, dan modul step-down LM2596**.**



Gambar 4.1 Keseluruhan Sistem Monitoring *Heart Attack*

Berdasarkan Gambar 4.1, sistem monitoring *heart attack* terdiri atas sebuah mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali yang terhubung dengan sensor MAX30102, GPS NEO – 6M, Baterai Li-ion 3,7 V, Step Down LM2596, Level converter, tombol reset, OLED Display, buzzer, serta rangkaian catu daya. Seluruh komponen ditempatkan dalam satu kesatuan sehingga membentuk sistem monitoring yang mampu melakukan pengukuran parameter detak jantung secara otomatis.

ESP32 berfungsi sebagai pusat pemrosesan data (*processing unit*) yang mengendalikan seluruh proses pembacaan sensor, pengolahan data, pengambilan keputusan, serta komunikasi dengan *Dashboard* IoT Kita. Penggunaan ESP32 dipilih karena telah dilengkapi modul *Wi-Fi* terintegrasi sehingga tidak memerlukan perangkat komunikasi tambahan untuk mengirimkan data ke internet.

Selain itu, kemampuan pemrosesan ESP32 yang lebih tinggi dibandingkan mikrokontroler konvensional memungkinkan proses pembacaan beberapa sensor secara bersamaan (*multisensor acquisition*) dengan waktu respon yang relatif cepat

Sensor MAX30102 merupakan komponen utama yang digunakan untuk memperoleh data parameter kesehatan berupa detak jantung (BPM) dan saturasi oksigen dalam darah (SpO_2)**.** Data yang diperoleh dari sensor kemudian diteruskan menuju ESP32 DevKit V1 yang berfungsi sebagai pusat pengendalian dan pengolahan data. ESP32 menerima data dari sensor, mengolah hasil pembacaan, serta mengatur komunikasi dengan komponen lainnya. Selain itu, ESP32 juga digunakan untuk menghubungkan sistem dengan jaringan internet sehingga data hasil pengukuran dapat digunakan dalam sistem monitoring berbasis IoT.

Hasil pengolahan data kemudian ditampilkan secara langsung melalui OLED Display 0,96 inch sehingga pengguna dapat melihat nilai BPM, SpO_2, dan informasi lokasi tanpa harus membuka perangkat lain. GPS NEO-6M digunakan untuk memperoleh koordinat lokasi pengguna berupa latitude dan longitude. Informasi lokasi tersebut menjadi bagian pendukung sistem monitoring sehingga selain memperoleh data kondisi pengguna, sistem juga dapat menyediakan informasi mengenai lokasi pengguna. Buzzer aktif digunakan sebagai indikator peringatan ketika kondisi parameter yang telah ditentukan memenuhi kriteria peringatan pada program.

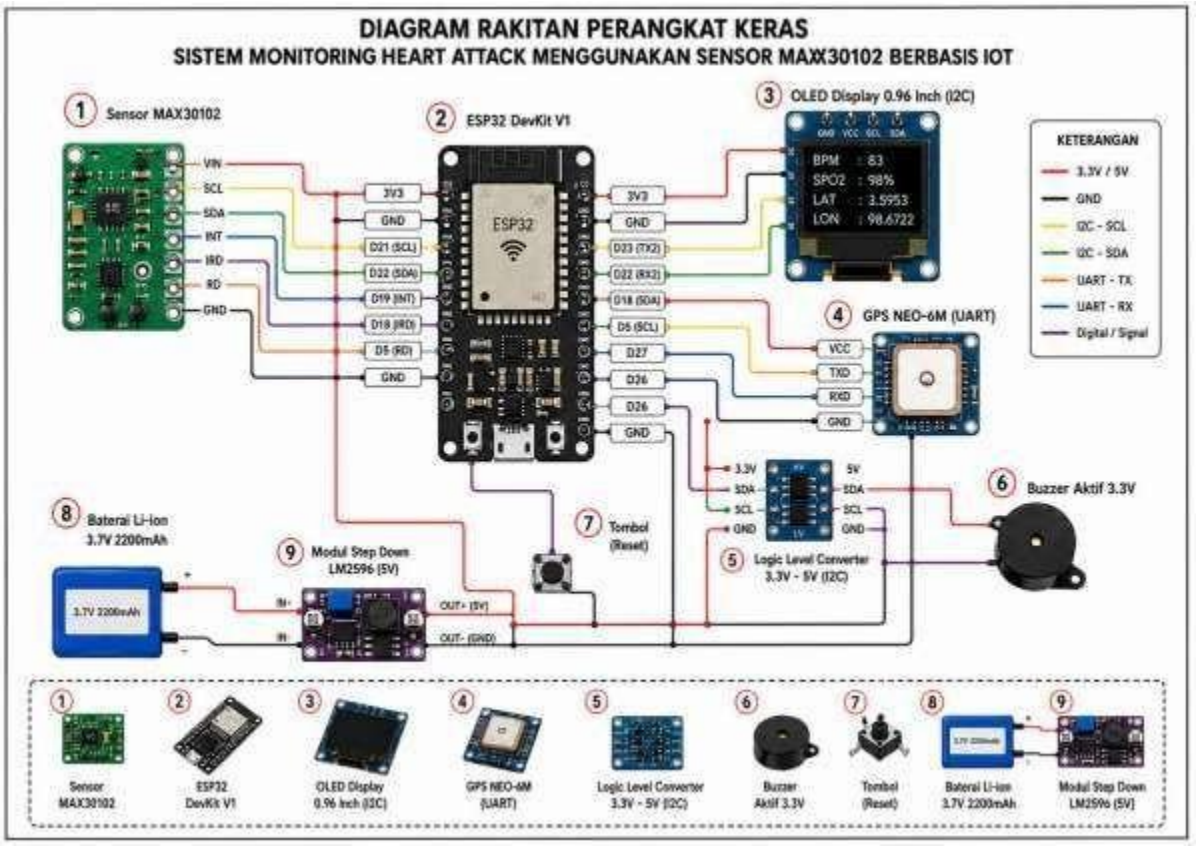
Sistem juga dilengkapi Dashboard IoT Kita yang berfungsi menampilkan data hasil pengukuran secara real-time[27]. Dengan adanya dashboard tersebut, pengguna dapat memantau kondisi parameter *heart attack* dari lokasi yang berbeda selama perangkat terhubung ke jaringan internet.

Sistem peringatan dini (*early warning system*), *buzzer* akan diaktifkan apabila salah satu parameter kualitas kesehatan pengguna berada di luar batas aman yang telah ditentukan. Aktivasi *buzzer* dilakukan oleh ESP32 melalui rangkaian transistor sebagai electronic switch, sehingga arus yang dibutuhkan *buzzer* tidak langsung dibebankan pada pin keluaran mikrokontroler. Pendekatan ini bertujuan menjaga keamanan rangkaian sekaligus meningkatkan keandalan sistem.

Sistem memperoleh sumber energi dari baterai Li-ion 3,7 V 2200 mAh sehingga perangkat dapat digunakan secara portabel. Tegangan dari baterai

kemudian diatur menggunakan *modul step-down LM2596* agar sesuai dengan kebutuhan komponen pada sistem. Selain itu, terdapat tombol reset yang digunakan untuk melakukan pengaturan ulang atau memulai kembali sistem apabila diperlukan. *Logic level converter* digunakan sebagai komponen pendukung dalam penyesuaian level tegangan pada jalur komunikasi yang membutuhkannya.

Pada proses perakitan, sensor MAX30102 dan OLED terhubung dengan ESP32 melalui komunikasi I2C, sedangkan GPS NEO-6M menggunakan komunikasi UART. ESP32 menjadi pusat integrasi antara sensor, perangkat tampilan, GPS, buzzer, dan koneksi IoT. Dengan susunan tersebut, setiap komponen memiliki fungsi yang saling mendukung dalam menjalankan sistem monitoring.



Gambar 4.2 Perangkat Keras Sistem Monitoring

Gambar 4.2 menunjukkan diagram rakitan perangkat keras system monitoring detak jantung. Berikut fungsi masing – masing dari komponen untuk mempermudah indetifikasi setiap komponen penyusun sistemnya.

Sistem ini menggunakan catu daya utama yang dipadukan dengan baterai Lithium Polymer sebagai sumber daya cadangan untuk menjamin kontinuitas pengoperasian alat,. Perpindahan sumber daya dilakukan secara otomatis menggunakan modoul step - down LM2596, sehingga ketika suplai listrik utama terputus, sistem tetap memperoleh daya dari baterai tanpa menghentikan proses monitoring. Dengan demikian, data sensor masih dapat ditampilkan pada OLED maupun dikirimkan ke Dashboard IoT Kita meskipun terjadi pemadaman listrik. Pada tabel 4.1dapat dilihat indentifikasi setiap komponen perangkat keras berikut.

Tabel 4.1 Identifikasi Komponen Perangkat Keras Sistem Monitoring

No	Komponen	Fungsi
1	Sensor MAX30102	Mengukur detak jantung (BPM) dan saturasi oksigen dalam darah (SpO_2)
2	ESP32 Devkit V1	Mikrokontroler atau pusat pengendali sistem
3	OLED Display (12C)	Sebagai media tampilan lokal, menampilkan hasil pembacaan system secara langsung
4	GPS NEO - 6M	Menentukan lokasi pengguna berdasarkan koordinat geografis berupa latitude dan longitude.
5	Level Converter	Mengubah logic dari ESP32 yang berawal 3,3 volt menjadi 5 volt
6	Buzzer Aktif	Sebagai indikator atau alarm peringatan ketika parameter tidak aman
7	Tombol reset	Melakukan resest atau memulai ulang ESP32/system monitoring
8	Baterai Li-ion 3,7 V	Sumber energi utama memberikan catu daya pada system
9	Modul Step Down LM2596	Menurunkan dan menstabilkan tegangan dari baterai agar sesuai kebutuhan rangkaian elektronik

4.1.2 Hasil Implementasi Perangkat Lunak

Hasil implementasi perangkat lunak pada penelitian ini berupa program yang digunakan untuk mengendalikan, mengolah, dan mengintegrasikan seluruh perangkat keras pada sistem monitoring heart attack berbasis IoT. Perangkat lunak diimplementasikan pada mikrokontroler ESP32 sehingga seluruh proses sistem dapat berjalan secara otomatis, mulai dari proses inisialisasi perangkat, pembacaan

sensor MAX30102, pembacaan GPS NEO-6M, penampilan data pada OLED, pengaktifan buzzer, hingga pengiriman data menuju platform IoT.

Program pada ESP32 diawali dengan proses inisialisasi sistem, yaitu mempersiapkan komunikasi dan memastikan setiap komponen dapat terhubung dengan mikrokontroler. Sensor MAX30102 dan OLED menggunakan komunikasi I2C, sedangkan GPS NEO-6M menggunakan komunikasi serial. Setelah proses inisialisasi berhasil, sistem mulai melakukan pembacaan data dari sensor MAX30102 untuk memperoleh nilai detak jantung (BPM) dan saturasi oksigen (SpO_2). Data tersebut kemudian diproses oleh ESP32 sebelum digunakan sebagai informasi monitoring.

Selain melakukan pembacaan sensor, perangkat lunak juga mengatur tampilan informasi pada OLED. Nilai BPM dan SpO_2 hasil pembacaan sensor ditampilkan sehingga pengguna dapat mengetahui kondisi secara langsung. Data dari GPS NEO-6M juga diproses untuk memperoleh informasi latitude dan longitude yang dapat digunakan untuk mengetahui lokasi pengguna. Dengan demikian, perangkat lunak berfungsi sebagai penghubung antara proses pembacaan parameter kesehatan dan informasi lokasi.

Perangkat lunak juga menerapkan logika batas atau *threshold* untuk menentukan kondisi parameter yang dipantau. Nilai BPM dan SpO_2 yang diperoleh akan dibandingkan dengan batas yang telah ditentukan pada program. Apabila nilai memenuhi kondisi peringatan, ESP32 akan memberikan perintah kepada buzzer sebagai indikator adanya kondisi yang perlu diperhatikan. Mekanisme tersebut memungkinkan sistem memberikan respons secara otomatis berdasarkan hasil pembacaan sensor.

Selanjutnya, perangkat lunak memanfaatkan kemampuan konektivitas Wi-Fi pada ESP32 untuk mengirimkan data hasil pengukuran menuju *platform Internet of Things.* Data yang dikirim dapat digunakan untuk melakukan pemantauan secara jarak jauh melalui dashboard IoT. Dengan adanya komunikasi tersebut, hasil pembacaan sensor tidak hanya dapat dilihat melalui OLED pada perangkat, tetapi juga dapat dipantau melalui sistem IoT.

4.1.3 Hasil Perancangan Dashboard IoT Kita

Selain menampilkan hasil pengukuran pada LCD, sistem juga dirancang

agar mampu melakukan pemantauan secara jarak jauh (*remote monitoring*) menggunakan Dashboard IoT Kita. Integrasi dashboard dilakukan untuk memanfaatkan teknologi *Internet of Things* (IoT), sehingga data hasil pembacaan sensor dapat diakses secara *real-time* melalui perangkat yang terhubung ke internet tanpa mengharuskan pengguna berada di lokasi sesuai GPS. Berikut adalah gambaran tampilan utama dari Dashboard Monitoring IoT Kita dapat dilihat pada gambar 4.3 berikut.



Gambar 4.3 Tampilan Dashboard IoT Kita

Dashboard IoT Kita menampilkan parameter utama yang dipantau dalam penelitian ini, yaitu peta lokasi, indikator BPM, indikator SpO_2, informasi GPS, serta pengaturan batas BPM. Kelima parameter tersebut diperbarui secara berkala sesuai interval pengiriman data yang telah diprogram pada ESP32. Dengan adanya tampilan visual tersebut, pengguna dapat memantau kondisi kesehatan pengguna detak jantung secara lebih mudah dan cepat dibandingkan hanya mengandalkan tampilan lokal pada LCD.

Pada penelitian ini, Dashboard IoT Kita juga berfungsi sebagai media verifikasi bahwa proses komunikasi data dari ESP32 menuju server berjalan dengan baik. Keberhasilan munculnya data pada dashboard menunjukkan bahwa proses pembacaan sensor, pengolahan data, koneksi jaringan Wi-Fi, serta mekanisme pengiriman data telah bekerja secara terpadu. Dengan demikian, dashboard tidak hanya berfungsi sebagai media visualisasi data, tetapi juga sebagai indikator keberhasilan implementasi sistem *Internet of Things* yang dikembangkan.

4.2 Pengujian Fungsional Sistem

Pengujian fungsional dilakukan untuk mengetahui apakah setiap komponen penyusun sistem mampu bekerja sesuai dengan fungsi yang telah dirancang pada tahap implementasi. Berbeda dengan pengujian akurasi yang bertujuan mengevaluasi tingkat ketelitian sensor, pengujian fungsional difokuskan pada keberhasilan operasi setiap komponen dalam menjalankan tugasnya sebagai bagian dari sistem monitoring *heart attack*.

Pengujian dilakukan secara bertahap mulai dari mikrokontroler ESP32, media tampilan LCD, Dashboard IoT Kita, buzzer sebagai sistem peringatan dini, hingga sistem catu daya cadangan (*backup power*). Hasil pengujian pada tahap ini menjadi dasar bahwa seluruh perangkat telah berfungsi dengan baik sebelum dilakukan proses pemantauan paramateer pengguna dan analisis akurasi sensor.

4.2.1 Pengujian ESP32

ESP32 merupakan pusat pengendali pada sistem *monitoring* kualitas kesehatan pengguna denyut jantung dan saturasi oksigen yang dikembangkan. Seluruh proses pembacaan sensor, pengolahan data, pengambilan keputusan, hingga komunikasi dengan Dashboard IoT Kita dikendalikan oleh mikrokontroler ini. Oleh karena itu, pengujian terhadap ESP32 merupakan tahap awal yang sangat penting sebelum sistem diuji secara keseluruhan. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa ESP32 mampu menjalankan program yang telah dibuat pada Arduino IDE, melakukan inisialisasi seluruh perangkat keras yang terhubung, terhubung ke jaringan Wi-Fi, berkomunikasi dengan Dashboard IoT Kita dan mengirimkan data hasil pembacaan sensor secara real-time. Pengujian dilakukan menggunakan langkah-langkah berikut.

a. Menghubungkan ESP32 dengan komputer menggunakan kabel USB.
b. Mengunggah (*upload*) program ke mikrokontroler.
c. Menyalakan sistem.
d. Membuka Serial Monitor pada Arduino IDE.
e. Mengamati proses booting ESP32.
f. Mengamati status koneksi Wi-Fi.
g. Mengamati status koneksi Dashboard IoT Kita.

h. Memastikan data sensor mulai dikirim secara berkala.

Setelah koneksi internet berhasil diperoleh, ESP32 melakukan autentikasi ke Dashboard IoT Kita melalui pustaka (*library*) IoTKita yang digunakan pada penelitian ini. Proses autentikasi yang berhasil ditunjukkan oleh munculnya status Connected pada Serial Monitor serta tampilnya data sensor pada dashboard.

```
IoTKita iotkita;

bool wifiConnected = false;
unsigned long lastWiFiAttempt = 0;
const unsigned long WIFI_RETRY_INTERVAL = 8000;

// ---------------------
// OLED
// ---------------------
#define SCREEN_WIDTH 128
#define SCREEN_HEIGHT 64
#define OLED_RESET    -1
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, OLED_RESET);

// ---------------------
// Timing
// ---------------------
const unsigned long SAMPLE_INTERVAL  = 100;
const unsigned long DISPLAY_INTERVAL = 200;
const unsigned long MQTT_INTERVAL    = 3000;

// ---------------------
// Sensor Variables
// ---------------------
const byte MEDIAN_SIZE = 5;
float irRawBuffer[MEDIAN_SIZE], redRawBuffer[MEDIAN_SIZE];
byte irRawCount = 0, redRawCount = 0, irRawIndex = 0, redRawIndex = 0;

const float DC_ALPHA = 0.08f, AC_ALPHA = 0.20f, RATIO_ALPHA = 0.15f;
float irDC = 0, redDC = 0, irACMag = 0, redACMag = 0;
bool firstSample = true;

bool fingerDetected = false;
unsigned long fingerDetectedTime = 0;
const unsigned long BPM_STABLE_TIME = 7000;   // 7 detik loading

const byte BPM_INTERVAL_SIZE = 10;
unsigned long beatIntervals[BPM_INTERVAL_SIZE];
byte beatIntervalCount = 0, beatIntervalIndex = 0;
unsigned long lastBeatMillis = 0;

float bpmRaw = 0.0f, bpmSmoothed = 0.0f;
const float BPM_ALPHA = 0.48f;

float spo2 = 0.0f, ratioSmoothed = 0.0f;

// Variabel baru untuk rata-rata 7 detik
float bpmAverage = 0.0f;
bool bpmReady = false;
```

Gambar 4.4 Proses Inisialisasi Sistem Coodingan

Berdasarkan Berdasarkan program pada gambar, sistem *coding* yang digunakan merupakan bagian dari program monitoring kesehatan berbasis ESP32 yang mengatur komunikasi IoT, OLED Display, serta proses pembacaan dan pengolahan data sensor MAX30102. Pada bagian awal, program menginisialisasi objek komunikasi IoT dan variabel untuk memantau koneksi Wi-Fi. Sistem mengatur percobaan koneksi ulang setiap 8 detik apabila koneksi Wi-Fi mengalami gangguan. Program juga mengatur OLED Display dengan resolusi 128 × 64 piksel menggunakan komunikasi I2C sebagai media untuk menampilkan hasil pembacaan sistem.

Program selanjutnya mengatur interval pengambilan data sensor, pembaruan tampilan OLED, dan pengiriman data melalui IoT. Interval pengambilan sampel sensor diatur sebesar 100 ms, pembaruan tampilan OLED setiap 200 ms, sedangkan pengiriman data MQTT dilakukan setiap 3000 ms atau 3 detik. Pada proses pembacaan MAX30102, program menyediakan *buffer* berukuran lima data untuk sinyal infrared (IR) dan red. Data tersebut kemudian diproses menggunakan parameter penyaringan untuk memisahkan komponen DC dan AC sehingga sinyal yang diperoleh dapat digunakan dalam perhitungan BPM dan SpO_2.Berikut dapat dilihat hasil dari pengujian ESP32 DevKit V1 pada tabel 4.1 berikut.

Pada bagian pengukuran detak jantung, program terlebih dahulu mendeteksi keberadaan jari pengguna pada sensor. Setelah jari terdeteksi, sistem memberikan waktu stabilisasi selama 7 detik sebelum data BPM digunakan. Program menyimpan hingga 10 interval denyut jantung yang diperoleh dari waktu antara satu denyut dengan denyut berikutnya. Data tersebut kemudian digunakan untuk menghitung nilai BPM. Nilai BPM mentah disimpan pada variabel bpmRaw, sedangkan hasil yang telah melalui proses *smoothing* disimpan pada bpmSmoothed untuk mengurangi perubahan nilai yang terlalu besar akibat gangguan atau ketidakstabilan sinyal.

Selain BPM, program juga menyediakan variabel untuk mengolah nilai SpO_2 berdasarkan sinyal IR dan red dari sensor MAX30102. Nilai SpO_2 disimpan pada variabel spo2, sedangkan ratioSmoothed digunakan untuk menyimpan nilai rasio yang telah dihaluskan. Program juga menggunakan variabel bpmAverage untuk menyimpan nilai rata-rata BPM dan bpmReady sebagai indikator bahwa data BPM telah siap digunakan. Dapat dilihat pada tabel 4.2 adalah hasil dari penguji ESP32 tersebut.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian ESP32

No	Paramater Pengujian	Hasil yang diharapkan	Hasil Pengujian	Status
1.	ESP32 mendapatkan catu daya	ESP32 menyala	ESP32 Menyala	Valid
2.	Inisialisasi MAX30102	Sensor terdeteksi	Sensor terdeteksi	Valid
3.	Pembacaan data MAX30102	BPM dan SpO_2	Data terbaca	Valid
4.	Komunikasi OLED	Data dapat ditampilkan	Data tampil	Valid
5.	Komunikasi GPS NEO-6M	Koordinat dapat diterima	Koordinat diterima	Valid
6.	Koneksi Wi-Fi	ESP32 terhubung ke internet	Terhubung	Valid
7.	Pengiriman data IoT	Data masuk ke dashboard	Data diterima	Valid

Berdasarkan hasil pengujian dari tabel, ESP32 dapat menjalankan fungsi sebagai pusat kendali sistem monitoring. ESP32 mampu menerima dan mengolah data dari sensor MAX30102, mengirimkan data untuk ditampilkan pada OLED, menerima informasi lokasi dari GPS NEO-6M, serta melakukan koneksi ke jaringan internet untuk mendukung proses monitoring melalui dashboard IoT. Keberhasilan tersebut menunjukkan bahwa ESP32 dapat mengintegrasikan perangkat keras dan perangkat lunak dalam sistem yang telah dirancang.

Dengan demikian pengujian ESP32 menunjukkan bahwa mikrokontroler telah berfungsi sesuai dengan kebutuhan system dan dapat digunakan sebagai pengendali utama pada tahap pengujian berikutnya.

4.2.2 Pengujian OLED Display 12C

OLED display 12 C digunakan sebagai media informasi lokal yang berfungsi menampilkan hasil pembacaan sensor secara langsung. Selain itu, antarmuka I2C yang digunakan mampu mengurangi jumlah pin komunikasi sehingga proses integrasi dengan ESP32 menjadi lebih sederhana. Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa LCD mampu menampilkan sensor BPM, menampilkan sensor SpO_2, menampilkan GPS, dan memperbarui data secara berkala sesuai hasil pembacaan sensor. Langkah-langkah pengujian dilakukan sebagai berikut.

a. Menyalakan sistem.
b. Mengamati tampilan LCD.
c. Membandingkan nilai pada LCD dengan nilai pada Serial Monitor.
d. Memastikan perubahan data sensor langsung ditampilkan pada LCD



Gambar 4.5 Tampilan OLED Display Sistem Monitoring

Gambar 4.5 dilakukan untuk mengetahui kemampuan layar dalam menampilkan data hasil pengolahan ESP32 secara jelas dan sesuai dengan program yang telah dirancang. OLED berfungsi sebagai media tampilan lokal sehingga pengguna dapat melihat informasi sistem secara langsung tanpa harus mengakses dashboard IoT.

Pengujian dilakukan dengan menghubungkan OLED dengan ESP32 melalui komunikasi I2C, kemudian menjalankan program yang telah dibuat. Komunikasi menggunakan antarmuka I2C berjalan dengan baik sehingga proses pembaruan data dapat dilakukan secara berkala tanpa mengganggu proses pembacaan sensor maupun komunikasi Dashboard IoT Kita. Data yang dikirimkan oleh ESP32 ditampilkan pada layar OLED, meliputi nilai detak jantung (BPM), nilai SpO_2, serta informasi koordinat GPS berupa latitude dan longitude. Pengujian dilakukan dengan mengamati kesesuaian data yang tampil pada OLED dengan data yang diterima dan diproses oleh ESP32. Berikut dapat dilihat hasil dari melakukan pengujian berupa OLED Display 12 C pada tabel 4.3 dibawah ini.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian OLED Display 12C

No	Paramater Pengujian	Hasil yang diharapkan	Hasil Pengujian	Status
1.	OLED menyala	Layar dapat menyala	Layar menyala	Valid
2.	Komunikasi 12 C	OLED terhubung dengan ESP32	Terhubung	Valid
3.	Tampilan BPM	Nilai BPM ditampilkan	Nilai tampil	Valid
4.	Tampilan SpO_2	Nilai SpO_2 ditampilkan	Nilai tampil	Valid
5.	Tampilan GPS	Latitude dan longitude ditampilkan	Data GPS tampil	Valid
6.	Pembaruan data	Data dapat diperbarui sesuai pembacaan sensor	Data diperbarui	Valid

Berdasarkan tabel 4.3 hasil pengujian, OLED Display dapat menampilkan informasi yang dikirimkan oleh ESP32 sesuai dengan data yang telah diprogram. Nilai BPM dan SpO_2 dari sensor MAX30102 dapat ditampilkan pada layar, begitu juga dengan informasi koordinat yang diperoleh dari GPS NEO-6M. Tampilan OLED juga dapat diperbarui mengikuti perubahan data yang diterima oleh ESP32.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa OLED telah berfungsi dengan baik sebagai media monitoring lokal pada sistem. Keberhasilan komunikasi antara ESP32 dan OLED melalui I2C juga menunjukkan bahwa proses pengiriman data dari mikrokontroler menuju perangkat tampilan dapat berjalan sesuai dengan rancangan. Dengan demikian, OLED dapat digunakan untuk memberikan informasi kondisi pengguna secara langsung sebelum data tersebut ditampilkan dan dipantau melalui dashboard IoT.

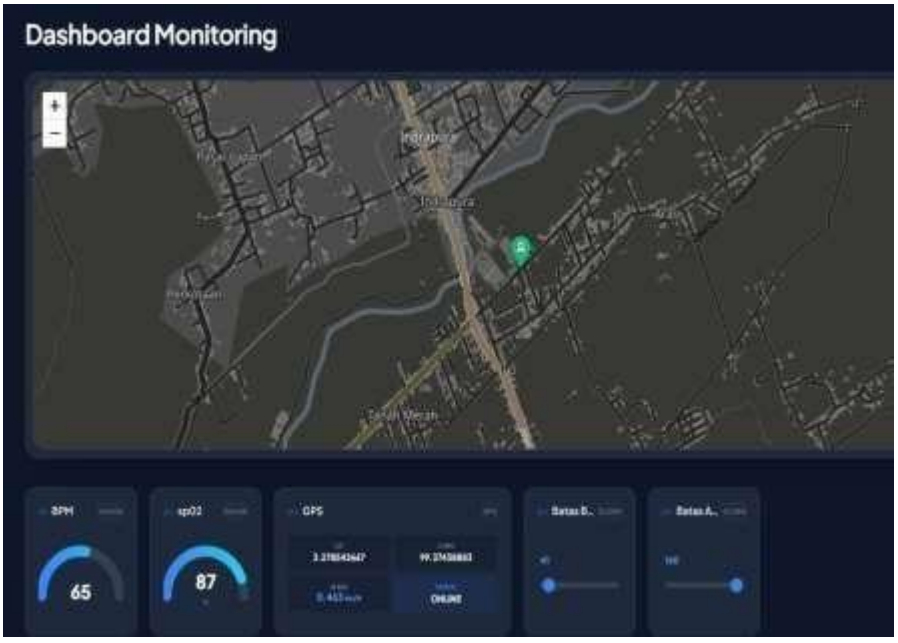
4.2.3 Pengujian Dashboard IoT Kita

Dashboard IoT Kita merupakan media monitoring berbasis Internet of Things yang digunakan untuk menampilkan hasil pembacaan sensor secara real-time. Pengujian dashboard Internet of Things (IoT) dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam menerima, menampilkan, dan memperbarui data hasil pembacaan perangkat monitoring secara real-time. Dashboard berfungsi sebagai media pemantauan jarak jauh yang menampilkan informasi seperti BPM, SpO_2, koordinat GPS, kecepatan, status koneksi perangkat, serta batas parameter BPM.

Data yang diperoleh dari sensor diproses oleh ESP32 dan dikirimkan melalui jaringan internet menuju dashboard untuk ditampilkan kepada pengguna

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa ESP32 berhasil terhubung dengan platform IoT Kita, data hasil pembacaan sensor berhasil dikirim ke server, nilai yang ditampilkan pada dashboard sesuai dengan data yang diproses oleh ESP32, pembaruan data berlangsung secara real-time sesuai interval pengiriman yang telah ditetapkan. Langkah - langkah pengujian dilakukan sebagai berkut :

a. Menyalakan sistem dan memastikan ESP32 telah terhubung ke jaringan Wi-Fi.
b. Membuka Dashboard IoT Kita melalui web browser.
c. Mengamati perubahan nilai BPM, SpO_2, dan alarm peringatan pada dashboard.
d. Membandingkan data yang ditampilkan pada dashboard dengan nilai pada OLED dan Serial Monitor.
e. Mengulangi pengamatan beberapa kali untuk memastikan kestabilan komunikasi data.



Gambar 4.6 Tampilan Dashboard IoT Kita saat menerima Data ESP32

Berdasarkan hasil pengujian, dashboard IoT pada penelitian ini berupa antarmuka monitoring yang digunakan untuk menampilkan data hasil pembacaan sistem secara real-time. Dashboard dirancang agar pengguna dapat memantau kondisi kesehatan dan lokasi pengguna melalui satu tampilan. Berdasarkan hasil perancangan, dashboard terdiri atas beberapa bagian utama, yaitu peta lokasi,

indikator BPM, indikator SpO_2, informasi GPS, serta pengaturan batas parameter BPM**.**

Bagian utama dashboard berupa peta lokasi yang digunakan untuk menampilkan posisi pengguna berdasarkan data koordinat yang diperoleh dari modul GPS. Pada peta terdapat penanda lokasi yang menunjukkan posisi pengguna, sehingga informasi lokasi dapat dipantau secara visual. Selain itu, dashboard menampilkan informasi latitude dan longitude, kecepatan, serta status koneksi perangkat pada bagian GPS.

Pada bagian indikator kesehatan terdapat BPM dan SpO_2 dalam bentuk gauge. Indikator BPM digunakan untuk menampilkan nilai detak jantung pengguna, sedangkan indikator SpO_2 digunakan untuk menampilkan persentase saturasi oksigen dalam darah. Berdasarkan tampilan dashboard pada hasil perancangan, nilai BPM yang ditampilkan adalah 65 BPM**,** sedangkan nilai SpO_2 sebesar 87%**.** Nilai tersebut dapat berubah sesuai dengan data yang dikirimkan oleh ESP32 dari sensor MAX30102.

Dashboard juga dilengkapi dengan pengaturan batas parameter menggunakan slider. Berdasarkan tampilan yang dirancang, terdapat bagian batas BPM dengan nilai 41 dan batas atas dengan nilai 160**.** Pengaturan batas tersebut digunakan sebagai parameter dalam menentukan kondisi pembacaan yang memerlukan perhatian atau peringatan. Dengan adanya fitur ini, sistem dapat disesuaikan berdasarkan batas yang ditentukan pada dashboard.

4.2.4 Pengujian Sistem Peringatan Dini (*Buzzer*)

Salah satu tujuan utama dari sistem monitoring *heart atttack* yang dikembangkan pada penelitian ini adalah memberikan peringatan (*early warning*) kepada pengguna apabila kondisi detak jantung dan sortasi oksigen telah berada di luar batas aman bagi pengguna/orang. Oleh karena itu, sistem dilengkapi dengan buzzer sebagai aktuator yang berfungsi menghasilkan alarm suara ketika salah satu parameter *heart attack* melebihi batas yang telah ditentukan.

Pada penelitian ini, *buzzer* dikendalikan secara langsung oleh ESP32 melalui rangkaian transistor yang berfungsi sebagai *electronic switch.* Penggunaan transistor bertujuan untuk menghindari pembebanan arus secara langsung pada pin keluaran mikrokontroler, sehingga meningkatkan keamanan rangkaian dan

memperpanjang umur komponen. Ketika ESP32 mendeteksi bahwa salah satu parameter kualitas kesehatan pengguna telah berada di luar rentang aman, ESP32 akan memberikan sinyal logika HIGH pada basis transistor sehingga transistor berada pada kondisi saturasi dan *buzzer* memperoleh tegangan kerja. Sebaliknya, apabila seluruh parameter masih berada dalam batas aman, transistor berada pada kondisi *cut-off* sehingga buzzer tetap tidak aktif.

Dengan mekanisme tersebut, *buzzer* tidak hanya berfungsi sebagai indikator adanya gangguan kualitas kesehatan pengguna, tetapi juga sebagai media peringatan dini yang memungkinkan pengguna segera melakukan tindakan korektif sebelum kondisi kesehatan denyut jantung dan saturasi oksigen diluar batas aman.

Pengujian *buzzer* dilakukan untuk memastikan bahwa sistem mampu memberikan peringatan suara secara otomatis ketika salah satu parameter kualitas denyut jantung dan SpO_2 berada di luar batas aman yang telah ditetapkan. Secara khusus, pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan ESP32 dalam mengendalikan *buzzer*, respon buzzer terhadap perubahan nilai sensor, kesesuaian logika program dengan kondisi aktual, keandalan sistem peringatan dini. Pengujian dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut.

a. Menyalakan sistem monitoring.
b. Memastikan seluruh sensor telah bekerja normal.
c. Memberikan beberapa kondisi pengujian dengan mengubah parameter *heart attack* sehingga berada di dalam maupun di luar batas aman.
d. Mengamati kondisi buzzer pada setiap perubahan parameter.
e. Mencatat hasil pengujian.

Tabel 4.4 Hasil pengujian *buzzer*

No	Kondisi Sistem	Status Buzzer	Hasil
1	Seluruh parameter berada dalam batas aman	Tidak aktif	Berhasil
2	Nilai BPM berada di atas batas aman	Aktif	Berhasil
3	Nilai BPM berada di bawah batas aman	Aktif	Berhasil
4	Nilai SpO_2 berada di atas batas aman	Aktif	Berhasil
5	Nilai SpO_2 berada di bawah batas aman	Aktif	Berhasil

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 4.4 diperoleh bahwa buzzer hanya aktif ketika salah satu parameter *heart attack* berada di luar rentang aman yang telah ditentukan pada program ESP32. Sebaliknya, ketika seluruh parameter masih berada dalam kondisi normal, buzzer tetap berada pada kondisi tidak aktif. Hal tersebut menunjukkan bahwa logika pengambilan keputusan (*decision making*) yang diterapkan pada perangkat lunak telah berjalan sesuai dengan rancangan sistem.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa buzzer dapat berfungsi sebagai indikator peringatan dini pada sistem monitoring. Penggunaan buzzer membantu pengguna mengetahui adanya kondisi yang memerlukan perhatian tanpa harus terus-menerus melihat tampilan OLED maupun dashboard IoT. Dengan demikian, integrasi antara sensor, ESP32, dan buzzer dapat mendukung fungsi sistem dalam memberikan peringatan secara langsung berdasarkan hasil pemantauan parameter kesehatan.



Gambar 4.7 Sistem mendeteksi parameter berada di luar batas aman

Pada gambar 4.7, batas bawah ditetapkan sebesar 41 BPM. Apabila detak jantung berada dibawah nilai tersebut maka buzzer akan aktif atau berbunyi**,** sedangkan batas atas ditetapkan sebesar 160 BPM. Apabila detak jantung berada diatas nilai tersebut maka buzzer akan menyala. Dengan demikian, sistem menggunakan rentang 41–160 BPM sebagai batas parameter yang dapat diatur melalui dashboard. Nilai batas tersebut dapat diubah menggunakan slider sesuai dengan kebutuhan pengujian dan konfigurasi sistem.

Pengaturan batas ini memiliki hubungan dengan sistem peringatan dini *(buzzer)***.** Nilai BPM yang diperoleh dari sensor MAX30102 akan dibandingkan

dengan batas yang telah ditentukan pada dashboard. Apabila nilai BPM berada di bawah batas bawah atau di atas batas atas, sistem dapat mengidentifikasi kondisi tersebut sebagai kondisi peringatan dan memberikan respons melalui buzzer sesuai dengan logika program yang diterapkan. Sebaliknya, apabila nilai BPM masih berada dalam rentang batas yang ditentukan, sistem tidak memberikan peringatan.

Dengan adanya fitur pengaturan batas bawah dan batas atas pada dashboard IoT, sistem menjadi lebih fleksibel karena threshold dapat diatur tanpa harus mengubah nilai secara langsung pada perangkat keras. Fitur ini juga memudahkan proses pengujian sistem peringatan dini karena batas parameter dapat disesuaikan dengan kondisi pengujian yang diinginkan.

4.2.5 Pengujian Sistem Backup Baterai

Pengujian sistem backup baterai dilakukan untuk mengetahui kemampuan sumber daya cadangan dalam menjaga sistem monitoring tetap dapat beroperasi ketika sumber daya utama terputus atau tidak tersedia. Sistem backup baterai menggunakan baterai Li- ion 3,7 V 2200 mAh yang terhubung dengan modul step-down LM2596 untuk menyesuaikan tegangan yang dibutuhkan oleh rangkaian.

Keandalan sistem monitoring tidak hanya ditentukan oleh kemampuan sensor dalam melakukan pengukuran, tetapi juga oleh kemampuan sistem untuk tetap beroperasi ketika terjadi gangguan pada sumber catu daya utama. Pada kondisi pengguna denyut jantung, pemadaman listrik dapat menyebabkan proses monitoring berhenti sehingga perubahan kualitas kesehatan pengguna tidak dapat diketahui secara real-time. Oleh karena itu, penelitian ini dilengkapi dengan sistem backup battery menggunakan baterai Li-ion 3,7 V 2200 mAh yang dikombinasikan dengan modul step down LM2596.

Pengujian dilakukan dengan tahapan berikut.

a. Menyalakan sistem menggunakan adaptor sebagai sumber daya utama.
b. Memastikan seluruh sensor bekerja normal.
c. Memastikan data berhasil ditampilkan pada OLED dan Dashboard IoT Kita.
d. Melepaskan adaptor dari sumber listrik.
e. Mengamati apakah sistem tetap menyala menggunakan baterai.
f. Mengamati keberlangsungan proses monitoring setelah perpindahan sumber daya.

Berikut hasil akhir dari pengujian backup baterai dapat dilihat pada tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Backup Baterai

No	Kondisi Pengujian	Hasil
1.	Sistem menggunakan sumber daya utama	Sistem perangkat aktif
2.	Sumber daya utama dilepas	Sistem beralih ke baterai / tetap aktif
3.	ESP32 menggunakan baterai	ESP32 bekerja/berhasil
4.	Sensor MaX30102 menggunakan baterai	Sensor membaca data/berhasil
5.	OLED menggunakan baterai	OLED menyala/berhasil
6.	GPS menggunakan baterai	GPS bekerja/berhasil

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 4.5, sistem tetap mampu beroperasi setelah sumber listrik utama diputus. Perpindahan sumber daya utama menuju baterai berlangsung secara otomatis sehingga tidak menyebabkan ESP32 melakukan restart maupun kehilangan data selama proses monitoring.



Gambar 4.8 Sistem menggunakan Catu Daya dari Baterai

Pada saat sistem menggunakan baterai sebagai sumber daya, komponen utama seperti ESP32, sensor MAX30102, OLED display, GPS NEO-6M, dan buzzer tetap memperoleh catu daya sehingga sistem dapat menjalankan fungsi monitoring. ESP32 tetap menjalankan program yang telah diprogram sebelumnya,

sensor MAX30102 tetap melakukan pembacaan parameter kesehatan, sedangkan hasil pembacaan dapat ditampilkan melalui OLED. GPS juga tetap digunakan untuk memperoleh informasi lokasi selama tegangan dan kapasitas baterai masih mencukupi kebutuhan sistem.

Penggunaan modul step-down LM2596 berfungsi untuk menyesuaikan tegangan keluaran baterai dengan kebutuhan rangkaian. Pengaturan tegangan ini diperlukan agar komponen elektronik memperoleh suplai yang sesuai dan sistem dapat bekerja secara lebih stabil. Dengan adanya modul tersebut, tegangan dari baterai tidak langsung diberikan ke seluruh komponen, tetapi terlebih dahulu diatur sesuai kebutuhan sistem.

Berdasarkan pengujian, penggunaan baterai Li-ion sebagai sumber daya cadangan memungkinkan sistem monitoring tetap memperoleh catu daya ketika sumber daya utama tidak tersedia. Tegangan baterai kemudian diatur menggunakan modul step-down LM2596 sehingga dapat digunakan oleh komponen sistem sesuai kebutuhan tegangannya. Dengan adanya sistem backup ini, proses monitoring tidak langsung berhenti ketika terjadi gangguan pada sumber daya utama.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem backup baterai dapat mendukung keberlangsungan operasi perangkat monitoring. ESP32 tetap dapat menjalankan program, sensor MAX30102 tetap melakukan pembacaan, OLED tetap menampilkan informasi, dan komponen pendukung lainnya tetap dapat bekerja selama kapasitas baterai masih mencukupi. Oleh karena itu, baterai Li-ion dan modul step-down menjadi bagian penting dalam menjaga sistem tetap dapat digunakan secara portabel dan memberikan monitoring secara berkelanjutan.

4.3 Pengujian Sensor MAX30102 *Heart Attack* (BPM)

Pengujian sensor MAX30102 dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam mendeteksi parameter fisiologis berupa detak jantung (BPM) dan saturasi oksigen dalam darah (SpO_2). Sensor MAX30102 merupakan komponen utama dalam sistem monitoring yang berfungsi menangkap perubahan intensitas cahaya akibat perubahan volume darah pada jaringan tubuh. Data hasil pembacaan sensor kemudian dikirimkan ke ESP32 untuk diproses dan ditampilkan melalui OLED serta dashboard IoT.

Pengujian dilakukan dengan menempatkan jari pengguna pada permukaan sensor MAX30102 secara langsung. Sensor kemudian melakukan pembacaan sinyal untuk memperoleh nilai BPM dan SpO_2. Untuk mengetahui tingkat kesesuaian hasil pembacaan, nilai BPM yang diperoleh dari alat dibandingkan dengan nilai yang ditampilkan oleh smartwatch sebagai alat pembanding. Pengujian dilakukan terhadap 10 orang dengan kondisi pengukuran yang relatif sama. Parameter yang diamati meliputi nilai pembacaan alat, nilai pembanding, selisih absolut, persentase error, dan tingkat akurasi.

4.3.1 Prosedur dan Metode Pengujian Detak Jantung

Pengujian sensor MAX30102 dilakukan untuk mengevaluasi keandalan, stabilitas, serta tingkat akurasi alat dalam mengukur parameter detak jantung (*Beats Per Minute* / BPM) pengguna. Pengujian ini bertumpu pada metode *Photoplethysmography* (PPG), yaitu teknik optik non-invasif untuk mendeteksi perubahan volume aliran darah pada pembuluh darah kapiler di ujung jari tangan (*organ periferi*). Prosedur pelaksanaan pengujian dilakukan melalui tahapan-tahapan yang terstruktur sebagai berikut:

1. Persiapan Perangkat dan Subjek Uji:
   a. Menyiapkan prototipe alat yang telah terhubung ke sumber daya, serta memastikan modul sensor MAX30102, OLED Display, dan modul komunikasi nirkabel berada dalam kondisi aktif.
   b. Melibatkan 10 orang subjek uji dengan variasi usia dan karakteristik fisik yang berbeda untuk mendapatkan data perbandingan yang bervariasi.
   c. Subjek diarahkan untuk duduk tenang dalam kondisi istirahat (*resting state*) selama beberapa menit sebelum pengujian dimulai guna menghindari efek lonjakan detak jantung akibat aktivitas fisik.
2. Pemasangan Sensor dan Proses Pembacaan Data:
   a. Subjek memasukkan salah satu ujung jari (jari telunjuk atau jari tengah) ke dalam modul *finger-clip* eksternal yang memuat sensor MAX30102.
   b. Penempatan pada *finger-clip* dipastikan cukup rapat namun nyaman untuk meminimalkan paparan cahaya luar (*ambient light*) yang dapat mengganggu pembacaan LED inframerah dan merah.

c. Mikrokontroler ESP32 melakukan pembacaan sinyal PPG dan menjalankan algoritma stabilisasi data selama 7 detik pertama (BPM_STABLE_TIME = 7000 ms). Selama jeda ini, sistem mengumpulkan sampel sinyal untuk diproses oleh *Median Filter* hingga diperoleh nilai rata-rata BPM yang stabil (bpmAverage).

3. Metode Pengukuran Simultan dan Pengambilan Data:
   a. Sebagai pembanding (*gold standard*), alat ukur standar berupa jam tangan pintar (*smartwatch*) dipasangkan secara simultan pada pergelangan tangan subjek yang sama.
   b. Pembacaan nilai BPM pada layar OLED Display alat dan nilai BPM pada layar *smartwatch* dicatat secara bersamaan setelah nilai pada kedua perangkat menunjukkan kondisi konstan.
   c. Pengambilan data dilakukan secara berurutan dari Subjek 1 hingga Subjek 10 untuk dicatat ke dalam tabel hasil pengujian dan dihitung persentase kesalahannya (*percentage error*).

4.3.2 Data Hasil Pengujian Pembacaan BPM dan Analisis Akurasi

Pengujian pembacaan BPM (*Beats Per Minute*) untuk mengetahui kemampuan sensor MAX30102 dalam mendeteksi dan mengukur jumlah denyut jantung dalam satu menit. Sensor membaca perubahan aliran darah pada jaringan jari menggunakan prinsip *Photoplethysmography* (PPG**)**. Perubahan intensitas cahaya yang diterima sensor akibat adanya denyutan darah kemudian diproses oleh ESP32 untuk menghasilkan nilai detak jantung dalam satuan BPM.

Analisis akurasi sensor MAX30102 dilakukan untuk mengetahui tingkat ketelitian sensor dalam mengukur detak jantung. Pengujian ini dengan membandingkan nilai BPM yang ditampilkan pada layar OLED alat prototipe dengan nilai BPM pada layar *smartwatch* pembanding secara bersamaan. Data diambil dari 10 orang subjek uji dengan kondisi fisik dan usia yang bervariasi. Pengujian akurasi sensor MAX30102 dilakukan melalui tahapan sebagai berikut.

a. Sistem monitoring *heart attack* dinyalakan hingga seluruh perangkat bekerja dengan normal.
b. Sensor MAX30102 dimasukkan ke pergelangan tangan pengguna yang diuji.
c. Sensor dibiarkan beberapa saat hingga pembacaan suhu stabil.

d. Nilai BPM yang dibaca sensor MAX30102 dikirim ke ESP32 dan ditampilkan pada OLED serta Dashboard IoT.
e. Secara bersamaan dilakukan pengukuran menggunakan *smartwatch* digital sebagai alat ukur referensi.
f. Nilai pembacaan sensor dibandingkan dengan hasil pembacaan *smartwatch* digital.



g. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali pada kondisi BPM yang berbeda.

Gambar 4.9 Pengujian Sensor MAX30102 *Heart Attack*

Hasil pengujian pembacaan detak jantung beserta selisih dan persentase kesalahan (*percentage error*) disajikan secara rinci pada Tabel 4.6 tersebut.

Tabel 4.6 Data Hasil Pengujian Pembacaan BPM Alat dan Pembanding (*Smartwatch)*

No. Subjek (Orang)	Pembanding / Smartwatch (BPM)	Pembacaan alat/OLED (BPM)	Selisih Absolut (BPM)	Persentase Error (%)	Akurasi (%)
1	84	83	1	1,19%	98,91
2	87	81	6	6,90%	93,10
3	87	83	4	4,60%	95,40
4	89	92	3	3,37%	96,63

5	89	83	6	6,74%	93,26
6	89	88	1	1,12%	98,88
7	83	78	5	6,02%	93,98
8	86	99	13	15,12%	84,80
9	83	82	1	1,20%	98,80
10	89	84	5	5,62%	94,38
Rata- Rata	**86,6**	**84,3**	**4,5**	**5,19%**	**94,81%**

Berdasarkan hasil pengujian tabel 4.6, sensor MAX30102 terhadap 10 orang, diperoleh nilai pembacaan detak jantung dari alat/OLED pada rentang 78–99 BPM, sedangkan pembacaan menggunakan smartwatch berada pada rentang 83–89 BPM. Secara keseluruhan, hasil pembacaan alat menunjukkan nilai yang cukup mendekati hasil pembacaan smartwatch. Rata-rata pembacaan alat/OLED sebesar 85,3 BPM, sedangkan rata-rata pembacaan smartwatch sebesar 86,6 BPM, sehingga terdapat perbedaan rata-rata sebesar 1,3 BPM. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor MAX30102 mampu memberikan hasil pembacaan detak jantung yang relatif sesuai dengan alat pembanding pada sebagian besar subjek yang diuji.

Perbedaan pembacaan dapat dilihat pada masing-masing subjek. Pada Orang 1, Orang 6, dan Orang 9, selisih pembacaan hanya sebesar 1 BPM, yang menunjukkan tingkat kesesuaian yang sangat baik. Sementara itu, selisih terbesar terdapat pada Orang 8, yaitu 13 BPM, dengan pembacaan alat sebesar 99 BPM dan smartwatch sebesar 86 BPM. Perbedaan tersebut menunjukkan adanya variasi hasil pembacaan sensor pada kondisi pengujian tertentu. Berdasarkan data yang tersedia, seluruh hasil pengujian dinyatakan valid, dengan rata-rata selisih absolut sebesar 4,5 BPM. Dengan demikian, hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor MAX30102 dapat digunakan untuk melakukan pembacaan detak jantung pada sistem monitoring yang dirancang, meskipun masih terdapat perbedaan nilai antara alat dengan perangkat pembanding.

Dalam menentukan nilai persentase error dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$Error\ (\%) = \left| \frac{BPM_{Pembanding} - BPM_{alat}}{BPM_{Pembanding}} \right| \times 100\%$$

dimana:

Error (%) = persentase kesalahan pembacaan sensor MAX30102

$BPM_{pembanding}$ = hasil pengukuran detak jantung *smartwatch*

BPM_{OLED} = hasil pembacaan sensor alat OLED

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.8, perhitungan persentase kesalahan dilakukan menggunakan data pengujian orang terakhir, diketahui :

Pembacaan pembanding *smartwatch* = 89 BPM

Pembacaan sensor alat OLED = 84 BPM

Sehingga diperoleh presentase error dihitung sebagai berikut :

$$Error\ (\%) = \frac{89 - 84}{89} \times 100\%$$

$$\text{Error} = 5{,}62\ \%$$

Dalam menentukan rata-rata presentase kesalahan digunakan persamaan berikut.

$$Rata\text{-}rata\ Error = \frac{\sum Error}{n}$$

Dimana :

ΣError = jumlah seluruh nilai error

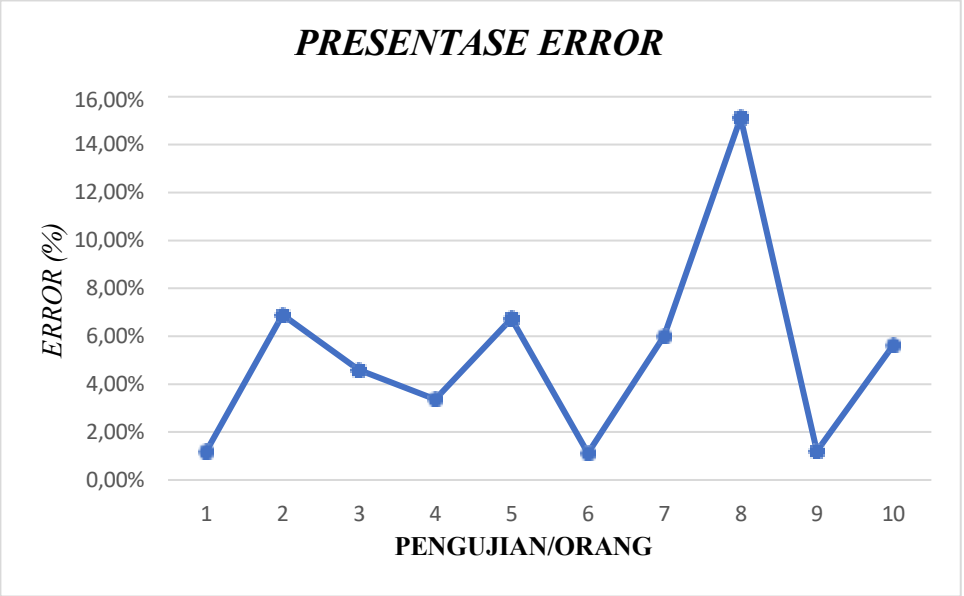
n = jumlah pengujian

Sehingga diperoleh rata-rata persentase error diperoleh sebagai berikut :

$$\text{Rata-rata Error (\%)} = \frac{1{,}19 + 6{,}90 + 4{,}60 + 3{,}37 + 6{,}74 + 1{,}12 + 6{,}02 + 15{,}12 + 1{,}20 + 5{,}62}{10}$$

$$Rata\text{-}rata\ Error\ (\%) = 5{,}19\ \%$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas diperoleh rata-rata persentase kesalahan pembacaan sensor MAX30102 sebesar 5,19%



Gambar 4.10 Grafik *Presentase Error* Sensor MAX30102

Berdasarkan Gambar 4.10, grafik menunjukkan persentase error hasil pengukuran detak jantung sensor MAX30102 pada 10 orang pengguna dengan membandingkan nilai BPM yang diperoleh dari alat terhadap nilai BPM pada smartwatch. Sumbu horizontal menunjukkan jumlah pengguna, yaitu Orang 1 sampai Orang 10, sedangkan sumbu vertikal menunjukkan *persentase error* (%). *Persentase error* menunjukkan besarnya perbedaan hasil pengukuran sensor MAX30102 terhadap alat pembanding. Semakin kecil persentase error, maka semakin dekat hasil pembacaan sensor dengan hasil pembacaan smartwatch.

Berdasarkan grafik, *persentase error* pada orang 1 sebesar 1,19%, kemudian meningkat pada orang 2 menjadi 6,90%. Pada Orang 3, error mengalami penurunan menjadi 4,60%, kemudian kembali turun pada Orang 4 menjadi 3,37%. Selanjutnya, pada orang 5 error meningkat menjadi 6,74%, kemudian mengalami penurunan yang cukup signifikan pada orang 6 menjadi 1,12%. Pada orang 7, persentase error kembali meningkat menjadi 6,02%, kemudian mencapai nilai tertinggi pada orang 8 sebesar 15,12%. Setelah itu, error mengalami penurunan tajam pada orang 9 menjadi 1,20%, dan kembali meningkat pada Orang 10 menjadi 5,62%.

Nilai error tertinggi terdapat pada orang 8 sebesar 15,12%, yang menunjukkan bahwa hasil pembacaan sensor pada subjek tersebut memiliki perbedaan paling besar dibandingkan dengan smartwatch. Sementara itu, nilai error

terendah terdapat pada orang 6 sebesar 1,12%, yang menunjukkan hasil pembacaan paling mendekati alat pembanding. Dari seluruh pengujian, rata-rata persentase error yang diperoleh adalah 5,19%, sehingga berdasarkan perhitungan yang digunakan dalam penelitian diperoleh akurasi sebesar 94,81%.

Pola grafik menunjukkan bahwa *persentase error* tidak mengalami kenaikan atau penurunan secara terus-menerus, tetapi berfluktuasi pada setiap pengguna. Perbedaan tersebut dapat dipengaruhi oleh kondisi saat pengukuran, seperti posisi jari pada sensor, kestabilan jari, tekanan jari terhadap sensor, pergerakan tangan, dan kualitas sinyal yang diterima sensor MAX30102. Hal tersebut terutama terlihat pada Orang 8 yang memiliki error jauh lebih tinggi dibandingkan pengguna lainnya. Oleh karena itu, kestabilan posisi jari dan kondisi pengukuran perlu diperhatikan untuk memperoleh hasil pembacaan yang lebih konsisten.

Secara keseluruhan, grafik menunjukkan bahwa sebagian besar hasil pengukuran memiliki persentase error yang relatif rendah, meskipun terdapat satu hasil dengan error yang cukup tinggi. Dengan rata-rata error sebesar 5,19%, sensor MAX30102 menunjukkan tingkat kesesuaian yang cukup baik terhadap smartwatch yang digunakan sebagai alat pembanding dalam pengujian ini. Hasil tersebut mendukung penggunaan sensor MAX30102 sebagai bagian dari sistem monitoring detak jantung berbasis ESP32 dan IoT yang dikembangkan.

Setelah diperoleh nilai error, selanjutnya dilakukan perhitungan tingkat akurasi sensor MAX30102 menggunakan persamaan berikut:

$$Akurasi\ (\%) = 100\ \% - Error\ (\%)$$

Berdasarkan data pengujian orang pertama diperoleh :

$$Akurasi(\%) = 100\ \% - 1{,}19\ (\%)$$

$$Akurasi(\%) = 98{,}81\ \%$$

Selanjutnya rata-rata tingkat akurasi sensor dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$Rata\text{ - }rata\ Akurasi = \frac{\sum Akurasi}{n}$$

Dimana :

Σakurasi = jumlah seluruh nilai error

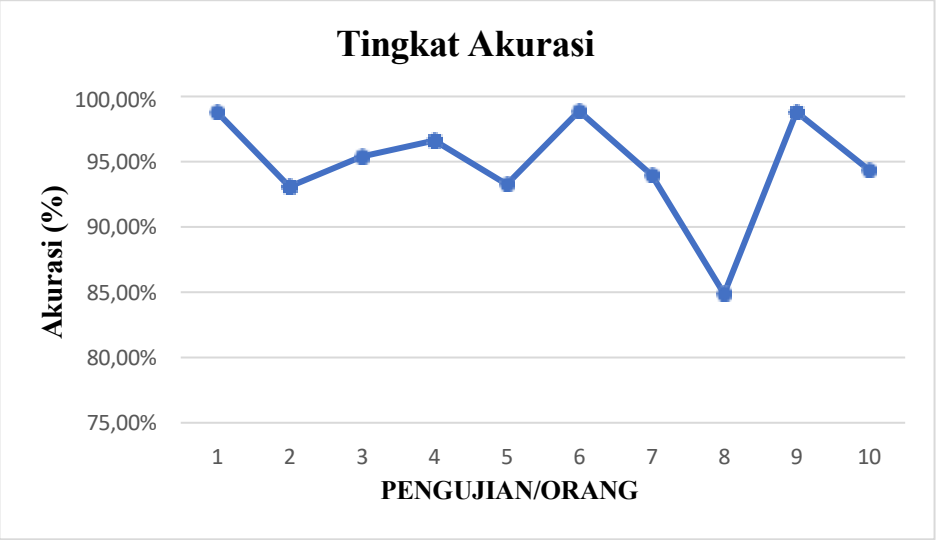
n = jumlah pengujian

Sehingga diperoleh :

$$\text{Rata-rata Akurasi} = \frac{98{,}81+93{,}10+95{,}40+96{,}63+93{,}26+98{,}88+93{,}98+84{,}88+98{,}80+94{,}38}{5}$$

$$\text{Rata-rata Akurasi} = 94{,}81\%$$

Hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor MAX30102 memiliki tingkat akurasi rata-rata sebesar **94,81%**



Gambar 4.11 Grafik Tingkat Akurasi Sensor MAX30102

Berdasarkan Gambar 4.11, grafik menunjukkan tingkat akurasi hasil pengukuran sensor MAX30102 terhadap smartwatch pada 10 orang pengguna. Sumbu horizontal menunjukkan jumlah pengujian atau pengguna, yaitu Orang 1 sampai Orang 10, sedangkan sumbu vertikal menunjukkan tingkat akurasi (%). Tingkat akurasi diperoleh berdasarkan *persentase error* pada masing-masing

pengujian, sehingga semakin tinggi nilai akurasi, semakin dekat hasil pembacaan sensor MAX30102 dengan hasil pembacaan smartwatch.

Berdasarkan data pengujian, Orang 1 memiliki tingkat akurasi sebesar 98,81%, kemudian pada Orang 2 akurasi menurun menjadi 93,10%. Pada Orang 3, akurasi kembali meningkat menjadi 95,40%, kemudian meningkat lagi pada Orang 4 menjadi 96,63%. Selanjutnya, Orang 5 memiliki akurasi sebesar 93,26%, sedangkan Orang 6 menunjukkan akurasi yang tinggi yaitu 98,88%. Pada Orang 7, akurasi mengalami penurunan menjadi 93,98%. Penurunan paling besar terjadi pada Orang 8 dengan akurasi sebesar 84,88%, yang merupakan nilai akurasi terendah dari seluruh pengujian. Setelah itu, akurasi kembali meningkat secara signifikan pada Orang 9 menjadi 98,80%, kemudian sedikit menurun pada Orang 10 menjadi 94,38%.

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa tingkat akurasi mengalami fluktuasi pada setiap pengguna. Akurasi tertinggi terdapat pada Orang 6 sebesar 98,88%, sedangkan akurasi terendah terdapat pada Orang 8 sebesar 84,88%. Kondisi tersebut sesuai dengan hasil persentase error sebelumnya, dimana Orang 6 memiliki error paling rendah sebesar 1,12%, sedangkan Orang 8 memiliki error paling tinggi sebesar 15,12%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil persentase error yang dihasilkan, maka semakin tinggi tingkat akurasi sensor.

Perbedaan tingkat akurasi pada setiap pengguna dapat dipengaruhi oleh kondisi selama proses pengukuran. Sensor MAX30102 bekerja dengan membaca perubahan sinyal optik pada jari, sehingga posisi jari, tekanan jari pada sensor, pergerakan tangan, kestabilan jari, dan kualitas kontak antara jari dengan sensor dapat memengaruhi hasil pembacaan. Nilai akurasi yang rendah pada Orang 8 menunjukkan adanya perbedaan pembacaan yang lebih besar dibandingkan dengan smartwatch, sehingga kondisi pengukuran pada pengguna tersebut perlu menjadi perhatian dalam evaluasi sistem.

Secara keseluruhan, sebagian besar pengujian menghasilkan tingkat akurasi di atas 90%, yaitu Orang 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, dan 10. Hanya Orang 8 yang menghasilkan akurasi di bawah 90%. Berdasarkan rata-rata persentase error sebesar 5,19%, diperoleh akurasi rata-rata sebesar 94,81%. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor MAX30102 memiliki tingkat kesesuaian yang cukup baik terhadap

smartwatch yang digunakan sebagai alat pembanding dalam penelitian ini dan dapat digunakan sebagai bagian dari sistem monitoring detak jantung berbasis ESP32 dan IoT.

4.4 Pengujian GPS NEO – 6M

Pengujian GPS NEO - 6M dilakukan untuk mengetahui kemampuan modul GPS dalam memperoleh dan mengirimkan informasi posisi pengguna pada sistem monitoring. GPS NEO-6M digunakan sebagai komponen pendukung yang memberikan informasi lokasi berupa latitude (garis lintang) dan longitude (garis bujur). Data koordinat tersebut kemudian diterima oleh ESP32 dan ditampilkan pada OLED serta dikirimkan ke dashboard IoT sehingga lokasi pengguna dapat dipantau secara langsung.

Pengujian dilakukan dengan mengaktifkan sistem dan menempatkan perangkat pada kondisi terbuka agar modul GPS dapat menerima sinyal dari satelit. Setelah GPS mendapatkan sinyal yang cukup, modul akan menghasilkan data koordinat yang kemudian diproses oleh ESP32. Data yang diamati dalam pengujian meliputi latitude, longitude, kecepatan, status koneksi GPS, dan kesesuaian lokasi yang ditampilkan pada dashboard dengan posisi sebenarnya.

Tabel 4.7 Hasil Pengujian GPS NEO – 6M

No	Paramater Pengujian	Hasil yang diharapkan	Hasil Pengujian	Status
1.	GPS mendapatkan catu daya	Modul GPS aktif	GPS aktif	Berhasil
2.	Penerimaan sinyal satelit	GPS memperoleh sinyal	Sinyal diperoleh	Berhasil
3.	Pembacaan latitude	Koordinat latitude terbaca	Latitude terbaca	Berhasil
4.	Pembacaan longitude	Koordinat longitude terbaca	Longitude terbaca	Berhasil
5.	Komunikasi GPS dengan ESP32	Data GPS diterima ESP32	Data diterima	Berhasil
6.	Tampilan koordinat pada OLED	Koordinat ditampilkan	Data tampil	Berhasil
7.	Pengiriman data ke dashboard IoT Kita	Lokasi tampil pada peta	Lokasi tampil	Berhasil



Gambar 4.12 Tampilan GPS di Dashboard IoT Kita

Pada proses pengujian, modul GPS NEO-6M dihubungkan dengan ESP32 menggunakan komunikasi UART. Setelah perangkat mendapatkan catu daya, GPS melakukan proses pencarian dan penerimaan sinyal dari satelit. Setelah data lokasi berhasil diperoleh, informasi tersebut diteruskan ke ESP32 untuk diproses. Data koordinat kemudian dapat ditampilkan pada OLED Display dan dikirimkan melalui koneksi internet menuju dashboard IoT. Dengan mekanisme tersebut, pengguna dapat mengetahui posisi perangkat secara langsung melalui sistem yang telah dirancang.

Berdasarkan hasil perancangan dashboard IoT, informasi GPS ditampilkan dalam beberapa parameter, yaitu latitude, longitude, speed, dan status koneksi. Pada tampilan dashboard, diperoleh contoh koordinat latitude 3.278542667 dan longitude 99.37438883. Selain koordinat, sistem juga menampilkan kecepatan sebesar 0,463 km/jam dan status perangkat ONLINE. Data tersebut menunjukkan

bahwa GPS berhasil memberikan informasi posisi yang kemudian dapat diterima dan ditampilkan oleh sistem monitoring.

Hasil pengujian juga dapat diamati melalui tampilan peta pada dashboard IoT. Koordinat yang dikirimkan oleh GPS digunakan untuk menentukan posisi perangkat pada peta dan ditampilkan dalam bentuk marker atau penanda lokasi**.** Dengan adanya marker tersebut, pengguna tidak hanya memperoleh data koordinat berupa angka, tetapi juga dapat melihat posisi perangkat secara visual. Hal ini mempermudah proses pemantauan lokasi karena informasi GPS dapat dipahami secara lebih cepat melalui tampilan peta.

Keberhasilan pengiriman data GPS dari perangkat menuju dashboard menunjukkan adanya integrasi yang baik antara GPS NEO-6M, ESP32, jaringan internet, dan dashboard IoT**.** GPS bertugas memperoleh data posisi, ESP32 bertugas menerima dan mengolah data tersebut, sedangkan dashboard IoT digunakan untuk menampilkan informasi lokasi kepada pengguna. Apabila status pada dashboard menunjukkan ONLINE dan koordinat dapat ditampilkan pada peta, maka proses komunikasi dan pengiriman data lokasi dapat dikatakan berjalan sesuai dengan rancangan sistem.

Namun, hasil pembacaan GPS dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan saat pengujian. Penerimaan sinyal GPS dapat menjadi kurang optimal apabila perangkat digunakan pada lokasi yang terhalang bangunan, berada di dalam ruangan, atau memiliki keterbatasan pandangan terhadap langit. Kondisi tersebut dapat menyebabkan proses memperoleh koordinat membutuhkan waktu lebih lama atau menyebabkan perubahan nilai koordinat. Oleh karena itu, posisi pemasangan modul GPS dan kondisi lingkungan perlu diperhatikan agar penerimaan sinyal dapat berlangsung dengan baik.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa GPS NEO-6M dapat digunakan sebagai bagian dari sistem monitoring untuk memperoleh dan menampilkan informasi lokasi pengguna**.** Integrasi GPS dengan ESP32 memungkinkan data latitude dan longitude diteruskan ke dashboard IoT sehingga posisi perangkat dapat dipantau melalui peta. Dengan demikian, keberadaan GPS NEO-6M melengkapi sistem monitoring yang tidak hanya memberikan informasi

parameter kesehatan, tetapi juga menyediakan informasi lokasi pengguna secara terintegrasi

4.5 Pengujian SpO_2 *Heart Attack*

Pengujian SpO_2 (*Peripheral Oxygen Saturation*) dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor MAX30102 dalam mengukur tingkat saturasi oksigen dalam darah pengguna. SpO_2 merupakan salah satu parameter yang digunakan dalam sistem monitoring karena dapat memberikan informasi mengenai kondisi oksigenasi dalam darah. Pada sistem yang dirancang, hasil pembacaan SpO_2 oleh sensor MAX30102 diproses oleh ESP32, kemudian ditampilkan pada OLED Display dan dikirimkan ke dashboard IoT sehingga nilai dapat dipantau secara langsung.

Pengujian dilakukan dengan menempatkan jari pengguna pada sensor MAX30102 dalam kondisi yang relatif stabil. Sensor kemudian melakukan pembacaan berdasarkan sinyal optik yang diterima dari jari pengguna. Hasil pembacaan tersebut diproses oleh ESP32 dan ditampilkan dalam bentuk persentase (%) pada OLED maupun dashboard IoT. Proses ini dilakukan untuk mengetahui apakah sensor dapat memberikan nilai SpO_2 secara konsisten dan apakah data yang diperoleh dapat diteruskan dengan baik oleh sistem.

Berdasarkan hasil implementasi sistem, nilai SpO_2 yang diperoleh dari sensor MAX30102 dapat ditampilkan pada OLED Display dan dashboard IoT. Tampilan dashboard menyediakan indikator khusus untuk parameter SpO_2 sehingga pengguna dapat mengetahui hasil pengukuran secara langsung. Pada tampilan dashboard yang telah dirancang, nilai SpO_2 ditampilkan sebesar 87%**.** Nilai tersebut merupakan hasil pembacaan pada saat sistem digunakan dan menunjukkan bahwa sensor telah berhasil mengirimkan data SpO_2 dari perangkat menuju dashboard.

Hasil pembacaan SpO_2 dapat mengalami perubahan selama proses pengukuran. Hal tersebut dapat dipengaruhi oleh beberapa kondisi saat sensor digunakan, terutama posisi jari pada sensor, kestabilan jari, tekanan jari terhadap sensor, pergerakan tangan, serta kualitas sinyal yang diterima oleh sensor**.** Oleh karena itu, selama pengujian jari perlu ditempatkan pada posisi sensor dengan stabil dan tidak banyak bergerak. Kondisi pengukuran yang tidak stabil dapat

menyebabkan hasil pembacaan berubah-ubah atau membutuhkan waktu lebih lama untuk memperoleh nilai yang stabil.

Selain pengamatan nilai SpO_2, pengujian juga bertujuan untuk mengetahui keberhasilan integrasi antara MAX30102, ESP32, OLED Display, dan dashboard IoT**.** Apabila nilai SpO_2 dapat terbaca oleh sensor, diproses oleh ESP32, ditampilkan pada OLED, dan diterima oleh dashboard, maka rangkaian proses pengiriman data dapat dinyatakan berjalan sesuai dengan perancangan. Dengan demikian, sensor MAX30102 tidak hanya berfungsi sebagai pembaca parameter SpO_2, tetapi menjadi bagian dari sistem monitoring yang terintegrasi dengan perangkat tampilan dan IoT.

Berdasarkan pengujian tersebut, sensor MAX30102 dapat digunakan untuk melakukan monitoring SpO_2 pada sistem yang dirancang. Hasil pembacaan dapat ditampilkan secara lokal melalui OLED dan dipantau secara jarak jauh melalui dashboard IoT. Namun, hasil pengujian SpO_2 pada penelitian ini sebaiknya dianalisis lebih lanjut dengan membandingkannya terhadap alat SpO_2 pembanding agar dapat diketahui nilai selisih, persentase error, dan tingkat akurasinya.

4.6 Pengujian Step – Down LM2596

Pengujian step-down LM2596 dilakukan untuk mengetahui kemampuan modul dalam menurunkan dan mengatur tegangan dari sumber baterai agar sesuai dengan kebutuhan perangkat keras sistem monitoring. Modul step-down digunakan karena sumber tegangan dari baterai perlu disesuaikan sebelum diberikan kepada komponen seperti ESP32 dan perangkat pendukung lainnya. Pengujian ini bertujuan memastikan tegangan keluaran modul berada pada nilai yang sesuai dan dapat digunakan untuk menyuplai rangkaian secara stabil.

Pada proses pengujian, tegangan dari sumber baterai dihubungkan ke bagian input modul LM2596, kemudian tegangan keluaran diukur menggunakan alat ukur. Tegangan keluaran dapat diatur melalui potensiometer pada modul step-down hingga mencapai nilai yang dibutuhkan oleh sistem. Pengukuran dilakukan pada sisi input dan output untuk mengetahui kemampuan modul dalam melakukan penurunan tegangan. Hasil pengukuran kemudian digunakan untuk mengetahui

apakah tegangan keluaran telah sesuai dengan kebutuhan sistem dan tidak mengalami penyimpangan yang terlalu besar.

Berdasarkan hasil pengujian, modul step-down LM2596 dapat digunakan sebagai pengatur tegangan pada sistem monitoring. Tegangan yang berasal dari baterai terlebih dahulu melewati modul LM2596 sehingga tegangan keluaran dapat disesuaikan dengan kebutuhan rangkaian. Kondisi ini penting karena setiap komponen elektronik memiliki kebutuhan tegangan tertentu. Tegangan yang terlalu tinggi dapat berisiko menyebabkan komponen mengalami kerusakan, sedangkan tegangan yang terlalu rendah dapat menyebabkan perangkat tidak bekerja secara optimal

Dengan demikian, hasil pengujian menunjukkan bahwa modul step-down LM2596 berfungsi dengan baik sebagai pengatur tegangan pada sistem monitoring, selama tegangan keluarannya telah disesuaikan dengan kebutuhan masing-masing rangkaian. Penggunaan modul ini juga mendukung penggunaan baterai sebagai sumber daya sistem karena tegangan baterai dapat diatur terlebih dahulu sebelum digunakan oleh komponen elektronik. Hasil pengujian step-down selanjutnya menjadi dasar untuk memastikan sistem backup baterai dapat bekerja dengan baik dan seluruh perangkat memperoleh catu daya yang sesuai.

4.7 Hasil Pembahasan Penelitian

Berdasarkan seluruh hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, sistem monitoring heart attack berbasis ESP32 dan Internet of Things (IoT) telah berhasil diimplementasikan dengan mengintegrasikan perangkat keras dan perangkat lunak dalam satu sistem. Perangkat keras yang digunakan meliputi ESP32 sebagai mikrokontroler utama, sensor MAX30102 sebagai pembaca parameter kesehatan, OLED sebagai media tampilan lokal, GPS NEO-6M sebagai penentu lokasi, buzzer sebagai sistem peringatan dini, serta baterai Li-ion dan step-down LM2596 sebagai sumber daya sistem. Integrasi komponen tersebut memungkinkan sistem melakukan proses pembacaan, pengolahan, penampilan, dan pengiriman data secara terintegrasi.

Pada pengujian ESP32, mikrokontroler mampu menjalankan program dan mengendalikan komponen yang terhubung. ESP32 dapat menerima data dari sensor MAX30102, mengolah data, menampilkan informasi melalui OLED, menerima

data lokasi dari GPS NEO-6M, serta melakukan komunikasi dengan jaringan internet. Hasil tersebut menunjukkan bahwa ESP32 dapat berfungsi sebagai pusat pengendalian sistem. Keberhasilan ESP32 dalam mengintegrasikan berbagai komponen menjadi faktor penting agar keseluruhan sistem dapat bekerja sesuai dengan rancangan.

Pengujian OLED Display menunjukkan bahwa layar dapat menerima dan menampilkan data yang dikirimkan oleh ESP32. Informasi seperti nilai BPM, SpO_2, dan data lokasi dapat ditampilkan sehingga pengguna dapat melakukan pemantauan secara langsung pada perangkat. OLED berfungsi sebagai media monitoring lokal yang memberikan informasi tanpa harus mengakses dashboard IoT. Hasil tersebut menunjukkan bahwa komunikasi antara ESP32 dan OLED melalui I2C dapat berjalan dengan baik.

Sistem dashboard IoT menjadi bagian penting dalam proses monitoring jarak jauh. Dashboard menampilkan beberapa informasi utama, yaitu BPM, SpO_2, lokasi GPS, kecepatan, status perangkat, serta pengaturan batas parameter BPM. Pada hasil perancangan, batas bawah BPM diatur sebesar 41 BPM dan batas atas sebesar 160 BPM. Pengaturan tersebut digunakan sebagai threshold dalam sistem peringatan. Dengan adanya dashboard, data yang sebelumnya hanya tersedia pada perangkat dapat dipantau secara lebih terpusat dan dapat diakses melalui jaringan internet selama perangkat memiliki koneksi yang diperlukan.

Pengujian sistem peringatan dini menggunakan buzzer menunjukkan bahwa buzzer digunakan sebagai indikator ketika parameter yang dipantau memenuhi kondisi peringatan yang telah ditentukan. ESP32 membandingkan hasil pembacaan dengan batas parameter atau threshold yang telah diprogram. Ketika kondisi peringatan terpenuhi, ESP32 memberikan sinyal kepada buzzer sehingga menghasilkan suara. Sebaliknya, ketika parameter berada dalam kondisi yang tidak memenuhi kriteria peringatan, buzzer tidak diaktifkan. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan peringatan secara langsung tanpa pengguna harus terus melihat OLED atau dashboard.

Pada pengujian backup baterai, baterai Li-ion 3,7 V 2200 mAh digunakan sebagai sumber daya cadangan. Sistem backup memungkinkan perangkat tetap memperoleh suplai ketika sumber daya utama tidak tersedia, selama kapasitas

baterai masih mencukupi. ESP32, MAX30102, OLED, GPS, dan komponen pendukung dapat tetap menjalankan fungsinya dengan dukungan baterai dan pengaturan tegangan melalui LM2596. Hal ini memberikan kelebihan pada sistem karena perangkat dapat digunakan secara lebih portabel dan tidak sepenuhnya bergantung pada sumber daya eksternal.

Pengujian sensor MAX30102 dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam membaca detak jantung pengguna. Berdasarkan pengujian terhadap 10 orang, diperoleh rata-rata pembacaan alat sebesar 85,3 BPM, sedangkan rata-rata pembacaan smartwatch sebesar 86,6 BPM. Rata-rata selisih absolut pembacaan adalah 4,5 BPM, dengan rata-rata persentase error sebesar 5,19%. Berdasarkan metode perhitungan yang digunakan, diperoleh tingkat akurasi rata-rata sebesar 94,81%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pembacaan MAX30102 memiliki kesesuaian yang cukup baik terhadap smartwatch yang digunakan sebagai alat pembanding.

Berdasarkan grafik persentase error, nilai error terendah terdapat pada Orang 6 sebesar 1,12%, sedangkan error tertinggi terdapat pada Orang 8 sebesar 15,12%. Kondisi tersebut menyebabkan tingkat akurasi pada Orang 6 menjadi yang tertinggi, yaitu 98,88%, sedangkan Orang 8 memiliki akurasi terendah sebesar 84,88%. Perbedaan hasil antar pengguna dapat dipengaruhi oleh posisi jari, tekanan jari pada sensor, pergerakan tangan, kestabilan selama pengukuran, dan kualitas sinyal yang diterima sensor. Oleh karena itu, prosedur penggunaan sensor perlu dilakukan dengan posisi jari yang stabil agar hasil pembacaan lebih konsisten.

Pengujian GPS NEO-6M menunjukkan bahwa modul dapat memperoleh data lokasi dan mengirimkannya kepada ESP32 melalui komunikasi UART. Data yang diperoleh berupa latitude dan longitude, kemudian digunakan untuk menampilkan posisi pengguna pada dashboard IoT. Pada hasil implementasi dashboard, salah satu data yang ditampilkan adalah latitude 3.278542667 dan longitude 99.37438883, dengan kecepatan 0,463 km/jam serta status perangkat ONLINE. Hal ini menunjukkan bahwa GPS berhasil diintegrasikan dengan ESP32 dan dashboard sehingga informasi lokasi dapat dipantau secara visual melalui peta.

Pada pengujian SpO_2, sensor MAX30102 juga digunakan untuk memperoleh nilai saturasi oksigen dalam darah. Data hasil pembacaan diproses oleh

ESP32 dan ditampilkan melalui OLED serta dashboard IoT. Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem mampu menampilkan nilai SpO_2 dalam bentuk persentase, salah satunya ditunjukkan dengan nilai 87% pada dashboard. Namun, untuk mengetahui tingkat error dan akurasi SpO_2 secara kuantitatif diperlukan data pembanding dari alat SpO_2 yang digunakan dalam pengujian. Dengan demikian, hasil yang tersedia menunjukkan keberhasilan fungsi pembacaan dan visualisasi SpO_2, tetapi belum cukup untuk menyimpulkan akurasi SpO_2 secara numerik.

Pengujian step-down LM2596 menunjukkan bahwa modul dapat digunakan untuk menurunkan dan mengatur tegangan dari sumber baterai agar sesuai dengan kebutuhan rangkaian. Tegangan keluaran dapat disesuaikan menggunakan potensiometer pada modul. Penggunaan step-down membantu menyediakan tegangan yang sesuai bagi sistem sehingga komponen seperti ESP32 dan perangkat pendukung dapat bekerja dengan baik. Dengan demikian, LM2596 menjadi bagian penting dalam sistem catu daya, khususnya ketika sistem menggunakan baterai sebagai sumber energi.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem telah berhasil mengintegrasikan monitoring parameter kesehatan, informasi lokasi, sistem peringatan dini, tampilan lokal, dashboard IoT, dan sumber daya cadangan dalam satu perangkat. Sensor MAX30102 mampu memberikan hasil pembacaan BPM dengan rata-rata akurasi 94,81% terhadap *smartwatch* pada data pengujian yang tersedia. GPS mampu memberikan informasi lokasi, OLED mampu menampilkan hasil pembacaan, buzzer dapat digunakan sebagai indikator peringatan, dan dashboard IoT mampu menampilkan data secara terintegrasi. Dengan demikian, sistem yang dirancang telah mampu menjalankan fungsi utama monitoring sesuai dengan tujuan perancangan.

Meskipun demikian, masih terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan. Hasil pembacaan sensor dapat dipengaruhi oleh kondisi penggunaan, terutama kestabilan jari dan pergerakan pengguna. Selain itu, pengujian akurasi SpO_2 masih memerlukan data pembanding yang lebih lengkap, sedangkan daya tahan backup baterai juga perlu diuji berdasarkan lama waktu operasional untuk mengetahui kemampuan baterai secara lebih kuantitatif. Oleh karena itu, pengujian lebih lanjut

dengan jumlah subjek dan kondisi pengukuran yang lebih beragam dapat dilakukan untuk meningkatkan keandalan sistem pada penelitian selanjutnya.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian sistem monitoring *heart attack* berbasis ESP32 dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Prototipe sistem monitoring heart attack berbasis IoT menggunakan sensor MAX30102, mikrokontroler ESP32, GPS NEO-6M, OLED Display, buzzer, serta dashboard IoT telah berhasil dibangun. Sistem mampu mengukur BPM dan SpO_2 secara real-time, menampilkan data secara lokal, mengirim data ke dashboard, serta memberikan informasi lokasi pengguna.
2. Evaluasi akurasi sistem menunjukkan bahwa sensor MAX30102 mampu mengukur detak jantung (BPM) dengan rata-rata pembacaan 84,3 BPM dibandingkan smartwatch 86,6 BPM. Rata-rata persentase error sebesar 5,19% dan tingkat akurasi mencapai 94,81% pada 10 subjek dewasa dalam kondisi istirahat.
3. Fitur notifikasi otomatis berhasil dikembangkan melalui buzzer sebagai sistem peringatan dini. Buzzer aktif secara otomatis ketika nilai BPM atau SpO_2 berada di luar ambang batas yang telah ditentukan (BPM < 60 atau > 100, serta SpO_2 di bawah batas normal), sesuai dengan logika threshold.
4. Sistem berhasil mengintegrasikan modul GPS NEO-6M untuk memperoleh data koordinat lokasi (latitude dan longitude) pengguna. Data lokasi ditampilkan pada OLED Display dan dashboard IoT secara real-time, sehingga dapat mempermudah pelacakan posisi pasien pada kondisi darurat.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar pengujian dilakukan dengan jumlah subjek yang lebih banyak dan kondisi yang lebih beragam, serta pengujian SpO_2 menggunakan alat pembanding yang tervalidasi. Sistem dapat dikembangkan menjadi perangkat *wearable* yang lebih ringkas, dilengkapi notifikasi ke smartphone, dan dashboard IoT yang dilengkapi penyimpanan data historis serta grafik tren. Kapasitas baterai juga perlu ditingkatkan agar waktu operasional lebih lama.

DAFTAR PUSTAKA

[1]. World Health Organization (WHO), *Cardiovascular Diseases (CVDs)*, Geneva: WHO, 2023.

[2]. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, *Hasil Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas)*, Jakarta: Kemenkes RI, 2018.

[3]. V. Kusuma dan R. S. Nugroho, "Analisis Aritmia Jantung Berdasarkan Variasi Detak Jantung," *Jurnal Teknik Biomedis*, vol. 5, no. 2, pp. 85–92, 2020.

[4]. Maxim Integrated, *MAX30102 Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor forWearable Health*, Datasheet, 2022.

[5]. S. R. Patil, A. B. Patil, and P. R. Kulkarni, "IoT Based Health Monitoring System," *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, vol. 6, no. 3, pp. 307–310, 2017.

[6]. M. S. Hossain and G. Muhammad, "Cloud-Assisted Industrial Internet of Things (IIoT) – Enabled Framework for Health Monitoring," *Computer Networks*, vol. 101, pp. 192–202, 2016.

[7]. J. G. Webster, *Medical Instrumentation: Application and Design*, 4th ed., New York: John Wiley & Sons, 2010.

[8]. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, and M. Ayyash, "Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp. 2347–2376, 2015.

[9]. R. Banerjee, S. K. Pandey, and A. Bhattacharya, "Heart Rate and SpO2 Monitoring Using MAX30102 Sensor," *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 9, no. 6, pp. 227–231, 2020.

[10]. J. Camm et al., "Guidelines for the Management of Atrial Fibrillation," *European Heart Journal*, vol. 31, no. 19, pp. 2369–2429, 2010.

[11]. Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols,

and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials, 17*(4), 2347–2376.

[12]. Banerjee, R., Pandey, S. K., & Bhattacharya, A. (2020). Heart rate and SpO_2 monitoring using MAX30102 sensor. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 9*(6), 227–231.

[13]. Webster, J. G. (2010). *Medical instrumentation: Application and design* (4th ed.). New York, NY: John Wiley & Sons.

[14]. Hossain, M. S., & Muhammad, G. (2016). Cloud-assisted industrial Internet of Things (IIoT)–enabled framework for health monitoring. *Computer Networks, 101*, 192–202.

[15]. Patil, S. R., Patil, A. B., & Kulkarni, P. R. (2017). IoT based health monitoring system. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering, 6*(3), 307–310.

[16]. Camm, A. J., Kirchhof, P., Lip, G. Y. H., Schotten, U., Savelieva, I., Ernst, S., … Heidbüchel, H. (2010). Guidelines for the management of atrial fibrillation. *European Heart Journal, 31*(19), 2369–2429.

[17]. World Health Organization. (2021). *WHO consolidated guidelines on HIV, viral hepatitis and STI prevention, diagnosis, treatment and care*. Geneva, Switzerland: World Health Organization.

[18]. R. F. Siregar, A. R. Nasution, H. Arifin, M. Alwi, and R. Harahap, "Fuzzy Logic Mamdani-Based Simulation of Solanum Lycopersicum Fruit Sorter to Produce High-Quality Fruit Products," vol. 8, no. 1, pp. 130-140, 2024, doi: 10.31289/jesce.v6i2.11835

[19]. Rajalakshmi, P., Prabha, R., & Shanmugapriya, D. (2018). IoT based heart rate monitoring system using wearable sensors. *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology, 3*(2), 112–118.

[20]. Sood, S. K., Mahajan, I., & Kaur, S. (2020). An intelligent IoT-based healthcare monitoring system for early detection of heart diseases. *Journal of Medical Systems, 44*(7), 1–12.

[21]. Islam, S. M. R., Kwak, D., Kabir, M. H., Hossain, M., & Kwak, K. S. (2015). The Internet of Things for health care: A comprehensive survey. *IEEE Access, 3*, 678–708.

[22]. Alam, S., dkk. (2019). *Rancang bangun sistem monitoring detak jantung menggunakan elektrokardiograf berbasis Bluetooth dan LabVIEW*. Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer, 7(3), 109–116.

[23]. Kumar, S., et al. (2021). *An IoT framework for detecting cardiac arrhythmias in real-time using deep learning ResNet model*. Computers in Biology and Medicine, 134, 104–118.

[24]. Umer, M., et al. (2021). *Heart failure patients monitoring using IoT-based remote monitoring system*. IEEE Access, 9, 40900–40912.

[25]. Rajalakshmi, P., & Devi, M. (2018). *IoT-based heart rate monitoring system*. International Journal of Engineering & Technology, 7(2.8), 476–480.

[26]. Acharya, U. R., et al. (2006). *Heart rate variability: A review*. Medical & Biological Engineering & Computing, 44(12), 1031–1051.

[27]. Pantelopoulos, A., & Bourbakis, N. G. (2010). *A survey on wearable sensor-based systems for health monitoring and prognosis*. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews), 40(1), 1–12.

[28]. Tamura, T., Maeda, Y., Sekine, M., & Yoshida, M. (2014). *Wearable photoplethysmographic sensors—Past and present*. Electronics, 3(2), 282–302.

[29]. Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). *Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications*. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 17(4), 2347–2376.

[30]. Clifton, L., Clifton, D. A., Pimentel, M. A. F., Watkinson, P. J., & Tarassenko, L. (2012). *Gaussian processes for personalized e-health monitoring with wearable sensors*. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 60(1), 193–197.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Data Pribadi

Nama	: Ryan Alhadian
Tempat/Tanggal Lahir	: Tebing Tinggi, 15 April 2004
Jenis Kelamin	: Laki-laki
Umur	: 22 Tahun
Agama	: Islam
Status	: Belum Kawin
Tinggi Badan/Berat Badan	: 169 cm / 68 kg
Kewarganegaraan	: Indonesia
Alamat	: Dsn Sawo VII Sei Suka Deras
No. Hp	082260305677
Email	: ryanalhadian15@gmail.com

Data Orang Tua

Nama Ayah	: Alm Nasrudin
Agama	: Islam
Kewarganegaraan	: Indonesia
Nama Ibu	: Hamidah Nasution
Agama	: Islam
Kewarganegaraan	: Indonesia
Alamat	: Dsn Sawo VII Sei Suka Deras

Latar Belakang Pendidikan

SDN 016513 Sei Suka Deras	(2010-2016)
SMPN 1 Sei Suka	(2016-2019)
SMK Swasta Budhi Darma Indrapura	(2019-2022)
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara	(2022-2026)

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400-66224567

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Ryan Alhadian

NPM 2207220063

Judul : Prototipe Sistem Monitoring Heart Attack Menggunkan Sensor MAX30102 Berbasis IOT

Dosen Pempimbing : Rahmat Fauzi Siregar,ST. MT

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1	Rabu / 7-1-2026	Perbaiki Ruang Lingkup	
2	Sabtu / 17-1-2026	Tambahan Teori• Perbaiki titik K. koma	
3	Senin / 9-2-2026	Perbaiki gambar Bab III	
4	Kamis / 12-2-2026	Perbaiki Tahap Penelitian	
5	Sabtu / 14-2-2026	Perbaiki Diagram alir	
6	Senin / 16-2-2026	Acc Seminar Proposal	

Dosen Pembimbing

Rahmat Fauzi Siregar,ST. MT

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400-66224567

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Ryan Alhadian

NPM 2207220063

Judul : Prototipe Sistem Monitoring Heart Attack Menggunkan Sensor MAX30102 Berbasis IOT

Dosen Pempimbing : Rahmat Fauzi Siregar,ST. MT

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1	Senin, 20 Juli 2026	Perbaiki Bab 4	
2	Sabtu, 25 Juli 2026	• Membuat Abstrak • Membuat Bab 5	
3	Selasa, 28 Juli 2026	Perbaikan keterangan gambar	
4	Kamis, 30 Juli 2026	Perbaikan No halaman	
5	Rabu, 5 Agustus 2026	Perbaiki Abstrak	
6	Senin, 10 Agustus 2026	ACC Semhas	

Dosen Pembimbing

Rahmat Fauzi Siregar,ST. M

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400-66224567

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Ryan Alhadian

NPM 2207220063

Judul : Prototipe Sistem Monitoring Heart Attack Menggunkan Sensor MAX30102 Berbasis IOT

Dosen Pempimbing : Rahmat Fauzi Siregar,ST. MT

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1	12 Agustus 2026	Perbaiki Abstrak	
2	15 Agustus 2026	Acc Sidang	
3			
4			
5			
6			

Dosen Pembimbing

Rahmat Fauzi Siregar,ST. MT