

Rancang Bangun Alat Ukur Parameter Vital Manusia Berbasis *Internet of Things* (IoT)

Trini M. Taneo¹, Ari Bangkit Sanjaya Umbu², Abdul Wahid³, Jonshon Tarigan⁴

Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknik,
Universitas Nusa Cendana, Kupang

¹trinimarlinataneo@gmail.com, ²aribangkitsanjaya@staf.undana.ac.id,

³abdul.wahid@staf.undana.ac.id, ⁴jon76tarigan@staf.undana.ac.id

Abstrak

Perkembangan teknologi telah membawa perubahan besar di segala bidang, salah satunya di bidang kesehatan. Inovasi teknologi dalam bidang kesehatan memungkinkan pengukuran parameter vital manusia secara *real-time* dan akurat, sehingga mempermudah deteksi dini dan penanganan yang lebih cepat. Penelitian ini merancang sebuah alat yang mengukur parameter vital, yaitu SpO₂, suhu tubuh, HR dan sinyal jantung berbasis *Internet of Things* (IoT). Alat ini dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor MAX30102 untuk pengukuran SpO₂ dan HR, sensor MLX90614 untuk pengukuran suhu tubuh non-kontak, dan sensor AD8232 untuk pengukuran sinyal jantung. Hasil pengukuran ditampilkan melalui layar OLED, dan dikirimkan secara otomatis ke platform Blynk, serta osiloskop untuk tampilan dari bentuk sinyal jantung. Alat pengukuran ini dikalibrasi agar mendapatkan nilai yang mendekati nilai alat standar, sehingga menghasilkan akurasi mencapai 99,72% untuk SpO₂, suhu tubuh non kontak mencapai 99,64% dan untuk HR mencapai 98,70%. Alat ukur ini diharapkan menjadi solusi pemantauan parameter vital yang membantu memantau kondisi kesehatan secara mandiri.

Kata kunci: SpO₂, suhu tubuh, HR, sinyal jantung PQRTS, IoT.

Abstract

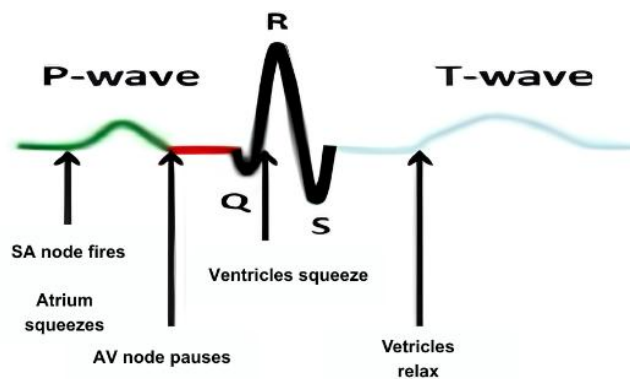
Technological advancements have brought significant changes across various fields, including the healthcare sector. Innovations in medical technology have enabled real-time and accurate measurement of human vital signs, facilitating early detection and faster treatment. This research designs a device that measures vital parameters such as blood oxygen saturation (SpO₂), body temperature, heart rate (HR), and electrocardiogram (ECG) signals based on the Internet of Things (IoT). The device is controlled by an ESP32 microcontroller integrated with a MAX30102 sensor for SpO₂ and HR measurements, an MLX90614 sensor for non-contact body temperature measurement, and an AD8232 sensor for ECG signal acquisition. The measurement results are displayed on an OLED screen and automatically sent to the Blynk platform, as well as visualized via an oscilloscope for ECG waveform observation. This device is calibrated to produce values that closely match standard medical equipment, achieving an accuracy of 99.72% for SpO₂, 99.64% for non-contact body temperature, and 98.70% for HR. This measuring device is expected to serve as a practical solution for monitoring vital signs and supporting independent health monitoring.

Keywords: SpO₂, body temperature, HR, PQRST signal, IoT

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi hingga saat ini mengubah cara kerja berbagai bidang, salah satunya dalam bidang kesehatan. Inovasi teknologi saat ini dimanfaatkan sebagai pemantau dan pengukuran yang membantu menentukan kondisi kesehatan seseorang atau sebagai peringatan untuk memberi tanda agar dapat dicegah dan melindungi seseorang dari penyakit kronis yang mengakibatkan kematian [1]. Salah satu penyakit kronis dengan tingkat kematian tinggi menurut WHO adalah penyakit jantung. Sehingga tidak dapat disepelekan penyakit ini, perlunya pemantauan terhadap parameter vital mempengaruhi kesehatan jantung manusia. Parameter vital yang memengaruhi kesehatan jantung yaitu sinyal jantung, denyut jantung (*heart rate*) dan saturasi oksigen (SpO_2).

Sinyal jantung dapat membantu mendeteksi kelainan atau gangguan pada jantung, kelainan yang terjadi pada jantung seseorang dapat diketahui melalui rekaman sinyal EKG[2]. Karena bentuk dari hasil sinyal jantung normal memiliki ciri khas yaitu sinyal PQRS. Tiga bentuk sinyal jantung terdiri dari gelombang P, kompleks QRS, dan gelombang T dalam keadaan normal, sehingga apabila terjadi kelainan pada jantung berdampak juga pada sinyal listrik yang dihasilkan [3], [4]. Gelombang sinyal ini ada tiga bentuk seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Bentuk Sinyal Jantung PQRS (Sumber: Ferawidya, 2022)

Selain sinyal jantung terdapat juga pengukuran denyut jantung dan saturasi oksigen juga sangat penting, karena dapat diketahui kondisi kesehatan seseorang secara umum [5]. *Heart rate* atau denyut menunjukkan seberapa cepat jantung memompa darah ke seluruh tubuh. Denyut jantung yang tidak normal dapat mengganggu fungsi jantung, sehingga aliran darah yang membawa oksigen dan nutrisi ke organ-organ tubuh terganggu. Hal ini dapat menyebabkan pusing, sesak nafas, dan pingsan bahkan kematian [6][7]. Sementara itu saturasi oksigen, parameter yang menunjukkan persentase kadar oksigen yang terikat dengan hemoglobin dalam darah, nilai ini berperan dalam kerja jantung [8]. Tingkat saturasi oksigen manusia normal berada pada 90%-100%, dibawa nilai normal tersebut disebut hipoksemia. Nilai yang kurang dari batas normal berarti oksigen dalam darah berkurang dan dapat membahayakan, sehingga harus mendapatkan pertolongan, apabila dibiarkan dapat menyebabkan jantung berhenti yang menyebabkan kematian [9]. Selain itu, pengukuran suhu tubuh juga menjadi poin penting dalam memantau kondisi kesehatan manusia [10]. Suhu tubuh adalah keseimbangan antara panas yang dihasilkan dan panas yang dikeluarkan [11]. Suhu tubuh manusia normal berkisar antara 36°C hingga 37,5°C, dengan variasi tergantung pada lokasi pengukuran dan aktivitas fisik. Suhu tubuh yang tidak normal bisa menjadi tanda-tanda vital adanya gangguan pada tubuh manusia.

Pengukuran suhu tubuh menggunakan sensor suhu yang sudah berbasis IoT dapat membuat pengukuran secara *real-time* dari jarak jauh. Hal ini dapat membantu tenaga medis dalam mendiagnosa atau mendeteksi secara cepat dan tepat perubahan kondisi pasien. Teknologi IoT bekerja untuk menghubungkan alat-alat dan sensor dalam kehidupan sehari-hari karena terkoneksi dengan jaringan internet, dalam bentuk data yang kemudian dapat di akses dari mana saja dan kapan saja [12]. Teknologi IoT memungkinkan perangkat elektronik termasuk sensor mengirimkan data melalui jaringan komunikasi, hal ini diterapkan dalam bidang medis pada telemedis yang berguna untuk mengirimkan data medis pasien ke fasilitas kesehatan tanpa harus berada di lokasi yang sama [13].

Beberapa penelitian terdahulu telah berhasil mengembangkan alat ukur dan monitoring kesehatan berbasis IoT. Penelitian untuk memantau suhu tubuh dan detak jantung pasien dengan sensor MAX30100 dan MLX90614 yang terhubung ke ESP8266 yang tampilnya melalui OLED, Blynk tetapi mengalami keterlambatan dalam pembacaan [11]. Terdapat penelitian yang mengembangkan sistem pengukuran suhu tubuh non-kontak menggunakan sensor MLX90614 yang menghasilkan akurasi tinggi [14],[15]. Dan penelitian yang mengintegrasikan sensor DS18B20 dan MAX30102 dalam sistem pemantauan suhu tubuh, detak jantung, dan SpO₂ dengan akurasi di atas 95% [10]. Dan penelitian yang mengimplementasikan sensor AD8232 untuk mendeteksi sinyal jantung PQRST melalui tiga lead elektroda, dengan hasil cukup akurat namun mengalami gangguan komunikasi [1].

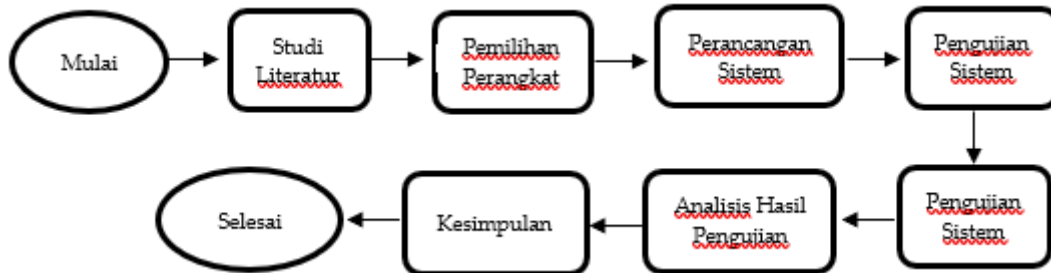
Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu, terdapat keterbatasan dalam integrasi parameter vital manusia dalam satu alat. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk merancang bangun alat ukur parameter vital manusia yang terdiri atas SpO₂, suhu tubuh, HR dan sinyal jantung PQRST berbasis *Internet of Things* (IoT), menampilkan hasil pengukuran, serta menguji akurasi alat yang dirancang. Sensor yang digunakan untuk mengukur parameter vital dalam penelitian ini antara lain: sensor MAX30102 untuk mengukur SpO₂ dan HR dengan mendeteksi perubahan volume darah dalam pembuluh darah ketika cahaya LED dan inframerah diserap oleh hemoglobin [16]. Sensor MLX90614 untuk mengukur suhu tubuh non-kontak yang dapat mengukur suhu suatu objek dengan menangkap radiasi termal yang dipancarkan. Dan sensor AD8232, untuk mengukur aktivitas listrik jantung dan menghasilkan sinyal EKG. Digunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali dari alat ini karena ESP32 dapat mengubah sinyal analog menjadi digital yang dibutuhkan pada sinyal jantung dan mengirimkan data melalui *Wi-Fi* [13]. Dengan mengintegrasikan sensor-sensor tersebut dengan ESP32 menghasilkan sebuah alat ukur parameter vital yang dapat menampilkan nilai SpO₂, HR, suhu tubuh di OLED dan dikirimkan otomatis ke platform IoT Blynk serta menampilkan bentuk dari sinyal PQRST di osiloskop. Alat ini diharapkan menjadi salah satu inovasi pengembangan teknologi IoT di bidang kesehatan untuk membantu pengukuran parameter vital sebagai deteksi dini.

2. Metode Penelitian

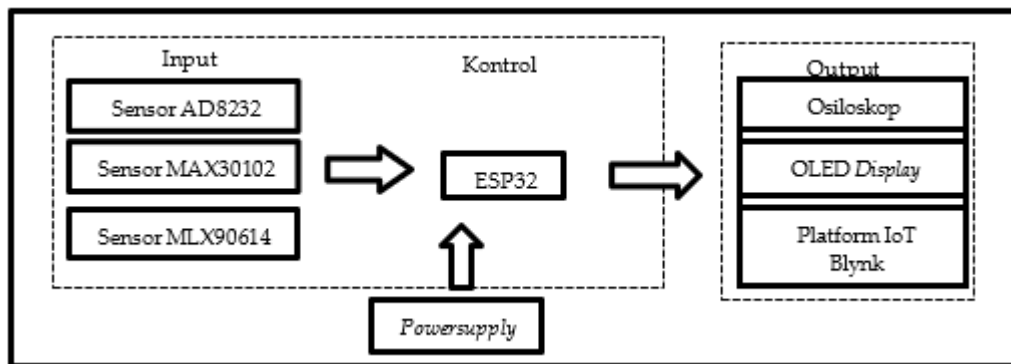
Penelitian ini dilakukan dengan cara merancang dan menguji alat ukur parameter vital manusia berbasis IoT. Alat ukur ini mengintegrasikan sensor MAX30102, sensor MLX90614, dan sensor AD8232 dengan NodeMCU ESP32 sebagai tempat proses pengolahan data. Secara umum, alur penelitian ditunjukkan pada Gambar 2.

Tahapan penelitian dimulai dengan studi literatur yang mengkaji hal-hal yang berkaitan dengan penelitian ini dari jurnal ilmiah, buku dan datasheet setiap sensor, dari

studi literatur tersebut dipilih perangkat-perangkat yang digunakan, kemudian dilakukan perancangan sistem baik sistem perangkat keras maupun lunak, dengan menghubungkan setiap rangkaian, dan algoritma untuk pembacaan dan pengolahan data sensor, serta pengiriman ke OLED, osiloskop dan Blynk. Kemudian dilakukan pengujian dari alat ini, dari data hasil pengujian dianalisis dan ditarik kesimpulan dari kinerja alat ini.



Gambar 2. Flowchart Penelitian



Gambar 3. Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem dilihat pada Gambar 3. Alat ini memiliki sistem yang terdiri dari ketiga bagian utama: input, kontrol dan output. Di mana terdapat tiga sensor yang menjadi input dari alat ini adalah sensor AD8232 untuk mengukur sinyal jantung, sensor MAX30102 untuk mengukur SpO₂ dan HR dan sensor MLX90614 untuk mengukur suhu non-kontak. Semua sensor ini dikontrol oleh ESP32 yang mengatur dan mengolah pengukuran dan hasil pengukuran alat ini. Setelah itu, hasilnya dikirim ke bagian output yaitu osiloskop untuk menampilkan bentuk dari sinyal PQRST, OLED display untuk menampilkan nilai SpO₂, HR dan suhu tubuh dan Blynk untuk pemantauan jarak jauh. Seluruh sistem kerja dengan daya dari *powersupply*

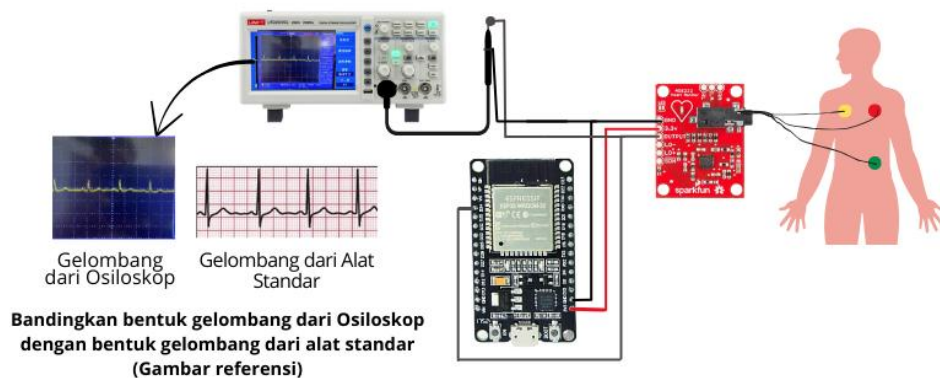
2.1. Perancangan dan Pengujian Perangkat Keras

Perancangan dan pengujian perangkat keras sistem ini terdiri perancangan dan pengujian sistem sinyal jantung dengan sensor AD8232, perancangan dan pengujian sistem SpO₂, HR dan perancangan dan pengujian sistem suhu tubuh non-kontak dengan sensor MLX90614.

Perancangan sistem sinyal jantung dilakukan dengan mengintegrasikan sensor AD8232, ESP32, dan osiloskop. Dengan cara sensor AD8232 disambungkan ke ESP32 dengan cara menghubungkan pin-pinnya. Pin GND pin GND, 3,3V ke 3V3, dan pin output ke salah satu pin analog ESP32 seperti pin GPIO 32. Kabel probe osiloskop di hubungkan pin output dari sensor dan kabel ground ke pin GND dari sensor. Sedangkan pengujian dilakukan dengan cara membandingkan bentuk sinyal PQRST yang tampil di osiloskop

dengan gambar sinyal PQRST. Perancangan dan pengujian sistem ditampilkan pada Gambar 4.

Perancangan rangkaian perangkat keras sistem SpO₂ dan HR dimulai dengan menghubungkan sensor MAX30102 pin vin ke pin 3V3 di ESP32 sebagai pin input daya, pin GND sensor dihubungkan ke pin GND ESP32. Dan komunikasi I2C dari sensor yaitu pin SDA dan SCL masing-masing dihubungkan ke pin GPIO21 dan GPIO22. Pengujian dilakukan dengan mengukur SpO₂ dan HR dalam lima kondisi tubuh berbeda. Setiap pengambilan data dibandingkan dengan hasil pengukuran *Pulse oximeter* sebagai alat standar. Perbedaan nilai digunakan sebagai data kalibrasi sensor, sehingga pembacaan sistem mendekati akurasi alat standar. Perancangan dan pengujian sistem ini digambarkan sesuai dengan Gambar 5.

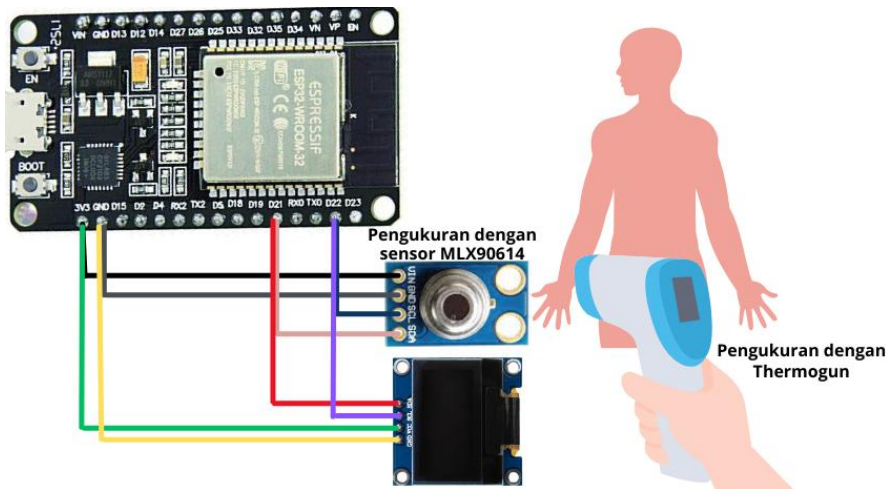


Gambar 4. Perancangan dan Pengujian Sistem Sinyal Jantung



Gambar 5. Perancangan dan Pengujian Sistem SpO₂ dan HR

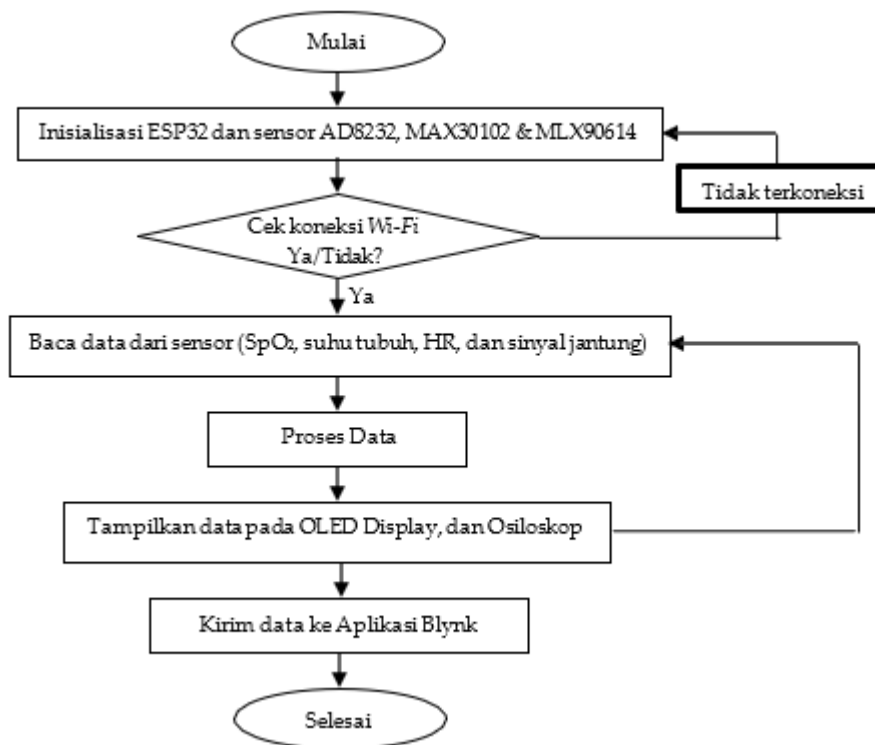
Perancangan sistem suhu tubuh dimulai dengan sensor MLX90614 dihubungkan dengan ESP32 melalui pin VCC dari sensor ke pin 3V3 ESP32, GND sensor ke GND, SCL ke GPIO22, dan SDA ke pin GPIO21. Terdapat OLED *display* dalam sistem ini dan ESP32 hubungkan juga dengan konfigurasi yang sama, yaitu VCC ke 3V3, GND ke GND, SCL ke GPIO22, dan SDA ke GPIO21. Pengujiannya dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sistem dengan *thermo gun* sebagai alat pembanding. Dengan dilakukan pengukuran pada titik dan jarak yang sama, nilai dari kedua alat dicatat dan kemudian dianalisis selisih untuk digunakan sebagai nilai untuk kalibrasi sensor. Perancangan dan pengujian rangkaian ini ditunjukkan di Gambar 6.



Gambar 6. Perancangan dan Pengujian Sistem Suhu Tubuh

2.2. Perancangan dan Pengujian Perangkat Lunak

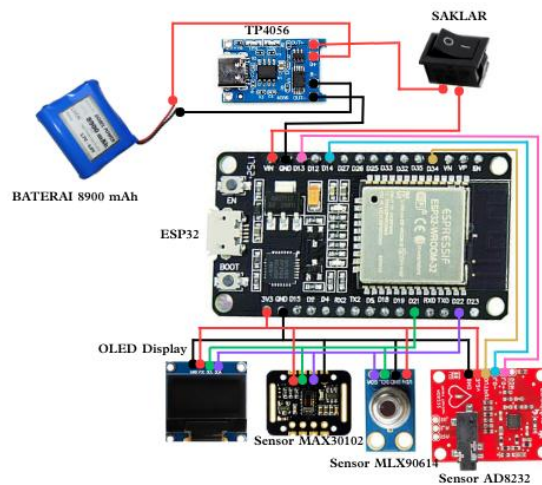
Perancangan dan pengujian perangkat lunak alat ini dilakukan di Arduino IDE dan Blynk. Diawali dengan menginstal *library* yang dibutuhkan di Arduino IDE, yaitu: `wire.h` untuk komunikasi I2C, `MAX30105.h` untuk pengolahan data dari sensor MAX30102, `Adafruit.MLX90614` untuk pengolahan data dari sensor MLX90614, `Adafruit_SSD1306.h` untuk integrasi OLED *display*, dan `BlynkSimpleESP32.h` untuk integrasi dengan aplikasi blynk. Kemudian sistem akan membaca dan mengolah data sinyal jantung dengan sensor AD8232, mengukur SpO₂ dan HR dengan MAX30102, serta suhu tubuh dengan MLX90614 melalui komunikasi I2C. Kemudian data ditampilkan di OLED *display*, dan osiloskop serta dikirim ke aplikasi Blynk melalui ESP32 apabila terkoneksi *Wi-Fi*.



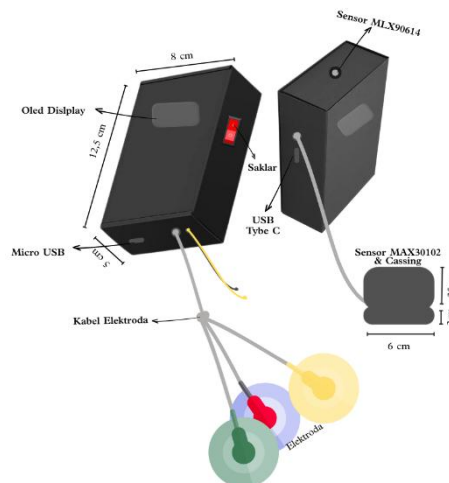
Gambar 7. Flowchart Perangkat lunak

2.3. Perancangan dan Pengujian Sistem secara Keseluruhan

Perancangan keseluruhan sistem dilakukan dengan menghubungkan semua sistem, yaitu sistem sinyal jantung, SpO₂ dan HR dan suhu tubuh dengan *power supply* baterai Li-Ion 8900mAh dan TP4056. Pengujian alat ini dilakukan dengan pengambilan data berupa SpO₂, suhu tubuh, HR dan sinyal jantung PQRST. Data yang diolah, dievaluasi untuk memastikan bahwa alat berfungsi dengan baik sesuai fungsi yang ditentukan, serta menguji sistem untuk mengetahui akurasi dari alat ukur ini. Perancangan keseluruhan alat ditunjukkan pada Gambar 8. Sedangkan desain fisik alat berbentuk kotak dengan penempatan komponennya ditunjukkan pada Gambar 9. Desain dibuat untuk memudahkan penggunaan dalam satu alat.



Gambar 8. Perancangan Keseluruhan Sistem

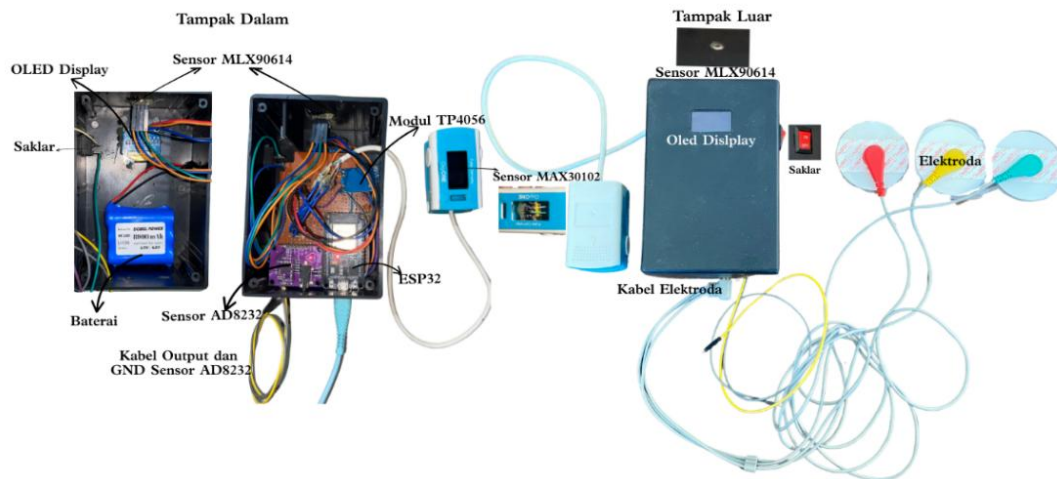


Gambar 9. Desain Fisik Alat Ukur Parameter Vital

3. Hasil dan Pembahasan

Alat ukur parameter vital ini dirancang dalam satu rangkaian yang ditempatkan dalam sebuah casing untuk melindungi komponen dan mempermudah penggunaan. Komponen utama diintegrasikan dalam sistem, antara lain sensor AD8232, sensor

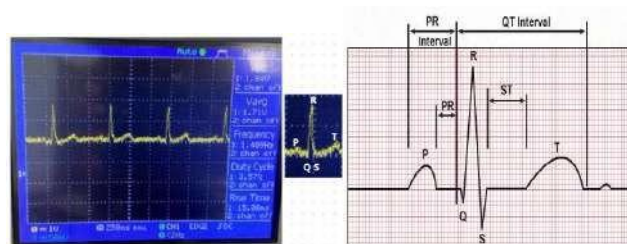
MAX30102, dan sensor MLX90614 serta NodeMCU ESP32 sebagai pusat kendali sistem yang juga mengirimkan data ke aplikasi Blynk melalui koneksi *Wi-Fi*. Perangkat keras alat ini dirakit pada papan PCB agar koneksi antara sensor-sensor dan mikrokontroler stabil dan berfungsi dengan baik. Hasil dari perancangan perangkat keras sistem ini ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Hasil Perancangan Alat

3.1. Hasil Perancangan dan Pengujian Perangkat Keras

Pada perancangan sistem sinyal EKG menggunakan sensor AD8232 yang dihubungkan dengan NodeMCU ESP32. Sensor ini berfungsi menangkap dan menguatkan sinyal listrik dari aktivitas jantung manusia, yang dikirimkan ke pin ADC pada ESP32 yaitu pin GPIO34. Dan ditampilkan ke osiloskop melalui pin output dan GND dari sensor dihubungkan ke probe dari osiloskop. Hasil pengujian sinyal PQRST dan tampilan bentuk sinyal jantung dari alat standar, ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Sinyal PQRST dari Osiloskop dan Alat Standar

Terlihat dari Gambar 11, sinyal PQRST tampak pada osiloskop terdapat puncak-puncak tajam yang menyerupai gelombang R, serta pola teratur seperti bentuk gelombang P, Q, R, S dan T sudah terlihat. Bentuk gelombang tersebut menunjukkan aktivitas listrik pada saat jantung bekerja, bentuk gelombang P adalah aktivitas kontraksi atrium atau ruang atas jantung yang biasa disebut depolarisasi atrium, kompleks QRS menunjukkan bentuk kontraksi di ruang jantung bagian bawah jantung (ventrikel) disebut juga dengan depolarisasi ventrikel dan pada gelombang T menunjukkan repolarisasi, yang dimana jantung berelaksasi di ruang atas atau ventrikel jantung.

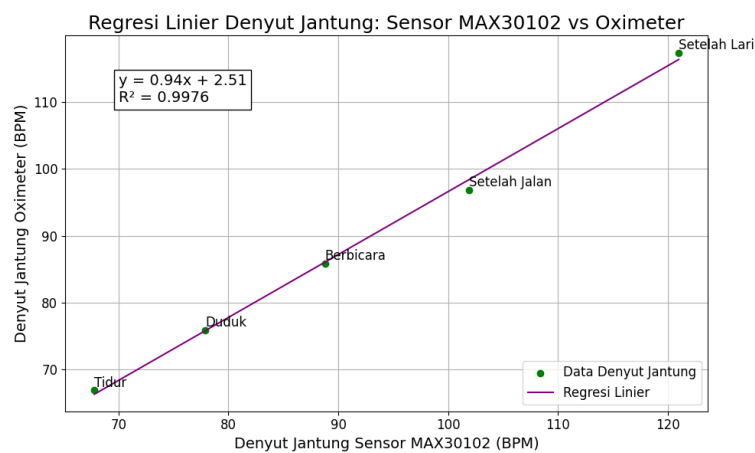
Pada hasil perancangan sistem pengukuran SpO₂ dan HR oleh sensor MAX30102 yang telah diintegrasikan dengan mikrokontroler ESP32 melalui komunikasi I2C. Dengan

menangkap perubahan intensitas cahaya inframerah dan merah yang dipantulkan oleh aliran darah dari jari atau *Photoplethysmography* (PPG). Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai pembacaan sensor dengan oximeter. Hasil pembacaan sensor MAX30102 adalah hasil pembacaan rata-rata HR dan SpO₂ setiap kondisi tubuh yang berbeda dihitung dari 10 kali pengukuran disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Sensor MAX30102 Sebelum Kalibrasi

Kondisi Tubuh	Sensor MAX30102		Oximeter		Error		Akurasi	
	HR (BPM)	SpO ₂ (%)	HR (BPM)	SpO ₂ (%)	HR (%)	SpO ₂ (%)	HR (%)	SpO ₂ (%)
Tidur	67,8	99,8	66,9	99,0	1,35	0,81	98,65	99,19
Duduk	77,9	99,8	75,9	99,0	2,64	0,91	97,36	99,09
Berbicara	88,8	99,7	85,9	99,0	3,38	0,71	96,62	99,29
Setelah jalan	101,9	99,9	96,9	99,1	5,16	0,81	94,84	99,19
Setelah lari	121,0	100,0	117,4	99,0	3,07	1,01	96,93	98,99
Rata-rata					3,12	0,85	96,88	99,15

Hasil pembacaan HR menggunakan sensor MAX30102 menunjukkan rata-rata lebih tinggi dibanding oximeter, dengan error 3,12%. Sedangkan pengukuran SpO₂ relatif stabil pada nilai 99% dengan error 0,85%. Hasil ini mengindikasikan bahwa kinerja sensor cukup baik dalam mengukur kedua parameter tersebut, tetapi masih perlu dikalibrasi untuk meningkatkan nilai akurasi agar mendekati nilai alat standar dan memperoleh nilai yang valid. Proses kalibrasi HR menggunakan metode regresi linear ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Grafik Plot Regresi Linier HR

Berdasarkan Gambar 12, terlihat hubungan antara nilai HR hasil pengukuran sensor dengan dengan nilai oximeter menggunakan metode regresi linear, hubungannya kuat. Hasil analisis regresi linier menghasilkan persamaan $y = 0,94x + 2,51$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,9976$, yang menyatakan bahwa 99,76% variasi data dapat dijelaskan dengan metode ini. Sedangkan pengukuran SpO₂ dilakukan kalibrasi dengan mengurangi nilai sensor dengan nilai rata-rata selisih antara nilai dari sensor dengan nilai dari alat standar 0,85. Kedua hasil dari metode kalibrasi tersebut diterapkan ke dalam program Arduino IDE untuk mengkalibrasi nilai yang terbaca. Hasil pengambilan data sensor MAX30102 setelah dikalibrasi ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Sensor MAX30102 Setelah Kalibrasi

Kondisi Tubuh	Sensor MAX30102		Oximeter		Error		Akurasi	
	HR (BPM)	SpO ₂ (%)	HR (BPM)	SpO ₂ (%)	HR (%)	SpO ₂ (%)	HR (%)	SpO ₂ (%)
Tidur	66,1	98,8	68,0	99,0	2,79	0,20	97,21	99,80
Duduk	87,8	98,7	87,0	99,0	0,92	0,30	99,08	99,70
Berbicara	92,8	98,5	92,0	98,9	0,87	0,40	99,13	99,60
Setelah jalan	101,4	98,7	100,6	99,0	0,80	0,30	99,20	99,70
Setelah lari	109,9	98,8	108,7	99,0	1,10	0,20	98,90	99,80
Rata-rata					1,30	0,28	98,70	99,72

Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa data MAX30102 setelah kalibrasi, nilai-nilai yang dihasilkan menunjukkan tingkat akurasi yang meningkat dan mendekati nilai dari oximeter setiap kondisi tubuh. Rata-rata error dari nilai dari HR menurun dari 3,12% menjadi 1,30% setelah kalibrasi, yang membuat akurasi pembacaannya mencapai 98,70% dan rata-rata error SpO₂ menurun dari 0,85% menjadi 0,28% sehingga akurasinya mencapai nilai 99,72%. Hal ini membuktikan bahwa kalibrasi yang dilakukan berhasil diterapkan dan membuat pembacaan sensor lebih akurat dan layak digunakan dalam pengukuran parameter vital HR dan SpO₂ dalam setiap kondisi tubuh manusia.

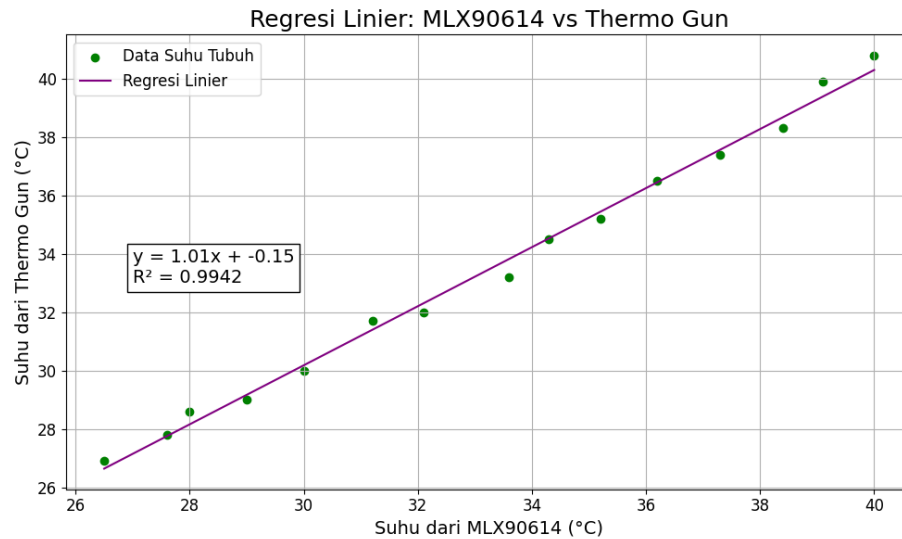
Dan pada hasil perancangan sistem pengukuran suhu berhasil dilakukan, di mana sensor inframerah MLX90614 membaca suhu tubuh tanpa melakukan kontak langsung dengan kulit. Sistem ini berhasil mengintegrasikan sensor MLX90614 dengan ESP32 dan OLED *display* menggunakan komunikasi I2C. Untuk pengujian dilakukan dengan pengambilan data suhu tubuh dengan rangkain sistem ini dan dibandingkan dengan pembacaan alat ukur pembanding, yaitu thermo gun. Hasil pengujian pengukuran suhu tubuh disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Sensor MLX90614 Sebelum Kalibrasi

Data ke-	Sensor MLX90614 (°C)	Thermo Gun (°C)	Error (%)	Akurasi (%)
1	26,5	26,9	1,49	98,51
2	27,6	27,8	0,72	99,28
3	28	28,6	2,10	97,90
4	29	29	0	100
5	30	30	0	100
6	31,2	31,7	1,58	98,42
7	32,1	32	0,31	99,69
8	33,6	33,2	1,20	98,80
9	34,3	34,5	0,58	99,42
10	35,2	35,2	0	100
11	36,2	36,5	0,82	99,18
12	37,3	37,4	0,27	99,73
13	38,4	38,3	0,26	99,74
14	39,1	39,9	2,01	97,99
15	40	40,8	1,96	98,04
Rata-rata			0,89	99,11

Berdasarkan Tabel 3 menunjukkan bahwa pembacaan suhu udara oleh sensor MLX90614 memiliki deviasi kecil terhadap alat standar, dengan rata-rata error 0,89% sehingga tingkat akurasinya sebesar 99,11%. Dengan nilai akurasi tersebut sudah

menunjukkan bahwa sensor MLX90614 cukup akurat dalam mengukur suhu tubuh manusia non-kontak tetapi masih diperlukan proses kalibrasi untuk meningkatkan kesesuaian hasil pengukuran. Proses kalibrasi dilakukan dengan menggunakan metode regresi linier, yang bertujuan untuk mengetahui hubungan linier antara pembacaan sensor dan pembacaan dari *thermo gun*. Metode ini berhasil dilakukan dan didapatkan persamaan regresi berdasarkan hasil plot hubungan pembacaan sensor dan *thermo gun* ditampilkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Grafik Plot Regresi Linier Suhu Tubuh

Berdasarkan Gambar 13 ditunjukkan bahwa data pembacaan sensor MLX90614 memiliki hubungan linier yang cukup kuat terhadap *thermo gun*. Hal ini ditunjukkan oleh nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,99 yang menyatakan bahwa 99% data nilai suhu dari *thermo gun* dapat dijelaskan oleh pembacaan sensor MLX90614. Persamaan regresi linier $y = 1,01x - 0,15$ digunakan sebagai rumus kalibrasi yang dimasukkan ke program Arduino IDE. Variabel x adalah nilai suhu mentah dari sensor, dan hasil akhir y adalah nilai yang ditampilkan pada OLED dan dikirimkan ke Blynk. Setelah diterapkan ke program Arduino IDE, dilakukan pengujian ulang dengan perlakuan yang sama. Hasil kalibrasi sensor MLX90614 disajikan pada Tabel 4.

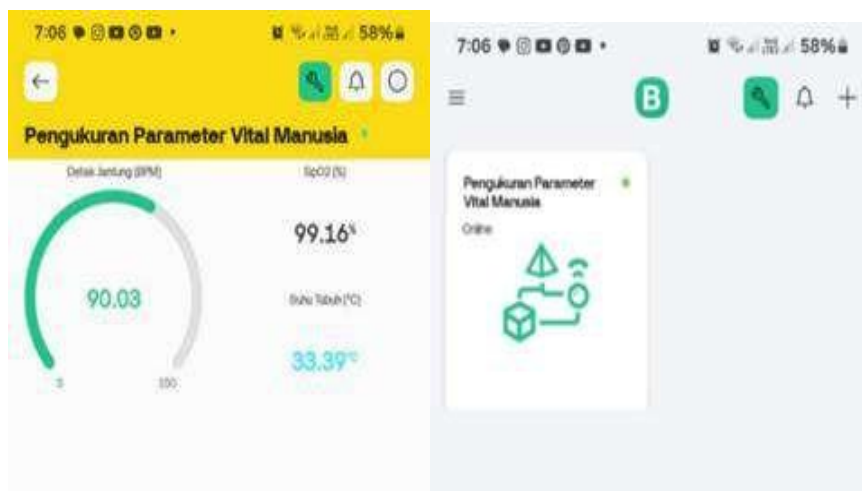
Hasil kalibrasi sensor yang ditunjukkan pada Tabel 4 terlihat bahwa setelah dikalibrasi terdapat penurunan selisih antara nilai pembacaan sensor MLX90614 dan *thermo gun*, sehingga errornya berkurang dari 0,89% menjadi 0,36% dan menunjukkan akurasi 99,64%, ini menunjukkan bahwa proses kalibrasi berhasil meningkatkan akurasi pembacaan sensor dalam mengukur suhu tubuh manusia tanpa kontak langsung dengan kulit. Penerapan metode regresi linier yang digunakan dalam kalibrasi sensor MLX90614 terbukti efektif dalam mengoreksi deviasi pembacaan sensor, serta menjadikan sensor ini lebih baik untuk pemantau suhu tubuh non kontak secara real-time.

Tabel 4. Data Sensor MLX90614 Setelah Kalibrasi

Data ke-	Sensor MLX90614 (°C)	Thermo Gun (°C)	Error (%)	Akurasi (%)
1	26,8	26,8	0	100
2	27,3	27,4	0,36	99,64
3	28,5	28,6	0,35	99,65
4	29,5	29,5	0	100
5	30,2	30	0,67	99,33
6	31,25	31	0,81	99,19
7	32,9	33	0,30	99,70
8	33,8	33,9	0,29	99,71
9	34,02	34,2	0,53	99,47
10	35,37	35,7	0,92	99,08
11	35,9	36	0,28	99,72
12	37,98	37,9	0,21	99,79
13	38,3	38,4	0,26	99,74
14	39,05	39,1	0,13	99,87
15	40,69	40,6	0,22	99,78
Rata-rata			0,36	99,64

3.2. Hasil Perancangan dan Pengujian Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak untuk sensor AD8232 berhasil dirancang dan diterapkan dengan menggunakan Arduino IDE. Setiap sensor dengan *library* yang digunakan berhasil diinstal dan dapat digunakan sebagai komunikasi sensor dalam membaca data dari setiap sensor. Pembacaan data secara *real-time* dilakukan dengan baik, dan diterapkan persamaan kalibrasi yang membantu pembacaan sensor menjadi lebih akurat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh data dari sensor berhasil ditampilkan pada OLED *display* dengan tampilan yang jelas dan akurat, serta data hasil pengujian berhasil ditampilkan di aplikasi Blynk melalui koneksi *Wi-Fi*. Tampilan Blynk terdiri ada tiga parameter, yaitu denyut jantung dengan tampilan *gauge*, sedangkan SpO₂ dan suhu tubuh menggunakan tampilan *value display*. Perancangan perangkat lunak untuk menampilkan data ke aplikasi Blynk berhasil dikirim melalui fungsi `Blynk.virtualWrite()`. Tampilan Blynk ditunjukkan pada Gambar 14


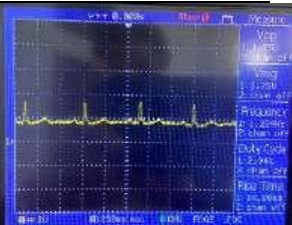




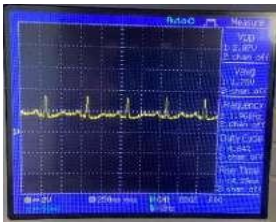
Gambar 14. Tampilan Blynk

3.3. Perancangan dan Pengujian Sistem secara Keseluruhan

Alat pengukuran ini yang terdiri dari sistem perangkat keras dan perangkat lunak yang telah terealisasi, kemudian diuji dengan mengambil data secara bersama untuk memastikan sistem dapat bekerja dengan baik, dapat mengukur secara *real-time* dan memberikan keluaran yang sesuai pada tampilan OLED, osiloskop dan aplikasi Blynk. Pengujian dilakukan dengan pengambilan data terhadap nilai SpO₂, suhu tubuh, HR dan bentuk sinyal jantung PQRS terhadap satu orang responden dengan lima kondisi tubuh yang berbeda, yaitu tidur, berbicara, duduk, setelah berjalan dan setelah berlari. Setiap kondisi dilakukan pengambilan data sebanyak 10 kali. Hasil pengujian sistem secara keseluruhan disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Data Pengujian Keseluruhan Alat

Kondisi Tidur				
Pengukuran ke-	Suhu Tubuh (°C)	SpO ₂ (%)	HR (BPM)	Sinyal Jantung
1	35,4	99	66	 Frekuensi: 666,7 mHz HR: 40 BPM
2	35,4	98	65	
3	34,9	98	60	
4	35,5	97	55	
5	35,2	97	59	
6	35,5	98	41	
7	35,9	99	67	
8	36	95	51	
9	35,8	96	54	
10	36,2	99	68	
Rata-rata	35,6	97,6	58,6	
Kondisi Duduk				
Pengukuran ke-	Suhu Tubuh (°C)	SpO ₂ (%)	HR (BPM)	Sinyal Jantung
1	36,1	82	99	 Frekuensi: 1,224 Hz HR: 73,44 BPM
2	36,4	61	97	
3	36,2	79	98	
4	36,4	90	99	
5	36,6	77	98	
6	36,1	69	99	
7	36,3	63	99	
8	36,2	76	98	
9	35,9	77	99	
10	35,6	65	99	
Rata-rata	36,2	73,9	98,5	
Kondisi Berbicara				
Pengukuran ke-	Suhu Tubuh (°C)	SpO ₂ (%)	HR (BPM)	Sinyal Jantung
1	36,1	91	99	 Frekuensi: 1,307 Hz HR: 78,442 BPM
2	36,4	95	98	
3	36,3	90	98	
4	36,6	70	99	
5	36,9	72	99	
6	37	83	98	
7	37,3	85	99	
8	37,1	66	98	
9	37	84	99	
10	36,8	75	99	
Rata-rata	36,8	81,1	98,6	

Kondisi Setelah Jalan				
Pengukuran ke-	Suhu Tubuh (°C)	SpO ₂ (%)	HR (BPM)	Sinyal Jantung
1	37,1	99	99	
2	37,4	95	104	
3	37,5	99	106	
4	37	97	103	
5	37,2	98	104	
6	36,9	99	90	
7	37	98	93	
8	36,9	97	96	
9	36,5	99	101	
10	36,6	98	110	
Rata-rata	37,01	97,9	101,5	Frekuensi: 1,828 Hz HR: 109,68 BPM
Kondisi Setelah Lari				
Pengukuran ke-	Suhu Tubuh (°C)	SpO ₂ (%)	HR (BPM)	Sinyal Jantung
1	37,5	99	108	
2	37,4	97	112	
3	37,1	80	111	
4	37,4	99	118	
5	36,9	98	108	
6	37	97	111	
7	37,2	97	105	
8	37,5	98	115	
9	37,1	98	116	
10	37,4	99	118	
Rata-rata	37,3	96,7	112,2	Frekuensi: 1,961 Hz HR: 117,60 BPM

Berdasarkan tabel di atas, pengujian sistem secara keseluruhan berhasil dilakukan dan alat ukur parameter vital menunjukkan kemampuan dan respon yang baik dalam mengukur SpO₂, HR suhu tubuh dan sinyal jantung PQRST dalam kondisi tubuh yang berbeda. Pengukuran SpO₂ terlihat stabil di setiap kondisi pada rentang 95%-99% dan berada dalam batas normal nilai SpO₂ normal. Terdapat penurunan persentase pada kondisi setelah berlari, hal ini terjadi karena saat melakukan aktivitas fisik sedang atau berat seperti jalan dan berlari tubuh membutuhkan oksigen lebih banyak dari aktivitas ringan sehingga persentase oksigen akan menurun mengakibatkan jantung lebih banyak bekerja untuk memompa darah yang mengandung oksigen ke seluruh tubuh dan membuat laju detak jantung meningkat. Hal ini juga sesuai dengan hasil pengukuran HR, saat kondisi setelah jalan dan berlari HR meningkat dan nilainya lebih tinggi dari kondisi tidur, berbicara dan duduk. Pada keadaan duduk, rata-rata HR 73,9 BPM dan saat berbicara nilai rata-ratanya mencapai 81,1 BPM. Saat berbicara, tubuh manusia sedikit lebih bergerak daripada saat keadaan duduk diam, hal ini dapat juga menyebabkan peningkatan HR meskipun tidak terlalu signifikan. Sedangkan pada kondisi tubuh setelah melakukan aktivitas fisik ringan, sedang dan berat seperti setelah berjalan dan berlari selama lima menit, HR mengalami peningkatan mencapai 101,5 BPM setelah berjalan dan mencapai 112,2 BPM setelah berlari. Peningkatan BPM terjadi saat terjadi perubahan kondisi tubuh dalam melakukan aktivitas ringan, sedang dan berat.

Pada pembacaan sinyal jantung terlihat pada tabel di atas semua kondisi tubuh menghasilkan bentuk gelombang sinyal ditampilkan osiloskop berbentuk gelombang PQRST, yang di mana tampak bentuk dari gelombang P yang menunjukkan depolarisasi atrium, terdapat kompleks QRS yang menunjukkan terjadinya depolarisasi ventrikel, dan terdapat juga bentuk gelombang T yang menunjukkan adanya repolarisasi ventrikel.

Bentuk gelombang ini stabil dan berulang, yang membedakan sinyal jantung yang dihasilkan dari kondisi tubuh adalah periode dan frekuensi gelombang. Nilai frekuensi di osiloskop digunakan sebagai penentu nilai HR dalam satuan BPM, di mana periode dan frekuensi memiliki hubungan terbalik, yang dilihat dari semakin pendek periode antar gelombang satu dengan gelombang yang lain maka semakin tinggi nilai denyut jantung yang dihasilkan. Nilai dari HR yang didapatkan dari pengukuran sinyal PQRST setara dengan nilai HR yang dihasilkan dari sensor MAX30102, nilai tersebut juga mengalami perubahan setiap kondisi tubuh.

Perubahan kondisi tubuh juga menyebabkan perubahan suhu tubuh. Perubahan suhu tubuh dilihat dari kondisi tubuh saat tidur hingga kondisi tubuh setelah berlari, meskipun nilainya perubahannya kecil. Pada keadaan tidur rata-rata suhu tubuh berada di 35,6°C meningkat menjadi 37,3°C saat kondisi tubuh manusia setelah berlari. Suhu tubuh manusia normal pada dasarnya 36°C-37°C, dan yang didapatkan dalam pengukuran berada di 35,2°C-37,5°C sudah berada dalam rentang nilai normal meskipun terdapat nilai dibawa normal pada keadaan tidur. Hal ini dikarenakan saat pengambilan data dalam keadaan tidur dikarenakan dalam keadaan tidur tubuh tidak melakukan aktivitas fisik, sehingga produksi panas dari tubuh berkurang sehingga nilai sedikit turun di bawah nilai normal dan pembacaan suhu dilakukan oleh sensor non-kontak yang mengukur radiasi termal dari permukaan kulit dan cenderung dapat dipengaruhi oleh suhu ruangan.

Hasil pembacaan parameter vital menunjukkan bahwa sistem bekerja dengan baik dalam mendeteksi nilai-nilai yang diakibatkan oleh perubahan kondisi tubuh pada berbagai aktivitas. Meskipun demikian, sistem ini masih memiliki beberapa keterbatasan dalam pembacaan nilai, seperti kestabilan sensor saat mengukur detak jantung terkadang nilai yang ditampilkan tidak stabil karena terdapat noise dan keterlambatan pembacaan sensor, di sinyal EKG yang hanya bisa ditampilkan di osiloskop karena belum dapat divisualisasikan dalam serial plotter bentuk sinyal PQRST yang baik. Dan pada pembacaan suhu tubuh masih dipengaruhi dengan suhu ruangan. Terdapat juga kendala pada *power supply* alat ini atau baterai yang dipakai. Ketika alat ini terkoneksi internet, arus yang dibutuhkan meningkat yang mengakibatkan tegangan output dari baterai menurun sehingga tegangan untuk OLED tidak mencukupi dan membuat OLED mati dan hidup secara berulang. Oleh karena itu, untuk pengembangan penggunaan dalam bidang medis, alat ini perlu dikembangkan lebih lanjut, baik dari perangkat keras, perangkat lunak agar kestabilan alat lebih baik maupun peningkatan akurasi dan uji klinis agar memenuhi standar kesehatan.

4. Penutup

Melalui penelitian ini, alat ukur parameter vital manusia berbasis *Internet of Things* yang dapat mengukur SpO₂, HR, suhu tubuh non-kontak dan menampilkan sinyal Jantung PQRST berhasil. Alat berhasil bekerja dengan baik dan alat ini juga berhasil mengintegrasikan sensor MAX30102, sensor MLX90614 dan sensor AD8232 dengan ESP32 sebagai pengendali sistem. Pengujian alat menunjukkan keberhasilan dalam mengukur parameter vital dengan akurasi tinggi, yaitu akurasi pengukuran SpO₂ mencapai 99,72%; akurasi pengukuran HR mencapai 98,70%; akurasi pengukuran suhu tubuh mencapai 99,64%. Tiga parameter tersebut juga berhasil ditampilkan secara *real-time* melalui platform IoT Blynk, dan secara lokal melalui OLED *display*. Sedangkan bentuk sinyal jantung berhasil ditampilkan secara *real-time* pada osiloskop dalam bentuk gelombang PQRST.

Untuk pengembangan lebih lanjut dari penelitian ini, disarankan untuk mengintegrasikan data sinyal PQRST ke platform IoT menggunakan grafik berbasis web atau aplikasi mobile yang dapat menampilkan bentuk sinyal PQRST secara *real-time* dan mengembangkan dashboard web atau aplikasi yang dapat menyimpan data agar pengguna dapat meninjau data secara berkala. Selanjutnya untuk meningkatkan akurasi dan kestabilan pembacaan sensor MAX30102 saat pengolahan data, penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan metode filtering sinyal dan penerapan algoritma yang sesuai dengan *threshold* deteksi sinyal. Dan dapat menambahkan alarm pengingat atau notifikasi otomatis saat parameter tertentu berada di luar batas normal.

Daftar Pustaka

- [1] M. Rochmad, K. Kemalasari, and R. Sigit, "Pendeteksian sinyal jantung PQRST dengan chip biopotensial dan telepon seluler tiga lead," in *Prosiding Semnas Ristek (Seminar Nasional Riset dan Inovasi Teknologi)*, vol. 7, no. 1, 2023.
- [2] I. R. Haryosuprobo, Y. Soegiarto, and F. Suryadi, "Ekstraksi ciri sinyal EKG aritmia menggunakan gelombang singkat diskrit," *Techné: Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, vol. 15, no. 02, pp. 149–164, 2016, doi:10.31358/techne.v15i02.151.
- [3] B. W. Putra, R. F. Isnanto, P. Sari, A. Saputra, M. R. Sanjaya, and A. N. S. Mukti, "Klasifikasi Arritmia pada Sinyal EKG menggunakan Deep Neural Network", *JUPITER*, vol. 13, no. 1, pp. 29–38, Apr. 2021.
- [4] A. F. Putri and A. Widiatoro, "Monitoring EKG (elektrokardiograf) berbasis mikrokontroler dan pemrograman Delphi 7.0," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer TRIAC*, vol. 7, no. 1, pp. 23–27, 2020, doi:10.21107/triac.v7i1.7196.
- [5] Y. Inayatullah, A. H. Ginting, and S. Y. Doo, "Rancang bangun sistem monitoring detak jantung dan saturasi oksigen dalam darah menggunakan NodeMCU ESP8266 dan sensor pulse oximeter MAX30102 berbasis aplikasi Blynk," *JTEKEL: Jurnal Teknik Elektro*, vol. 1, no. 2, pp. 53–58, 2024.
- [6] M. U. Jannah, A. C. Nur'aidha, and D. Y. H. Kumarajati, "Sistem Deteksi Detak Jantung Berbasis Sensor MAX30102, Arduino Uno, dan OLED Display Untuk Pemantauan Detak Jantung Secara Real-Time", *JITET*, vol. 12, no. 3, Aug. 2024. <https://doi.org/10.23960/jitet.v12i3.4528>
- [7] A. Hermansyah, R. Hardiyanti, and A. P. P. Prasetyo, "Sistem perekam detak jantung berbasis internet of things (IoT) dengan menggunakan pulse heart rate sensor," *JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional)*, vol. 8, no. 2, pp. 338–348, 2022.
- [8] T. Wulandari and A. Wigunantingsih, "Pengaruh Aktivitas Fisik Terhadap Saturasi Oksigen Pada Relawan Sar Karanganyar", *Jurnal LINK*, vol. 18, no. 2, pp. 113–118, Nov. 2022. <https://doi.org/10.31983/link.v18i2.8935>
- [9] A. Aprilia and T. S. Solliu, "Sistem Monitoring Realtime Detak Jantung Dan Kadar Oksigen Dalam Darah Pada Manusia Berbasis IoT (Internet of Things)," *Foristek*, vol. 10, no. 2, pp. 95–103, Oct. 2021, doi: 10.54757/fs.v10i2.43.
- [10] M. A. Adrian, M. R. Widiarto, and R. S. Kusumadiarti, "Health Monitoring System dengan Indikator Suhu Tubuh, Detak Jantung dan Saturasi Oksigen Berbasis Internet of Things (IoT)," *J. Petik*, vol. 7, no. 2, pp. 108–118, 2021
- [11] M. Sahuri, D. Hadidjaja, A. Wisaksono, and J. Jamaaluddin, "Rancang Bangun Alat Monitoring Kondisi Suhu Tubuh Dan Jantung Pasien Saat Perawatan Berbasis Internet

- of Things (IOT)", *Jurnal Dinamik*, vol. 26, no. 2, pp. 68-79, Sep. 2021. <https://doi.org/10.35315/dinamik.v26i2.8691>
- [12]Hendrian and R. A. A. Rais, "Perancangan alat ukur suhu tubuh dan hand sanitizer otomatis berbasis IoT," *Jurnal Infortech*, vol. 3, no. 1, pp. 33-39, 2021
- [13]Q. A. Hidayaturrohman, M. A. Lukmana, and A. N. Zaman, "Design of human heartbeat monitoring system based on wireless sensor networks", *Jurnal Techné*, vol. 22, no. 2, pp. 207-216, Dec. 2023. <https://doi.org/10.31358/techne.v22i2.354>
- [14]S. Hadi, M. N. Fadli, and I. N. Switrayana, "Implementasi sensor MLX90614 untuk pengukuran suhu tubuh pada pasien puskesmas," *Journal of Millennial Informatics*, vol. 1, no. 2, pp. 53-60, 2023.
- [15]R. Bramudiansyah, "Rancang Bangun Alat Pengukur Suhu Tubuh Non-Contact pada Manusia dengan Tampilan Digital Berbasis Sensor MLX90614," *Seminar Nasional Fortei Regional 7*, vol. 4, no. 1, pp. 378-383, 2021.
- [16]K. Pranata, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Denyut Jantung, Kadar Oksigen dan Lokasi pada Orang Manula Berbasis Internet of Things," Ph.D. dissertation, Institut Teknologi Nasional Malang, Malang, Indonesia, 2024.

This Page Intentionally Left Blank