

Purwarupa Alat Monitoring Detak Jantung Dan Saturasi Oksigen Berbasis Internet Of Things (IoT)

Aris Haris Rismayana¹, Alien Nuraeni²

^{1,2} Program Studi Teknik Komputer- Politeknik TEDC Bandung

Jl. Politeknik-Pesantren KM2 Cibabat Cimahi Utara – Cimahi Jawa Barat - Indonesia

rismayana@poltektedc.ac.id, alinnuraenian28@gmail.com

Abstrak— Mengetahui kondisi terbaru suhu tubuh, irama detak jantung dan saturasi oksigen merupakan informasi yang sangat penting bagi tenaga medis guna mengetahui kondisi pasien. Saat ini, suhu tubuh, detak jantung dan saturasi oksigen masih dalam deteksi manual. Kemajuan teknologi pada saat ini berkembang dengan sangat pesat, banyak teknologi pendukung kehidupan manusia dalam mempermudah pekerjaan baik secara langsung ataupun tidak langsung salah satu diantaranya adalah penerapan Internet of Things (IoT) dalam dunia kesehatan. agar memudahkan petugas medis dalam memantau detak jantung dan saturasi oksigen pada pasien diluar ruangan rumah sakit secara langsung melalui smartphone. Dalam penelitian tugas akhir ini menggunakan metode User Centered Design (UCD) yang merupakan sebuah pendekatan pengembangan sistem interaktif yang secara khusus fokus untuk membuat sebuah sistem berguna. Dalam membuat alat monitoring ini dibutuhkan kebutuhan fungsional yaitu NodeMCU, OLED Display 0,96", sensor MAX30102, sensor MLX90614 GY-906, buzzer dan baterai. Proses pengujian dilakukan dengan mengamati hasil deteksi dengan menampilkannya menggunakan aktuator OLED display. Kemudian data hasil deteksi dapat dimonitoring melalui aplikasi smartphone yang telah dibuat di MIT App Inventor.

Kata kunci: NodeMCU, Sensor MAX30102, Sensor MLX90614, Buzzer, Oled Display, Internet of things, Thingspeak, App Inventor.

Abstract— Knowing the latest condition of body temperature, heart rate, and oxygen saturation is very important information for medical personnel to understand the patient's condition. Currently, body temperature, heart rate, and oxygen saturation are still detected manually. The rapid advancement of technology today has brought many technologies that support human life in making tasks easier, either directly or indirectly. One of these advancements is the application of the Internet of Things (IoT) in healthcare to facilitate medical personnel in monitoring heart rate and oxygen saturation in patients outside the hospital in real-time via smartphones. In this final project research, the User Centered Design (UCD) method is used, which is an approach to developing interactive systems that specifically focus on making a system useful. To create this monitoring device, the functional requirements include NodeMCU, OLED Display 0.96", MAX30102 sensor, MLX90614 GY-906 sensor, buzzer, and battery. The testing process is conducted by observing the detection results displayed using the OLED display actuator. The detection results data can then be monitored through a smartphone application created in MIT App Inventor.

Keywords: NodeMCU, MAX30102 Sensor, MLX90614 Sensor, Buzzer, OLED Display, Internet of Things, Thingspeak, App Inventor.

I. PENDAHULUAN

Kesehatan tubuh merupakan hal utama yang perlu diperhatikan karena berperan penting dalam menunjang berbagai aktivitas kehidupan manusia. Secara umum, terdapat beberapa tanda vital yang sangat penting. Tanda-tanda vital tersebut terdiri dari tekanan darah, suhu tubuh, detak jantung, saturasi oksigen dan laju pernafasan. Tanda-tanda vital tersebut dapat digunakan sebagai indikasi kesehatan pada tubuh seorang pasien.

Mengetahui kondisi terbaru suhu tubuh, irama detak jantung dan saturasi oksigen merupakan informasi yang sangat penting bagi tenaga medis untuk memantau kondisi pasien baik untuk dirawat jalan, diruang rawat inap, diruang gawat darurat dan unit perawatan intensif, bahkan pada saat pasien sedang dibawa menuju rumah sakit pemantauan tetap dilakukan didalam mobil ambulans untuk dilakukan penanganan sementara. Faktor-faktor seperti usia dan kondisi fisik pada pasien dapat memengaruhi detak jantung dan saturasi oksigen, keduanya dipengaruhi oleh laju pernafasan, yang dapat menyebabkan penurunan saturasi oksigen jika pernafasan terganggu. Saturasi oksigen yang rendah dapat menyebabkan jantung berdetak lebih cepat dan mengalami kelelahan. Ketika jantung tidak berfungsi dengan baik, kelainan atau penyakit dapat berkembang di tubuh pasien. Salah satu gangguan jantung yang dapat terjadi adalah aritmia. Aritmia adalah suatu kondisi dimana irama jantung tidak normal, terkadang terlalu cepat, terlalu lambat, atau tidak teratur. Jika kondisi ini dibiarkan atau terlambat ditangani, bisa berakibat fatal, menyebabkan gagal jantung.

Berdasarkan *Global Burden of Disease dan Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME) 2014-2019* penyakit jantung menjadi penyebab kematian tertinggi di Indonesia. Data Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas) 2013 dan 2018 menunjukkan tren peningkatan penyakit jantung yakni 0,5% pada 2013 menjadi 1,5% pada 2018.[1]

Saat ini, suhu tubuh, detak jantung dan saturasi oksigen masih dalam deteksi manual. Pengukuran detak jantung

manual dihitung dari denyut nadi per menit di pergelangan tangan sedangkan pengukuran pada saturasi oksigen menggunakan *oximeter*. Oleh karena itu, pengukuran suhu tubuh, detak jantung dan saturasi oksigen tersebut tidak dapat secara otomatis menampilkan informasi suhu tubuh, detak jantung dan saturasi oksigen yang dapat dipantau secara langsung oleh petugas medis dari luar ruangan rumah sakit.

Kemajuan teknologi pada saat ini berkembang dengan sangat pesat terutama dalam menciptakan alat-alat teknologi yang dapat bermanfaat untuk aktivitas manusia. Banyak teknologi pendukung kehidupan manusia dalam mempermudah pekerjaan baik secara langsung ataupun tidak langsung salah satu diantaranya adalah penerapan *Internet of Things (IoT)* dalam dunia kesehatan. *Internet of thing (IoT)* merupakan teknologi *modern* yang dirancang untuk memantau atau untuk mengumpulkan dan mengirimkan suatu informasi selama masih terkoneksi dengan *internet*. Dua diantara teknologi pendukung IoT tersebut adalah mikrokontroler dan sensor. Benda ini berfungsi untuk mengendalikan sebuah sistem berdasarkan data dan bekerja dengan program yang telah diperintahkan kemudian sensor membaca apa yang program inginkan.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka penulis akan mengangkat tema tersebut sebagai Tugas Akhir dengan judul **“Purwarupa Alat Monitoring Detak Jantung dan Saturasi Oksigen Berbasis *Internet of Things (IoT)*”** agar memudahkan petugas medis dalam memantau detak jantung dan saturasi oksigen pada pasien diluar ruangan rumah sakit secara langsung melalui *smartphone*.

II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian pada tugas akhir yang menggunakan *User-Centered Design (UCD)* yang merupakan sebuah pendekatan pengembangan sistem interaktif yang secara khusus fokus untuk membuat sebuah sistem berguna. Tujuan utama dari UCD adalah menciptakan produk atau sistem yang memenuhi kebutuhan, preferensi dan harapan pengguna dengan sebaik-baiknya.

Dalam proses *User-Centered Design (UCD)* terdapat 4 tahapan yaitu:

A. *Specify the context of use*

Mengidentifikasi konteks penggunaan alat dengan melakukan pengumpulan kajian yang berkaitan dengan permasalahan yang ada penelitian baik ber referensi, artikel dan *e-journal*. Pengumpulan data juga dapat dilakukan dengan melakukan observasi melalui pengamatan terhadap peristiwa atau permasalahan yang diamati pada objek penelitian secara langsung.

B. *Specify User and Organizational Requirements*

Mengidentifikasi kebutuhan fungsional yang dibutuhkan dalam pembuatan tugas akhir.

C. *Produce Design Solutions*

Perancangan alat, baik dari segi perangkat keras (*hardware*) maupun perangkat lunak (*software*).

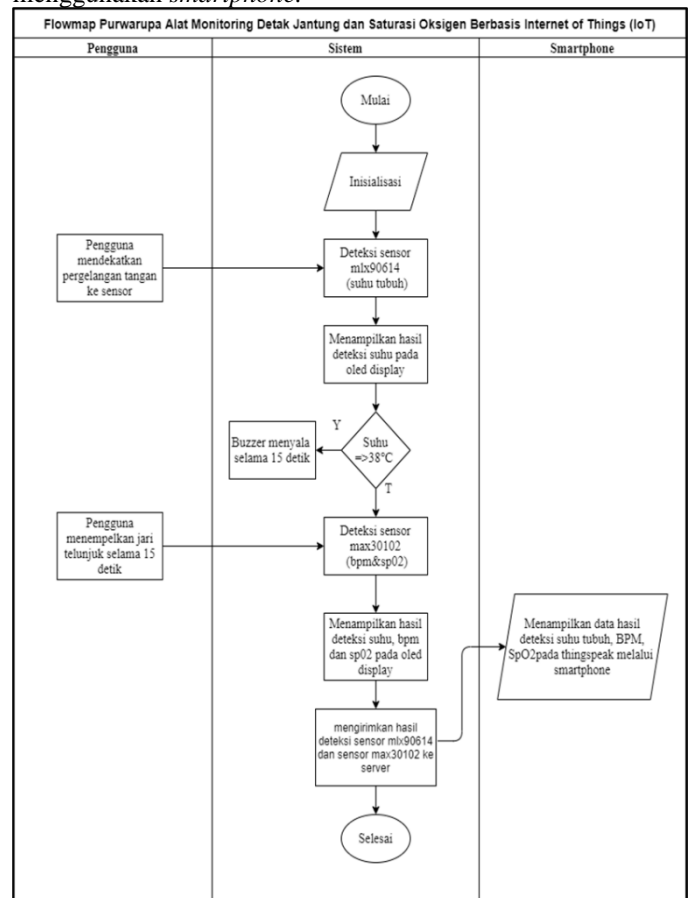
D. *Evaluate Design*

Pengujian pada alat yang telah dibuat untuk memastikan alat berfungsi dengan baik.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

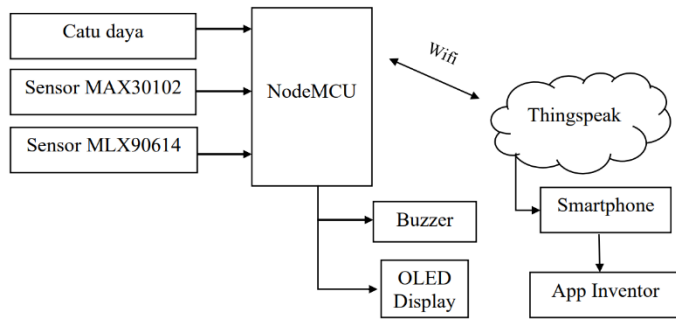
Purwarupa alat monitoring ini digunakan dengan proses cara kerja dari mulai sistem menginisialisasi sensor MAX30102 dan sensor MLX90614, lalu sensor akan bekerja dengan mendeteksi suhu tubuh, detak jantung dan saturasi oksigen pada pasien. Kemudian akan ditampilkan secara *realtime* melalui *OLED Display*.

Apabila hasil deteksi suhu tubuh melebihi batas yang sudah ditentukan maka *buzzer* akan berbunyi dan data secara bersamaan dikirimkan ke *thingspeak* melalui *wifi* sehingga monitoring dapat ditampilkan pada App Inventor menggunakan *smartphone*.



Gbr 1. Flowmap

A. Blok Diagram



Gbr 1. Blok Diagram

Keterangan:

1. Baterai jenis lithium berfungsi sebagai catu daya.
2. Sensor MAX30102 dan sensor MLX90614 GY-906 terhubung ke NodeMCU.
3. Sensor MAX30102 mendeteksi detak jantung dan saturasi oksigen melalui ujung jari dengan menempelkan ujung tangan pada sensor selama 15 detik.
4. Sensor MLX90614 GY 906 mendeteksi suhu tubuh dengan sistem non *contactless*.
5. Nilai jumlah detak jantung, kadar saturasi oksigen dan suhu tubuh yang terdeteksi ditampilkan ke OLED display secara *real time*.
6. Buzzer akan berbunyi pada saat mendeteksi suhu dan akan berbunyi secara selama 15 detik jika suhu lebih dari batas yang ditentukan.
7. Data nilai jumlah detak jantung, kadar saturasi oksigen dan suhu tubuh dikirim dan disimpan ke server *thingspeak*.
8. App inventor berfungsi untuk monitoring data secara langsung melalui *smartphone*.

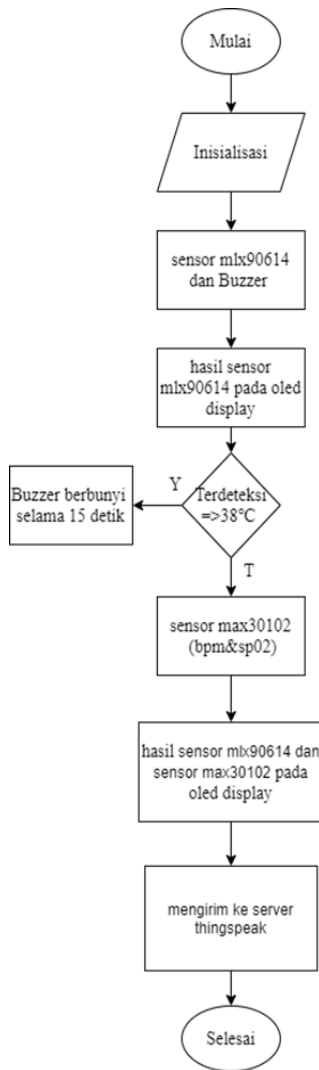
B. Flowchart

Sensor MLX90614 adalah sensor termometer inframerah yang mampu mengukur suhu tanpa kontak. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip termopile, yang mendeteksi radiasi inframerah yang dipancarkan oleh objek. Semua benda yang memiliki suhu di atas nol absolut memancarkan radiasi inframerah, dan intensitas radiasi ini meningkat seiring dengan kenaikan suhu. Komponen utama sensor ini termasuk termopile yang mengubah radiasi inframerah menjadi sinyal listrik dan prosesor sinyal yang mengonversi sinyal listrik menjadi data suhu yang dapat dibaca. Sensor MLX90614 mengukur suhu objek (T_o) dan suhu sensor itu sendiri (T_{amb}). Data dari termopile dikalibrasi dan diproses untuk memberikan suhu objek, yang kemudian diberikan sebagai output digital melalui protokol komunikasi I2C atau PWM, biasanya dalam format 16-bit dengan resolusi tinggi.

Sementara itu, sensor MAX30102 adalah biosensor yang digunakan untuk mengukur detak jantung dan oksigen dalam darah (SpO_2). Sensor ini bekerja menggunakan prinsip fotoplethismografi (PPG) untuk mendeteksi perubahan volume darah di kapiler saat jantung berdetak. Sensor MAX30102 memancarkan cahaya LED berwarna merah dan inframerah ke

kulit dan mendeteksi cahaya yang dipantulkan menggunakan fotodiode. Saat darah mengalir melalui pembuluh darah, jumlah cahaya yang dipantulkan berubah. Komponen utama sensor ini termasuk LED, fotodiode, dan prosesor sinyal yang mengolah sinyal dari fotodiode untuk menghasilkan data yang dapat dibaca. Sensor ini mengukur variasi intensitas cahaya yang dipantulkan selama beberapa detik untuk menentukan detak jantung dan SpO_2 . Data ini kemudian diberikan dalam bentuk output digital melalui protokol komunikasi I2C, yang meliputi tingkat saturasi oksigen dalam darah dan detak jantung. Kedua sensor ini, MLX90614 dan MAX30102, menggunakan prinsip pengukuran yang berbeda sesuai dengan aplikasinya masing-masing dan berkomunikasi secara digital, memudahkan integrasi dengan mikrokontroler dan sistem lainnya.

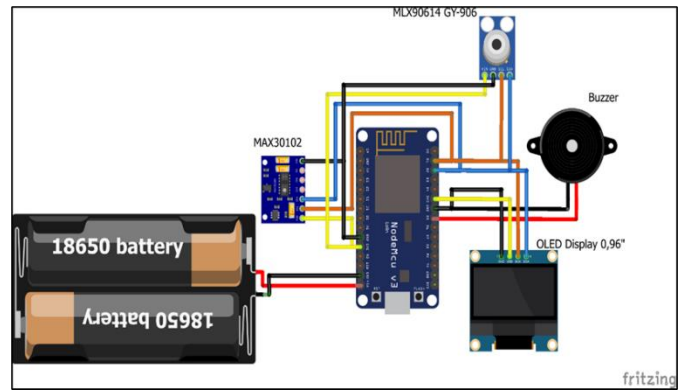
Kombinasi sensor MLX90614 dan MAX30102 membuka peluang besar dalam aplikasi kesehatan dan monitoring kondisi tubuh secara real-time. Sensor MLX90614 dapat digunakan untuk mengukur suhu tubuh secara non-kontak, yang sangat berguna dalam situasi di mana kontak fisik minimal diperlukan, seperti pemantauan pasien di rumah sakit atau di tempat umum untuk deteksi awal demam. Di sisi lain, sensor MAX30102 dapat mengukur detak jantung dan saturasi oksigen dalam darah, memberikan data vital tambahan yang sangat penting untuk penilaian kesehatan. Dengan menggabungkan kedua sensor ini dalam satu perangkat, kita dapat membuat sistem monitoring kesehatan yang komprehensif, memungkinkan pemantauan berkelanjutan terhadap parameter kesehatan penting seperti suhu tubuh, detak jantung, dan kadar oksigen darah. Integrasi kedua sensor ini dapat menghasilkan perangkat yang sangat berguna untuk digunakan dalam telemedicine, pemantauan pasien jarak jauh, dan aplikasi kesehatan pribadi, memberikan gambaran lengkap tentang kondisi kesehatan seseorang dalam waktu nyata dan membantu dalam pengambilan keputusan medis yang lebih cepat dan akurat.



Gbr 2. Flowchart

C. Skema Rancangan dan Konfigurasi Alat

Skematik dan pin keseluruhan dari komponen alat yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4 dan Tabel 1. Penggunaan pin NodeMCU yang digunakan terhubung dengan komponen inputan yaitu sensor MLX9061 dan sensor MAX30102. Kemudian untuk komponen outputnya terhubung dengan 2 aktuator yaitu OLED display dan buzzer.



Gbr 3. Skema Rancangan

TABEL I
KONFIGURASI PIN

Nama Komponen	Pin Komponen	Keterangan
Sensor MLX90614	VCC	Dihubungkan ke pin VCC NodeMCU
	GND	Dihubungkan ke pin GND NodeMCU
	SCL	Dihubungkan ke pin D1 NodeMCU
	SDA	Dihubungkan ke pin D2 NodeMCU
Sensor MAX30102	VCC	Dihubungkan ke pin VCC NodeMCU
	GND	Dihubungkan ke pin GND NodeMCU
	SCL	Dihubungkan ke pin D1 NodeMCU
	SDA	Dihubungkan ke pin D2 NodeMCU
OLED Display	VCC	Dihubungkan ke pin VCC NodeMCU
	GND	Dihubungkan ke pin GND NodeMCU
	SCL	Dihubungkan ke pin D1 NodeMCU
	SDA	Dihubungkan ke pin D2 NodeMCU
Buzzer	GND	Dihubungkan ke pin GND NodeMCU
	Data	Dihubungkan ke pin D5 NodeMCU
Battery	VIN	Dihubungkan ke VIN NodeMCU
	GND	Dihubungkan ke pin GND NodeMCU

D. Implementasi

Langkah-langkah yang perlu dilakukan sebelum melakukan pengujian alat, diantaranya yaitu:

1. Memastikan bahwa setiap jalur yang sudah dibuat untuk setiap komponen pada papan PCB yang telah dicetak sudah benar dan siap untuk dilakukan proses

soldering untuk memasang komponen setiap sensor dan aktuator pada papan PCB.

2. Memastikan bahwa rangkaian kabel setiap komponen yang telah dipasang pada papan PCB sudah terhubung menggunakan *socket* konektor dengan baik dan benar ke papan PCB.
3. Menghubungkan Papan PCB dengan catu daya berupa baterai *lithium*.

E. Pengujian

Untuk melakukan pengujian alat keseluruhan, Langkah pertama yaitu dengan menghubungkan seluruh komponen pada NodeMCU dengan *battery*, seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini:



Gbr 4. Tampilan Pengujian Keseluruhan Alat 1

Selanjutnya *compile* dan *upload source code* seperti yang terlampir ke mikrokontroler NodeMCU. Berikutnya, nyalakan alat dengan menekan *switch on* maka alat akan langsung menyala dengan OLED display menampilkan “Alat Monitoring”. Dan sebagai tanda bahwa alat telah terhubung dengan *internet* adalah dengan indikator LED merah pada sensor max30102 menyala. yang akan menandakan bahwa alat sudah saling terhubung.

Kemudian proses pertama deteksi dimulai dengan mendeteksi suhu tubuh menggunakan sensor mlx90614, sensor ini akan mengukur suhu seseorang dengan menyerap sinar inframerah yang dipancarkan subjek. Pancaran dari subjek tersebut akan dideteksi oleh sensor mlx90614, selama proses pendeteksian suhu tubuh berlangsung maka *buzzer*

akan berbunyi, hasil deteksi suhu tubuh pertama akan langsung di *freeze* dan disimpan untuk ditampilkan pada hasil akhir. Jika suhu tubuh dalam keadaan melebihi batas yang sudah ditentukan maka *buzzer* akan terus berbunyi selama 15 detik. Namun ketika suhu tubuh selesai mendeteksi, maka sensor mlx90614 akan mendeteksi suhu ruangan secara dan hasil deteksi dapat dilihat pada OLED *display* secara *real time*.

Deteksi detak jantung (BPM) dan saturasi oksigen (SpO2) menggunakan sensor MAX30102 dilakukan dengan meletakkan jari di atas sensor. Sensor ini memanfaatkan sifat alami darah, yaitu hemoglobin (Hb), yang menyerap cahaya untuk mengukur SpO2, serta denyut alami aliran darah di dalam arteri untuk menghitung detak jantung. Pengumpulan data dimulai dengan mengumpulkan data suhu dari MLX90614 untuk memastikan kondisi pengukuran yang tepat. Data detak jantung dan SpO2 kemudian diambil dari sensor MAX30102. Pengolahan data dilakukan dengan membaca nilai suhu, detak jantung, dan SpO2, serta melakukan pemrosesan sinyal seperti filtering dan averaging untuk mendapatkan nilai yang akurat dan stabil. Untuk memastikan akurasi, data yang diperoleh dibandingkan dengan alat medis standar dan dilakukan kalibrasi jika diperlukan.

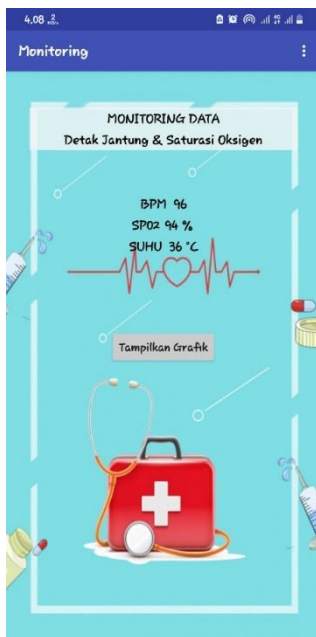
Pengambilan data dilakukan dengan cara menempelkan jari tangan telunjuk selama 15 detik. untuk mendapatkan hasil yang akurat, maka posisi tangan telunjuk harus dalam posisi yang benar dan sesuai seperti gambar dibawah ini



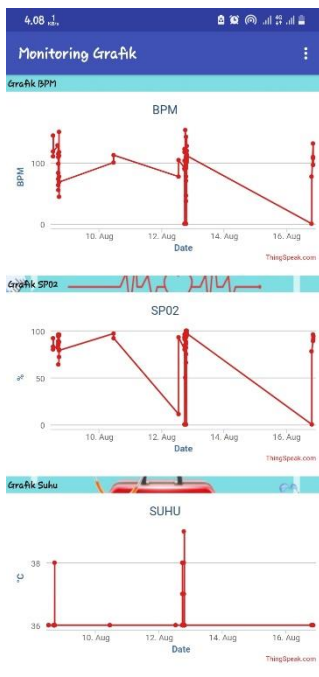
Gbr 5. Tampilan Pengujian Keseluruhan Alat 2

Setelah jari tangan menempel selama 15 detik, maka secara otomatis deteksi akan berakhir dengan menampilkan hasil deteksi akhir berupa suhu, detak jantung dan saturasi oksigen yang ditampilkan pada OLED *display* dan dapat

dimonitoring dimana saja dan kapan saja melalui *smartphone*. Seperti tampilan gambar berikut dibawah ini.



Gbr 6. Tampilan Pengujian App Inventor Screen 1



Gbr 8. Tampilan Pengujian App Inventor Screen 2

F. Hasil Pengujian Alat

Pengujian dilakukan untuk mengetahui hasil deteksi suhu menggunakan sensor mlx90614 sebagai tahap pertama untuk melanjutkan deteksi detak jantung dan saturasi oksigen menggunakan sensor max30102. Pengujian dilakukan dengan

menggunakan catu daya baterai *lithium* yang terhubung pada NodeMCU.

Proses pengujian dilakukan dengan mengamati hasil deteksi dengan menggunakan aktuator OLED *display* dan *buzzer*. Kemudian data hasil deteksi dapat dimonitoring melalui *smartphone* menggunakan aplikasi yang telah dibuat.

No	Pengujian	Umur (tahun)	Hasil Deteksi			IoT (Aplikasi)	Ket
			Suhu (°C)	Detak Jantung (bpm)	Saturasi oksigen (%)		
1.	Subjek 1	22	35	91	93	Berhasil	Normal
2.	Subjek 2	21	36	87	95	Berhasil	Normal
3.	Subjek 3	3	36	122	99	Berhasil	Normal
4.	Subjek 4	7	36	110	97	Berhasil	Normal
5.	Subjek 5	51	37	94	95	Berhasil	Normal
6.	Subjek 6	27	36	86	96	Berhasil	Normal
7.	Subjek 7	54	37	92	98	Berhasil	Normal
8.	Subjek 8	18	35	93	96	Berhasil	Normal

Gbr 7. Hasil Pengujian Alat

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil setelah penulis melakukan pengujian terhadap alat monitoring detak jantung dan saturasi oksigen berbasis *internet of things* (IoT) ini diantaranya yaitu:

1. Hasil deteksi detak jantung, saturasi oksigen dan suhu dapat ditampilkan pada OLED *Display*.
2. Purwarupa alat monitoring dapat berjalan dengan baik.
3. Keterlambatan dalam pengiriman data ke aplikasi Android disebabkan oleh kecepatan internet yang tidak stabil atau kurang memadai. Data dikirim terlebih dahulu ke platform Thingspeak sesuai dengan penundaan yang diatur dalam perangkat lunak Arduino IDE. Namun, keterlambatan dalam pembacaan data sensor di aplikasi Android tidak melebihi 2 detik.
4. Aplikasi App Inventor dapat menampilkan nilai data hasil deteksi sensor berupa angka.

B. Saran

Perancangan yang dibuat oleh penulis ini jauh dari kata sempurna. Maka dari itu, penulis menyarankan kepada pembaca agar dapat mengembangkan alat ini lebih baik lagi. Beberapa saran yang dapat penulis sampaikan yaitu:

1. Dikarenakan sensor MAX30102 sangat *sensitive* terhadap pergeseran kulit jari dan tekanan kulit ke sensor maka penempatan jari benar-benar harus dalam posisi diam dan dalam tekanan yang konsisten.
2. Pada pembuatan alat ini belum menggunakan penyimpanan data baik berupa hasil monitoring deteksi detak jantung, saturasi oksigen dan suhu tubuh, maupun data identitas serta jenis kelamin dan usia pengguna ke penyimpanan data seperti *database*, maka dari itu penulis menyarankan agar dapat menambahkan *database*.

REFERENSI

- [1] Rokom, "Penyakit Jantung Penyebab Utama Kematian, Kemenkes Perkuat Layanan Primer," *Sehatnegeriku.kemkes.go.id*, 2022. <https://sehatnegeriku.kemkes.go.id/baca/rilismedia/20220929/0541166/penyakit-jantung-penyebab-utama-kematian-kemenkes-perkuat-layanan-primer/>.
- [2] Kusuma, R. S., Pamungkasty, M., Akbaruddin, F. S., & Fadlilah, U. (2018). Prototipe Alat Monitoring Kesehatan Jantung berbasis IoT. *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, 18(2), 59–63. <https://doi.org/10.23917/emitor.v18i2.6353>
- [3] Muhajirin, M., & Ashari, A. (2018). Perancangan Sistem Pengukur Detak Jantung Menggunakan Arduino Dengan Tampilan Personal Computer. *Inspiration: Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi*.
- [4] Muthmainnah, M., & Tabriawan, D. B. (2022). Prototipe Alat Ukur Detak Jantung Menggunakan Sensor MAX30102 Berbasis Internet of Things (IoT) ESP8266 dan Blynk. *JISKA (Jurnal Informatika Sunan Kalijaga)*, 7(3), 163–176. <https://doi.org/10.14421/jiska.2022.7.3.163-176>
- [5] Utomo, A. S., Negoro, E. H. P., & Sofie, M. (2019). Monitoring Heart Rate Dan Saturasi Oksigen Melalui Smartphone. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 10(1), 319–324. <https://doi.org/10.24176/simet.v10i1.3024>
- [6] Wang, C., Daneshmand, M., Dohler, M., Mao, X., Hu, R. Q., & Wang, H. (2013). Guest Editorial - Special issue on internet of things (IoT): Architecture, protocols and services. *IEEE Sensors Journal*, 13(10), 3505–3508. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2013.2274906>