

Alat Vital Sign Portable Dengan Parameter SpO2 Dan Heart Rate Dilengkapi Layar TFT Berbasis ESP32

Portable Vital Sign Device With SpO2 And Heart Rate Parameters Equipped With ESP32-Based TFT Screen

Henra Jasman^{1,2}, Anita³, Samsuar¹

¹⁾ Diploma III Teknologi Elektromedik Politeknik Muhammadiyah Makassar, Jl. Dr. Ratulangi No.101, Labuang Baji, Kec. Mamajang, Kota Makassar, Indonesia 90132

²⁾ Diploma IV Teknologi Elektromedik Politeknik Muhammadiyah Makassar, Jl. Dr. Ratulangi No.101, Labuang Baji, Kec. Mamajang, Kota Makassar, Indonesia 90132

³⁾ Diploma III Teknologi Laboratorium Medis, Politeknik Muhammadiyah Makassar, Jl. Dr. Ratulangi No.101, Labuang Baji, Kec. Mamajang, Kota Makassar, Indonesia 90132

Alamat korespondensi: henra.jasman@poltekkesmu.ac.id

Abstrak

Alat vital sign portable dengan parameter SpO2 (saturasi oksigen dalam darah) dan heart rate (detak jantung) dirancang untuk dapat digunakan sebagai perangkat portabel yang mudah dioperasikan oleh pengguna, serta mampu memberikan hasil pemantauan yang akurat. Perangkat ini menggunakan sensor SpO2 dan heart rate yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32, di mana hasil pembacaan data ditampilkan secara langsung pada layar TFT. Hasil pengukuran dari alat menunjukkan bahwa nilai SpO2 rata-rata yang diukur oleh alat ini memiliki selisih 0,4% dengan akurasi rata-rata sebesar 99,6% dibandingkan hasil alat standar, sementara nilai Heart Rate memiliki selisih 3,2 BPM (beats per minute) dengan akurasi rata-rata 97,56% dibandingkan alat standar. Hal ini menunjukkan bahwa alat dapat dipercaya dalam memberikan data vital yang akurat untuk pengguna. Dengan keunggulan ini, alat Vital Sign Monitor berbasis ESP32 diharapkan dapat menjadi solusi yang efisien dan ekonomis untuk pemantauan kesehatan di berbagai lingkungan, termasuk rumah dan fasilitas kesehatan dengan sumber daya terbatas.

Kata kunci: Vital Sign Monitor, Saturasi Oksigen, Heart Rate, ESP32, Layar TFT.

Abstract

Portable vital sign devices with SpO2 (oxygen saturation in the blood) and heart rate parameters are designed to be portable devices that are easy to operate by users and can provide accurate monitoring results. This device uses SpO2 and heart rate sensors integrated with the ESP32 microcontroller, where the data reading results are displayed directly on the TFT screen. The measurement results from the device show that the average SpO2 value measured by this device has a difference of 0.4% with an average accuracy of 99.6% compared to the results of the standard device. The Heart Rate value has a difference of 3.2 BPM (beats per minute) with an average accuracy of 97.56% compared to the standard device. This shows that the device can be trusted to provide accurate vital data for users. With these advantages, the ESP32-based Vital Sign Monitor device is expected to be an efficient and economical solution for health monitoring in various environments, including homes and health facilities with limited resources.

Keywords: Vital Sign Monitor, Oxygen Saturation, Heart Rate, ESP32, TFT Screen

Pendahuluan

Perkembangan teknologi kesehatan yang pesat telah membuka peluang baru dalam pemantauan kesehatan yang lebih efisien dan mudah diakses (1). Di era digital ini, alat pemantau tanda vital (vital sign) portable menjadi salah satu inovasi yang sangat dibutuhkan, terutama dalam situasi di mana pemantauan kesehatan secara mandiri menjadi prioritas bagi masyarakat luas (2).

Alat vital sign portable dengan parameter SpO₂ (saturasi oksigen dalam darah) dan heart rate (detak jantung) merupakan terobosan signifikan dalam teknologi Kesehatan (3). Kemampuan untuk memantau dua parameter penting ini dalam satu perangkat kompak memberi keuntungan besar bagi pengguna, baik untuk keperluan medis profesional maupun penggunaan pribadi di rumah (4).

Penggunaan layar TFT (Thin Film Transistor) dalam perangkat ini membawa nilai tambah tersendiri, dengan tampilan visual yang jelas, berwarna, dan informatif (5). Layar ini memungkinkan data kesehatan ditampilkan secara real-time dengan antarmuka yang mudah dipahami, sehingga hasil pengukuran dapat dengan cepat diinterpretasi oleh pengguna (6).

Platform ESP32 sebagai dasar teknologi perangkat ini memberikan keunggulan dalam hal konektivitas dan fleksibilitas (7). Dengan mikrokontroler berperforma tinggi, kemampuan Wi-Fi dan Bluetooth terintegrasi, ESP32 memungkinkan data vital sign tidak hanya ditampilkan secara lokal tetapi juga dapat dikirim ke perangkat lain atau disimpan dalam sistem cloud untuk pemantauan jangka panjang (8–10).

Dalam artikel ini, penulis akan memaparkan secara komprehensif tentang inovasi alat vital sign portable yang mengintegrasikan teknologi sensor SpO₂ dan heart rate dengan layar TFT berbasis ESP32. Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan teknologi kesehatan portable yang terjangkau, akurat, dan mudah digunakan untuk meningkatkan kualitas layanan kesehatan di Indonesia

Metode

A. Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian kuantitatif. Penelitian kuantitatif merupakan jenis penelitian yang melakukan investigasi sistematis terhadap suatu fenomena atau situasi melalui pengumpulan data yang dapat diukur menggunakan teknik statistik, matematika, atau komputasi. Dalam penelitian kuantitatif, peneliti memiliki tujuan untuk mengembangkan dan menggunakan berbagai model sistematis, teori, dan

hipotesis yang berkaitan dengan fenomena yang sedang diteliti. Pada dasarnya, penelitian kuantitatif merupakan suatu proses pengukuran yang sistematis. Proses pengukuran ini dapat memberikan hubungan antara pengamatan empiris dan ekspresi matematis dari hubungan-hubungan kuantitatif antar variabel.

B. Parameter Penelitian

Parameter penelitian yang digunakan pada penelitian kali ini yaitu menggunakan parameter detak jantung (heart rate) dan parameter saturasi kadar oksigen darah. Detak jantung adalah frekuensi detak jantung seseorang dalam satu menit. Denyut jantung normal bermacam-macam pada setiap orang, tetapi detak jantung normal untuk orang dewasa adalah 60 hingga 100 denyut per menit. Detak jantung normal tergantung pada individu, usia, ukuran tubuh, kondisi jantung, aktivitas seseorang, penggunaan obat tertentu, dan bahkan suhu udara (11).

Oksigen merupakan komponen yang paling dibutuhkan oleh seluruh makhluk hidup. Tidak terkecuali manusia yang pastinya perlu untuk bernapas sebagai salah satu ciri-ciri makhluk hidup (12). Pengangkutan oksigen dilakukan oleh plasma darah dan hemoglobin (Hb) yang nantinya akan dibawa ke seluruh tubuh untuk metabolisme tubuh. Sebagian besar oksigen diangkut oleh Hb dalam bentuk oksimoglobin (tersimpan dalam otot), dan oksihemoglobin (hemoglobin yang terikat oksigen) dalam darah (13). Untuk menyalurkan hal tersebut, jantung berdenyut dan akibatnya darah pun tersirkulasi dengan baik. Kapasitas oksigen yang dibutuhkan oleh setiap orang berbeda-beda tergantung aktivitas yang ia lakukan.

Kadar oksigen (saturasi oksigen) dalam darah adalah jumlah oksigen yang telah beredar di sistem peredaran darah tubuh (14). Dengan kata lain saturasi oksigen merupakan nilai yang menunjukkan kadar oksigen di dalam darah. Nilai ini sangat berpengaruh terhadap berbagai fungsi organ dan jaringan tubuh (15). Pengukuran nilai saturasi oksigen dapat dilakukan dengan 2 cara, yakni dengan analisis gas darah (AGD) atau menggunakan alat oximeter (16). Saturasi oksigen normal untuk orang dewasa adalah 95 – 100% (17). Nilai yang lebih rendah dari 90% dianggap saturasi oksigen rendah, yang membutuhkan pasokan oksigen eksternal (18). Jika kadar oksigen dalam darah menurun hingga di bawah 90%, fungsi organ dan jaringan tubuh akan ikut menurun, tidak terkecuali jantung, sehingga dapat menyebabkan gangguan kesehatan (19).

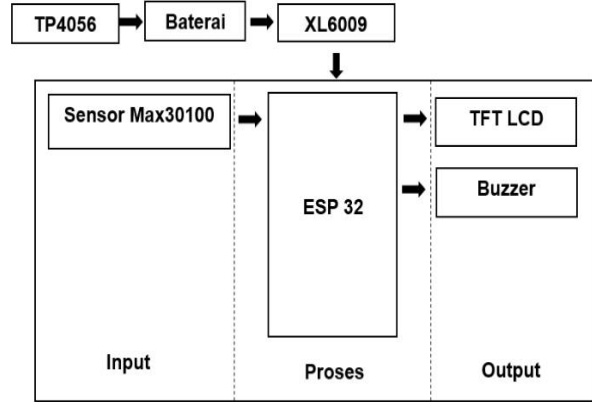
C. Perancangan Alat

Perancangan alat ini menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali dan modul. Sensor Max30100 berfungsi menghitung SpO₂ dan detak

jantung pasien, kemudian LCD penampilan nilai yang di telah di perintah dari ESP32 sebagai Mikrokontroler.

D. Blok Diagram

Blok diagram merupakan sistem kerja alat mulai dari inputan dari sensor Max30100 dan di proses melalui ESP32 kemudian di teruskan ke Output buzzer dan di tampilkan melalui LCD TFT.



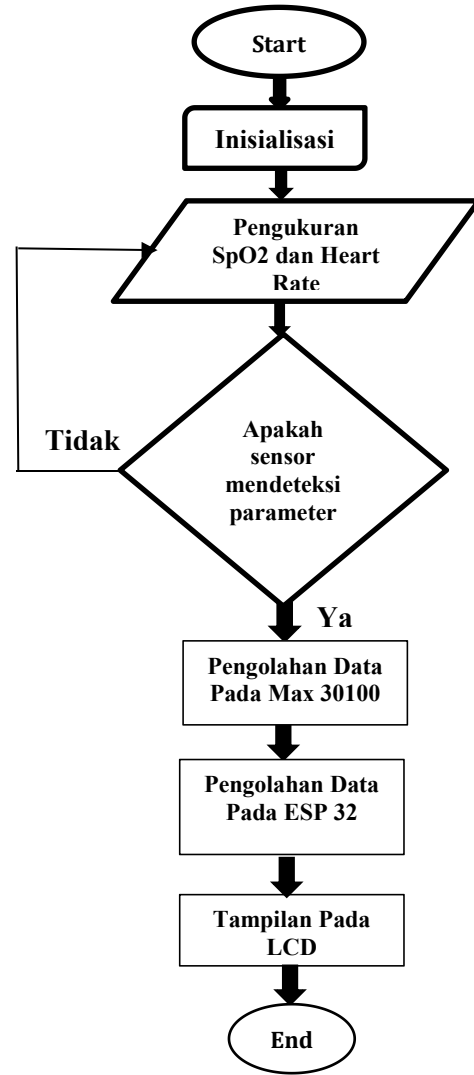
Gambar 1. Blok Diagram

Keterangan :

- DC Power (Baterai) ini berfungsi untuk memberikan catu daya ke seluruh rangkaian
- Modul Step Up XL6009 akan menaikkan tegangan pada baterai menjadi 12V.
- Sensor Max30100 berfungsi untuk menghitung jumlah saturasi oksigen dan heart rate pada tubuh pasien.
- ESP32 berfungsi sebagai mikrokontroler dan mengolah nilai yang dikirim sensor untuk ditampilkan pada display.
- TFT LCD berfungsi sebagai Output yang dapat menampilkan data berupa huruf atau angka sesuai dengan perintah yang di berikan oleh mikrokontroler ESP32.

E. Flowchart

Pada saat alat dihidupkan maka akan memulai Proses inialisasi, Dimana saat LCD dihubungan oleh power maka pengontrol LCD selalu muncul dalam mode 8-bit. Ini berarti bahwa pengontrol LCD membaca data pin setiap kali pin aktif. Kemudian sensor Max30100 akan melakukan pengukuran SpO2 dan Heart Rate. Data dari sensor Max30100 akan dikirim ke ESP32 untuk diolah dan ditampilkan pada LCD atau Display. Jika prosedur pada alat masih bekerja atau data dari pengukuran SpO2 dan Heart Rate belum terbaca maka program pada alat akan mengulang secara terus menerus sampai data yang di dihasilkan dapat terbaca dan tertampil pada LCD atau Display.



Gambar 2. Flowchart

F. Alat dan Bahan

1. Modul TP4056

TP4056 adalah sebuah charger linier arus-konstan/ tegangan konstan lengkap digunakan untuk baterai berjenis lithium-ion sel (20). Jumlah komponen eksternal yang rendah membuat TP4056 ideal untuk diaplikasikan pada perangkat. TP4056 ini juga dapat bekerja menggunakan USB (Universal Serial Bus) dan adapter termal yang sudah terdapat pada rangkaian tersebut untuk membatasi suhu terjadi daya berlebih atau suhu lingkungan yang meningkat. Regulator TP4056 ini juga dapat memutus arus jika daya pada baterai telah terisi dengan penuh sehingga aman saat akan digunakan untuk pengisian alat elektronik (21).

2. Modul XL6009

Modul Step Up XL6009 adalah modul yang berfungsi mengubah tegangan masukan (input) menjadi tegangan keluaran (output) yang lebih tinggi (22). Tegangan output bisa diatur dengan cara memutar trimpot. Jika terjadi perubahan tegangan input, maka tegangan output akan tetap stabil karena modul ini juga berfungsi sebagai regulator. Modul step up atau penaik tegangan DC (boost) XL6009 ini berfungsi sebagai penyelesaian masalah perbedaan tegangan yang dibutuhkan dengan yang tersedia. Seringkali dalam pembuatan rangkaian elektronika atau modul-modul mikrokontroler terdapat perbedaan tegangan kerja antar modul sehingga memerlukan sebuah modul regulator untuk menyesuaikan tegangan. Modul step up DC to DC XL6009 ini membantu untuk menaikkan tegangan ke tegangan yang lebih tinggi.

3. Baterai

Baterai merupakan suatu proses kimia listrik, dimana pada saat pengisian energi listrik diubah menjadi kimia dan saat pengeluaran/discharge energi kimia diubah menjadi energi listrik (23). Baterai atau akumulator adalah sebuah sel listrik dimana didalamnya berlangsung proses elektrokimia yang reversible (dapat berkebalikan) dengan efisiensinya yang tinggi. Yang dimaksud dengan reaksi elektrokimia reversibel adalah didalam baterai dapat berlangsung proses perubahan kimia menjadi tenaga listrik (proses pengosongan) dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia (proses pengisian) dengan cara proses regenerasi dari elektroda-elektroda yang dipakai yaitu, dengan melewati arus listrik dalam arah polaritas yang berlawanan didalam sel .

4. Sensor Max30100

Sensor MAX30100 adalah sensor yang dapat melakukan pemantauan sinyal detak jantung dan kadar oksigen dalam darah, sensor ini terdiri dari dua buah led dan sensor cahaya (24). Alat ini berkerja dengan memanfaatkan sifat hemoglobin yang dapat menyerap cahaya dan denyut aliran darah di dalam arteri untuk mengukur kadar oksigen dalam tubuh. Modul ini menggunakan interaksi I2C untuk berkomunikasi dengan mikrokontroler. Inter Integrated Circuit atau I2C merupakan standar komunikasi serial dua arah menggunakan dua saluran yang didesign khusus untuk mengirim ataupun menerima data. Sistem I2C terdiri dari SCL (Serial Clock) dan SDA (Serial Data) yang membawa informasi data antara I2C dengan pengontrolnya. Alat yang dihubungkan dengan sistem I2C Bus dapat dioperasikan sebagai Master dan Slave. Master adalah alat yang memulai transfer data pada I2C Bus dengan membentuk sinyal Start, mengakhiri transfer data dengan membentuk sinyal Stop, dan membangkitkan sinyal clock. Slave adalah alat yang dialamati oleh master.

5. ESP32

ESP32 adalah mikrokontroler yang dilengkapi dengan kemampuan komunikasi nirkabel, seperti Wi-Fi dan Bluetooth, yang memungkinkan berbagai aplikasi dalam Internet of Things (IoT). Mikrokontroler ini memiliki dua inti proses Tensilica Xtensa LX6 yang berjalan hingga 240 MHz, yang membuatnya mampu menangani tugas-tugas komputasi yang berat. Selain itu, ESP32 memiliki memori yang cukup besar, dengan SRAM hingga 520 KB dan flash memory yang dapat mencapai 16 MB (25).

6. TFT LCD Display

Display elektronik adalah salah satu komponen elektronika yang berfungsi sebagai tampilan suatu data, baik karakter, huruf maupun grafis. LCD adalah suatu jenis display elektronik. LCD merupakan media tampil yang menggunakan kristal cair sebagai penampil utama. LCD sudah digunakan diberbagai bidang misalnya alat-alat elektronik seperti televisi, kalkulator. Salah satu jenis LCD (Liquid Crystal Display)(26).

7. Buzzer

Buzzer adalah sebuah komponen elektronika yang berfungsi untuk mengubah getaran menjadi getaran suara. Pada dasarnya prinsip kerja buzzer sama dengan speaker, jadi buzzer juga terdiri dari kumparan yang terpasang pada diafragma dan kemudian kumparan tersebut dialiri arus sehingga menjadi kumparan tadi akan tertarik ke dalam atau keluar, tergantung dari arah arus dan polaritas magnetnya, karena kumparan dipasang pada diafragma maka setiap kumparan akan menggerakkan diafragma secara bolak – balik sehingga membuat udara bergetar yang akan menghasilkan suara (27).

8. Push Button

Saklar merupakan komponen elektronika yang berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan dua titik atau lebih dalam suatu rangkaian elektronika. Salah satu jenis saklar adalah saklar Push button yaitu saklar yang hanya akan menghubungkan dua titik atau lebih pada saat tombolnya ditekan dan pada saat tombolnya tidak ditekan maka akan memutuskan dua titik atau lebih dalam suatu rangkaian elektronika (28).

Hasil Dan Pembahasan

1. Hasil Pembuatan Alat

Hasil dari pembuatan alat, pada bagian depan terdapat LCD TFT dan juga Push Button, pada bagian samping terdapat probe parameter, dan bagian atas terdapat tombol on/off dan juga tempat charger atau tempat untuk mengisi daya pada baterai seperti yang ditunjukkan pada gambar :



Gambar 3. Hasil Pembuatan Alat

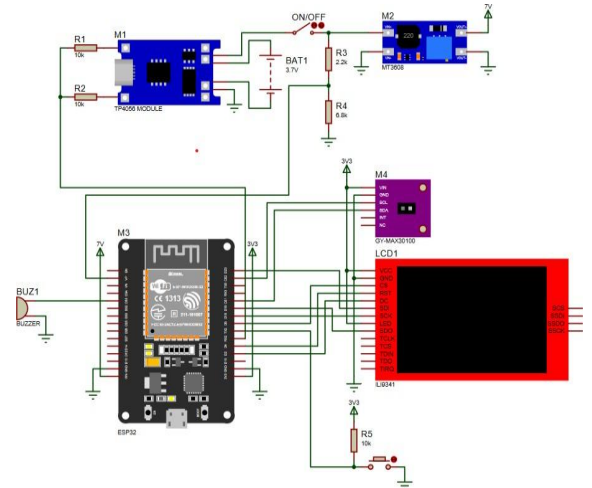
Sistem kerja pada alat ini ialah dengan menggunakan sensor Max30100 sebagai sensor yang berfungsi untuk mengukur SPO2 dan Heart Rate pada pasien. Sensor ini terdiri dari LED dan sebuah photodetektor. Alat ini bekerja menggunakan sifat hemoglobin yang mampu menyerap cahaya dan denyut alami aliran darah di dalam arteri untuk mengukur kadar oksigen pada tubuh.

Cara pengoperasian alat :

- Tekan saklar untuk menghidupkan alat
- Hubungkan semua Probe ke alat dan ujung probe satunya ke pasien yang ingin kita ukur.
- Alat akan melakukan pengukuran secara otomatis.
- Jika selesai pengukuran catat hasil dan lepaskan semua probe yang terhubung ke alat dan pasien
- Matikan alat dengan menekan tombol saklar.

2. Wiring Diagram Alat

Wiring diagram merupakan gambar sistem kerja secara menyeluruh dimana dimulai ketika baterai mengalirkan daya DC langsung ke rangkaian. Tegangan dari baterai 3.7V, akan di tingkatkan dulu menggunakan modul peningkat tegangan lalu akan langsung disuplai ke komponen-komponen utama. Modul ESP-WROOM-32, yang berfungsi sebagai otak perangkat, menerima daya ini dan mengelola semua proses yang diperlukan. Sensor MAX30100 juga terhubung ke modul ini untuk mengukur detak jantung dan saturasi oksigen, memberikan data penting yang akan diproses. Informasi tersebut kemudian ditampilkan secara real-time di layar LCD ILI9341, memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi kesehatan mereka dengan mudah. Jika terdeteksi kondisi yang tidak normal, buzzer akan berbunyi untuk memberikan peringatan.



Gambar 4. Wiring Diagram Alat

Adapun listing program yang digunakan dalam alat ini adalah sebagai berikut :

- Listing Program ESP32

```
#include <Arduino.h>
#include <SPI.h>
#include <TFT_eSPI.h>
TFT_eSPI tft = TFT_eSPI();
// Inisialisasi objek TFT void setup() {
tft.init();
// Inisialisasi layar TFT tft.fillScreen(TFT_BLACK);
// Membersihkan layar dengan warna hitam
tft.setTextColor(TFT_WHITE);
// Mengatur warna teks menjadi putih tft.setTextSize(2);

// Mengatur ukuran teks
}
void loop() {
tft.fillScreen(TFT_BLACK);
// Membersihkan layar setiap loop tft.setCursor(0, 0);
// Mengatur posisi kursor tft.print("Hello, ESP32!");
// Menampilkan teks pada layar TFT
delay(2000);
// Menunggu selama 2 detik sebelum mengulangi}
```

- Listing Program Sensor Max30100

```
#include <Wire.h>
#include "MAX30100_PulseOximeter.h"
#define REPORTING_PERIOD_MS 1000
PulseOximeter pox; uint32_t lastReportTime=0; void
setup() { Serial.begin(115200);
Serial.println("Initializing Pulse Oximeter..."); if
(!pox.begin())
{
Serial.println("FAILED to initialize the sensor!"); while
(1); }
else
{
Serial.println("Sensor initialized successfully."); }
pox.setOnBeatDetectedCallback(onBeatDetected);}
void loop() { pox.update();
if (millis() - lastReportTime >
REPORTING_PERIOD_MS);
{ Serial.print("Heart rate:");
Serial.print(pox.getHeartRate());
Serial.print(" bpm / SpO2:"); Serial.print(pox.getSpO2());
Serial.println(" %");
lastReportTime = millis(); }}
```

```
void onBeatDetected() { Serial.println("Beat detected!");}
```

• Listing program LCD TFT

```
#include <SPI.h>
#include <TFT_esPI.h>
TFT_eSPI tft = TFT_eSPI();
// Inisialisasi objek TFT void setup() {
tft.init();
// Inisialisasi layar TFT tft.setRotation(1);
// Mengatur orientasi layar
tft.fillScreen(TFT_BLACK);
// Membersihkan layar dengan warna hitam
tft.setTextColor(TFT_WHITE);
// Mengatur warna teks menjadi putih
tft.setTextSize(2);
// Mengatur ukuran teks}
void loop() {
tft.fillScreen(TFT_BLACK);
// Membersihkan layar setiap loop tft.setCursor(0, 0);
// Mengatur posisi kursor
tft.print("Hello, ILI9341!");
// Menampilkan teks pada layar TFT
delay(2000);
// Menunggu selama 2 detik sebelum mengulangi
tft.fillScreen(TFT_BLACK);
tft.setCursor(0, 20); tft.print("ESP32 Rocks!");
delay(2000);
// Menunggu selama 2 detik sebelum mengulangi}
```

2. Hasil Pengujian Alat

Pada bagian ini, akan dibahas hasil pengujian dari Rancang Bangun Alat Vital Sign Monitor Dengan Parameter Saturasi Oksigen dan Heart Rate Berbasis ESP32. Pengujian dilakukan terhadap dua parameter utama yaitu saturasi oksigen (SpO2) dan detak jantung (Heart Rate).

Tabel 1. Hasil Pengujian SpO2

No	Pengukuran Alat	Pengukuran Manual	Selisih	Akurasi
1	98%	98%	0	100%
2	98%	97%	1	99%
3	97%	97%	0	100%
4	97%	97%	0	100%
5	98%	97%	1	99%
Rata-Rata	97.6%	97.2%	0.4%	99.6%

Tabel 2. Hasil Pengujian Heart Rate

No	Pengukuran Alat	Pengukuran Manual	Selisih	Akurasi
1	140	140	0	100%
2	130	130	0	100%
3	134	133	1	99.25%
4	134	130	4	96.92%
5	112	123	11	91.06%
Rata-Rata	130	131	3.2	97.56%

Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil dari alat yang dibuat dengan alat Pulse Oxymeter dimana alat ini dapat memantau SpO2 darah dan denyut nadi. Hasil Pengukuran menunjukkan bahwa nilai SpO2 rata-rata yang diukur oleh alat ini berada dalam selang 1-2% tepatnya pada angka selisih 0.4% dengan akurasi rata – rata sebesar 99.6% dari hasil alat pembanding, sementara nilai Heart Rate berada dalam selang 1-5 BPM (beats per minute) tepatnya pada angka 3.2 dengan akurasi rata – rata 97.56% dari alat pembanding, hal ini dikarenakan kualitas sensor yang kurang sensitif yang di gunakan pada alat sehingga membuat keakuratan alat kurang maksimal. Namun nilai rata – rata tersebut menunjukkan bahwa alat dapat dipercaya dalam memberikan data vital yang akurat untuk pengguna dengan keakuratan rata – rata dia atas 97% untuk kedua sensor yang di gunakan.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan penelitian dan pembahasan. maka di Kesimpulan permasalahan sesuai pokok permasalahan yang di teliti sebagai berikut:

1. Alat yang dirancang untuk memantau parameter vital seperti SpO2 dan Heart Rate menggunakan ESP32 dan tampilan LCD TFT dapat berfungsi secara efektif dalam memberikan informasi kesehatan dasar. Alat ini dapat memberikan pembacaan yang akurat dan mudah dibaca secara langsung pada layar tanpa memerlukan konektivitas internet atau jaringan.

2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat ini memiliki akurasi yang baik, dengan rata-rata akurasi pengukuran SpO2 sebesar 99.6% dengan selisih pada alat standar sebesar 0.4%.

3. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat ini memiliki akurasi yang baik, dengan rata-rata akurasi pengukuran Heart Rate sebesar 97.56% dengan selisih pada alat standar 3.2 BPM.

Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya:

1. Pengembangan Fitur Tambahan: Meskipun tidak menggunakan IoT atau WiFi, pertimbangkan untuk menambahkan fitur tambahan seperti penyimpanan data lokal atau alarm yang berbasis waktu untuk memberikan notifikasi jika parameter vital berada di luar rentang normal.

2. Peningkatan Probabilita: Jika memungkinkan pertimbangkan desain ulang untuk meningkatkan portabilitas alat sehingga dapat digunakan dengan lebih nyaman di berbagai lingkungan, baik di rumah maupun di luar rumah.

Daftar Rujukan

1. Stoumpos AI, Kitsios F, Talias MA. Digital Transformation in Healthcare: Technology Acceptance and Its Applications. *Int J Environ Res Public Health*. 2023;20(4).
2. Boikanyo K, Zungeru AM, Sigweni B, Yahya A, Lebekwe C. Remote patient monitoring systems: Applications, architecture, and challenges. *Sci African*. 2023;20.
3. Shuzan MNI, Chowdhury MH, Chowdhury MEH, Murugappan M, Hoque Bhuiyan E, Arslane Ayari M, et al. Machine Learning-Based Respiration Rate and Blood Oxygen Saturation Estimation Using Photoplethysmogram Signals. *Bioengineering*. 2023;10(2):1–15.
4. Dias D, Cunha JPS. Wearable health devices—vital sign monitoring, systems, and technologies. *Sensors (Switzerland)*. 2018;18(8).
5. Zhang L, Yu H, Xiao W, Liu C, Chen J, Guo M, et al. Strategies for Applications of Oxide-Based Thin Film Transistors. *Electron*. 2022;11(6).
6. Anderson S, Hadwen B, Brown C. Thin-Film-Transistor Digital Microfluidics for High Value in Vitro Diagnostics at the Point of Need. *Lab Chip*. 2021 Jan 29;21.
7. El-Khozondar HJ, Mtair SY, Qoffa KO, Qasem OI, Munyarawi AH, Nassar YF, et al. A smart energy monitoring system using ESP32 microcontroller. *E-Prime - Adv Electr Eng Electron Energy [Internet]*. 2024;9(3):100666. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.prime.2024.100666>
8. Uddin R, Koo I. Real-Time Remote Patient Monitoring: A Review of Biosensors Integrated with Multi-Hop IoT Systems via Cloud Connectivity. *Appl Sci*. 2024;14(5).
9. El-Khozondar HJ, Mtair SY, Qoffa KO, Qasem OI, Munyarawi AH, Nassar YF, et al. A smart energy monitoring system using ESP32 microcontroller. *E-Prime - Adv Electr Eng Electron Energy [Internet]*. 2024;9(6):100666. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.prime.2024.100666>
10. Abdulmalek S, Nasir A, Jabbar WA, Almuahy MAM, Bairagi AK, Khan MAM, et al. IoT-Based Healthcare-Monitoring System towards Improving Quality of Life: A Review. *Healthc*. 2022;10(10).
11. Shaffer F, Ginsberg JP. An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. *Front Public Health*. 2017;5(9):1–17.
12. Abbas KA. Transportation and The Use of Oxygen. *Indones J Anesthesiol Reanim*. 2020;1(2):58.
13. Trayhurn P. Oxygen—a critical, but overlooked, nutrient. *Front Nutr*. 2019;6(2).
14. Maltepe E, Saugstad OD. Oxygen in health and disease: regulation of oxygen homeostasis-clinical implications. *Pediatr Res*. 2009;65(3):261–8.
15. Olsen J, Puri K. Interpretation of Oxygen Saturation in Congenital Heart Disease: Fact and Fallacy. *Pediatr Rev*. 2022;43(8):436–48.
16. Abraham EA, Verma G, Arafat Y, Acharya S, Kumar S, Pantbalekundri N. Comparative Analysis of Oxygen Saturation by Pulse Oximetry and Arterial Blood Gas in Hypoxemic Patients in a Tertiary Care Hospital. *Cureus*. 2023;15(7).
17. Andriani A, Hartono R. Saturasi Oksigen Dengan Pulse Oximetri Dalam 24 jam Pada Pasien Dewasa Terpasang ventilator di Ruang ICU RS. Panti Wilasa Citarum Semarang . Vol. 2, Jendela Nursing journal-JNJ Volume 2 Nomor 1. 2018. p. 258–63. Available from:

- <https://media.neliti.com/media/publications/243373-saturasi-oksigen-dengan-pulse-oximetry-d-d46bdd55.pdf>
18. Bray J, Skrifvars MB, Bernard S. Oxygen targets after cardiac arrest: A narrative review. *Resuscitation*. 2023;189:109899. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2023.109899>
 19. Saadah S. Sistem Peredaran Darah Manusia. 8 (2). 2018;1–58. Available from: <https://idschool.net/smp/sistem-peredaran-darah-manusia/>
 20. Azmi MT, Alawy MT, Melfazen O. Rancang Bangun Sumber Daya Untuk Charger Baterai Menggunakan Energi Panas Matahari Berbasis Termoelektrik Generator. *J Tek Elektro*. 2019;3–8.
 21. Iman FF, Purwarupa Iman, F. F. (2017). Smart Door Lock Menggunakan Multi Sensor Berbasis Sistem Arduino. Fakultas Teknologi Informasi Dan Elektro Universtas Teknologi Yogyakarta, 1–7. Smart Doo. Fak Teknol Inf dan Elektro Universtas Teknol Yogyakarta. 2017;1–7.
 22. Pambudi AP, Roza E, Fayakun K. Penentuan Kerapatan Cahaya Pada Sistem VLC (Visible Light Communication). *Pros Semin Nas Teknoka*. 2020;5(2502):192–203.
 23. Nasution M. Karakteristik Baterai Sebagai Penyimpan Energi Listrik Secara Spesifik. *Cetak J Electr Technol*. 2021;6(1):35–40.
 24. Herbert MS, Antonius, Robert Garnier Elizab Engl. 2017;20:91–178.
 25. Nizam MN, Haris Yuana, Zunita Wulansari. Mikrokontroler Esp 32 Sebagai Alat Monitoring Pintu Berbasis Web. *JATI (Jurnal Mhs Tek Inform*. 2022;6(2):767–72.
 26. Junaldy M, Sompie SRUA, Patras S. Rancang Bangun Alat Pemantau Arus Dan Tegangan Di Sistem Panel Surya Berbasis Arduino Uno. *J Tek Elektro dan Komput*. 2019;8(1):9–14.
 27. Akbar A, Zaenudin Z, Yani A, Muslim R. Design and Implementation of IoT-Based Smart Lecture Attendance System at Mataram University of Technology. *J Pilar Nusa Mandiri*. 2023;19(2):109–16.
 28. Handoko S, Nugroho A, Winardi B, Sukmadi T, Facta M. Pelatihan Instalasi Listrik Rumah Tangga di Kelurahan Padangsari Kecamatan Banyumanik. *Dep Tek Elektro, Fak Tek Univ Diponegoro [Internet]*. 2020;2(1):43–8. Available from: <http://ejournal3.undip.ac.id/index.php/pasopati>