

IMPLEMENTASI SENSOR MAX30102, MLX90614, DAN BMP180 PADA CINCIN PINTAR BERBASIS ESP32-C3 OLED UNTUK MONITORING KESEHATAN DAN LINGKUNGAN

Erico Yuan Varel, Afu Ichsan Pradana, Fajar Suryani

Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Duta Bangsa Surakarta
Jl. Bhayangkara No. 55, Tipes, Kecamatan Serengan, Kota Surakarta, Jawa Tengah, Indonesia
Ericovarel8@gmail.com

ABSTRAK

Pemanfaatan perangkat *wearable* semakin berkembang sebagai sarana pemantauan kondisi kesehatan pengguna. Namun, sebagian besar perangkat yang tersedia masih berukuran relatif besar dan belum menyediakan pemantauan kesehatan serta lingkungan dalam satu sistem yang terintegrasi. Penelitian ini bertujuan mengembangkan cincin pintar berbasis ESP32-C3 OLED yang mampu menampilkan informasi kesehatan dan lingkungan secara *real-time*. Sistem yang dirancang memanfaatkan sensor MAX30102 untuk memperoleh data denyut jantung dan nilai SpO_2 , sensor MLX90614 untuk membaca suhu tubuh, serta sensor BMP180 untuk menghasilkan informasi suhu dan tekanan udara lingkungan. Pengembangan sistem dilakukan melalui tahap perancangan perangkat keras, penyusunan program menggunakan Arduino IDE, integrasi dengan Firebase Realtime Database, dan pengujian fungsional setiap komponen. Hasil pengujian menunjukkan bahwa data dari seluruh sensor dapat diperoleh dan ditampilkan pada layar OLED, serta berhasil dikirim ke Firebase melalui jaringan Wi-Fi. Sistem yang dikembangkan mampu menjalankan fungsi monitoring sesuai perancangan sehingga dapat digunakan sebagai alternatif perangkat *wearable* untuk mendukung pemantauan kesehatan dan lingkungan.

Kata kunci : *Smart Ring*, ESP32-C3 OLED, MAX30102, MLX90614, BMP180

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan perangkat pemantauan kesehatan yang praktis terus meningkat seiring dengan berkembangnya penggunaan teknologi digital dalam kehidupan sehari-hari. Saat ini berbagai perangkat *wearable* telah digunakan untuk membantu pengguna memperoleh informasi kondisi tubuh tanpa harus melakukan pemeriksaan secara langsung. Dukungan konektivitas internet juga memungkinkan hasil pengukuran dapat diakses dengan lebih mudah melalui berbagai media monitoring [1].

Informasi kesehatan seperti denyut jantung, kadar oksigen dalam darah (SpO_2), dan suhu tubuh sering digunakan sebagai indikator untuk mengetahui kondisi fisik seseorang. Selain itu, kondisi lingkungan di sekitar pengguna juga dapat memberikan pengaruh terhadap aktivitas yang dilakukan. Meskipun berbagai perangkat monitoring telah tersedia, sebagian di antaranya masih memiliki ukuran yang cukup besar sehingga kurang nyaman digunakan secara terus-menerus. Beberapa perangkat juga hanya berfokus pada pemantauan kesehatan tanpa menyediakan informasi mengenai kondisi lingkungan [2].

Penelitian ini mengembangkan sebuah cincin pintar yang menggabungkan fungsi pemantauan kesehatan dan lingkungan ke dalam satu perangkat. Sistem dirancang menggunakan ESP32-C3 OLED sebagai pengendali utama dengan dukungan beberapa sensor untuk memperoleh data yang dibutuhkan. Informasi yang dihasilkan meliputi denyut jantung, nilai SpO_2 , suhu tubuh, suhu lingkungan, dan tekanan udara [3].

Untuk mewujudkan sistem tersebut, sensor MAX30102 digunakan sebagai sumber data denyut jantung dan SpO_2 , MLX90614 digunakan untuk memperoleh informasi suhu tubuh, sedangkan BMP180 dimanfaatkan untuk membaca suhu dan tekanan udara lingkungan. Data yang diperoleh dari masing-masing sensor selanjutnya diolah oleh ESP32-C3 OLED, dan disimpan pada Firebase *Realtime Database* sehingga dapat dipantau melalui dashboard web secara langsung [4].

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai perangkat *wearable* untuk pemantauan kesehatan telah banyak dilakukan dalam beberapa tahun terakhir. Fiore dkk. [3] melakukan kajian terhadap penggunaan *smart ring* sebagai media monitoring kesehatan. Hasil kajian tersebut menunjukkan bahwa perangkat berbentuk cincin memiliki potensi untuk digunakan dalam pemantauan berbagai parameter fisiologis karena ukurannya yang kecil, ringan, dan nyaman digunakan dalam aktivitas sehari-hari.

Penelitian lain dilakukan oleh Babalola dkk. [5] yang mengembangkan sistem monitoring kesehatan menggunakan sensor MAX30102 dan mikrokontroler STM32. Sistem yang dirancang mampu memperoleh data denyut jantung dan tingkat saturasi oksigen darah (SpO_2) secara langsung. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor MAX30102 dapat dimanfaatkan untuk mendukung proses pemantauan kondisi kesehatan pengguna.

Selain pemanfaatan sensor kesehatan, penerapan teknologi *Internet of Things* pada bidang kesehatan juga telah banyak dikembangkan. Pada penelitian mengenai penerapan IoT untuk layanan kesehatan [1], teknologi internet digunakan sebagai media pertukaran data antara perangkat monitoring dan sistem penyimpanan sehingga informasi hasil pengukuran dapat diakses dari lokasi yang berbeda secara lebih mudah. Pendekatan ini mendukung proses pemantauan kondisi pengguna secara *real-time* tanpa harus berada di dekat perangkat.

Berdasarkan beberapa penelitian tersebut, pengembangan perangkat *wearable* untuk monitoring kesehatan telah menunjukkan hasil yang cukup baik. Meskipun demikian, masih terdapat peluang pengembangan berupa penggabungan pemantauan kesehatan dan kondisi lingkungan dalam satu perangkat berbentuk cincin pintar. Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan sistem monitoring berbasis ESP32-C3 OLED yang mengintegrasikan sensor MAX30102, MLX90614, dan BMP180 untuk memperoleh informasi kesehatan serta kondisi lingkungan secara bersamaan. Data yang diperoleh kemudian dikirim ke Firebase *Realtime* Database sehingga dapat dipantau melalui dashboard monitoring secara *real-time*.

2.2. Mikrokontroler ESP32 C3 OLED

Mikrokontroler ESP32 C3 OLED Adalah merupakan mikrokontroler yang digunakan sebagai pusat pengendali pada sistem. Perangkat ini telah dilengkapi koneksi Wi-Fi dan Bluetooth sehingga memudahkan proses komunikasi data dengan perangkat lain, prosesor ganda (dual-core) 32-bit, serta konsumsi daya yang efisien. Kemampuannya mendukung berbagai protokol komunikasi menjadikan ESP32-C3 OLED sebagai pengendali utama yang mengatur proses pembacaan sensor, pengolahan data, serta pengiriman informasi ke Firebase [6].

2.3. Sensor MAX30102 (Detak Jantung & SpO2)

MAX30102 adalah modul biosensor terintegrasi yang menggunakan metode *Photoplethysmography* (PPG). Cara kerja sensor MAX30102 yaitu pada pembacaan perubahan aliran darah melalui cahaya merah dan inframerah yang diarahkan ke permukaan kulit. Data yang diperoleh kemudian diolah untuk menghasilkan informasi denyut jantung dan kadar oksigen dalam darah. Dimensi sensor yang relatif kecil membuatnya mudah diintegrasikan ke dalam perangkat cincin pintar. [7].

2.4. Sensor MLX90614 (Suhu Tubuh Nirkontak)

Pada penelitian ini, sensor MLX90614 digunakan untuk memperoleh data suhu tubuh tanpa perlu menyentuh objek yang diukur. Pembacaan suhu dilakukan berdasarkan energi panas yang dipancarkan oleh permukaan objek sehingga proses pengukuran menjadi lebih praktis. Keunggulannya adalah mampu memberikan data suhu tubuh yang akurat tanpa perlu

bersentuhan langsung dalam waktu lama, menjaga higienitas dan kenyamanan pengguna [8].

2.5. Sensor BMP180 (Tekanan Udara & Suhu Lingkungan)

BMP180 adalah sensor tekanan barometrik presisi tinggi yang juga dilengkapi sensor suhu. Data tekanan udara dari sensor ini dapat digunakan untuk memperkirakan ketinggian (*altitude*), sementara data suhunya digunakan untuk memantau kondisi lingkungan sekitar (*ambient temperature*) pengguna [9].

2.6. Modul Charger DC5V to 4.2V TYPE-C

Modul charger DC 5V to 4.2V Type-C merupakan perangkat manajemen daya berbasis IC TP4056 yang berfungsi untuk mengisi ulang baterai Lithium-Ion satu sel (1S). Modul ini memanfaatkan antarmuka input USB Type-C untuk mengubah tegangan masuk 5V menjadi tegangan pengisian stabil 4.2V menggunakan metode *Constant Current/Constant Voltage* (CC/CV). Dilengkapi dengan sirkuit proteksi terintegrasi, modul ini mampu memutuskan arus secara otomatis untuk mencegah kerusakan baterai akibat pengisian berlebih (*overcharge*) maupun pengurasan daya hingga di bawah batas aman (*over-discharge*) [10].

2.7. Baterai Lithium Polymer 401010 (3.7V)

Sumber daya utama cincin pintar ini adalah baterai Lithium Polymer (Li-Po) tipe 401010 [11]

2.8. Google Firebase

Pada penelitian ini, Firebase digunakan sebagai media penyimpanan data yang menerima hasil pembacaan sensor dari ESP32-C3 OLED. Data yang tersimpan kemudian dapat diakses dan ditampilkan kembali melalui dashboard monitoring secara langsung. Fungsi: Digunakan untuk menyimpan data hasil pembacaan sensor sehingga dapat diakses kembali melalui dashboard monitoring. ESP32 mengirimkan data sensor ke Firebase secara *real-time*. Data yang 13 tersimpan dalam format JSON ini kemudian dapat diakses dan ditampilkan pada aplikasi antarmuka pengguna (seperti aplikasi Android atau Web Dashboard) dengan latensi yang sangat rendah [12].

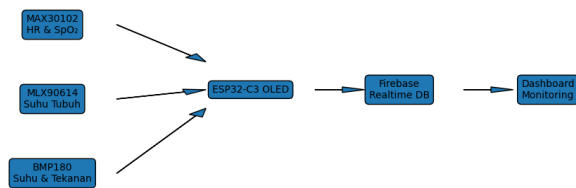
3. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini dilakukan perancangan dan implementasi cincin pintar berbasis ESP32-C3 OLED untuk monitoring kesehatan dan lingkungan secara *real-time*. Sistem yang dikembangkan menggunakan Sensor MAX30102 dimanfaatkan untuk memperoleh informasi denyut jantung serta tingkat saturasi oksigen darah (SpO₂), sedangkan pengukuran suhu tubuh dilakukan menggunakan sensor MLX90614 tanpa memerlukan kontak langsung dengan pengguna, serta sensor BMP180 untuk mengukur suhu dan tekanan udara lingkungan. Data hasil pembacaan sensor

diproses oleh ESP32-C3 OLED dan ditampilkan pada layar OLED serta dikirimkan ke Firebase melalui koneksi Wi-Fi.

3.1. Analisis Kebutuhan Sistem

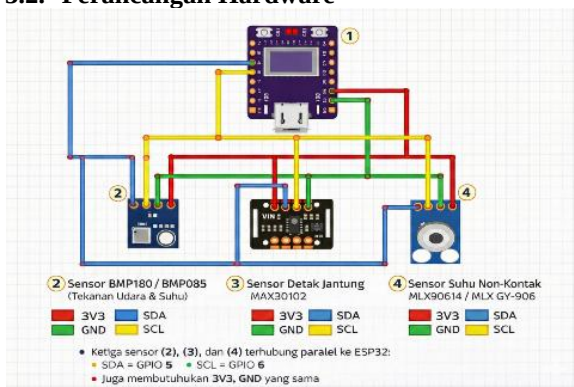
Analisis kebutuhan sistem dilakukan untuk menentukan perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (software) yang digunakan pada penelitian. Perangkat keras yang digunakan terdiri dari ESP32-C3 OLED, sensor MAX30102, sensor MLX90614, sensor BMP180, baterai, dan modul pendukung lainnya. Sedangkan perangkat lunak yang digunakan meliputi Arduino IDE sebagai media pemrograman dan Firebase sebagai media penyimpanan data berbasis cloud.



Gambar 1. Diagram blok sistem monitoring kesehatan dan lingkungan berbasis ESP32-C3 OLED

Diagram blok sistem menunjukkan hubungan antara ESP32-C3 OLED sebagai pusat pengendali dengan sensor MAX30102, MLX90614, dan BMP180. Ketiga sensor terhubung menggunakan komunikasi I2C melalui jalur SDA dan SCL. Data hasil pembacaan sensor diproses oleh ESP32-C3 OLED, ditampilkan pada layar OLED, kemudian dikirim ke Firebase *Realtime* Database melalui koneksi Wi-Fi. Data yang tersimpan selanjutnya dapat dipantau melalui dashboard monitoring berbasis web secara *real-time*.

3.2. Perancangan Hardware



Gambar 2. Skema perancangan hardware

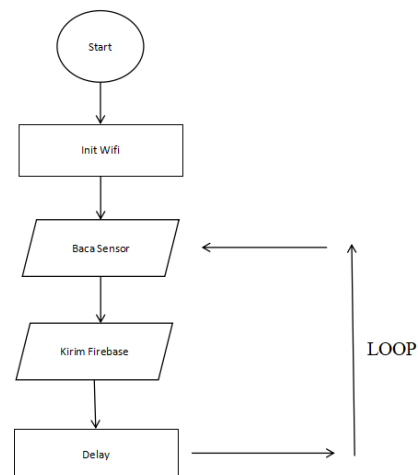
Perancangan hardware pada penelitian ini dilakukan dengan menghubungkan beberapa sensor ke mikrokontroler ESP32-C3 OLED menggunakan komunikasi I2C. Sistem terdiri dari sensor MAX30102 sebagai pembaca informasi denyut jantung dan tingkat saturasi oksigen darah, sedangkan sensor MLX90614 digunakan untuk memperoleh data suhu tubuh tanpa harus bersentuhan langsung dengan pengguna, serta

sensor BMP180 sebagai pengukur suhu dan tekanan udara lingkungan. Seluruh sensor dihubungkan secara paralel pada jalur SDA dan SCL sehingga komunikasi data dapat dilakukan secara bersamaan menggunakan satu jalur I2C.

Berdasarkan Gambar 2, seluruh komponen sensor dihubungkan ke ESP32-C3 OLED menggunakan antarmuka I2C. Sensor MAX30102, MLX90614, dan BMP180 menggunakan jalur komunikasi yang sama, yaitu pin SDA dan SCL, sehingga ketiganya terhubung secara paralel pada mikrokontroler. Selain jalur komunikasi, masing-masing sensor juga memperoleh catu daya melalui pin 3,3V dan GND dari ESP32-C3 OLED.

3.3. Perancangan Software

Perancangan software pada penelitian ini dilakukan menggunakan Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C++. Program dirancang untuk menginisialisasi koneksi Wi-Fi, membaca data sensor, mengirim data ke Firebase, dan menampilkan hasil pembacaan secara *real-time*.



Gambar 3. Flowchart sistem monitoring kesehatan dan lingkungan

Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa sistem dimulai dengan proses inisialisasi koneksi Wi-Fi pada ESP32-C3 OLED. Setelah koneksi berhasil, sistem melakukan pembacaan data dari sensor MAX30102, MLX90614, dan BMP180. Data hasil pembacaan sensor kemudian dikirimkan ke Firebase. Setelah proses pengiriman selesai, sistem melakukan delay beberapa detik sebelum kembali melakukan pembacaan sensor secara berulang (looping).

3.4. Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui keberhasilan pembacaan sensor MAX30102, MLX90614, dan BMP180 serta proses pengiriman data ke Firebase secara *real-time*. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap kondisi sebenarnya dan memastikan data berhasil tersimpan pada Firebase Realtime Database.

Persentase *error* pembacaan sensor dihitung menggunakan Persamaan (1)

$$Error(\%) = \frac{|X_{sensor} - X_{referensi}|}{X_{referensi}} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan

X_{sensor} = hasil pembacaan sensor

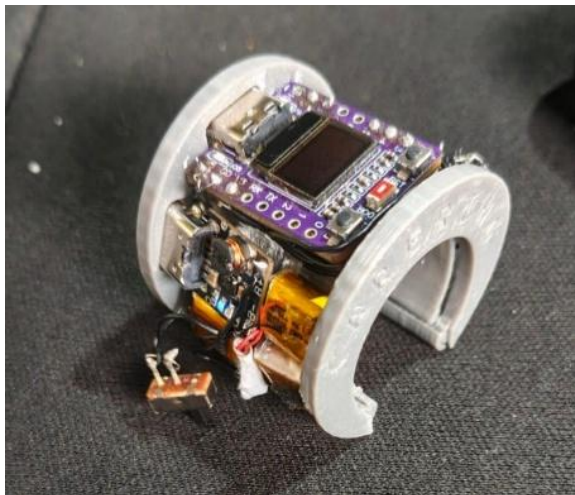
$X_{referensi}$ = hasil pembacaan alat referensi

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini telah berhasil dirancang dan diimplementasikan sistem cincin pintar (*smart ring*) berbasis ESP32-C3 OLED untuk monitoring kesehatan dan lingkungan secara *real-time*. Sistem mampu membaca data dari sensor MAX30102, MLX90614, dan BMP180, kemudian menampilkan hasil pembacaan pada layar OLED serta mengirimkan data ke Firebase *Realtime Database* melalui koneksi Wi-Fi.

4.1. Hasil Implementasi Sistem

Implementasi sistem dilakukan dengan mengintegrasikan sensor MAX30102, MLX90614, dan BMP180 pada ESP32-C3 OLED menggunakan komunikasi I2C. Setelah seluruh komponen dirangkai dan program dijalankan, sistem berhasil melakukan monitoring kesehatan dan lingkungan secara *real-time*.



Gambar 4. Implementasi sistem cincin pintar berbasis ESP32-C3 OLED

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa perangkat telah berhasil dirancang dalam bentuk *smart ring* prototype menggunakan ESP32-C3 OLED sebagai mikrokontroler utama. Sistem dilengkapi dengan sensor kesehatan dan lingkungan serta layar OLED yang digunakan untuk menampilkan hasil monitoring secara langsung.

4.2. Hasil Pengujian Sensor

Pengujian sensor dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam membaca data detak

jantung, kadar oksigen darah (SpO_2), suhu tubuh, serta suhu dan tekanan udara lingkungan.

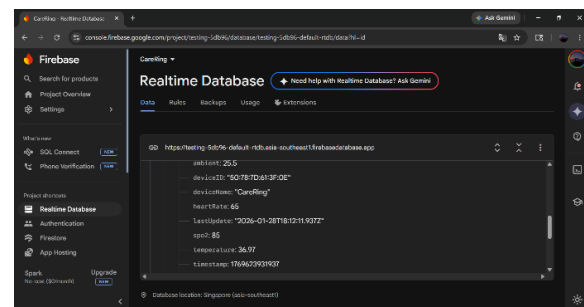
Tabel 1. Hasil pengujian sensor

Parameter	Hasil Pembacaan
Heart Rate	65 BPM
SpO_2	85 %
Suhu Tubuh	36.97 °C
Suhu Lingkungan	25.5 °C

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa sistem berhasil membaca seluruh parameter kesehatan dan lingkungan dengan baik. Sensor MAX30102 mampu membaca nilai detak jantung dan SpO_2 , sensor MLX90614 berhasil membaca suhu tubuh tanpa kontak, sedangkan BMP180 mampu membaca suhu lingkungan secara stabil.

4.3. Hasil Pengiriman Data ke Firebase

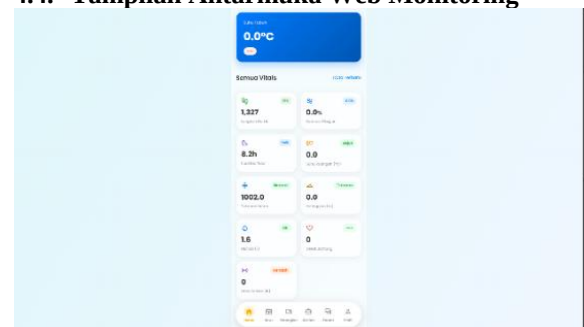
Sistem yang dikembangkan berhasil mengirimkan data sensor ke Firebase *Realtime Database* melalui koneksi Wi-Fi. Data yang dikirim meliputi nilai heart rate, SpO_2 , suhu tubuh, suhu lingkungan, serta waktu pembacaan sensor.



Gambar 5. Tampilan data sensor pada Firebase Realtime Database

Berdasarkan Gambar 5, data hasil monitoring berhasil tersimpan pada Firebase *Realtime Database* secara *real-time*. Hal ini menunjukkan bahwa ESP32-C3 OLED mampu melakukan komunikasi dengan Firebase menggunakan jaringan Wi-Fi dengan baik.

4.4. Tampilan Antarmuka Web Monitoring



Gambar 6. Tampilan antarmuka web monitoring system

Tampilan web monitoring digunakan sebagai media untuk menampilkan hasil pengukuran yang

diperoleh dari perangkat cincin pintar. Data yang muncul pada halaman web meliputi denyut jantung, kadar oksigen darah, suhu tubuh, suhu lingkungan, dan tekanan udara yang telah dikirimkan oleh sistem melalui Firebase.

Berdasarkan Gambar 6, antarmuka web monitoring mampu menampilkan data sensor secara *real-time* melalui koneksi internet. Dashboard web dirancang dengan tampilan sederhana sehingga memudahkan pengguna dalam memantau kondisi kesehatan dan lingkungan secara langsung.

4.5. Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh komponen pada sistem dapat bekerja dengan baik. Sensor MAX30102 berhasil memperoleh data denyut jantung dan SpO₂, sensor MLX90614 dapat membaca suhu tubuh tanpa sentuhan langsung, sedangkan BMP180 digunakan untuk memantau suhu dan tekanan udara lingkungan. Data yang diperoleh dari setiap sensor dapat diterima dan diolah oleh ESP32-C3 OLED sesuai kebutuhan sistem.

Integrasi seluruh sensor menggunakan komunikasi I2C mempermudah proses perancangan sistem karena seluruh sensor dapat menggunakan jalur komunikasi yang sama. Selain itu, penggunaan Firebase Realtime Database memungkinkan data monitoring dapat disimpan dan dipantau secara *real-time* melalui jaringan internet.

Sistem yang dikembangkan memiliki keunggulan konsumsi daya yang rendah, serta kemampuan monitoring kesehatan dan lingkungan secara *real-time*. Namun demikian, hasil pembacaan sensor masih dapat dipengaruhi oleh posisi sensor, kestabilan koneksi Wi-Fi, dan kondisi lingkungan sekitar saat proses pengukuran berlangsung.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, sistem cincin pintar yang dirancang mampu menjalankan fungsi monitoring kesehatan dan lingkungan sesuai dengan perencanaan. Sensor yang digunakan dapat menghasilkan data yang kemudian ditampilkan pada OLED dan dikirim ke Firebase untuk dipantau secara *real-time*. Integrasi antara ESP32-C3 OLED dan seluruh sensor juga berjalan dengan baik selama proses pengujian. Untuk pengembangan berikutnya, perangkat dapat dibuat lebih ringkas dan efisien serta dilengkapi fitur tambahan seperti notifikasi kondisi kesehatan dan aplikasi berbasis Android guna meningkatkan kemudahan penggunaan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Vaithiyanathan and A. Prathiba, "IoT-Based Portable Health Monitoring System Using ESP32 without Firebase Integration," in *2025 IEEE 4th International Conference on Technology, Engineering, Management for Societal impact using Marketing, Entrepreneurship and Talent (TEMSMET)*, IEEE, 2025, pp. 1–6.
- [2] L. Lu *et al.*, "Wearable health devices in health care: narrative systematic review," *JMIR Mhealth Uhealth*, vol. 8, no. 11, p. e18907, 2020.
- [3] M. Fiore *et al.*, "The use of smart rings in health monitoring—a meta-analysis," *Applied Sciences*, vol. 14, no. 23, p. 10778, 2024.
- [4] A. D. Babalola, K. F. Akingbade, and B. C. Ubachi, "The performance of the STM32 microcontroller and MAX30102 for remote health monitoring device design," *Journal of Digital Innovations & Contemporary Research in Science, Engineering & Technology*, vol. 10, no. 3, pp. 51–68, 2022.
- [5] C. Berkus, "Internet of Things for healthcare applications," 2020.
- [6] U. A. Madaminov and M. R. Allaberganova, "Firebase database usage and application technology in modern mobile applications," in *2023 IEEE XVI International Scientific and Technical Conference Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE)*, IEEE, 2023, pp. 1690–1694.
- [7] U. M. Tyas and A. A. Buckhari, "Implementasi Aplikasi Arduino Ide Pada Mata Kuliah Sistem Digital," *TEKNOS: Jurnal Pendidikan dan Teknologi*, vol. 1, no. 1, pp. 1–9, 2023.
- [8] R. N. Ahmad, H. Suryatomo, and D. C. Riawan, "Rancang bangun pengisi daya untuk baterai lithium-polymer dengan mempertimbangkan kompensasi resistansi," *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 25, no. 2, pp. 48–57, 2023.
- [9] Z. P. Anean. Cuherminisa, "RANCANG BANGUN SISTEM PENGISIAN BATERAI MENGGUNAKAN ENERGY HARVESTING PIEZOELEKTRIK UNTUK PERANGKAT LOW-POWER," 2025.
- [10] K. Reshma and R. Baskar, "Automated data logging system for continuous atmospheric pressure monitoring system using BMP 180 sensor in comparison with BMP 280 sensor," in *AIP Conference Proceedings*, AIP Publishing LLC, 2024, p. 020206.
- [11] V. Nandeshwar *et al.*, "Non-contact temperature detection system," in *Advances in AI for Biomedical Instrumentation, Electronics and Computing*, CRC Press, 2024, pp. 527–533.
- [12] R. Gunawan, A. Andang, and M. Ridwan, "Performance comparison for heart rate signal detection for different location in fingertip and wrist using sensor max30102," *Journal of Biomimetics, Biomaterials and Biomedical Engineering*, vol. 59, pp. 131–143, 2023.
- [13] N. Cameron, "ESP32 microcontroller," in *ESP32 Formats and Communication: Application of Communication Protocols with ESP32 Microcontroller*, Springer, 2023, pp. 1–54.

-
- [14] E. Erwin *et al.*, *Pengantar & Penerapan Internet Of Things: Konsep Dasar & Penerapan IoT di berbagai Sektor*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia, 2023.
- [15] A. Rombekila and B. L. Entamoing, "Prototype Sistem Smart Sistem Smart Home Berbasis IoT dengan Handphone Android Menggunakan NODEMCU ESP32," *Jurnal Teknik AMATA*, vol. 3, no. 1, pp. 32–37, 2022.
- [16] P. P. Kuantitatif, "Metode penelitian kuantitatif kualitatif dan R&D," *Alfabeta, Bandung*, 2016.
- [17] H. K. AR, "Implementasi Iot Pada Sistem Monitoring Suhu Dan Kelembaban Menggunakan ESP32, Firebase Dan Kodular," *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 9, no. 1, pp. 1781–1787, 2025.
- [18] M. Fiore *et al.*, "The use of smart rings in health monitoring—a meta-analysis," *Applied Sciences*, vol. 14, no. 23, p. 10778, 2024.
- [19] D. A. Yasmin and A. Zafia, "SISTEM MONITORING KESEHATAN MAHASISWA BERDASARKAN SATURASI OKSIGEN, DETAK JANTUNG DAN SUHU TUBUH BERBASIS IOT," *KARMAPATI (Kumpulan Artikel Mahasiswa Pendidikan Teknik Informatika)*, vol. 14, no. 2, pp. 223–235, 2025.