

# Desain dan Pengembangan Perangkat TTV (Tanda-Tanda Vital) untuk Pemantauan Kesehatan Ibu Hamil

1<sup>st</sup> Yasmin Mumtaz  
Fakultas Teknik Elektro  
Telkom University

Bandung, Indonesia  
yasminmumtaz@student.telkomuniversity.ac.id

2<sup>nd</sup> Wahmisari Priharti  
Fakultas Teknik Elektro  
Telkom University

Bandung, Indonesia  
wpriharti@telkomuniversity.ac.id

3<sup>rd</sup> Muhammad Hablul Barri  
Fakultas Teknik Elektro  
Telkom University

Bandung, Indonesia  
mhbarri@telkomuniversity.ac.id

**Abstrak** — Angka Kematian Ibu (AKI) di Indonesia masih tinggi, terutama di wilayah dengan akses layanan kesehatan terbatas. Pemantauan tanda-tanda vital ibu hamil secara berkala penting untuk deteksi dini risiko komplikasi, namun terkendala infrastruktur, tenaga medis, dan akses listrik. Penelitian ini merancang perangkat pemantauan tanda-tanda vital ibu hamil berbasis teknologi low energy yang portabel dan terintegrasi dengan aplikasi Android. Perangkat menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor MAX30102 untuk mengukur denyut nadi dan saturasi oksigen (SpO<sub>2</sub>), serta sensor ADXL345 untuk mendeteksi aktivitas janin. Sistem dikemas dalam casing ergonomis hasil 3D printing dengan transmisi data melalui Bluetooth Low Energy (BLE). Hasil pengujian menunjukkan performa parsial: SpO<sub>2</sub> mencapai akurasi 97,976% dan deteksi aktivitas janin 99,89% menggunakan Random Forest Classifier (precision 99%, recall 90%). Namun, pengukuran denyut nadi hanya mencapai akurasi 65,435% dengan MAE 50 BPM akibat bias positif sistematis sensor. Pengujian daya menunjukkan durasi operasional aktual hanya 5 jam 19 menit, jauh di bawah perhitungan teoritis 15 jam dengan baterai Li-ion 1200 mAh, mengindikasikan inefisiensi manajemen daya. Perangkat menunjukkan potensi sebagai sistem pemantauan mandiri, namun memerlukan optimasi akurasi denyut nadi dan efisiensi daya untuk memenuhi standar operasional.

**Kata kunci**— tanda-tanda vital, ibu hamil, aktivitas janin, Bluetooth Low Energy, perangkat portabel

## I. PENDAHULUAN

Kehamilan merupakan salah satu periode yang paling berisiko dalam siklus kehidupan. Berdasarkan data Angka Kematian Ibu (AKI) tahun 2023, di Indonesia tercatat angka kematian ibu mencapai 305 per 100.000 kelahiran hidup, yang mengindikasikan bahwa pemantauan kesehatan ibu hamil masih menjadi tantangan besar, terutama dalam deteksi dini kondisi berisiko seperti hipertensi, preeklamsia, anemia, dan diabetes gestasional [1].

Pemantauan terhadap tanda-tanda vital ibu dan janin seperti denyut nadi, saturasi oksigen (SpO<sub>2</sub>), dan aktivitas janin sangat penting dilakukan secara berkala untuk mencegah keterlambatan penanganan. Namun, keterbatasan akses geografis, keterbatasan jumlah tenaga medis, serta rendahnya literasi kesehatan masih menjadi kendala

signifikan, terutama di wilayah 3T (Tertinggal, Terdepan, dan Terluar)[2] [3] [4].

Sebagai contoh, di wilayah Nusa Tenggara Timur, beberapa daerah hanya dapat dijangkau melalui jalur laut atau darat yang memakan waktu berjam-jam hingga berhari-hari [3]. Budaya lokal dan tingkat pendidikan yang rendah turut menghambat kesadaran akan pentingnya pemantauan rutin [4].

Untuk mengatasi kendala tersebut, diperlukan teknologi yang dapat menjangkau ibu hamil di berbagai kondisi infrastruktur. Salah satu pendekatan yang potensial adalah penggunaan sistem pemantauan kesehatan berbasis Bluetooth Low Energy (BLE). Teknologi ini memungkinkan transmisi data kesehatan secara efisien tanpa membutuhkan koneksi internet, sehingga sangat sesuai digunakan di wilayah dengan keterbatasan jaringan dan energi listrik. Perangkat berbasis BLE juga memiliki keunggulan dalam konsumsi daya yang rendah, mudah digunakan, serta dapat dihubungkan langsung ke smartphone atau perangkat medis di lapangan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pemantauan tanda-tanda vital ibu hamil yang bersifat portabel dan hemat energi, dengan tetap mempertahankan fungsionalitas dasar pemantauan awal terhadap kondisi berisiko

## II. KAJIAN TEORI

### A. Kehamilan

Kehamilan merupakan kondisi di mana seorang perempuan membawa janin yang berkembang dalam rahimnya selama sembilan bulan lamanya atau 280 hari. Kehamilan ini juga merupakan proses fisiologis alami, di mana terjadi serangkaian perubahan biologis dan tubuh seorang ibu untuk mendukung pertumbuhan serta perkembangan janin hingga persalinan tiba[5]. Ibu hamil perlu mendapatkan asupan nutrisi yang tepat serta melakukan pemeriksaan kesehatan secara rutin untuk mendeteksi adanya kelainan atau komplikasi sedini mungkin.

Kehamilan risiko tinggi membawa bahaya besar bagi ibu dan janin, dengan potensi menyebabkan komplikasi serius, penyakit, atau bahkan kematian sebelum atau sesudah persalinan [6] [7]. Lebih dari 90% kematian ibu disebabkan

oleh komplikasi obstetri selama masa kehamilan, persalinan, dan masa nifas. Kondisi ini sering kali muncul dari berbagai faktor, baik internal, seperti kesehatan fisik ibu, maupun eksternal, seperti akses terhadap fasilitas kesehatan. Faktor-faktor risiko utama yang sering dikaitkan dengan kehamilan risiko tinggi meliputi usia ibu, tingkat pendidikan, kekurangan energi kronis, dan saturasi hemoglobin [7]. Ibu yang terlalu muda atau terlalu tua lebih rentan mengalami komplikasi seperti preeklampsia dan kelahiran prematur. Selain itu, rendahnya saturasi hemoglobin dan kekurangan energi kronis dapat menyebabkan bayi lahir dengan berat badan rendah dan meningkatkan risiko komplikasi kehamilan. Rendahnya tingkat pendidikan juga berdampak negatif pada kesadaran ibu akan pentingnya menjaga kesehatan selama kehamilan, yang berpotensi menurunkan kepatuhan terhadap perawatan antenatal dan meningkatkan risiko komplikasi yang tidak terdeteksi [6].

### B. Tanda-Tanda Vital

Tanda-tanda vital merupakan salah satu parameter Kesehatan yang tidak bisa diabaikan, dikarenakan hal ini yang nantinya akan mencerminkan kondisi fisiologis ibu hamil serta kesejahteraan janin. Pemantauan parameter ini wajib diukur secara berkala untuk menghindari atau mencegah kemungkinan buruk yang terjadi, terutama bagi ibu hamil berisiko tinggi ataupun di wilayah yang memiliki akses terbatas ke layanan Kesehatan. Tiga indikator utama yang menjadi fokus adalah denyut nadi, saturasi oksigen (SpO<sub>2</sub>), dan aktivitas janin.

Denyut nadi akan menunjukkan jumlah detak jantung ibu per menit yang akan menjadi salah satu indikator penting pada kisaran 68-115 denyut per menit. Apabila denyut nadi turun hingga berada di angka kurang dari 68 denyut per menit, hal ini menunjukkan adanya gangguan pada fungsi kardiovaskular atau metabolisme yang melambat. Sebaliknya, jika lebih dari angka 115 denyut/menit maka menjadi tanda stress fisik, dehidrasi, atau anemia, bahkan hipertensi.

Kemudian, saturasi oksigen merupakan indikator dalam kemampuan system pernapasan ibu dalam mendistribusikan oksigen ke seluruh tubuh dan juga janin, dimana, nilai normal saturasi oksigen adalah diatas 97%, yang menunjukkan bahwa hemoglobin dalam darah mengangkut oksigen secara efisien. Apabila saturasi oksigen dibawah 93% mengindikasikan hipoksia atau kekurangan oksigen yang akan membahayakan janin dalam Rahim ibu dan bisa mengakibatkan terhambatnya pertumbuhan janin, komplikasi kehamilan, hingga kelahiran prematur.

Selanjutnya, ada aktivitas janin yang merupakan salah satu tanda penting lainnya untuk kesejahteraan janin di dalam Rahim. Aktivitas janin biasanya mulai terasa pergerakannya diusia kehamilan 16 minggu, dengan jumlah gerakan yang dianggap normal adalah minimal 10 gerakan setiap 12 jam dan jika aktivitas janin kurang dari 4 gerakan dalam satu jam, maka pergerakan akan dihitung ulang di jam berikutnya [8]. Penurunan aktivitas janin yang signifikan atau tidak adanya pergerakan sama sekali dapat menjadi indikasi adanya gangguan seperti hipoksia maupun risiko lainnya. Dengan memantau aktivitas janin secara rutin, ibu hamil dapat segera mencari bantuan medis jika mendeteksi perubahan pola Gerakan atau aktivitas janin.

### C. Perangkat Pemantauan Vital

Perangkat pemantauan vital terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu mikrokontroler, sensor denyut nadi dan saturasi oksigen dan sensor aktivitas janin. Mikrokontroler merupakan sebuah computer kecil dalam satu chip yang bertujuan untuk mengendalikan perangkat dan system dimana bekerja dengan menerima input dari sensor atau perangkat lain, kemudian nantinya data diproses menggunakan prosesor internal, dan memberikan output yang sesuai untuk mengontrol perangkat tujuan [9]. Komponen utama dari mikrokontroler yaitu CPU (Central Processing Unit) yang berfungsi untuk menjalankan instruksi program, kemudian memori untuk penyimpanan sementara dan ROM/Flash untuk program, dan perangkat input/output yang berfungsi menerima data atau mengirimkan sinyanya

Sensor denyut nadi dan saturasi oksigen merupakan perangkat penting dalam pemantauan kesehatan, khususnya untuk mengukur denyut nadi dan tingkat saturasi oksigen (SpO<sub>2</sub>) dalam darah, dimana umumnya bekerja menggunakan prinsip fotopletismografi (PPG), yaitu dengan mendeteksi perubahan volume darah berdasarkan intensitas cahaya yang diserap oleh jaringan tubuh. sensor ini berfungsi untuk memantau kondisi kesehatan ibu dan mendeteksi potensi masalah pernapasan atau sirkulasi darah dan sangat penting untuk mendukung pengambilan keputusan medis lebih cepat dan tepat.

Sensor aktivitas janin digunakan untuk memantau gerakan dan aktivitas janin dalam kandungan, yang mana merupakan indikator kesehatan janin dan perkembangan selama kehamilan. Sensor ini bekerja dengan mendeteksi perubahan tekanan, getaran, atau gerakan menggunakan teknologi seperti accelerometer atau sensor tekanan piezoelektrik. Aktivitas janin yang normal menunjukkan kondisi kesehatan yang baik, sedangkan penurunan atau ketidakteraturan aktivitas dapat menjadi tanda adanya gangguan pada janin. Penggunaan sensor ini mendukung pemantauan jarak jauh dan real-time untuk membantu tenaga medis dan ibu hamil dalam mengawasi perkembangan janin. Berikut merupakan cara kerja dari beberapa sensor untuk aktivitas janin.

### D. Teknologi Low Energy

Teknologi *Low Energy* merujuk pada pendekatan desain serta pengembangan system yang berfokus pada efisiensi konsumsi energi, terutama untuk perangkat elektronik yang bersifat portable dan nirkabel. Teknologi *Low Energy* ini dirancang agar dapat beroperasi dalam waktu lama walaupun memiliki sumber daya yang terbatas. Salah satu contohnya adalah Bluetooth *Low Energy* (BLE), yang memungkinkan transfer data secara efisien dengan konsumsi daya yang jauh lebih rendah dibandingkan teknologi serupa.

Bluetooth Low Energy (BLE) adalah teknologi komunikasi nirkabel yang dirancang untuk aplikasi yang memerlukan konsumsi daya rendah, seperti pemantauan kesehatan dan kebugaran. Dimana BLE memungkinkan perangkat dari berbagai produsen untuk saling berkomunikasi. Perangkat juga dapat beroperasi selama berbulan-bulan atau bahkan bertahun-tahun dengan baterai kecil. BLE ini juga menggunakan enkripsi serta otentikasi untuk melindungi data yang sensitive. Bluetooth Low Energy beroperasi pada pita 2,4 GHz yang dapat menyebabkan interferensi elektromagnetik (EMI) dengan perangkat lain. Bluetooth ini memiliki bandwidth 1 Mbps

dengan jangkauan 15 hingga 30 m [10]. BLE memiliki teknik penghindaran interferensi, dimana menggunakan teknik frekuensi hopping untuk menghindari interferensi dengan perangkat lain dengan melompat antara 37 saluran. Oleh karena itu, BLE dipilih karena mampu menjaga konektivitas dengan konsumsi daya minimal, menjadikannya cocok untuk aplikasi TTV portable di wilayah dengan keterbatasan infrastruktur.

#### E. Teknologi Pemantauan Kesehatan Ibu Hamil

Teknologi pemantauan kesehatan ibu hamil telah berkembang pesat seiring dengan meningkatnya kebutuhan untuk mendeteksi dini risiko komplikasi kehamilan, terutama pada ibu hamil dengan kondisi berisiko tinggi. Berbagai solusi teknologi, mulai dari perangkat wearable hingga aplikasi berbasis telemedicine, telah dirancang untuk memantau tanda-tanda vital seperti denyut nadi, saturasi oksigen ( $SpO_2$ ), aktivitas janin, dan parameter kesehatan lainnya. Berikut merupakan tabel perbandingan cara kerja dari setiap teknologi pemantauan kesehatan ibu hamil yang telah ada.

### III. METODE

#### A. Desain Sistem

Sistem pemantauan kesehatan ibu hamil dirancang untuk mengukur dan memantau tanda-tanda vital ibu hamil, seperti denyut nadi, oksigenasi darah, serta aktivitas janin, menggunakan berbagai sensor. Sistem ini terintegrasi dengan aplikasi mobile untuk memudahkan pemantauan secara real-time, terutama untuk ibu hamil di daerah yang sulit dijangkau atau 3T (terpencil, terluar, dan tertinggal).



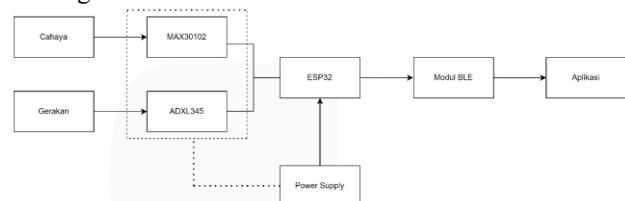
GAMBAR 1

1. Identifikasi dan Pengumpulan Data: proses identifikasi kebutuhan sistem berdasarkan parameter tanda-tanda vital yang relevan untuk dipantau pada ibu hamil, yaitu denyut nadi, tingkat saturasi oksigen dalam darah ( $SpO_2$ ), dan aktivitas janin dalam kandungan. Untuk memenuhi kebutuhan ini, digunakan dua jenis sensor: MAX30102 yang berfungsi mengukur denyut nadi dan  $SpO_2$ , serta ADXL345
2. Perancangan Hardware dan Program: merupakan proses desain sistem perangkat keras dan lunak berbasis mikrokontroler ESP32, yang berperan sebagai pusat pemrosesan. ESP32 akan membaca data dari sensor MAX30102 dan ADXL345, lalu mengolahnya menjadi informasi denyut nadi, saturasi oksigen, dan jumlah gerakan janin. Hasil pengukuran dikirimkan secara langsung ke dalam aplikasi android melalui koneksi BLE.
3. Pengujian: melibatkan verifikasi pembacaan data sensor secara akurat oleh ESP32, serta pengiriman data yang konsisten ke aplikasi Android melalui koneksi BLE. Selain itu, stabilitas pengolahan dan transmisi data diuji dalam berbagai kondisi penggunaan untuk memastikan perangkat dapat beroperasi dengan andal dalam konteks pemantauan kesehatan ibu hamil secara real-time.
4. Evaluasi Perangkat Keras dan Perangkat Lunak: untuk mengukur performa perangkat keras dan perangkat lunak dari sisi konsumsi energi dan efisiensi operasional yang bertujuan untuk memastikan bahwa sistem benar-benar

low energy, sehingga dapat digunakan dalam jangka waktu lama dengan kapasitas baterai yang terbatas, terutama untuk kebutuhan pemantauan ibu hamil di daerah minim infrastruktur listrik. Pengujian dilakukan dengan mencatat besar daya (watt), tegangan (volt) dan arus (ampere) yang digunakan oleh mikrokontroler ESP32 dan sensor saat proses pengukuran serta pengiriman data melalui koneksi Bluetooth Low Energy (BLE). Dari data tersebut, dilakukan perhitungan konsumsi daya total serta efisiensi energi sistem selama siklus kerja berlangsung

5. Analisis dan Kesimpulan: Tahap akhir adalah menganalisis hasil pengujian dan evaluasi untuk menentukan keberhasilan sistem dalam memenuhi tujuan desain. Data dari seluruh komponen—termasuk ESP32, sensor MAX30102, ADXL345, dan modul BLE—dikaji untuk memastikan bahwa sistem mampu mendeteksi dan mengirim informasi tanda-tanda vital secara akurat dan efisien ke aplikasi Android. Berdasarkan hasil tersebut, disimpulkan apakah perangkat layak digunakan sebagai sistem pemantauan kesehatan ibu hamil yang portable, hemat daya, dan dapat diandalkan, khususnya untuk penggunaan di daerah minim infrastruktur kesehatan.

#### B. Diagram Blok dan Alur Sistem



GAMBAR 2

Alur sistem dari perangkat pemantauan ini dirancang untuk mengintegrasikan beberapa komponen sensorik dan pemrosesan data guna memperoleh informasi kesehatan ibu hamil secara real-time. Proses dimulai dari tahap akuisisi data menggunakan dua sensor utama, yaitu MAX30102 untuk pengukuran denyut nadi dan saturasi oksigen ( $SpO_2$ ), serta ADXL345 untuk mendeteksi aktivitas gerakan. Sensor MAX30102 bekerja berdasarkan prinsip fotoplethismografi (PPG), dengan cara memancarkan cahaya merah dan inframerah ke kulit, kemudian mengukur pantulan cahaya tersebut untuk mengetahui perubahan volume darah. Sementara itu, ADXL345 digunakan untuk mendeteksi perubahan akselerasi tiga sumbu (x, y, z) yang mencerminkan adanya pergerakan tubuh, termasuk aktivitas janin.

Data dari kedua sensor tersebut diteruskan ke mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pemrosesan sistem. ESP32 bertugas membaca sinyal dari sensor, mengolah data mentah, dan menghitung nilai parameter fisiologis yang diperlukan. Setelah data diproses, ESP32 mengirimkan hasil pengukuran secara nirkabel menggunakan koneksi Bluetooth Low Energy (BLE). Data ini kemudian diterima oleh aplikasi mobile yang telah dirancang khusus untuk menampilkan hasil monitoring secara interaktif dan mudah dipahami oleh pengguna maupun tenaga medis.

#### C. Desain Perangkat Keras

Desain perangkat keras dari sistem pemantauan tanda-tanda vital (TTV) Low Energy dirancang menggunakan aplikasi desain daring Auto Fusion dengan pendekatan visual

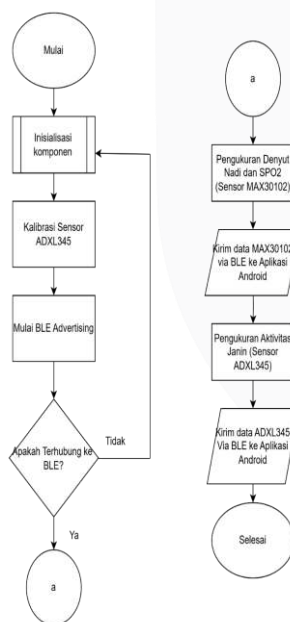
yang merepresentasikan keseluruhan bentuk dan fungsi perangkat. Material utama yang digunakan adalah plastik ringan yang dicetak menggunakan teknik 3D printing, yang berfungsi melindungi komponen elektronik sekaligus menjaga portabilitas dan kenyamanan penggunaan oleh ibu hamil. Bentuk casing mengungkus desain persegi panjang yang ringkas dan ergonomis, dilengkapi slot dan lubang yang dirancang khusus sesuai dengan kebutuhan sensor dan antarmuka pengguna, dengan dimensi perangkat sebesar 9 cm × 6.5 cm × 4.8 cm.

Bagian kiri perangkat dilengkapi dengan lubang konektor untuk kabel sensor MAX30102 yang nantinya akan ditempelkan ke jari pengguna. Di sisi kanan, terdapat tombol geser sebagai saklar ON/OFF daya, yang memudahkan pengguna dalam mengaktifkan atau mematikan sistem.

Pada bagian bawah perangkat, sensor ADXL345 diposisikan secara langsung menghadap tubuh dan dilapisi dengan busa EVA (ethylene vinyl acetate) sebagai pelindung. Lapisan ini berfungsi untuk meningkatkan kenyamanan pengguna, khususnya ibu hamil, dengan mencegah tekanan langsung dari permukaan keras ke kulit. Penempatan sensor ini memungkinkan deteksi gerakan janin secara akurat saat dipasang pada perut melalui belt khusus yang tersambung ke perangkat. Secara keseluruhan, desain alat ini telah direalisasikan menjadi satu kesatuan yang utuh dan ergonomis.

#### D. Perancangan Algoritma Program dan Pengolahan Data

Berikut adalah *flowchart* dari perancangan algoritma perangkat TTV *Low Energy*.



GAMBAR 4

Dalam pengembangan perangkat pemantauan kesehatan, akurasi data merupakan parameter kritis. Data mentah (*raw data*) yang dihasilkan oleh sensor MAX30102 sering kali memiliki penyimpangan non-linear maupun linear jika dibandingkan dengan alat medis standar (*gold standard*). Oleh karena itu, diperlukan tahapan kalibrasi untuk memetakan nilai pembacaan sensor agar mendekati nilai referensi yang sebenarnya. Metode yang digunakan dalam

penelitian ini adalah analisis regresi statistik, yang bertujuan untuk mencari persamaan matematis (fungsi transfer) terbaik antara data sensor dan alat ukur standar. Berikut adalah model persamaan regresi yang diterapkan untuk parameter Detak Jantung (*Heart Rate*) dan Saturasi Oksigen (*SpO2*).

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Pengujian Sensor MAX30102 (Denyut Nadi dan $SpO_2$ )

Dalam pengembangan sistem monitoring denyut nadi dan kadar oksigen dalam darah ( $SpO_2$ ) berbasis sensor MAX30102, diperlukan validasi akurasi terhadap perangkat medis standar untuk memastikan keandalan data yang dihasilkan. Salah satu pendekatan yang umum digunakan adalah membandingkan hasil pengukuran dari sensor dengan alat referensi medis, dalam hal ini oksimeter merk GEA. Karena perbedaan karakteristik perangkat dan sensitivitas sensor, sering kali ditemukan deviasi antara hasil pengukuran keduanya.

#### 1. Analisis Regresi untuk Kalibrasi *Heart Rate* (HR)

Berdasarkan perhitungan koefisien yang telah dilakukan, berhasil dibentuk sebuah model regresi kuadratik yang berfungsi sebagai fungsi kalibrasi dengan persamaan sebagai berikut:

$$\hat{Y} = 0.0023X^2 - 0.158X + 72.666 \quad (1)$$

Dimana:

- $\hat{Y}$  adalah nilai prediksi denyut nadi yang telah dikalibrasi.
- $X$  adalah nilai denyut nadi aktual yang dibaca oleh sensor MAX30102.

Model ini kemudian diimplementasikan pada sistem untuk mengoreksi setiap pembacaan dari sensor MAX30102 secara real-time. Untuk mengilustrasikan implementasi praktisnya, misalnya pada pengukuran aktual sensor MAX30102 ( $X$ ) membaca 150 bpm, maka nilai yang akan ditampilkan sistem setelah kalibrasi ( $\hat{Y}$ ) adalah:

$$\hat{Y} = 0.0023X^2 - 0.158X + 72.666 \quad (2)$$

$$\hat{Y} = 0.0023(22500) - 0.158(150) + 72.666 \quad (3)$$

$$\hat{Y} = 50.625 - 23.7 + 72.666 = 99.6 \text{ bpm} \quad (4)$$

Hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa sistem akan menampilkan estimasi nilai HR sebesar 99.6 bpm. Menggunakan persamaan tersebut, diperoleh tingkat akurasi sebesar 84,38%. Nilai ini menunjukkan bahwa model regresi kuadratik yang dibangun mampu memetakan hubungan antara keluaran sensor MAX30102 dan nilai denyut nadi dari oksimeter referensi dengan cukup baik. Meskipun akurasi yang dihasilkan belum berada pada tingkat sangat tinggi, hasil ini membuktikan bahwa model kalibrasi mampu meningkatkan kesesuaian pembacaan sensor secara signifikan dibandingkan data mentah.

#### 2. Analisis Regresi untuk Kalibrasi Kadar Oksigen

Dilakukan kalibrasi parameter  $SpO_2$  menggunakan model regresi linear. Berdasarkan perhitungan *slope* dan *intercept*, diperoleh fungsi transfer sebagai berikut:

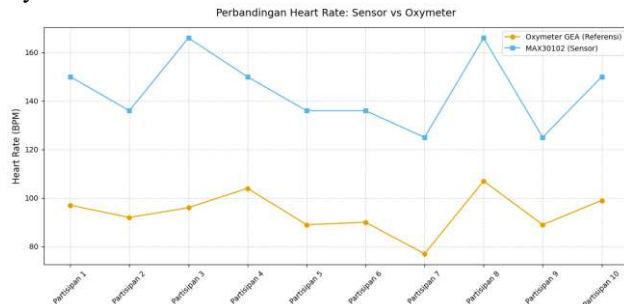
$$\hat{Y} = 0.221X + 76.612 \quad (5)$$

Dimana  $Y$  adalah nilai  $SpO_2$  terkalibrasi dan  $X$  adalah nilai mentah dari sensor MAX30102. Implementasi persamaan ini memungkinkan sistem melakukan koreksi *real-time* untuk menghasilkan nilai saturasi oksigen yang valid secara klinis. Berdasarkan pengujian validasi, model ini berhasil mencapai tingkat akurasi sebesar 98,24%, yang

memastikan bahwa alat dapat diandalkan untuk pemantauan saturasi oksigen ibu hamil.

### 3. Analisis dan Evaluasi Akurasi Sensor untuk *Heart Rate* (HR)

Analisis ini bertujuan untuk mengevaluasi secara kritis performa alat ukur detak jantung (*Heart Rate*) pada perangkat Pregmon dengan membandingkannya terhadap Oxymeter yang berfungsi sebagai standar referensi. Pengujian dilakukan pada 10 partisipan ibu hamil trimester ketiga. Data yang digunakan dalam analisis ini merupakan data hasil pengukuran langsung (raw data), tanpa penerapan metode regresi, koreksi matematis, maupun proses kalibrasi tambahan. Berikut adalah perbandingan *Heart Rate*: Sensor vs Oxymeter



GAMBAR 5

Berdasarkan interpretasi visual tersebut, dapat disimpulkan bahwa permasalahan utama pengukuran *Heart Rate* tidak terletak pada kemampuan sensor dalam mengikuti fluktuasi detak jantung, melainkan pada akurasi nilai absolut akibat adanya pergeseran nilai (offset) terhadap alat referensi. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi lanjutan menggunakan metrik kinerja kuantitatif guna mengonfirmasi temuan visual tersebut. Analisis kuantitatif memungkinkan pengukuran tingkat kesalahan secara numerik serta memberikan dasar yang lebih kuat dalam menilai performa sensor dari sisi teknis maupun implikasi klinis. Untuk tujuan ini, digunakan beberapa parameter evaluasi kesalahan pengukuran, salah satunya adalah Absolute Percentage Error (APE), yang selanjutnya dilengkapi dengan metrik kesalahan absolut lainnya.

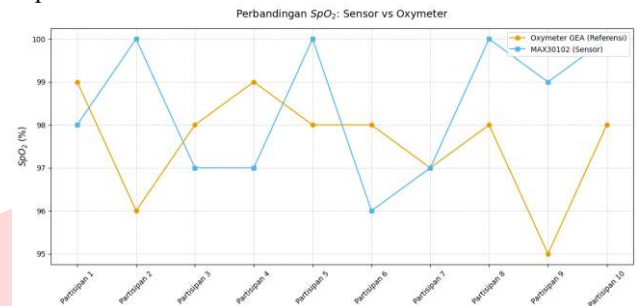
Untuk *Mean Absolute Rate* (MAE), berdasarkan hasil pengolahan data, diperoleh nilai *Mean Absolute Error* (MAE) sebesar 50 BPM yang menunjukkan bahwa secara rata-rata terdapat selisih yang cukup besar antara hasil pengukuran *Heart Rate* sensor dan nilai yang diukur oleh Oxymeter. Hal ini menunjukkan perlunya perbaikan pada aspek kalibrasi dan pemrosesan sinyal agar selisih pengukuran dapat diminimalkan

Untuk *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), dengan nilai MAE sebesar 50 BPM dan rata-rata pengukuran referensi sebesar 94,0 BPM, diperoleh nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) sebesar 34,565%. Nilai ini melampaui ambang batas toleransi yang umum digunakan pada instrumentasi medis dan perangkat wearable, yang biasanya berada di kisaran 10%. Besarnya nilai MAPE menunjukkan bahwa persentase penyimpangan hasil pengukuran sensor terhadap nilai referensi masih tergolong tinggi. Hal ini menegaskan bahwa sistem pengukuran *Heart Rate* pada kondisi saat ini belum memiliki reliabilitas yang

memadai untuk penggunaan klinis, khususnya dalam pemantauan kontinu tanpa supervisi tenaga medis.

### 4. Analisis dan Evaluasi Akurasi Sensor untuk Kadar O<sub>2</sub> (SpO<sub>2</sub>)

Pembahasan diawali dengan analisis visual grafik, kemudian dilanjutkan dengan evaluasi kuantitatif berdasarkan data pengukuran. Berikut adalah sata analisis visual performa alat.



GAMBAR 6

Berdasarkan grafik perbandingan, terlihat bahwa kurva hasil pengukuran SpO<sub>2</sub> oleh sensor berada relatif dekat dengan kurva Oximeter pada sebagian besar partisipan. Secara visual, perbedaan antara kedua kurva cenderung kecil dan tidak menunjukkan pola penyimpangan ekstrem. Hal ini mengindikasikan bahwa sensor mampu menangkap nilai saturasi oksigen dengan kecenderungan yang searah dengan alat referensi. Dan berdasarkan pengukuran alat referensi, kondisi saturasi oksigen kesepuluh partisipan ibu hamil berada dalam rentang normal fisiologis ( $\geq 95\%$ ) atau kondisi normoksia. Respons sensor terhadap variasi nilai SpO<sub>2</sub> juga terlihat stabil, ditunjukkan dengan minimnya fluktuasi tajam antarpartisipan. Tidak terlihat adanya keterlambatan respons (lag) yang signifikan antara kedua kurva, yang menunjukkan bahwa sensor memiliki performa dasar yang cukup baik dalam mendeteksi perubahan saturasi oksigen.

Berdasarkan hasil pengolahan data, diperoleh nilai MAE sebesar 2%. MAE yang rendah pada pengujian ini lebih merepresentasikan kestabilan pengukuran pada kondisi normal, dan belum dapat digunakan sebagai indikator sensitivitas sensor terhadap perubahan nilai SpO<sub>2</sub> yang ekstrem.

Berdasarkan hasil pengolahan data, dengan nilai MAE sebesar 2% dan rata-rata nilai referensi sebesar 97,6%, diperoleh nilai Mean Absolute Percentage Error (MAPE) sebesar 2,024%. Nilai ini menunjukkan bahwa secara persentase, penyimpangan pengukuran berada dalam batas toleransi yang baik. Secara umum, MAPE pada kisaran ini menggambarkan performa sistem yang cukup akurat pada kondisi fisiologis normal. Namun demikian, seperti halnya MAE, nilai MAPE yang rendah cenderung merepresentasikan performa rata-rata sistem dan belum sepenuhnya menggambarkan kemampuan sensor dalam mendeteksi perubahan saturasi oksigen yang bersifat kritis. Metrik ini kurang sensitif terhadap kejadian khusus, seperti penurunan saturasi (desaturasi), sehingga potensi keterbatasan respons dinamis sensor masih perlu diperhatikan.

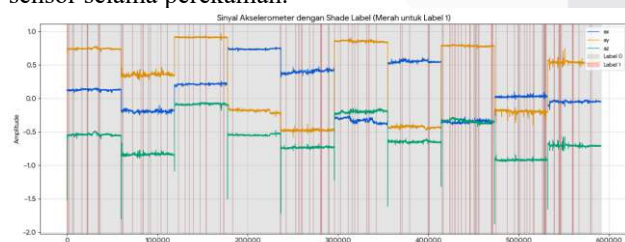
Berdasarkan grafik perbandingan, terlihat bahwa kurva hasil pengukuran SpO<sub>2</sub> oleh sensor berada relatif dekat dengan kurva Oximeter pada sebagian besar partisipan.

Secara visual, perbedaan antara kedua kurva cenderung kecil dan tidak menunjukkan pola penyimpangan ekstrem. Hal ini mengindikasikan bahwa sensor mampu menangkap nilai saturasi oksigen dengan kecenderungan yang searah dengan alat referensi. Dan berdasarkan pengukuran alat referensi, kondisi saturasi oksigen kesepuluh partisipan ibu hamil berada dalam rentang normal fisiologis ( $\geq 95\%$ ) atau kondisi normoksia. Respons sensor terhadap variasi nilai SpO<sub>2</sub> juga terlihat stabil, ditunjukkan dengan minimnya fluktuasi tajam antarpartisipan. Tidak terlihat adanya keterlambatan respons (lag) yang signifikan antara kedua kurva, yang menunjukkan bahwa sensor memiliki performa dasar yang cukup baik dalam mendeteksi perubahan saturasi oksigen.

## B. Analisis dan Klasifikasi Aktivitas Janin Berbasis Machine Learning

Penelitian ini melakukan transformasi metodologis yang signifikan, beralih dari pendekatan konvensional berbasis ambang batas (*thresholding*) statis menuju pendekatan berbasis data menggunakan algoritma *Machine Learning*, khususnya *Random Forest Classifier*. Secara spesifik, implementasi deteksi dilakukan melalui metode *Batch Processing* dengan menerapkan teknik *Sliding Window* berukuran 50 data poin untuk menangkap pola temporal sinyal akselerometer. Untuk memperkuat akurasi klasifikasi, dilakukan ekstraksi fitur statistik yang komprehensif pada setiap *window*, meliputi perhitungan nilai Mean, Standard Deviation, Minimum, Maximum, dan Root Mean Square (RMS) pada ketiga sumbu (x, y, dan z). Kombinasi ini menghasilkan total 15 fitur input yang digunakan oleh model untuk membedakan pola gerakan. Pendekatan ini bertujuan meningkatkan sensitivitas sistem dalam mengidentifikasi sinyal gerakan janin yang halus serta mengatasi tantangan ketidakseimbangan data yang kerap terjadi dalam pemantauan aktivitas janin.

Data primer penelitian ini bersumber dari serangkaian perekaman sinyal akselerasi tiga sumbu (x, y, dan z) yang ditempatkan pada dinding perut ibu hamil. Dinamika sinyal tersebut divisualisasikan pada Gambar 4.C, di mana area merah (Label 1) menandai fluktuasi gerakan janin, sementara area abu-abu (Label 0) menunjukkan kondisi diam atau gerakan ibu. Perubahan level sinyal yang bertingkat mengindikasikan adanya pergeseran posisi ibu atau orientasi sensor selama perekaman.



GAMBAR 7

Implementasi *Machine Learning* pada sistem *Pregmon* telah membuktikan efektivitasnya dalam mengatasi keterbatasan metode deteksi konvensional. Dengan capaian Akurasi Total 99,89% dan Recall Gerakan Janin 90%, sistem ini menawarkan solusi pemantauan yang menjanjikan. Keunggulan utama dari pendekatan ini adalah kemampuannya beradaptasi dengan karakteristik sinyal yang

kompleks melalui pembelajaran pola multidimensi, bukan sekadar melihat amplitudo puncak. Strategi pembobotan kelas (*balanced weights*) terbukti sukses mencegah model mengabaikan gerakan janin yang jarang terjadi, masalah klasik dalam analisis data medis yang tidak seimbang.

Secara spesifik, pada kondisi saat sensor tidak mendeteksi gerakan janin (Label 0) yang mencakup fase istirahat janin, aktivitas pernapasan ibu, atau artefak pergeseran tubuh, algoritma tidak sekadar mengabaikan sinyal, melainkan melakukan analisis fitur statistik (seperti Mean, Standard Deviation, dan RMS) dalam jendela waktu 50 sampel untuk memvalidasi ketiadaan gerakan. Keandalan sistem dalam fase "diam" ini terbukti dari evaluasi *Confusion Matrix*, di mana dari total 175.603 sampel data non-gerakan, sistem berhasil mengidentifikasi 175.582 data secara tepat sebagai kondisi diam (*True Negative*). Hanya tercatat 21 kejadian alarm palsu (*False Positive*), yang menunjukkan bahwa sistem memiliki spesifisitas yang sangat tinggi dalam membedakan antara aktivitas janin sesungguhnya dengan gangguan sinyal latar belakang (*noise*).

Secara klinis, sistem ini siap berfungsi sebagai alat skrining mandiri (*self-screening tool*). Tingkat presisi 99% menjamin bahwa ibu hamil tidak akan dibuat cemas oleh alarm palsu, sementara tingkat sensitivitas 90% memastikan bahwa profil aktivitas janin harian dapat terekam dengan akurasi yang memadai untuk mendeteksi tren penurunan aktivitas (*decreased fetal movement*) yang sering menjadi tanda awal kegawatan janin (*fetal distress*).

## C. Evaluasi Kinerja ESP32 dan Konsumsi Daya

Pengujian konsumsi daya pada perangkat dilakukan untuk menilai efisiensi energi sistem dalam dua kondisi operasi utama, yaitu Mode Aktif dan Mode Siaga. Evaluasi ini krusial untuk memastikan perangkat dapat beroperasi secara optimal menggunakan sumber daya baterai portabel. Sistem catu daya pada perangkat ini dirancang menggunakan konfigurasi dua buah baterai Lithium-Ion 18650 yang disusun secara seri. Setiap baterai memiliki tegangan nominal 3,7V dan kapasitas 1200 mAh, sehingga menghasilkan tegangan total sistem sebesar 7,4V dengan kapasitas total 1200 mAh. Untuk menjaga keamanan dan stabilitas daya, rangkaian baterai dilengkapi dengan BMS (*Battery Management System*) 2S dan modul *Step-down LM2596* untuk menurunkan tegangan 7,4V menjadi tegangan kerja yang dibutuhkan oleh ESP32 dan sensor.

Dalam analisis ini, akan dilakukan perbandingan antara perhitungan teoritis durasi operasional berdasarkan kapasitas baterai dengan durasi operasional aktual yang terukur selama pengujian.

Berdasarkan hasil penelitian, terlihat adanya perbedaan (*disparitas*) yang signifikan antara perhitungan teoritis dan hasil aktual di lapangan. Pada Mode Aktif, perhitungan teoritis menunjukkan durasi 15 jam 3 menit, sedangkan hasil aktual hanya 5 jam 19 menit. Perbedaan ini disebabkan oleh penggunaan topologi konversi daya dan karakteristik komponen yang digunakan:

- Penggunaan *Step-Down Converter (LM2596)*: Sistem menggunakan modul LM2596 untuk menurunkan tegangan baterai (7,4V) ke tegangan sistem. Modul regulator ini tidak memiliki efisiensi 100%. Sebagian energi dari baterai terbuang menjadi panas (*heat dissipation*) selama proses penurunan

tegangan. Efisiensi LM2596 umumnya berkisar antara 70-80% tergantung pada perbedaan tegangan input-output dan beban arus. Hal ini menyebabkan kapasitas baterai tidak sepenuhnya terkonversi menjadi energi untuk beban.

- Sistem BMS dan Cut-off Voltage: Baterai disusun secara seri dengan proteksi BMS 2S. BMS akan memutuskan daya (cut-off) apabila tegangan salah satu sel baterai menyentuh batas bawah (sekitar 3.0V - 3.2V) untuk mencegah kerusakan sel. Dalam pengujian nyata, tegangan cut-off ini seringkali tercapai lebih cepat saat baterai diberi beban konstan, sehingga sisa kapasitas teoretis tidak dapat dikuras hingga benar-benar 0 mAh.
- Konsumsi Daya Mode Siaga yang Tinggi: Analisis juga menunjukkan bahwa Mode Siaga mengonsumsi arus lebih tinggi (85,4 mA) dibandingkan Mode Aktif (79,7 mA). Fenomena ini terjadi karena pada Mode Siaga, protokol BLE bekerja intensif melakukan advertising (memancarkan sinyal terus-menerus) agar perangkat dapat ditemukan oleh aplikasi. Sebaliknya, pada Mode Aktif (terhubung), protokol BLE dapat memasuki fase sleep singkat di antara interval pengiriman paket data, yang secara efektif menurunkan rata-rata konsumsi arus.

#### D. Analisis Portabilitas

Analisis portabilitas bertujuan untuk memverifikasi kelayakan perangkat sebagai alat medis wearable yang mampu mendukung pemantauan janin secara mandiri di luar fasilitas klinis. Mengingat perangkat ini dirancang untuk digunakan oleh ibu hamil, aspek kenyamanan fisik dan kemudahan penggunaan menjadi prioritas utama untuk meminimalkan beban biomekanik dan kognitif pengguna.

Evaluasi dilakukan melalui pendekatan dua tahap (triangulasi data):

1. **Evaluasi Objektif (Teknis):** Analisis pemenuhan indikator fisik (berat, dimensi, material) berdasarkan standar ergonomi dan perbandingan dengan perangkat medis komersial (benchmarking). Analisa kelayakan bisnis dijabarkan sebagai berikut:

a. **Analisis Berat (Weight Analysis):** Mengacu pada standar Canadian Centre for Occupational Health and Safety (CCOHS) [11] untuk desain alat kerja presisi, batas berat yang disarankan untuk mencegah kelelahan otot adalah di bawah 500 gram. Dengan berat 245 gram, perangkat ini berada jauh di bawah ambang batas tersebut. Selain itu, secara komparatif, perangkat ini 18% lebih ringan dibandingkan alat monitor janin portabel standar industri seperti Moyo Fetal Monitor (Laerdal Global Health) yang memiliki berat operasional  $\pm 300$  gram [12].

b. **Analisis Dimensi dan Penempatan (Size & Wearability):** Perangkat memiliki luas penampang kontak (footprint) sebesar 58,5 cm<sup>2</sup>. Ukuran ini 36% lebih ringkas dibandingkan kompetitor sejenis ( $\pm 92$  cm<sup>2</sup>), yang meminimalkan area tertutup pada kulit perut sehingga mengurangi risiko panas dan keringat. Penempatan perangkat di area abdomen menggunakan sabuk elastis juga telah sesuai dengan prinsip Design for Wearability [13], di mana penempatan beban di dekat pusat massa tubuh (Center of Mass) memberikan stabilitas maksimal dan mengurangi persepsi beban (perceived exertion) pada ibu hamil.

TABEL 1

Parameter	Kriteria/standar acuan	Perangkat Komersial	Spesifikasi Perangkat (Hasil)	Status Evaluasi
Berat Total	< 400 g (Standar K3 CCOHS)	$\pm 300$ g	245 g	Sangat Ringan (Memenuhi Standar)
Dimensi (Footprint)	Meminimalkan area kontak	96 x 96 mm (Luas: 92 cm <sup>2</sup> )	90 x 65 mm (Luas: 58.5 cm <sup>2</sup> )	Lebih Ringkas (Area kontak 36% lebih kecil)
Ergonomi Genggam	Lebar genggam 5–7 cm	-	Lebar: 6.5 cm	Ergonomis (Mudah digenggam satu tangan)
Lokasi Penempatan	Dekat Center of Mass	Abdomen	Abdomen (Perut)	Sesuai Prinsip Wearability
Fiksasi	Distribusi tekanan merata	Strap Standar	Sabuk Elastis Lebar	Stabil & Nyaman

2. **Evaluasi Subjektif (Persepsi Pengguna):** Validasi kenyamanan dan kemudahan penggunaan berdasarkan data kuantitatif (skor mean) dari hasil kuesioner responden. Hasil analisis teknis di atas divalidasi melalui survei kepuasan pengguna yang diukur menggunakan Skala Likert 5 poin. Dalam skala ini, rentang skor ditetapkan dari 1 (Sangat Tidak Setuju) hingga 5 (Sangat Setuju). Oleh karena itu, nilai rata-rata (mean) yang mendekati angka 5.00 mengindikasikan tingkat penerimaan yang sangat positif dari responden terhadap aspek yang dinilai. Berdasarkan rekapitulasi data, hasil validasi menunjukkan korelasi positif yang kuat antara spesifikasi teknis dengan kenyamanan yang dirasakan responden, sebagaimana dijabarkan berikut ini:

a. **Validasi Aspek Fisik dan Kenyamanan (Physical Ergonomics)** Aspek ergonomi fisik mendapatkan apresiasi tertinggi dengan skor rata-rata yang konsisten berada di rentang atas skala Likert (4.50 – 4.80), yang mengonfirmasi keberhasilan desain dalam hal portabilitas:

- **Kenyamanan Pemakaian:** Indikator ini memperoleh skor tertinggi secara keseluruhan (Mean: 4.80), mendekati skor maksimal 5.00. Responden menyatakan sangat

setuju bahwa mereka tidak merasa terganggu selama menggunakan alat, yang membuktikan bahwa berat 245 gram dan dimensi ringkas alat sangat nyaman digunakan.

- Dimensi dan Fiksasi: Evaluasi terhadap ukuran dan keamanan alat sama-sama meraih skor tinggi yaitu 4.70. Nilai ini menunjukkan bahwa dimensi alat dinilai tidak mengganggu aktivitas dan sabuk pengikat (fiksasi) terasa sangat aman serta tidak longgar. Hal ini diperkuat oleh skor stabilitas (Mean: 4.40) yang menunjukkan sabuk elastis mampu menjaga alat tetap stabil.
- Persepsi Berat: Dengan skor 4.60 pada skala Likert, responden memberikan validasi kuat bahwa alat terasa "ringan". Hal ini selaras dengan data teknis yang menempatkan alat ini jauh di bawah batas beban kerja maksimum.

b. **Validasi Aspek Mobilitas (Practicality)** Perangkat dinilai praktis untuk mendukung mobilitas harian. Tiga indikator utama yaitu kemudahan pemasangan, kenyamanan penggunaan durasi lama, dan kebebasan beraktivitas memperoleh skor identik sebesar 4.30. Dalam interpretasi skala Likert, nilai ini masuk dalam kategori "Setuju", yang mengindikasikan bahwa desain alat sudah cukup mendukung penggunaan mandiri di rumah tanpa menghambat gerak ibu hamil.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan proses perancangan, implementasi, hingga pengujian dan analisis data yang telah dilakukan terhadap perangkat pemantauan tanda-tanda vital (TTV) ibu hamil berbasis Bluetooth Low Energy (BLE) dan Machine Learning, dapat ditarik kesimpulan bahwa perancangan perangkat keras TTV berhasil diimplementasikan melalui integrasi mikrokontroler ESP32 dengan sensor MAX30102 untuk pengukuran denyut nadi dan SPO2, serta sensor ADXL345 untuk pendeteksian aktivitas janin, yang seluruhnya dikemas dalam casing hasil 3D printing ergonomis dengan sistem transmisi data nirkabel berbasis Bluetooth Low Energy (BLE) ke aplikasi Android. Berdasarkan pengujian terhadap target akurasi minimal 90%, perangkat menunjukkan hasil yang beragam secara parsial; parameter saturasi oksigen (SPO2) berhasil melampaui target dengan akurasi 97,976%, dan deteksi aktivitas janin juga mencapai target dengan akurasi total 99,89% berkat penerapan metode Machine Learning Random Forest Classifier yang menghasilkan nilai Recall 90% serta Precision 99%. Namun, parameter denyut nadi (heart rate) belum memenuhi target karena hanya mencapai akurasi 65,435% dengan rata-rata kesalahan absolut (MAE) sebesar 50 BPM, yang disebabkan oleh adanya bias positif sistematis pada sensor sehingga cenderung memberikan estimasi yang lebih tinggi dibandingkan alat referensi medis.

Berdasarkan pengujian terhadap kapasitas baterai dan sistem manajemen daya, ditemukan bahwa perangkat yang dirancang belum sepenuhnya mampu memenuhi target durasi operasional minimal 6 jam dalam mode portabel. Meskipun penggunaan baterai Li-Po berkapasitas 1200 mAh dengan konsumsi arus rata-rata 79,7 mA secara teoritis mampu mendukung operasional hingga 15 jam 3 menit, hasil pengujian aktual menunjukkan perangkat hanya bertahan selama 5 jam 19 menit dalam mode aktif. Kesenjangan yang signifikan antara perhitungan teoritis dan hasil riil ini mengindikasikan adanya inefisiensi daya pada komponen

regulator dan beban operasional sistem, sehingga durasi yang dicapai saat ini masih berada di bawah standar minimal yang ditetapkan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Diyan Indrayani, SST., S.Keb., Bd., M.Keb., Desi Trisiani, SKM., M.Kes., dan Elisabet Natalia S.Tr.Keb. atas dukungan, masukan medis, serta bantuannya dalam memfasilitasi proses pengambilan data dan pengujian alat selama penelitian ini berlangsung.

## REFERENSI

- [1] B. K. d. P. Publik, "Turunkan angka kematian ibu melalui deteksi dini dengan pemenuhan USG di Puskesmas."
- [2] K. K. Indonesia, "Kesenjangan Akses Kesehatan di Daerah Terpencil di Indonesia."
- [3] B. P. Statistik, "Statistik kesehatan ibu dan anak."
- [4] B. P. Statistik, "Pendidikan dan kesehatan di daerah 3T."
- [5] R. Sanjaya *et al.*, "Kehamilan tetap sehat di masa pandemi," *SELAPARANG: Jurnal Pengabdian Masyarakat Berkemajuan*, vol. 4, no. 3, pp. 631–634, 2021.
- [6] D. M. Sandy, "Upaya Peningkatan Pengetahuan Ibu Hamil Tentang Kehamilan Resiko Tinggi Di Praktik Mandiri Bidan Dwi Rahmawati Palembang: Efforts Increase Knowledge Of Pregnant Woman About High Risk Pregnancy In Pmb Dwi Rahmawati Palembang," *Jurnal Abdimas Pamenang*, vol. 1, no. 2, pp. 15–20, 2023.
- [7] M. A. Ratnaningtyas and F. Indrawati, "Karakteristik Ibu Hamil dengan Kejadian Kehamilan Risiko Tinggi," *HIGEIA (Journal of Public Health Research and Development)*, vol. 7, no. 3, pp. 334–344, 2023.
- [8] L. Mangesi, G. J. Hofmeyr, V. Smith, and R. M. D. Smyth, "Fetal movement counting for assessment of fetal wellbeing," *Cochrane Database of Systematic Reviews*, no. 10, 2015.
- [9] M. Malathi, P. Muthulakshmi, N. Patchiraja, R. Manickam, and s Chinnasami, "Exploring Various Applications of Micro Controller," in *Electrical and Automation Engineering*, vol. 1, 2022, pp. 47–53. doi: 10.46632/ea/1/1/8.
- [10] C. Liu, Y. Zhang, and H. Zhou, "A comprehensive study of bluetooth low energy," in *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing, 2021, p. 012021.
- [11] C. C. f. O. H. a. S. (CCOHS), "Hand Tool Ergonomics - Health Hazards," *Canadian Centre for Occupational Health and Safety (CCOHS)*, 2022.
- [12] L. G. Health, "Moyo Fetal Heart Rate Monitor: User Guide & Specifications," *Laerdal Global Health*.
- [13] F. Gemperle, C. Kasabach, J. Stivoric, M. Bauer, and R. Martin, "Design for wearability," in *digest of papers. Second international symposium on*

*wearable computers* (cat. No. 98EX215), IEEE, 1998, pp. 116–122.

