

ARTICLE

Integrasi Perangkat Fetal Doppler Dan Aplikasi Berbasis Iot Untuk Pemantauan Kesehatan Janin: Studi Pengembangan Dan Uji Kinerja

Integration of Fetal Doppler Devices and Iot-Based Applications for Fetal Health Monitoring: Development Study and Performance Testing

Sandy Ramadhan,* Felisitas Bina, dan Wisnu Adi Prasetyanto

Teknik Biomedis, Fakultas Teknik, Universitas Dian Nuswantoro, Semarang, Indonesia

*Penulis Korespondensi: 13202100153@mhs.dinus.ac.id

(Disubmit 19-08-25; Diterima 16-09-25; Dipublikasikan online pada 20-10-25)

Abstrak

Angka kematian janin di Indonesia masih tergolong tinggi sehingga diperlukan teknologi yang mampu mendukung deteksi dini kondisi janin secara efektif. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menguji kinerja fetal doppler berbasis Internet of Things (IoT) yang terintegrasi dengan aplikasi mobile untuk pemantauan kesehatan janin. Sistem yang dikembangkan terdiri atas perangkat keras (sensor piezoelektrik, mikrokontroler ESP32, LCD 16x2) dan perangkat lunak (aplikasi Flutter, basis data relasional, konektivitas Bluetooth Low Energy). Pengujian dilakukan pada ibu hamil dengan membandingkan hasil pembacaan detak jantung janin antara alat yang dirancang dan fetal doppler komersial. Parameter uji meliputi akurasi BPM, kestabilan sinyal, keterlambatan pengiriman data, serta pengalaman pengguna melalui kuesioner. Hasil pengujian menunjukkan rata-rata error sebesar 2,07% dengan akurasi mencapai 97,9%. Responden menyatakan alat mudah digunakan, nyaman, dan hasil pembacaan dapat diakses secara real-time melalui aplikasi. Penelitian ini menyimpulkan bahwa fetal doppler berbasis IoT yang dikembangkan berfungsi dengan baik, akurat, serta mendukung pemantauan jarak jauh oleh tenaga medis, meskipun keterbatasan jumlah responden masih perlu diperhatikan pada penelitian berikutnya.

Kata kunci: Fetal Doppler, Internet of Things, ESP32, monitoring janin, aplikasi Flutter

Abstract

The fetal mortality rate in Indonesia is still relatively high, so technology that can support early detection of fetal conditions is needed effectively. This study aims to develop and test the performance of an Internet of Things (IoT)-based fetal doppler integrated with a mobile application for fetal health monitoring. The developed system consists of hardware (piezoelectric sensor, ESP32 microcontroller, 16x2 LCD) and software (Flutter application, relational database, Bluetooth Low Energy connectivity). Testing was conducted on pregnant women by comparing fetal heart rate readings between the designed device and a commercial fetal doppler. Test parameters included BPM accuracy, signal stability, data transmission delay, and user experience through a questionnaire. The test results showed an average error of 2.07% with an accuracy of 97.9%. Respondents stated that the device is easy to use, comfortable, and the readings can be accessed in real time through the application. This study concludes that the developed IoT-based fetal doppler functions well, is accurate, and supports remote monitoring by medical personnel, although the limited number of respondents still needs to be considered in future research.

KeyWords: Fetal Doppler, Internet of Things, ESP32, fetal monitoring, Flutter app

This is an Open Access article - copyright on authors, distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (CC BY SA) (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

How to Cite: S. Ramadhan *et al.*, "Integrasi Perangkat Fetal Doppler Dan Aplikasi Berbasis Iot Untuk Pemantauan Kesehatan Janin: Studi Pengembangan Dan Uji Kinerja", *JIKO (JURNAL INFORMATIKA DAN KOMPUTER)*, Volume: 9, No.3, Pages 606–613, Oktober 2025, doi: 10.26798/jiko.v9i3.2148.

1. Pendahuluan

Kematian janin (*stillbirth*) masih menjadi masalah kesehatan yang serius baik di Indonesia maupun dunia. Berdasarkan data Kementerian Kesehatan Republik Indonesia tahun 2020, angka kematian janin mencapai sekitar 10 per 1.000 kelahiran hidup [1]. Secara global, Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) melaporkan terdapat lebih dari 2 juta kasus *stillbirth* setiap tahun dengan rata-rata 13,9 per 1.000 kelahiran hidup [2]. Kondisi ini menunjukkan pentingnya deteksi dini dan pemantauan kesehatan janin secara berkelanjutan untuk mencegah risiko komplikasi.

Salah satu perangkat medis yang banyak digunakan untuk memantau kondisi janin adalah *fetal doppler*, yaitu alat berbasis gelombang ultrasonik untuk mendeteksi denyut jantung janin [3, 4]. Namun, perangkat *fetal doppler* konvensional masih memiliki keterbatasan, di antaranya hanya dapat digunakan secara manual, tidak menyimpan data hasil pengukuran, serta belum mendukung pemantauan jarak jauh oleh tenaga medis [5]. Seiring perkembangan teknologi, integrasi *Internet of Things* (IoT) dalam bidang kesehatan telah membuka peluang baru dalam monitoring pasien secara *real-time*, termasuk dalam pemantauan kondisi janin [6, 7].

Beberapa penelitian sebelumnya telah mencoba mengembangkan *fetal doppler* berbasis IoT. Misalnya, penelitian [8, 9, 10] membangun sistem monitoring detak jantung janin berbasis Android, namun masih terbatas pada penyimpanan data lokal. Penelitian lain [11, 7] mengusulkan penggunaan sensor denyut nadi sebagai alternatif, namun akurasi masih rendah dibandingkan sensor berbasis piezoelektrik. Dengan demikian, masih terdapat celah penelitian terkait integrasi antara perangkat *fetal doppler*, aplikasi *mobile*, serta basis data yang memungkinkan penyimpanan, analisis, dan akses data secara *real-time*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan *fetal doppler* berbasis IoT yang terintegrasi dengan aplikasi *mobile* menggunakan *Flutter*. Sistem dirancang untuk mampu menangkap sinyal detak jantung janin, mengolahnya melalui mikrokontroler ESP32, menampilkan hasil pada LCD, serta mengirimkan data ke aplikasi melalui *Bluetooth Low Energy* (BLE). Kebaruan (*novelty*) dari penelitian ini terletak pada integrasi perangkat keras dan perangkat lunak yang tidak hanya menampilkan hasil secara langsung, tetapi juga menyimpan data secara terstruktur dalam basis data relasional untuk mendukung pemantauan jangka panjang dan komunikasi dua arah antara pasien dengan tenaga medis.

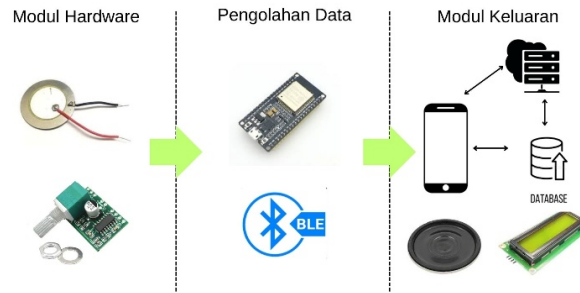
2. Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan rancang bangun dan uji kinerja *fetal doppler* berbasis *Internet of Things* (IoT). Sistem yang dikembangkan terdiri dari perangkat keras untuk akuisisi sinyal, perangkat lunak aplikasi *mobile* untuk pemantauan, serta basis data relasional untuk penyimpanan dan analisis data.

2.1 Rancangan Sistem

Sistem *fetal doppler* dirancang untuk menangkap sinyal audio detak jantung janin, mengubahnya menjadi sinyal analog, dan kemudian diproses oleh mikrokontroler ESP32. Sinyal yang diterima akan dikonversi menjadi sinyal digital menggunakan ADC bawaan ESP32, kemudian dikirimkan secara nirkabel melalui modul *Bluetooth* ke aplikasi monitoring.

Pada Gambar 1 menggambarkan arsitektur sistem *fetal Doppler* berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dikembangkan untuk mendukung pemantauan detak jantung janin secara modern, terintegrasi, dan mudah diakses oleh pengguna maupun tenaga medis. Sistem ini terdiri dari tiga komponen utama, yaitu modul perangkat keras, pemrosesan data, dan modul keluaran, yang saling terhubung dan bekerja secara berkesinambungan untuk menghasilkan data yang akurat dan dapat ditindaklanjuti. Pada bagian modul perangkat keras, digunakan sensor piezoelektrik sebagai elemen utama untuk mendeteksi sinyal detak jantung janin dengan cara mengubah getaran mekanis menjadi sinyal listrik, yang kemudian diperkuat menggunakan rangkaian *amplifier* agar dapat diproses lebih lanjut. Mikrokontroler ESP32 memegang peran dalam tahap pemrosesan data, dengan kemampuannya untuk mengubah sinyal analog menjadi data digital serta mendukung konektivitas *Bluetooth Low Energy* (BLE) untuk pengiriman data ke aplikasi *smartphone* dan penyimpanan di *cloud*. Modul keluaran dalam sistem ini memungkinkan hasil deteksi BPM ditampilkan

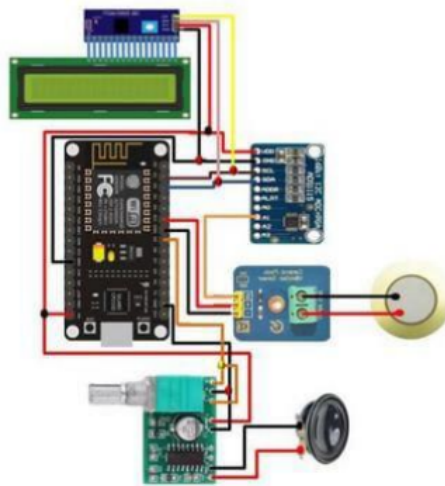


Gambar 1. Arsitektur utama sistem

secara langsung melalui layar LCD, diputar melalui *speaker* sebagai umpan balik audio, serta dikirim secara *real-time* ke aplikasi *smartphone* untuk dapat diakses oleh tenaga medis maupun keluarga. Selain itu, sistem juga mendukung pencatatan riwayat detak jantung janin dalam basis data untuk keperluan pemantauan jangka panjang.

2.2 Perangkat Keras

Perangkat keras *fetal doppler* dibangun dengan menggunakan sensor piezoelektrik yang berfungsi mendeteksi gelombang akustik dari detak jantung janin. Sinyal analog yang dihasilkan sensor diperkuat dan dikirim ke mikrokontroler ESP32 untuk diubah menjadi sinyal digital. Data hasil konversi ditampilkan pada LCD 16x2 I2C sehingga pengguna dapat memantau hasil pengukuran secara langsung. Selain itu, perangkat juga dilengkapi dengan *speaker* yang berfungsi sebagai umpan balik audio. ESP32 berperan penting dalam sistem ini karena tidak hanya melakukan konversi sinyal, tetapi juga mengirimkan data secara nirkabel melalui *Bluetooth Low Energy* (BLE) ke aplikasi *mobile*. Pada Gambar 2 Sensor *piezoelek-*



Gambar 2. Desain hardware

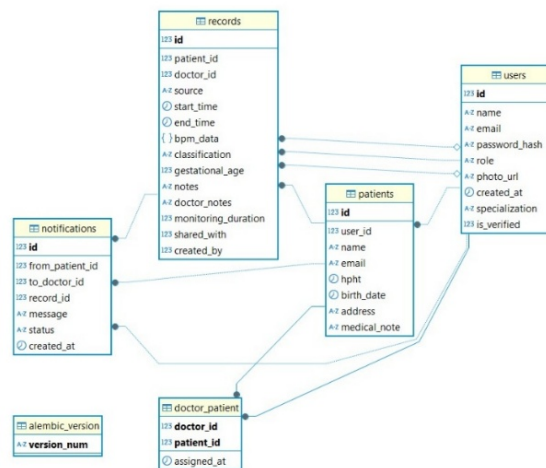
trik digunakan untuk mendeteksi gelombang pantulan suara dari detak jantung janin dengan menangkap getaran atau sinyal akustik dari perut ibu hamil dan mengubahnya menjadi sinyal listrik analog yang langsung dikirim ke pin ADC pada ESP32 tanpa memerlukan konfigurasi pin digital. Sinyal ini kemudian diproses oleh mikrokontroler, dan hasil pengukuran detak jantung janin dalam satuan BPM ditampilkan melalui LCD 16x2 I2C. Penggunaan antarmuka I2C memungkinkan komunikasi hanya dengan dua pin (SDA dan SCL), sehingga efisien dalam penggunaan pin dan memudahkan integrasi dengan ESP32 untuk memberikan informasi *real-time* kepada pengguna tanpa perlu membuka aplikasi *smartphone*.

2.3 Perangkat Lunak

Aplikasi mobile dikembangkan menggunakan *Flutter* dengan bahasa pemrograman *Dart*. Aplikasi ini menampilkan hasil pengukuran BPM secara numerik maupun grafik *real-time*, serta menyimpan hasil pemeriksaan ke dalam basis data. Selain itu, aplikasi juga menyediakan antarmuka yang memungkinkan tenaga medis mengakses data pasien dari jarak jauh. Dengan demikian, perangkat lunak yang dibangun tidak hanya berfungsi sebagai tampilan monitoring, tetapi juga sebagai penghubung komunikasi antara pasien dan dokter.

2.3.1 Desain Database

Basis data relasional digunakan untuk mendukung penyimpanan dan pengelolaan data hasil pemeriksaan. Basis data terdiri atas beberapa entitas utama, yaitu *users* yang menyimpan akun pengguna, *patients* yang memuat data identitas pasien dan usia kehamilan, *records* yang merekam hasil pemeriksaan BPM dan klasifikasinya, *doctor_patient* yang merepresentasikan hubungan antara dokter dan pasien, serta *notifications* yang digunakan untuk mengirimkan peringatan ketika hasil pemeriksaan menunjukkan kondisi abnormal. Struktur basis data ini dirancang agar data dapat diakses secara terintegrasi dan mendukung pemantauan jangka panjang.



Gambar 3. Desain database

Pada Gambar 3 Desain basis data pada sistem *fetal Doppler* berbasis *Internet of Things* (IoT) disusun untuk mendukung pengelolaan data pengguna, pasien, serta hasil pemeriksaan detak jantung janin secara terstruktur dan efisien dengan pendekatan relasional yang terdiri dari entitas *users*, *patients*, *records*, *doctor_patient*, *notifications*, dan *alembic_version*.

Entitas *users* menyimpan informasi pengguna seperti nama, email, peran (dokter atau pasien), spesialisasi, dan status verifikasi akun. Entitas *patients* merepresentasikan data pasien yang terhubung dengan akun pengguna, mencakup identitas dasar dan informasi medis seperti tanggal HPHT dan catatan medis. Seluruh riwayat pengukuran *fetal Doppler* dicatat dalam entitas *records*, termasuk data BPM, waktu pengukuran, usia kehamilan, klasifikasi hasil, dan catatan dokter, serta informasi terkait pengguna pembuat data (*created_by*) dan dokter yang menerima data (*shared_with*).

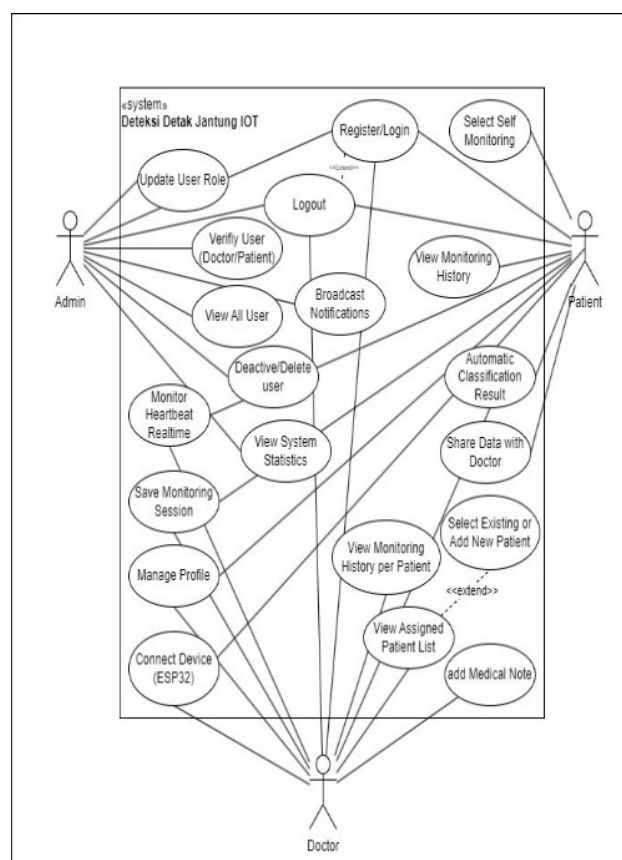
Relasi *many-to-many* antara dokter dan pasien dikelola melalui entitas *doctor_patient*, yang mencatat waktu awal keterhubungan. Sistem juga dilengkapi dengan entitas *notifications* untuk memfasilitasi pengiriman pesan dari pasien kepada dokter, khususnya bila terdeteksi kelainan pada detak jantung janin, dengan pencatatan isi pesan, status keterbacaan, dan waktu pengiriman.

Untuk keperluan manajemen skema, entitas *alembic_version* digunakan sebagai pelacak versi *database* melalui sistem migrasi. Struktur basis data ini tidak hanya mendukung pencatatan dan pelacakan data medis secara longitudinal, tetapi juga memfasilitasi komunikasi dua arah antara pasien dan tenaga kesehatan, serta dirancang agar fleksibel untuk pengembangan fitur lanjutan seperti analitik, laporan otomatis, atau

pengingat jadwal. Setelah merancang struktur data dan hubungan antar entitas tersebut, langkah selanjutnya adalah memvisualisasikan alur kerja sistem melalui *flowchart*, yang menggambarkan proses mulai dari pengambilan data detak jantung janin oleh sensor, pemrosesan oleh mikrokontroler, pengiriman ke aplikasi *mobile*, hingga penyimpanan dan akses data oleh tenaga medis, sehingga alur operasional sistem dapat lebih mudah dipahami dan mendukung proses implementasi serta evaluasi secara menyeluruh.

2.3.2 Use Case Diagram

Rancangan sistem divisualisasikan menggunakan *use case diagram* dengan tiga aktor utama, yaitu admin, dokter, dan pasien. Admin memiliki peran dalam mengelola akun pengguna, dokter dapat memantau hasil pemeriksaan janin secara *real-time* dan memberikan catatan medis, sementara pasien melakukan pemeriksaan menggunakan alat dan membagikan hasilnya melalui aplikasi. Dengan adanya alur interaksi ini, sistem diharapkan dapat mendukung pemantauan janin secara lebih terstruktur dan terhubung. *Use case*



Gambar 4. Use case diagram

diagram pada Gambar 4 menggambarkan interaksi antara aktor dan sistem pada platform Deteksi Detak Jantung Janin berbasis *Internet of Things* (IoT), yang melibatkan tiga peran utama yaitu admin, dokter, dan pasien. Admin memiliki akses penuh untuk mengelola pengguna, memverifikasi akun, mengatur sesi pemantauan, dan mengirim notifikasi. Dokter dapat memantau data detak jantung janin secara *real-time*, meninjau riwayat pemantauan pasien, menambahkan catatan medis, serta mengakses hasil klasifikasi otomatis. Sementara itu, pasien dapat melakukan pendaftaran, memilih metode pemantauan, melihat riwayat hasil, serta membagikan data kepada dokter. Diagram ini mencerminkan sistem IoT yang terintegrasi dan mendukung pemantauan kesehatan janin secara adaptif dan *real-time*. Berdasarkan interaksi tersebut, dapat diidentifikasi kebutuhan sistem akan penyimpanan data yang sistematis, terstruktur, dan mampu mendukung aktivitas seperti pencatatan hasil pemeriksaan, manajemen pengguna, dan komunikasi dua arah, sehingga perancangan basis data relasional menjadi aspek penting dalam menjaga integritas dan kemudahan akses data.

2.4 Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan dengan melibatkan ibu hamil sebagai subjek uji. *Probe sensor* diletakkan pada perut ibu hamil untuk mendeteksi detak jantung janin, dan hasil pembacaan dibandingkan dengan *fetal doppler* komersial sebagai alat referensi. Parameter uji yang digunakan meliputi akurasi BPM untuk menilai kesesuaian hasil dengan alat standar, kestabilan sinyal untuk mengamati konsistensi pengukuran berulang, keterlambatan pengiriman data dari sensor ke aplikasi untuk menilai kemampuan sistem *real-time*, serta validasi klasifikasi otomatis dalam menentukan kategori normal, *bradikardia*, atau *takikardia*. Dengan parameter ini, kinerja sistem dapat dievaluasi secara lebih objektif dan terukur [12, 13, 14].

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil pengujian sistem

Tabel 1. Hasil perbandingan *fetal doppler* dengan alat yang dirancang

No	Usia Kandungan	Fetal Doppler	Fetal Doppler berbasis IoT	Error (%)
1	8 bulan	167	160	4,37%
2	8 bulan	165	162	1,82%
3	9 bulan	164	157	1,181%
4	9 bulan	161	158	1,818%
5	9 bulan	159	155	1,181%
Rata-rata Error				2,074%
Akurasi				97,926%

Pada Tabel 1 pengujian pada ibu hamil dengan usia kandungan 35 minggu diperoleh rata-rata *error* BPM. Hal ini menunjukkan bahwa sensor berfungsi dengan baik dan memberikan hasil yang cukup akurat. Dengan akurasi 97,926% , sensor dapat diandalkan dan digunakan dalam penelitian ini. Nilai *error* pada perhitungan perbandingan BPM dan muncul akibat beberapa faktor. Salah satunya adalah *noise* dari lingkungan seperti gerakan janin atau ibu atau penempatan *probe* yang tidak tepat, yang mempengaruhi pembacaan sensor. Selain itu, resolusi rendah dan kecepatan *sampling* yang lambat dapat menyebabkan sinyal tidak terbaca dengan baik, terutama saat terjadi perubahan cepat.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem *fetal doppler* berbasis IoT yang dikembangkan mampu mendeteksi detak jantung janin dengan akurasi rata-rata 97,9% dan error sebesar 2,07%. Tingkat akurasi ini sejalan dengan penelitian terbaru yang melaporkan bahwa perangkat self-monitoring fetal heart rate berbasis wireless memiliki akurasi dalam rentang ± 2 BPM [3]. Perbedaan nilai pada alat ini terutama disebabkan oleh faktor eksternal seperti posisi *probe* yang kurang tepat, pergerakan janin atau ibu saat pengukuran, serta gangguan *noise* dari lingkungan. Meskipun demikian, kestabilan sinyal yang dihasilkan cukup baik, ditunjukkan dengan deviasi pembacaan yang relatif kecil pada pengukuran berulang, sehingga dapat diandalkan untuk pemantauan rutin. Selain itu, sistem memiliki keterlambatan pengiriman data rata-rata sekitar 1,2 detik dari sensor ke aplikasi, yang masih dapat diterima untuk kebutuhan pemantauan *real-time*. Fitur klasifikasi otomatis yang membagi hasil detak jantung janin ke dalam kategori normal, *bradikardia*, dan *takikardia* juga terbukti berjalan dengan baik dan dapat membantu tenaga medis dalam proses diagnosis.

Jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu, sistem ini memiliki beberapa keunggulan. Penelitian sebelumnya [8], [11] umumnya hanya menyimpan data pada aplikasi secara lokal dan tidak mendukung pemantauan jarak jauh. Penelitian lain [15] bahkan hanya menggunakan sensor denyut nadi yang akurasinya lebih rendah dibandingkan sensor piezoelektrik. Sementara itu, sistem pada penelitian ini telah mengintegrasikan sensor piezoelektrik, mikrokontroler ESP32, serta aplikasi *mobile* dengan basis data relasional yang mendukung penyimpanan riwayat pengukuran secara jangka panjang dan akses data *real-time* oleh tenaga medis. Dengan demikian, kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi penuh antara perangkat keras dan perangkat lunak untuk mendukung pemantauan kesehatan janin yang lebih komprehensif.

Meskipun hasil yang diperoleh menjanjikan, penelitian ini memiliki keterbatasan terutama pada jumlah

sampel pengujian yang masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian lanjutan disarankan untuk memperluas jumlah sampel dan variasi usia kehamilan guna memperkuat validitas hasil. Selain itu, pengembangan berikutnya dapat diarahkan pada integrasi sensor *fetal doppler* langsung ke *smartphone* tanpa perantara mikrokontroler tambahan untuk meningkatkan portabilitas serta efisiensi sistem. Dengan pengembangan lebih lanjut, sistem *fetal doppler* berbasis IoT ini berpotensi memberikan kontribusi.

4. Simpulan

Penelitian ini berhasil mengembangkan *fetal doppler* berbasis Internet of Things (IoT) yang terintegrasi dengan aplikasi *mobile* untuk pemantauan kesehatan janin. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perangkat ini mampu mendeteksi detak jantung janin dengan akurasi tinggi, yaitu 97,9% dengan rata-rata *error* sebesar 2,07%. Selain itu, sistem juga menunjukkan kestabilan sinyal yang baik, keterlambatan pengiriman data rendah ($\pm 1,2$ detik), serta mampu melakukan klasifikasi otomatis terhadap kondisi detak jantung janin.

Berdasarkan hasil survei, responden menyatakan bahwa alat mudah digunakan, nyaman, dan mendukung monitoring jarak jauh secara *real-time* melalui aplikasi. Hal ini menunjukkan bahwa perangkat tidak hanya layak digunakan dari sisi teknis, tetapi juga diterima dengan baik dari sisi pengalaman pengguna.

Namun demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan pada jumlah responden survei yang hanya melibatkan lima orang ibu hamil, sehingga belum cukup mewakili populasi secara lebih luas. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk melibatkan lebih banyak responden, melakukan pengujian pada variasi usia kehamilan yang lebih beragam, serta mengoptimalkan sistem agar dapat terhubung langsung ke *smartphone* tanpa memerlukan mikrokontroler tambahan, sehingga meningkatkan portabilitas dan efisiensi pemrosesan data.

Pustaka

- [1] M. of Health of the Republic of Indonesia, *Stillbirth statistics in Indonesia 2020*. Jakarta: Kemenkes RI, 2020.
- [2] World Health Organization, "Stillbirth overview," <https://www.who.int/health-topics/stillbirth>, 2020, accessed: 2025-10-16.
- [3] M. Zhang, L. Huang, Y. Liu *et al.*, "Accuracy, interpretability and usability study of a wireless self-monitoring fetal heart rate device," *npj Digital Medicine*, vol. 6, 2023.
- [4] H. T. Nguyen and M. P. Tran, "Iod-nets – an iot-based intelligent health care monitoring system for maternal and foetal signals in high-risk pregnancies," *Computers in Industry*, vol. 150, 2023.
- [5] H. R. Fajrin, S. Maharani, and A. Fitriyah, "Simulator fetal doppler," *Medika Teknik Jurnal Teknik Elektromedik Indonesia*, vol. 2, no. 2, 2021.
- [6] K. Sowjanya, D. Dharani, S. Monisha *et al.*, "Iot based fetal monitoring system for prenatal care," *International Journal of Research in Engineering and Science and Management (IJRESM)*, vol. 6, no. 6, pp. 18–22, 2023.
- [7] JMIR mHealth and uHealth, "Effectiveness of remote fetal monitoring on maternal-fetal outcomes," *JMIR mHealth and uHealth*, vol. 11, no. 1, 2023.
- [8] S. Wu, P. Li, Q. Chen *et al.*, "An iot-enabled wearable device for fetal movement detection," *Sensors*, vol. 25, no. 5, 2025.
- [9] J. Pribowo, A. Pudji, M. R. Mak'ruf, and V. H. Abdullayev, "The effect of lost data on the iot platform on the formation of fetal heart rate graphs for remote diagnostic purposes," *Jurnal Teknokes*, vol. 15, no. 4, pp. 262–269, 2022.
- [10] R. Mulyadi, A. Siregar, M. I. Ikhsan, A. Bakar, and Y. Ramadhika, "Rancang bangun alat fetal doppler berbasis iot," *Jurnal Pratama Research and Technology (JUPRIT)*, vol. 4, no. 1, pp. 87–101, 2025.

- [11] T. S. Le and J. Smith, "Emerging paradigms in fetal heart rate monitoring: Evaluating the methods," *Sensors*, vol. 24, no. 18, 2024.
- [12] A. S. N. Al-Ali, T. S. Ahmad, and Z. A. Aziz, "A decision tree-driven iot system for improved prenatal diagnostics," *BMC Medical Informatics and Decision Making*, vol. 24, 2024.
- [13] R. K. Ningtias, I. T. Harsoyo, and A. Aulia, "Pengaruh nilai heart rate terhadap duty cycle pada pengujian alat fetal doppler berbasis arduino," *Jurnal Fisika Unnes*, vol. 10, no. 2, 2021.
- [14] Y. A. Aji *et al.*, "Sistem pengukuran detak jantung janin melalui elektrokardiogram abdominal dan android," *Indonesian Journal of Applied Physics*, vol. 12, no. 2, 2022.
- [15] A. F. Doe, B. Lee, and C. Tan, "Extracting fetal heart signals from doppler using semi-supervised learning," *Frontiers in Physiology*, vol. 15, 2024.