

RANCANG BANGUN FETAL DOPPLER NIRKABEL BERBASIS ESP32 DAN NRF24L01 UNTUK TRANSMISI AUDIO DAN NILAI FHR

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A WIRELESS FETAL DOPPLER SYSTEM BASED ON ESP32 AND NRF24L01 FOR AUDIO AND FHR TRANSMISSION

Aditya Lutfi Nurfathon^{1*}, Royan¹, Kusnanto Mukti Wibowo¹

Universitas Muhammadiyah Purwokerto, Jln. K.H Ahmad Dahlan, Kembaran, Purwokerto, Indonesia
Teknologi Rekayasa Elektromedis Universitas Muhammadiyah Purwokerto

e-mail: lutfiaditya400@gmail.com, royan@ump.ac.id, kusnantomuktiwibowo@ump.ac.id

ABSTRACT

Fetal doppler is an important device for monitoring fetal heart rate (FHR) as an early indicator of pregnancy condition. However, conventional fetal doppler devices still rely on cables between the probe and the main unit, thus limiting movement, reducing the comfort of pregnant women, and increasing the risk of cable damage. This study aims to design and build a wireless fetal doppler module based on ESP32 and nRF24L01 on the Taff Omicron JLS-T501 device for wireless transmission of doppler audio signals and FHR values. The developed system consists of a transmitter module on the probe side that performs acquisition, conditioning, and digitization of doppler audio signals, then transmits data through the nRF24L01 module. The ESP32-based receiver module performs audio signal reconstruction, digital FHR calculation. Tests were conducted using a fetal heart rate simulator in several BPM categories with transmission distance variations of 20–120 cm to evaluate FHR accuracy, audio quality, and communication reliability. The test results showed that the FHR reading error was in the range of 1–2% of the reference value, with audio quality remaining clearly audible up to a distance of 200 cm without significant interference. These results show that the integration of the wireless module into the JLS-T501 fetal doppler can increase the flexibility and convenience of using the fetal doppler without sacrificing measurement accuracy and signal quality.

Keywords: *Fetal doppler, Wireless system, Fetal heart rate, Medical device*

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dibidang kesehatan, khusunya dibidang alat pemantauan janin berkembang pesat dalam beberapa tahun terakhir. Salah satu instrumen yang paling umum untuk memantau kondisi janin adalah Fetal doppler yaitu alat medis yang digunakan untuk mendekripsi dan memantau detak jantung janin ketika masih berada di dalam rahim. Melalui alat ini, tenaga kesehatan maupun ibu hamil dapat melihat dan mendengar frekuensi serta pola denyut jantung janin, sehingga kondisi dan keselamatan janin dapat dipantau secara lebih terukur [1], [2].

Cara kerja fetal doppler yang menangkap sinyal pantulan ultrasound dari pergerakan aliran darah dan jantung janin. Pada perangkat doppler, sinyal mentah dari transduser akan diproses hingga menjadi sinyal audio yang dapat di dengar, dan dari sinyal tersebut sistem dapat menghitung *Fetal heart rate* FHR [3]. Detak jantung janin (DJJ) atau FHR adalah jumlah denyut yang dihasilkan jantung janin dalam satu menit, merupakan salah satu parameter utama untuk menilai kesejahteraan

janin. Perubahan frekuensi maupun pola DJJ umumnya mencerminkan status oksigenasi dan respons janin terhadap stres di dalam kandungan [4].

Apabila frekuensi DJJ berada di bawah 110 kali per menit, kondisi tersebut digolongkan sebagai bradikardia janin, sedangkan bila frekuensinya menetap di atas 160 kali per menit, hal itu dikategorikan sebagai takikardia janin. Kedua keadaan ini dapat menjadi tanda adanya masalah, seperti hipoksia janin, infeksi, efek penggunaan obat-obatan tertentu, atau gangguan lain yang berdampak pada kesehatan janin [4]. Berbagai penelitian kebidanan di Indonesia juga menunjukkan bahwa frekuensi DJJ dipengaruhi oleh banyak faktor, antara lain usia kehamilan, posisi tubuh ibu saat pemeriksaan, aktivitas kontraksi uterus, serta tingkat stres dan kecemasan yang dialami ibu hamil [5], [6].

Pada fetal doppler konvensional, proses pengukuran detak jantung janin masih menggunakan kabel sebagai penghubung antara probe (transduser ultrasound) dan unit utama perangkat [3]. Penggunaan kabel ini, seringkali

menimbulkan berbagai kendala, antara lain keterbatasan gerak, risiko kerusakan kabel dan kemungkinan gangguan kenyamanan ibu hamil selama proses pemeriksaan [7].

Seiring perkembangan teknologi komunikasi *nirkabel*, banyak peneliti mulai mengintegrasikan sistem *nirkabel* ke dalam perangkat medis untuk meningkatkan fleksibilitas, kenyamanan, dan efisiensi [8]. Dalam penelitian ini, dilakukan pengembangan wireless fetal doppler yang merupakan modifikasi dari fetal doppler konvensional dengan menambahkan modul komunikasi *nirkabel* ESP32 dan nRF24L01. Sehingga, sinyal dari *probe* tidak lagi ditransmisikan melalui kabel, tetapi diubah menjadi data digital melalui *Analog-to-Digital Converter* (ADC) dan kemudian ditransmisikan secara *nirkabel* ke unit penerima [9], [10].

Komunikasi *nirkabel* jarak dekat merupakan proses pertukaran data antara dua perangkat tanpa menggunakan media kabel, dengan memanfaatkan gelombang radio yang umumnya beroperasi pada frekuensi ISM (*Industrial, Scientific, and Medical*) 2,4 GHz [11]. Pada sistem ini, data digital dari mikrokontroler diubah menjadi gelombang elektromagnetik, dipancarkan melalui udara, kemudian diterima kembali oleh modul penerima untuk dapat diolah lebih lanjut.

Pada aplikasi berdaya rendah, komunikasi jarak dekat dirancang agar hemat energi, memiliki latensi rendah, dan tetap mampu menyediakan laju data yang memadai. Modul *transceiver* seperti nRF24L01 adalah modul komunikasi serial *nirkabel* berdaya sangat rendah yang dirancang untuk aplikasi ultra *low power* pada frekuensi 2,4 GHz [12].

Sistem yang dikembangkan memerlukan modul ESP32 yang berperan sebagai pengelola utama. Modul ini menerima sinyal analog audio Doppler dari *probe* fetal doppler melalui rangkaian analog, kemudian mengonversinya menjadi sinyal digital melalui ADC beresolusi tinggi, sebelum mengemasnya dalam bentuk paket data. Paket data inilah yang kemudian dikirimkan ke modul nRF24L01 untuk dipancarkan secara *nirkabel*. Keunggulan ESP32 adalah kapasitas prosesnya yang tinggi, kemampuan ADC yang stabil, serta dukungan komunikasi digital yang kompatibel dengan transceiver *nirkabel*, sehingga proses sampling, pengemasan, hingga pengiriman data dapat dilakukan dengan cepat dan efisien [13].

Selain itu, ESP32 juga memungkinkan pengolahan lanjutan seperti perhitungan FHR, filtering dasar, hingga pengiriman nilai *beats per minute* BPM [14]. Kombinasi ESP32 dan nRF24L01 memberikan solusi yang ringkas,

hemat daya, dan cukup andal untuk sistem pemantauan medis portable yang menuntut kenyamanan pengguna dan fleksibilitas pergerakan.

Meskipun berbagai penelitian sebelumnya telah membahas pengembangan dan penggunaan fetal doppler, sebagian besar sistem yang ada masih menggunakan kabel sebagai penghubung antara *probe* dan unit pemroses. Penggunaan kabel ini membatasi fleksibilitas alat dan dapat mengurangi kenyamanan, khususnya bagi ibu hamil selama proses pemeriksaan. Beberapa penelitian juga telah megkaji pemrosesan sinyal doppler serta perhitungan FHR, namun kajian yang secara khusus membahas sistem fetal doppler *nirkabel* *nirkabel* berdaya rendah yang mampu mentasmisikan sinyal doppler secara *real-time* dengan kualitas yang stabil masih relatif terbatas. Selain itu, pemanfaatan mikrokontroler ESP32 yang dikombinasikan dengan modul transceiver nRF24L01 pada sistem pemantauan janin masih jarang ditemukan, terutama untuk pengiriman data audio doppler dan perhitungan FHR secara bersamaan.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini berfokus pada perancangan dan implementasi sistem fetal doppler *nirkabel* berbasis ESP32 dan nRF24L01 sebagai solusi atas keterbatasan sistem fetal doppler konvensional. Kontribusi utama dari penelitian ini adalah pengembangan arsitektur sistem yang mampu mekonversi sinyal doppler analog menjadi data digital, mentrasmisikannya secara *nirkabel* dengan delay yang rendah dan konsusensi daya yang efisien, serta tetap menjaga akurasi. Dengan pendekatan ini, sistem yang dikembangkan diharapkan dapat meningkatkan kenyamanan, mobilitas, dan efisiensi dalam pemantauan kondisi janin dibandingkan dengan fetal doppler konvensional.

II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif dengan eksperimen di lingkungan laboratorium. Tujuan penelitian adalah megevaluasi kinerja sistem fetal doppler *nirkabel* yang dikembangkan. Parameter yang diuji meliputi nilai FHR dalam satuan BPM, tingkat kesalahan pembacaan (*error*) dibandingkan dengan alat referensi, jarak jangkau komunikasi *nirkabel*, serta tingkat keberhasilan pengiriman data.

A. Perangkat Penelitian

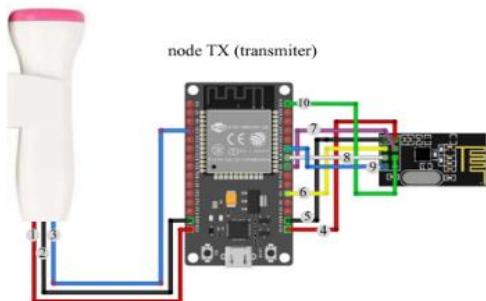
Tahap perancangan diawali dengan analisis sistem fetal doppler konvensional untuk mengidentifikasi titik integrasi komunikasi *nirkabel*.



Gambar 1. Fetal doppler konvensional Taff Omicron JLS-T501

Pada *probe* fetal doppler Taff Omicron yang menggunakan tiga kabel, masing-masing kabel umumnya memiliki peran yang berbeda namun saling melengkapi agar proses pembacaan detak jantung janin dapat berjalan stabil. Kabel berwarna merah berfungsi sebagai jalur catu daya (VCC). Melalui kabel ini, unit utama mengirimkan tegangan DC untuk memberi suplai listrik ke rangkaian yang ada di dalam *probe*. Kabel biru adalah jalur sinyal (SIGNAL). Kabel ini membawa keluaran sinyal dari *probe* menuju unit utama untuk diproses menjadi informasi yang bisa didengar (audio Doppler) dan ditampilkan sebagai nilai FHR/BPM. Kabel hitam berperan sebagai ground (GND). Kabel ini menjadi titik referensi nol volt sekaligus jalur balik arus dari catu daya. Keberadaan ground sangat penting karena menjaga kestabilan sistem, membantu mengurangi noise, dan memastikan sinyal yang dikirim tidak mengambang sehingga hasil pembacaan tetap konsisten.

Berdasarkan analisis tersebut, dirancang sistem fetal doppler *nirkabel* menggunakan fetal doppler Taff Omicron JLS-T501 yang terdiri dari dua node uatma, yaitu node *transmpter* (TX) dan node *receifer* (RX). Fetal doppler tersebut mampu mengirimkan data FHR (BPM) yang di tampilkan pada layar, dan meghasilkan suara dengan sistem *wireless*. Komponen yang digunakan meliputi modul ESP32 dan nRF24L01 untuk mengolah data dan mentransmisikan data secara *nirkabel*.



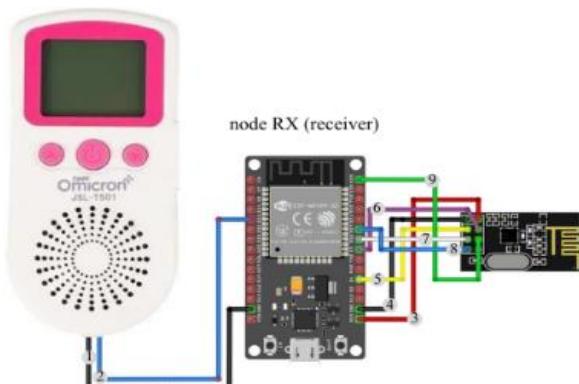
Gambar 2. Prototype fetal doppler wireless modul TX

Tabel 1. Pinout node TX

No	Dari (<i>probe</i> dan ESP32)	Ke (nRF24L01)	Fungsi
1	VCC (+)	VIN / 5V	Catu daya <i>probe</i>
2	GND (-)	GND	Ground <i>probe</i>
3	Sinyal / Audio Out	GPIO34 (ADC)	Input sinyal analog ke ADC
4	VIN / 5V	VCC	Catu daya nRF
5	GND	GND	Ground nRF
6	GPIO4	CE	Enable radio
7	GPIO5	CSN/CS	SPI Chip Select
8	GPIO18	SCK	SPI Clock
9	GPIO23	MOSI	SPI MOSI
10	GPIO19	MISO	SPI MISO

Rangkaian node TX ditujukan gambar 2. Pada node TX, *probe* fetal doppler dihubungkan ke ESP32 melalui tiga jalur utama, yaitu catu daya (VCC), ground (GND), dan jalur sinyal analog. ESP32 menyediakan suplai tegangan ke *probe*, sedangkan sinyal keluaran audio/analog dari *probe* masuk ke GPIO34 sebagai input ADC. ESP32 kemudian melakukan proses pengambilan sampel dan konversi sinyal analog ke data digital.

Data digital hasil sampling selanjutnya dikirim secara *nirkabel* menggunakan modul nRF24L01. Modul ini dihubungkan ke ESP32 melalui antarmuka SPI (SCK, MOSI, MISO) serta dua jalur kontrol, yaitu CE dan CSN. Dengan konfigurasi ini, ESP32 berperan sebagai pengolah sinyal sekaligus pengirim data audio fetal doppler ke node penerima.



Gambar 3. Prototype fetal doppler wireless modul RX

Tabel 2. Pin out node RX

No	Dari (Probe dan ESP32)	Ke (nRF24L01)	Fungsi
1	GND	GND	Referensi ground
2	Jalur input audio	GPIO25	Menerima sinyal audio analog dari DAC ESP32
3	VCC	3V3	Catu daya 3.3V untuk modul nRF24L01
4	GND	GND	Ground modul nRF24L01
5	CE	GPIO4	transmit–receive control (CE)
6	CSN (CS)	GPIO5	Seleksi chip SPI (CSN)
7	SCK	GPIO18	Clock SPI
8	MOSI	GPIO23	Data SPI dari ESP32 ke nRF24L01
9	MISO	GPIO19	Data SPI dari nRF24L01 ke ESP32

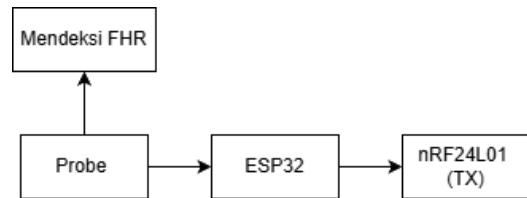
Rangkaian node RX ditujuan pada gambar 3, Node RX berfungsi sebagai penerima data *nirkabel* yang dikirimkan oleh node TX. Modul nRF24L01 pada node RX menerima paket data melalui komunikasi SPI dengan ESP32. Modul radio ini mendapatkan suplai tegangan 3.3 V dari ESP32, sesuai dengan spesifikasi kerja nRF24L01, serta dihubungkan ke ground yang sama untuk menjaga kestabilan sistem.

Setelah data digital diterima oleh ESP32, data tersebut diproses kembali untuk direkonstruksi menjadi sinyal audio. Proses rekonstruksi dilakukan menggunakan DAC internal ESP32 yang menghasilkan sinyal analog pada pin GPIO25. Sinyal analog ini kemudian disalurkan ke unit penerima audio (speaker) sehingga sinyal denyut jantung janin dapat didengar secara langsung. Penyatuan ground antara ESP32 dan unit audio dilakukan untuk memastikan kesamaan referensi tegangan dan mencegah distorsi sinyal.

Secara metodologis, alur kerja sistem dimulai dari akuisisi sinyal analog oleh *probe* fetal doppler pada node TX. Sinyal tersebut kemudian dikoversi menjadi data digital oleh ADC ESP32, selanjutnya dikirimkan secara *nirkabel* menggunakan modul nRF24L01. Pada node RX, data digital yang diterima diolah kembali dan dikonversi menjadi sinyal analog menggunakan DAC ESP32, lalu diteruskan ke unit audio sehingga dapat didengar oleh pengguna. Dengan alur ini, sistem mampu merealisasikan transmisi sinyal fetal doppler secara *nirkabel* dengan tetap mempertahankan karakteristik sinyal aslinya.

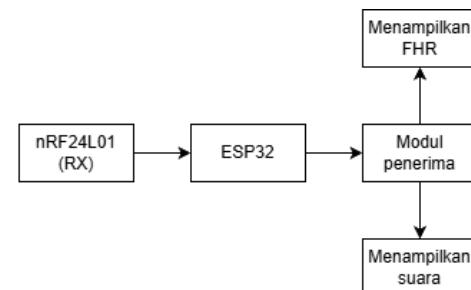
B. Setup Eksperimen

Implementasi sistem dibagi menjadi dua node, yaitu node *transmiter* (TX) pada sisi *probe* dan node *receiver* (RX).



Gambar 4. Blok diagram rangkaian transmiter

Pada node TX ditunjukan pada gambar 4, sinyal audio doppler analog dari detak jantung janin yang sebelumnya diteruskan melalui kabel dari *probe*, kemudian dikondisikan agar sesuai dengan rentang masukan ADC ESP32. Sinyal digital dari sampling audio dikemas kedalam paket data untuk dikirim menggunakan nRF24L01. Selain audio, TX juga menghasilkan nilai FHR yang di turunkan dari karakteristik sinyal audio doppler, dan dikirim secara real time bersama paket audio.



Gambar 5. Blok diagram rangkaian RX

Pada node RX ditunjukan pada gambar 5. nRF24L01 menerima paket data dari TX, kemudian data audio direkonstruksi menjadi sinyal analog melalui DAC ESP32. Sinyal ini akan dikeluarkan ke perangkat audio (*speaker*) berupa bunyi doppler. Nilai FHR yang diterima lalu ditampilkan pada display sebagai informasi BPM. Pengukuran dilakukan terhadap pembacaan besar FHR dan keakutan data berdasarkan variasi jarak pengukuran terhadap nilai standar dari alat simulator.

C. Parameter Pengujian dan Evaluasi

Evaluasi kinerja sistem dilakukan berdasarkan beberapa parametr utama, yaitu :

1. Akurasi FHR, yang diperoleh dengan membandingkan nilai BPM hasil sistem terhadap nilai BPM dari alat referensi. Tingkat kesalahan dihitung dalam bentuk persentase.
2. Keberhasilan pengiriman data, yang ditentukan berdasarkan jumlah paket data yang berhasil diterima dibandingkan dengan jumlah yang dikirim.

- Jarak jangkau komunikasi *nirkabel*, yang diukur berdasarkan jarak maksimum antara node TX dan RX di mana data masih diterima dengan baik.

Hasil pengujian dari seluruh parameter tersebut digunakan untuk menilai kelayakan sistem fetal doppler *nirkabel* yang dikembangkan sebagai alternatif terhadap sistem konvensional.

III. HASI DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, sistem kabel konvensional pada fetal doppler Taff Omicron JLS-T501 digantikan dengan transmisi *nirkabel* menggunakan kombinasi mikrokontroler ESP32 dan modul komunikasi nRF24L01. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem *nirkabel* dalam mentransmisikan sinyal doppler dan menampilkan nilai FHR secara akurat dan stabil.

A. Uji simulator fetal doppler

Pengujian kinerja alat fetal doppler sistem wireless dapat ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Uji prototype dengan simulator fetal doppler

Berdasarkan hasil pengujian didapatkan hasil sistem *wireless* dapat bekerja dengan baik. Dimana sistem TX mampu mentransmisikan data dan dapat diterima sistem RX. Hasil pengamatan terhadap kinerja alat dalam berbagai variasi jarak dan nilai standar BPM simulator fetal doppler yang sudah terkalibrasi di BPKF surakarta (No order: 25.128/UP.005) dapat ditunjukkan pada gambar 6.

Tabel 3. memperlihatkan hasil pembacaan BPM fetal doppler pada jarak pengukuran 20 – 200 cm untuk enam setpoint BPM Simulator (60, 90, 120, 150, 180, dan 240). Secara umum, nilai yang terbaca cukup stabil di seluruh jarak dan hanya berbeda sedikit dari setpoint. Pada setpoint

rendah (60 BPM), pembacaan cenderung tetap di 59 BPM. Pada setpoint menengah (90–150 BPM), perubahan nilai relatif kecil, umumnya hanya selisih 1–2 BPM (misalnya 89–90; 118–119; 148–149).

Tabel 3. Hasil pengukuran Fetal Doppler terhadap perubahan jarak dan setpoint

Jarak TX ke RX (CM)	Setpoint pada simulator (BPM)					
	60	90	120	150	180	240
20	59	89	119	148	179	238
40	59	89	119	148	179	238
60	59	89	119	148	179	238
80	59	89	119	148	179	238
100	59	89	119	148	179	238
120	59	89	119	148	179	238
140	59	89	119	148	179	238
160	59	89	119	148	179	238
180	59	89	119	148	179	238
200	59	89	119	148	179	238

Pada setpoint tinggi (180 dan 240 BPM), terlihat kecenderungan nilai yang terbaca sedikit menurun ketika jarak makin jauh (misalnya 179 menjadi 177, dan 239 menjadi 237). Namun demikian, selisih nilai yang terjadi masih tergolong kecil dan hanya berbeda beberapa BPM. Temuan ini menunjukkan bahwa pengaruh jarak terhadap akurasi mulai lebih terasa pada BPM yang lebih tinggi, meskipun deviasinya masih tergolong kecil.

B. Analisis Error Pengukuran

Nilai keakuratan data antara pembacaan fetal doppler model *wireless* dengan alat uji simulator dapat ditunjukkan pada Tabel 4. Rata-rata error pengukuran terhadap simulator berada pada kisaran 1-2% untuk rentang jarak dari 20 – 200 cm. Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai BPM yang disetting pada simulator (nilai referensi) terhadap nilai BPM yang dibaca dan ditampilkan oleh perangkat fetal doppler *wireless*. Berdasarkan data pada tabel 4, diperoleh rata-rata error dengan nilai 1-2% untuk seluruh variasi jarak dari 20 cm hingga 200 cm.

Terlihat bahwa nilai error cenderung meningkat seiring bertambahnya jarak antara node TX dan RX. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun sistem masih mampu beroperasi dengan baik pada jarak yang lebih jauh, kualitas transmisi *nirkabel* berpengaruh terhadap akurasi pembacaan BPM. Dengan demikian nilai error yang diperoleh masih berada pada rentang kesalahan yang rendah dan dapat diterima untuk aplikasi pemantauan denyut jantung janin.

Tabel 4. Hasil uji dengan simulator

Jarak Pemantauan (cm)	Rata-rata error (%)
20	0.95
40	1.03
60	1.09
80	1.26
100	1.33
120	1.33
140	1.47
160	1.47
180	1.47
200	1.66

Hasil ini menunjukkan bahwa sistem fetal doppler *nirkabel* mampu menghasilkan pembacaan BPM yang stabil dan konsisten pada berbagai variasi nilai uji, sehingga layak digunakan sebagai alternatif pemantauan FHR berbasis *nirkabel*.

C. Pengaruh Jarak dan Keterbatasan Sistem

Hasil pengujian menunjukkan bahwa jarak komunikasi *nirkabel* memiliki pengaruh terhadap akurasi pembacaan BPM, terutama pada nilai BPM yang tinggi. Semakin jauh jarak antara node TX dan RX, semakin besar potensi terjadinya penurunan kualitas sinyal akibat redaman, interferensi, atau kehilangan paket data. Kondisi ini dapat memengaruhi proses rekonstruksi sinyal audio doppler dan perhitungan FHR.

Selain itu, keterbatasan sistem juga dipengaruhi oleh karakteristik modul nRF24L01 yang bekerja pada frekuensi 2,4 GHz, yang rentan terhadap interferensi dari perangkat *nirkabel* lain. Pengolahan sinyal yang masih bersifat dasar juga berpotensi memengaruhi akurasi pada kondisi BPM tinggi atau sinyal dengan noise yang besar.

Meskipun demikian, secara keseluruhan sistem mampu mempertahankan performa yang baik pada jarak hingga 200 cm dengan tingkat error yang relatif kecil. Dengan pengembangan lebih lanjut, seperti peningkatan algoritma pengolahan sinyal, mekanisme koreksi kesalahan, atau optimasi parameter komunikasi *nirkabel*, performa dan keandalan sistem masih dapat ditingkatkan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan tujuan dan hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa sistem transmisi data *nirkabel* pada fetal doppler Taff Omicron JLS-T501 menggunakan modul ESP32 dan nRF24L01 bekerja dengan baik dan menghasilkan tingkat kesalahan yang sangat kecil. Pengujian dilakukan menggunakan simulator fetal doppler, dengan pengukuran kinerja modul *transmiter* dan *receiver* pada variasi jarak 20 cm hingga 200 cm. Hasil

pengujian menunjukkan adanya penurunan kualitas sinyal secara bertahap seiring bertambahnya jarak, namun sinyal masih dapat diterima dengan baik dan informasi detak jantung janin tetap terbaca dengan akurat. Hal ini menegaskan bahwa penerapan sistem *nirkabel* mampu mempertahankan kinerja transmisi yang andal, sekaligus meningkatkan kenyamanan dan fleksibilitas penggunaan fetal doppler dengan mengurangi ketergantungan terhadap koneksi kabel dalam rentang jarak pengujian.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan rasa syukur yang mendalam kepada pembimbing, pengajar, serta semua pihak di program studi Teknologi Rekayasa Elektromedis D4 Univeritas Muhammadiyah Purwokerto yang telah memberikan bimbingan dan dukungannya. Selain itu, penulis juga mengucapkan terimakasih kepada orang tua, keluarga, dan teman-teman atas doa-doa dan dorongan yang terus menerus.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. Nuryati, “Rancang Bangun Alat Pendekripsi dan Penghitung Detak Jantung dengan Asas Doppler,” pp. 1–87, 2010.
- [2] M. W. Siagian, P. Studi, T. Elektro, and U. Panca, “Peracangan Sistem Rangkaian Detektor Mini Doppler Untuk Control Detak Jantung Manusia,” vol. 1, no. 4, pp. 103–108, 2023.
- [3] R. Mulyadi *et al.*, “Rancang Bangun Alat Fetal Doppler Berbasis IoT Institut Kesehatan Dan Teknologi Al Insyirah Pekanbaru , Indonesia didalam perutnya selalu dalam keadaan 4 sehat dan normal . Dan tidak merasakan rasa cemas,” vol. 4, 2025.
- [4] S. Syarif, “Pemanfaatan Teknologi Tentang Menghitung Denyut Jantung Janin Di Desa Tanakaraeng Kabupaten Gowa,” *J. Pelayanan dan Pengabdi. Masy. Indones.*, vol. 2, no. 3, pp. 186–194, 2022.
- [5] K. et al 2023, “No Title 漢無 No Title No Title No Title,” vol. 32, no. 3, pp. 167–186, 2021.
- [6] M. Minarti and R. Risnawati, “Posisi Ibu Hamil Memengaruhi Akurasi Pengukuran Kesejahteraan Janin,” *J. Bidan Cerdas*, vol. 2, no. 3, pp. 170–176, 2020, doi: 10.33860/jbc.v2i3.93.
- [7] H. S. Gisella, P. Cahya Nugraha, and M. Ridha Mak’ruf, “Pemantauan Tanda Vital Suhu dan BPM pada Bayi Secara Wireless,” *J. Teknokes*, vol. 14, no. 1, pp. 14–19, 2021, doi:

- 10.35882/teknoes.v14i1.3.
- [8] M. S. Corida, A. I. Pawelloi, and M. Zainal, "Perancangan Prototipe Sistem Pemanggil Perawat *Nirkabel* menggunakan Keypad dan Transceiver NRF24L01," *J. Mosfet*, vol. 4, no. 1, pp. 37–46, 2024, doi: 10.31850/jmosfet.v4i1.3119.
- [9] R. D. Muharram, M. Wildan, and Irvan, "Rancangan Aplikasi Komunikasi Ground to Ground Menggunakan Client Voice Over Internet Protocol (VOIP)," *J. Multidisiplin Saintek*, vol. 2, no. 7, pp. 56–67, 2024.
- [10] T. D. Astuti, "1 , 1 , 1 1," *J. Ilmu Kesehat. Dharmas Indones.*, vol. 11, no. 4, pp. 275–285, 2025.
- [11] A. Purwanto, R. Ratiandi Yacoub, and N. Tjahjamooniarsih, "Implementasi Node Bridge Untuk Meningkatkan Komunikasi Multi-Node Modul NRF24L01 Pada NLOS," *JiTEKH*, vol. 12, no. 1, pp. 8–15, 2024, doi: 10.35447/jitekh.v12i1.896.
- [12] A. Septiano W and T. Ghozali, "Nrf 24L01 Sebagai Pemancar/Penerima Untuk Wireless Sensor Network," *J. TEKNO*, vol. 17, no. 1, pp. 26–34, 2022, [Online]. Available: <https://journal.binadarma.ac.id/index.php/jurnaltekno/article/view/856/493>
- [13] K. N. Adi Wiranata, N. Indra ER, and G. Sukadarmika, "Rancang Bangun Purwarupa Sistem Komunikasi Antar Kendaraan Menggunakan Nrf24L01 Mode Simplex," *J. SPEKTRUM*, vol. 11, no. 1, p. 238, 2024, doi: 10.24843/spektrum.2024.v11.i01.p27.
- [14] S. Ramadhan, F. Bina, and W. A. Prasetyanto, "Integrasi Perangkat Fetal Doppler Dan Aplikasi Berbasis Iot Untuk Pemantauan Kesehatan Janin: Studi Pengembangan Dan Uji Kinerja," *JIKO (Jurnal Inform. dan Komputer)*, vol. 9, no. 3, p. 606, 2025, doi: 10.26798/jiko.v9i3.2148.