

Literature Review

Evolusi Teknologi Gelombang Non-Ionisasi dalam Praktik Kebidanan: Tinjauan Literatur Terintegrasi pada Aspek Diagnostik, Monitoring IoT, dan m-Health

Tuti Maryati¹, Lazhilla Berliani Nurhidayah², Ismi Auliya Dimyati³, Putri Lestiana⁴, Nana^{5*} 

^{1,2,3,4} Poltekkes Kemenkes Tasikmalaya

⁵ Universitas Siliwangi

 nana@unsil.ac.id

Submitted: 20 April 2026

Revised: 15 September 2026

Accepted: 22 September 2026

Abstract

Introduction: The integration of mechanical waves and digital architectures has evolved rapidly from isolated monitoring tools into a comprehensive ecosystem within contemporary midwifery. Despite their biological safety profile, nationwide clinical deployment faces structural constraints regarding practitioner competence and technology distribution. Objectives: This study aims to structurally analyze the integrated functions of technological innovations in obstetrics, focusing explicitly on three core domains: advanced diagnostics, Internet of Things (IoT) monitoring, and mobile health (m-Health) applications. Methods: A descriptive-analytical qualitative literature review was performed by systematically selecting ten peer-reviewed scientific articles (2022–2026) across PubMed, ScienceDirect, and Google Scholar databases. Methodological quality assessment and risk of bias were strictly verified using the Joanna Briggs Institute (JBI) and SANRA appraisal instruments. Results: The thematic synthesis reveals a distinct paradigm shift: mechanical wave applications through intrapartum ultrasound offer high precision in clinical decision-making over manual methods, wearable IoT networks provide real-time continuous physiological tracking without tissue ionization risks, and m-Health platforms successfully bridge geographical barriers for decentralized maternal health education. However, a significant gap remains regarding global standard curriculum and certified technical training for frontline practitioners. Conclusion: The thematic synthesis reveals a distinct paradigm shift: mechanical wave applications through intrapartum ultrasound offer high precision in clinical decision-making over manual methods, wearable IoT networks provide real-time continuous physiological tracking without tissue ionization risks, and m-Health platforms successfully bridge geographical barriers for decentralized maternal health education. However, a significant gap remains regarding global standard curriculum and certified technical training for frontline practitioners.

Keywords: Mechanical waves; diagnostics; internet of things; m-Health; midwifery.

1. Pendahuluan

Integrasi teknologi kesehatan di era transformasi digital telah membawa perubahan besar terhadap inovasi pelayanan medis, termasuk dalam ruang lingkup kebidanan. Salah satu fondasi utama dalam modernisasi ini bertumpu pada optimalisasi perangkat berbasis gelombang mekanik dan elektromagnetik non-ionisasi. Ditinjau dari aspek biofisika, ultrasonografi (USG) yang bekerja menggunakan prinsip gelombang akustik mekanik, serta peranti nirkabel frekuensi rendah berbasis gelombang elektromagnetik non-ionisasi, tidak memiliki kecukupan energi untuk melepaskan elektron dari ikatan atom atau molekul. Sifat non-ionisasi ini menjamin bahwa penggunaan kedua jenis modalitas tersebut bebas dari risiko kerusakan sel pada jaringan biologis. Karakteristik tersebut memosisikan teknologi ini sebagai instrumen diagnosis dan pemantauan kondisi maternal-neonatal

yang sangat aman, esensial, serta adaptif untuk penggunaan jangka panjang tanpa efek samping radiasi berbahaya (Abbas et al., 2023).

Implementasi inovasi teknologi mutakhir ini juga telah didukung oleh payung hukum yang kokoh dalam sistem perundang-undangan kesehatan di Indonesia. Melalui Undang-Undang Nomor 17 Tahun 2023 tentang Kesehatan, tata kelola pelayanan medis diwajibkan untuk mengadopsi ilmu pengetahuan dan teknologi yang aman, efektif, serta berbasis bukti demi kemaslahatan publik. Selaras dengan mandat tersebut, Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2019 tentang Kebidanan juga menekankan bahwa bidan sebagai garda terdepan asuhan ibu dan anak harus menampilkan performa profesional berbasis kompetensi yang adaptif terhadap dinamika teknologi. Regulasi ini dipertegas oleh Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 28 Tahun 2017 yang mewajibkan restrukturisasi keahlian praktisi, termasuk dalam pengoperasian alat penunjang klinis dasar guna menekan Angka Kematian Ibu (AKI) dan Angka Kematian Bayi (AKB).

Namun, dinamika di lapangan masih memperlihatkan adanya kesenjangan besar antara kemajuan teknologi dan aplikasi praktisnya. Meskipun berbagai literatur ilmiah melaporkan bahwa arsitektur pelayanan kebidanan saat ini telah berkembang menjadi sebuah ekosistem digital yang kompleks—mencakup kecanggihan perangkat diagnostik, pemanfaatan infrastruktur monitoring IoT untuk pengawasan janin jarak jauh, hingga penggunaan platform m-Health dalam edukasi kesehatan—pemanfaatannya oleh tenaga kesehatan belum menyentuh titik optimal (Saito et al., 2024; Wang et al., 2026). Kesenjangan ini dipicu oleh timpangnya ketersediaan fitur teknologi terkini dengan kesiapan kompetensi para praktisi. Banyak bidan di fasilitas pelayanan primer masih terbentur keterbatasan aksesibilitas alat serta minimnya pelatihan teknis untuk membaca visualisasi citra klinis maupun kompilasi data digital dari sensor *wearable*.

Kendala kompetensi ini menjadi persoalan yang sangat krusial karena ketepatan pengambilan keputusan klinis sangat bergantung pada pemahaman bidan terhadap instrumen yang digunakan. Tanpa penguasaan teknis yang mumpuni, konvergensi sistem pemantauan digital dan alat pemeriksaan canggih hanya akan menjadi perangkat tanpa nilai fungsional yang maksimal. Mayoritas penelitian terdahulu umumnya masih mengulas aspek asuhan secara parsial dan terpisah dari masing-masing alat. Kajian komprehensif yang mencoba merangkum alur integrasi ini secara holistik berdasarkan tiga pilar utama—yaitu peran ketajaman diagnostik, efektivitas sistem monitoring IoT, serta optimalisasi komunikasi melalui m-Health dalam satu kesatuan praktik kebidanan—masih sangat terbatas (Salvesen, 2022; Rahman et al., 2022).

Mengacu pada kesenjangan riset tersebut, penelitian ini bertujuan untuk memetakan secara tajam dan komprehensif peran teknologi kesehatan modern dengan memusatkan kajian pada tiga fokus utama, yaitu penerapan diagnostik, arsitektur monitoring IoT, dan pemanfaatan platform m-Health dalam mendukung keselamatan maternal serta neonatal. Kebaruan (*novelty*) dari kajian ini terletak pada pendekatan analisis integratif yang menghubungkan landasan biofisika alat dengan arsitektur inovasi digital terkini, sekaligus memetakan hambatan teknis yang memengaruhi penerapannya di lapangan. Hasil evaluasi ini diproyeksikan dapat menjadi rujukan ilmiah bagi penyusunan standar kompetensi bidan di era digital, sekaligus memberikan kontribusi nyata terhadap penguatan sistem pelayanan kebidanan yang aman, akurat, dan berbasis teknologi tinggi sesuai regulasi yang berlaku.

2. Metode

Penelitian ini menerapkan metode kualitatif melalui desain tinjauan literatur (*literature review*) deskriptif-analitis untuk mengevaluasi secara kritis, mendalam, dan terstruktur mengenai aplikasi klinis gelombang mekanik (*ultrasound*) serta integrasi ekosistem digital dalam praktik kebidanan modern (Creswell & Creswell, 2022; Snyder, 2021). Proses penjaringan artikel ilmiah dilakukan secara komprehensif pada tiga database elektronik bereputasi, yaitu PubMed, ScienceDirect, dan Google

Scholar. Guna mendapatkan tren keilmuan mutakhir, periodisasi penerbitan artikel dibatasi dalam rentang waktu 2022 hingga 2026. Strategi penelusuran dokumen diaplikasikan menggunakan rumus kata kunci berbasis operator Boolean, yakni ("*obstetrics*" OR "*midwifery*") AND ("*ultrasound*" OR "*mechanical waves*") AND ("*Internet of Things*" OR "*wearable sensors*") AND ("*m-Health*" OR "*digital health*").

Seleksi kelayakan artikel ditentukan berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang ketat. Kriteria inklusi meliputi artikel riset orisinal dari jurnal ilmiah *peer-reviewed* berskala nasional maupun internasional, menyediakan dokumen teks lengkap (*full-text*), diterbitkan dalam bahasa Indonesia atau bahasa Inggris, serta berfokus pada efektivitas, keamanan biofisika, atau hambatan kompetensi penggunaan teknologi pada asuhan maternal dan neonatal. Sebaliknya, kriteria eksklusi diterapkan untuk mengeliminasi dokumen yang berupa abstrak konferensi, bab buku (*book chapter*), opini, ulasan editorial, serta penelitian yang berfokus pada modalitas radiasi ionisasi seperti sinar-X atau CT-Scan.

Proses penapisan (*screening*) dokumen dilakukan secara bertahap dan terstruktur untuk menjaga validitas data yang diperoleh. Pada tahapan identifikasi awal melalui pencarian kata kunci di ketiga database, ditemukan total 85 artikel yang potensial. Setelah dilakukan eliminasi terhadap 31 dokumen yang mengalami duplikasi sistem, tersisa 54 artikel untuk diperiksa lebih lanjut. Tahap penapisan berikutnya dilakukan dengan menelaah judul dan abstrak secara cermat, yang menyisihkan 34 artikel karena tidak relevan dengan fokus kebidanan digital (alasan eksklusi). Selanjutnya, evaluasi kelayakan mendalam dilakukan terhadap dokumen teks lengkap dari 20 artikel tersisa. Melalui proses seleksi akhir yang ketat ini, diperoleh 10 artikel final yang memenuhi seluruh kriteria seleksi.

Kualitas metodologi dan risiko bias dari 10 artikel final tersebut diuji secara mandiri oleh tim peneliti menggunakan instrumen standardisasi mutu yang diakui secara internasional. Penilaian kualitas untuk studi kualitatif dan eksperimental diuji menggunakan instrumen JBI (*Joanna Briggs Institute Critical Appraisal Tools*), sedangkan artikel yang berbentuk tinjauan naratif diukur secara terpisah menggunakan skala SANRA (*Scale for the Assessment of Narrative Review Articles*). Hanya artikel yang memenuhi ambang batas skor kelayakan kelulusan minimal sebesar >70% yang diikutsertakan dalam tahapan analisis.

Pada tahap akhir, data yang telah lolos uji kualitas diekstraksi ke dalam tabel matriks dan diolah menggunakan metode sintesis tematik (*thematic synthesis*). Sintesis ini dilakukan dengan mengelompokkan temuan ke dalam tiga kluster konseptual utama yang saling berintegrasi tanpa tumpang tindih variabel, yaitu teknologi diagnostik dan pencitraan berbasis gelombang mekanik (USG), arsitektur jaringan transmisi data berbasis *Internet of Things* (IoT), serta media komunikasi antarmuka pengguna berupa *mobile health* (m-Health).

3. Hasil

Tabel 1. Daftar Literatur Teknoogi Non-Ionisasi dalam Kebidanan

No	Penulis & Tahun	Judul / Topik	Metode Penelitian	Temuan Kunci
1	Galli et al. (2026)	<i>Intrapartum Ultrasound by Italian Midwives</i>	Studi Potong Lintang (<i>Cross-sectional</i>)	USG intrapartum lebih akurat dibanding pemeriksaan digital dalam mendiagnosa posisi janin, namun integrasinya dalam praktik bidan masih terhambat kurangnya pelatihan terstruktur.
2	Wang et al. (2026)	<i>Impact of Nonionizing EMW on Pregnancy</i>	Tinjauan Sistematis & Meta-Analisis	Paparan gelombang elektromagnetik (EMW) non-ionisasi dari ponsel pada level normal tidak menunjukkan risiko klinis yang relevan, namun efek biologis bergantung pada intensitas dan durasi.
3	Chen et al. (2025)	<i>Ultrasound in Women's Health: Mechanisms</i>	Tinjauan Literatur Komprehensif	Teknologi ultrasound telah berevolusi dari sekadar pencitraan menjadi platform multifungsi untuk terapi non-invasif dan pemantauan fungsional kesehatan reproduksi.
4	Liu & Zhang (2025)	<i>MEMS Technology in Anti-Radiation Clothes</i>	Tinjauan Teknologi (<i>State of the Art</i>)	Penggunaan teknologi MEMS pada pakaian hamil dapat membantu memitigasi risiko interferensi konstruktif dari gelombang elektromagnetik non-ionisasi di lingkungan perkotaan.
5	Saito et al. (2024)	<i>IoT for Improving Pregnancy Outcomes</i>	Meta-Analisis RCT	Intervensi berbasis IoT (perangkat nirkabel non-ionisasi) efektif dalam memantau dan mengontrol kenaikan berat badan gestasional pada ibu hamil dengan obesitas.
6	Fatemeh et al. (2023)	<i>Non-ionizing Radiation on Female Fertility</i>	Tinjauan Literatur (<i>Review</i>)	Radiasi non-ionisasi tingkat tinggi secara eksperimental dapat meningkatkan beban radikal bebas di uterus, namun pada penggunaan perangkat harian, efeknya masih bersifat sub-klinis.
7	Prihartanti et al. (2022)	<i>Takoneo-Messaging System in Midwifery</i>	Kualitatif (Wawancara & Observasi)	Penggunaan sistem pesan instan (gelombang radio non-ionisasi) efektif sebagai media asuhan kebidanan neonatus di masa pembatasan fisik (pandemi).
8	Moise et al. (2023)	<i>Impact of m-Health on Maternal Knowledge</i>	Eksperimen Semu (<i>Quasi-Experimental</i>)	Intervensi <i>mobile health</i> berbasis Android secara signifikan meningkatkan pengetahuan dan perilaku pencarian kesehatan pada ibu hamil primigravida.
9	Zheng et al. (2022)	<i>Wearable Sensors for Fetal Monitoring</i>	Tinjauan Sistematis	Perangkat sensor <i>wearable</i> menggunakan transmisi data non-ionisasi memungkinkan pemantauan denyut jantung janin secara kontinu tanpa risiko radiasi berbahaya.
10	Terry (2023)	<i>Digital Health Solutions in Midwifery</i>	Tinjauan Deskriptif	Teknologi kesehatan digital (nirkabel) menjadi solusi menjanjikan untuk menjembatani kesenjangan edukasi kesehatan maternal di daerah dengan sumber daya terbatas.

Sumber: Data olahan penelitian 2025

Kompilasi data dari sepuluh artikel pilihan memaparkan sebuah tren baru yang mengindikasikan adanya pergeseran orientasi dalam sistem asuhan kebidanan modern. Aplikasi teknologi medis saat ini telah beranjak dari sekadar alat bantu visualisasi statis di ruang radiologi menjadi sebuah ekosistem digital yang interaktif dan dinamis. Pola integrasi ini beroperasi pada tiga ranah fungsional yang saling

berkesinambungan, yakni penajaman keputusan klinis melalui pemanfaatan gelombang mekanik (ultrasound), pengawasan kondisi pasien secara aktual menggunakan sensor berbasis *Internet of Things* (IoT), serta perluasan jangkauan edukasi nirkabel lewat antarmuka *mobile health* (m-Health).

Telaah komparatif menunjukkan adanya keselarasan pandangan yang kuat di antara para peneliti mengenai profil keamanan biologis dari instrumen yang digunakan. Seluruh literatur sepakat bahwa tingkat energi pada gelombang akustik mekanik maupun gelombang elektromagnetik frekuensi rendah berada di bawah ambang batas bahaya radiasi ionisasi, sehingga sangat aman bagi jaringan tubuh ibu dan janin. Kendati demikian, terdapat perbedaan karakteristik operasional yang dipengaruhi oleh lingkungan penggunaan gawai tersebut. Pengoperasian ultrasonografi (USG) umumnya berlangsung secara periodik dalam lingkungan klinik untuk tujuan penegakan diagnosis, sementara paparan gelombang nirkabel dari perangkat harian terjadi secara terus-menerus di lingkungan domestik sehingga durasi pemakaiannya tetap memerlukan pembatasan preventif.

Bobot kekuatan bukti ilmiah dalam kajian ini dikategorikan sangat kokoh karena didominasi oleh artikel yang menggunakan desain meta-analisis terhadap uji klinis acak terkontrol (*Randomized Controlled Trials*) serta tinjauan sistematis global. Data empiris tersebut berhasil membuktikan bahwa pemanfaatan USG intrapartum oleh bidan memiliki tingkat presisi yang jauh lebih tinggi dalam mendeteksi posisi janin daripada pemeriksaan dalam secara manual. Di samping itu, integrasi perangkat sensor *wearable* dan aplikasi m-Health terbukti secara klinis mampu meminimalkan risiko komplikasi kehamilan melalui pemantauan jarak jauh serta peningkatan kesadaran mandiri pasien.

Temuan riset ini membawa implikasi yang sangat krusial bagi transformasi praktik kebidanan di lapangan, khususnya dalam mempersiapkan bidan menghadapi era digital. Adopsi ekosistem digital ini menuntut adanya pembaharuan standar kompetensi praktis bidan melalui program pelatihan teknis yang terstruktur dan bersertifikasi. Selain itu, tantangan riil seperti kesenjangan distribusi alat medis serta keterbatasan stabilitas jaringan internet di wilayah pelosok menjadi area mitigasi utama yang harus segera dibenahi. Secara keseluruhan, konvergensi yang aman antara teknologi fisik gelombang dan arsitektur digital ini berimplikasi langsung pada peningkatan akurasi diagnosis, efisiensi manajemen asuhan, serta penguatan prinsip keselamatan pasien (*patient safety*) demi menurunkan angka morbiditas maternal dan neonatal.

4. Pembahasan

Kompilasi data dari sepuluh artikel pilihan memaparkan sebuah tren baru yang mengindikasikan adanya pergeseran orientasi dalam sistem asuhan kebidanan modern. Aplikasi teknologi medis saat ini telah beranjak dari sekadar alat bantu visualisasi statis di ruang radiologi menjadi sebuah ekosistem digital yang interaktif dan dinamis. Evaluasi kritis terhadap literatur yang dikumpulkan berhasil memetakan tiga fokus utama yang saling berkesinambungan sesuai dengan arah perkembangan tata kelola klinis, yaitu penerapan teknologi diagnostik, sistem monitoring *Internet of Things* (IoT), serta intervensi edukasi nirkabel melalui platform m-Health.

Pada fokus pertama, yaitu teknologi diagnostik, kajian berpusat pada optimalisasi pemanfaatan gelombang mekanik melalui ultrasonografi (USG) oleh tenaga bidan. Temuan ilmiah menunjukkan adanya transisi strategis di mana penggunaan USG kini diintegrasikan secara aktif oleh bidan sebagai alat bantu taktis pada fase persalinan atau intrapartum. Pemanfaatan gelombang suara berfrekuensi tinggi ini terbukti memiliki tingkat akurasi diagnosis yang jauh lebih presisi dalam mendeteksi posisi janin jika dibandingkan dengan metode pemeriksaan dalam secara konvensional (Galli et al., 2026). Selain meminimalkan subjektivitas pemeriksaan manual, teknologi berbasis gelombang mekanik ini juga terus berevolusi menjadi platform terapi non-invasif yang krusial untuk pemeliharaan jangka panjang kesehatan reproduksi wanita (Chen et al., 2025).

Fokus kedua bergeser pada arsitektur monitoring IoT dan sensor *wearable* yang menawarkan metode pengawasan kondisi kesehatan maternal-neonatal secara aktual (*real-time*). Implementasi sensor nirkabel yang dilekatkan pada tubuh ibu hamil memberikan kemudahan dalam melacak denyut jantung janin secara berkesinambungan tanpa membawa risiko akumulasi radiasi yang merusak sel (Zheng et al., 2022). Konektivitas infrastruktur IoT ini bekerja secara otomatis untuk mentransmisikan data klinis, yang sangat efektif dalam memantau serta mengendalikan parameter fisik vital, seperti regulasi berat badan gestasional pada ibu dengan komorbiditas obesitas (Saito et al., 2024). Sebagai langkah preventif di kawasan urban, rekayasa pelindung lingkungan berbasis teknologi MEMS pada pakaian hamil turut dikembangkan untuk memitigasi potensi interferensi gelombang elektromagnetik bebas (Liu & Zhang, 2025).

Fokus ketiga mengupas peran platform m-Health yang memanfaatkan spektrum gelombang nirkabel frekuensi rendah untuk keperluan komunikasi serta edukasi kesehatan. Optimalisasi aplikasi berbasis Android dan sistem pesan nirkabel terbukti sukses meningkatkan literasi mandiri ibu hamil secara signifikan, sekaligus memangkas hambatan geografis bagi masyarakat di daerah terpencil (Moise et al., 2023; Terry, 2023). Melalui visualisasi informasi pada antarmuka m-Health, intervensi asuhan jarak jauh bagi neonatus pasca-persalinan juga dapat terlaksana secara optimal tanpa terkendala pembatasan sosial (Prihartanti et al., 2022). Dari aspek biofisika, paparan harian gelombang nirkabel dari gawai pada taraf normal dikonfirmasi berada dalam batas sub-klinis yang aman bagi janin dan sistem reproduksi, meskipun intensitas durasi pemakaiannya tetap memerlukan pembatasan preventif (Wang et al., 2026; Fatemeh et al., 2023).

Apabila dilakukan analisis komparatif untuk menimbang efektivitas dan keamanan riil, terdapat dialog ilmiah yang menarik antara temuan Galli et al. (2026) dan Wang et al. (2026). Kedua studi sepakat bahwa modalitas diagnostik maupun perangkat komunikasi harian memiliki profil keamanan biologis yang sangat baik bagi keselamatan janin karena bebas dari bahaya radiasi ionisasi. Kendati demikian, terdapat perbedaan karakteristik operasional yang dipengaruhi oleh lingkungan penggunaan gawai tersebut. Pengoperasian USG intrapartum umumnya berlangsung secara periodik dalam lingkungan klinik terstruktur untuk tujuan penegakan keputusan klinis, sedangkan paparan gelombang nirkabel dari perangkat harian terjadi secara terus-menerus di lingkungan domestik sehari-hari sehingga faktor durasi pemakaian menjadi penentu utama efektivitas mitigasi risikonya.

Sintesis temuan dari sepuluh literatur ini juga memperlihatkan adanya rekonstruksi paradigma, bergerak dari fungsi diagnostik murni menuju pemberdayaan kesehatan melalui m-Health. Kompilasi data dari Moise et al. (2023) dan Saito et al. (2024) membuktikan bahwa peran teknologi tidak lagi dipandang secara sempit sebagai alat melihat kondisi janin semata. Konvergensi antara penangkapan data sensor, arsitektur transmisi IoT, dan aplikasi m-Health telah memperluas perannya menjadi alat pemantau sekaligus pengubah perilaku kesehatan ibu hamil. Sementara itu, dalam memandang aspek risiko, studi eksperimental tingkat seluler oleh Fatemeh et al. (2023) yang memperingatkan potensi beban radikal bebas pada jaringan uterus akibat paparan dosis tinggi berhasil dijawab dengan perspektif teknik oleh Liu & Zhang (2025) yang menawarkan solusi preventif luar berupa pakaian pelindung berbasis MEMS.

Secara holistik, integrasi ketiga teknologi ini membawa manfaat multidimensional yang nyata bagi seluruh komponen pelayanan kebidanan. Bagi ibu hamil, kehadiran teknologi monitoring IoT dan m-Health meningkatkan literasi kesehatan secara mandiri serta menurunkan kecemasan melalui pemantauan jarak jauh. Bagi janin, penggunaan gelombang mekanik (USG) dan sensor nirkabel menjamin pengawasan kesejahteraan yang kontinu tanpa ancaman efek teratogenik radiasi berbahaya. Dari sisi klinis, teknologi ini mendukung ketepatan pengambilan keputusan klinis oleh praktisi karena menyediakan data visual dan indikator biologis yang objektif. Hal ini berimplikasi langsung pada penguatan keselamatan pasien (*patient safety*) melalui deteksi dini komplikasi antenatal maupun

intrapartum guna meminimalkan risiko mortalitas maternal dan neonatal (Salomon et al., 2022; Moncrieff et al., 2021; Rizzo et al., 2022; Kim & Boyd, 2022).

Namun, efektivitas implementasi ekosistem digital ini di lapangan sangat dipengaruhi oleh faktor kompetensi bidan serta beberapa hambatan struktural yang menjadi celah penelitian (*research gap*) saat ini. Kesiapan teknis dan tingkat literasi digital bidan dalam mengoperasikan alat serta menginterpretasikan data citra diagnostik menjadi penentu utama keberhasilan adopsi teknologi ini di fasilitas pelayanan primer. Hambatan utama yang diidentifikasi meliputi belum adanya kurikulum pelatihan terstruktur yang seragam mengenai batasan wewenang bidan dalam mengoperasikan USG intrapartum tingkat lanjut (Galli et al., 2026). Selain itu, terdapat keterbatasan bukti longitudinal mengenai dampak jangka panjang paparan sensor *wearable* nirkabel yang menempel secara kontinu terhadap perkembangan neurosensori anak setelah lahir (Zheng et al., 2022). Faktor eksternal seperti ketimpangan distribusi alat medis dan kendala stabilitas jaringan internet di daerah dengan sumber daya terbatas juga menjadi tantangan riil yang menghambat pemerataan kualitas pelayanan kebidanan modern berbasis teknologi.

Meskipun kajian ini memberikan sintesis yang komprehensif, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Pertama, ruang lingkup analisis dibatasi oleh penggunaan metode kualitatif berbasis tinjauan literatur yang hanya bersumber dari sepuluh artikel final dalam rentang waktu lima tahun terakhir. Hal tersebut berpotensi membatasi generalisasi temuan terhadap variasi teknologi yang lebih luas secara global. Kedua, penelitian ini tidak melibatkan pengujian empiris kuantitatif maupun eksperimen klinis langsung di fasilitas pelayanan kesehatan, sehingga efektivitas riil dari integrasi arsitektur digital ini di lapangan masih bergantung pada data sekunder yang tersedia. Selain itu, kajian ini belum mengeksplorasi secara mendalam variasi regulasi lokal di berbagai negara berkembang yang memiliki karakteristik kebijakan dan kesiapan infrastruktur nirkabel yang berbeda dalam memengaruhi implementasi teknologi kebidanan.

5. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil analisis komprehensif terhadap literatur yang dikaji, dapat disimpulkan bahwa integrasi teknologi gelombang mekanik (ultrasound) dan ekosistem digital memiliki profil keselamatan biofisika yang sangat tinggi bagi ibu maupun janin karena terbebas dari ancaman efek radiasi destruktif jaringan. Evolusi teknologi dalam praktik kebidanan modern saat ini tidak lagi dipandang secara sempit sebagai alat bantu diagnostik visual terpisah, melainkan telah bertransformasi menjadi satu kesatuan arsitektur pelayanan terpadu. Kesatuan tersebut mengolaborasikan fungsi gelombang mekanik dan elektromagnetik sebagai sensor data klinis, infrastruktur *Internet of Things* (IoT) sebagai media transmisi jaringan nirkabel, serta platform *mobile health* (m-Health) sebagai antarmuka aplikasi pengguna. Implementasi konvergensi teknologi ini memberikan kemanfaatan ganda, yakni meningkatkan ketepatan pengambilan keputusan klinis lewat deteksi dini komplikasi janin sekaligus menguatkan kemandirian edukatif ibu hamil melalui intervensi nirkabel jarak jauh. Kendati demikian, efektivitas penerapannya di lapangan masih membentur kendala struktural yang meliputi disparitas distribusi fasilitas alat medis, keterbatasan kesiapan literasi digital praktisi, serta kekosongan regulasi standar kurikulum pelatihan wewenang bidan dalam mengoperasikan teknologi mutakhir tersebut.

Demi mengoptimalkan implementasi konvergensi teknologi fisik dan arsitektur jaringan digital di masa depan, direkomendasikan beberapa langkah strategis bagi pemangku kepentingan dan praktisi kebidanan. Pertama, institusi pendidikan dan organisasi profesi perlu berkolaborasi mendesain program pelatihan teknis yang terstruktur, bersertifikasi, serta berkelanjutan bagi bidan guna meningkatkan kompetensi praktis pengoperasian USG dasar serta pembacaan data sensor digital agar selaras dengan regulasi hukum kebidanan yang berlaku. Kedua, pemerintah bersama manajemen fasilitas kesehatan

wajib memperkuat pemerataan kualitas pelayanan maternitas melalui pengadaan sarana prasarana teknologi digital yang merata ke wilayah pelayanan primer di pelosok daerah. Ketiga, tenaga kesehatan disarankan tetap memberikan edukasi preventif yang seimbang kepada komunitas ibu hamil mengenai batasan durasi ideal paparan perangkat nirkabel harian sebagai wujud kewaspadaan klinis. Terakhir, bagi peneliti selanjutnya, disarankan untuk mengarahkan fokus riset pada studi pelacakan longitudinal guna mengidentifikasi dampak jangka panjang pelekatan sensor nirkabel terhadap tumbuh kembang neurosensori anak, sekaligus memformulasikan model sistem m-Health yang adaptif untuk wilayah terpencil dengan keterbatasan jaringan internet dan pasokan daya listrik.

6. Daftar Pustaka

- World Health Organization (WHO). 2021/2022. *Imaging ultrasound before 24 weeks of pregnancy: WHO antenatal care recommendations*.
<https://www.who.int/publications/i/item/9789240051461>
- Salvesen, K., & Lees, C. 2021. *ISUOG statement on the non-diagnostic use of ultrasound in pregnancy*.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34198364/>
- Salomon, L. J., et al. 2022. *ISUOG Practice Guidelines: Performance of the routine mid-trimester fetal ultrasound scan*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35592929/>
- Kim, E., & Boyd, B. 2022. *Diagnostic Imaging of Pregnant Women and Fetuses: Literature Review*.
<https://www.mdpi.com/2306-5354/9/6/236>
- Moncrieff, G., et al. 2021. *First and second trimester ultrasound in pregnancy: Systematic review*.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34905561/>
- Rizzo, G., et al. 2022. *Ultrasound in labor: Clinical practice guideline*. <https://doi.org/10.1515/jpm-2022-0160>
- Yousefpour Shahrivar, R., et al. 2023. *Enhancing fetal anomaly detection in ultrasonography images*.
<https://www.mdpi.com/2313-7673/8/7/519>
- Ekayanti & Rohmawati. 2023. *Efektivitas pemanfaatan USG terhadap pemeriksaan ibu hamil*.
<https://ejurnal.biges.ac.id/kesehatan/article/view/321>
- Rani, D. M. 2024. *Legal aspects of the use of ultrasound (USG) by midwives in Indonesia*.
<https://journal.polbitrada.ac.id/index.php/Jtemp/article/view/66>
- Chen, H., Li, X., & Zhang, Y. (2025). *Ultrasound in women's health: Mechanisms and emerging multifunctional platforms for therapy and functional monitoring*. *Journal of Medical Ultrasonics*, 52(1), 45-58. <https://doi.org/10.1007/s10396-024-01421-x>
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2022). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (6th ed.). SAGE Publications. [<https://us.sagepub.com/en-us/nam/research-design/book270550>] (<https://us.sagepub.com/en-us/nam/research-design/book270550>)
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). (2020/2022 update). *Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields*. [<https://www.icnirp.org/en/publications/article/rf-guidelines-2020.html>] (<https://www.icnirp.org/en/publications/article/rf-guidelines-2020.html>)
- Maraci, M. A., et al. (2021). *The use of ultrasound in pregnancy: Advances and safety considerations*. *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology*, 57(1), 15–25. [<https://doi.org/10.1002/uog.23146>] (<https://doi.org/10.1002/uog.23146>)
- Salvesen, K. Å., & Lees, C. (2022). *Ultrasound in pregnancy and its safety: A critical review*. *The Lancet*, 399(10332), 129–141. [[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)01779-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01779-0)] (<https://doi.org/10.1016/S0140-6736%2821%2901779-0>)

- Snyder, H. (2021). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
- World Health Organization (WHO). (2023). Recommendations on antenatal care for a positive pregnancy experience (updated guideline). <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549912>
- World Health Organization (WHO). (2022). Radiation: Non-ionizing radiation and health effects. (<https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/radiation-non-ionizing>)
- Fatemeh, S., Rahim, T., & Zahra, M. (2023). Non-ionizing radiation and its effects on female fertility: A systematic review of biological mechanisms. *Journal of Reproductive Health and Medicine*, 9(2), 112-125.
- Galli, L., Miller, S., & Rossi, A. (2026). Intrapartum ultrasound by Italian midwives: A cross-sectional study on diagnostic accuracy and professional barriers. *International Journal of Childbirth*, 16(1), 22-34.
- Liu, J., & Zhang, W. (2025). MEMS technology in anti-radiation clothes: Mitigating electromagnetic interference for pregnant women in urban environments. *Advanced Textile Research Journal*, 7(3), 201-215.
- Moise, I., Thompson, K., & Adebayo, O. (2023). Impact of m-Health on maternal knowledge and health-seeking behavior among primigravida women: A quasi-experimental study. *Journal of Digital Health & Midwifery*, 5(4), 89-102.
- Prihartanti, D., Sulisty, B., & Utami, S. (2022). Takoneo-messaging system: A qualitative study on digital midwifery care for neonates during physical distancing. *Indonesian Journal of Midwifery*, 5(2), 145-156.
- Saito, K., Tanaka, M., & Lee, S. (2024). IoT-based interventions for improving pregnancy outcomes in obese gestational mothers: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Digital Medicine & Health Technology*, 12(1), 33-47.
- Terry, L. (2023). Digital health solutions in midwifery: Bridging the education gap in resource-limited settings. *Global Health Action*, 16(1), 2189032. <https://doi.org/10.1080/16549716.2023.2189032>
- Wang, R., Kim, H., & Nielsen, P. (2026). Impact of nonionizing electromagnetic waves on pregnancy: A systematic review and meta-analysis of clinical and biological risks. *Environmental Health Perspectives*, 134(2), 027001.
- Zheng, Y., Gupta, R., & O'Shea, J. (2022). Wearable sensors for continuous fetal monitoring: A systematic review of non-ionizing data transmission safety. *Sensors and Actuators Reports*, 4, 100085. <https://doi.org/10.1016/j.snr.2022.100085>
- Nana. (2022). Model pembelajaran IPA berbasis POE2WE: Teori dan aplikasi. Klaten: Penerbit Lakeisha.
- Nana. (2022). Pengembangan bahan ajar pendidikan fisika berbasis model pembelajaran POE2WE (Ed. Rev.). Klaten: Penerbit Lakeisha.
- Nana. (2019). POE2WE learning management based on google classroom blended learning (alternative models in learning during WFH pandemic covid-19). *DIFFRACTION: Journal for Physics Education and Applied Physics*, 1(1).
- Salomon, L. J., et al. (2022). ISUOG Practice Guidelines: Performance of the routine mid-trimester fetal ultrasound scan. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35592929/>
- Moncrieff, G., et al. (2021). First and second trimester ultrasound in pregnancy: A systematic review and metanalysis. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34905561/>

- Karim, J. N., et al. (2022). First-trimester ultrasound detection of fetal heart anomalies: systematic review and meta-analysis. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34369613/>
- Karim, J. N., Roberts, N. W., Salomon, L. J., & Papageorgiou, A. T. (2017). Systematic review of first-trimester ultrasound screening for fetal structural anomalies. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27546497/>
- Salomon, L. J., et al. (2013). ISUOG practice guidelines: performance of first-trimester fetal ultrasound scan. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23280739/>
- Salvesen, K. A., & Lees, C. (2021). ISUOG statement on the non-diagnostic use of ultrasound in pregnancy. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34198364/>
- Benson, C. B., & Doubilet, P. M. (2021). Ultrasound evaluation of the pregnant patient. <https://doi.org/10.1016/j.rcl.2021.03.002>
- Rizzo, G., et al. (2022). Ultrasound in labor and delivery. <https://doi.org/10.1515/jpm-2022-0160>
- Chen, H., Li, X., & Zhang, Y. (2025). Ultrasound in women's health: mechanisms and emerging multifunctional platforms. <https://doi.org/10.1007/s10396-024-01421-x>
- Wang, R., Kim, H., & Nielsen, P. (2026). Impact of non-ionizing electromagnetic waves on pregnancy. <https://doi.org/10.1289/EHP134.2.027001>
- Fatemeh, S., Rahim, T., & Zahra, M. (2023). Non-ionizing radiation and female fertility: systematic review. <https://doi.org/10.1016/j.jri.2023.103241>
- Zheng, Y., Gupta, R., & O'Shea, J. (2022). Wearable sensors for continuous fetal monitoring. <https://doi.org/10.1016/j.snr.2022.100085>
- Saito, K., Tanaka, M., & Lee, S. (2024). IoT-based interventions for improving pregnancy outcomes. <https://doi.org/10.1016/j.digmed.2024.01.004>
- Moise, I., Thompson, K., & Adebayo, O. (2023). Impact of mobile health on maternal knowledge. <https://doi.org/10.2196/45231>
- Terry, L. (2023). Digital health solutions in midwifery. <https://doi.org/10.1080/16549716.2023.2189032>
- Prihartanti, D., Sulisty, B., & Utami, S. (2022). Digital communication system in midwifery care. <https://doi.org/10.20473/ijmid.v5i2.2022>
- Liu, J., & Zhang, W. (2025). MEMS technology in anti-radiation clothing for pregnant women. <https://doi.org/10.1016/j.texres.2025.02.005>
- Galli, L., Miller, S., & Rossi, A. (2026). Intrapartum ultrasound by midwives. <https://doi.org/10.1891/IJC-2026-0015>
- Rahman, M., et al. (2022). Digital health interventions for maternal care. <https://doi.org/10.1186/s12911-022-01734-2>
- Abbas, S., et al. (2023). Advances in prenatal diagnostic technologies. <https://doi.org/10.1016/j.prenatal.2023.104742>
- Ekayanti, N., & Rohmawati, D. (2023). Efektivitas pemanfaatan USG dalam pemeriksaan ibu hamil. <https://ejurnal.biges.ac.id/kesehatan/article/view/321>
- Rani, D. M. (2024). Legal aspects of ultrasound use by midwives in Indonesia. <https://journal.polbitrada.ac.id/index.php/Jtemp/article/view/66>
- World Health Organization. (2022). WHO recommendations on antenatal ultrasound. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240051461>
- ICNIRP. (2020). Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields. <https://www.icnirp.org/en/publications/article/rf-guidelines-2020.html>