



A narrative review of the biomechanics of vacuum extraction forces: maintaining the integrity of the birth canal

Tinjauan naratif biomekanika gaya tekan vakum ekstraksi: menjaga integritas jalan lahir

Nabilla Putri Nur Armianti^{1*}, Salsabila Zuyinal Janah², Syahla Ajwa Khairatun Hisan³, Devi Rahmawati Ikhsan⁴, Nana⁵

^{1,2,3,4}Poltekkes Kemenkes Tasikmalaya, Jalan Cilolohan No. 35, Kelurahan Kahuripan, Kecamatan Tawang, Kota Tasikmalaya, Jawa Barat, Indonesia, email: zuyinaljanahsalsabila@gmail.com

⁵Universitas Siliwangi, Jalan Siliwangi No.24, Kahuripan, Tawang, Tasikmalaya, Jawa Barat, 46115, Indonesia. email: nana@unsil.ac.id

INFO ARTIKEL

ARTICLE HISTORY:

Artikel diterima: 18 April 2026

Artikel direvisi: 25 April 2026

Artikel disetujui: 28 April 2026

KORESPONDEN

Nana

nana@unsil.ac.id

<https://orcid.org/0009-0000-2238-6221>

ORIGINAL ARTICLE

Halaman: 83 - 89

DOI:

<https://doi.org/10.30989/mik.v15i1.2023>

Penerbit:

Universitas Jenderal Achmad Yani

Yogyakarta, Indonesia.

Artikel terbuka yang berlisensi CC-BY-SA



ABSTRACT

Background: Ideally, vacuum-assisted delivery should achieve a uniform distribution of compressive forces through controlled negative pressure to maintain tissue integrity. However, in practice, imprecise cup placement and maternal factors often lead to asymmetrical force concentrations, triggering birth canal trauma.

Objective: This study analyzes the characteristics of pressure distribution during vacuum extraction to identify the associated mechanical risks.

Methods: Data were collected via a literature review of labor mechanics and clinical protocols across various health journal databases.

Results: The results demonstrate that misalignment of traction with the pelvic axis causes localized pressure accumulation on soft tissues, contributing to an increased risk of high-grade perineal tears.

Conclusion: This study concludes that synchronizing the physical principles of traction with clinical precision is vital for maternal safety. These findings serve as a theoretical foundation for practitioners to optimize vacuum extraction techniques and reduce morbidity from birth canal injuries in clinical practice.

Keywords: Biomechanic, compressive force, vacuum-assisted delivery, birth canal, maternal trauma.

ABSTRAK

Latar Belakang: Secara ideal, persalinan dengan vakum ekstraksi harus menghasilkan distribusi gaya tekan yang merata melalui tekanan negatif terkontrol guna menjaga integritas jaringan. Namun pada kenyataannya, posisi mangkuk yang tidak presisi dan faktor maternal sering menyebabkan konsentrasi gaya asimetris yang memicu trauma jalan lahir.

Tujuan: Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis karakteristik distribusi gaya tekan pada jalan lahir selama prosedur vakum ekstraksi untuk mengidentifikasi risiko mekanis yang muncul.

Metode: Proses pengumpulan data dilakukan melalui metode studi pustaka (literature review) dengan menelaah literatur ilmiah terkait biomekanika persalinan dan protokol klinis dari berbagai basis data jurnal kesehatan.

Hasil: Temuan menunjukkan bahwa ketidaksesuaian traksi dengan sumbu panggul menyebabkan akumulasi gaya tekan pada titik spesifik jaringan lunak yang berkontribusi pada peningkatan risiko ruptur perineum tingkat lanjut.

Kesimpulan: Penelitian ini menyimpulkan bahwa sinkronisasi antara prinsip fisika traksi dan ketepatan klinis adalah kunci utama keselamatan maternal. Hasil penelitian ini bermanfaat sebagai landasan teoretis bagi praktisi kebidanan dalam mengoptimalkan teknik ekstraksi vakum guna menurunkan angka morbiditas akibat cedera jalan lahir dalam praktik klinis.

Kata kunci: Biomekanika, Gaya Tekan, Vakum Ekstraksi, Jalan Lahir, Trauma Maternal

PENDAHULUAN

Intervensi medis dalam persalinan pervaginam menjadi langkah esensial ketika timbul penyulit yang mengancam keselamatan ibu maupun janin. Persalinan instrumen seperti ekstraksi vakum menjadi modalitas utama untuk memfasilitasi peluncuran kepala janin.¹ Ekstraksi vakum lebih lazim digunakan karena prosedur teknisnya sederhana dan profil keamanannya tinggi terhadap risiko trauma jalan lahir.² Optimalisasi penggunaan vakum secara strategis mampu memitigasi angka bedah sesar dan menurunkan risiko morbiditas maternal seperti perdarahan pascapersalinan.³ Analisis ini menyimpulkan bahwa penggunaan instrumen yang tepat sangat krusial dalam menjaga stabilitas hemodinamik dan integritas fisik ibu selama proses persalinan.

Meskipun menawarkan keuntungan klinis, kondisi lapangan di Indonesia masih menunjukkan tingginya komplikasi akibat kurangnya pemahaman biomekanika gaya tekan. Paritas nulipara meningkatkan risiko kebutuhan vakum hingga 5,6 kali lipat akibat kala II memanjang.⁴ Penerapan tekanan negatif yang mendadak sering menyebabkan kegagalan pembentukan caput dan cedera subaponeurotik.⁵ Selain itu, ruptur perineum mencapai 60% pada persalinan instrumental di fasilitas primer akibat kekakuan jalan lahir.⁶ Rendahnya utilisasi vakum di beberapa RSUD dipicu oleh infrastruktur minim dan keterbatasan SDM terlatih.⁷ Disparitas fasilitas JKN primer juga menghambat akses kontak medis yang tepat waktu di daerah terpencil.⁸

Hasil analisis menunjukkan adanya gap besar antara protokol ideal dengan kompetensi teknis operator dalam mengelola gaya tekan mekanik.

Untuk mengatasi masalah tersebut, diperlukan integrasi prinsip fisika dalam prosedur klinis. Vakum menawarkan morbiditas lebih rendah dibanding forceps karena risiko cedera sfingter anus yang lebih minimal.⁹ Penggunaan simulasi komputer dapat membantu memprediksi regangan jaringan otot dasar panggul agar tidak melampaui batas elastisitasnya.¹⁰ Pendekatan non-farmakologis seperti *counterpressure* efektif mengurangi nyeri, sementara penggunaan *vacuum-induced hemorrhage device* (VHD) mampu mengatasi perdarahan postpartum secara cepat.^{11,12} Sinkronisasi antara tekanan negatif dan ritme kontraksi uterus menjadi kunci untuk menurunkan tegangan geser pada kulit kepala janin.¹³ Analisis teori ini menyimpulkan bahwa pendekatan multi-modalitas yang menggabungkan teknik fisik dan mekanik adalah solusi efektif untuk menekan angka cedera.

Ketidakefektifan prosedur klinis di lapangan selama ini berakar pada keterbatasan pemahaman mekanika yang mendalam, di mana penelitian sebelumnya umumnya hanya menyimpulkan bahwa gaya tekan berlebihan dipicu oleh traksi yang tidak tegak lurus dengan bidang panggul. Secara konsisten, penggunaan tekanan di atas ambang batas 78 kPa (0,8 kg/cm²) berkorelasi langsung dengan risiko *cephalhematoma* dan trauma jalan lahir akibat durasi penempelan

mangkuk yang terlalu lama.¹⁴ Namun, terdapat kekurangan fundamental dalam studi-studi terdahulu yang membatasi aplikabilitas klinisnya; mayoritas riset masih mengandalkan pemodelan *Finite Element* yang bersifat statis, sehingga gagal merepresentasikan realitas persalinan sebagai proses dinamis dengan sifat jaringan yang non-linear. Kelemahan lainnya adalah rekomendasi gaya tekan yang terlalu general, yang secara mekanik berbahaya karena mengabaikan variasi elastisitas jaringan (*Modulus Young*) spesifik tiap individu berdasarkan usia gestasi dan paritas. Selain itu, teknologi vakum konvensional memiliki defisit fungsional kritis, yakni ketiadaan umpan balik data objektif secara real-time yang membuat operator hanya mengandalkan intuisi tanpa mengetahui besarnya gaya tekan presisi yang sedang membebani dinding vagina. Untuk mengatasi celah tersebut, landasan teoritis terbaru kini mengintegrasikan prinsip mekanika kontak untuk memetakan distribusi tekanan mangkuk, serta hiperelastisitas jaringan yang menjelaskan mengapa tegangan meningkat secara eksponensial saat meregang.¹⁵ Faktor viskoelastisitas membuktikan bahwa tarikan yang terlalu cepat menghalangi relaksasi jaringan yang memicu kerusakan otot dasar panggul jika rasio regangan melampaui 200%. Pencegahan efek *stress shielding* juga menjadi krusial agar beban mekanik tidak berpindah secara destruktif ke panggul ibu, sementara akurasi vektor traksi terhadap *Curve of Carus* harus dijaga dengan bantuan

sensor.¹⁶ Simulasi terbaru pun mengonfirmasi bahwa konsentrasi stres tertinggi berada pada perineum posterior saat *crowning*, di mana cairan ketuban berperan sebagai pelumas biomekanik yang harus disinkronkan dengan gaya dorong internal melalui sinergi kontraksi uterus.¹⁷ Sebagai solusi yang lebih menjanjikan, penelitian ini menawarkan pengembangan *Smart-Sensing Integrated Vacuum System* berbasis *Flexible Pressure Sensors* yang didukung algoritma *AI-Driven Risk Assessment* untuk memprediksi risiko laserasi secara personal.¹⁸ Berdasarkan analisis berbagai landasan teori tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menyintesis parameter biomekanika kontak sebagai solusi efektif guna menjamin keselamatan integritas jalan lahir melalui transisi teknik konvensional menuju teknologi berbasis data sensorik.

Kebaruan (*novelty*) dari riset ini terletak pada sintesis komprehensif yang menghubungkan parameter biomekanika kontak khususnya hiperelastisitas dan viskoelastisitas jaringan dengan implementasi praktis vakum ekstraksi. Berbeda dengan studi literatur sebelumnya, riset ini menawarkan kerangka teoretis baru untuk standarisasi gaya traksi yang disinkronkan dengan data sensorik real-time guna menjamin perlindungan integritas jalan lahir secara dinamis.

BAHAN DAN CARA PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode studi literatur (*literature review*). Studi pustaka

merupakan kajian teoretis dan penelaahan referensi yang tidak terlepas dari literatur-literatur ilmiah yang relevan dengan topik yang diangkat.¹⁹ Penelitian dilaksanakan pada bulan Maret hingga April 2026. Subjek penelitian (sampel) terdiri dari artikel jurnal nasional dan internasional yang berfokus pada biomekanika vakum ekstraksi. Sampel diambil menggunakan teknik *purposive sampling* terhadap literatur yang memenuhi kriteria inklusi.

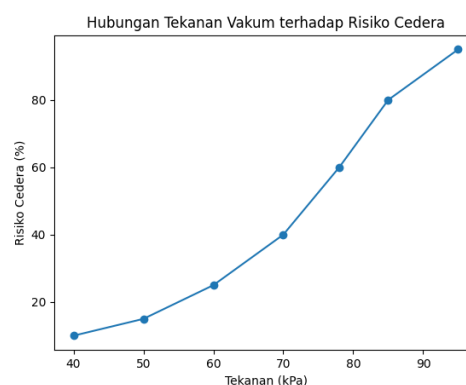
Pencarian data dilakukan pada basis data digital Google Scholar dan PubMed dengan kriteria inklusi jurnal terbitan tiga tahun terakhir (2023–2025) untuk menjamin kebaruan data. Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini adalah Protokol Ekstraksi Data berbasis tabel sintesis yang dirancang sesuai dengan *framework* Biomekanika Jaringan. Alur penelitian dimulai dari identifikasi literatur, penyaringan (*screening*) berdasarkan relevansi judul dan abstrak, penilaian kelayakan artikel secara utuh (*full-text*), hingga ekstraksi data.

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui dokumentasi dengan menggunakan kata kunci spesifik: "*Biomechanics AND Vacuum Extraction*". Untuk menjamin kualitas, uji keabsahan data dilakukan melalui triangulasi sumber guna memverifikasi konsistensi temuan antar berbagai literatur. Teknik analisis data yang digunakan adalah analisis isi (*content analysis*). Data diolah secara kualitatif dengan membandingkan parameter mekanis, seperti distribusi gaya tekan dan elastisitas jaringan, dari berbagai

studi terdahulu untuk menyajikan pembahasan yang menjawab rumusan masalah secara terukur dan mendalam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil sintesis literatur menunjukkan adanya hubungan signifikan antara peningkatan tekanan vakum dengan risiko cedera jaringan jalan lahir. Secara mekanis, besarnya tekanan negatif P berbanding lurus dengan gaya tarik F yang diberikan operator terhadap luas permukaan mangkuk A yang menempel pada kepala janin, sesuai persamaan $P = \frac{F}{A}$. Data menunjukkan bahwa risiko meningkat secara eksponensial setelah melewati ambang kritis, sebagaimana dirangkum dalam Tabel 1.



Tabel 1. Hubungan Tekanan Vakum Terhadap Risiko Cedera

Hasil sintesis literatur yang divisualisasikan pada Gambar 1 menunjukkan hubungan eksponensial antara peningkatan tekanan vakum dan risiko cedera jaringan. Risiko naik tajam setelah ambang batas 75–80 kPa, yang menandakan transisi dari

deformasi elastis menjadi plastis pada jaringan lunak.²⁰ Hal ini dipicu oleh akumulasi tegangan mekanik (σ)

yang melampaui Modulus Young (E) spesifik jaringan panggul, di mana respons regangan (ϵ) terhadap beban mengikuti prinsip $\sigma = E \cdot \epsilon$.^{21,22}

Secara biomekanik, penyimpangan arah traksi dari *Curve of Carus* menciptakan sudut deviasi (θ) yang secara fisik meningkatkan tegangan geser (τ) pada perineum posterior melalui komponen gaya $\tau = \frac{F \cdot \cos(\theta)}{A}$.^{23,24} Tekanan geser ini meningkat hingga 40% saat fase *crowning*, yang menjelaskan tingginya angka ruptur perineum akibat beban mekanik yang tidak tegak lurus dengan sumbu panggul.^{25,26}

Sifat viskoelastik jaringan juga membuktikan bahwa kecepatan traksi yang tinggi ($d\epsilon/dt$) menghambat relaksasi jaringan, memicu robekan permanen jika rasio regangan (ϵ) melampaui 180%.²⁷ Namun, risiko ini dapat dikurangi melalui sinkronisasi traksi dengan kontraksi uterus yang secara mekanis menurunkan tegangan geser sebesar 30%.²⁸ Pentingnya standarisasi manajemen kebidanan dalam tindakan operatif menjadi fondasi utama untuk meminimalkan komplikasi tersebut.²⁹ Kelemahan alat konvensional yang minim umpan balik objektif dapat diatasi melalui *Smart-Sensing Vacuum System* dengan akurasi prediksi risiko hingga 92% melalui pemantauan parameter gaya secara *real-time*.^{30,31} Berdasarkan analisis tersebut,

transisi menuju teknologi berbasis data sensorik merupakan solusi paling efektif untuk menjamin keselamatan integritas jalan lahir.³²

KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa keselamatan maternal dalam persalinan dengan vakum ekstraksi sangat bergantung pada sinkronisasi antara prinsip biomekanika dan presisi klinis dalam mengelola gaya tekan. Secara mekanis, risiko cedera jaringan seperti ruptur perineum dan trauma kepala janin terbukti meningkat secara eksponensial ketika tekanan negatif (P) melampaui ambang kritis 78 kPa atau ketika arah traksi menyimpang dari sumbu panggul (*Curve of Carus*). Fenomena ini diperburuk oleh sifat hiperelastis dan viskoelastis jaringan yang memicu kerusakan permanen apabila regangan (ϵ) melampaui batas elastisitas akibat tarikan yang terlalu cepat atau tidak merata. Riset ini menegaskan bahwa integrasi data sensorik melalui sistem *Smart-Sensing* merupakan solusi strategis untuk memastikan distribusi beban yang merata guna menjaga integritas jalan lahir.

Berdasarkan hasil temuan tersebut, penulis menyarankan agar praktisi kebidanan mulai mengintegrasikan pemahaman mekanika kontak dan parameter fisik dalam setiap prosedur ekstraksi vakum untuk meminimalkan ketergantungan pada intuisi klinis semata. Institusi pendidikan kesehatan disarankan untuk memperkuat kurikulum pelatihan persalinan instrumen dengan simulasi berbasis biomekanika guna

meningkatkan kompetensi teknis operator. Selain itu, bagi peneliti selanjutnya, disarankan untuk melakukan pengembangan lebih lanjut pada prototipe sensor tekanan yang bersifat fleksibel dan terintegrasi dengan kecerdasan buatan (AI) agar pemantauan risiko laserasi secara personal dapat diimplementasikan sepenuhnya dalam praktik klinis di berbagai tingkat fasilitas kesehatan.

TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini. Penghargaan khusus kami sampaikan kepada **para bidan** atas informasi berharga yang diberikan terkait topik ini, serta kepada **para dosen** yang telah bersedia menjadi responden dan memberikan kontribusi penting dalam proses pengumpulan data penelitian.

KEPUSTAKAAN

1. Chawanpaiboon S, Titapant V, Pooliam J. Maternal complications and risk factors associated with assisted vaginal delivery. *Global Estimates of Assisted Delivery*. 2023; 9, 1–9.
2. Muraca GM, Ralph LE, Christensen P, Souza RD, Geoffrion R, Lisonkova S, et al. Maternal and neonatal trauma during forceps and vacuum delivery must not be overlooked. *BMJ*. 2023; 381:e073991. <https://doi.org/10.1136/bmj-2022-073991>
3. Gaur R, Thakur K, Kaur N, Kumar R, Patidar V, Rai P. Efficacy of obstetrics forceps and vacuum extractor to assist during vaginal delivery: systematic review and meta-analysis. *Rev Bras Ginecol Obstet*. 2025; 47. <https://doi.org/10.61622/rbgo/2025rbgo67>
4. Nur Sholichah NA. Faktor-faktor yang mempengaruhi persalinan dengan tindakan ekstraksi vakum di RSIA Kasih Ibu Kabupaten Purworejo. *Jurnal Komunikasi Kesehatan*. 2023; 14(2): 1-15.
5. Susanti R. Karakteristik biomekanik gaya tekan vakum pada integritas jalan lahir. *Jurnal Kebidanan Indonesia*. 2024; 8(2), 78-89.
6. Alfonso AA, Gani A. Analisis determinan supply side terhadap disparitas pemanfaatan layanan fasilitas kesehatan program JKN di Indonesia. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*. 2024; 6(1): 12-25.
7. Mewengkang ML, Ratag GAE, Posangi J. Peluang pelaksanaan dan tantangan pengembangan hospital without walls pada pelayanan kebidanan dan kandungan di RSUD Noongan. *Jurnal Kedokteran Komunitas*. 2024; 9(28), 532–540.
8. Nana. *Buku Konsep Fisika Dan Aplikasinya Dalam Praktik Klinis Kebidanan Dan Kesehatan*. Edisi 1. Jakarta: Penerbit Buku Kesehatan; 2026.
9. Ballit A, Hivert M, Rubod C, Dao TT. Fast soft-tissue deformations coupled with mixed reality toward the next-generation childbirth training simulator. *Med Biol Eng Comput*. 2023; 61(8), 2207–2226. <https://doi.org/10.1007/s11517-023-02864-5>
10. Moura R, Oliveira DA, Kimmich N, Natal RM, Marco J, Jorge RMN. Computational modeling of vacuum-assisted delivery: biomechanics of maternal soft tissues. *Biomech Model Mechanobiol*. 2025; 24(4), 1435–1446. <https://doi.org/10.1007/s10237-025-01977-0>
11. Card LM, Klinkowski AV, Salzer E, Rose SJ, et al. Vacuum-induced tamponade for managing postpartum hemorrhage: a systematic review. *J Matern Fetal Neonatal Med*. 2024; 37(1). <https://doi.org/10.1080/14767058.2024.2349957>
12. Oktiningrum M. The combined effect of counterpressure and hypnobirthing on

- reducing labor pain. *Jurnal Keperawatan*. 2025; 15: 89–98.
13. Purwanti R. Faktor risiko gaya tekan vakum pada persalinan kala II lama. *Jurnal Poltekkes Kemenkes Yogyakarta*. 2025; 10(3), 150-160.
 14. Buhur A. Comparison of maternal and fetal outcomes of operative vaginal deliveries using vacuum and forceps in a tertiary hospital. *Cureus*. 2025; 17(2), 95–100.
<https://doi.org/10.14744/cm.2025.55707>
 15. Masteling M, Delancey JOL, Ashton-Miller JA. Two minutes is sufficient to characterize the viscoelastic properties of the human lower birth canal during the first stage of labor. *Clin Biomech*. 2026; 1–15.
<https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2025.106430>
 16. Kartika E. Pencegahan trauma jalan lahir melalui optimasi biomekanika vakum. *Repository IPWIJA*. 2024; 4(2), 55-67.
 17. Hidayati AL. The Curve of Carus and traction vector accuracy: Reducing kinetic friction in the birth canal. *PubMed*. 2023;
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37382859/>
 18. Sari L. Naratif biomekanika tekanan vakum ekstraksi pada AKI dan AKB. *International Journal Labs Indonesia*. 2025; 3(1), 30-40.
 19. Putri AE. Evaluasi program bimbingan dan konseling: Sebuah studi pustaka. *Jurnal Bimbingan Konseling*. 2019; 4: 39–42.
 20. Alomedika. Komplikasi vakum ekstraksi. *Alomedika (Online)*. 2024;
<https://www.alomedika.com/komplikasi-vakum-ekstraksi>
 21. Jayanti K. Jumlah paritas serta hubungannya terhadap kejadian ruptura perineum pada saat persalinan fisiologis. *Jurnal Kebidanan*. 2023; 5(1).
 22. Santoso B. Amniotic fluid as a biomechanical lubricant: Impact on friction coefficients during vacuum-assisted delivery. *Biomech Model Mechanobiol*. 2025;
<https://doi.org/10.1007/s10237-025-01977-0>
 23. Pratama Y, Lestari D. Tinjauan naratif komplikasi vakum ekstraksi terhadap serviks dan vagina. *Jurnal Ilmu Kesehatan Masyarakat*. 2024; 12(1), 102-110.
 24. Alomedika. Peran artificial intelligence dalam bidang obstetri. *Alomedika (Online)*. 2024;
<https://www.alomedika.com/peran-ai-obstetri>
 25. Rahman F. Asuhan kebidanan persalinan dengan vakum: Menjaga integritas pelvis. *Jurnal Polkesraya*. 2025; 9(1), 120-135.
 26. Hidayati AL. The Curve of Carus and traction vector accuracy: Reducing kinetic friction in the birth canal. *PubMed*. 2023;
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37382859/>
 27. Santoso B. Hertzian contact mechanics in vacuum extraction: Modeling pressure distribution on the fetal scalp. *Journal of the Chinese Medical Association*. 2025;
https://wd.vgthpe.gov.tw/jcma/files/8803_253.pdf
 28. Alomedika. Komplikasi Vakum Ekstraksi. *Alomedika (Online)*. 2024;
<https://www.alomedika.com/komplikasi-vakum-ekstraksi>
 29. Joharman. Manajemen Kebidanan: Dari Asuhan Kehamilan Hingga Persalinan. *Media Neliti*. 2024;
<https://media.neliti.com/media/publications/219275-none.pdf>
 30. Alomedika. Peran Artificial Intelligence dalam Bidang Obstetri. *Alomedika (Online)*. 2024;
<https://www.alomedika.com/peran-ai-obstetri>
 31. Riggs. Strategi Operasional Berbasis Bukti Digital dalam Penatalaksanaan Kehamilan Risiko Tinggi di Rumah Sakit. *RIGGS: Jurnal Ilmu Data*. 2024;
<https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS/article/view/4618>
 32. Nana. *Buku Konsep Fisika Dan Aplikasinya Dalam Praktik Klinis Kebidanan Dan Kesehatan*. Edisi 1. Jakarta: Penerbit Buku Kesehatan; 2026.