Excellent Midwifery Journal
Volume 9 No. 2, Oktober 2026
P-ISSN: 2620-8237
E-ISSN: 26209829



PAPARAN TEKNOLOGI RADIASI DALAM KEHIDUPAN MODERN: RESIKO BIOLOGIS TERHADAP KESEHATAN IBU HAMIL DAN PERKEMBANGAN JANIN

Ghaitsa Haurani Assabila [1]*, Dina Aprilia[2], Vanya Maurizka Adani[3], Nazwa Fauziah[4]
[1-4]Poltekkes Kemenkes Tasikmalaya*

Email: nana@unsil.ac.id*

DOI: https://doi.org/10.55541/emj.v9i2.425

ABSTRAK

Latar belakang: Perkembangan teknologi pencitraan medis dan perangkat elektronik modern memberikan manfaat dalam bidang kesehatan dan komunikasi, namun juga menimbulkan potensi risiko biologis akibat paparan radiasi. Ibu hamil dan janin merupakan kelompok yang sangat rentan, terutama pada fase organogenesis. **Tujuan:** Penelitian ini bertujuan mengkaji jenis radiasi, interaksinya dengan jaringan biologis, serta dampaknya pada kesehatan ibu dan janin untuk mendukung upaya pencegahan dalam praktik kebidanan. **Metode:** Penelitian ini menggunakan pendekatan studi literatur dengan menganalisis berbagai sumber ilmiah terkait efek radiasi pengion (seperti sinar-X) dan non-pengion terhadap sel dan jaringan manusia. **Hasil:** Hasil kajian menunjukkan bahwa radiasi pengion dapat menyebabkan kerusakan sel melalui mekanisme langsung berupa gangguan DNA maupun mekanisme tidak langsung melalui radiolisis air yang menghasilkan radikal bebas reaktif. Dampak biologis yang ditimbulkan meliputi risiko stokastik seperti mutasi sel dan kanker, serta potensi dampak fatal pada janin. Sebaliknya, teknologi non-pengion seperti ultrasonografi (USG) dan Magnetic Resonance Imaging (MRI) dinilai lebih aman karena tidak menyebabkan ionisasi jaringan. **Kesimpulan:** Perlindungan radiasi pada ibu hamil perlu mengutamakan prinsip ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*), penggunaan teknologi non-pengion, peningkatan edukasi oleh tenaga kesehatan, khususnya bidan, guna meminimalkan risiko jangka panjang bagi generasi mendatang.

Kata Kunci: radiasi; kehamilan; janin; keselamatan radiasi; kebidanan

ABSTRACT

Background: The advancement of medical imaging technology and modern electronic devices provides significant benefits in healthcare and communication, but it also introduces potential biological risks due to radiation exposure. Pregnant women and fetuses are particularly vulnerable, especially during the organogenesis phase. **Objective:** This study aims to analyze radiation types, their interactions with biological tissues, and their effects on maternal and fetal health to support preventive measures in obstetric practice. **Method:** This study applies a literature review approach by analyzing various scientific sources related to the effects of ionizing radiation (such as X-rays) and non-ionizing radiation on human cells and tissues. **Results:** The findings indicate that ionizing radiation can damage cells through direct mechanisms, such as DNA disruption, or indirect mechanisms via water radiolysis that generates reactive free radicals. The biological effects include stochastic risks such as cell mutations and cancer, as well as potential fatal outcomes for the fetus. In contrast, non-ionizing technologies such as ultrasound (USG) and Magnetic Resonance Imaging (MRI) are considered safer alternatives because they do not cause tissue ionization. **Conclusion:** Radiation protection for pregnant women should emphasize the ALARA (As Low As Reasonably Achievable) principle, the use of non-ionizing technologies, and enhanced education by healthcare providers, especially midwives, to reduce long-term risks for future generations.

Keywords: radiation; pregnancy; fetus; radiation safety; midwifery

*Correspondent: Email Author marked (*)
Only the Author's name marked (*)
Received: 19 April 2026
Revised: 04 Mei 2026
Accepted: 22 Oktober 2026
Published: 31 Oktober 2026

Copyright © 2026 Excellent Midwifery Journal
Open access under Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License
Published by SEKOLAH TINGGI ILMU KESEHATAN MITRA HUSADA MEDAN

LATAR BELAKANG

Perkembangan teknologi di bidang kesehatan dan komunikasi telah membawa berbagai kemudahan dalam kehidupan modern. Salah satu kemajuan penting adalah penggunaan teknologi radiasi dalam bidang medis, seperti radiografi, CT-scan, serta perangkat diagnostik lainnya. Teknologi ini berperan penting dalam membantu proses diagnosis dan pemantauan kondisi kesehatan pasien. (1,2)

Namun, penggunaan radiasi juga menimbulkan potensi risiko biologis bagi tubuh manusia. Radiasi dapat memengaruhi sel dan jaringan tubuh melalui berbagai mekanisme biologis yang dapat menyebabkan kerusakan sel, mutasi genetik, bahkan peningkatan risiko kanker. Risiko tersebut menjadi lebih signifikan pada kelompok rentan, salah satunya adalah ibu hamil dan janin.(3-5)

Janin dalam kandungan memiliki tingkat sensitivitas yang tinggi terhadap paparan radiasi, terutama pada masa perkembangan awal atau fase organogenesis. (6) Pada tahap ini, pembentukan organ-organ vital sedang berlangsung sehingga paparan radiasi dapat memicu kelainan perkembangan, gangguan pertumbuhan, atau bahkan kematian janin. (41,42) Dalam praktik kebidanan, pemahaman mengenai risiko radiasi menjadi sangat penting bagi tenaga kesehatan, khususnya bidan. Oleh karena itu, diperlukan kajian ilmiah mengenai jenis radiasi, mekanisme interaksinya dengan jaringan biologis, serta dampaknya terhadap kesehatan ibu hamil dan perkembangan janin. (7,9)

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan desain **studi kepustakaan (literature review)** dengan pendekatan deskriptif kualitatif. Penelitian ini tidak melibatkan populasi maupun sampel secara langsung, melainkan menggunakan berbagai sumber literatur ilmiah sebagai unit analisis. Oleh karena itu, tidak dilakukan perhitungan ukuran sampel maupun teknik sampling statistik, namun pemilihan sumber dilakukan secara purposive berdasarkan relevansi, kredibilitas, dan keterkinian publikasi.

Sumber data dalam penelitian ini terdiri dari jurnal ilmiah bereputasi, khususnya di bidang kebidanan dan kesehatan, serta buku ajar fisika kebidanan yang membahas konsep dasar radiasi, jenis-jenis radiasi, dan interaksinya dengan jaringan biologis. Selain itu, digunakan pula referensi dari karya ilmiah yang mengembangkan model pembelajaran POE2WE (Prediction, Observation, Explanation, Elaboration, Write, Evaluation) sebagai pendekatan dalam memahami konsep radiasi secara sistematis dan kontekstual. (11-13)

Variabel dalam penelitian ini terdiri dari variabel independen yaitu paparan radiasi (baik radiasi pengion maupun non-pengion), dan variabel dependen yaitu dampak biologis terhadap kesehatan ibu hamil dan perkembangan janin. Definisi operasional paparan radiasi mencakup jenis, sumber, serta mekanisme interaksinya dengan jaringan biologis,

Copyright © 2026 Excellent Midwifery Journal
Open access under Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License
Published by SEKOLAH TINGGI ILMU KESEHATAN MITRA HUSADA MEDAN

sedangkan dampak biologis meliputi kerusakan sel, mutasi genetik, risiko kanker, serta gangguan perkembangan janin. Pengukuran variabel dilakukan secara konseptual berdasarkan data dan temuan yang dilaporkan dalam literatur yang dianalisis.

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui identifikasi, seleksi, pembacaan kritis, dan pencatatan informasi penting dari berbagai sumber pustaka yang relevan. Instrumen yang digunakan berupa lembar pencatatan data (data extraction form) untuk mengorganisasi informasi yang diperoleh dari setiap sumber. Data yang terkumpul kemudian dianalisis menggunakan metode analisis deskriptif kualitatif, yaitu dengan menguraikan, membandingkan, dan menginterpretasikan berbagai temuan untuk memperoleh pemahaman yang komprehensif mengenai jenis radiasi, mekanisme interaksinya dengan jaringan biologis, serta dampaknya terhadap kesehatan ibu hamil dan perkembangan janin.

Penelitian ini tidak melibatkan subjek manusia atau hewan secara langsung, sehingga tidak memerlukan persetujuan etik penelitian. Namun demikian, seluruh sumber yang digunakan mengacu pada literatur yang telah melalui proses publikasi ilmiah dan dapat dipertanggungjawabkan secara akademik.

HASIL PENELITIAN

Hasil penelitian disajikan secara sistematis berdasarkan analisis terhadap berbagai sumber literatur ilmiah yang relevan. Temuan utama dirangkum dalam beberapa aspek berikut:

1. **Klasifikasi dan Sifat Fisika Radiasi dalam Pelayanan Kesehatan**

   Berdasarkan tinjauan literatur terhadap 30 jurnal utama, teknologi radiasi yang berkaitan dengan ibu hamil diklasifikasikan menjadi dua kategori utama, yaitu radiasi pengion dan radiasi non-pengion. Radiasi pengion (ionizing radiation) meliputi sinar-X, sinar gamma, dan CT-scan, yang memiliki energi kinetik tinggi (>10 eV) sehingga mampu melepaskan elektron dari orbit atom. Proses ionisasi ini menjadi faktor utama penyebab kerusakan struktur molekul biologis dalam sel janin. (10-13)

   Sebaliknya, radiasi non-pengion (non-ionizing radiation) seperti ultrasonografi (USG) dan Magnetic Resonance Imaging (MRI) bekerja tanpa menyebabkan ionisasi. USG menggunakan gelombang mekanik longitudinal yang hanya menimbulkan getaran molekuler tanpa merusak struktur atom, sehingga dinilai paling aman untuk pemantauan antenatal. (15,16)

2. **Analisis Mekanisme Kerusakan Biologis (Radiobiologi)**

   Paparan radiasi pada ibu hamil memicu berbagai proses biologis pada tingkat seluler melalui dua mekanisme utama, yaitu mekanisme langsung dan tidak langsung. (17,18)

A. **Mekanisme Langsung (Direct Action)**

   Radiasi pengion dapat secara

Copyright © 2026 Excellent Midwifery Journal
Open access under Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License
Published by SEKOLAH TINGGI ILMU KESEHATAN MITRA HUSADA MEDAN

langsung mengenai molekul DNA sehingga menyebabkan:

a. Single Strand Breaks (SSB), yaitu kerusakan pada satu rantai DNA yang umumnya masih dapat diperbaiki.
b. Double Strand Breaks (DSB), yaitu kerusakan pada kedua rantai DNA yang bersifat fatal dan dapat menyebabkan mutasi permanen atau kematian sel (apoptosis). (39,40)

Pada janin, kerusakan ini berpotensi menyebabkan malformasi kongenital akibat gangguan pembentukan organ. (19-20)

B. Mekanisme Tidak Langsung (Radiolisis Air)

Sebagian besar interaksi radiasi terjadi melalui molekul air (H_2O) dalam tubuh. Proses radiolisis menghasilkan radikal bebas reaktif (OH) yang dapat merusak protein, membran sel, dan DNA, sehingga menimbulkan stres oksidatif yang mengganggu diferensiasi sel janin. (21,22,23)

3. Dampak Radiasi Berdasarkan Fase Perkembangan Embrio dan Janin

Sensitivitas janin terhadap radiasi dipengaruhi oleh usia gestasi dan kecepatan pembelahan sel.

a. Fase Pre-Implantasi (0–2 minggu): Paparan dosis tinggi (>100 mGy) bersifat "all-or-none", yaitu menyebabkan kematian embrio atau tidak menimbulkan kelainan. (24,25)
b. Fase Organogenesis (2–8 minggu): Merupakan fase paling kritis, di mana paparan radiasi dapat menyebabkan cacat bawaan permanen (efek deterministik). (26,27, 38)
c. Fase Perkembangan Sistem Saraf (8–15 minggu): Paparan dapat mengganggu perkembangan otak, berisiko menyebabkan mikrosefali dan penurunan kecerdasan. (28,29)
d. Trimester II dan III: Risiko malformasi menurun, namun efek stokastik seperti kanker pada masa anak-anak tetap mungkin terjadi.

4. Evaluasi Keamanan Diagnostic Imaging

Hasil analisis menunjukkan bahwa tingkat paparan radiasi berbeda pada setiap prosedur medis dalam pelayanan kesehatan. Paparan radiasi diagnostik umumnya masih berada di bawah ambang batas berbahaya bagi janin (<50 mGy), sehingga relatif aman apabila dilakukan sesuai indikasi medis. (30,31)

Perbandingan tingkat paparan radiasi dari berbagai prosedur diagnostik terhadap ambang batas keamanan janin disajikan pada Tabel 1.

Table 1. Perbandingan tingkat paparan radiasi pada prosedur diagnostik terhadap ambang batas keamanan janin

Jenis Pemeriksaan	Jenis Radiasi	Perkiraan Dosis (mGy)	Risiko pada Janin
Rontgen Thoraks	Pengion	0.01–0.1	Sangat rendah
Rontgen Abdomen	Pengion	1–3	Rendah
CT-Scan Kepala	Pengion	1–10	Rendah
CT-Scan Abdomen	Pengion	10–25	Sedang
USG	Non-pengion	0	Aman

Copyright © 2026 Excellent Midwifery Journal
Open access under Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License
Published by SEKOLAH TINGGI ILMU KESEHATAN MITRA HUSADA MEDAN

Jenis Pemeriksaan	Jenis Radiasi	Perkiraan Dosis (mGy)	Risiko pada Janin
MRI	Non-pengion	0	Aman

5. Strategi Mitigasi dan Peran Bidan (Prinsip ALARA)

Upaya perlindungan radiasi dalam praktik kebidanan mengacu pada prinsip ALARA (As Low As Reasonably Achievable), yang meliputi:

a. Justifikasi tindakan medis
b. Optimasi proteksi (penggunaan pelindung timbal)
c. Pengaturan waktu dan jarak paparan
d. Edukasi pasien melalui pendekatan sistematis seperti model POE2WE (32-37)

6. Dampak Psikososial dan Edukasi Kesehatan

Kurangnya pemahaman masyarakat mengenai radiasi dapat menimbulkan radiophobia, yaitu ketakutan berlebihan terhadap radiasi. Hal ini dapat berdampak pada penolakan tindakan medis atau munculnya kecemasan berlebih pada ibu hamil. Oleh karena itu, peran bidan sebagai edukator sangat penting dalam memberikan informasi berbasis bukti bahwa paparan radiasi diagnostik dosis rendah relatif aman. (36,37)

PEMBAHASAN

Dampak radiasi terhadap ibu hamil dan janin ditentukan oleh jenis radiasi, dosis serap, dan usia gestasi saat paparan terjadi. Kerusakan seluler melalui jalur radiolisis air dan kerusakan DNA secara langsung menjadi ancaman nyata pada fase organogenesis. (50) Namun, dengan penerapan prinsip ALARA dan pemanfaatan teknologi non-pengion seperti USG secara optimal, risiko tersebut dapat dikelola. Sinergi antara pemahaman fisika radiasi dan praktik kebidanan berbasis bukti sangat krusial untuk menjamin keselamatan pasien dan perlindungan kualitas hidup janin sebagai generasi mendatang.(38-40)

KESIMPULAN

Paparan radiasi pada kehamilan merupakan faktor risiko yang ditentukan oleh jenis radiasi, besar dosis, dan usia gestasi saat paparan. Radiasi pengion terbukti memiliki potensi merusak melalui mekanisme kerusakan DNA langsung dan pembentukan radikal bebas akibat radiolisis air, dengan dampak paling signifikan pada fase organogenesis. (46-49)

Meskipun demikian, risiko tersebut dapat dikendalikan secara efektif melalui penerapan prinsip ALARA dan prioritas penggunaan teknologi non-pengion seperti ultrasonografi. Dengan demikian, pendekatan berbasis bukti yang mengintegrasikan prinsip fisika radiasi dalam praktik kebidanan menjadi krusial untuk menjamin keselamatan maternal dan outcome janin.

SARAN

Implementasi standar keselamatan radiasi perlu diperkuat melalui peningkatan kompetensi tenaga kesehatan, khususnya bidan, dalam pengambilan keputusan klinis terkait penggunaan imaging. Fasilitas kesehatan disarankan

Copyright © 2026 Excellent Midwifery Journal
Open access under Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License
Published by SEKOLAH TINGGI ILMU KESEHATAN MITRA HUSADA MEDAN

mengoptimalkan pemanfaatan teknologi non-pengion sebagai pilihan utama pada kehamilan.

Penelitian lanjutan diperlukan dengan desain observasional atau eksperimental untuk mengevaluasi hubungan dosis-respons secara lebih spesifik, serta mengkaji dampak jangka panjang paparan radiasi terhadap perkembangan anak. Selain itu, intervensi edukatif berbasis bukti perlu dikembangkan untuk meningkatkan literasi masyarakat dan mengurangi mispersepsi terhadap risiko radiasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada Dr. Nana, M.Pd selaku dosen pengampu mata kuliah Fisika Kesehatan yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta dukungan selama proses penyusunan artikel ini.

Penulis juga mengapresiasi seluruh pihak yang telah berkontribusi secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian penelitian ini.

PENGUNGKAPAN KONFLIK KEPENTINGAN DAN SUMBER DANA

Seluruh penulis menyatakan tidak memiliki konflik kepentingan dalam penelitian ini. Penelitian ini didanai secara mandiri oleh penulis tanpa adanya dukungan finansial dari pihak eksternal.

KONTRIBUSI PENULIS

GHA: perancang konsep, penelitian, metodologi, pengawasan, penulisan draf asli; DA: penelitian, sumber daya; VMA: pengolahan data, analisis formal; NF: analisis formal, validasi; Seluruh penulis berkontribusi dalam penulisan ulasan dan penyuntingan serta menyetujui versi akhir naskah.

DEKLARASI PENGGUNAAN KECERDASAN BUATAN (AI)

Penulis menyatakan bahwa tidak ada teknologi Kecerdasan Buatan (AI) atau alat bantu berbasis AI yang digunakan dalam persiapan, penulisan, penyuntingan, atau analisis data pada naskah ini. Seluruh isi naskah, termasuk data, analisis, interpretasi, referensi, kesimpulan, tabel, dan gambar, diproduksi sepenuhnya oleh penulis. Penulis bertanggung jawab penuh atas keakuratan, integritas, dan orisinalitas seluruh naskah.

REFERENSI

1. Abramowicz, J. S. (2017). Ultrasound safety: What are the issues? Clinical Obstetrics and Gynecology, 60(3), 652–667.
2. Aga Satria Nurrachman, E. R. (2023). Literasi pemanfaatan dan pencegahan efek radiasi pada masyarakat lansia di lingkungan Kecamatan Trawas Kabupaten Mojokerto. Jurnal Pengabdian Nasional (JPN) Indonesia, 616–622.
3. American College of Obstetricians and Gynecologists. (2017). Committee Opinion No. 723: Guidelines for diagnostic imaging during pregnancy and lactation. Obstetrics & Gynecology, 130(4), e210–e216.
4. American Institute of Ultrasound in Medicine. (2016). Prudent use and safety of diagnostic ultrasound. Journal of Ultrasound in Medicine.
5. Amis, E. S., Butler, P. F., Applegate, K. E., Birnbaum, S. B., Brateman, L. F., Hevezi, J.

Copyright © 2026 Excellent Midwifery Journal
Open access under Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License
Published by SEKOLAH TINGGI ILMU KESEHATAN MITRA HUSADA MEDAN

M., & Mettler, F. A. (2007). American College of Radiology white paper on radiation dose in medicine. Journal of the American College of Radiology, 4(5), 272–284.
6. Aminatun, C. U. (2024). Studi pustaka: Identifikasi dampak radioaktivitas pada lingkungan dan kesehatan manusia. Jurnal Pendidikan Fisika, 347–359.
7. Badan Pengawas Tenaga Nuklir. (2020). Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2020 tentang keselamatan radiasi pada instalasi radiologi diagnostik dan intervensional. Jakarta.
8. Boyd, E. K. (2022). Diagnostic imaging of pregnant women and fetuses: Literature review. Bioengineering, 2–9.
9. Brent, R. L. (2009). Saving lives and changing family histories: Appropriate counseling of pregnant women regarding diagnostic radiation risks. American Journal of Obstetrics and Gynecology, 200(1), 3–24.
10. Brenner, D. J., & Hall, E. J. (2007). Computed tomography: An increasing source of radiation exposure. New England Journal of Medicine, 357(22), 2277–2284.
11. Bushong, S. C. (2020). Radiologic science for technologists: Physics, biology, and protection (12th ed.). Elsevier.
12. Chen, M. M., Coakley, F. V., Kaimal, A., & Laros, R. K. (2014). Guidelines for CT and MRI use during pregnancy and lactation. Obstetrics & Gynecology, 123(1), 155–163.
13. Cunningham, F. G., Leveno, K. J., Bloom, S. L., Dashe, J. S., Hoffman, B. L., Casey, B. M., & Spong, C. Y. (2022). Williams obstetrics (26th ed.). McGraw-Hill Education.
14. Danil Hulmansyah, M. B. (2024). Penyuluhan bahaya efek radiasi pada ibu hamil di Posyandu Merangkai Bunga. Universitas Awal Bros.
15. De Santis, M., Cesari, E., Nobili, E., Straface, G., & Caruso, A. (2007). Radiation effects on development. Birth Defects Research Part C: Embryo Today, 81(3), 177–182.
16. Dinawayati, S., et al. (2022). Bahaya radiasi bagi janin. Direktorat Jenderal Kesehatan, Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.
17. Doll, R., & Wakeford, R. (1997). Risk of childhood cancer after fetal irradiation. British Journal of Radiology, 70(830), 130–139.
18. Dauer, L. T., Miller, D. L., Schueler, B., Silberzweig, J., Balter, S., & Thornton, R. (2010). Occupational radiation protection of pregnant workers. Health Physics, 99(3), 393–404.
19. European Society of Radiology. (2019). Patient information on radiation protection in radiology. Insights into Imaging, 10(1), 34–42.
20. Fitri Nugrahaeni, F. A. (2022). Analisis efek radiasi sinar-X pada tubuh manusia. Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya, 19–25.
21. Frush, D. P., Donnelly, L. F., & Rosen, N. S. (2003). Computed tomography and radiation risks. Pediatrics, 112(4), 951–957.
22. Greskovich, J. F., & Macklis, R. M. (2000). Radiation therapy in pregnancy: Risk and strategy. CA: A Cancer Journal for Clinicians, 50(5), 322–337.
23. Groen, J. P., Baecher, K., & Brink, J. A. (2012). Diagnostic imaging in pregnancy: A review. European Journal of Obstetrics & Gynecology, 164(1), 1–10.
24. Hall, E. J., & Giaccia, A. J. (2018). Radiobiology for the radiologist (8th ed.). Wolters Kluwer.

Copyright © 2026 Excellent Midwifery Journal
Open access under Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License
Published by SEKOLAH TINGGI ILMU KESEHATAN MITRA HUSADA MEDAN

25. International Atomic Energy Agency. (2014). Radiation protection and safety of radiation sources: International basic safety standards. Vienna: IAEA.
26. International Commission on Radiological Protection. (2000). Publication 84: Pregnancy and medical radiation. Annals of the ICRP, 30(1), 1–43.
27. Jha, S., et al. (2013). Providing safe care for pregnant women in radiology. Clinical Radiology, 68(10), e513–e522.
28. Kal, H. B., & Struikmans, H. (2005). Radiotherapy during pregnancy: Fact and fiction. The Lancet Oncology, 6(5), 328–333.
29. Koren, G. (2010). Exposure to ionizing radiation during pregnancy: Perception of teratogenic risk. Canadian Family Physician, 56(6), 525–527.
30. Long, D. J., et al. (2016). Fetal dose estimates for common procedures. Physics in Medicine and Biology, 61(11), 4012.
31. McCollough, C. H., Schueler, B. A., Atwell, T. D., Braun, N. N., Regner, D. M., Brown, D. L., & LeRoy, A. J. (2007). Radiation exposure and pregnancy: When should we be concerned? RadioGraphics, 27(4), 909–917.
32. Miller, D. L. (2008). Safety assurance in obstetrical ultrasound. Seminars in Ultrasound, CT and MRI, 29(2), 156–164.
33. Nana. (2018). Physic learning model: POE2WE to increase students' competence. Universitas Siliwangi Press.
34. Nana. (2019). Pengembangan bahan ajar fisika berbasis POE2WE terintegrasi nilai karakter. Jurnal Inovasi Pendidikan IPA, 5(2), 112–121.
35. National Council on Radiation Protection and Measurements. (2013). Report No. 174: Preconception and prenatal radiation exposure: Health effects and protective guidance.
36. Otake, M., & Schull, W. J. (1998). Radiation-related brain damage and learning disabilities. The Lancet, 352(9135), 1167–1172.
37. Patel, S. J., Reede, D. L., Katz, D. S., Subramaniam, R., & Amorosa, J. K. (2007). Imaging the pregnant patient for nonobstetric conditions. Radiology, 243(3), 626–644.
38. Pedersen, R. N., et al. (2019). Computed tomography during pregnancy and risk of childhood cancer. Archives of Disease in Childhood, 104(3), 254–262.
39. Podgorsak, E. B. (2005). Radiation oncology physics: A handbook for teachers and students. Vienna: IAEA.
40. Ray, J. G., et al. (2016). Association between MRI exposure during pregnancy and fetal outcomes. JAMA, 316(9), 952–961.
41. Smith-Bindman, R., et al. (2012). Radiation exposure for patients enrolled in integrated health care systems. JAMA, 307(22), 2400–2409.
42. Streffer, C. (2004). Effects of low dose radiation: Genetic risk and radiobiology. Journal of Radiation Protection, 24(4A), A21–A32.
43. Sudiro, S., et al. (2021). Peran bidan dalam edukasi keselamatan radiasi di pelayanan primer. Jurnal Kebidanan Indonesia, 12(1), 45–52.
44. Toppenberg, K. S., Hill, D. A., & Miller, D. P. (1999). Safety of radiographic imaging during pregnancy. American Family Physician, 59(7), 1813–1818.

Copyright © 2026 Excellent Midwifery Journal
Open access under Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License
Published by SEKOLAH TINGGI ILMU KESEHATAN MITRA HUSADA MEDAN

45. Torloni, M. R., et al. (2009). Safety of ultrasonography in pregnancy: WHO systematic review. Paediatric and Perinatal Epidemiology, 23(6), 587–597.
46. Wakeford, R. (2008). The risk of childhood leukaemia following exposure to ionizing radiation: A review. Journal of Radiological Protection, 28(2), 139–159.
47. Wang, P. I., Chong, S. T., Kielar, A. Z., et al. (2012). Imaging of pregnant and lactating patients. American Journal of Roentgenology, 198(2), W93–W106.
48. World Health Organization. (2016). WHO recommendations on antenatal care for a positive pregnancy experience. WHO Press.
49. Woroprobosari, N. R. (2016). Efek stokastik radiasi sinar-X dental pada ibu hamil dan janin. ODONTO Dental Journal, 60–66.
50. Yuan, M. K., et al. (2013). Radiation from CT-Scan: Knowledge and attitudes of medical staff. Journal of Medical Imaging and Radiation Oncology, 57(1), 50–55.

Copyright © 2026 Excellent Midwifery Journal
Open access under Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License
Published by SEKOLAH TINGGI ILMU KESEHATAN MITRA HUSADA MEDAN