Jurnal Fisika Unand (JFU)
Vol. 15, No. 5, September 2026, hal. 546 – 552
ISSN: 2302-8491 (Print); 2686-2433 (Online)
https://doi.org/10.25077/jfu.15.5.546-552.2026

Open Access

Pengaruh Filter Aluminium Industri Terhadap Kualitas Citra Mammografi Tipe Ge Tomosynthesis

Suci Zila Zuresfi[1], Rico Adrial[1*], Ni Larasati Kartika Sari[2]
[1]Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Padang, Indonesia
[2]Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Nasional, Jakarta Selatan, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:
Diajukan: 10 Juni 2026
Direvisi: 20 Agustus 2026
Diterima: 30 September 2026

Kata kunci:
Filter Aluminium
GE Tomosynthesis
Half Value Layer (HVL)
Mammografi
Mean Glandular Dose (MGD)

ABSTRAK

Pemeriksaan mammografi memerlukan keseimbangan antara kualitas citra diagnostik dan dosis radiasi pasien, sehingga optimasi kualitas berkas sinar-X menjadi penting. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh penggunaan filter aluminium terhadap nilai *Half Value Layer* (HVL) dan kualitas citra pada sistem mammografi digital tipe *GE Tomosynthesis*. Penelitian dilakukan di Instalasi Radiologi RSUP Dr. Ahmad Mochtar Bukittinggi dengan variasi ketebalan filter aluminium (0,085; 0,170; 0,510; dan 1,000) mm. Pengukuran dilakukan pada tegangan tabung (22, 26, 30, dan 34) kVp dengan arus–waktu eksposi 50 mAs dan 63 mAs. Metode yang digunakan adalah metode tidak langsung dengan nilai *Mean Glandular Dose* (MGD) dari konsol sebagai dasar perhitungan HVL, serta evaluasi kualitas citra menggunakan fantom ACR 18-220 sesuai standar BAPETEN No. 2 Tahun 2022. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai MGD menurun dari 0,260 mGy menjadi 0,033 mGy pada 22 kVp dan 50 mAs. Nilai HVL berada pada rentang 0,250–0,313 mmAl dan meningkat dari 0,250 mmAl pada 22 kVp menjadi 0,313 mmAl pada 34 kVp, sedangkan variasi mAs menunjukkan perubahan yang relatif kecil. Evaluasi kualitas citra menunjukkan hasil 2–4 *fibres*, 2–4 specks, dan 3–4 massa. Dibandingkan tanpa filter, penggunaan filter aluminium menyebabkan penurunan keterlihatan fibres dan specks, terutama pada ketebalan 0,510–1,000 mm, sedangkan massa relatif tetap terlihat. Dengan demikian, penggunaan filter aluminium efektif menurunkan dosis radiasi tanpa menurunkan kualitas citra diagnostik.

Keywords:
Aluminum Filter
GE Tomosyntesis
Half Value Layer (HVL)
Mammografi
Mean Glandular Dose (MGD)

Penulis Korespondensi:
Rico Adrial
Email: ricoadrial@sci.unand.ac.id

Mammography examinations require a balance between diagnostic image quality and patient radiation dose; therefore, optimization of X-ray beam quality is essential. This study aimed to analyze the effect of aluminum filter use on the Half Value Layer (HVL) and image quality of a GE Tomosynthesis digital mammography system. The study was conducted at the Radiology Installation of RSUP Dr. Ahmad Mochtar Bukittinggi using aluminum filters with thicknesses of 0.085, 0.170, 0.510, and 1.000 mm. Measurements were performed at tube voltages of 22, 26, 30, and 34 kVp with exposure settings of 50 and 63 mAs. An indirect method was used, with Mean Glandular Dose (MGD) values obtained from the system console as the basis for HVL calculation, while image quality was evaluated using the ACR 18-220 phantom in accordance with BAPETEN Regulation No. 2 of 2022. The results showed that the MGD decreased from 0.260 mGy to 0.033 mGy at 22 kVp and 50 mAs. The HVL values ranged from 0.250 to 0.313 mmAl, increasing from 0.250 mmAl at 22 kVp to 0.313 mmAl at 34 kVp, while variations in mAs resulted in relatively small changes. Image quality evaluation showed 2–4 fibres, 2–4 specks, and 3–4 masses. Compared with images without filtration, the use of aluminum filters reduced the visibility of fibres and specks, particularly at filter thicknesses of 0.510–1.000 mm, while masses remained relatively visible. Therefore, the use of aluminum filters effectively reduced radiation dose while maintaining diagnostic image quality.

Copyright © 2026 Author(s).

I. PENDAHULUAN

Mammografi merupakan teknik pencitraan berbasis sinar-X yang digunakan untuk mendeteksi kelainan pada jaringan payudara, terutama dalam deteksi dini kanker payudara. Pemeriksaan mammografi memerlukan keseimbangan antara kualitas citra diagnostik dan dosis radiasi yang diterima pasien. Salah satu upaya optimasi adalah penggunaan filter tambahan yang dapat memengaruhi karakteristik berkas sinar-X, nilai *Half Value Layer* (HVL), dan dosis radiasi (Nakamura et al., 2024). Mammografi merupakan teknik pencitraan berbasis sinar-X yang digunakan khusus untuk mendeteksi kelainan pada jaringan payudara, terutama dalam deteksi dini kanker payudara. Pemeriksaan ini terbukti efektif dalam menurunkan angka kematian akibat kanker payudara, khususnya apabila dilakukan secara rutin pada kelompok berisiko (Nasution et al., 2018; William et al., 2021). Namun, dalam praktiknya, mammografi memerlukan keseimbangan antara kualitas citra diagnostik dan dosis radiasi yang diterima pasien. Salah satu faktor penting dalam optimasi kualitas berkas sinar-X adalah penggunaan filter tambahan. Filter berfungsi menyerap foton berenergi rendah sehingga dapat memengaruhi karakteristik berkas sinar-X, nilai *Half Value Layer* (HVL), dan dosis radiasi (Litasova et al., 2018). Filter berfungsi untuk menyerap radiasi berenergi rendah yang tidak berkontribusi terhadap pembentukan citra, sehingga dapat menurunkan dosis radiasi tanpa mengurangi kualitas diagnostik. Hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa variasi material dan ketebalan filter dapat memengaruhi karakteristik berkas sinar-X, nilai *Half Value Layer* (HVL), serta dosis radiasi yang dihasilkan (Alhulail et al., 2025; Aswad et al., 2018; Litasova et al., 2018; Mutmainna et al., 2020).

Penelitian lain menunjukkan bahwa penggunaan filter aluminium dalam pengukuran HVL memberikan hasil yang masih berada dalam batas toleransi standar, baik dengan metode langsung maupun tidak langsung (Mutmainna et al., 2020). Penggunaan filter aluminium dalam pengukuran HVL telah diteliti dan menunjukkan hasil dalam batas toleransi standar (Mutmainna et al., 2020). Namun, penambahan filter perlu dioptimalkan agar penurunan dosis tidak mengurangi kualitas citra. Aluminium dipilih karena mampu menyerap foton berenergi rendah dan memengaruhi karakteristik berkas sinar-X melalui *beam hardening* (Alhulail et al., 2025; Aswad et al., 2018). Aluminium dipilih sebagai bahan filter dalam penelitian ini karena memiliki kemampuan yang baik dalam menyerap foton berenergi rendah dan meningkatkan kualitas berkas sinar-X melalui proses beam hardening. Beberapa studi menunjukkan bahwa penggunaan aluminium sebagai filter tambahan dapat menurunkan dosis radiasi yang diserap jaringan tanpa menurunkan kualitas citra diagnostik (Alhulail et al., 2025; Aswad et al., 2018). Penggunaan filter aluminium pada sistem mammografi GE Tomosynthesis perlu dikaji lebih lanjut untuk mengetahui pengaruhnya terhadap HVL, dosis radiasi, dan kualitas citra. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi ketebalan filter aluminium terhadap HVL dan kualitas citra serta mengevaluasi perubahan dosis radiasi pada sistem tersebut. Sistem ini mampu menghasilkan citra tiga dimensi dengan resolusi tinggi serta mengurangi efek tumpang tindih jaringan, sehingga meningkatkan sensitivitas deteksi kelainan (Dhamija et al., 2021). Salah satu sistem yang banyak digunakan adalah *GE Tomosynthesis* yang telah dilengkapi dengan teknologi rekonstruksi citra dan pengaturan dosis otomatis. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan filter aluminium terhadap *nilai Half Value Layer* (HVL) dan kualitas citra pada sistem mammografi digital tipe GE Tomosynthesis, serta mengevaluasi efekti itasnya dalam menurunkan dosis radiasi tanpa mengurangi kualitas citra diagnostik.

II. METODE

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Instalasi Radiologi RSUP Dr. Ahmad Mochtar Bukittinggi pada Desember 2025 hingga Februari 2026 menggunakan pesawat mammografi digital GE Tomosynthesis sebagai alat utama penelitian. Penelitian menggunakan fantom ACR 18-220 untuk evaluasi kualitas citra dan konsol mammografi untuk memperoleh parameter eksposi serta nilai *Mean Glandular Dose* (MGD).

2.2 Data

Pengambilan data dilakukan menggunakan metode tidak langsung dengan menambahkan filter aluminium pada jalur berkas sinar-X dengan variasi ketebalan 0,085; 0,170; 0,510; dan 1,000 mm. Pengukuran dilakukan pada variasi tegangan tabung 22, 26, 30, dan 34 kVp dengan arus–waktu eksposi

50 mAs dan 63 mAs. Data awal diperoleh tanpa menggunakan filter aluminium untuk menentukan nilai dosis awal (D_0). Selanjutnya, pengukuran dilakukan dengan penambahan filter aluminium pada setiap variasi ketebalan. Nilai *Mean Glandular Dose* (MGD) diperoleh langsung dari konsol mammografi setelah setiap eksposi.

2.3 Prosedur

Penelitian dilakukan dengan metode tidak langsung melalui pengukuran *Mean Glandular Dose* (MGD) dan perhitungan nilai *Half Value Layer* (HVL). Prosedur diawali dengan persiapan alat dan bahan, yaitu memastikan pesawat mammografi digital tipe *GE Tomosynthesis* dalam kondisi siap digunakan serta menyiapkan fantom ACR 18-220 dan filter aluminium dengan variasi ketebalan. Selanjutnya, dilakukan eksposi tanpa filter aluminium untuk memperoleh nilai dosis awal (D_0). Pengukuran kemudian dilakukan dengan menambahkan filter aluminium pada setiap variasi ketebalan, tegangan tabung, dan arus–waktu eksposi. Nilai MGD yang ditampilkan pada konsol mammografi dicatat untuk setiap kondisi pengukuran.

Nilai HVL kemudian dihitung menggunakan metode tidak langsung berdasarkan data MGD yang diperoleh. Secara teoritis, HVL dinyatakan sebagai:

$$HVL = \frac{\ln 2}{\mu} \tag{1}$$

Sedangkan hubungan antara intensitas radiasi dan ketebalan bahan dinyatakan dengan persamaan eksponensial:

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu x} \tag{2}$$

Dalam penelitian ini, nilai HVL ditentukan menggunakan metode interpolasi logaritmik, yaitu:

$$HVL = \frac{t_b \ln\left(\frac{2D_a}{D_0}\right) - t_a \ln\left(\frac{2D_b}{D_0}\right)}{\ln\left(\frac{D_a}{D_b}\right)} \tag{3}$$

Dengan D_0 adalah dosis awal tanpa filter, D_a dan D_b adalah dosis pada ketebalan filter tertentu, serta t_a dan t_b adalah ketebalan filter aluminium. Selanjutnya, nilai HVL ditentukan dengan metode interpolasi logaritmik berdasarkan dua nilai MGD yang berada di sekitar nilai setengah dosis awal ($D_0/2$).

Selanjutnya, dilakukan evaluasi kualitas citra menggunakan fantom ACR 18-220 dengan menilai parameter *fibres*, *specks*, dan massa. Penilaian dilakukan secara visual berdasarkan standar BAPETEN No. 2 Tahun 2022, dengan kriteria penerimaan minimal 4 *fibres*, 3 *specks*, dan 3 massa. Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif untuk melihat kecenderungan perubahan MGD dan HVL terhadap variasi ketebalan filter aluminium serta perubahan kualitas citra mammografi.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Pengukuran *Mean Glandular Dose* (MGD)

Pengukuran *Mean Glandular Dose* (MGD) dilakukan untuk mengetahui perubahan dosis radiasi akibat penambahan filter aluminium pada variasi tegangan tabung, arus–waktu eksposi, dan ketebalan filter. Nilai MGD diperoleh langsung dari konsol mammografi untuk setiap kondisi pengukuran. Setiap variasi dilakukan satu kali pengukuran sehingga hasil yang diperoleh berupa nilai tunggal.

Tabel 1 Nilai MGD pada berbagai ketebalan filter aluminium

kVp	Tanpa filter	0,085 mm	0,170 mm	0,510 mm
22	0,260	0,135	0,076	0,060
26	0,320	0,180	0,110	0,080
30	0,600	0,300	0,180	0,120
34	0,760	0,400	0,240	0,150

Berdasarkan Tabel 1, nilai MGD menunjukkan penurunan seiring bertambahnya ketebalan filter aluminium pada setiap tegangan tabung. Pada 22 kVp, MGD menurun dari 0,260 mGy tanpa filter menjadi 0,060 mGy pada filter 0,510 mm. Penurunan ini menunjukkan bahwa penambahan filtrasi meningkatkan atenuasi berkas sinar-X sehingga jumlah radiasi yang diteruskan berkurang. Efek penurunan MGD juga terlihat pada tegangan yang lebih tinggi, sehingga peningkatan ketebalan filter memberikan kecenderungan penurunan dosis yang konsisten. Karena setiap kondisi dilakukan satu kali pengukuran, hasil ini digunakan untuk melihat kecenderungan perubahan MGD dan belum menggambarkan variasi pengukuran.

3.2 Nilai *Half Value Layer* (HVL)

Perhitungan nilai *Half Value Layer* (HVL) dilakukan untuk mengetahui kualitas berkas sinar-X yang dihasilkan pada setiap variasi tegangan tabung. Nilai HVL diperoleh melalui perhitungan menggunakan metode interpolasi logaritmik berdasarkan data MGD.

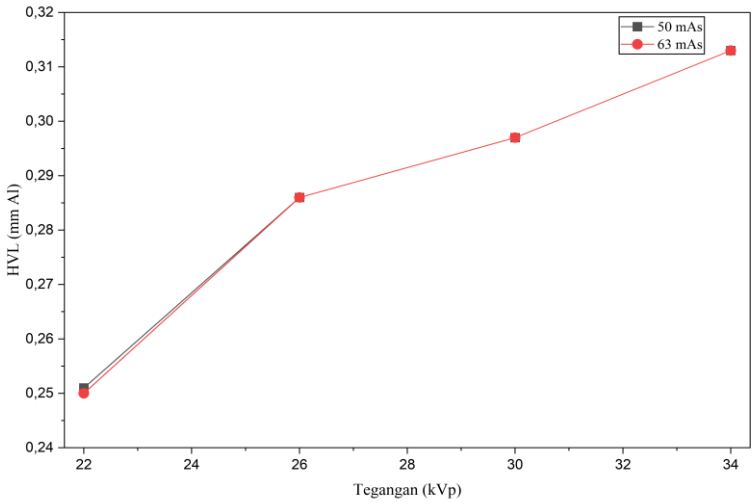
Tabel 2 Nilai HVL pada variasi tegangan tabung

kVp	HVL (mm Al)
22	0,250
26	0,270
30	0,295
34	0,313

Berdasarkan Tabel 2, nilai HVL meningkat dari 0,250 mmAl pada 22 kVp menjadi 0,313 mmAl pada 34 kVp. Peningkatan HVL menunjukkan bahwa kenaikan tegangan tabung menghasilkan berkas sinar-X dengan energi rata-rata dan daya tembus yang lebih tinggi. Nilai HVL pada 22 dan 26 kVp masih berada di bawah nilai acuan 0,30 mmAl, sedangkan pada 30 dan 34 kVp telah mencapai atau melebihi nilai tersebut. Pola peningkatan ini menunjukkan bahwa tegangan tabung merupakan faktor yang lebih dominan terhadap perubahan HVL dibandingkan variasi mAs.

3.3 Hubungan Tegangan Tabung (kVp) terhadap HVL

Hubungan antara tegangan tabung (kVp) dan nilai HVL dianalisis untuk melihat pengaruh energi foton terhadap kualitas berkas sinar-X yang dihasilkan.

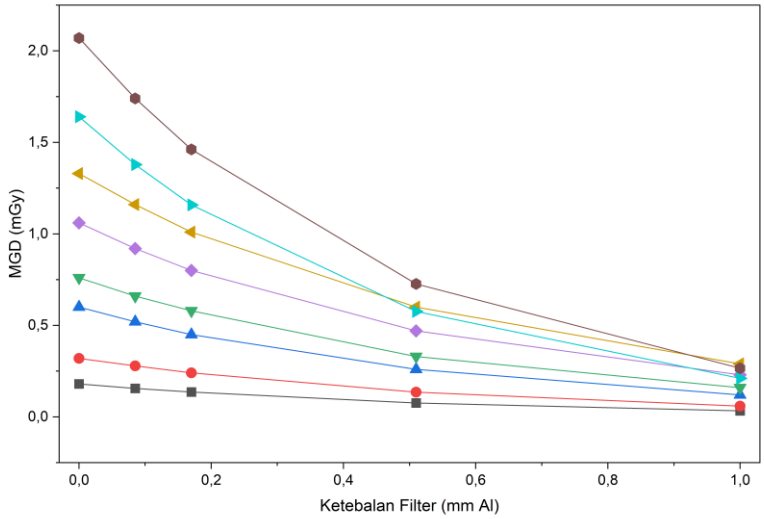


Gambar 1 Hubungan kVp terhadap HVL

Gambar 1 menunjukkan peningkatan HVL seiring kenaikan tegangan tabung. Analisis regresi linear terhadap empat titik pengukuran menghasilkan nilai R^2 sebesar 0,996, yang menunjukkan kecenderungan hubungan linear yang kuat pada data penelitian ini. Peningkatan HVL terjadi karena kenaikan tegangan tabung meningkatkan energi foton sinar-X sehingga berkas memiliki daya tembus yang lebih besar. Selain itu, proses *beam hardening* turut berperan karena foton berenergi rendah lebih mudah mengalami atenuasi, sehingga proporsi foton berenergi lebih tinggi dalam berkas meningkat. Akibatnya, diperlukan ketebalan aluminium yang lebih besar untuk mengurangi intensitas radiasi hingga setengah dari nilai awal.

3.4 Pengaruh Ketebalan Filter Aluminium terhadap MGD

Analisis dilakukan untuk mengetahui pengaruh ketebalan filter aluminium terhadap nilai *Mean Glandular Dose* (MGD) yang dihasilkan pada sistem mammografi.



Gambar 2 Hubungan ketebalan filter aluminium terhadap MGD

Berdasarkan Gambar 2, terlihat bahwa nilai MGD menurun secara signifikan dengan bertambahnya ketebalan filter aluminium. Penurunan ini terjadi karena filter aluminium menyerap foton berenergi rendah yang tidak berperan dalam pembentukan citra, sehingga hanya foton berenergi tinggi yang diteruskan. Hal ini menyebabkan penurunan dosis radiasi yang diterima jaringan tanpa menurunkan kualitas citra.

3.5 Evaluasi Kualitas Citra Mammografi

Evaluasi kualitas citra dilakukan untuk mengetahui perubahan kemampuan visualisasi objek *fibres*, *specks*, dan massa akibat penggunaan filter aluminium. Penilaian dilakukan secara visual menggunakan fantom ACR 18-220 berdasarkan standar BAPETEN No. 2 Tahun 2022.



Gambar 3 Contoh hasil citra mammografi menggunakan fantom ACR 18-220 pada variasi filter aluminium

Berdasarkan hasil pengamatan citra, penambahan filter aluminium menyebabkan perubahan keterlihatan beberapa objek uji, terutama *fibres* dan *specks*, seiring bertambahnya ketebalan filter. Meskipun demikian, hasil evaluasi masih memenuhi kriteria penerimaan BAPETEN No. 2 Tahun 2022. Hasil penilaian kualitas citra ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil evaluasi kualitas citra

Parameter	Hasil	Standar	Status uji
Fibres	4	≥ 4	Lulus
Specks	3	≥ 3	Lulus
Massa	3	≥ 3	Lulus

Berdasarkan Tabel 3, seluruh parameter kualitas citra memenuhi standar BAPETEN No. 2 Tahun 2022. Hasil ini menunjukkan bahwa pada kondisi pengujian yang diamati, penggunaan filter aluminium masih menghasilkan citra yang memenuhi kriteria penerimaan, meskipun pada ketebalan tertentu terdapat perubahan keterlihatan objek uji.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, penggunaan filter aluminium pada sistem mammografi digital tipe *GE Tomosynthesis* berpengaruh terhadap nilai *Mean Glandular Dose* (MGD), *Half Value Layer* (HVL), dan kualitas citra yang dihasilkan. Peningkatan ketebalan filter aluminium terbukti menurunkan nilai MGD secara signifikan pada setiap variasi tegangan tabung dan arus–waktu eksposi, yang menunjukkan bahwa filter aluminium efektif dalam menyaring radiasi berenergi rendah sehingga dapat mengurangi dosis radiasi yang diterima jaringan. Nilai HVL yang diperoleh berada pada rentang (0,250–0,313) mmAl dan menunjukkan kecenderungan meningkat seiring dengan kenaikan tegangan tabung, yang menandakan peningkatan kualitas berkas sinar-X. Variasi arus–waktu eksposi (mAs) tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai HVL.

Hasil evaluasi kualitas citra menggunakan fantom ACR 18-220 menunjukkan bahwa seluruh citra memenuhi kriteria kelulusan sesuai standar BAPETEN No. 2 Tahun 2022, sehingga penggunaan filter aluminium tidak menurunkan kualitas citra diagnostik. Dengan demikian, penggunaan filter aluminium dapat dikatakan efektif dalam mengoptimalkan keseimbangan antara penurunan dosis radiasi dan kualitas citra pada pemeriksaan mammografi, sesuai dengan prinsip proteksi radiasi *As Low As Reasonably Achievable* (ALARA).

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penelitian ini.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan tidak terdapat konflik kepentingan.

PERNYATAAN PENDANAAN

Penelitian ini tidak memperoleh pendanaan khusus.

PERNYATAAN PENGGUNAAN AI GENERATIF DAN TEKNOLOGI BERBASIS AI

GPT hanya digunakan untuk mengoreksi kesalahan tata bahasa dan tipografi. Penulis bertanggung jawab penuh atas isi dan integritas publikasi**.**

DAFTAR PUSTAKA

Alhulail, A., Alotaibi, M., & Alshammari, A. (2025). Optimization of mammography imaging using filter combinations. *Journal of Medical Imaging and Radiation Sciences*, 56(1), 45–52.

Arsanto, D. (2020). Perbandingan kualitas citra radiografi antara sistem computed radiography (CR) dan digital radiography (DR). *Jurnal Radiologi Indonesia*, 5(2), 101–108.

Aswad, S., Hasan, M., & Rahman, A. (2018). The effect of aluminum filter on radiation dose reduction in diagnostic radiology. *International Journal of Medical Physics*, 12(3), 210–215.

BAPETEN. (2022). *Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 2 Tahun 2022 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X untuk Radiologi Diagnostik dan Intervensional*. Jakarta: BAPETEN.

Bushberg, J. T., Seibert, J. A., Leidholdt, E. M., & Boone, J. M. (2012). *The Essential Physics of Medical Imaging* (3rd ed.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.

Dhamija, A., Gupta, R., & Singh, S. (2021). Advances in digital breast tomosynthesis imaging. *European Journal of Radiology*, 135, 109–118.

Kojić, M., Petrović, D., & Ilić, V. (2024). Evaluation of mammography phantom image quality using ACR standards. *Radiation Physics and Chemistry*, 210, 110–118.

Litasova, E., Rehani, M., & Kalyanpur, A. (2018). Impact of filtration on radiation dose and image quality in mammography. *Radiation Protection Dosimetry*, 180(1–4), 123–128.

Mediji-Arifi, R., & Ristova, M. (2025). Assessment of mean glandular dose in mammography systems. *Journal of Radiological Protection*, 45(2), 1–10.

Mutmainna, S., Yuliati, H., & Rahmawati, D. (2020). Pengukuran half value layer (HVL) pada pesawat mammografi menggunakan metode tidak langsung. *Jurnal Fisika Medis Indonesia*, 6(1), 15–22.

Nakamura, T., Sato, Y., & Takahashi, K. (2024). Medical imaging technology for diagnostic applications. *Physics in Medicine and Biology*, 69(4), 045001.

Nasution, R., Siregar, M., & Lubis, H. (2018). Peran mammografi dalam deteksi dini kanker payudara. *Jurnal Kesehatan Indonesia*, 10(2), 85–92.

Noor, A., Hidayat, T., & Prasetyo, B. (2024). Radiation protection principles in diagnostic radiology. *Indonesian Journal of Medical Physics*, 8(1), 25–33.

Songsaeng, K., Chantaraporn, N., & Srisatit, S. (2025). Analysis of half value layer in diagnostic X-ray systems. *Applied Radiation and Isotopes*, 210, 110–115.

William, J., Brown, K., & Davis, L. (2021). Breast cancer screening using mammography: A review. *Clinical Imaging*, 75, 45–52.