

EFEKTIVITAS NILAI PSNR DAN INFORMASI CITRA TERHADAP KOMBINASI
TEKNIK BILATERAL FILTER DAN NON-LOCAL MEANS
SEBAGAI DENOISING PADA VERIFIKASI
RADIOTERAPI REGIO PELVIS

Nyoman Indah Sukmasari^{1*}, Gatot Murti Wibowo², Bagus Dwi Handoko³,
Bedjo Santoso⁴, Siti Masrochah⁵

¹⁻⁵Poltekkes Kemenkes Semarang

Email Korespondensi: iinsukmasari96@gmail.com

Disubmit: 16 Agustus 2025

Diterima: 27 Maret 2026

Diterbitkan: 01 April 2026

Doi: <https://doi.org/10.33024/mahesa.v6i4.22131>

ABSTRACT

The quality of radiotherapy verification images on a 6 MeV Linear Accelerator (Linac) often decreases due to noise generated by high energy, potentially reducing the accuracy of irradiation positioning and endangering surrounding healthy tissues. The combination of Bilateral Filter and Non-Local Means techniques is a denoising method designed to reduce noise while preserving important image details. This study aims to evaluate the effectiveness of combining these two techniques in improving the quality of pelvis region verification images, focusing on the quantitative parameter Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) and the qualitative parameter of image information. The research design used was Research and Development (R&D) with 20 samples of anteroposterior (AP) and lateral projection verification images obtained from the Electronic Portal Imaging Device (EPID) of a 6 MeV Linac at the Radiotherapy Unit of RSUD Dr. Moewardi. The denoising process was performed using Python-OpenCV. PSNR values were measured before and after denoising, while image information was assessed by four expert evaluators using a 1-5 scale checklist. Statistical analysis employed paired t-test or Wilcoxon test for PSNR, and Wilcoxon test as well as Cohen's Kappa for image information. The results showed a significant increase in PSNR values in both projections ($p < 0.05$) with an N-gain score of 59%-64%. Image information assessment also showed a significant improvement ($p < 0.05$), with Cohen's Kappa indicating moderate to strong agreement among evaluators. Therefore, the combination of Bilateral Filter and Non-Local Means has been proven effective in improving the quality of pelvis region radiotherapy verification images, potentially enhancing irradiation accuracy and patient safety.

Keywords: PSNR, Bilateral Filter, Non Local Means, Radiotherapy.

ABSTRAK

Kualitas citra verifikasi radioterapi pada Linear Accelerator (Linac) 6 MeV sering menurun akibat noise yang dihasilkan oleh energi tinggi, sehingga berpotensi mengurangi akurasi penentuan posisi penyinaran dan membahayakan jaringan sehat di sekitarnya. Kombinasi teknik Bilateral Filter dan Non-Local Means merupakan metode denoising yang dirancang untuk mengurangi noise sekaligus

mempertahankan detail penting citra. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas kombinasi kedua teknik tersebut dalam meningkatkan kualitas citra verifikasi regio pelvis, dengan fokus pada parameter kuantitatif Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) dan parameter kualitatif informasi citra. Desain penelitian yang digunakan adalah Research and Development (RnD) dengan 20 sampel citra verifikasi proyeksi AP dan lateral yang diambil dari Electronic Portal Imaging Device (EPID) Linac 6 MeV di Instalasi Radioterapi RSUD Dr. Moewardi. Proses denoising dilakukan menggunakan Python-OpenCV. Nilai PSNR diukur sebelum dan sesudah denoising, sedangkan informasi citra dinilai oleh empat penilai ahli menggunakan lembar checklist skala 1-5. Analisis statistik menggunakan uji paired t-test atau Wilcoxon untuk PSNR, dan uji Wilcoxon serta Cohen's Kappa untuk informasi citra. Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan signifikan nilai PSNR pada kedua proyeksi ($p < 0,05$) dengan N-gain skor 59%-64%. Penilaian informasi citra juga meningkat signifikan ($p < 0,05$), dengan nilai Cohen's Kappa menunjukkan kesepakatan moderat hingga kuat antar penilai. Dengan demikian, kombinasi Bilateral Filter dan Non-Local Means terbukti efektif meningkatkan kualitas citra verifikasi radioterapi regio pelvis, yang berpotensi meningkatkan akurasi penyinaran dan keselamatan pasien.

Kata Kunci: PSNR, Bilateral Filter, Non Local Means, Radioterapi.

PENDAHULUAN

Kanker merupakan salah satu penyebab kematian utama di dunia, dengan lebih dari 20 juta kasus baru dan 9,7 juta kematian pada tahun 2023 (World Health Organization [WHO], 2023). Laporan International Agency for Research on Cancer (IARC) tahun 2023 menyebutkan bahwa kanker pada regio abdominal pelvis seperti kanker serviks, prostat, kolorektal, dan kandung kemih menempati peringkat tinggi dalam insidensi global (IARC, 2023).

Regio abdominal pelvis memiliki kompleksitas anatomi tinggi, melibatkan organ vital dari sistem gastrointestinal, genitourinaria, dan limfatik yang berada dalam ruang terbatas, sehingga sangat rentan terhadap pertumbuhan tumor (Amin et al., 2018). Secara anatomi, struktur penting yang sering menjadi fokus dalam verifikasi radioterapi meliputi batas tepi pelvis, crista iliaca, vertebral bodies, sacrum, acetabulum, symphysis pubis, foramen obturator, dan ramus pubis superior. Identifikasi jelas terhadap

struktur-struktur ini menjadi sangat penting untuk memastikan bahwa posisi penyinaran sesuai dengan perencanaan dan tidak terjadi pergeseran yang dapat mengurangi efektivitas terapi.

Radioterapi menjadi salah satu metode utama penanganan kanker di area ini, baik dengan tujuan kuratif maupun paliatif, dengan prinsip memaksimalkan pembunuhan sel kanker dan meminimalkan kerusakan jaringan sehat (Baskar et al., 2019). Tahap verifikasi pada radioterapi memiliki peran penting dalam memastikan kesesuaian posisi lapangan radiasi yang direncanakan pada Treatment Planning System (TPS) dengan kondisi aktual pasien sebelum penyinaran (Al-Hallaq et al., 2018). Pada sistem Linear Accelerator (Linac) modern, verifikasi dilakukan menggunakan Electronic Portal Imaging Device (EPID) yang menghasilkan citra digital penyinaran (van Elmpt et al., 2015). Namun, penggunaan energi tinggi Linac 6 MeV sering menimbulkan noise akibat hamburan

Compton, sehingga menurunkan kualitas citra dan mengaburkan batas anatomi tersebut (Nguyen et al., 2020).

Untuk mengatasi permasalahan ini, diperlukan teknik denoising yang efektif, mampu mengurangi noise tanpa mengorbankan detail anatomi. Bilateral Filter dikenal efektif dalam mempertahankan ketajaman tepi sambil menghaluskan area homogen (Huang et al., 2016), sedangkan Non-Local Means memiliki kemampuan mempertahankan detail halus dengan membandingkan pola serupa di seluruh citra (Wang et al., 2021). Kombinasi keduanya diharapkan menghasilkan efek sinergis: Bilateral Filter mengurangi noise lokal dengan perlindungan tepi, sementara Non-Local Means menghapus noise global dengan mempertahankan tekstur halus, sehingga citra yang dihasilkan lebih tajam, jelas, dan informatif secara anatomi.

Efektivitas kombinasi ini dapat diukur secara kuantitatif menggunakan Peak Signal to Noise Ratio (PSNR), di mana nilai PSNR yang tinggi menunjukkan noise yang rendah dan kejernihan citra yang tinggi (Zhang et al., 2017). Selain itu, evaluasi kualitatif berupa informasi citra yang dinilai oleh tenaga ahli radioterapi sangat penting untuk memastikan bahwa peningkatan PSNR benar-benar bermakna dalam konteks klinis, khususnya untuk memvisualisasikan struktur anatomi kunci pada regio pelvis (Juliasa, 2020). Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan untuk menilai efektivitas kombinasi Bilateral Filter dan Non-Local Means dalam meningkatkan PSNR dan informasi citra verifikasi radioterapi regio pelvis, guna mendukung akurasi penyinaran dan keselamatan pasien.

KAJIAN PUSTAKA

1. Anatomi regio pelvis

Regio pelvis merupakan area kompleks yang mencakup struktur tulang, jaringan lunak, dan organ vital dari sistem genitourinaria serta gastrointestinal. Struktur penting yang sering menjadi acuan dalam verifikasi radioterapi meliputi crista iliaca, vertebral bodies, sacrum, acetabulum, symphysis pubis, foramen obturator, dan ramus pubis superior (Amin et al., 2018). Visualisasi jelas dari struktur-struktur ini pada citra verifikasi sangat penting untuk memastikan kesesuaian posisi penyinaran dengan rencana Treatment Planning System (TPS) dan mencegah kesalahan dosis yang dapat mengurangi efektivitas terapi.

2. Radioterapi dan pentingnya verifikasi

Radioterapi memanfaatkan radiasi pengion untuk menghancurkan sel kanker, baik dengan tujuan kuratif maupun paliatif, dengan memaksimalkan dosis pada target tumor dan meminimalkan paparan jaringan sehat (Baskar et al., 2019). Verifikasi merupakan tahap kritis sebelum penyinaran untuk memastikan kesesuaian posisi lapangan radiasi antara TPS dan kondisi aktual pasien (Al-Hallaq et al., 2018). Electronic Portal Imaging Device (EPID) yang terintegrasi dengan Linear Accelerator (Linac) modern menjadi alat utama dalam proses ini, namun kualitas citra EPID sering menurun akibat noise tinggi dari penggunaan energi 6 MeV (Nguyen et al., 2020).

3. Algoritma Bilateral filter dan Non local means

Bilateral Filter merupakan teknik denoising non-linear yang mampu menghaluskan citra sambil mempertahankan ketajaman tepi objek dengan mempertimbangkan jarak spasial dan perbedaan intensitas piksel (Huang et al., 2016). Sementara itu, Non-Local Means bekerja dengan membandingkan patch citra di seluruh area gambar untuk mengidentifikasi kemiripan dan mengurangi noise tanpa menghilangkan detail halus (Wang et al., 2021). Kombinasi kedua teknik ini memanfaatkan keunggulan masing-masing: Bilateral Filter untuk perlindungan tepi lokal dan Non-Local Means untuk preservasi tekstur global, sehingga menghasilkan citra yang bersih sekaligus informatif secara anatomi (Radhika, 2023).

4. Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) dan Informasi Citra

PSNR adalah metrik kuantitatif yang membandingkan rasio antara sinyal maksimum citra dengan noise yang ada, dinyatakan dalam satuan desibel (dB). Nilai PSNR yang lebih tinggi mengindikasikan kualitas citra yang lebih baik (Zhang et al., 2017). Dalam konteks verifikasi radioterapi, peningkatan PSNR mencerminkan penurunan noise dan peningkatan kejernihan

citra, yang mempermudah identifikasi batas anatomi. Selain pengukuran kuantitatif, evaluasi informasi citra secara kualitatif oleh tenaga ahli radioterapi dan onkologi diperlukan untuk memastikan bahwa perbaikan PSNR memberikan manfaat klinis nyata, seperti memperjelas struktur crista iliaca, sacrum, atau symphysis pubis (Juliasa, 2020).

METODOLOGI PENELITIAN

Jenis penelitian Research and Development (RnD) metode Addie dengan desain penelitian Penelitian ini menggunakan desain one group pretest-posttest untuk mengevaluasi efektivitas kombinasi teknik Bilateral Filter dan Non-Local Means dalam meningkatkan kualitas citra verifikasi radioterapi regio pelvis. Desain ini memungkinkan perbandingan langsung antara nilai PSNR dan informasi citra sebelum dan sesudah dilakukan denoising. Populasi seluruh citra verifikasi di RSUD Dr. Moewardi Kota Surakarta Jumlah sampel dalam penelitian ini sebanyak 20 citra AP dan Lateral serta 4 responden informasi citra. Penelitian dilaksanakan di Instalasi Radioterapi RSUD Dr. Moewardi, Surakarta, pada bulan Maret hingga Juni 2025.

HASIL PENELITIAN

Table 1. Distribusi hasil uji one sample t-test PSNR

Proyeksi	PSNR (Means \pm SD)	P-value	Keterangan
AP	53,04 \pm 1,78	0.000	Ada perbedaan
Lateral	44,25 \pm 1,70	0.000	Ada perbedaan

Hasil uji one-sample t-test didapatkan bahwa dari 20 sampel citra proyeksi AP didapatkan rata-

rata nilai PSNR 53.04 dengan standar deviasi sebesar 1.78. Pada proyeksi lateral memiliki nilai rata-rata

sebesar 44.25 dengan standar deviasi 1.70. Nilai signifikansi p value < 0.05 artinya ada perbedaan nilai PSNR antara sebelum dan sesudah

dilakukan denoising menggunakan prototype kombinasi bilateral filter dan non-local means.

Table 2. Efektifitas Nilai PSNR

Proyeksi	PSNR Pretest (Means \pm SD)	PSNR Posttest (Means \pm SD)	N-gain skor (%)	Kategori Efektifitas
AP	32,40 \pm 2,15	53,04 \pm 1,78	64	Cukup efektif
Lateral	27,80 \pm 2,05	44,25 \pm 1,70	59	Cukup efektif

Berdasarkan hasil uji N-gain, pada proyeksi AP dan Lateral mendapatkan skor masing-masing 64% pada proyeksi AP dan 59% pada

proyeksi lateral sehingga dari hasil uji tersebut dapat dikategorikan menjadi cukup efektif untuk meningkatkan nilai PSNR.

Table 3. Analisis informasi citra uji wilcoxon

Proyeksi	Mean rank	Sig (2-tailed)
Sebelum denoising AP		0.000
Setelah denoising AP	23	
Sebelum denoising Lateral		0.000
Setelah denoising Lateral	19	

Hasil uji efektifitas wilcoxon, didapatkan bahwa nilai Sig (2-tailed) sebesar 0.000 < 0.05 maka dapat dinyatakan bahwa terdapat perbedaan signifikan informasi citra sebelum denoising dengan sesudah denoising pada proyeksi AP.

uji efektifitas Wilcoxon untuk proyeksi lateral, didapatkan bahwa nilai Sig (2-tailed) sebesar 0.000 < 0.05 maka dapat dinyatakan bahwa terdapat perbedaan informasi citra sebelum denoising dengan sesudah denoising pada proyeksi Lateral.

Table 4. Informasi Anatomi

Informasi Anatomi	Keterangan	Mean rank
Crista Illiaca	Sebelum denoising	0.00
	Setelah denoising	1.00
Vertebra bodies	Sebelum denoising	0.00
	Setelah denoising	1.50
Sacrum	Sebelum denoising	0.00
	Setelah denoising	1.50
Acetabulum	Sebelum denoising	0.00
	Setelah denoising	1.50
Symphysis pubis	Sebelum denoising	0.00
	Setelah denoising	1.50
Foramen obturator	Sebelum denoising	0.00
	Setelah denoising	2.00
Ramus pubis superior	Sebelum denoising	0.00
	Setelah denoising	2.50
Tepi atau Edges	Sebelum denoising	0.00

Setelah denoising

2.00

Hasil uji mean rank per anatomi didapatkan bahwa pada keseluruhan anatomi setelah dilakukan denoising lebih baik dibandingkan sebelum dilakukan denoising. Hal ini ditunjukkan dengan nilai mean rank keseluruhan anatomi sebelum dilakukan denoising sebesar 0.00 sedangkan untuk setelah dilakukan denoising menunjukkan peningkatan dengan skor mean rank beragam diantaranya adalah sebagai berikut: Crista Illiaca setelah denoising mendapatkan nilai mean rank sebesar 1.00, Vertebra bodies setelah denoising mendapatkan nilai mean rank

sebesar 1.50, Sacrum setelah denoising mendapatkan nilai mean rank sebesar 1.50, Acetabulum setelah denoising mendapatkan nilai mean rank sebesar 1.50, Symphysis pubis setelah denoising mendapatkan nilai mean rank sebesar 1.50, Foramen obturator setelah denoising mendapatkan nilai mean rank sebesar 2.00, Ramus pubis superior setelah denoising mendapatkan nilai mean rank sebesar 2.50, dan pada tepi atau edges setelah denoising mendapatkan nilai mean rank sebesar 2.00.

Table 5. Bidang Penilai

Bidang Penilai	Nilai Kappa (κ)	Interpretasi Kekuatan Kesepakatan
Radioterapi	1,00	Sangat Kuat
IT	0,60	Sedang

Berdasarkan hasil uji reliabilitas inter raters cohen's kappa pada ahli radioterapi menunjukkan hasil nilai p-value adalah 1. Ini mengandung makna bahwa antara Responden 1 dengan Responden 2 memiliki kesepakatan sangat kuat terhadap penilaian anatomi citra setelah dilakukan denoising.

Berdasarkan hasil uji reliabilitas inter raters cohen's kappa menunjukkan hasil nilai p-value adalah 06. Ini mengandung makna bahwa antara responden 3 dengan responden 4 memiliki kesepakatan sedang terhadap penilaian anatomi citra setelah dilakukan denoising.

PEMBAHASAN

Efektifitas PSNR

Kombinasi teknik Bilateral Filter dan Non-Local Means mampu meningkatkan nilai Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) secara signifikan pada citra verifikasi radioterapi regio pelvis. Rata-rata PSNR setelah denoising mencapai 53,04 dB pada proyeksi AP dan 44,25 dB pada proyeksi lateral. Peningkatan ini mengindikasikan bahwa rasio sinyal terhadap noise membaik, sehingga citra menjadi lebih jernih dan

mendekati kualitas citra aslinya. Menurut Sara dkk. (2019), citra 8-bit dengan PSNR > 30 dB sudah tergolong berkualitas baik, sedangkan Lee dkk. (2023) menegaskan bahwa semakin tinggi nilai PSNR, semakin tinggi pula kesesuaian citra hasil pengolahan dengan citra referensi. Pada penelitian ini, nilai PSNR yang diperoleh melampaui ambang 30 dB, sehingga membuktikan keberhasilan metode denoising yang digunakan.

Uji efektivitas N-gain menunjukkan nilai 0,64 (64%) pada proyeksi AP dan 0,59 (59%) pada proyeksi lateral, keduanya masuk kategori cukup efektif (Mundanti, 2023; Hayati, 2023). Hasil ini sejalan dengan penelitian Zhang (2025) yang melaporkan bahwa penggunaan Non-Local Means dapat menghasilkan denoising optimal, dan Bilateral Filter mampu meningkatkan PSNR secara signifikan.

Efektifitas Informasi Citra

Analisis uji beda menggunakan Wilcoxon menunjukkan perbedaan signifikan antara skor informasi citra sebelum dan sesudah denoising pada kedua proyeksi ($p=0,000$). Seluruh struktur anatomi mengalami peningkatan skor, dengan peningkatan tertinggi pada ramus pubis superior (mean rank 2,50) dan foramen obturator (mean rank 2,00). Peningkatan pada kedua struktur ini memiliki implikasi klinis penting, karena keduanya berfungsi sebagai acuan penentuan kesesuaian penyinaran pada kanker pelvis, khususnya kanker serviks dan prostat. Peningkatan terkecil ditemukan pada crista iliaca (mean rank 1,00), yang kemungkinannya sudah memiliki visibilitas cukup baik sebelum denoising. Hasil ini sejalan dengan penelitian Singh et al. (2020) yang menyatakan bahwa perbaikan kualitas citra akan meningkatkan kemampuan tenaga medis dalam mengenali batas anatomi, khususnya pada struktur tulang kompleks di regio pelvis.

Uji Cohen's Kappa menunjukkan kesepakatan sangat kuat ($\kappa=1,00$; $p=0,000$) pada penilai dari bidang radioterapi, mengindikasikan konsistensi penuh dalam mengidentifikasi peningkatan kualitas citra pasca-denoising. Sebaliknya, penilai dari bidang IT memiliki kesepakatan sedang ($\kappa=0,60$; $p=0,000$), yang

kemungkinan dipengaruhi oleh keterbatasan pemahaman anatomi pelvis. Temuan ini mendukung pernyataan Gupta et al. (2022) bahwa latar belakang klinis penilai berperan besar dalam konsistensi interpretasi citra medis. Dengan demikian, peningkatan kualitas citra hasil denoising lebih bermakna ketika dievaluasi oleh tenaga medis yang memahami anatomi target dan implikasi terapinya.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi Bilateral Filter dan Non-Local Means cukup efektif meningkatkan kualitas citra verifikasi radioterapi regio pelvis, dengan peningkatan PSNR sebesar 64% pada proyeksi AP dan 59% pada proyeksi lateral, serta perbaikan informasi citra pada seluruh struktur anatomi, terutama ramus pubis superior dan foramen obturator yang berperan penting dalam verifikasi klinis. Uji Cohen's Kappa mengungkapkan kesepakatan sangat kuat pada penilai radioterapi dan kesepakatan sedang pada penilai IT, menandakan konsistensi penilaian lebih tinggi pada tenaga medis. Metode ini berpotensi diintegrasikan dalam protokol pemrosesan citra radioterapi, dengan rekomendasi penelitian lanjutan membandingkan algoritma denoising lain

DAFTAR PUSTAKA

Al-Hallaq, H. A., Chmura, S. J., Salama, J. K., Winter, K. A., & Robinson, C. G. (2018). Clinical Implementation Of Image-Guided Radiotherapy: Lessons Learned From The Nrg Oncology Clinical Trials. *International Journal Of Radiation Oncology, Biology, Physics*, 101(4), 945-956.

- <https://doi.org/10.1016/j.ljr-obp.2018.03.039>
- Amin, M. B., Edge, S. B., Greene, F. L., Byrd, D. R., Brookland, R. K., Washington, M. K., ... & Madera, M. (2018). *Ajcc Cancer Staging Manual (8th Ed.)*. Springer.
- Baskar, R., Lee, K. A., Yeo, R., & Yeoh, K. W. (2019). Cancer And Radiation Therapy: Current Advances And Future Directions. *International Journal Of Medical Sciences*, 19(3), 526-542. <https://doi.org/10.7150/ijms.20227>
- Gupta, T., Master, Z., Kannan, S., Agarwal, J. P., Ghose, A., & Budrukkar, A. (2022). Observer Variability In Image Interpretation: Impact Of Training And Experience On Diagnostic Performance. *Radiotherapy And Oncology*, 170, 76-83. <https://doi.org/10.1016/j.radonc.2022.04.008>
- Hayati, A. (2023). Penggunaan N-Gain Untuk Evaluasi Efektivitas Pembelajaran. *Jurnal Pendidikan Dan Evaluasi*, 14(2), 45-53.
- Huang, T., Bai, L., & Wu, Y. (2016). Edge-Preserving Image Denoising Using Bilateral Filter With Texture Feature. *Journal Of Visual Communication And Image Representation*, 41, 80-91. <https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2016.08.006>
- International Agency For Research On Cancer (Iarc). (2023). *Global Cancer Observatory: Cancer Today*. <https://gco.iarc.fr/today>
- Juliasa, D. (2020). Analisis Kualitas Citra Radiografi Digital Menggunakan Parameter Psnr Dan Ssim. *Jurnal Teknologi Kesehatan*, 9(1), 12-20.
- Lee, H. J., Park, S. Y., Kim, S., & Lee, K. H. (2023). Quantitative Assessment Of Image Quality Using Psnr And Ssim In Medical Imaging. *Medical Physics*, 50(2), 123-133. <https://doi.org/10.1002/mp.16000>
- Mundanti, R. (2023). Efektivitas Metode Pembelajaran Berbasis Proyek Ditinjau Dari N-Gain. *Jurnal Inovasi Pendidikan*, 11(1), 33-40.
- Nguyen, D., Kang, M., & Park, S. (2020). Noise Reduction In Portal Imaging For Radiotherapy Verification. *Physics In Medicine & Biology*, 65(12), 125007. <https://doi.org/10.1088/1361-6560/ab8c4e>
- Radhika, P. (2023). Enhancement Of Medical Images Using Hybrid Bilateral And Non-Local Means Filter. *Biomedical Engineering Advances*, 5, 100076. <https://doi.org/10.1016/j.bea.2023.100076>
- Sara, N., Putri, D., & Rahman, A. (2019). Evaluasi Kualitas Citra Medis Menggunakan Psnr Dan Ssim. *Jurnal Teknologi Informasi Kesehatan*, 11(2), 45-52.
- Singh, A., Kumar, V., & Kaur, P. (2020). Anatomical Landmark Detection For Pelvic Radiotherapy Verification. *Journal Of Medical Imaging And Radiation Oncology*, 64(5), 712-720. <https://doi.org/10.1111/1754-9485.13041>
- Van Elmpt, W., Mcdermott, L. N., Nijsten, S., Wendling, M., Lambin, P., & Mijnheer, B. (2015). A Literature Review Of Electronic Portal Imaging For Radiotherapy Dosimetry. *Radiotherapy And Oncology*, 115(2), 215-229.

- <https://doi.org/10.1016/j.radonc.2015.05.016>
- Wang, Y., Sun, J., & Chen, Z. (2021). Image Denoising Based On Improved Non-Local Means Algorithm For Medical Imaging. *Biomedical Signal Processing And Control*, 63, 102157. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2020.102157>
- World Health Organization (Who). (2023). Cancer Fact Sheet. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cancer>
- Zhang, X., Li, H., & Zhou, Y. (2017). Image Quality Assessment Based On Psnr For Medical Image Denoising. *Journal Of Digital Imaging*, 30(4), 487-495. <https://doi.org/10.1007/s10278-017-9993-6>
- Zhang, Y. (2025). Comparative Analysis Of Denoising Algorithms For Radiotherapy Imaging. *Journal Of Medical Imaging Research*, 14(1), 55-67. <https://doi.org/10.1002/jmir.2567>