

REDUKSI DOSIS RADIASI PEMERIKSAAN FEMUR DENGAN BIOPLASTIK TIMBAL: PENDEKATAN CITRA DAN ANATOMI

**Alvin Fachrully Septiano^{1*}, Oktarina Damayanti², Muhammad Beni³,
Tio Kurnianto³, Imam Maulana, and Muhammad Rizky⁴**

¹Universitas An Nasher Cirebon; ²Politeknik Al Islam Bandung`

³Rumah Sakit Umum Daerah Waled Cirebon, ⁴Rumah Sakit Umum Ummi Bogor

^{1*}Email: afseptiano@gmail.com

ABSTRAK

Radiasi sinar-X dalam bidang kedokteran memberikan manfaat diagnostik yang besar, namun juga berpotensi menimbulkan efek samping bagi pasien dan petugas medis. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas bioplastik berbasis pati singkong dan timbal asetat sebagai bahan penyerap dosis radiasi pada pemeriksaan radiografi femur. Pemeriksaan dilakukan dengan proyeksi Anteroposterior (AP) dan Lateral menggunakan posisi detektor potret dan diagonal. Pengolahan citra dilakukan menggunakan metode Gaussian High Pass Filter (GHPF) dengan variasi frekuensi cut-off 5, 10, dan 15 Hz. Analisis citra dilakukan menggunakan metode Contrast to Noise Ratio (CNR) dan Peak Signal to Noise Ratio (PSNR). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan bioplastik dapat menurunkan nilai CNR dan PSNR dibandingkan tanpa bioplastik, namun masih dalam batas kualitas citra yang dapat diterima. Misalnya, pada posisi AP diagonal dengan cut-off 5, nilai CNR untuk femur proksimal adalah 22,86 (dengan bioplastik) dibandingkan 21,95 (tanpa bioplastik), sedangkan PSNR-nya adalah 11,1 (dengan bioplastik) dan 11,6 (tanpa bioplastik). Sementara itu, penurunan dosis radiasi yang diindikasikan dari nilai Mean Square Error (MSE) menunjukkan bahwa penggunaan bioplastik memberikan perlindungan dengan tetap mempertahankan kualitas visual anatomi. Frekuensi cut-off 5 dan 10 memberikan kualitas citra terbaik baik saat menggunakan maupun tidak menggunakan bioplastik. Namun, pada cut-off frekuensi 15, gambaran citra cenderung menunjukkan kesan osteoporosis meskipun sampel tulang dalam kondisi normal. Temuan ini menunjukkan bahwa bioplastik timbal efektif dalam menurunkan paparan radiasi tanpa mengorbankan kualitas citra secara signifikan, serta memberikan alternatif pelindung yang lebih ramah lingkungan.

Kata kunci: Bioplastik Timbal, Contrast to Noise Ratio, Femur, Gaussian High Pass Filter, Peak Signal to Noise Ratio

RADIATION DOSE REDUCTION IN FEMUR EXAMINATION USING LEAD BIOPLASTICS: AN IMAGING AND ANATOMICAL APPROACH

ABSTRACT

X-ray radiation in the medical field offers substantial diagnostic benefits but also poses potential risks to both patients and medical personnel. This study aims to evaluate the effectiveness of bioplastic made from cassava starch and lead acetate as a radiation dose absorber in femur radiographic examinations. The examinations were conducted

using Anteroposterior (AP) and Lateral projections with portrait and diagonal detector positions. Image processing utilized the Gaussian High Pass Filter (GHPF) method with cut-off frequencies of 5, 10, and 15 Hz. Image analysis was performed using Contrast to Noise Ratio (CNR) and Peak Signal to Noise Ratio (PSNR). The results indicated that the use of bioplastic reduced CNR and PSNR values compared to examinations without bioplastic, although the image quality remained within acceptable clinical limits. For instance, in the AP diagonal projection with a 5 Hz cut-off, the CNR value for the proximal femur was 22.86 (with bioplastic) versus 21.95 (without bioplastic), while the corresponding PSNR values were 11.1 and 11.6, respectively. Additionally, radiation dose attenuation was supported by increased Mean Square Error (MSE) values, indicating effective shielding by the bioplastic. Cut-off frequencies of 5 and 10 yielded the best image quality in both conditions. However, a 15 Hz cut-off tended to produce clinical impressions of osteoporosis despite normal bone samples. These findings demonstrate that lead-based bioplastic is effective in reducing radiation exposure while maintaining diagnostic image quality, offering an environmentally friendly alternative for radiation protection in medical imaging..

Keywords: Contrast to Noise Ratio, Femur, Gaussian High Pass Filter, Lead Bioplastic, Peak Signal to Noise Ratio

PENDAHULUAN

Radiasi elektromagnetik khususnya sinar-X, telah menjadi bagian penting dalam dunia medis modern, terutama sebagai alat bantu dalam diagnosis berbagai kondisi patologis. Sejak ditemukan oleh Wilhelm Conrad Roentgen pada tahun 1895, sinar-X dimanfaatkan secara luas karena kemampuannya menembus jaringan lunak dan menghasilkan citra internal tubuh (Oglat, 2020; Septiano, 2020). Namun, di balik manfaatnya, radiasi sinar-X membawa potensi risiko biologis yang tidak bisa diabaikan. Efek paparan radiasi pada tubuh manusia bersifat kumulatif dan dapat menyebabkan berbagai efek samping seperti mutasi genetik, kanker, hingga kerusakan jaringan (Welborn, 2022; Umeh, 2021).

Untuk mengurangi dampak negatif tersebut, berbagai strategi proteksi radiasi telah dikembangkan. Salah satu pendekatan yang paling umum adalah penggunaan perisai radiasi. Timbal (Pb) selama ini dikenal sebagai material pelindung radiasi yang sangat efektif karena densitas tinggi dan nomor atom besar, yang membuatnya mampu menyerap energi foton sinar-X dan gamma secara efisien (Hashemi, 2022; Hannachi, 2022). Namun, timbal dalam bentuk murni memiliki kelemahan seperti sifatnya yang tidak ramah lingkungan dan beracun, serta kurang fleksibel untuk kebutuhan medis tertentu.

Dalam perkembangannya, muncul alternatif material pelindung radiasi yang mengombinasikan timbal dengan bahan polimer atau plastik, salah satunya bioplastik. Bioplastik merupakan material yang berasal dari sumber daya hayati seperti pati singkong atau jagung, yang memiliki keunggulan dalam hal biodegradabilitas dan keberlanjutan sumber bahan bakunya (Chen, 2022; Yusoff, 2021). Penelitian terbaru menunjukkan bahwa kombinasi bioplastik dan timbal asetat dapat menciptakan material pelindung radiasi yang tidak hanya efektif menyerap sinar-X, tetapi juga lebih aman bagi lingkungan dan pengguna (Septiano, 2023; Ayyubi, 2022).

Penggunaan material pelindung radiasi sangat relevan dalam pemeriksaan radiografi tulang, khususnya femur. Tulang femur merupakan tulang terpanjang dan paling kuat di tubuh manusia, serta memiliki struktur yang kompleks dan penting dalam bidang ortopedi dan radiologi (Edirisinghe, 2024; Beaulah, 2024). Fraktur femur, terutama pada populasi lanjut usia, menjadi masalah kesehatan

masyarakat yang signifikan dengan tingkat mortalitas dan morbiditas yang tinggi (Wu, 2024). Oleh karena femur merupakan tulang terkuat maka memiliki densitas yang tinggi, dan mengingat femur dekat dengan organ vital reproduksi maka diperlukan pemeriksaan radiografi yang akurat dan aman. Teknik radiografi proyeksi Anteroposterior (AP) dan Lateral dengan posisi detektor potret maupun diagonal merupakan metode yang umum digunakan untuk visualisasi tulang femur. Namun demikian, setiap pemeriksaan tersebut tetap mengandung risiko paparan radiasi, baik bagi pasien maupun tenaga kesehatan. Penggunaan perisai radiasi tambahan yang efektif, terutama pada bagian-bagian sistem yang tidak diperiksa secara langsung, dapat membantu menurunkan dosis yang diterima tubuh secara keseluruhan.

Seiring dengan perkembangan teknologi digital dalam bidang radiologi, pengolahan citra digital juga mengalami kemajuan. Metode Gaussian High Pass Filter (GHPF) menjadi salah satu teknik pemrosesan citra yang efektif dalam memperjelas tepi objek anatomi dengan mengurangi komponen frekuensi rendah. Untuk mengukur kualitas citra hasil pemeriksaan, digunakan metrik seperti Contrast to Noise Ratio (CNR) dan Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) yang dapat mengevaluasi tingkat kontras serta efisiensi deteksi detail anatomi terhadap gangguan noise (Setiawati, 2023; Zhang, 2024).

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui bioplastik timbal yang berbahan dasar pati singkong dan timbal asetat dapat menurunkan dosis radiasi tanpa mengurangi kualitas citra pada pemeriksaan radiografi femur dengan posisi detektor potret dan diagonal. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas bioplastik timbal sebagai bahan penyerap dosis radiasi pada pemeriksaan radiografi femur. Evaluasi dilakukan melalui pendekatan citra dan anatomi dengan menganalisis kualitas citra menggunakan metode GHPF, CNR, dan PSNR. Selain itu, penelitian ini juga melihat pengaruh variasi frekuensi cut-off terhadap visualisasi struktur femur dalam proyeksi AP dan Lateral.

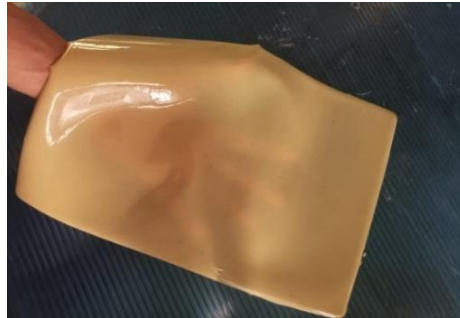
Manfaat dari penelitian ini mencakup beberapa aspek penting. Pertama, secara ilmiah penelitian ini berkontribusi pada pengembangan material alternatif pelindung radiasi yang ramah lingkungan dan ekonomis. Kedua, dari segi klinis, penggunaan bioplastik timbal dapat menurunkan risiko paparan radiasi baik pada pasien maupun tenaga medis. Ketiga, secara praktis, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi inovatif dalam pemanfaatan bioplastik untuk perlindungan radiasi di fasilitas layanan kesehatan, khususnya dalam pemeriksaan radiografi ekstremitas bawah seperti tulang femur.

Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam peningkatan keselamatan, kualitas layanan radiologi, dan keberlanjutan lingkungan melalui pemanfaatan bioplastik berbasis bahan lokal yang dikombinasikan dengan senyawa pelindung radiasi.

METODOLOGI PENELITIAN

Pembuatan Sampel Bioplastik Timbal

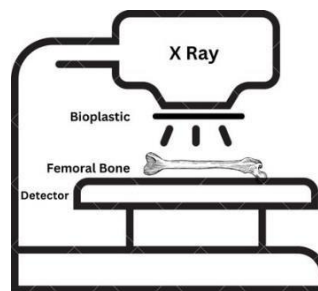
Sampel bioplastik berbahan pati singkong dengan timbal asetat digunakan untuk membuat material proteksi radiasi. Dengan variasi komposisi 45:55, campuran pati singkong dan timbal asetat. Selama proses pencampuran, suhu yang digunakan adalah antara 70 dan 80° untuk mengurangi jumlah gelembung udara yang muncul selama proses pencetakan. Selama pengeringan sampel, diperlukan pengawasan yang ketat untuk menghilangkan gelembung udara. Dari penelitian sebelumnya, tingkat keberhasilan material dalam menyerap radiasi sinar-X adalah 49,4 persen (Septiano, 2023).



Gambar 1. Bioplastik Timbal

Pemeriksaan Radiografi Femur

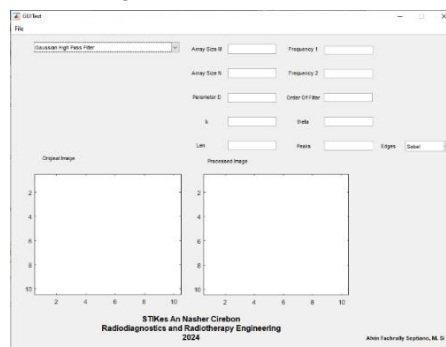
Pemeriksaan femur dilakukan dengan menggunakan tulang femur manusia yang diawetkan tanpa menggunakan bioplastik timbal dan menggunakan bioplastik timbal yang ditempelkan pada jendela kolimator mesin sinar-X, penggunaan bioplastik timbal pada jendela kolimator dimaksudkan untuk mengurangi dosis radiasi yang diserap. Faktor paparan yang digunakan selama penelitian ini adalah 60 kV, 204,4 s, 18,1 mA dan 100 cm. Proyeksi pemeriksaan tulang femoral meliputi Antero Posterior (AP) dan Lateral dengan posisi detektor potret dan diagonal.



Gambar 2. Pemeriksaan Radiografi Femur Menggunakan Bioplastik Timbal

Pengolahan Citra

Pemeriksaan radiologi femur menghasilkan citra radiodiagnostik, kemudian penulis membuat program GUI menggunakan aplikasi Matlab 2015a untuk mendapatkan hasil pengolahan citra Gaussian High Pass Filter (GHPF) dengan variasi frekuensi cut-off 5, 10, dan 15.

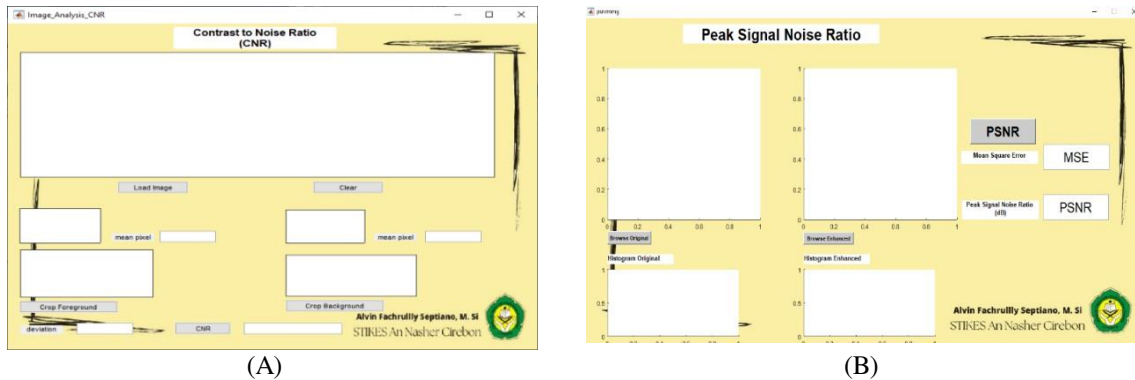


Gambar 3. Pengolahan Citra Menggunakan GUI Matlab 2015a

Analisis Citra

Hasil pengolahan citra menggunakan metode Gaussian High Pass Filter (GHPF) selanjutnya dianalisis menggunakan metode Contrast to Noise Ratio (CNR) dan Peak Signal Noise Ratio menggunakan program aplikasi GUI Matlab 2015a. Analisis menggunakan metode CNR dengan cara memotong citra latar dan citra objek, sedangkan analisis menggunakan metode PSNR dilakukan

dengan cara membandingkan citra asli pemeriksaan femur dengan citra hasil pengolahan citra sebelumnya menggunakan metode Gaussian High Pass Filter (GHPF).

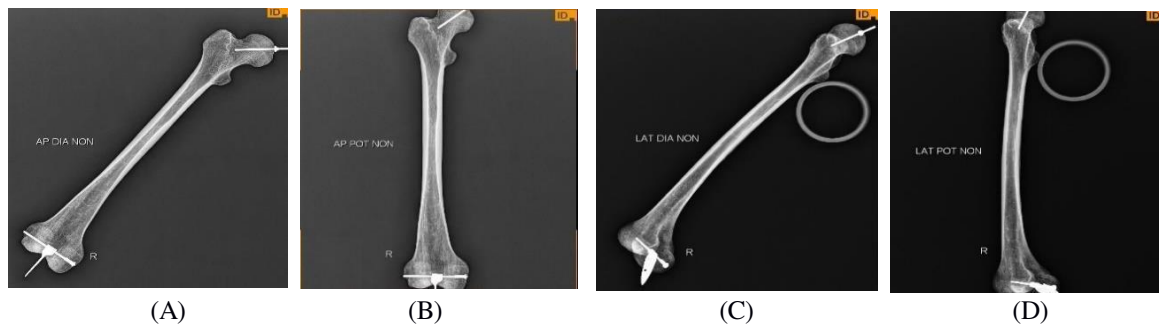


Gambar 4. Analisis Citra Menggunakan GUI Matlab 2015a (A). CNR (B). PSNR

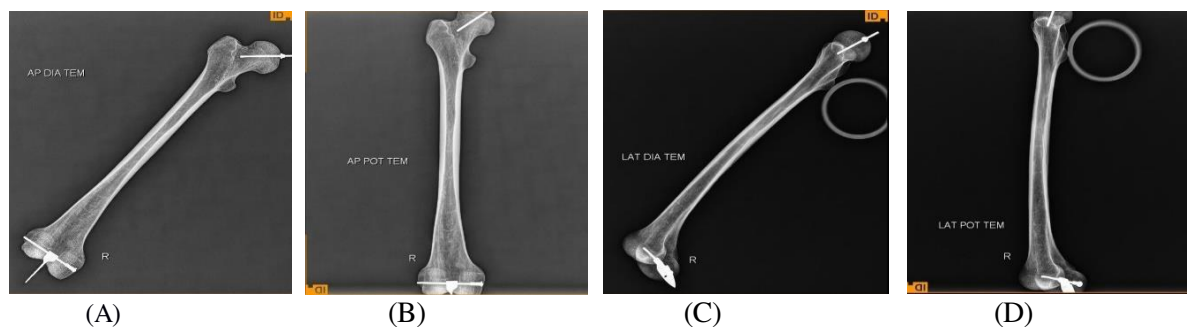
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemeriksaan Radiografi Femur

Tujuan dari penggunaan bioplastik timbal yang ditempelkan pada jendela kolimator mesin sinar-X adalah untuk mengurangi dosis radiasi yang diserap selama pemeriksaan femur, yang dilakukan dengan menggunakan femur manusia yang diawetkan sebagai pengganti bioplastik timbal. Dalam penelitian ini, variabel paparan yang digunakan adalah 60 kV, 204,4 mA, 18,1 ms, dan 100 cm. Antero Posterior (AP) dan Lateral dengan posisi detektor potret dan diagonal termasuk di antara proyeksi pemeriksaan femur. Hasil pemeriksaan adalah sebagai berikut.



Gambar 5. Gambaran Radiografi Pemeriksaan Femur Tanpa Bioplastik dengan Posisi Proyeksi dan Posisi Detektor (A). Diagonal AP (B). Potret AP (C). Diagonal Lateral (D). Potret Lateral



Gambar 6. Gambaran Radiografi Pemeriksaan Femoral Menggunakan Bioplastik dengan Posisi Proyeksi dan Posisi Detektor (A). Diagonal AP (B). Potret AP (C). Diagonal Lateral (D). Potret Lateral

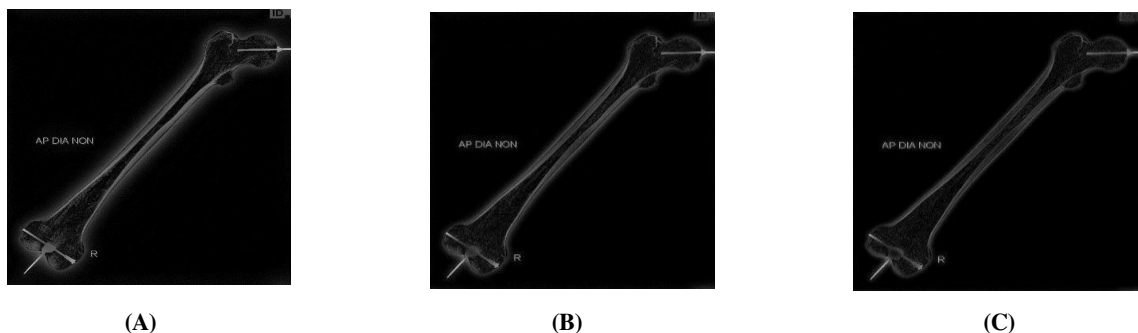
Dari data tersebut penulis dapat menyatakan bahwa pada Gambar 5.A dan 6.A dengan proyeksi AP dan posisi detektor Diagonal menggambarkan struktur anatomi yang optimal dengan melihat bagian proksimal terlihat struktur kaput yang optimal, bagian diafisis corpus femur terlihat optimal dan bagian interkondilaris distal terlihat optimal. Pada Gambar 5.B dan 6.B dengan proyeksi AP dan posisi detektor portrait menggambarkan struktur anatomi yang kurang optimal dengan melihat bagian proksimal struktur kaput kurang optimal, bagian diafisis corpus femur terlihat dan untuk ujung distal interkondilaris terlihat kurang optimal.

Berdasarkan data yang ditampilkan pada Gambar 5.C dan 6.C, proyeksi lateral dengan posisi detektor diagonal mampu menampilkan struktur anatomi femur secara optimal. Hal ini ditunjukkan oleh visualisasi yang jelas pada bagian proksimal (kaput femur), diafisis (corpus femur), hingga bagian distal (interkondilus). Sebaliknya, pada Gambar 5.D dan 6.D dengan proyeksi yang sama namun menggunakan posisi detektor portrait, kualitas citra anatomi cenderung menurun. Bagian proksimal tampak kurang jelas, meskipun bagian diafisis tetap tergambar baik, sedangkan bagian distal menunjukkan penurunan ketajaman visualisasi.

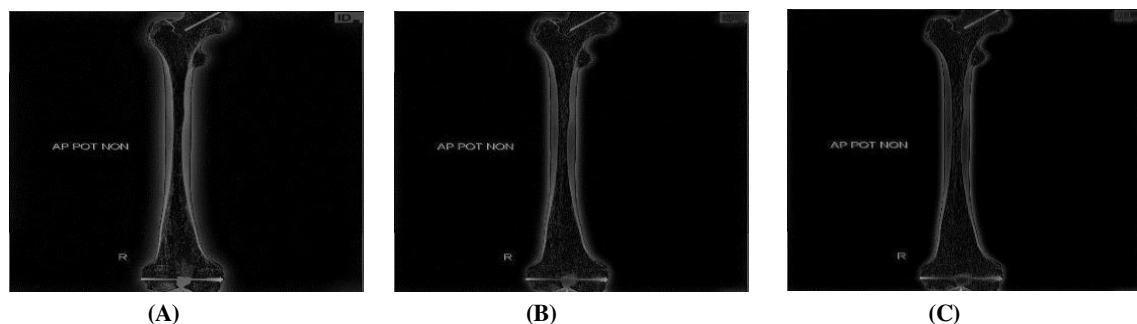
Analisis Citra dan Anatomi

Pengolahan Citra Gaussian High Pass Filter (GHPF)

Citra hasil pemeriksaan femoralis dengan proyeksi AP dan Lateral menggunakan posisi detektor portrait dan diagonal diolah menggunakan program GUI Matlab 2015a dengan metode Gaussian High Pass Filter (GHPF) dengan variasi frekuensi cut-off 5, 10, dan 15. Sehingga menghasilkan data sebagai berikut:

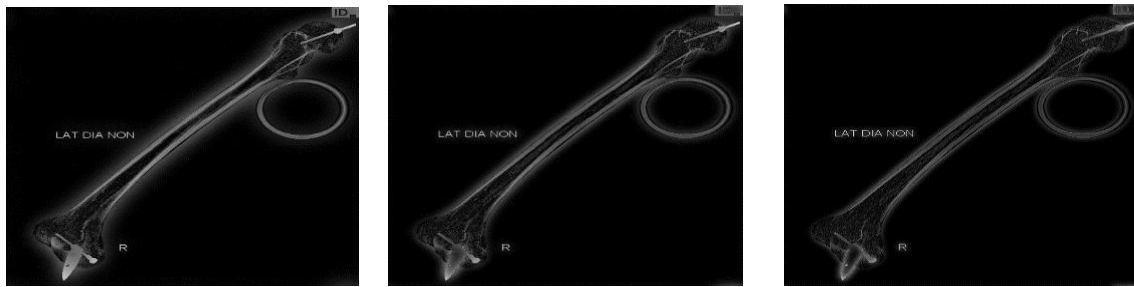


Gambar 7. Pengolahan Citra AP Diagonal Femur Menggunakan Biplastik Gaussian High Pass dengan frekuensi cut off (A). 5 (B). 10 (C). 15



Gambar 8. Pengolahan Citra AP Potret Femur Tanpa Biplastik Gaussian High Pass dengan frekuensi cut off (A). 5 (B). 10 (C). 15

Figure 1 gambar 3

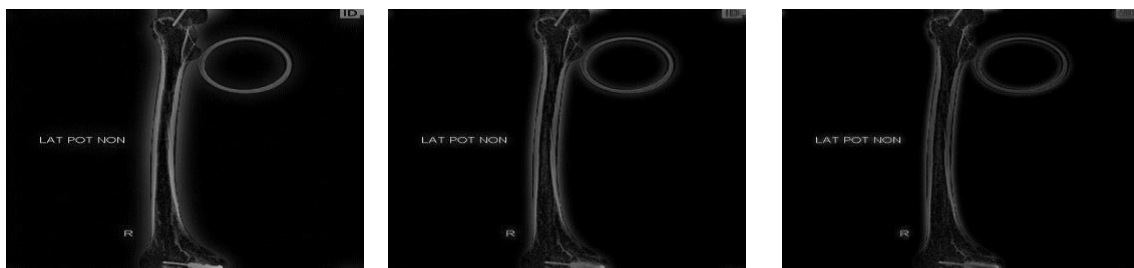


(A)

(B)

(C)

Gambar 9. Pengolahan Citra Lateral Diagonal Femur Tanpa Bioplastik Gaussian High Pass dengan frekuensi cut off (A). 5 (B). 10 (C). 15



(A)

(B)

(C)

Gambar 10. Pengolahan Citra Lateral Potret Femur Tanpa Bioplastik Gaussian High Pass dengan frekuensi cut off (A). 5 (B). 10 (C). 15

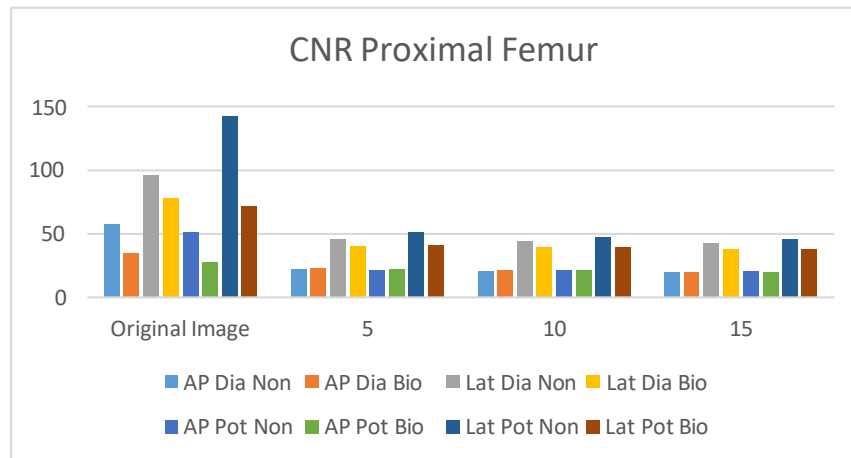
Dari hasil pengolahan citra dengan metode Gaussian High Pass Filter (GHPF) menghasilkan citra yang lebih gelap dibandingkan citra asli hasil pemeriksaan femur, namun hasil ini memberikan penggambaran deteksi tepi pada organ tersebut dengan lebih baik sehingga diagnosis klinis lebih mudah dilakukan. Pada variasi frekuensi cut off 5 dan 10 memberikan hasil yang baik dalam menggambarkan deteksi tepi pada organ femoralis, sedangkan pada frekuensi cut off 15 memberikan penggambaran yang kurang baik sehingga seolah-olah memberikan penggambaran organ femoralis mengalami osteoporosis.

Contrast to Noise Ratio (CNR)

Hasil gambar pemeriksaan femur diolah menggunakan metode Gaussian High Pass Filter (GHPF) menggunakan program GUI Matlab 2015a, kemudian dianalisa menggunakan metode Contrast to Noise Ratio (CNR) dengan fokus pada struktur anatomi femur. Sehingga menghasilkan data sebagai berikut:

Tabel 1. Analisis CNR pada Proximal Femur

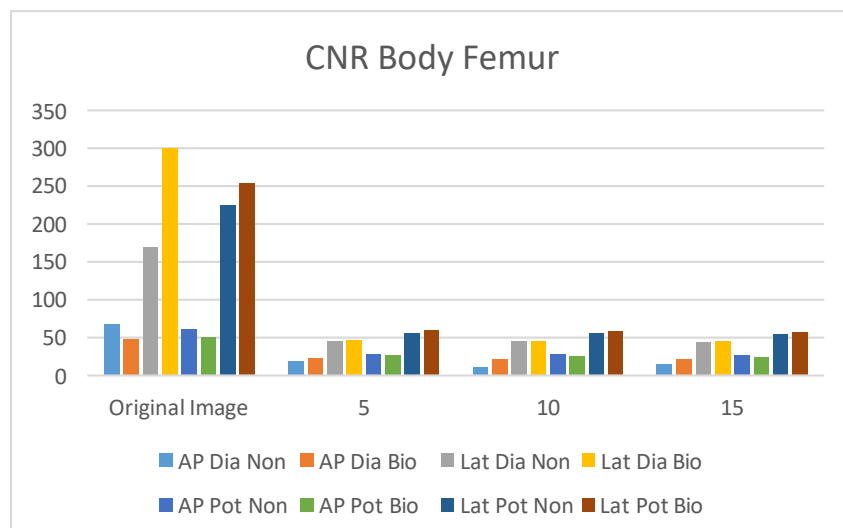
Proyeksi Posisi / Cut Off	Original Image	5	10	15
AP Dia Non	57,55	21,95	20,62	19,7
AP Dia Bio	35,17	22,86	21,74	19,67
Lat Dia Non	96,17	45,97	43,86	42,57
Lat Dia Bio	78,14	40,67	39,79	38,23
AP Pot Non	51,46	21,86	21,14	20,35
AP Pot Bio	28,08	22,77	21,24	19,98
Lat Pot Non	142,12	50,98	47,89	45,74
Lat Pot Bio	71,72	40,98	39,79	38,23



Gambar 11. Grafik Analisis CNR pada Proximal Femur

Tabel 2. Analisis CNR pada Body Femur

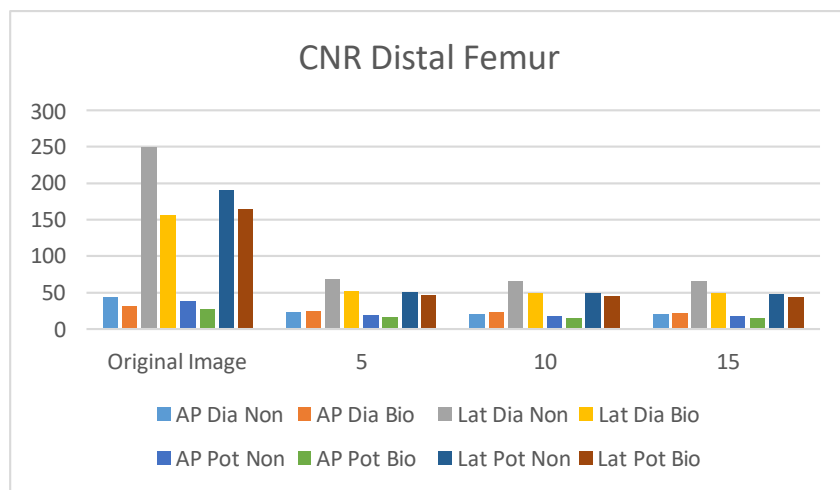
Proyeksi Posisi / Cut Off	Original Image	5	10	15
AP Dia Non	68,65	18,94	11,31	15,56
AP Dia Bio	48,31	22,78	22,03	21,04
Lat Dia Non	168,84	45,87	45,17	44,31
Lat Dia Bio	299,97	47,57	46,14	45,2
AP Pot Non	61,86	28,84	28,57	27,01
AP Pot Bio	51,87	26,76	25,94	24,13
Lat Pot Non	225,34	56,76	55,93	54,32
Lat Pot Bio	253,87	60,47	58,97	57,01



Gambar 12. Grafik Analisis CNR pada Body Femur

Tabel 3. Analisis CNR pada Distal Femur

Proyeksi Posisi / Cut Off	Original Image	5	10	15
AP Dia Non	44,23	22,8	20,21	19,6
AP Dia Bio	30,7	23,85	22,76	21,34
Lat Dia Non	248,89	67,83	66,17	64,94
Lat Dia Bio	155,56	50,89	49,32	47,98
AP Pot Non	38,31	18,03	17,59	16,83
AP Pot Bio	27,3	16,18	14,97	14,02
Lat Pot Non	190,133	50,19	48,96	47,85
Lat Pot Bio	164,51	45,9	44,86	43,02



Gambar 13. Grafik Analisis CNR pada Distal Femur

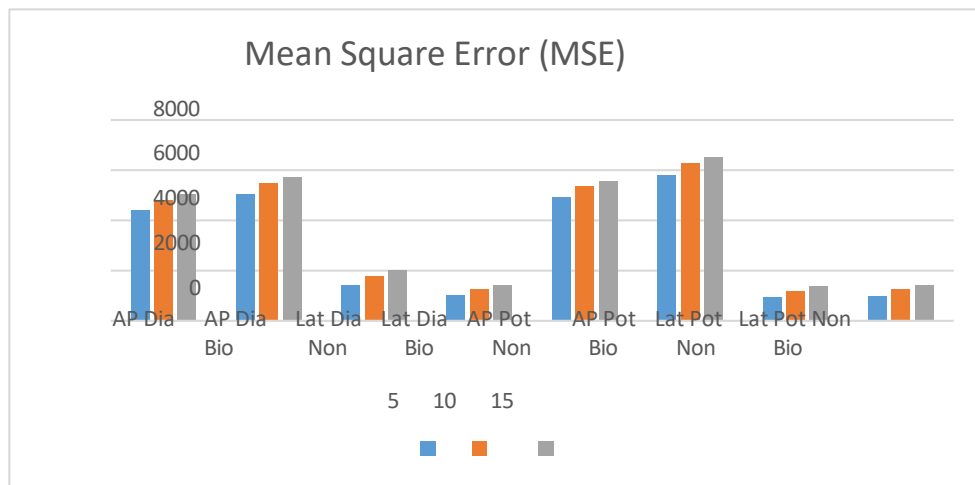
Kualitas citra akan meningkat seiring dengan nilai Contrast to Noise Ratio (CNR) yang dimilikinya. Berdasarkan data analisis citra yang diperoleh dari organ femoralis proksimal, body, dan distal dengan menggunakan metode CNR, penulis menyimpulkan bahwa hasil terbaik diperoleh pada frekuensi cut-off 5 dan 10 pada setiap proyeksi pemeriksaan dan posisi detektor, baik saat menggunakan bioplastik maupun saat tidak menggunakan bioplastik. Meskipun penulis memastikan bahwa sampel femoralis yang digunakan dalam keadaan normal, namun hasil frekuensi cut-off 5 dan 10 mampu memberikan gambaran organ yang baik dari perspektif anatomi. Pada frekuensi cut-off 15, 20, 25, dan 30, organ tersebut tampak mengalami osteoporosis.

Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)

Analisis citra menggunakan *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR) dilakukan dengan membandingkan citra asli pemeriksaan femur dengan citra hasil olahan menggunakan metode Gaussian High Pass Filter dengan variasi frekuensi cut-off 5, 10, 15, 20, 25, dan 30. Hasilnya adalah data *Mean Square Error* (MSE) dan *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR) sebagai berikut:

Tabel 4. Analisis MSE pada Citra Femur

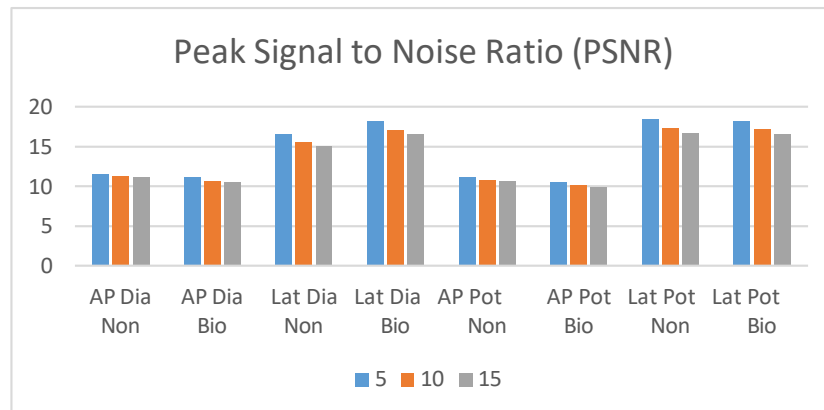
Projection Position/ Cut Off	5	10	15
AP Dia Non	4421,4	4821,9	5046,75
AP Dia Bio	5038,62	5494,35	5727,2
Lat Dia Non	1430,4	1785,56	2011,35
Lat Dia Bio	993,39	1266,26	1438,12
AP Pot Non	4921,9	5353,55	5580,16
AP Pot Bio	5798	6263,81	6508,12
Lat Pot Non	938,9	1192,62	1367,16
Lat Pot Bio	979,4	1248,28	1422,63



Gambar 14. Grafik Analisis MSE Citra Femur

Tabel 5. Analisis PSNR pada Citra Femur

Projection Position/ Cut Off	5	10	15
AP Dia Non	11,6	11,29	11,1
AP Dia Bio	11,1	10,73	10,55
Lat Dia Non	16,57	15,61	15,09
Lat Dia Bio	18,15	17,1	16,55
AP Pot Non	11,2	10,84	10,66
AP Pot Bio	10,49	10,16	9,99
Lat Pot Non	18,4	17,36	16,77
Lat Pot Bio	18,22	17,16	16,59



Gambar 15. Grafik Analisis MSE Citra Femur

Analisis citra Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) dilakukan dengan membandingkan citra yang diperoleh dari pemeriksaan femoralis dengan citra yang diperoleh setelah menggunakan metode pemrosesan citra Gaussian High Pass Filter (GHPF). Citra yang dianalisis akan lebih baik jika nilai PSNR-nya lebih besar. Berdasarkan hasil analisis, penulis menyimpulkan bahwa frekuensi cut-off 5 dan 10 memberikan kualitas citra terbaik untuk semua proyeksi dan posisi detektor, baik dari segi representasi anatomi maupun hasil pengukuran kuantitatif CNR dan PSNR. Tidak seperti penelitian sebelumnya yang hanya menilai kualitas citra tanpa mempertimbangkan efek visual terhadap interpretasi klinis, penelitian ini menunjukkan bahwa pada frekuensi cut-off 15, citra femur cenderung menampilkan gambaran menyerupai osteoporosis meskipun sampel berada dalam kondisi normal. Temuan ini menjadi pembaharuan penting karena menunjukkan bahwa pemrosesan citra berlebihan dapat menimbulkan kesan klinis yang menyesatkan (false impression), yang belum banyak diungkap pada studi sebelumnya. Oleh karena itu, pemilihan frekuensi cut-off yang tepat tidak hanya penting untuk kualitas visual, tetapi juga untuk menjaga akurasi diagnosis radiologis.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa bioplastik berbasis pati singkong yang dikombinasikan dengan timbal asetat memiliki potensi signifikan sebagai bahan pelindung radiasi alternatif dalam pemeriksaan radiografi femur. Penggunaan bioplastik ini terbukti mampu menurunkan dosis radiasi yang ditunjukkan oleh peningkatan nilai Mean Square Error (MSE), tanpa menurunkan kualitas citra secara signifikan, berdasarkan parameter Contrast to Noise Ratio (CNR) dan Peak Signal to Noise Ratio (PSNR).

Frekuensi cut-off 5 dan 10 Hz pada metode Gaussian High Pass Filter (GHPF) menghasilkan kualitas citra terbaik untuk semua proyeksi dan posisi detektor, baik saat menggunakan maupun tanpa menggunakan bioplastik. Sebaliknya, pada frekuensi cut-off 15 Hz, citra menunjukkan kesan klinis osteoporosis pada sampel tulang normal, menandakan adanya risiko misinterpretasi akibat pemrosesan citra yang terlalu agresif. Hal ini menjadi temuan baru dibandingkan studi sebelumnya, yang umumnya hanya mengevaluasi aspek visual tanpa mempertimbangkan dampak klinis dari efek pemrosesan terhadap persepsi patologi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ayyubi, S. N., Purbasari, A., & Kusmiyati. (2022). The effect of composition on mechanical properties of biodegradable plastic based on chitosan/cassava starch/PVA/crude glycerol: Optimization of the composition using Box Behnken Design. *Material Today: Proceedings, 63*, S78-S83. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.294>
- Beaulah, V., Sridevi, P., & Ravali, K. S. (2024). Hindlimb skeletal structure of the green-winged macaw: An anatomical study. <http://dx.doi.org/10.56557/UPJOZ/2024/v45i104042>

- Chen, G., Wu, Z., & Hen, Z. (2022). Scalable, strong and water-stable wood-derived bioplastic. *Chemical Engineering Journal, 439*, 135680. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.135680>
- Edirisinghe, S., D Silva, D., & Dissanayake, H. (2024). Anatomical diversity in femur bones: Understanding the morphological variability for surgical and prosthetic applications. *International Journal of Morphology, 42*(1), 162–165. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022024000100162>
- Hannachi, E., Slimani, Y., & Sayyed, M. I. (2022). Synthesis of lead oxide doped SmBa₂Cu₃O_y ceramic systems as efficient shields against γ radiations: Structure, radiation attenuating capacities, and optical features. *Ceramics International, 7*, 124. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.07.124>
- Hashemi, S. A., Karimipourfard, M., & Mousavi, S. M. (2022). Transparent sodium polytungstate polyoxometalate aquatic shields toward effective X-ray radiation protection: Alternative to lead glasses. *Materials Today Communications, 31*, 103822. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.103822>
- Oglat, A. A. (2020). Studying the radiation absorption and scattering of gamma rays by using different absorbers. *Radiation Physics and Chemistry, 172*, 108810. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2020.109072>
- Septiano, A. F., Maulana, I., & Susilo. (2023). Fabrikasi dan karakterisasi bioplastik timbal sebagai bahan alternatif proteksi radiasi sinar-X. *Jupeten, 3*(2), 46–51. <https://doi.org/10.53862/jupeten.v3i2.008>
- Septiano, A. F., Sutanto, H., & Susilo. (2020). Fabrication and analysis of radiation dose for elastic lead polyester composites as a glass coating. *Journal of Physics: Conference Series, 1567*(4), 042089. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1567/4/042089>
- Setiawati, E., Anam, C., Widayarsi, W., & Dougherty, G. (2023). The quantitative effect of noise and object diameter on low-contrast detectability of AAPM CT performance phantom images. *Atom Indonesia, 49*(1), 61–66. <https://doi.org/10.55981/aij.2023.1228>*
- Umeh, C. D., Agwu, K. K., & Okoye, C. M. I. (2021). Characterization of the radiation shielding properties of fired lead sample for X-ray shielding applications. *Progress in Nuclear Energy, 137*, 103765. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2021.103765>
- Welborn, D., & Lockwood, P. (2022). Lead-rubber shielding effect on radiation dose to the gonads from a bilateral hand X-ray examination. *Radiography, 28, 360–365. <https://doi.org/10.1016/j.radi.2021.12.013>*
- Wu, J., Che, Y., Zhang, Y., et al. (2024). Global, regional, national trends of femur fracture and machine learning prediction: Comprehensive findings and questions from global burden of disease 1990–2019. *Journal of Orthopaedic Translation, 46*, 52. <https://doi.org/10.1016/j.jot.2024.03.002>
- Yusoff, N. H., Pal, K., & Narayanan, T. (2021). Recent trends on bioplastics synthesis and characterizations: Polylactic acid (PLA) incorporated with tapioca starch for packaging applications. *Journal of Molecular Structure, 1232*, 129954. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2021.129954>
- Zhang, B., Zhang, Y., Wang, B., He, X., Zhang, F., & Zhang, X. (2024). Denoising swin transformer and perceptual peak signal-to-noise ratio for low-dose CT image denoising. *Measurement, 227*, 114303. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2024.114303>



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).