

Evaluasi Nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) dengan Penerapan Aturan 10 kVp dan 15% kVp pada Objek *Stepwedge*

Philip Emanuel Deo Setiawan^{1,2*}, Puji Hartoyo¹, Susilo Widodo³, Ni Larasati Kartika Sari¹

¹Program Studi Fisika, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Nasional

²Program Studi Radiologi, Fakultas Farmasi, Administrasi Rumah Sakit dan Radiologi, Universitas Strada Indonesia

³Badan Riset dan Inovasi Nasional

*Korespondensi penulis: emanuelphilip122@gmail.com

(Received: 24-12-2024, Revised: 31-01-2025, Accepted: 26 Juni 2025)

Abstract. *Radiographic images are medical images obtained using ionizing radiation. The quality of radiographic images is influenced by many factors, including exposure factors and the presence of anode heel effect. Several strategies are used to improve the quality of radiographic images while still providing a reasonable dose, one of which is the kVp rule. This study discusses the analysis of Signal to Noise Ratio (SNR) values using different rules, the 10 kVp and 15% kVp rules. This study aims to obtain a combination of exposure factors that produce images with the highest SNR. The tube voltage used is 40 kV to 70 kV, varied according to the 10 kVp and 15% kVp rules, with a total of 4 variations of exposure factors for the 10 kVp rule and 5 variations for the 15% kVp rule. An aluminum stepwedge with 10 levels with a height of 2 mm each is used as an object. The stepwedge is placed horizontally, parallel to the examination table with a distance of 100 cm from the focus of the X-ray machine. The results of the study indicate that increasing the exposure factor can increase the SNR value. The higher the tube voltage and mAs, the SNR value will increase. The results of this study indicate that the use of 70 kV and 4 mAs is more recommended because it produces lower noise than the use of 70 kV and 2 mAs.*

Keywords: *exposure factors, image quality, signal to noise ratio, tube tension.*

Abstrak. Citra radiografi merupakan citra medis yang diperoleh dengan menggunakan radiasi pengion. Kualitas citra radiografi dipengaruhi oleh banyak faktor, diantaranya faktor eksposi serta keberadaan *anode heel effect*. Beberapa strategi digunakan untuk meningkatkan kualitas citra radiografi dengan tetap memberika dosis yang wajar, salah satunya adalah aturan kVp. Penelitian ini membahas tentang analisa nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) dengan penggunaan aturan yang berbeda, aturan 10 kVp dan 15% kVp. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kombinasi faktor eksposi yang menghasilkan citra dengan SNR tertinggi. Tegangan tabung yang digunakan adalah 40 kV sampai 70 kV, divariasikan sesuai dengan aturan 10 kVp dan 15% kVp, dengan total 4 variasi faktor eksposi untuk aturan 10 kVp dan 5 variasi untuk aturan 15% kVp. *Stepwedge* berbahan aluminium yang memiliki 10 tingkatan dengan ketinggian tiap tingkatan 2 mm digunakan sebagai objek. *Stepwedge* diletakkan horizontal, sejajar dengan meja pemeriksaan dengan jarak 100 cm dari fokus pesawat sinar-X. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kenaikan faktor eksposi dapat meningkatkan nilai SNR. Semakin tinggi tegangan tabung dan mAs maka nilai SNR akan meningkat. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan 70 kV dan 4 mAs lebih dianjurkan karena menghasilkan *noise* lebih rendah daripada penggunaan 70 kV dan 2 mAs.

Kata kunci: Faktor eksposi, kualitas citra, signal to noise ratio, tegangan tabung.

PENDAHULUAN

Pesawat radiografi umum merupakan modalitas radiografi yang tersedia di hampir setiap fasilitas kesehatan yang memiliki keunggulan berupa dosis radiasi rendah dan proses pengambilan citra yang cepat [1]. Pemeriksaan radiografi, seperti Roentgen thorax merupakan modalitas yang paling sering digunakan untuk mendeteksi kelainan pada organ manusia [2]. Terdapat dua modalitas radiografi umum yang banyak digunakan saat ini, yaitu *Computed Radiography* (CR) dan *Digital Radiography* (DR). CR memanfaatkan film digital, yaitu *imaging plate* yang masih memerlukan proses pembacaan elektronik, sedangkan DR sudah terkoneksi secara digital tanpa perlu proses pembacaan terpisah. CR menghasilkan *noise* lebih tinggi dibandingkan DR [3].

Perlu dilakukan usaha dalam meminimalisir penurunan kualitas radiografi [4]. Menurut Asriningrum, faktor eksposi dapat mempengaruhi kualitas citra, seperti nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) [5]. Faktor eksposi dapat berupa parameter yang dapat dikontrol meliputi tegangan tabung (kVp), arus tabung (mAs), waktu penyinaran (sekon), dan jarak tabung sinar-X ke film / *Focus to Film Distance* (FFD), serta parameter yang tidak dapat dikontrol, seperti *generator* sinar-X, *filter*, dan ukuran *focal spot* [6]. Pengaturan kVp adalah salah satu faktor utama yang dapat mempengaruhi kualitas citra dalam pencitraan sinar-X [7]. Salah satu teknik pengaturan tegangan tabung (kVp) adalah aturan 10 kVp dan 15% kVp. Aturan 10 kVp menyebutkan setiap kenaikan tegangan tabung 10 kVp, maka arus tabung (mA) akan turun 50% dari semula [8]. Sementara itu, aturan 15% kVp menyatakan bahwa setiap kenaikan tegangan tabung (kVp) sebesar 15% dibarengi dengan menurunkan mAs menjadi 50% [8]. Allen et al mengatakan bahwa peningkatan tegangan tabung 10 kV dengan mengurangi nilai mAs menjadi setengahnya menghasilkan kualitas citra yang sama [9]. Ching menyatakan aturan 15% didefinisikan ketika tegangan naik 15% dengan menurunkan arus waktu (mAs) menjadi setengahnya menghasilkan nilai densitas yang sama [10]. Penggunaan aturan 15% kVp pada *imaging plate* dengan variasi 50-110 kV dan 1,25-80 mAs menunjukkan kualitas citra (pengukuran dengan densitometer) dengan pola densitas yang sama dan nilai kontras radiograf tertinggi didapatkan pada variasi nilai eksposi dengan penurunan tegangan tabung sebesar 15 % dan menduakalikan mAs [11]. Penggunaan faktor eksposi dengan aturan 10 kV (70 kV dan 50 kV) pada CR thorax menunjukkan *noise* lebih tinggi bila dibandingkan faktor eksposi standar namun perbedaan tidak terlalu jauh yaitu sebesar 0,2 [12].

Pengaruh penggunaan aturan 10 kVp dan 15% kVp terhadap kualitas citra perlu dilakukan pengujian lebih lanjut. Kualitas citra radiografi dapat diukur secara kuantitatif menggunakan beberapa parameter, yaitu *noise*, *Signal to Noise Ratio* (SNR), kontras, *Contrast to Noise Ratio* (CNR) dan resolusi spasial. Penelitian mengevaluasi penggunaan aturan 10 kVp dan 15% kVp terhadap nilai SNR. Nilai SNR diperoleh dengan menghitung intensitas sinyal pada *Region of Interest* (ROI) dibagi dengan standar deviasi intensitas sinyal. Penelitian ini menggunakan *stepwedge* sebagai objek pencitraan, yang diposisikan tegak lurus terhadap sumbu katoda dan anoda. Penelitian ini menggunakan faktor eksposi pada range pemeriksaan ekstremitas atas yaitu 40-70 kV dan 2-32 mAs. Parameter SNR sangat penting karena menggambarkan tingkat perbedaan antara sinyal yang diukur dengan *noise*. Semakin besar nilai SNR, maka sinyal dan *noise* semakin mudah dibedakan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) yang diperoleh dengan aturan 10 kVp dan 15% kVp pada pesawat CR. Aturan 10 kVp memiliki prinsip yaitu melakukan pengaturan faktor eksposi dengan mengurangi waktu eksposi sebesar 50% sembari meningkatkan kVp sebesar 10 [13]. Aturan 10 kVp awalnya merupakan teknik adaptasi yang dirancang untuk radiografi screen-film dengan tujuan untuk mengurangi dosis radiasi tanpa mengurangi kualitas citra [14]. Aturan ini biasa diterapkan oleh radiografer saat membutuhkan pengambilan keputusan cepat terkait faktor eksposi pada kondisi untuk mengurangi pergerakan pasien [9]. Aturan 15% kVp merupakan teknik yang menerapkan setiap kenaikan 15% dari tegangan tabung standar disertai dengan penurunan parameter arus tabung menjadi setengah standarnya [15]. Aturan ini dapat mempertahankan kualitas citra radiografi, khususnya pada pemeriksaan yang membutuhkan kontras yang tinggi, serta dapat memberikan keuntungan berupa

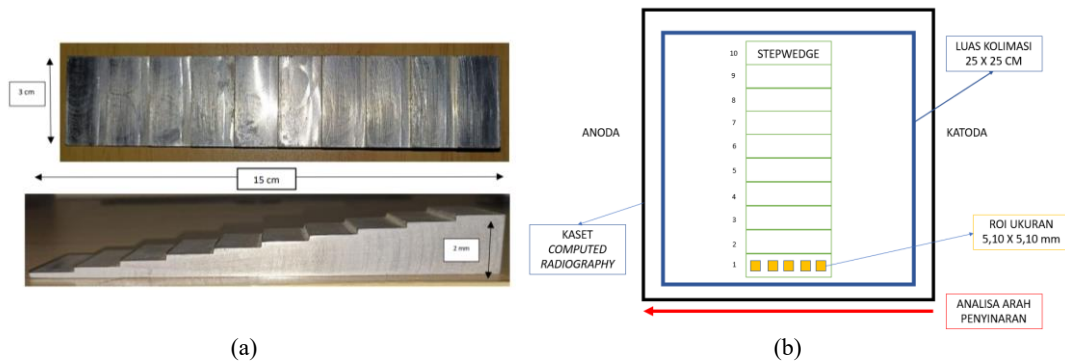
berkurangnya dosis pasien [8]. Oleh karena itu, penerapan kedua aturan perlu diuji pengaruhnya terhadap kualitas citra CR.

Penelitian ini memanfaatkan menggunakan *stepwedge* sebagai objek, seperti yang terlihat pada gambar 1(a), yang diletakkan dengan posisi tegak lurus terhadap sumbu katoda dan anoda, seperti yang terlihat pada gambar 1(b). *Stepwedge* adalah perangkat berbentuk pelat dari bahan aluminium atau logam lainnya dengan ketebalan yang meningkat, yang ditempatkan di antara datangnya sinar-X dan film [5]. Tegangan tabung yang digunakan adalah 40 kV sampai 70 kV, divariasikan sesuai dengan aturan 10 kVp dan 15% kVp, dengan total 4 variasi faktor eksposi untuk aturan 10 kVp dan 5 variasi untuk aturan 15% kVp, seperti yang terlihat pada tabel 1. Faktor eksposi yang digunakan merupakan faktor eksposi dalam *range* pemeriksaan ekstremitas atas.

TABEL 1. Penggunaan faktor eksposi pada aturan 10 kVp dan 15% kVp.

Aturan 10 kVp		
Variasi ke-	Tegangan tabung (kV)	Arus tabung (mAs)
1	40	32
2	50	16
3	60	8
4	70	4
Aturan 15% kVp		
Variasi ke-	Tegangan tabung (kV)	Arus tabung (mAs)
1	40	32
2	46	16
3	53	8
4	61	4
5	70	2

Teknik pengambilan data pada penelitian ini digambarkan pada gambar 1. *Stepwedge* berbahan aluminium yang memiliki 10 tingkatan dengan ketinggian tiap tingkatan 2 mm digunakan sebagai objek. *Stepwedge* diletakkan horizontal, sejajar dengan meja pemeriksaan (tegak lurus dengan arah datangnya sinar-X) dengan jarak 100 cm dari fokus pesawat sinar-X.



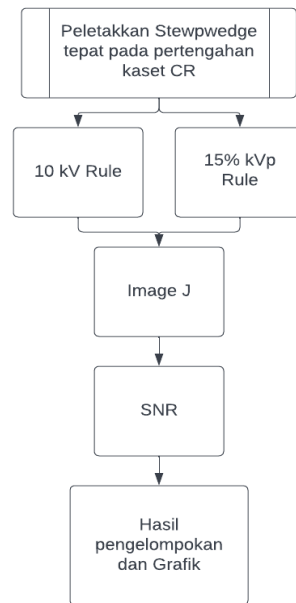
GAMBAR 1. Teknik Pengambilan Data. (a) *Stepwedge* sebagai objek, (b) penempatan *stepwedge*.

Nilai SNR diperoleh dengan pengukuran pada citra *stepwedge* menggunakan *software* ImageJ. Penulis membuat ROI pada setiap *step* 5 ROI dengan ukuran masing-masing 5,01 x 5,01 mm². Hasil nilai SNR yang didapatkan dimasukkan ke dalam Microsoft Excel untuk pengolahan data. Hasil nilai SNR dikelompokkan menurut faktor eksposi dan aturan yang dipakai. Pengelompokan ROI ditandai dari angka +2 (ROI yang berada pada sisi anoda), 0 (ROI yang berada pada tengah berkas), dan -2 (ROI yang berada pada sisi katoda). Pada tiap ROI diukur nilai piksel rata-rata (*mean pixel value*) dan standar deviasi, lalu selanjutnya dihitung dengan persamaan (1).

$$SNR = \frac{I_s}{\sigma} \quad (1)$$

dimana I_s merupakan sinyal, dalam penelitian ini adalah nilai piksel rata-rata dan σ yaitu noise, dalam penelitian ini adalah standar deviasi nilai piksel.

Hasil pengelompokan data nilai SNR dibuat grafik dalam menentukan nilai SNR tertinggi dari penggunaan dua aturan yang berbeda dan pemilihan faktor eksposi manakah yang lebih baik dalam pengaplikasian foto ekstremitas atas. Pengumpulan data penelitian yang dilakukan dengan cara melakukan eksposi pada setiap parameter 4 kali percobaan dan dimasukkan kedalam DVD kosong. Hasil data yang didapat dimasukkan kedalam laptop, dikelompokkan dan diolah dalam menghasilkan nilai SNR. Langkah kerja penelitian ini digambarkan pada gambar 2.

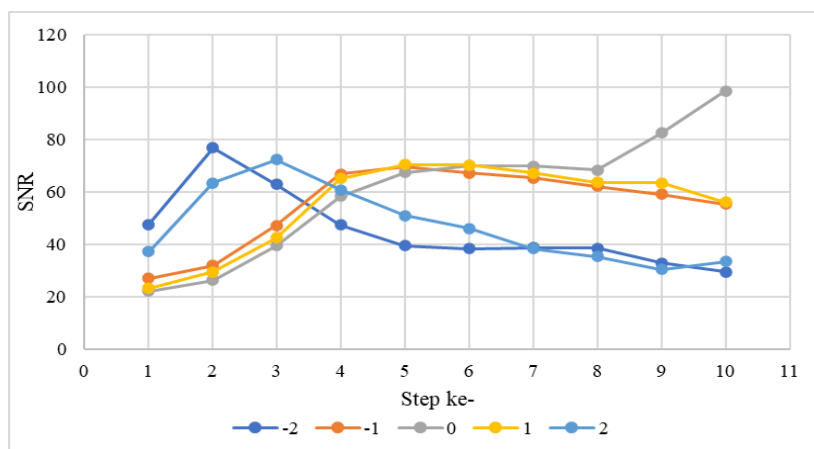


GAMBAR 2. Langkah Kerja Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

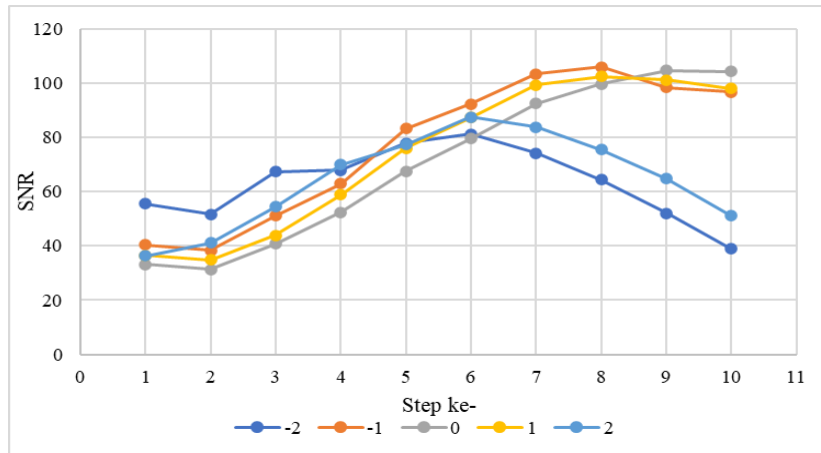
Hasil Nilai SNR pada 10 kVp Rule

Hasil pengukuran SNR pada kondisi aturan 10 kVp dengan faktor eksposi 40 kV dan 32 mAs dapat terlihat pada gambar 2. Secara umum, tidak ada pola SNR tertentu pada tiap step dan titik ROI, namun, jika melihat nilai rata-rata (*mean*), terlihat bahwa pada step 4, 5, dan 6, nilai SNR cenderung lebih tinggi.



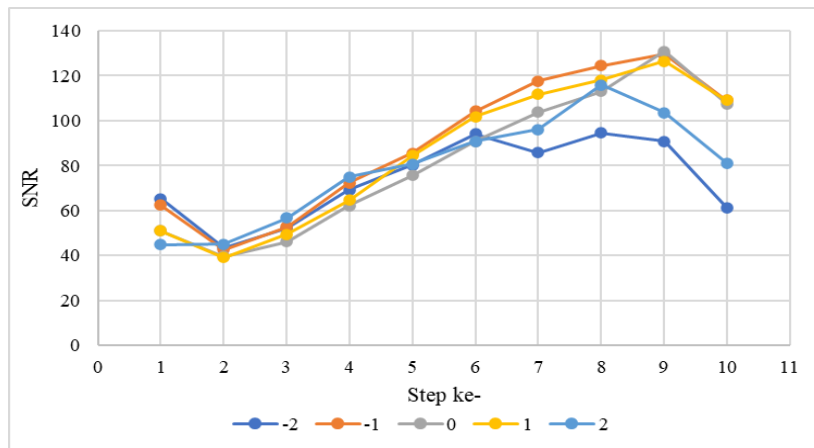
GAMBAR 2. Nilai SNR dari penggunaan faktor eksposi 40 kV dan 32 mAs.

Sementara itu, pada penggunaan faktor eksposi 50 kV dan 16 mAs yang tertera di gambar 3, terlihat bahwa nilai SNR terbesar didapat pada step 6, 7, 8, dan 9. Jika dibandingkan dengan hasil pada gambar 2, nilai SNR pada tegangan tabung (kV) yang lebih tinggi juga lebih besar.

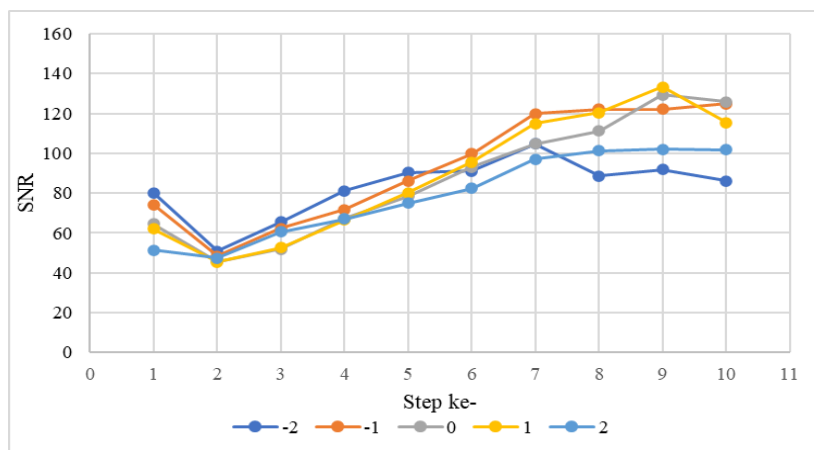


GAMBAR 3. Nilai SNR dari penggunaan faktor eksposi 50 kV dan 16 mAs.

Pada gambar 4 dapat kita amati nilai SNR yang diperoleh dengan faktor eksposi 60 kV dan 8 mAs. Terlihat bahwa nilai SNR tertinggi berada pada step 6, 7, 8, dan 9. Selain itu, nilai SNR ini lebih besar jika dibandingkan dengan nilai SNR dari tegangan tabung 40 kV dan 50 kV yang terlihat pada tabel 2 dan 3.



GAMBAR 4. Nilai SNR dari penggunaan faktor eksposi 60 kV dan 8 mAs.

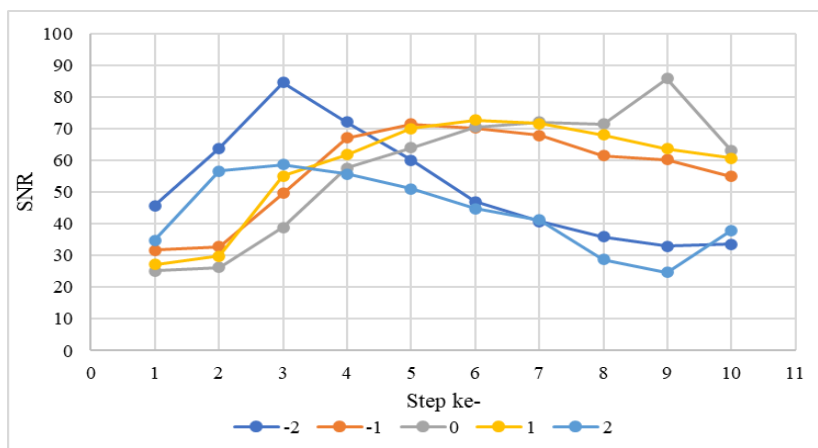


GAMBAR 5. Nilai SNR dari penggunaan faktor eksposi 70 kV dan 4 mAs.

Nilai SNR dari penggunaan faktor eksposi 70 kV dan 4 mAs dapat dilihat di tabel 5. Hasilnya menunjukkan bahwa nilai SNR tertinggi berada pada step 7, 8, 9, dan 10. Selain itu nilai ini juga lebih besar jika dibandingkan dengan tegangan tabung yang lebih rendah pada tabel 2, 3, dan 4.

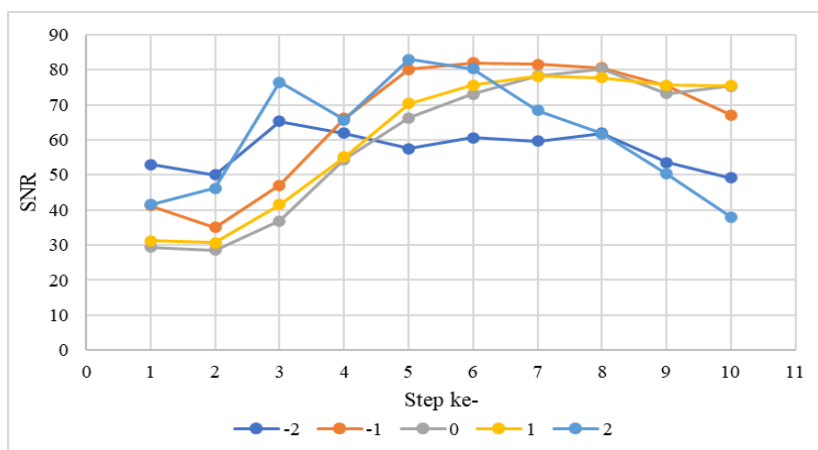
Hasil Nilai SNR pada 15% kVp Rule

Pada gambar 6 terlihat nilai SNR hasil pengukuran dengan menggunakan aturan 15% kVp dengan faktor eksposi 40 kV dan 32 mAs. Telihat bahwa nilai SNR rata-rata tertinggi berada pada step 4, 5, dan 6. Hal ini identik dengan hasil SNR aturan 10 kVp yang tertera di gambar 2.



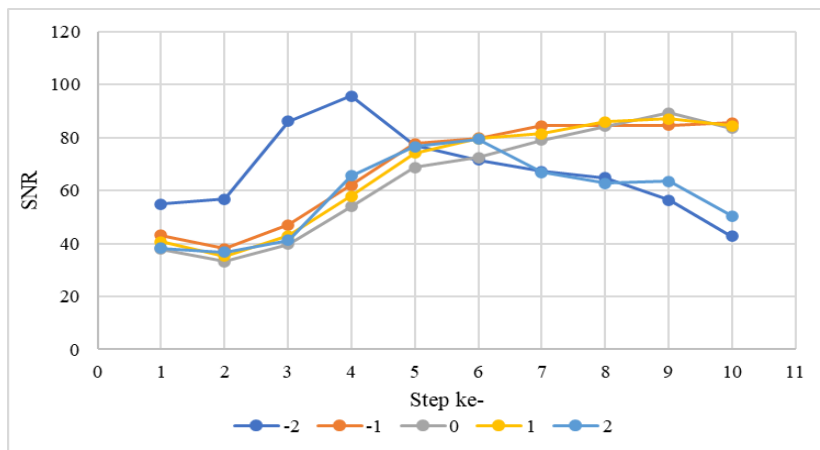
GAMBAR 6. Nilai SNR dari penggunaan faktor eksposi 40 kV dan 32 mAs

Sementara itu, pada gambar 7 terlihat hasil SNR dari faktor eksposi 46 kV dan 16 mAs. Terlihat bahwa nilai SNR lebih besar dari tegangan tabung 40 kV (gambar 6) dan nilai SNR terbesar berada pada step 5, 6, 7, dan 8.



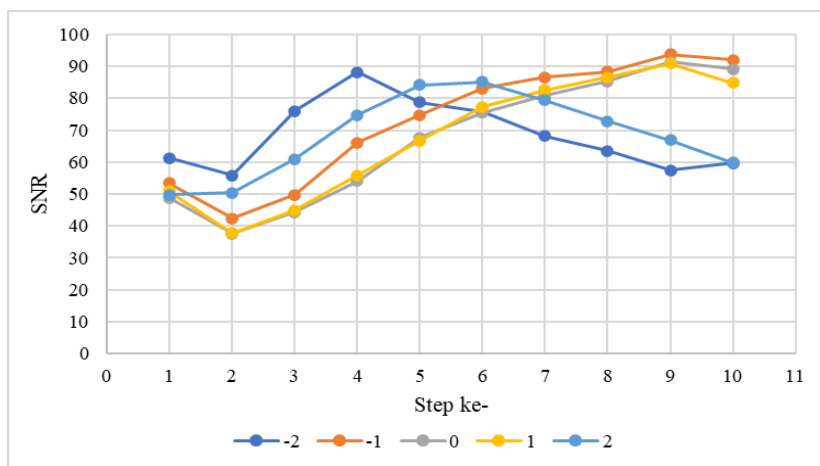
GAMBAR 7. Nilai SNR dari penggunaan faktor eksposi 46 kV dan 16 mAs.

Dengan menggunakan aturan 15% kVp, tegangan tabung ditingkatkan menjadi 53 kV dan arus tabung berkurang menjadi 8 mAs menghasilkan SNR seperti pada gambar 8. Dapat diamati bahwa nilai SNR rata-rata lebih besar dari SNR hasil 40 kV dan 46 kV pada gambar 6 dan 7. Nilai SNR tertinggi berada pada step 6, 7, 8, dan 9.



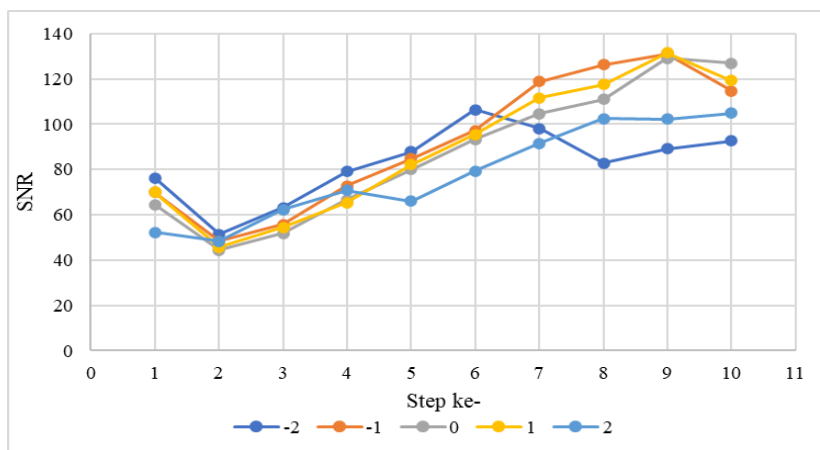
GAMBAR 8. Nilai SNR dari penggunaan faktor eksposi 53 kV dan 8 mAs.

Seperti pada aturan 10 kVp, pada aturan 15% kVp pun, semakin besar tegangan tabung, akan meningkatkan nilai SNR. Pada gambar 9, dapat kita amati nilai SNR rata-rata lebih besar dibanding hasil penggunaan tegangan tabung yang lebih kecil (gambar 6, 7, dan 8). Nilai SNR tertinggi berada pada step 6, 7, 8, dan 9.

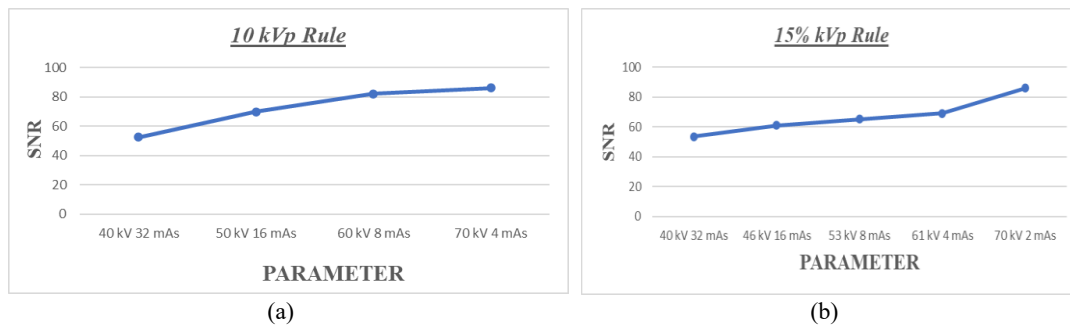


GAMBAR 9. Nilai SNR dari penggunaan faktor eksposi 61 kV dan 4 mAs.

Pada gambar 10, terlihat nilai SNR dengan menggunakan tegangan tabung tertinggi. Terlihat bahwa, nilai SNR juga yang paling tinggi dibanding dengan nilai dari tegangan tabung sebelumnya (gambar 7, 8, dan 9). Selain itu, identik dengan aturan 10 kVp, nilai SNR tertinggi berada pada step 7, 8, 9, dan 10.



GAMBAR 10. Nilai SNR dari penggunaan faktor eksposi 70 kV dan 2 mAs.



GAMBAR 11. Grafik nilai SNR rata-rata (a) aturan 10 kVp, (b) aturan 15% kVp.

Nilai SNR objek yang diperoleh mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan tegangan tabung, baik pada aturan 10 kVp maupun 15% kVp sebagaimana pada gambar 2 hingga gambar 10. Seperti yang terlihat pada gambar 11(a), pada aturan 10 kVp, peningkatan 40 kVp ke 50 kVp menaikkan SNR sebesar 32,63%, sementara pada 50 kVp ke 60 kVp menaikkan SNR sebesar 17,58%, dan peningkatan tegangan tabung 60 kVp ke 70 kVp menaikkan SNR sebesar 4,90%. Hal yang sama terjadi pada aturan 15% kVp, meningkatkan tegangan tabung dari 40 kVp ke 46 kVp menaikkan SNR sebesar 12,23%, 46 kVp ke 53 kVp SNR naik sebesar 6,34%, 53 kVp ke 61 kVp SNR naik sebesar 5,73% dan 61 kVp ke 70 kVp naik sebesar 19,57% seperti yang terlihat pada gambar 11(b). Terlihat bahwa ada pengaruh yang signifikan dari penerapan aturan 10 kVp dan 15% kVp terhadap nilai SNR [16], [17], [18]. Meningkatkan kVp akan mengurangi atenuasi pada materi, sehingga mengurangi penyerapan dan meningkatkan hamburan ke depan, dan secara umum akan mengurangi kontras. Peningkatan kVp dapat meningkatkan dosis keseluruhan pasien walau hubungannya tidak linear. Sementara itu, meningkatkan mA dan sekon akan menambah intensitas berkas, yang dapat mengurangi *noise* dan meningkatkan kontras, namun juga akan meningkatkan dosis pasien secara proporsional.

Pada penerapan aturan 10 kVp didapatkan nilai SNR terendah, yaitu saat menggunakan 40 kV dan 32 mAs dengan nilai SNR 52,64. Nilai SNR tertinggi diperoleh dengan menggunakan variasi 70 kV dan 4 mAs yaitu 86,13. Sementara itu, pada penerapan aturan 15% kVp, SNR terendah diperoleh dengan menggunakan 40 kV dan 32 mAs dengan nilai 53,50. Nilai SNR tertinggi diperoleh dengan menggunakan 70 kVp dengan 2 mAs dengan nilai SNR 85,86. Secara umum, penerapan aturan 10 kVp menghasilkan nilai SNR yang lebih tinggi dibandingkan dengan aturan 15% kVp, khususnya terlihat pada pemilihan tegangan tabung tertinggi, dengan kVp yang sama, aturan 10 kVp yang menggunakan mAs lebih tinggi, menghasilkan SNR yang lebih tinggi pula. Sementara itu, pada variasi kVp dan mAs terendah, hanya terdapat selisih sekitar 1,6% antara pengukuran SNR pada aturan 10 kVp dan 15% kVp, hal ini disebabkan oleh variasi dari berkas sinar-X atau *quantum mottle* [19].

KESIMPULAN

Pada penggunaan 10 kVp *Rule*, peningkatan nilai SNR yang dihasilkan pada *stepwedge* sebesar 52,64; 69,82; 82,10 dan 86,13. Nilai SNR objek meningkat seiring dengan penambahan faktor eksposi 10 kV. Prosentase peningkatan SNR pada 10 kVp *rule* adalah 32,63%, 17,58%, dan 4,91%. Penerapan pada radiografi umum *upper extremity* dilakukan dengan penggunaan kVp tinggi dengan mAs rendah dalam penggunaan objek yang lebih tebal dalam mendapatkan nilai SNR yang optimal. Penggunaan parameter 70 kV dan 4 mAs mendapatkan nilai SNR tertinggi sehingga menghasilkan *noise* terendah pada gambaran citra radiografi. Penggunaan 15% kVp *rule*, peningkatan nilai SNR yang dihasilkan pada *stepwedge* sebesar 53,50; 60,96; 65,09; 69,05, dan 85,86. Nilai SNR objek meningkat seiring dengan penambahan faktor eksposi. Prosentase peningkatan SNR pada 15% kVp *rule* adalah 12,23%, 6,34%, 5,73%, dan 19,57%. Penerapan pada radiografi umum *upper extremity* dilakukan dengan penggunaan tegangan tabung yang

lebih tinggi dengan mAs rendah. Pada 15% kVp penggunaan 70 kV dengan 2 mAs lebih baik digunakan dalam pasien trauma dibandingkan 70 kV 4 mAs, karena semakin kecil nilai mAs akan mengurangi resiko *geometry unsharpness*. Penerapan radiografi umum *upper extremity* lebih optimal dilakukan dengan penggunaan tegangan tabung tinggi dan mAs yang rendah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai SNR pada penggunaan 70 kV dan 4 mAs pada 10 kVp rule lebih tinggi dibandingkan dengan 70 kV dan 2 mAs pada 15% kVp rule. Penerapan pada *upper extremity* lebih optimal dengan menggunakan parameter 70 kV dan 4 mAs dalam menghasilkan *noise* terendah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Y. Y. Tsou *et al.*, “Planning and coordination of the radiological response to the coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic: the Singapore experience,” *Clin. Radiol.*, vol. 75, no. 6, pp. 415–422, 2020, doi: 10.1016/j.crad.2020.03.028.
- [2] M. Jae, M. Jin, K. Kim, K. Soo, T. Jung, and T. Sung, “Since January 2020 Elsevier has created a COVID-19 resource centre with free information in English and Mandarin on the novel coronavirus COVID- 19 . The COVID-19 resource centre is hosted on Elsevier Connect , the company ’ s public news and information ,” no. January, 2020.
- [3] S. Rivetti, N. Lanconelli, M. Bertolini, A. Nitrosi, A. Burani, and D. Acchiappati, “Comparison of different computed radiography systems: Physical characterization and contrast detail analysis,” *Med. Phys.*, vol. 37, no. 2, pp. 440–448, 2010, doi: 10.1118/1.3284539.
- [4] D. R. Ningtias, S. Suryono, and S. Susilo, “Pengukuran Kualitas Citra Digital Computed Radiography Menggunakan Program Pengolah Citra,” *J. Pendidik. Fis. Indones.*, vol. 12, no. 2, pp. 161–168, 2016, doi: 10.15294/jpfi.v12i2.5950.
- [5] S. Asriningrum, K. Ansory, and P. T. Hasan, “Faktor Eksposi terhadap Kualitas Citra Radiografi dan Dosis Pasien Menggunakan Parameter Penilaian Signal to Noise Ratio (SNR) pada Pemeriksaan Thorax Posteroanterior dengan Menggunakan Pesawat Computed Radiografi,” *J. Imejing Diagnostik*, vol. 7, no. 1, pp. 15–18, 2021, doi: 10.31983/jimed.v7i1.6650.
- [6] S. C. Bushong, *Radiologic science for technologists : physics, biology, and protection*. Fifth edition. St. Louis : Mosby, [1993] ©1993. [Online]. Available: <https://search.library.wisc.edu/catalog/999704048902121>
- [7] B. Cahyani, U. Utari, and M. Muhtarom, “Penentuan Peak Kilovoltage (kVp) Pesawat Sinar-X Dengan Pemanfaatan Imaging Plate (IP) Di RSUD Dr. Moewardi,” *Indones. J. Appl. Phys.*, vol. 11, no. 2, p. 126, 2021, doi: 10.13057/ijap.v11i2.45431.
- [8] T. L. Fauber, *Fauber’s Radiographic Imaging and Exposure - E-Book: Fauber’s Radiographic Imaging and Exposure - E-Book*. Mosby, 2024. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=LTotEQAAQBAJ>
- [9] A. R. Goode, C. Snyder, A. Snyder, P. Collins, M. DeLorenzo, and P. J. Lin, “Signal and contrast to noise ratio evaluation of fluoroscopic loops for interventional fluoroscope quality control,” *J. Appl. Clin. Med. Phys.*, vol. 20, no. 10, pp. 172–180, Oct. 2019, doi: 10.1002/acm2.12734.
- [10] W. Ching, J. Robinson, and M. Mcentee, “Patient-based radiographic exposure factor selection: A systematic review,” *J. Med. Radiat. Sci.*, vol. 61, no. 3, pp. 176–190, 2014, doi: 10.1002/jmrs.66.
- [11] S. Sumariyah, N. K. Umiahi, S. S.-B. Fisika, and undefined 2008, “Variasi Nilai Eksposi Aturan 15 Persen pada Radiografi Menggunakan Imaging Plate untuk Mendapatkan Kontras Tertinggi,” *Eprints.Undip.Ac.Id*, vol. 3, no. 4, pp. 251–256, 2014, [Online]. Available: <http://eprints.undip.ac.id/2293>
- [12] F. Susanto, H. Sedya Utami, A. R. Alchamdani, A. N. Rahmasyifa, and F. Fatimah, “Penerapan Modifikasi Faktor Eksposi Aturan 10 kV Terhadap Kualitas

- Citra Radiografi Thorax Modalitas CR vs DR,” *JRI (Jurnal Radiogr. Indones.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–6, 2024, doi: 10.55451/jri.v7i1.244.
- [13] W. K. Ma *et al.*, “Anthropomorphic chest phantom imaging - The potential for dose creep in computed radiography,” *Radiography*, vol. 19, no. 3, pp. 207–211, 2013, doi: 10.1016/j.radi.2013.04.002.
- [14] A. Wenman and P. Lockwood, “Comparing the standard knee X-ray exposure factor, 10 kV rule, and modified 10 kV rule techniques in digital radiography to reduce patient radiation dose without loss of image quality,” *Radiography*, vol. 30, no. 2, pp. 574–581, 2024, doi: 10.1016/j.radi.2024.01.013.
- [15] S. G. Sutoro, M. Irsal, T. A. Budiati, and A. Yansyah, “Analysis of the Signal To Noise Ratio in Use of 15% Kvp Rule Method in the Radiography Examination Supine Ap Chest,” *Indones. Phys. Rev.*, vol. 5, no. 2, pp. 107–115, 2022, doi: 10.29303/ipr.v5i2.141.
- [16] L. Rusyadi, S. Daryati, D. Rochmayanti, and A. N. Kurniawan, “Analisis Noise Pada Radiografi Thorax Pulmonum Pada Penerapan Modifikasi Faktor Eksposi Aturan 10 kV,” *J. Imejing Diagnostik*, vol. 7, no. 2, pp. 70–76, 2021, doi: 10.31983/jimed.v7i2.7473.
- [17] P. A. Purwaniti, P. I. Wulandari, and P. R. Jeniyanthi, “International Journal of Allied Medical Sciences and Clinical Research (IJAMSCR),” vol. 10, no. 1, pp. 120–124, 2022.
- [18] M. Irsal, “Evaluasi Exposure Index terhadap Faktor Eksposi dengan Metode 15% kVp Rule Of Thumb Pada Pemeriksaan Radiografi Kepala Proyeksi AP,” *J. Ilmu dan Teknol. Kesehat.*, vol. 12, no. 2, pp. 62–68, 2021, doi: 10.33666/jitk.v12i2.414.
- [19] W. R. Hedrick, “Effect of quantum mottle on radiographic image quality,” *Radiol. Technol.*, vol. 67, p. 401+, Dec. 1996, [Online]. Available: <https://link.gale.com/apps/doc/A18961656/HRCA?u=anon~a1b81b95&sid=googleScholar&xid=58c1a971>