



JITE (Journal of Informatics and Telecommunication Engineering)

Available online <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jite> DOI : 10.31289/jite.v6i1.7334

Received: 31 May 2022

Accepted: 07 July 2022

Published: 23 July 2022

Comparative Test of the Effect of X-Ray Tube Current Analysis and Exposure Time on CR (Computed Radiography) Image Quality

Diah Rahayu Ningtias1)*, Bayu Wahyudi1) & Imam Tri Harsoyo1)

1)Prodi Teknik Elektromedik, Akademi Teknik Elektro Medik Semarang, Indonesia

*Corresponding Email: diahrahayu@atemsemarang.ac.id

Abstrak

Sistem citra medik dalam bentuk digital dari hasil pemeriksaan menggunakan *Computed Radiography* (CR) perlu dilakukan analisis kualitas, hal ini dapat dilakukan dengan mengetahui kualitas resolusi kontras citra maupun kualitas resolusi spasial nya. Penelitian ini melakukan uji banding antara dua metode analisis resolusi kontras citra medik. Kualitas citra pada CR dapat diketahui menggunakan analisis resolusi kontras yaitu menghitung nilai CNR dan nilai PSNR. Penelitian dilakukan dengan menggunakan *phantom* untuk mewakili densitas dari tulang. Tegangan yang digunakan secara berturut-turut adalah 50 kV, 60 kV, 70 kV dan 81 kV. Dengan masing-masing tegangan dilakukan variasi arus tabung dan waktu eksposi (mAs) secara berturut-turut 1,6 mAs, 2 mAs, 4 mAs, 8 mAs, 16 mAs, dan 32 mAs. Semakin tinggi nilai CNR yang didapatkan menunjukkan kualitas citra semakin baik. Sedangkan nilai PSNR untuk mendapatkan kualitas kontras citra medik yang optimal harus digunakan variasi arus-waktu 4 mAs dan 16 mAs. Karena pada variasi arus-waktu tersebut didapatkan nilai PSNR yang tinggi yang menandakan bahwa *noise* citra medik semakin kecil sehingga didapatkan kualitas kontras citra medik yang baik. Kedua metode ini dapat digunakan untuk uji kesesuaian pesawat sinar-X, khususnya untuk *quality control* citra medisnya.

Kata Kunci : *Computed Radiography*, CNR, PSNR, Matlab

Abstract

The medical image system in the form of digital examination results using *Computed Radiography* (CR) needs to be analyzed, this can be done by knowing the quality of the image contrast resolution and the quality of its spatial resolution. This study conducted a comparative test between two methods of analyzing contrast resolution of medical images. Image quality on *Computed Radiography* can be determined using contrast resolution analysis, namely calculating the CNR value and PSNR value. The study was carried out using a phantom to represent the density of the bone. The voltages used are 50 kV, 60 kV, 70 kV and 81 kV, respectively. With each voltage, the tube current and exposure time (mAs) were varied 1.6 mAs, 2 mAs, 4 mAs, 8 mAs, 16 mAs, and 32 mAs. The higher the CNR value obtained, the better the image quality. While the PSNR value to get the optimal quality of medical image contrast, the current-time variation of 4 mAs and 16 mAs must be used. Due to the time-current variation, a high PSNR value is obtained, which indicates that the noise of the medical image is getting smaller so that a good contrast quality of the medical image is obtained. Both of these methods can be used to test the suitability of X-ray device, especially for *quality control* of medical images.

Keywords: *Computed Radiography*, CNR, PSNR, Matlab

How to Cite: Ningtias, D. R., Wahyudi, B., & Harsoyo, I. T. (2022). Comparative Test of the Effect of X-Ray Tube Current Analysis and Exposure Time on CR (Computed Radiography) Image Quality. *JITE (Journal of Informatics and Telecommunication Engineering)*, 6(1), 267-275.

I. PENDAHULUAN

Dalam sistem diagnostik digital, analisis kualitas merupakan hal yang sangat penting sebagai kegiatan mengetahui kualitas kinerja pesawat diagnostik yang digunakan. Supaya menjadi efektif, maka analisis tersebut harus dilakukan secara sederhana (Khairunnisak et al., 2020). Kualitas citra dapat

dievaluasi secara digital melalui beberapa parameter seperti rasio sinyal, jarak eksposi dan homogenitas. Parameter ini dapat dilakukan dengan analisis kualitatif pada citra (Karras et al., 2020). Sementara analisis citra secara kuantitatif dapat dilakukan dengan melakukan uji resolusi kontras, resolusi spasial maupun penghapusan noise (Wijaya Kusuma & Kusumadewi, 2020).

Kegiatan diagnosis awal pasien yang dilakukan oleh dokter spesialis salah satunya adalah dengan menggunakan sistem CR (Computed Radiography). Kesalahan prosedur maupun analisis pada QC (Quality Control) yang kurang akurat akan berdampak pada kesalahan dalam diagnosis. Melalui studi penelitian terkait dengan kualitas citra analog, kini telah dikembangkan penelitian mengenai kualitas citra yang disesuaikan dengan sistem digital (Frasetya et al., 2019). Citra digital sangat berperan penting dalam proses diagnostik suatu penyakit, diagnostik dermatologis, manajemen, penelitian, pengajaran maupun sebagai alat dokumentasi. Dalam berbagai penggunaan tersebut, format standar citra digital yang digunakan adalah DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine). Hal ini dikarenakan, apabila terjadi perubahan standar citra digital yang digunakan maka akan mengurangi kualitas dan mengganggu dalam proses diagnosis (Dugonik et al., 2020). Tinjauan terbaru untuk kegiatan QC citra digital salah satunya adalah dengan menggunakan metode pengambilan ROI (Region of Interest) pada citra utama, kemudian mengakuisisi citra seperti pose, pencahayaan, perbesaran resolusi kemudian memberi tanda untuk perbedaan ukuran dan warna. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan metode yang dikembangkan dari bahasa pemrograman Dhelphi untuk proses akuisisi citra nya (Katragadda et al., 2017). Selain itu, terdapat juga metode lain untuk keperluan QC pada citra digital dengan analisis kuantitatif menggunakan penggabungan metode SNR (Signal Noise to Ratio) dan MTF (Modulation Transfer Function) untuk kinerja citra digital. Langkah yang digunakan adalah dengan menggunakan phantom yang ditembak sinar foton energi tinggi, sehingga didapatkan hasil linearitas sinyal, akurasi geometris, SNR serta resolusi citra kontras rendah dan resolusi citra kontras tinggi (Mora et al., 2021).

Resolusi kontras pada jaringan lunak dapat juga dikuantifikasi menggunakan parameter CNR (Contrast Noise to Ratio). CNR merupakan ukuran seberapa jauh sinyal dapat dibedakan dengan latar. Semakin besar nilai kontras maka sinyal akan semakin mudah dibedakan dengan latar (Ningtiyas & Suryono, 2016). Pada penelitian ini citra radiograf digital yang dihasilkan akan dianalisis dengan metode CNR yang dibuat dengan perangkat lunak MATLAB. CNR didefinisikan sebagai selisih antara mean ROI objek dan mean ROI background, dibagi dengan standar deviasi background (Rodriguez-Molares et al., 2020). Metode CNR juga mempermudah dokter untuk mendiagnosa secara kuantitatif dan memperoleh citra radiograf dengan kualitas bagus, sehingga perlu dikaji nilai faktor eksposi yang optimum. Selain dapat menggunakan CNR, metode untuk mengetahui kualitas kontras citra juga dapat menggunakan PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) yaitu perbandingan antara nilai maksimum dari sinyal yang diukur dengan besarnya nilai derau yang dapat mempengaruhi sinyal tersebut (Rofi'i, 2022).

Secara kuantitatif, kecerahan dan ketajaman citra medis khususnya untuk citra sinar-X dipengaruhi oleh pengaturan arus tabung (mA) yang diberikan. Hal ini dikarenakan pada pengaturan arus tabung yang menentukan banyaknya jumlah elektron yang dihasilkan untuk menembus bahan. Peningkatan nilai arus tabung akan menambah nilai intensitas sinar-X dan penurunan arus tabung akan mengurangi nilai intensitas sinar-X, maka dari itu diperlukan pengaturan arus tabung sinar-X yang cukup tinggi untuk mendapatkan citra dengan kecerahan baik. Selain itu, pengaturan waktu paparan (s) juga dapat mempengaruhi tingkat ketajaman citra sinar-X yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan semakin lama waktu yang digunakan ketika eksposi, maka penyebaran elektron yang dikeluarkan dari tabung dan mengenai bahan tidak dapat dikendalikan sehingga ketajaman citra berkurang (Utami et al., 2021). Permasalahan lain muncul ketika ingin menghasilkan citra sinar-X dengan kecerahan baik dengan meningkatkan pengaturan arus tabung untuk mendapatkan intensitas sesuai kebutuhan. Banyaknya elektron yang dihasilkan dari hasil peningkatan arus tabung sinar-X dapat mempengaruhi peningkatan dosis paparan (Mc Fadden et al., 2018).

Pada penelitian sebelumnya, metode CNR telah banyak digunakan untuk mengukur kualitas citra secara kuantitatif, terutama pada citra tomografi. Berdasarkan hasil yang diperoleh, dapat diketahui juga pengaruh nilai CNR terhadap dosis paparan radiasi yang diberikan. Penelitian tersebut dilakukan dengan menggunakan variasi ketebalan objek yang berbeda dan menghasilkan nilai CNR yang berpengaruh terhadap kualitas citra yang didapatkan. Semakin tinggi nilai CNR maka citra sinar-X yang didapatkan juga semakin baik. Penambahan nilai CNR ini dipengaruhi oleh pemberian arus tabung (mA) konstan (Kawashima et al., 2018). Selain itu, penelitian lain dengan menggunakan metode analisis CNR pada citra juga dilakukan pada obyek tulang. Tulang memiliki densitas tinggi sehingga paling banyak menyerap elektron yang dihasilkan oleh alat sinar-X. Hasil citra penyerapan elektron tertinggi terdapat

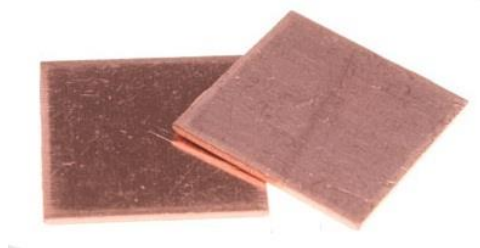
pada tulang dengan densitas tinggi, yaitu pada tengkorak (kepala). Obyek dengan densitas tinggi perlu pengaturan arus tabung tinggi juga, maka sudah dipastikan dosis paparan yang diterima juga besar. Metode CNR sangat efektif untuk mengetahui kualitas citra sehingga dengan menggunakan arus tabung rendah pun dapat diketahui kualitas citra terbaik dan dosis yang diterima pasien minimal (Kawashima et al., 2018).

Diperlukan metode yang dapat mengetahui kualitas kecerahan dan ketajaman citra sinar-X sekaligus, sehingga dapat menghasilkan citra dengan kualitas baik namun dosis paparan radiasi yang diterima pasien kecil. Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan dua metode resolusi kontras, yaitu CNR dan PSNR. Dengan demikian didapatkan nilai kecerahan dan ketajaman citra medis secara kuantitatif sehingga mampu memperkecil penggunaan arus tabung sinar-X dan meminimalisir dosis paparan radiasi kepada pasien.

II. METODE PENELITIAN

A. Bahan dan Metode

Penelitian ini menggunakan dua metode analisis kualitas resolusi kontras pada citra CR, yaitu metode CNR dan PSNR. Melalui uji banding dari dua resolusi kontras tersebut diketahui metode yang paling efektif untuk menghasilkan kualitas citra terbaik dengan dosis paling rendah. *Phantom* yang digunakan berukuran 15 x 15 cm berbahan tembaga dengan ketebalan 1 mm. Sumber Sinar-X yang digunakan didapatkan dari sistem CR dengan menggunakan variasi faktor eksposi yaitu tegangan tabung, arus tabung dan waktu eksposi. Tegangan tabung sinar-X yang digunakan yaitu 50 kV, 60 kV, 70 kV dan 81 kV dimana pada masing-masing variasi tegangan tersebut dilakukan variasi arus tabung sinar-X dan waktu eksposi (mAs) sebanyak 6 kali antara lain 1,6 mAs; 2 mAs; 4 mAs; 8 mAs; 16 mAs dan 32 mAs. Jarak sumber sinar-X ke *phantom* adalah 90 cm. *Phantom* tembaga yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.

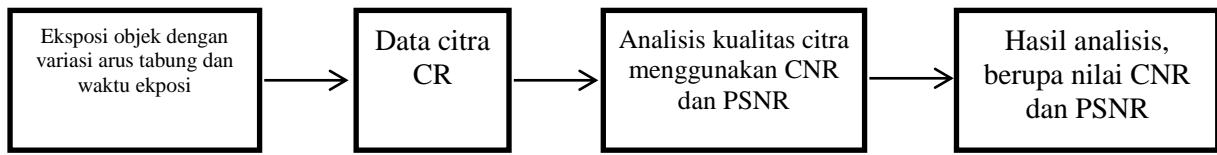


Gambar 1. Phantom Tembaga

Setelah dilakukan eksposi *phantom* pada tiap tiap variasi faktor eksposi tersebut, data citra medik dilakukan *scanning* pada *image reader* untuk dilakukan pembacaan. Citra medik ditampilkan pada monitor *file* kemudian ditransfer ke komputer untuk selanjutnya dilakukan analisis kualitas resolusi kontras menggunakan bahasa pemrograman Matlab. Analisis yang digunakan adalah metode CNR dan PSNR, dengan demikian kualitas resolusi kontras citra medik dapat diketahui secara kuantitatif. Selain itu juga didapatkan metode yang lebih efektif untuk menentukan faktor eksposi optimal namun dengan dosis rendah untuk keselamatan pasien.

B. Analisis Kualitas Citra Medik

Untuk mengetahui pengaruh arus tabung dan waktu eksposi (mAs) terhadap resolusi kontras sebuah citra medis, digunakan 2 pendekatan analisis yaitu menghitung nilai CNR dan nilai PSNR. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan hasil yang lebih detail dalam resolusi kontras sebuah citra medis. Nilai CNR mampu mengetahui kualitas kontras citra medik berdasarkan selisih antara rerata Region of Interest (ROI) sebuah objek dengan rerata ROI latar belakang (*background*), dibagi dengan standar deviasi *background* (Muzamil et al., 2018). Semakin tinggi nilai CNR yang dimiliki oleh citra maka semakin bagus pula kontras citra medis yang dimiliki citra (Rais & Darmini, 2018). Skema analisis citra medik ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema analisis uji resolusi kontras citra medik

Perhitungan nilai resolusi kontras citra dihitung melalui selisih antara rerata *Region of Interest* (ROI) sebuah objek dengan rerata ROI latar belakang (*background*), dibagi dengan standar deviasi *background* (Ghani et al., 2015). Secara matematis, CNR didapatkan melalui persamaan (1) berikut.

$$CNR = \frac{S_A - S_B}{\sigma_0} \quad (1)$$

dengan:

S_A = rerata ROI objek

S_B = rerata ROI *background*

σ_0 = standar deviasi *background*

ROI objek dipilih hanya pada satu lokasi objek saja, sementara pengambilan ROI dari *background* adalah yang berdekatan dengan ROI objek. Sehingga analisis menggunakan metode CNR dapat dilakukan. Hubungan antara CNR dengan kualitas citra medik adalah semakin tinggi nilai CNR yang didapatkan menunjukkan kualitas citra semakin baik. Dengan demikian citra medik tersebut dapat dengan mudah dilakukan diagnosis dikarenakan terdapat perbedaan tingkat keabuan pada citra secara jelas. Namun apabila analisis yang dilakukan menunjukkan nilai CNR yang rendah, maka citra medik tidak dapat dilakukan diagnosis karena memiliki tingkat citra dengan kualitas yang rendah (Rajalingam & Priya, 2018).

Citra digital sebelum dilakukan pengolahan, dapat disebut dengan $f(x,y)$ terdiri dari $(N \times M)$ *pixel* dan citra hasil pengolahan dapat disebut dengan $g(x,y)$ dibagi dengan luasannya sehingga didapatkan nilai *Mean Square Error* (MSE) (Ayesha et al., 2021). Nilai MSE didapatkan dengan melakukan perhitungan secara matematis, yaitu dapat dilihat pada persamaan (2) berikut

$$MSE = \frac{\sum |f(x,y) - g(x,y)|^2}{M \times N} \quad (2)$$

$f(x,y)$ merupakan citra digital sebelum dilakukan pengolahan, baik dengan *filtering*, peningkatan kontras maupun penghilangan derau (*noise*). Sementara $g(x,y)$ merupakan citra digital setelah dilakukan pengolahan, dan $M \times N$ merupakan fungsi citra digital yang dinyatakan dalam *pixel* (Richard et al., 2015).

Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) merupakan perbandingan antara nilai maksimum warna pada citra hasil *filtering* terhadap kuantitas gangguan (*noise*), yang dinyatakan dalam satuan *decibel* (dB) (Maharani et al., 2020). Secara matematis, nilai PSNR didapatkan melalui persamaan (3) berikut

$$PSNR = 20 \log_{10} \left(\frac{255}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (3)$$

dengan \sqrt{MSE} adalah akar dari *noise* citra medik

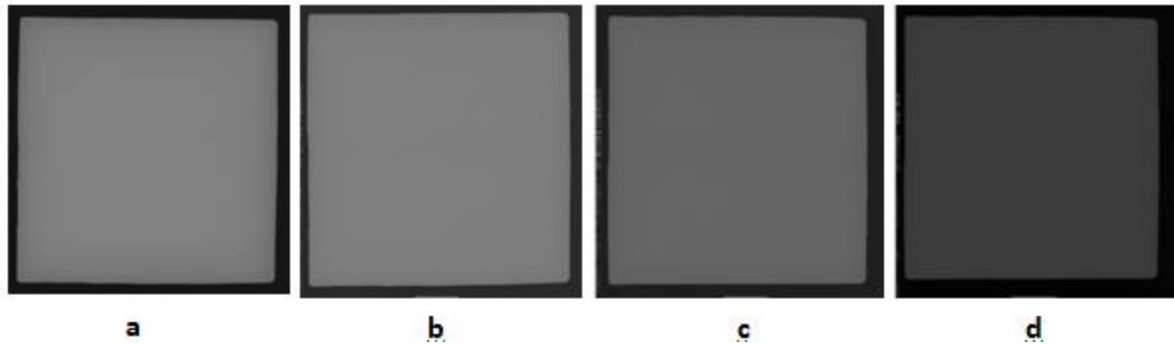
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai CNR didapatkan dari pengambilan citra pada GUI, kemudian memasukkan citra yang dimaksud sebagai ROI. Setelah itu terdapat analisis nilai background terhadap nilai ROI, sehingga mendapatkan nilai CNR yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil perhitungan nilai CNR untuk variasi faktor eksposi

Faktor Eksposi Citra		CNR
KV	mAs	
50	1,6	344,106
	2	312,399
	4	293,877
	8	268,248
	16	331,825
	32	360,292
60	1,6	263,827
	2	310,659
	4	292,707
	8	349,435
	16	301,357
	32	258,515
70	1,6	242,867
	2	283,51
	4	252,247
	8	298,17
	16	216,51
	32	184,161
81	1,6	213,333
	2	244,203
	4	212,61
	8	237,303
	16	275,513
	32	117,191

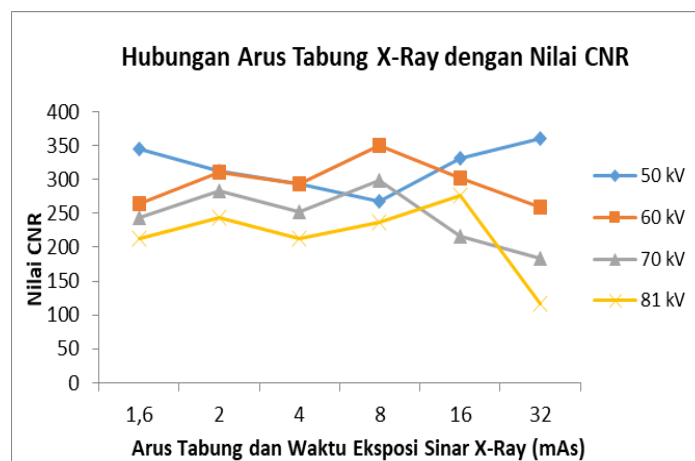
Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui pada nilai faktor eksposi di titik 60,70, dan 81 memiliki nilai CNR yang cenderung naik sampai pada nilai 8 mAs, kemudian nilai CNR Kembali turun pada 16 dan 32 mAs. Pada masing-masing variasi faktor eksposi yang digunakan, memiliki kualitas citra optimal ditunjukkan dengan nilai CNR paling tinggi. Hasil citra yang memiliki nilai CNR paling tinggi pada masing masing variasi tegangan eksposi 50 kV, 60 kV, 70 kV dan 81 kV secara berturut turut didapatkan pada arus dan waktu 32 mAs, 8 mAs, 8 mAs dan 16 mAs. Secara digital dapat dilihat melalui citra hasil eksposi menggunakan perangkat CR pada Gambar 3.



Gambar 3. Citra digital optimal untuk masing masing faktor eksposi: (a) 50 kV, 32 mAs; (b) 60 kV, 8 mAs; (c) 70 kV, 8 mAs dan (d) 81 kV, 16 mAs

Gambar 3 (a) merupakan hasil pengambilan citra digital CR menggunakan faktor eksposi 50 kV dan 32 mAs didapatkan nilai CNR sebesar 360.292; Gambar 3 (b) merupakan hasil pengambilan citra digital CR menggunakan faktor eksposi 60 kV dan 8 mAs didapatkan nilai CNR sebesar 349.435; Gambar 3 (c) merupakan hasil pengambilan citra digital CR menggunakan faktor eksposi 70 kV dan 8 mAs didapatkan nilai CNR sebesar 298.17; Gambar 3 (d) merupakan hasil pengambilan citra digital CR menggunakan faktor eksposi 81 kV dan 16 mAs didapatkan nilai CNR sebesar 272.513.

Berdasarkan analisis secara kualitatif, pada Gambar 3 dapat dilihat nilai kontras tertinggi diperoleh oleh faktor eksposi 50 kV dan 32 mAs. Hal ini diketahui dari warna gradasi antara background dengan objek phantom nya, dimana garis tepi objek dapat terlihat dengan jelas. Hubungan arus tabung x-Ray (mAs) terhadap nilai CNR dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik hubungan arus tabung x-Ray (mAs) terhadap nilai CNR

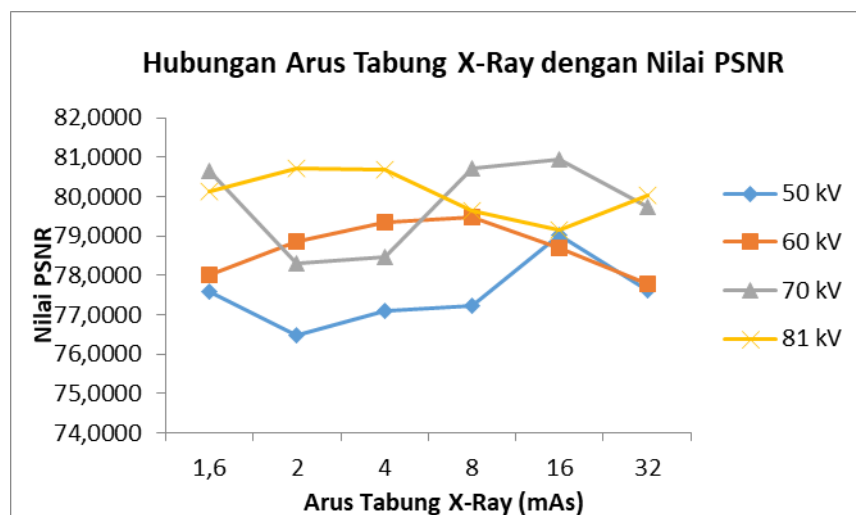
Dari analisis di atas didapatkan bahwa ketika diberikan tegangan tetap 50 kV, 60 kV, 70 kV, dan 81 kV maka untuk mendapatkan kualitas kontras citra medik yang optimal harus digunakan variasi arus-waktu 8 mAs dan 16 mAs. Karena pada variasi arus-waktu tersebut didapatkan nilai CNR yang tinggi. Semakin tinggi nilai CNR yang didapatkan menunjukkan kualitas citra semakin baik. Dengan demikian citra medik tersebut dapat dengan mudah dilakukan diagnosis. Namun apabila analisis yang dilakukan menunjukkan nilai CNR yang rendah, maka citra medik tidak dapat dilakukan diagnosis karena memiliki tingkat citra dengan kualitas yang rendah (Irsal & Winarno, 2020).

Hasil nilai perhitungan PSNR dapat dilihat pada Tabel 2, dimana setelah dilakukan pengambilan ROI kemudian citra dianalisis menggunakan perhitungan MSE dan dari hasil tersebut didapatkan nilai PSNR.

Tabel 2. Hasil perhitungan nilai CNR untuk variasi faktor eksposi

Faktor Eksposi Citra		MSE	PSNR (dB)
KV	mAs		
50	1,6	0,0011328	77,5891

	2	0,0014676	76,4649
	4	0,0012727	77,0834
	8	0,0012356	77,2122
	16	0,00081406	79,0242
	32	0,0011282	77,6071
60	1,6	0,0010297	78,0038
	2	0,00084542	78,8601
	4	0,00075652	79,3426
	8	0,00073184	79,4867
	16	0,00087545	78,7085
	32	0,0010806	77,7942
70	1,6	0,00055997	80,6492
	2	0,00096259	78,2964
	4	0,00092369	78,4755
	8	0,00054961	80,7302
	16	0,00052419	80,9359
	32	0,00068895	79,7489
81	1,6	0,00063323	80,1152
	2	0,00054921	80,7334
	4	0,00055734	80,6696
	8	0,00070693	79,6370
	16	0,00079259	79,1403
	32	0,00064586	80,0294



Gambar 5. Grafik hubungan arus tabung x-Ray (mAs) terhadap nilai PSNR

Analisis PSNR juga dilakukan untuk mendapatkan kualitas kontras citra medik yang baik. *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR) merupakan perbandingan antara nilai maksimum warna pada citra hasil filtering terhadap kuantitas gangguan (noise), yang dinyatakan dalam satuan *decibel* (dB). Secara matematis nilai PSNR berbanding terbalik dengan nilai akar dari *noise* citra medik (Richard et al., 2015). Dari analisis pada Gambar 5 didapatkan bahwa ketika diberikan tegangan tetap 50 kV, 60 kV, 70 kV, dan 81 kV maka untuk mendapatkan kualitas kontras citra medik yang optimal harus digunakan variasi arus-waktu 4 mAs dan 16 mAs. Karena pada variasi arus-waktu tersebut didapatkan nilai PSNR yang tinggi yang

menandakan bahwa nilai akar dari noise citra medik semakin kecil sehingga didapatkan kualitas kontras citra medik yang baik. Semakin kecil noise pada citra (Nilai PSNR yang didapat juga besar) maka kualitas kontras citra yang diperoleh juga semakin baik. Dengan hasil tersebut, kedua metode ini dapat digunakan untuk uji kesesuaian pesawat sinar-X, khususnya untuk quality control citra medisnya.

IV. SIMPULAN

Nilai CNR optimal adalah ketika diberikan tegangan tetap 50 kV, 60 kV, 70 kV, dan 81 kV maka untuk mendapatkan kualitas kontras citra medik yang optimal harus digunakan variasi arus-waktu 8 mAs dan 16 mAs. Karena pada variasi arus-waktu tersebut didapatkan nilai CNR yang tinggi. Semakin tinggi nilai CNR yang didapatkan menunjukkan kualitas citra semakin baik. Sedangkan nilai PSNR optimal adalah ketika diberikan tegangan tetap 50 kV, 60 kV, 70 kV, dan 81 kV maka untuk mendapatkan kualitas kontras citra medik yang optimal harus digunakan variasi arus-waktu 4 mAs dan 16 mAs. Karena pada variasi arus-waktu tersebut didapatkan nilai PSNR yang tinggi yang menandakan bahwa nilai akar dari *noise* citra medik semakin kecil sehingga didapatkan kualitas kontras citra medik yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Ayesha, I., Redjeki, F., Sudirman, A., Sari, A. L., & Aslam, D. F. (2021). Behavior of Female Entrepreneurs in Tempe Small Micro Enterprises in Tasikmalaya Regency, West Java as Proof of Gender Equality Against AEC: 2nd Annual Conference on blended learning, educational technology and Innovation (ACBLETI 2020), Padang, Indonesia. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.210615.025>
- Dugonik, B., Dugonik, A., Marovt, M., & Golob, M. (2020). Image Quality Assessment of Digital Image Capturing Devices for Melanoma Detection. *Applied Sciences*, 10(8), 2876. <https://doi.org/10.3390/app10082876>
- Frasetya, Y., Irianto, B. G., & Indrato, T. B. (2019). Analisis Uji Image Uniformity Perangkat Computed Radiography (CR) Dengan Pengolahan Citra Digital. 5.
- Ghani, M. U., Zhou, Z., Ren, L., Li, Y., Zheng, B., Yang, K., & Liu, H. (2015). Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A Investigation of spatial resolution characteristics of an in vivo microcomputed tomography system. *Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A*, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2015.11.007>
- Irsal, M., & Winarno, G. (2020). Pengaruh Parameter Milliampere-Second (mAs) terhadap Kualitas Citra Dan Dosis Radiasi Pada Pemeriksaan CT scan Kepala Pediatrik. *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, 17(1), 1. <https://doi.org/10.20527/flux.v17i1.7085>
- Karras, T., Laine, S., Aittala, M., Hellsten, J., Lehtinen, J., & Aila, T. (2020). Analyzing and Improving the Image Quality of StyleGAN. 2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 8107–8116. <https://doi.org/10.1109/CVPR42600.2020.00813>
- Katragadda, C., Finnane, A., Soyer, H. P., Marghoob, A. A., Halpern, A., Malvey, J., Kittler, H., Hofmann-Wellenhof, R., Da Silva, D., Abraham, I., Curiel-Lewandrowski, C., & for the International Society of Digital Imaging of the Skin (ISDIS)-International Skin Imaging Collaboration (ISIC) Group. (2017). Technique Standards for Skin Lesion Imaging: A Delphi Consensus Statement. *JAMA Dermatology*, 153(2), 207. <https://doi.org/10.1001/jamadermatol.2016.3949>
- Kawashima, H., Ichikawa, K., Hanaoka, S., Matsubara, K., & Takata, T. (2018). Relationship between size-specific dose estimates and image quality in computed tomography depending on patient size. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 19(4), 246–251. <https://doi.org/10.1002/acm2.12340>
- Khairunnisak, K., Ashari, H., & Kuncoro, A. P. (2020). Analisis Forensik untuk Mendeteksi Keaslian Citra Digital Menggunakan Metode NIST. *Jurnal RESISTOR (Rekayasa Sistem Komputer)*, 3(2), 72–81. <https://doi.org/10.31598/jurnalresistor.v3i2.634>
- Maharani, T., Zainuddin, M. A., & Sukaridhoto, S. (2020). Pengukuran PSNR pada Transmisi Video di Kanal Terahertz Menggunakan QAM Modulation. *KLIK - KUMPULAN JURNAL ILMU KOMPUTER*, 7(2), 154. <https://doi.org/10.20527/klik.v7i2.319>
- Mc Fadden, S., Roding, T., de Vries, G., Benwell, M., Bijwaard, H., & Scheurleer, J. (2018). Digital imaging and radiographic practise in diagnostic radiography: An overview of current knowledge and practice in Europe. *Radiography*, 24(2), 137–141. <https://doi.org/10.1016/j.radi.2017.11.004>

- Mora, P., Pfeiffer, D., Zhang, G., Bosmans, H., Delis, H., Razi, Z., Arreola, M., & Tsapaki, V. (2021). The IAEA remote and automated quality control methodology for radiography and mammography. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 22(11), 126–142. <https://doi.org/10.1002/acm2.13431>
- Muzamil, A., Indri, N. V., Astuti, S. D., & Prijo, T. A. (2018). Optimalisasi Citra Axial Sequence T2 Gradient Echo Dengan Variasi Bandwidth Dan Time Echo Pada MRI Shoulder Untuk Mengurangi Susceptibility Artifacts Dan Chemical Shift. *Journal of Health*, 5(2), 40–49. <https://doi.org/10.30590/vol5-no2-p40-49>
- Ningtias, D. R., & Suryono, S. (2016). Pengukuran Kualitas Citra Digital Computed Radiography Menggunakan Program Pengolah. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 12(July), 161–168. <https://doi.org/10.15294/jpfi.v12i2.5950>
- Rais, M. R., & Darmini, D. (2018). Effect of Receive Bandwidth's Variation to Signal to Noise Ratio (SNR) and Contrast to Noise Ratio (CNR) on MRI Examination of Cervical with T2 Weighted Fast Spin Echo Sequenc Hernia Nukleus Pulposus (HNP) Case. *Jurnal Imejing Diagnostik (JImeD)*, 4(2), 98. <https://doi.org/10.31983/jimed.v4i2.4009>
- Rajalingam, B., & Priya, D. R. (2018). Hybrid Multimodality Medical Image Fusion Technique for Feature Enhancement in Medical Diagnosis. *International Journal of Engineering Science Invention (IJESI)*, 52–60.
- Richard, S., Husarik, D. B., Yadava, G., Murphy, S. N., & Samei, E. (2015). Towards task-based assessment of CT performance: System and object MTF across different reconstruction algorithms Towards task-based assessment of CT performance: System and object MTF across different reconstruction algorithms. *Medical Physics*, 4115(2012). <https://doi.org/10.1118/1.4725171>
- Rodriguez-Molares, A., Rindal, O. M. H., D'hooge, J., Masoy, S.-E., Austeng, A., Lediju Bell, M. A., & Torp, H. (2020). The Generalized Contrast-to-Noise Ratio: A Formal Definition for Lesion Detectability. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, 67(4), 745–759. <https://doi.org/10.1109/TUFFC.2019.2956855>
- Rofi'i, M. (2022). Local Adaptive Thresholding Menggunakan Metode Sauvola sebagai Tahapan Pra Pengolahan pada Data Citra Isyarat EKG (Elektrokardiogram). *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 10(01), 10.
- Utami, N. W. M. S., Ni Nyoman, R., & I Putu Eka, J. (2021). Pengaruh Kombinasi Arus Tabung Sinar-X dan Waktu Eksposi Terhadap Contrast to Noise Ratio (CNR) dengan menggunakan Computed Radiography. *BULETIN FISIKA*, 23(1), 26. <https://doi.org/10.24843/BF.2022.v23.i01.p04>
- Wijaya Kusuma, I. W. A., & Kusumadewi, A. (2020). Penerapan Metode Contrast Stretching, Histogram Equalization untuk Meningkatkan Kualitas Citra Medis MRI. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro dan Ilmu Komputer*, 11(1), 1–10. <https://doi.org/10.24176/simet.v11i1.3153>