

IMPLEMENTASI METODE CONTRAST LIMITED ADAPTIVE HISTOGRAM EQUALIZATION DAN LAPLACIAN OF GAUSSIAN FILTER UNTUK PENINGKATAN KONTRAS CITRA CT**Aufi Rizqiatul Awwalin, Evi Setiawati, dan Choirul Anam**

Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang

E-mail: anam@fisika.fsm.undip.ac.id

Received: 11 Desember 2020; revised: 15 Januari 2021; accepted: 27 Januari 2021

ABSTRACT

The image obtained from the CT scanner has a relatively low contrast. Image contrast can be enhanced by using an algorithm of contrast limited adaptive histogram equalization (CLAHE). However, the implementation of CLAHE causes an increase of noise. Furthermore, noise can be reduced using a noise reduction filter, but it reduces the spatial resolution of the image. This study proposed a combination of the CLAHE method and the Laplacian of Gaussian (LoG) filter noise reduction algorithm to obtain images with high contrast, while maintaining the noise and spatial resolution. In this study, 27 abdominal CT images and MTF phantom CT images were investigated using our proposed method. As a comparison, this study also evaluated the results of combination of CLAHE and Gaussian filters. Evaluation of the results of image quality improvement was carried out qualitatively (visually) and quantitatively by calculating the mean squared error (MSE), peak-signal to noise ratio (PSNR) and spatial resolution using a modulation transfer function (MTF) of 10%. The results of this study qualitatively (visually) and quantitatively showed that the combination of CLAHE and LoG filters produces images with high contrast, while maintaining the noise and the spatial resolution of the image. Compared to the combination of CLAHE and Gaussian filters or CLAHE alone, the combination of CLAHE and Log filters provides less noise and higher spatial resolution. Thus, combination of CLAHE and LoG filters can be used as an alternative algorithm to increase the contrast in CT images.

Keywords: Image quality improvement, CLAHE, Laplacian of Gaussian filter, MSE, PSNR, spatial resolution

ABSTRAK

Citra yang diperoleh dari hasil CT memiliki kontras yang relatif rendah. Kontras citra dapat dinaikkan dengan menggunakan algoritma contrast limited adaptive histogram equalization (CLAHE). Namun implementasi pada CLAHE menyebabkan kenaikan noise. Selanjutnya noise dapat direduksi menggunakan filter reduksi noise, tetapi hal itu menurunkan resolusi spasial citra. Penelitian ini, mengusulkan penggabungan metode CLAHE dan algoritma reduksi noise Laplacian of Gaussian (LoG) filter guna mendapatkan citra dengan kontras tinggi, tetapi noise dan resolusi spasial tidak berubah secara signifikan. Pada penelitian ini, diujikan pada 27 citra CT abdomen dan citra CT fantom MTF. Sebagai perbandingan, pada penelitian ini juga menampilkan hasil penggabungan antara CLAHE dan Gaussian filter. Pengujian hasil perbaikan kualitas citra dilakukan secara kualitatif (visual) dan kuantitatif dengan menghitung

nilai *mean squared error* (MSE), *peak-signal to noise ratio* (PSNR) dan resolusi spasial menggunakan nilai *modulation transfer function* (MTF) 10%. Hasil dari penelitian ini menunjukkan secara kualitatif (visual) dan kuantitatif bahwa penggabungan CLAHE dan LoG filter menghasilkan citra dengan kontras tinggi, namun noise dan resolusi spasial tetap terjaga. Jika dibandingkan dengan penggabungan CLAHE dan Gaussian filter atau CLAHE saja, maka penggabungan CLAHE dan LoG filter memberikan noise yang lebih kecil dan resolusi spasial yang lebih tinggi. Dengan demikian, penggabungan CLAHE dan LoG filter dapat dijadikan alternatif untuk meningkatkan nilai kontras pada citra CT.

Kata kunci: Perbaikan kualitas citra, CLAHE, Laplacian of Gaussian filter, MSE, PSNR, resolusi spasial

PENDAHULUAN

Citra *computed tomography* (CT), meski telah digunakan secara luas pada bidang medis, akan tetapi citra yang dihasilkan tidak sempurna. Pada umumnya, citra yang diperoleh pada CT memiliki derau (*noise*) [1-3] dan kekaburan (*blur*) sehingga menurunkan resolusi spasial sampai pada level tertentu [4-6], dan kontras citra antara organ yang relatif rendah [7-9]. Pengolahan citra atau *image processing* pada citra CT salah satunya bertujuan untuk mendapatkan kualitas citra yang lebih baik, yakni *noise* yang lebih kecil, resolusi spasial yang lebih tinggi, dan kontras yang meningkat [10, 11]. Untuk meningkatkan kontras telah diusulkan beberapa algoritma, diantaranya adalah *histogram equalization* (HE), *adaptive histogram equalization* (AHE), dan *contrast limited adaptive histogram equalization* (CLAHE) [12-15].

Metode HE dapat meningkatkan kontras citra dengan cara mendeteksi nilai piksel minimal dan maksimal dari histogram citra, lalu menyesuaikan kontras citra secara merata [13]. Namun metode ini memiliki kelemahan karena HE melakukan penyesuaian intensitas citra secara global. Metode AHE mampu mengatasi problem HE, tetapi terkadang menyebabkan peningkatan kontras yang berlebihan [12]. Penggunaan CLAHE dilaporkan telah menyebabkan peningkatan kualitas citra

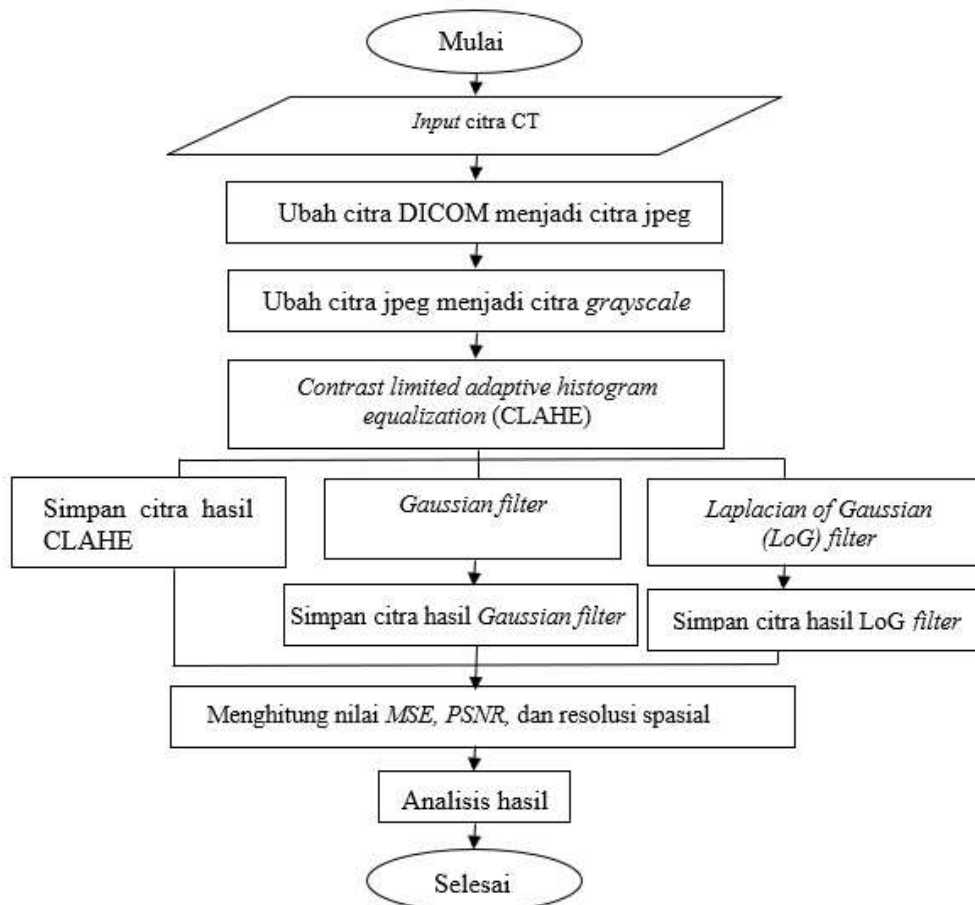
sinar-X paru-paru sehingga citra tersebut menjadi lebih mudah diinterpretasi oleh radiolog [14]. Penelitian sebelumnya melaporkan bahwa metode CLAHE terbukti mendapatkan nilai rata-rata *error* yang lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan metode HE dan AHE [14]. Penelitian lainnya untuk perbaikan kualitas citra berbasis CLAHE juga melaporkan bahwa metode CLAHE memiliki kemampuan yang lebih baik dalam peningkatan kualitas citra dibandingkan metode HE dan AHE [15]. Meski demikian, penggunaan algoritma untuk peningkatan kontras, termasuk CLAHE, menyebabkan kenaikan *noise* citra [16].

Sedangkan untuk reduksi *noise* telah diusulkan beberapa metode, diantaranya *Laplacian filter*, *median filter*, *Gaussian filter*, dan *Laplacian of Gaussian* (LoG) filter. Hasil penelitian menyatakan bahwa metode LoG memiliki nilai *mean squared error* (MSE) terendah yaitu 10,5 [17]. Metode reduksi *noise*, termasuk yang telah disebutkan, terbukti mampu mengurangi *noise* pada citra, namun metode tersebut menurunkan resolusi spasial citra [18]. Algoritma reduksi *noise* yang hanya relatif sedikit menurunkan resolusi spasial citra adalah metode LoG [17]. Filter LoG merupakan filter untuk mereduksi *noise* dengan cara mengkonvolusi citra dengan *operator Gaussian* [19].

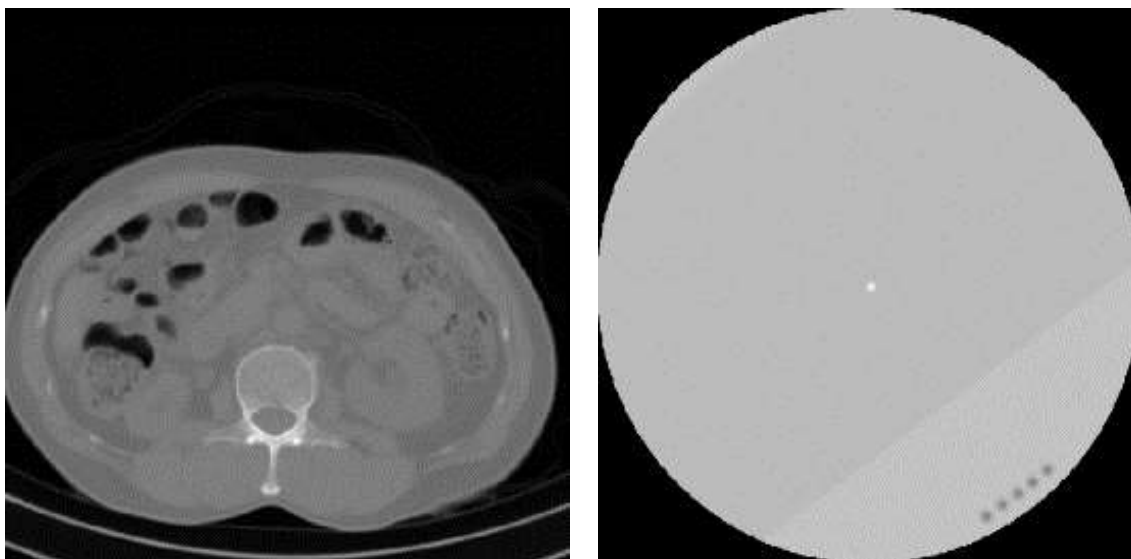
Untuk mengatasi meningkatnya *noise* pada aplikasi CLAHE, kemungkinan dapat dicapai dengan menerapkan filter untuk reduksi *noise*. Namun, sebagaimana telah disebutkan, penerapan filter ini menyebabkan penurunan resolusi spasial citra. Terdapat relasi yang kuat antara beberapa parameter kualitas citra, yaitu kontras, *noise*, dan resolusi spasial. Oleh karena itu, pada penelitian ini, untuk peningkatan kontras citra CT tanpa harus menyebabkan kenaikan *noise* dan penurunan resolusi spasial yang berarti, diusulkan penggabungan metode CLAHE dengan filter LoG. Selanjutnya dilakukan evaluasi metode penggabungan ini dan hasilnya dibandingkan dengan penggabungan CLAHE saja dan CLAHE dengan *Gaussian filter*.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan bagian dari upaya perbaikan kualitas citra, yaitu menaikkan kontras citra tanpa harus menyebabkan kenaikan *noise* dan penurunan resolusi spasial citra. Pemrosesan citra dilakukan menggunakan *software* Matlab. Metode perbaikan kontras yang digunakan adalah metode CLAHE dengan digabung dengan *Gaussian filter* dan LoG *filter*. Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 1. Obyek yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra CT *abdomen* 27 pasien (Citra salah satu pasien ditunjukkan Gambar 2a) dan citra fantom MTF yang biasanya digunakan untuk pengukuran resolusi spasial citra (Gambar 2b) yang diperoleh dengan kuat arus 50, 100, 150, dan 200 mA.



Gambar 1. Diagram alir penelitian.



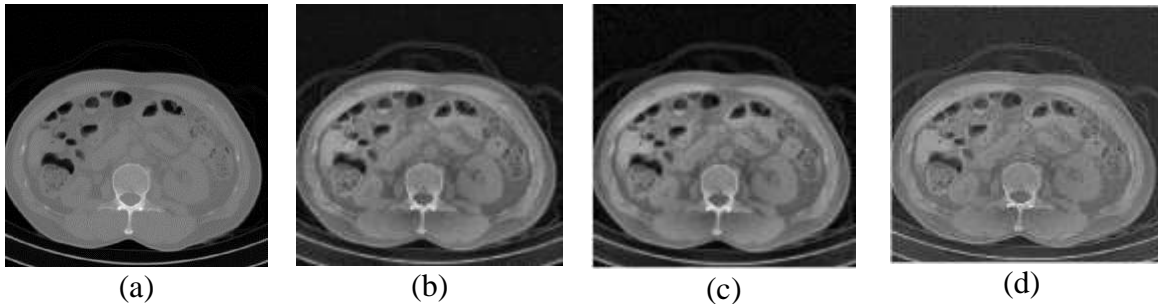
Gambar 2. (a) Citra CT *abdomen*, dan (e) Citra CT fantom MTF.

Besaran yang digunakan untuk menentukan hasil pengolahan citra adalah *mean squared error (MSE)*, *peak-signal to noise ratio (PSNR)*, dan resolusi spasial, yang diperoleh dengan menggunakan kurva *modulation transfer function (MTF)*. MTF didapatkan dengan cara menentukan *region of interest (ROI)* pada citra titik kemudian dirata-rata pada sumbu-y sehingga menghasilkan kurva *line spread function (LSF)*. Kurva LSF yang didapatkan selanjutnya dilakukan normalisasi untuk kemudian dilakukan *Fast Fourier Transform (FFT)* untuk menghasilkan MTF [4]. Nilai resolusi spasial ditentukan berdasarkan nilai MTF 10%.

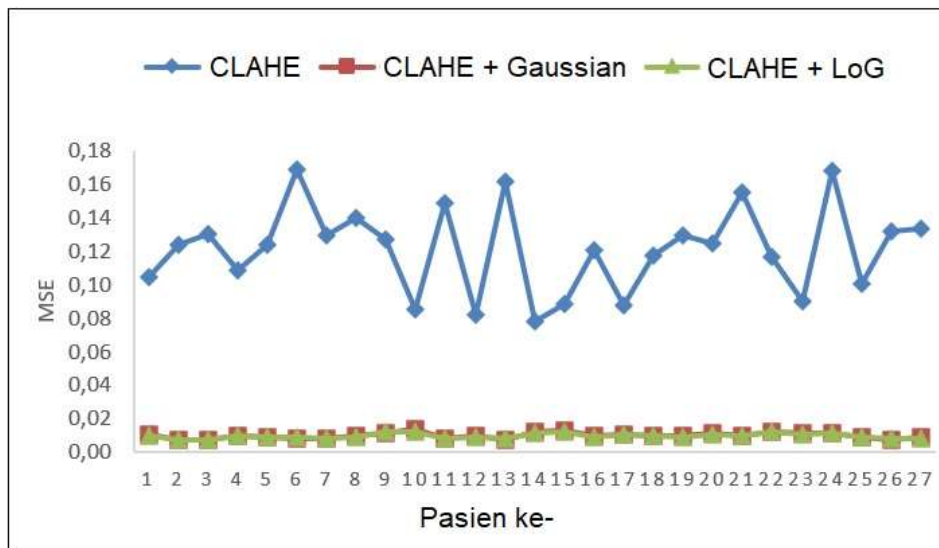
HASIL

Citra CT *abdomen*

Hasil perbaikan kualitas citra CT *abdomen* menggunakan CLAHE, CLAHE + *Gaussian filter* dan CLAHE + LoG *filter* ditunjukkan oleh Gambar 3. Secara kualitatif (visual), hasil peningkatan kualitas citra menggunakan CLAHE + LoG *filter* terlihat lebih jelas dan lebih baik jika dibandingkan dengan citra asli, CLAHE dan CLAHE + *Gaussian Filter*. Nilai MSE dan PSNR untuk citra yang diproses dengan CLAHE, CLAHE + *Gaussian filter*, dan CLAHE + LoG *filter* ditunjukkan pada Gambar 4 dan 5.



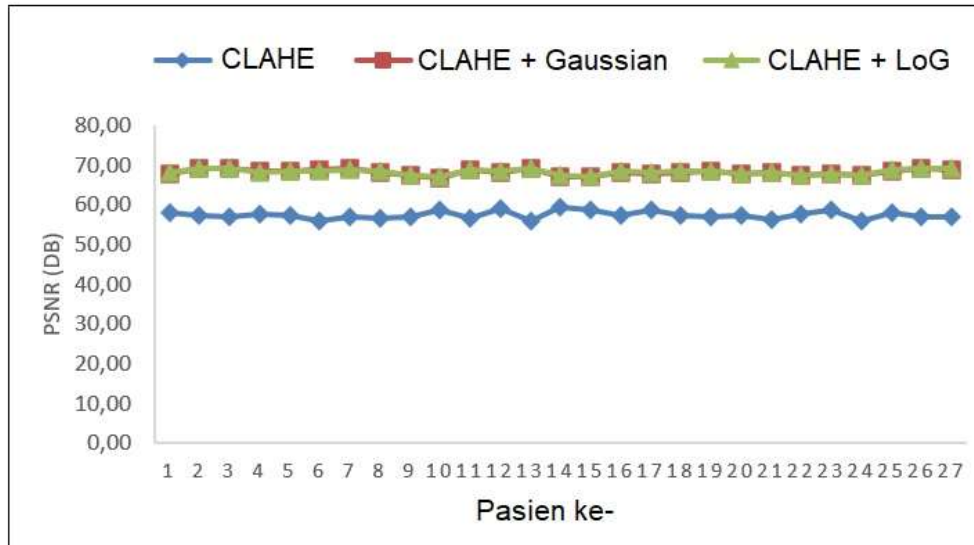
Gambar 3. Hasil perbaikan kualitas citra CT *abdomen*, (a) citras asli, (b) Citra hasil CLAHE saja, (c) Citra hasil CLAHE + *Gaussian filter*, dan (d) Citra hasil CLAHE + *LoG filter*.



Gambar 4. Grafik MSE citra CT *abdomen* setelah diberikan metode CLAHE saja, CLAHE + *Gaussian filter*, dan CLAHE + *LoG filter*. Sumbu-x menunjukkan pasien ke-1 hingga pasien ke-27.

Hasil perhitungan nilai MSE menunjukkan citra CLAHE + *Gaussian filter* dan CLAHE + *LoG filter* lebih kecil dibandingkan citra yang diproses menggunakan CLAHE saja. Nilai MSE yang semakin kecil menunjukkan bahwa *noise*

yang ada pada citra semakin rendah. Oleh karena itu, secara kuantitatif, citra CT setelah diberikan CLAHE ditambah dengan *Gaussian filter* dan *LoG filter* menunjukkan hasil lebih baik dibandingkan dengan citra setelah diberikan CLAHE saja.



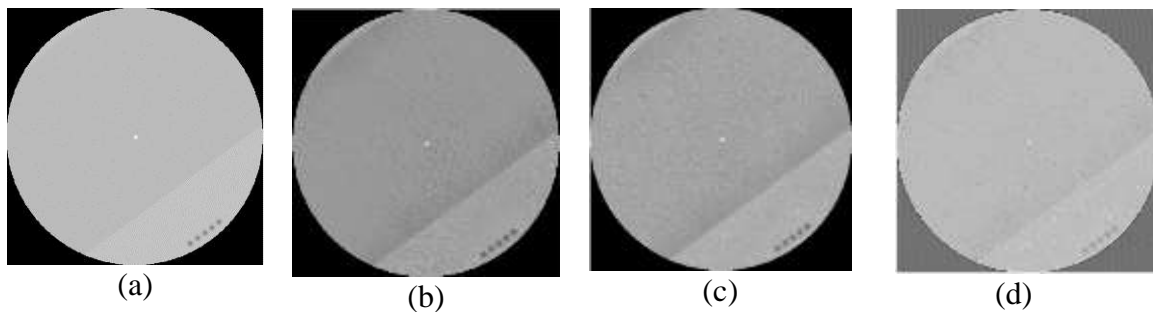
Gambar 5. Grafik PSNR citra CT abdomen setelah diberikan metode CLAHE, CLAHE + Gaussian filter, dan CLAHE + LoG filter. Sumbu-x menunjukkan pasien ke-1 hingga pasien ke-27.

Hasil perhitungan nilai PSNR menunjukkan citra CLAHE + Gaussian filter dan CLAHE + LoG filter lebih besar dibandingkan citra CLAHE saja. Sekali lagi secara kuantitatif, citra CT setelah diberikan CLAHE + Gaussian filter dan CLAHE + LoG filter menunjukkan hasil lebih baik dibandingkan dengan citra setelah diberikan CLAHE saja.

Citra CT fantom MTF

Hasil perbaikan kualitas citra CT untuk fantom MTF menggunakan CLAHE saja,

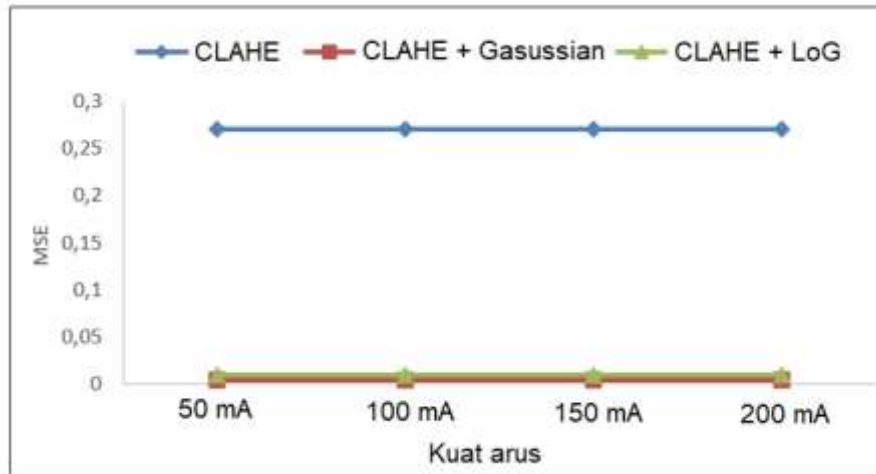
CLAHE + Gaussian filter, dan CLAHE + LoG filter ditunjukkan oleh Gambar 6. Secara kualitatif (visual), hasil peningkatan kualitas citra menggunakan CLAHE + LoG filter terlihat lebih jelas dan lebih baik jika dibandingkan dengan citra asli, CLAHE saja, dan CLAHE + Gaussian filter. Sedangkan nilai MSE, PSNR, dan resolusi spasial untuk citra yang diproses dengan CLAHE, CLAHE + Gaussian filter, dan CLAHE + LoG filter ditunjukkan pada Gambar 7-9.



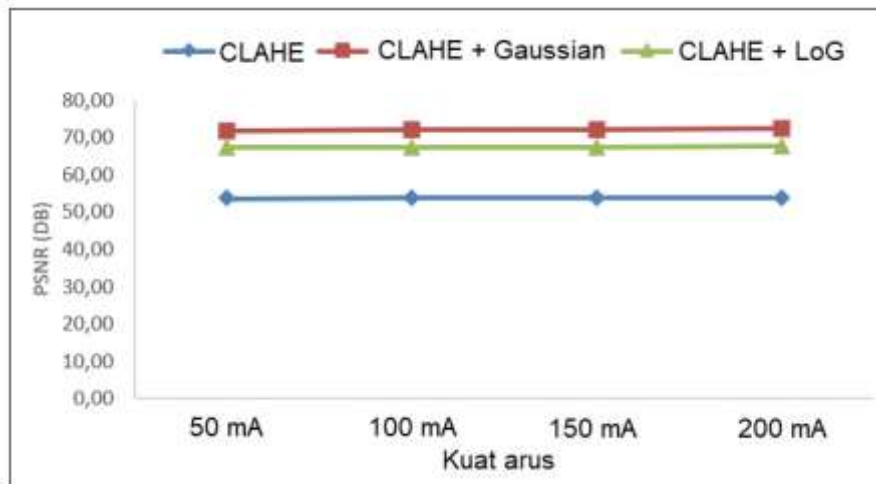
Gambar 6. Hasil perbaikan kualitas citra fantom MTF, (a) citras asli, (b) Citra hasil CLAHE saja, (c) Citra hasil CLAHE + Gaussian filter, dan (d) Citra hasil CLAHE + LoG filter.

Hasil perhitungan nilai PSNR menunjukkan citra *Gaussian filter* lebih besar dibandingkan citra CLAHE dan CLAHE + LoG *filter*. Hasil perhitungan nilai MSE menunjukkan hasil yang sama bahwa citra CLAHE + *Gaussian filter* dan CLAHE

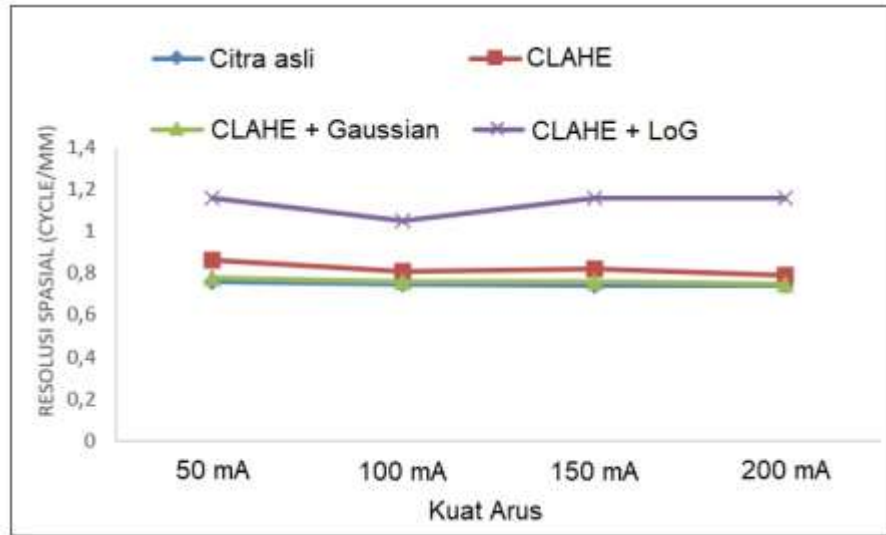
+ LoG *filter* lebih kecil dibandingkan citra CLAHE saja. Hasil perhitungan nilai resolusi spasial menunjukkan citra CLAHE + LoG *filter* lebih besar dibandingkan citra asli, CLAHE dan CLAHE + *Gaussian filter*.



Gambar 7. Grafik MSE citra CT MTF setelah diberikan metode CLAHE, CLAHE + *Gaussian filter*, dan CLAHE + LoG *filter*.



Gambar 8. Grafik PSNR citra CT MTF setelah diberikan metode CLAHE, CLAHE + *Gaussian filter*, dan CLAHE + LoG *filter*.



Gambar 9. Grafik resolusi spasial (MTF 10%) citra CT MTF setelah diberikan metode CLAHE, CLAHE + *Gaussian filter*, dan CLAHE + *LoG filter*.

KESIMPULAN

Untuk menghasilkan peningkatan kontras tanpa harus menyebabkan kenaikan *noise* dan penurunan resolusi spasial yang berarti, diusulkan penggabungan antara CLAHE dan *LoG filter*. Metode yang diusulkan dalam penelitian ini kemudian dibandingkan dengan CLAHE saja dan CLAHE + *Gaussian filter*. Perbandingan CLAHE + *LoG filter* dengan CLAHE saja dan CLAHE + *Gaussian filter* menunjukkan bahwa CLAHE + *LoG filter* menghasilkan citra dengan kontras yang tinggi, *noise* yang lebih rendah, dan resolusi spasial yang relatif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anam C, Arif I, Haryanto F, Lestari FP, Widita R, Budi WS, Sutanto H, Adi K, Fujibuchi T, Dougherty G. An improved method of automated noise measurement system in CT images. *J Biomed Phys Eng.* 2021;11(2):163-174.
- [2] Einstein SA, Rong XJ, Jensen CT, Liu X. Quantification and homogenization of image noise between two CT scanner models. *J Appl Clin Med Phys.* 2020;21(1):174-178.
- [3] Anam C, Sutanto H, Adi K, Budi WS, Muhlisin Z, Haryanto F, Matsubara K, Fujibuchi T, Dougherty G. Development of a computational phantom for validation of automated noise measurement in CT images. *Biomed Phys Eng Express.* 2020;6:065001.
- [4] Anam C, Fujibuchi T, Haryanto F, Budi WS, Sutanto H, Adi K, Muhlisin Z, Dougherty G. Automated MTF measurement in CT images with a simple wire phantom. *Pol J Med Phys Eng.* 2019;25(3):179-187.
- [5] Kayugawa A, Ohkubo M, Wada S. Accurate determination of CT point-spread-function with high precision. *J Appl Clin Med Phys.* 2013;14(4):216-226.
- [6] McCollough CH, Bruesewitz MR,

- McNitt-Gray MF, et al. The phantom portion of the American College of Radiology (ACR) Computed Tomography (CT) accreditation program: Practical tips, artifact examples, and pitfalls to avoid. *Med Phys*. 2004;31(9):2423-2442.
- [7] Anam C, Budi WS, Haryanto F, Fujibuchi T, Dougherty G. A novel multiple-windows blending of CT images in red-green-blue (RGB) color space: Phantoms study. *Scientific Visualization*. 2019;11(5):56-69.
- [8] Digumarthy SR, Singh R, Rastogi S, Otrakji A, Homayounieh F, Zhang EW, McDermott S, Kalra MK. Low contrast volume dual-energy CT of the chest: Quantitative and qualitative assessment. *Clin Imaging*. 2021;69:305-310.
- [9] Putra WS, Anam C, Widodo CE, Heryani, Ardiyanti DP. Implementation of double-windows-blending to evaluate traumatic-brain-injury in CT head images. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*. 2021;24(2):160-167.
- [10] Ningtias DR, Suryono S, Susilo S. Pengukuran kualitas citra digital computed radiography menggunakan program pengolahan. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*. 2016;12:161-168.
- [11] Anam C, Fujibuchi T, Toyoda T, Sato N, Haryanto F, Widita R, Arif I, Dougherty G. An investigation of a CT noise reduction using a modified of wiener filtering-edge detection. *Journal of Physics: Conf. Series*. 2019;1217:012022.
- [12] Riadi AA, Chamid AA, Sokhibi A. Analisis komparasi metode perbaikan kontras berbasis histogram equalization pada citra medis. *J SIMETRIS*. 2017;8(1):383-388.
- [13] Hidayat J, Usman U, Faisal A, Syafriwel S. Perbandingan metode perbaikan kualitas citra berbasis histogram equalization pada citra satelit. *Journal of Electrical Technology*. 2019;4(3):111-115.
- [14] Sebatubun MM. Peningkatan kualitas citra x-ray paru-paru menggunakan contrast limited adaptive histogram equalization dan gaussian filter. *Semin Ris Teknol Inf*. 2016;241-247.
- [15] Rubini C, Pavithra N. Contrast enhancement of MRI images using AHE and CLAHE techniques. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 2019;9(2):2442-2445.
- [16] Matondang ZA. Penerapan metode contrast limited adaptive histogram equalization (CLAHE) pada citra digital untuk memperbaiki gambar x-ray. *Publikasi Ilmiah Teknologi Informasi Neumann (PITIN)*. 2018;3(2):107-112.
- [17] Rani HAD, Sari PK. Perbandingan metode filtering untuk peningkatan kualitas citra iris mata berbasis image processing. *JOINED Journal of Informatics Educations*. 2018;1(1):10-16.
- [18] Anam C, Adi K, Sutanto H, Arifin Z, Budi WS, Fujibuchi T, Dougherty G. Noise reduction in CT images using a selective mean filter. *J Biomed Phys Eng*. 2020;10(5):623-634.
- [19] Male GM, Wirawan, Setijadi E. Analisa kualitas citra pada steganografi. *Pros Semin Nas Manaj Teknol*. XV, 2012;1-9.