

Perbandingan Metode *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* Dan *Gamma Correction* Dalam Meningkatkan Kualitas Citra X-Ray Thorax

1st Luthfi Adnan Rahmantyo

Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

luthfiadnan@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Iwan Iwut Tritoasmoro

Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

iwaniwut@telkomuniversity.ac.id

3rd Rustam

Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

Rustamtelu@telkomuniversity.ac.id

Abstrak-- Citra *x-ray* terkadang memiliki kekurangan dalam kualitas serta dalam pembuatan radiografi yang terlalu parah sehingga tidak dapat diperbaiki, maka dari itu perlu dilakukan usaha-usaha untuk menekan faktor-faktor yang dapat menurunkan kualitas radiografi tersebut. Citra *x-ray* yang mengalami penurunan kualitas citra dapat diatasi dengan teknik *image enhancement*. *Image enhancement* merupakan proses mendapatkan citra yang lebih mudah diinterpretasikan oleh mata manusia *human visual system* (HVS). *Image enhancement* memiliki banyak metode salah satunya adalah *contrast limited adaptive histogram equalization* (CLAHE) dan *gamma correction*. Citra yang telah diterapkan metode CLAHE dapat menghasilkan sebuah citra *x-ray* yang memiliki ketajaman dan kecerahan yang berbeda dari citra sebelumnya. Citra *x-ray* yang telah diterapkan metode *gamma correction* dapat menghasilkan sebuah citra yang memiliki kecerahan pada nilai *gamma*, apabila nilai *gamma* semakin besar maka citra *x-ray* yang dihasilkan semakin terang, namun apabila nilai *gamma* semakin kecil maka citra *x-ray* yang dihasilkan semakin gelap. Kinerja dari setiap metode dihitung dengan mencari nilai *Mean Square Error* (MSE), *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR), *Root Mean Square Error* (RMSE), dan *Structural Similarity Index* (SSIM). Dari nilai MSE, PSNR, RMSE, dan SSIM yang didapatkan ditemukan nilai MSE, PSNR, RMSE, dan SSIM terbaik pada metode CLAHE dengan nilai 0.02948, 63.46567 dB, 0.17052, dan 0.99990.

Kata Kunci— Citra *x-ray*, CLAHE, *Gamma Correction*, *Image Enhancement*

I Pendahuluan

Citra *x-ray thorax* merupakan prosedur pemeriksaan menggunakan radiasi elektromagnetik atau citra *x-ray* untuk menampilkan citra dada yang menunjukkan jantung, paru-paru, saluran pernafasan, dan pembuluh darah. Citra *x-ray* biasanya digunakan untuk mendeteksi masalah kesehatan dan juga dapat digunakan dalam kualitas serta durasi dalam pembuatan radiografi yang terlalu parah sehingga tidak dapat diperbaiki maka perlu dilakukan usaha-usaha untuk menekan faktor-faktor yang dapat menurunkan kualitas radiografi tersebut. Efek radiasi hambur tidak berpola ini dapat mengurangi kontras radiografi. Dalam mengatasi permasalahan tersebut dibutuhkan teknik *image enhancement*.

Image enhancement merupakan proses mendapatkan citra yang lebih mudah diinterpretasikan oleh mata manusia *Human Visual System* (HVS). Proses ini merupakan salah satu proses dalam mengolah citra [1]. *Image enhancement* memiliki banyak metode yang digunakan para ahli untuk meningkatkan kualitas citra *x-ray* salah satunya *contrast limited adaptive histogram equalization* (CLAHE) dan *gamma correction*. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa dua metode tersebut terbukti efektif dalam meningkatkan kualitas citra. Maka dari itu, peneliti ingin menerapkan metode CLAHE dan *gamma correction* dalam memperbaiki kualitas citra *x-ray*. Citra *x-ray* yang diperbaiki dengan dua metode tersebut diharapkan dapat menghasilkan *contrast* dan *brightness* yang lebih baik dari citra *x-ray* sebelumnya. Citra *x-ray* yang telah diperbaiki kualitasnya diharapkan dapat memberikan informasi semaksimal mungkin sehingga mengurangi kesalahan dalam mendiagnosis suatu penyakit.

II KAJIAN TEORI

A. *Image Enhancement*

Image Enhancement merupakan salah satu proses awal dalam pengolahan citra (*image preprocessing*). Peningkatan kualitas diperlukan karena seringkali citra yang dijadikan objek pembahasan mempunyai kualitas yang buruk, misalnya citra mengalami derau (*noise*) pada saat pengiriman melalui saluran transmisi, citra terlalu terang/gelap, citra kurang tajam, kabur dan sebagainya[2].

B. Sinar-X

Sinar – x dalam ilmu kedokteran, sinar x dapat digunakan untuk melihat kondisi tulang, gigi, serta organ tubuh yang lain tanpa melakukan pembedahan langsung pada tubuh pasien. Masyarakat awam menyebutnya dengan sebutan “Foto Rontgen”. Marie Curie, penemu bahan radioaktif Po dan Ra meninggal pada tahun 1934 akibat terserang oleh leukemia. Penyakit tersebut besar kemungkinan akibat paparan radiasi karena seringnya beliau berhubungan dengan bahan-bahan radioaktif. Foton sinar-x dihasilkan Ketika electron berkecepatan tinggi yang berasal dari katoda menumbuk target pada anoda. Elektron-elektron dari katoda ini berasal dari pemanasan filamen (lebih dari 2000°C), sehingga pada filamen ini akan terbentuk awan elektron. Elektron-elektron dari katoda ini akan bergerak cepat menumbuk bidang target (anoda) akibat diberikannya tegangan tinggi atau beda potensial antara katoda dan anoda. Hasil tumbukan tersebut menghasilkan foton sinar-x lebih kurang 1% dan sisanya 99% berupa energi panas[3]. Foto rontgen bertujuan untuk kebutuhan medis agar memudahkan dokter dalam melakukan penganalisaan terhadap penyakit yang di derita pasien. Foto rontgen dapat dilihat pada Gambar 1.



GAMBAR 1
CITRA X-RAY

C. Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE)

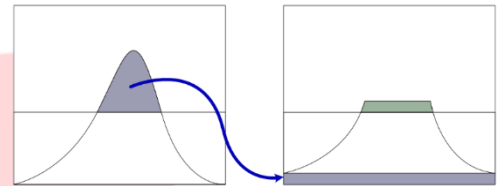
CLAHE adalah generalisasi dari metode *Adaptive Histogram Equalization* (AHE). Metode ini mampu menghasilkan citra yang lebih baik dibandingkan dengan citra asli yang belum diproses. Berbeda dengan HE yang bekerja secara global, algoritma CLAHE membagi citra ke dalam area-area yang lebih kecil dan menerapkan HE untuk masing-masing area tersebut. Algoritma CLAHE dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Citra asli dibagi menjadi sub-citra yang berukuran $M \times N$
2. Menghitung histogram dari setiap sub-citra
3. *Clipped Histogram* dari setiap citra

Cara menghitung *clip limit* suatu histogram dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$\beta = \frac{M}{N} \left(1 + \frac{\alpha}{100} (S - 1) \right) \quad (2.1)$$

Variabel M menyatakan luas *region size*, N menyatakan nilai *grayscale* (256) dan α merupakan *clip factor* menyatakan penambahan batas limit suatu histogram yang bernilai antara 0 sampai 100. Histogram di atas nilai *clip limit* dianggap kelebihan (*excess*) piksel yang akan didistribusikan kepada area sekitar dibawah *clip limit* sehingga histogram merata. Ilustrasi distribusi *excess* piksel dapat dilihat pada Gambar 2[4].



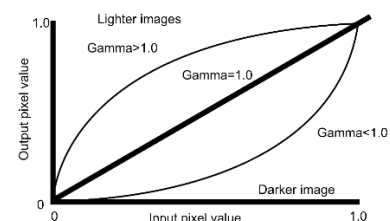
GAMBAR 2
DISTRIBUSI EXCESS PIXEL PADA HISTOGRAM

D. Gamma Correction

Banyak perangkat yang digunakan untuk merekam, mencetak atau menampilkan gambar pada umumnya menerapkan sebuah transformasi, disebut hukum daya, pada setiap piksel gambar yang memiliki efek nonlinier potensial listrik[5].

$$g(u) = u^\gamma \quad (2.2)$$

Dalam persamaan diatas $u \in [0, 1]$ menunjukkan intensitas pixel citra, γ adalah sebuah konstanta positif yang memperkenalkan nilai γ . Dengan asumsi, nilai γ biasanya dapat ditentukan oleh peneliti, melalui kalibrasi dengan berbagai nilai-nilai potensial listrik yang diketahui melewati perangkat gambar. Jika γ lebih besar dari 1 maka hasil keluarannya akan menjadi gelap. Sebaliknya jika γ lebih kecil dari 1 maka hasil keluarannya akan menjadi lebih terang. Dalam hal ini, penyesuaian dengan gamma dapat menjadi gagasan sebagai operasi penyesuaian kontras[6]. Gambar 3 merupakan kurva dari *gamma correction*.



GAMBAR 3
GRAFIK GAMMA CORRECTION

E. MSE dan PSNR

MSE (Mean Squared Error) merupakan tolak ukur keberhasilan kinerja perbaikan suatu citra, sedangkan PSNR merupakan (*Peak Signal to Noise Ratio*) merupakan parameter yang membandingkan kualitas citra asli dengan kualitas citra hasil. Semakin rendah nilai MSE yang dimana nilainya semakin mendekati 0, maka semakin bagus kualitas citra hasil dan semakin mirip dengan citra aslinya. Nilai MSE yang mendekati 0 juga dapat dikatakan bahwa citra hasil memiliki *error* yang sedikit. Namun sebaliknya dengan PSNR, semakin tinggi nilai PSNR maka semakin bagus kualitas citra tersebut[7]. Kualitas citra dikatakan baik jika nilai PSNR diatas 30 dB. Citra yang memiliki nilai PSNR dibawah 30 dB dapat dinyatakan bahwa citra tersebut mengalami degradasi dan tidak dapat dipertimbangkan untuk analisis lebih lanjut [8].

F. Root Mean Square Error (RMSE)

RMSE digunakan dalam menganalisis perbedaan antara citra asli dan citra yang telah dioalh untuk mengetahui tingkat kesalahan yang terjadi, semakin kecil nilai RMSE maka kinerja metode yang diterapkan semakin baik[9].

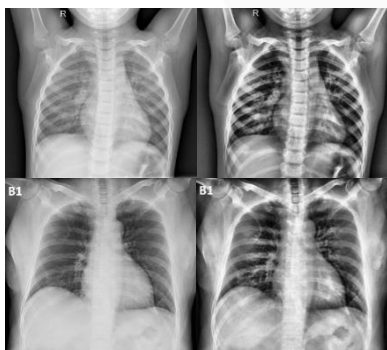
G. Structural Similarity Index (SSIM)

SSIM merupakan metode penelitian dengan basis persepsi. Dengan metode ini, kita dapat menghitung kemiripan citra yang dihasilkan dari citra asli ke citra hasil berdasarkan perbedaan informasi structural citra[9]. Nilai SSIM dapat dikatakan baik, apabila nilainya mendekati 1.

III HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian dengan metode CLAHE

Pengujian pertama yang dilakukan adalah peningkatan kualitas citra *x-ray* dengan format jpeg yang telah diterapkan metode CLAHE. Gambar 4 merupakan salah satu dari hasil peningkatan kualitas citra *x-ray* dengan metode CLAHE.

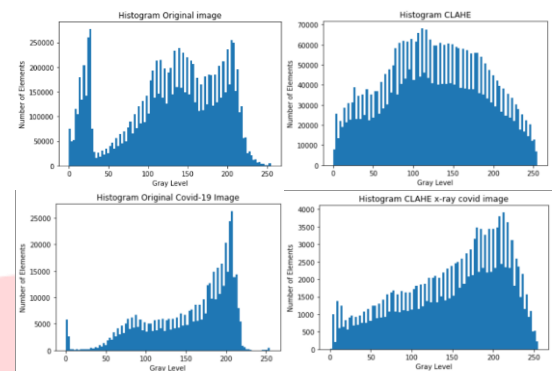


GAMBAR 4

SAMPLE PERBANDINGAN CITRA X-RAY ASLI (ATAS KIRI) CITRA X-RAY YANG TELAH DITERAPKAN METODE CLAHE (ATAS KANAN) CITRA X-RAY COVID ASLI (BAWAH KIRI) CITRA X-RAY COVID YANG TELAH DITERAPKAN METODE CLAHE (BAWAH KANAN)

Terlihat perubahan kontras pada citra hasil uji. Banyak *point-point* yang awalnya terlihat samar, setelah diterapkan metode CLAHE menjadi sangat

jelas. Namun, untuk membandingkan hasil dari metode CLAHE sangat sulit dibedakan secara kasat mata sehingga peneliti menampilkan hasil histogram untuk melihat hasil dari penyebaran warna. Gambar 5 menunjukkan hasil *histogram* dari keempat citra diatas.



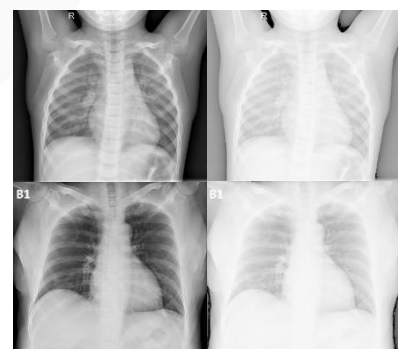
GAMBAR 5

SAMPLE PERBANDINGAN HISTOGRAM CITRA X-RAY ASLI (ATAS KIRI) HISTOGRAM CITRA X-RAY YANG TELAH DITERAPKAN METODE CLAHE (ATAS KANAN) HISTOGRAM CITRA X-RAY COVID-19 ASLI (BAWAH KIRI) HISTOGRAM CITRA X-RAY COVID YANG TELAH DITERAPKAN METODE CLAHE (BAWAH KANAN)

Dapat dilihat pada Gambar 5 *histogram* pada citra *x-ray* yang telah diterapkan metode CLAHE memiliki penyebaran *histogram* yang hampir rata dikarenakan *histogram* yang dianggap kelebihan (*excess*) piksel akan di distribusikan kepada area sekitar dibawah *clip limit*.

B. Pengujian dengan metode *gamma correction* ($\gamma = 5.0$)

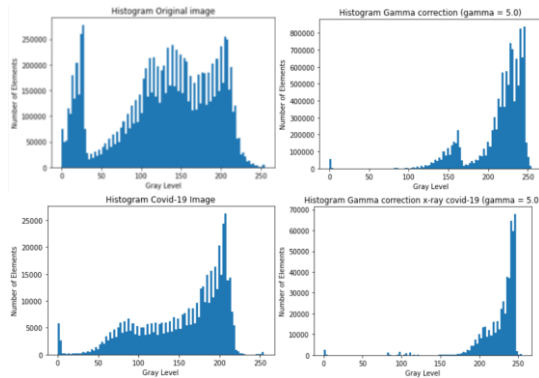
Pengujian kedua yang dilakukan adalah peningkatan kualitas citra *x-ray* dengan format jpeg yang telah diterapkan metode *gamma correction* dengan nilai γ sebesar 5.0. Gambar 6 merupakan salah satu hasil dari peningkatan kualitas citra *x-ray* dengan menggunakan metode *gamma correction*.



GAMBAR 6

SAMPLE PERBANDINGAN CITRA X-RAY ASLI (ATAS KIRI) CITRA X-RAY YANG TELAH DITERAPKAN METODE GAMMA CORRECTION (GAMMA = 5.0) (ATAS KANAN) CITRA X-RAY COVID-19 ASLI (BAWAH KIRI) CITRA X-RAY COVID-19 YANG TELAH DITERAPKAN METODE GAMMA CORRECTION (GAMMA = 5.0) (BAWAH KANAN)

Terlihat perubahan tingkat kecerahan pada citra hasil uji setelah diterapkan metode *gamma correction*. Namun untuk membandingkan hasil dari metode *gamma correction* sulit dibedakan secara kasat mata sehingga peneliti menampilkan *histogram* untuk melihat hasil dari penyebaran warna. Gambar 7 menunjukkan hasil *histogram* dari keempat citra diatas.



GAMBAR 7

SAMPLE PERBANDINGAN *HISTOGRAM* CITRA X-RAY ASLI (ATAS KIRI) *HISTOGRAM* CITRA X-RAY YANG TELAH DITERAPKAN METODE *GAMMA CORRECTION* ($\text{GAMMA} = 5.0$) (ATAS KANAN) *HISTOGRAM* CITRA X-RAY COVID-19 ASLI (BAWAH KIRI) *HISTOGRAM* CITRA X-RAY COVID-19 YANG TELAH DITERAPKAN METODE *GAMMA CORRECTION* ($\text{GAMMA} = 5.0$) (BAWAH KANAN)

Dapat dilihat pada Gambar 7 *histogram* pada citra *x-ray* yang telah diterapkan *gamma correction* dengan nilai $\text{gamma} = 5.0$ memiliki penyebaran terbanyak pada range piksel 200-250 oleh karena itu citra yang dihasilkan semakin terang karena semakin besar nilai piksel maka citra yang dihasilkan semakin mendekati warna putih atau semakin terang.

C. Pengujian dengan metode *gamma correction* ($\text{gamma} = 2.0$)

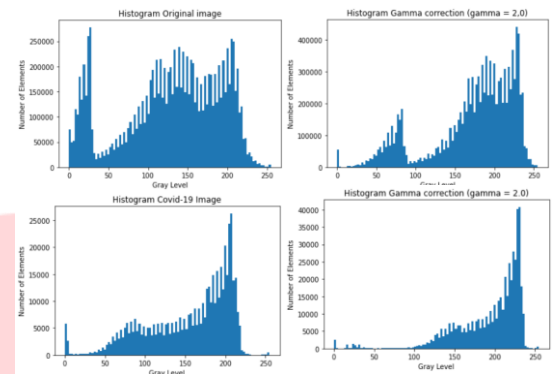
Pengujian ketiga yang dilakukan adalah peningkatan kualitas citra *x-ray* dengan format jpeg yang telah diterapkan metode *gamma correction* dengan nilai gamma sebesar 2.0. Gambar 8 merupakan salah satu hasil dari peningkatan kualitas citra *x-ray* dengan menggunakan metode *gamma correction*.



GAMBAR 8

SAMPLE PERBANDINGAN CITRA X-RAY ASLI (ATAS KIRI) CITRA X-RAY YANG TELAH DITERAPKAN METODE *GAMMA CORRECTION* ($\text{GAMMA} = 2.0$) (ATAS KANAN) CITRA X-RAY COVID-19 ASLI (BAWAH KIRI) CITRA X-RAY COVID-19 YANG TELAH DITERAPKAN METODE *GAMMA CORRECTION* ($\text{GAMMA} = 2.0$) (BAWAH KANAN)

Terlihat perubahan tingkat kecerahan pada citra hasil uji setelah diterapkan metode *gamma correction*. Namun, untuk membandingkan hasil dari metode *gamma correction* sulit dibedakan secara kasat mata sehingga peneliti menampilkan *histogram* untuk melihat hasil dari penyebaran warna. Gambar 9 menunjukkan hasil *histogram* dari keempat citra diatas.



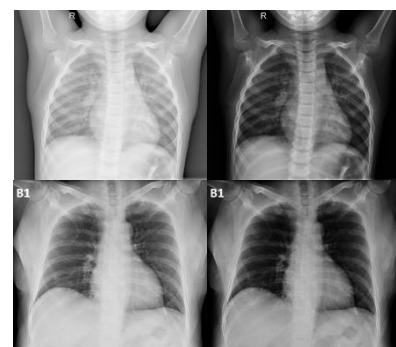
GAMBAR 9

SAMPLE PERBANDINGAN *HISTOGRAM* CITRA X-RAY ASLI (ATAS KIRI) *HISTOGRAM* CITRA X-RAY YANG TELAH DITERAPKAN METODE *GAMMA CORRECTION* ($\text{GAMMA} = 2.0$) (ATAS KANAN) *HISTOGRAM* CITRA X-RAY COVID-19 ASLI (BAWAH KIRI) *HISTOGRAM* CITRA X-RAY COVID-19 YANG TELAH DITERAPKAN METODE *GAMMA CORRECTION* ($\text{GAMMA} = 2.0$) (BAWAH KANAN)

Dapat dilihat pada Gambar 9 *histogram* pada citra *x-ray* yang telah diterapkan *gamma correction* memiliki penyebaran terbanyak pada range piksel 200-250 oleh karena itu citra yang dihasilkan semakin terang karena semakin besar nilai piksel maka citra yang dihasilkan semakin mendekati warna putih atau semakin terang.

D. Pengujian dengan metode *gamma correction* ($\text{gamma} = 0.5$)

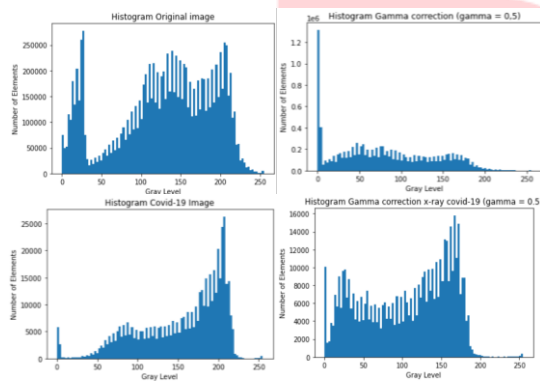
Pengujian ketiga dilakukan adalah peningkatan kualitas citra *x-ray* dengan format jpeg yang telah diterapkan metode *gamma correction* dengan nilai gamma sebesar 0.5. Gambar 10 merupakan salah satu hasil dari peningkatan kualitas citra *x-ray* dengan menggunakan metode *gamma correction*.



GAMBAR 10

SAMPLE PERBANDINGAN CITRA X-RAY ASLI (ATAS KIRI)
CITRA X-RAY YANG TELAH DITERAPKAN METODE *GAMMA*
CORRECTION ($GAMMA = 0.5$) (ATAS KANAN) CITRA X-RAY
COVID-19 ASLI (BAWAH KIRI) CITRA X-RAY COVID-19
YANG TELAH DITERAPKAN METODE *GAMMA*
CORRECTION ($GAMMA = 0.5$) (BAWAH KANAN)

Terlihat perubahan tingkat kecerahan pada gambar hasil uji setelah diterapkan metode *gamma correction* dengan nilai $gamma = 0.5$. Namun, untuk membandingkan hasil dari metode *gamma correction* sulit dibedakan secara kasat mata sehingga peneliti menampilkan *histogram* untuk melihat hasil dari penyebaran warna. Gambar 11 menunjukkan hasil *histogram* dari keempat citra diatas.



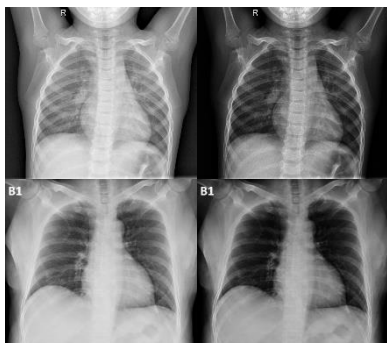
GAMBAR 11

SAMPLE PERBANDINGAN HISTOGRAM CITRA X-RAY ASLI
(ATAS KIRI) HISTOGRAM CITRA X-RAY YANG TELAH
DITERAPKAN METODE *GAMMA CORRECTION* ($GAMMA = 0.5$) (ATAS KANAN) HISTOGRAM CITRA X-RAY COVID-19
ASLI (BAWAH KIRI) HISTOGRAM CITRA X-RAY COVID-19
YANG TELAH DITERAPKAN METODE *GAMMA CORRECTION*
($GAMMA = 0.5$) (BAWAH KANAN)

Dapat dilihat pada Gambar 11 *histogram* citra *x-ray* yang telah diterapkan *gamma correction* memiliki penyebaran terbanyak pada *range* piksel 0-50 oleh karena itu citra yang dihasilkan semakin gelap.

E. Pengujian dengan metode *gamma correction* ($gamma = 0.1$)

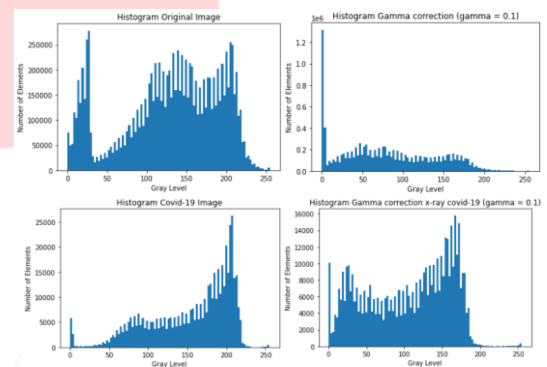
Pengujian keempat dilakukan adalah peningkatan kualitas citra *x-ray* dengan format jpeg yang telah diterapkan metode *gamma correction* dengan nilai $gamma$ sebesar 0.1. Gambar 12 merupakan salah satu hasil dari peningkatan kualitas citra *x-ray* dengan menggunakan metode *gamma correction*.



GAMBAR 12

SAMPLE PERBANDINGAN CITRA X-RAY ASLI (ATAS KIRI)
CITRA X-RAY YANG TELAH DITERAPKAN METODE
GAMMA CORRECTION ($GAMMA = 0.1$) (ATAS KANAN)
CITRA X-RAY COVID-19 ASLI (BAWAH KIRI) CITRA X-RAY
COVID-19 YANG TELAH DITERAPKAN METODE *GAMMA*
CORRECTION ($GAMMA = 0.1$)

Gambar hasil uji setelah diterapkan metode *gamma correction* dengan nilai $gamma = 0.1$. Namun, untuk membandingkan hasil dari metode *gamma correction* sulit dibedakan secara kasat mata sehingga peneliti menampilkan *histogram* untuk melihat hasil dari penyebaran warna. Gambar 13 menunjukkan hasil *histogram* dari kedua citra diatas.



GAMBAR 13

SAMPLE PERBANDINGAN HISTOGRAM CITRA X-RAY ASLI
(ATAS KIRI) HISTOGRAM CITRA X-RAY YANG TELAH
DITERAPKAN METODE *GAMMA CORRECTION* ($GAMMA = 0.1$) (ATAS KANAN) HISTOGRAM CITRA X-RAY COVID-19
ASLI (BAWAH KIRI) HISTOGRAM CITRA X-RAY COVID-19
YANG TELAH DITERAPKAN METODE *GAMMA*
CORRECTION ($GAMMA = 0.1$) (BAWAH KANAN)

Dapat dilihat pada Gambar 13 *histogram* citra *x-ray* yang telah diterapkan *gamma correction* memiliki penyebaran terbanyak pada *range* piksel 0-50 oleh karena itu citra yang dihasilkan semakin gelap.

F. Analisis Nilai MSE, PSNR, RMSE, SSIM Terbaik

Pada metode CLAHE dan *gamma correction*

Setelah dilakukan pengujian pada 40 citra *x-ray* dengan lima pengujian yaitu dengan metode *gamma correction* dengan nilai $gamma$ 5.0, 2.0, 0.5, dan 0.1 serta metode CLAHE didapatkan nilai MSE, PSNR, RMSE, dan SSIM terbaik dengan menggunakan salah satu metode. Nilai MSE, PSNR, RMSE, dan SSIM terbaik ditunjukkan pada Tabel 1.

TABEL 1
HASIL PENGUJIAN MSE, PSNR, RMSE, SSIM

Metode	Parameter Pengujian			
	MSE	PSNR (dB)	RMSE	SSIM
CLAHE	0,02948	63,46567	0,17052	0,9999
<i>gamma correction</i> (<i>gamma</i> = 5.0)	94,95803	28,37198	87,65854	0,7352
<i>gamma correction</i> (<i>gamma</i> = 2.0)	105,10414	27,92824	45,73806	0,88230
<i>gamma correction</i> (<i>gamma</i> = 0.5)	95,59031	28,33853	51,98967	0,76417
<i>gamma correction</i> (<i>gamma</i> = 0.1)	102,50578	28,03565	131,36597	0,11203

Berdasarkan hasil pengujian MSE, PSNR, RMSE, SSIM pada Tabel 1, dapat dilihat bahwa nilai MSE yang baik apabila nilai tersebut mendekati 0, dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa metode CLAHE menunjukkan nilai yang mendekati 0. Hal tersebut menunjukkan bahwa tampilan citra hasil semakin bagus dan semakin mirip dengan citra aslinya. Nilai PSNR yang baik apabila nilai tersebut lebih besar dari 30 dB, dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa metode CLAHE menunjukkan nilai yang lebih besar dari 30 dB. Hal tersebut menunjukkan kualitas citra yang dihasilkan dengan metode CLAHE lebih unggul. Nilai RMSE yang baik apabila nilai tersebut mendekati 0, dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa metode CLAHE menunjukkan nilai yang mendekati 0. Hal tersebut menunjukkan bahwa tingkat kesalahan dan tingkat *error* yang terjadi pada metode CLAHE lebih sedikit. Nilai SSIM yang baik apabila nilai tersebut mendekati nilai 1, dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa metode CLAHE menunjukkan nilai yang mendekati nilai 1. Hal tersebut menunjukkan bahwa hasil pemrosesan citra dengan metode CLAHE memiliki kemiripan terhadap citra asli.

IV Kesimpulan

Pada penelitian ini telah dirancang sistem untuk meningkatkan kualitas citra *x-ray* dengan dua metode, yaitu CLAHE dan *gamma correction*. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Peningkatan kualitas citra *x-ray* dengan metode CLAHE berpengaruh terhadap hasil akhir yang dihasilkan. Citra *x-ray* yang telah diterapkan metode CLAHE memiliki tingkat ketajaman dan kecerahan yang berbeda dari citra asli.
2. Peningkatan kualitas citra *x-ray* dengan metode *gamma correction* berpengaruh terhadap hasil akhir yang dihasilkan. Citra *x-ray* yang telah diterapkan metode *gamma correction* memiliki tingkat kecerahan yang berbeda dari citra asli. Tingkat kecerahan yang dihasilkan bergantung pada nilai *gamma* yang diterapkan pada citra tersebut, apabila nilai *gamma* > 1 maka citra yang dihasilkan akan semakin terang, namun apabila nilai *gamma* < 1 maka citra yang dihasilkan akan semakin gelap.
3. Berdasarkan hasil pengamatan kasat mata metode CLAHE memiliki performa yang lebih baik dibandingkan dengan metode *gamma correction*. Hal tersebut dilihat dari citra hasil yang diproses menggunakan metode CLAHE memiliki warna lebih natural dan cenderung tidak memiliki *artifact*. Hal ini didukung oleh hasil pengujian dengan menggunakan nilai PSNR, MSE, RMSE dan SSIM, metode CLAHE mayoritas memiliki hasil perhitungan yang lebih baik.

REFERENSI

- [1] S. Tena, S. Tena, and S. Tena, "Image Enhancement Menggunakan Metode Linear Filtering Dan Stationary Wavelet Transform," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 8, no. 2, 2012, doi: 10.24843/10.24843/MITE.
- [2] A. Hariati, "Peningkatan Kualitas Citra Scanning dengan Menggunakan Metode Gaussian Filter Berbasis Android," vol. 1, no. 1, p. 5, 2020.
- [3] R. B. Dirgantara, E. Yulianto, and T. Indrato, "Simulator General X-Ray (Parameter LVC dan Sistem Interlock)," pp. 1–8, 2008.
- [4] Z. A. Matondang, "Penerapan Metode Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (Clahe) Pada Citra Digital Untuk Memperbaiki Gambar X-ray," *Publ. Ilm. Teknol. Inf. Neumann*, vol. 3, no. 2, pp. 24–29, 2018, [Online]. Available: <https://www.neliti.com/id/publications/283772/penerapan-metode-contrast-limited-adaptive-histogram-equalization-clahe-pada-citra>
- [5] N. H. Aprianoro, B. Santoso, P. Purwantiningsih, and T. Ambarsari, "Optimizing Analysis Of The Radiographic Image And Entrance Surface Dose Using Computed Radiography In Chest Examination," *SANITAS J. Teknol. dan Seni*

- Kesehat.*, vol. 9, no. 2, pp. 93–104, 2018, doi: 10.36525/sanitas.2018.11.
- [6] J. Singnoo and G. D. Finlayson, “Understanding the gamma adjustment of images,” *Final Progr. Proc. - IS T/SID Color Imaging Conf.*, pp. 134–139, 2010.
- [7] C. Contrast Enhancement, “Peningkatan Kontras Menggunakan Metode Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization Pada Citra Underwater,” pp. 1–6, 2019.
- [8] G. Badshah, S. C. Liew, J. M. Zain, and M. Ali, “Watermark Compression in Medical Image Watermarking Using Lempel-Ziv-Welch (LZW) Lossless Compression Technique,” *J. Digit. Imaging*, vol. 29, no. 2, pp. 216–225, 2016, doi: 10.1007/s10278-015-9822-4.
- [9] U. Sara, M. Akter, and M. S. Uddin, “Image Quality Assessment through FSIM, SSIM, MSE and PSNR—A Comparative Study,” *J. Comput. Commun.*, vol. 07, no. 03, pp. 8–18, 2019, doi: 10.4236/jcc.2019.73002.

