

## PENGARUH TEGANGAN TABUNG SINAR-X (kV) TERHADAP KUALITAS CITRA RADIOGRAFI FOTO TORAKS PASIEN COVID-19

*The influence of x-ray tube voltage (kV) on the quality of radiographic images of chest photos of Covid-19 patients*

Sitti Normawati<sup>1\*</sup>, Jumardin Jumardin<sup>2</sup>, Supri Harmiati<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Radiologi, Politeknik Muhammadiyah Makassar, Jl. DR. Ratulangi No.101, Kota Makassar, Sulawesi Selatan 90132, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar, l. Sultan Alauddin No. 63, Gowa, Sulawesi Selatan 92113, Indonesia

<sup>3</sup>Instalasi Radiologi, Rumah Sakit Umum Daerah Kabupaten Majene, Jl. Poros Majene-Mamuju, Banggae, Sulawesi Barat, Indonesia

\*Email korespondensi: [sittinormawati@poltekesmu.ac.id](mailto:sittinormawati@poltekesmu.ac.id)

Diterima: 15/06/2024 Disetujui: 26/08/2024 Dipublikasi: 01/09/2024

### Abstrak

Studi perbandingan kualitas gambar rontgen dada pada pasien infeksi Covid-19 dilakukan dengan menggunakan pesawat rontgen Digital Radiografi (DR). Akuisisi gambar dilakukan dalam sembilan eksposur dari tegangan rendah (kV) hingga tegangan tinggi (kV). Pemrosesan gambar dilakukan dengan menggunakan aplikasi software Image-J. Hasil radiografi yang diperoleh dianalisis menggunakan metode FFT (*Fast Fourier Transform*) dan analisis histogram. Dalam analisis FFT, citra sinar-X cenderung berbeda seiring perubahan tegangan tabung dari 45 kV hingga 57 kV. Dalam analisis histogram, citra sinar-X tergolong citra tidak lengkap karena sebaran piksel dalam rentang skala abu-abu belum sempurna untuk semua perubahan paparan radiasi sinar-X. Citra yang dihasilkan biasanya berbeda sehingga citranya tetap tidak sama pada saat menggunakan tegangan rendah (kV) maupun tegangan tinggi (kV). Puncak histogram menunjukkan intensitas piksel yang menonjol dan lebar puncak menunjukkan rentang kontras citra radiografi. Jika grafik histogram dominan menempati area minimum, maka citra merupakan gambar gelap, tetapi jika grafik histogram dominan menempati area maksimum, maka citra tersebut merupakan gambar terang.

**Kata kunci:** Covid-19, image-j, radiografi, fft, histogram.

### Abstract

A comparative study of chest X-ray image quality in Covid-19 infection patients was conducted using a Digital Radiography (DR) X-ray machine. Image acquisition was performed in nine exposures from low voltage (kV) to high voltage (kV). Image processing was performed using the Image-J software application. The radiographic results were analyzed using the Fast Fourier Transform (FFT) method and histogram analysis. In the FFT analysis, the X-ray images tended to differ as the tube voltage was changed from 45 kV to 57 kV. In the histogram analysis, the X-ray images are classified as incomplete because the distribution of pixels in the grayscale range is not perfect for all changes in X-ray radiation exposure. The resulting images are usually different; therefore, the images remain unequal when using a low voltage (kV) or high voltage (kV). The peak of the histogram shows the intensity of the prominent pixels and the width of the peak shows the contrast range of the radiographic image. If the dominant histogram graph occupies the minimum area, then the image is dark, but if the dominant histogram graph occupies the maximum area, then the image is bright.

**Keywords:** Covid-19, fft, histogram, image-j, radiography.

This is an open access article under [CC-BY-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



Copyright © 2024 The Author(s)

## PENDAHULUAN

Virus Corona atau *Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus-2* (SARS-CoV-2) adalah virus yang menyerang sistem pernapasan. Kontroversi seputar penyakit ini termasuk dalam aspek penegakan diagnosis, tata laksana hingga pencegahan (Susilo et al., 2020). Selain melihat

karakteristik klinis berdasarkan gejala penyakit yang ada seperti demam, batuk ringan, hilangnya indra penciuman hingga penurunan perfusi paru, maka dilakukan metode diagnosis pada seseorang yang terkonfirmasi atau tidak terkonfirmasi Covid-19 sehingga diperlukan pemeriksaan penunjang spesifik seperti pemeriksaan PCR (*Polymerase Chain Reaction*) dan pemeriksaan radiografi toraks (Ariza et al., 2021). Teknik pemeriksaan radiografi foto toraks merupakan salah satu teknik foto radiologi diagnostik untuk mengetahui kondisi organ di dalam rongga dada dan bertujuan mengidentifikasi gangguan yang terjadi pada paru-paru pasien.

Citra foto toraks dapat digunakan sebagai modalitas awal dan pertama untuk pasien yang dicurigai Covid-19. Hasil pencitraan foto toraks pada pasien Covid-19 umumnya berupa konsolidasi atau infiltrat dengan tempat predileksi dominan di lokasi atau area bawah, perifer, dan bilateral (Darmayanti & Armajjin, 2021). Foto toraks digunakan pada pasien Covid-19 untuk diagnosis, monitoring terapi dan memperlihatkan adanya kerusakan paru yang timbul setelah pasien dinyatakan sembuh. Foto toraks merupakan modalitas sederhana yang sangat berguna meski akurasinya kurang dibandingkan dengan *CT Scan* toraks. Foto toraks tersedia secara luas di layanan kesehatan dengan biaya terjangkau dan radiasi yang masih aman. Citra radiografi yang dihasilkan merupakan salah satu *Quality Control* (QC) dalam diagnosis Covid-19. Beberapa penelitian yang terkait pemeriksaan dengan menggunakan radiografi adalah penilaian terhadap tingkat kerusakan pada paru-paru oleh penyakit Covid-19 (Giraud et al., 2020), kinerja diagnostik radiografi klinis untuk penyakit Covid-19 yang sangat parah (Hui et al., 2020) dan identifikasi radiografi klinis pada pasien usia 15-50 tahun yang diprediksi terpapar penyakit Covid-19 (Toussie et al., 2020).

Penggunaan *software Image-J* dalam analisis digital foto toraks telah banyak digunakan dalam dunia kesehatan dan biologi (Schindelin et al., 2015). *Software Image-J* merupakan pemrosesan gambar milik publik yang terinspirasi dari NIH (*National Institutes of Health*) citra yang dikembangkan oleh RSB (*Research Service Branch*) dari NIMH (*National Institute of Mental Health*) (Schneider et al., 2012). Penggunaan *software Image-J* bertujuan menampilkan, menganalisis, memproses, menyimpan dan mencetak gambar. *Software* tersebut dapat mengukur jarak dan sudut serta mengalkulasi *area* dan *fixel*. Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kualitas citra foto toraks pasien Covid-19 menggunakan pesawat *Digital Radiography* (DR) pada variasi tegangan tabung (kV) dengan metode analisis histogram dan FFT (*Fast Fourier Transform*) menggunakan *software Image-J*.

## METODE

Penelitian ini dilakukan di Rumah Sakit Umum Majene Sulawesi Barat bagian Instalasi Radiologi menggunakan data sekunder pemeriksaan radiografi *Chest Posterior Anterior* (PA). Metode penelitian menggunakan variabel bebas eksposi pada tegangan tabung (kV) dan variabel terikat (kualitas kontras) radiografi berupa derajat keabuan (*gray scale*) pada pemeriksaan radiografi pasien Covid-19 sebanyak 9 orang (Tabel 1).

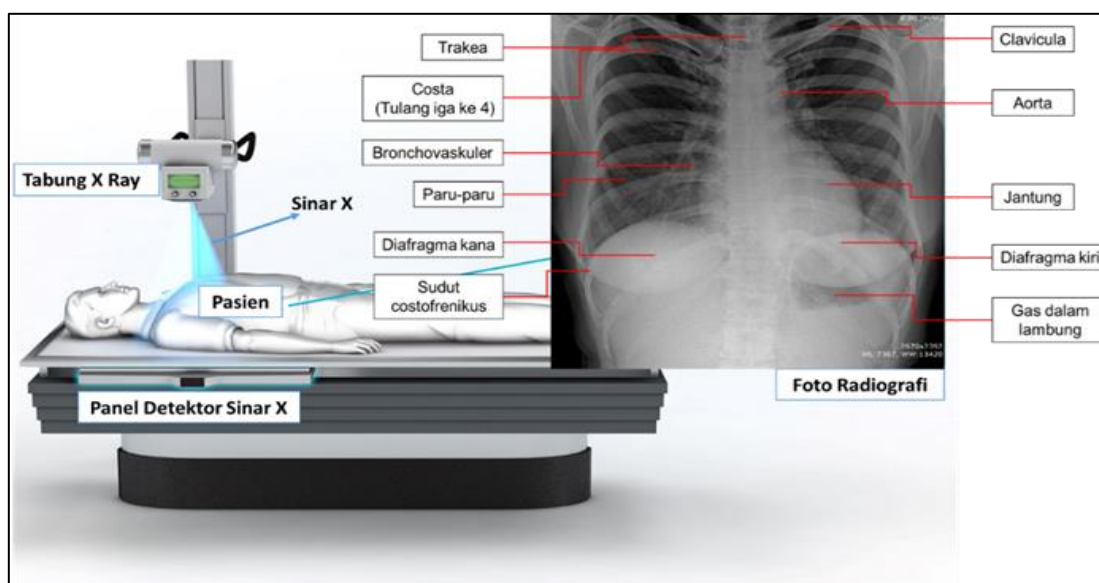
Pengaturan parameter eksposi dan jumlah populasi yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1. Variasi nilai tegangan tabung (kV) sinar -X adalah 45 kV, 46 kV, 47 kV, 48 kV, 50 kV, 52 kV, 53 kV, 55 kV dan 57 kV, sedangkan nilai arus listrik yang digunakan adalah 8 mAs untuk semua populasi sebanyak 9 pasien Covid-19. Gambar 1 adalah ilustrasi pengambilan citra foto radiografi pada pasien Covid-19. Metode dan prosedur foto rontgen pasien covid-19. Menentukan jenis pemeriksaan foto toraks (menggunakan *Chest Posterior Anterior*). Pasien berada

dalam keadaan terbaring di atas meja pemeriksaan di bawah detektor sinar -X. Sinar -X dipancarkan ke arah film melalui punggung (*posterior*) pasien, *region anterior* (perut) ditempelkan pada film. Pasien menarik napas dalam-dalam pada saat sinar -X ditembakkan agar rongga dada (*thorax*) dapat mengembang secara maksimal, diafragma akan terdorong ke rongga perut (*abdomen*) sehingga dapat dihasilkan gambaran paru atau jantung seperti aslinya.

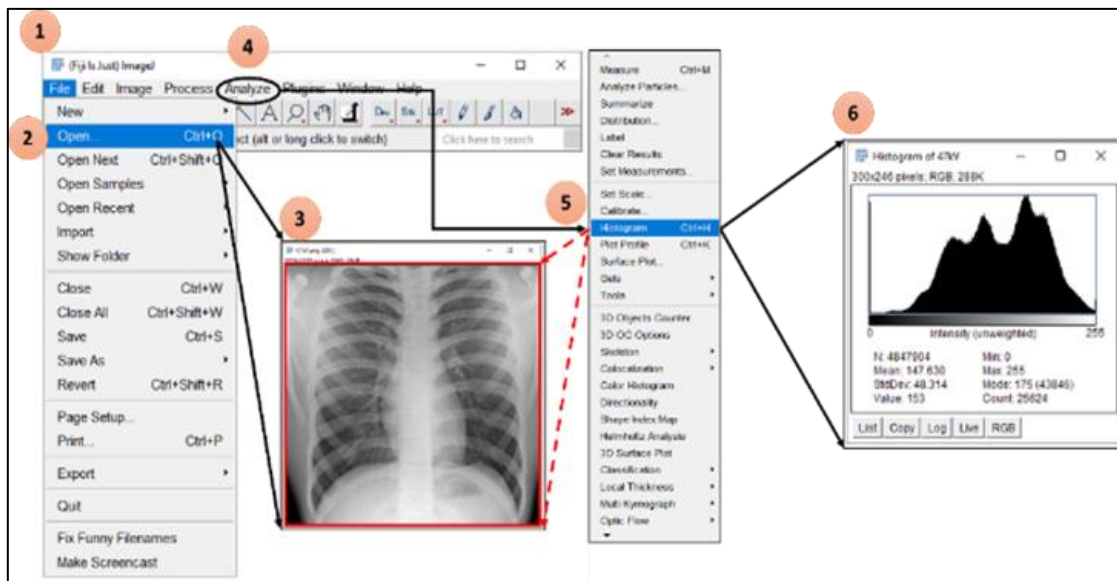
**Tabel 1.** Populasi dan parameter eksposi pasien Covid-19.

| No | Jenis Kelamin | Usia (Tahun) | Parameter Eksposi    |                         |
|----|---------------|--------------|----------------------|-------------------------|
|    |               |              | Tegangan Tabung (kV) | Kuat Arus Listrik (mAs) |
| 1  | Wanita        | 38           | 45                   | 8                       |
| 2  | Wanita        | 21           | 46                   |                         |
| 3  | Laki-Laki     | 16           | 47                   |                         |
| 4  | Wanita        | 39           | 48                   |                         |
| 5  | Wanita        | 34           | 50                   |                         |
| 6  | Laki-laki     | 29           | 52                   |                         |
| 7  | Laki-Laki     | 30           | 53                   |                         |
| 8  | Laki-Laki     | 33           | 55                   |                         |
| 9  | Laki-Laki     | 42           | 57                   |                         |

Metode analisis histogram derajat keabuan akan diperoleh informasi tentang distribusi intensitas derajat keabuan citra berdasarkan distribusi *gray level*. Analisis yang dilakukan berdasarkan parameter-parameter visualisasi citra dan histogram derajat keabuan. **Gambar 2** adalah langkah-langkah dalam menggunakan *software Image-J* untuk menentukan derajat keabuan berdasarkan variasi nilai tegangan tabung (kV) tabung sinar-X. 1) Membuka aplikasi *software* tersebut. 2) Memilih menu *file* dan memasukkan *file* foto radiografi. 3) *File* foto radiografi yang telah masuk ke dalam *software* dianalisis dengan cara memilih menu *Analyze* pada aplikasi. 4) Memilih menu *Analyze* kemudian memilih analisis *Histogram*. 5) Pada menu histogram, maka akan tampil grafik histogram. 6) Grafik histogram tampil berdasarkan data intensitas derajat keabuan (0-225).

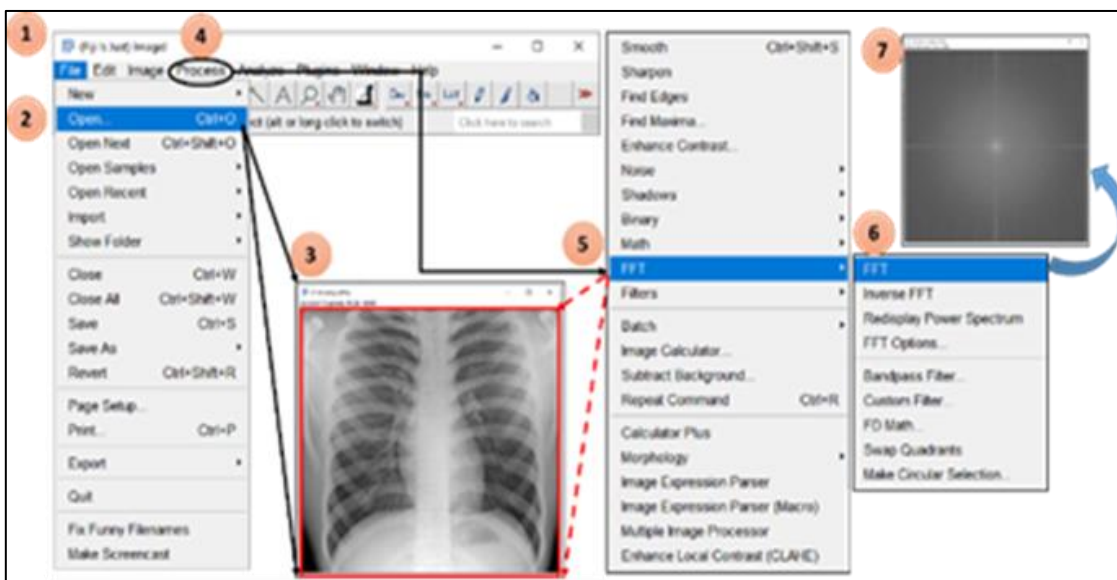


**Gambar 1.** Ilustrasi metode pengambilan citra radiografi pasien Covid-19.



**Gambar 2.** Metode analisis histogram berdasarkan intensitas derajat keabuan citra radiografi menggunakan *software image-J*.

**Gambar 3** metode analisis citra FFT dengan menahan tombol perintah sambil membuat seleksi dengan alat seleksi persegi panjang. 1) Membuka aplikasi *software image-J*. 2) Memilih menu file foto radiografi. 3) File foto radiografi siap di analisis dengan memilih *Process* pada aplikasi. 4) Memilih menu *Process* untuk menampilkan FFT. 5) Memilih menu FFT untuk menampilkan pilihan analisis citra radiografi. 6) Memilih menu FFT untuk analisis citra radiografi. 7) Citra FFT pada *software image-J*.



**Gambar 3.** Metode analisis FFT citra radiografi menggunakan *software image-J*.

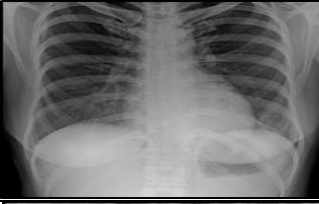
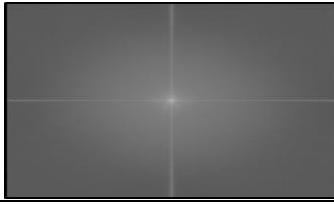
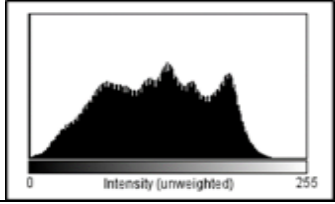

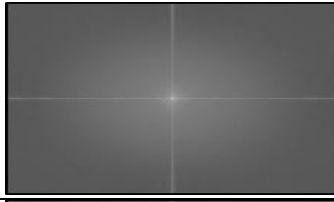
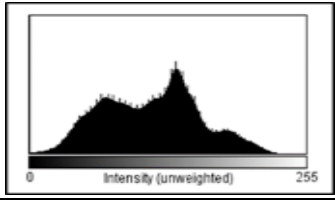
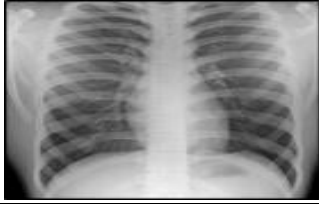
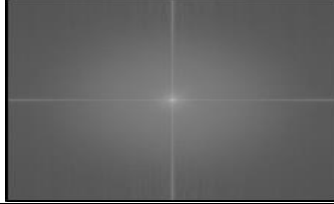
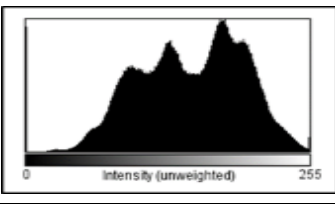


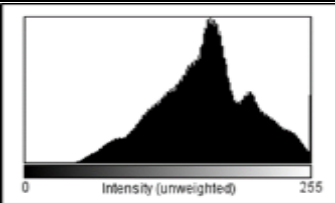

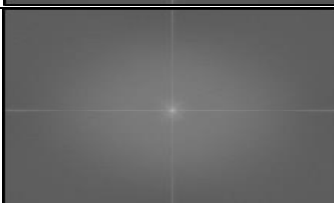
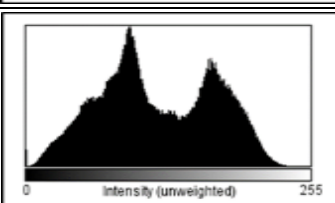
Pengolahan data citra radiografi yang dihasilkan melalui proses foto *Rontgen* (foto radiografi) dalam format DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*) dengan tipe file 8-bit. Kualitas citra tersebut dianalisis menggunakan aplikasi *software Image-J*. Analisis citra meliputi analisis histogram dan FFT. Analisis histogram dapat diketahui dengan melihat tingkat kecerahan

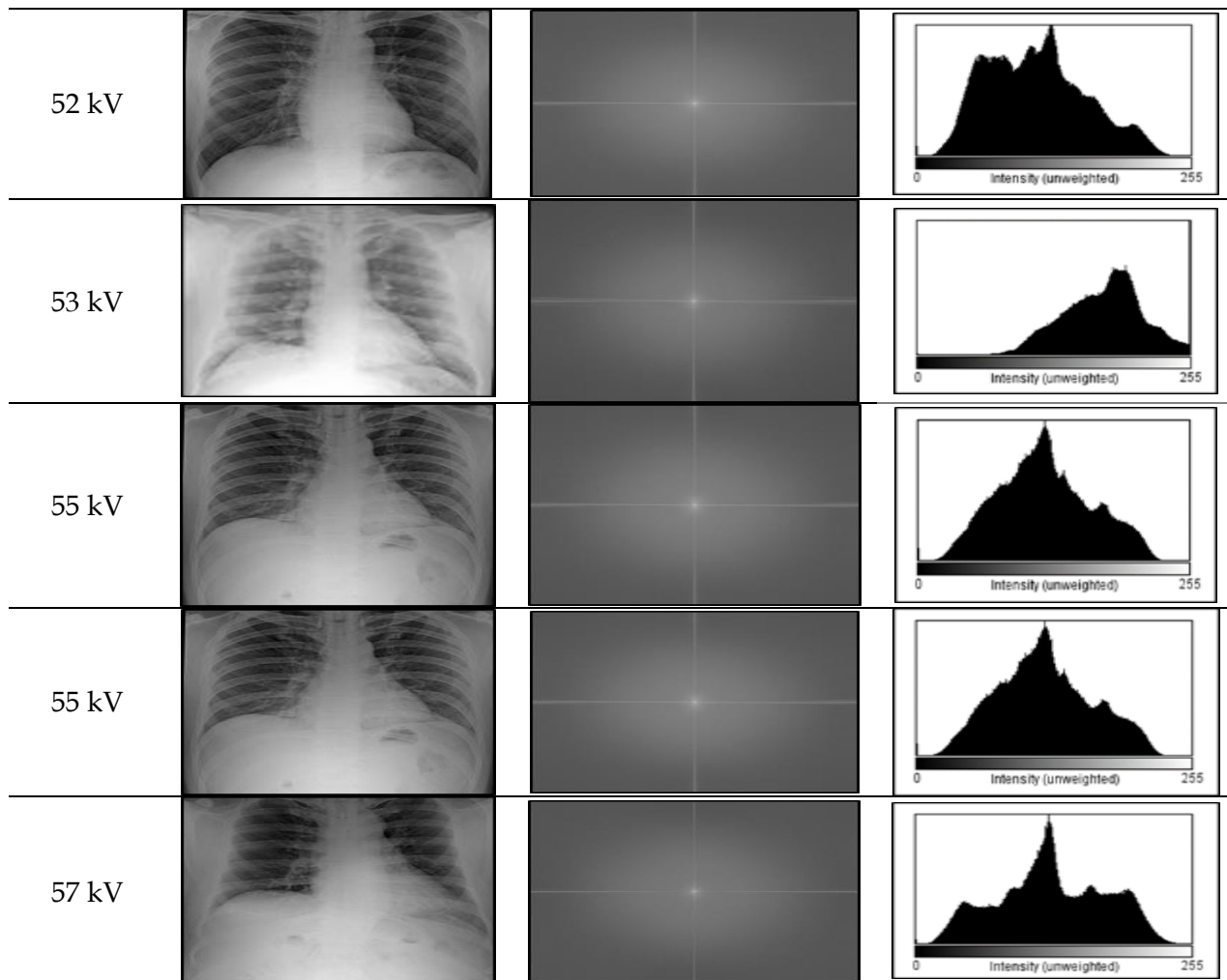
kontras citra radiografi (Qassim et al., 2019). Analisis FFT dapat diketahui dengan melihat karakteristik citra asli radiografi (Taylor et al., 2013).

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Histogram adalah grafik yang menampilkan intensitas warna pada suatu gambar menggunakan *software Image-J*. Gambar pada Tabel 2 menunjukkan beberapa foto rontgen dada pasien Covid-19 sebelum praperawatan. Tabel ini berisi gambar FFT dan histogram berdasarkan berbagai sumber tegangan (kV). Setiap nilai tegangan mewakili nilai intensitas (0 hingga 255) dalam skala dari minimum hingga maksimum. Histogram merupakan representasi visual sebaran data piksel rontgen dada dalam skala abu-abu 0 hingga 255 derajat abu-abu. Seluruh gambar rontgen dada pasien Covid-19 menunjukkan pola histogram yang berbeda-beda. Gambar rontgen dada pasien Covid-19 memiliki gambaran yang kabur karena histogram pasien Covid-19 memiliki pola sebaran yang tidak merata dan hanya tertangkap pada tingkat abu-abu tengah atau atas pada sumbu X tersebut untuk menampilkan citra radiografi.

Tabel 2. Variasi tegangan terhadap hasil citra radiografi toraks pasien Covid-19.

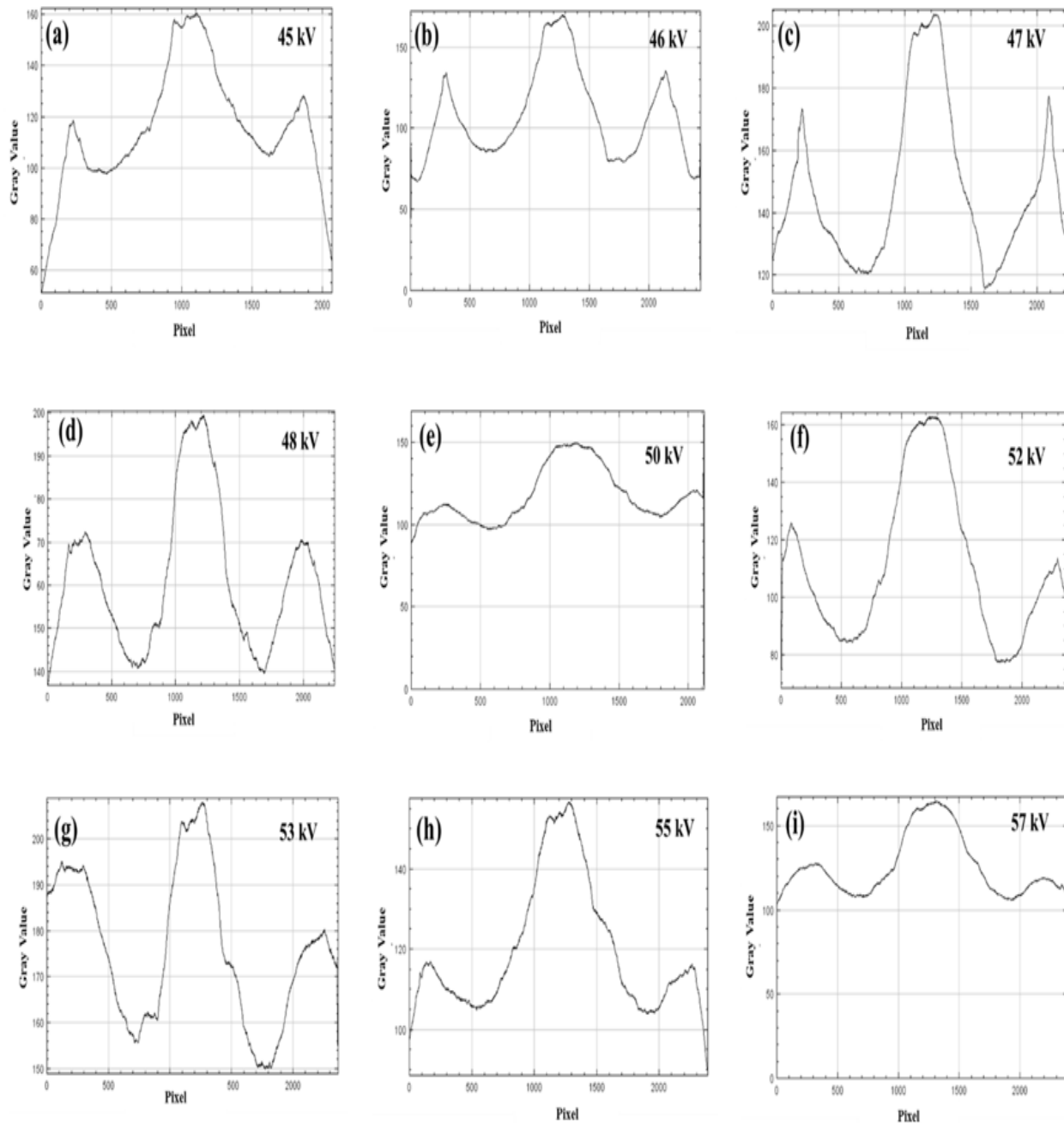
| Tegangan Tabung | Citra Radiografi Toraks Covid-19  | FFT  | Histogram   |
|-----------------|---|--|---|
| 45 kV           |   |   |   |
| 46 kV           |  |  |  |
| 47 kV           |  |  |  |
| 48 kV           |  |  |  |
| 50 kV           |  |  |  |



Tabel 2 menunjukkan grafik histogram pada masing-masing variasi tegangan dimana semua citra yang dihasilkan memiliki grafik histogram tidak terdistribusi merata pada setiap intensitas. Berdasarkan analisis histogram, maka tegangan tabung yang digunakan sebaiknya menggunakan tegangan yang minimum.

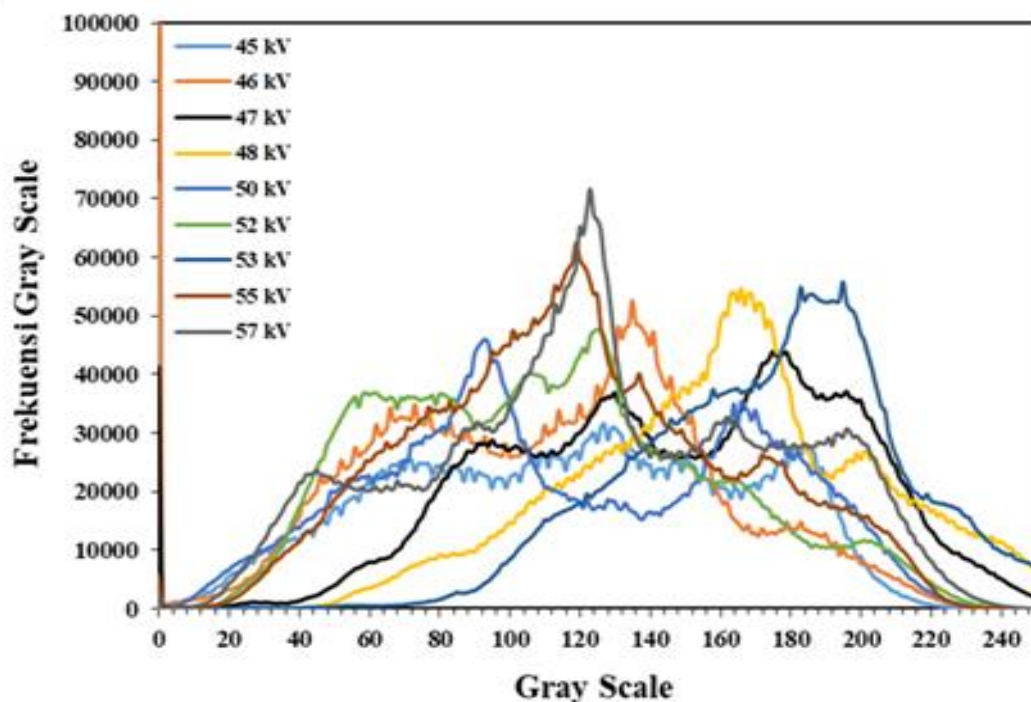
Histogram adalah grafik yang mewakili distribusi nilai intensitas piksel dalam hal kecerahan dan kontras pada suatu gambar. Puncak pada histogram menunjukkan intensitas piksel yang menonjol dan lebar puncak menunjukkan rentang kontras gambar (Li et al., 2022). Grafik histogram menunjukkan apakah gambar gelap atau terang. Jika grafik histogram terkonsentrasi pada area terkecil, maka gambar menjadi gelap. Namun, jika grafik histogram mendominasi pada rentang maksimum, maka gambar akan cerah. Citra yang baik diperoleh jika histogram memenuhi seluruh wilayah skala abu-abu dan intensitas setiap piksel merata (Gambar 4).

Nilai pixel citra ditentukan sesuai dengan grafik pixel terhadap *gray scale* (*gray value*) yang merupakan standar nilai pixel pengukuran. Gambar 5 terlihat distribusi nilai pixel berdasarkan tegangan tabung sinar -X. Nilai pixel citra mencapai nilai terendah pada Gambar 4(h) dengan nilai pixel dibawa 150 dan meningkat pada Gambar 4(g) dengan nilai diatas 200. Menurunnya nilai piksel disebabkan adanya perbedaan kerapatan gambar akibat perbedaan ketebalan objek. Benda yang lebih tebal akan mengurangi massa jenisnya dan nilainya menurun. Histogram pada Gambar 4 merupakan representasi visual sebaran data piksel *rontgen* dada pada skala abu-abu 0 hingga 255 derajat abu-abu.



**Gambar 4.** Distribusi nilai abu-abu (*gray scale*) terhadap intensitas pixel pada tegangan tabung sinar-X (kV) yang berbeda (a) 45 kV, (b) 46 kV, (c) 47 kV, (d) 48 kV, (e) 50 kV, (f) 52 kV, (g) 53 kV, (h) 55 kV dan (i) 57 kV.

Foto rontgen dada pasien Covid-19 memiliki pola histogram yang berbeda-beda berdasarkan frekuensi skala abu-abu ([Gambar 5](#)). Gambar rontgen dada pasien Covid-19 tampak buram karena histogramnya memiliki pola sebaran yang tidak merata. Puncak pada histogram menunjukkan intensitas piksel yang menonjol, dan lebar puncak menunjukkan rentang kontras gambar. Dapat menggunakan bagan histogram untuk mengidentifikasi apakah suatu gambar gelap atau terang. Jika grafik histogram dominan menempati area terkecil, maka gambar akan menjadi gambar gelap jika grafik histogram dominan menempati area terluas, maka gambar akan menjadi gambar terang. Citra yang baik adalah citra yang histogramnya memenuhi seluruh wilayah skala abu-abu dan intensitas setiap pikselnya terdistribusi secara merata ([Xiong et al., 2021](#)).



Gambar 5. Grafik histogram frekuensi dengan variasi tegangan dan gray scale.

Histogram citra pada tegangan tabung 45 kV, 46 kV, 47 kV, 48 kV, 50 kV, 52 kV, 53 kV, 55 kV dan 57 kV memiliki rentang distribusi *gray level* yang lebih sempit dibandingkan dengan tegangan standar (Tabel 3). Kurva histogramnya antara *background* dan objek tidak dapat dibedakan serta citra terlihat objeknya lebih mendominasi seakan-akan terlihat lebih besar sehingga tidak bisa memberikan informasi tentang objek. Objek tidak dapat diamati dengan jelas karena posisi *background* dan objek menyatu. Hal ini disebabkan, besarnya tegangan tabung yang mengakibatkan radiasi hambur besar sehingga hamburannya melebar ke segala arah. Tabel 3 menunjukkan nilai intensitas abu-abu maksimum untuk setiap perubahan tegangan, dan plot histogram yang dihasilkan seluruh gambar tidak merata pada setiap intensitas. Citra sinar-X yang dihasilkan masih berupa gambar yang belum lengkap karena intensitas pikselnya tidak terdistribusi. Berdasarkan analisis histogram, tegangan tabung minimal yang digunakan sebaiknya 45 kV karena histogram yang dihasilkan pada gambar sinar-X tidak berubah secara signifikan pada paparan radiasi rendah.

Tabel 3. Hasil analisis histogram menggunakan *software image-J*.

| Tegangan Tabung (kV) | Rata-rata (Mean) | STD  | Distribusi Gray Level |      | Intensitas Gray Level Tertinggi |
|----------------------|------------------|------|-----------------------|------|---------------------------------|
|                      |                  |      | Min.                  | Max. |                                 |
| 45                   | 115,173          | 50,5 | 0                     | 246  | 129 (30737)                     |
| 46                   | 107,556          | 49,6 | 0                     | 255  | 138 (48295)                     |
| 47                   | 147,630          | 48,3 | 0                     | 255  | 177 (43287)                     |
| 48                   | 161,236          | 42,4 | 28                    | 255  | 168 (53859)                     |
| 50                   | 117,561          | 51,6 | 0                     | 248  | 94 (45183)                      |
| 52                   | 110,976          | 45,8 | 0                     | 255  | 127 (46449)                     |
| 53                   | 176,297          | 39,5 | 0                     | 255  | 196 (52509)                     |
| 55                   | 119,228          | 44,0 | 0                     | 246  | 119 (62531)                     |
| 57                   | 125,552          | 50,0 | 0                     | 255  | 123 (71664)                     |

## KESIMPULAN

Citra radiografi toraks yang diperoleh dengan analisis FFT cenderung bervariasi dari tegangan tabung rendah (*low-kV*) hingga tegangan tabung tinggi (*high-kV*), yaitu dari 45 kV hingga 57 kV. Citra foto toraks yang dihasilkan dari analisis histogram tergolong gambar tidak lengkap karena distribusi pikselnya tidak terdistribusi seluruhnya pada rentang skala abu-abu dari seluruh perubahan paparan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ariza, R., Messah, A. D., Sinaga, F., Wahyudi, A., Pratama, S. A., & Annisa, I. (2020). Korelasi gambaran radiografi toraks dengan karakteristik klinis pasien terkonfirmasi covid-19. *ARTERI: Jurnal Ilmu Kesehatan*, 2(1), 15-22. <https://doi.org/10.37148/arteri.v2i1.140>
- Darmayanti, D., & Armajin, L. (2021). Karakteristik Hasil Foto Thorax Penderita Dengan Klinis Pneumonia Covid 19 Di Rsd Kota Tidore Kepulauan. *Kieraha Medical Journal*, 3(2), 90-97. <https://doi.org/10.33387/kmj.v3i2.3951>
- Giraud, C., Cavaliere, A., Fichera, G., Weber, M., Motta, R., Pelloso, M., Tosato, F., Lupi, A., Calabrese, F., Carretta, G., Cattelan, A. M., De Conti, G., Cianci, V., Navalesi, P., Plebani, M., Rea, F., Vettor, R., Vianello, A., & Stramare, R. (2020). Validation of a composed COVID-19 chest radiography score: The CARE project. *ERJ Open Research*, 6(4), 00359-02020. <https://doi.org/10.1183/23120541.00359-2020>
- Hui, T. C. H., Khoo, H. W., Young, B. E., Haja Mohideen, S. M., Lee, Y. S., Lim, C. J., Leo, Y. S., Kaw, G. J. L., Lye, D. C., & Tan, C. H. (2020). Clinical utility of chest radiography for severe COVID-19. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, 10(7), 1540-1550. <https://doi.org/10.21037/qims-20-642>
- Li, C., Zhu, J., Bi, L., Zhang, W., & Liu, Y. (2022). A low-light image enhancement method with brightness balance and detail preservation. *PLOS ONE*, 17(5), e0262478. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262478>
- Qassim, H. M., Basheer, N. M., & Farhan, M. N. (2019). Brightness preserving enhancement for dental digital X-ray images based on entropy and histogram analysis. *Journal of Applied Science and Engineering*, 22(1), 187-194. [https://doi.org/10.6180/jase.201903\\_22\(1\).0019](https://doi.org/10.6180/jase.201903_22(1).0019)
- Schindelin, J., Rueden, C. T., Hiner, M. C., & Eliceiri, K. W. (2015). The ImageJ ecosystem: An open platform for biomedical image analysis. *Molecular Reproduction and Development*, 82(7-8), 518-529. <https://doi.org/10.1002/mrd.22489>
- Schneider, C. A., Rasband, W. S., & Eliceiri, K. W. (2012). NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods*, 9(7), 671-675. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2089>
- Susilo, A., Rumende, C. M., Pitoyo, C. W., Santoso, W. D., Yulianti, M., Herikurniawan, H., Sinto, R., Singh, G., Nainggolan, L., Nelwan, E. J., Chen, L. K., Widhani, A., Wijaya, E., Wicaksana, B., Maksum, M., Annisa, F., Jasirwan, C. O. M., & Yuniastuti, E. (2020). Coronavirus Disease 2019: Tinjauan Literatur Terkini. *Jurnal Penyakit Dalam Indonesia*, 7(1), 45. <https://doi.org/10.7454/jpdi.v7i1.415>
- Taylor, S. E., Cao, T., Talauliker, P. M., & Lifshitz, J. (2013). Objective Morphological Quantification of Microscopic Images Using a Fast Fourier Transform (FFT) Analysis. *Current Protocols Essential Laboratory Techniques*, 7(1). <https://doi.org/10.1002/9780470089941.et0905s07>
- Toussie, D., Voutsinas, N., Finkelstein, M., Cedillo, M. A., Manna, S., Maron, S. Z., Jacobi, A., Chung, M., Bernheim, A., Eber, C., Concepcion, J., Fayad, Z. A., & Gupta, Y. S. (2020). Clinical and

Chest Radiography Features Determine Patient Outcomes in Young and Middle-aged Adults with COVID-19. *Radiology*, 297(1), E197–E206.  
<https://doi.org/10.1148/radiol.2020201754>

Xiong, J., Yu, D., Wang, Q., Shu, L., Cen, J., Liang, Q., Chen, H., & Sun, B. (2021). Application of Histogram Equalization for Image Enhancement in Corrosion Areas. *Shock and Vibration*, 2021, 1-13. <https://doi.org/10.1155/2021/8883571>