

**IMPLEMENTASI NOISE REMOVAL DAN IMAGE
RESTORATION PADA CITRA KABUR (BLUR) DENGAN
MENGUNAKAN METODE LUCY – RICHARDSON
ALGORIHM TECHNIQUES**

**IMPLEMENTATION OF NOISE REMOVAL AND IMAGE RESTORATION
IN BLUR IMAGE USING THE LUCY METHOD - RICHARDSON
ALGORIHM TECHNIQUES**

Dicky Rachmat Fauzi¹, Anggunmeka Luhur Prasasti², Ashri Dinimaharawati³

^{1,2,3} Universitas Telkom, Bandung

¹dickyrachmatfauzi@student.telkomuniversity.ac.id,

²aggunmeka@telkomuniversity.ac.id, ³ashridini@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Dengan popularitas kamera *digital*, pemrosesan foto *digital* jadi semakin penting. Salah satu permasalahan sangat *universal* dalam fotografi *digital* yakni *out of focus* yang menyebabkan hasil gambar *blur*. Salah satu algoritma dekonvolusi yang populer dalam memecahkan kasus konvolusi yaitu algoritma *Lucy Richardson*. Riset ini akan mengimplementasikan algoritma *Lucy Richardson* untuk *noise removal* serta *image restoration*. *Lucy Richardson* bisa memulihkan citra dari citra yang *blur*, tetapi terdapat artefak yang ada pada citra yang *blur*. Proses *deblurring* pada iterasi 1, 20, 40 menunjukkan *filter Lucy Richardson* dapat menghasilkan gambar yang buram pada iterasi 1, namun kinerja yang lebih baik akan didapatkan ketika jumlah iterasi sekitar 40 kali.

Kata kunci : *Image restoration; Lucy – Richardson Algorithm Techniques; Blur.*

Abstract

With the popularity of digital cameras, digital photo processing has become increasingly important. One of the most universal problems in digital photography is out of focus which causes blurry images. One of the popular deconvolution algorithms in solving convolutional cases is the Lucy Richardson algorithm. This research will implement the Lucy Richardson algorithm for noise removal and image restoration. Lucy Richardson can recover images from a blurry image, but there are artifacts that exist in the blurry image. The deblurring process in iterations 1, 20, 40 shows that the Lucy Richardson filter can produce blurry images in iteration 1, but better performance will be obtained when the number of iterations is about 40 times.

Keywords: *Image restoration; Lucy – Richardson Algorithm Techniques; Blur.*

1. Pendahuluan

Untuk meningkatkan kualitas citra yang terdegradasi menjadi kembali ke citra asli, teknologi yang terlibat adalah restorasi citra. Degradasi citra dapat diketahui atau tidak diketahui melalui metode. Sebuah teknik yang terlibat dalam pemrosesan untuk memulihkan *file* gambar asli dari bentuk yang terdegradasi, fungsi degradasi sering diistilahkan sebagai *Point Spread Function* (PSF) [1]. Metode peningkatan gambar yang digunakan tidak dapat mengatasi semua masalah *blur*, sehingga dalam implementasinya harus menggunakan banyak sampel untuk mengetahui hasilnya.

Dalam banyak permasalahan pada pengambilan foto, yang timbul dari faktor-faktor yang berbeda seperti gerak benda, lensa kamera *out-of-focus*, dan kamera goyang. Kualitas foto tidak bisa diandalkan sebab dampak yang diakibatkan oleh *noise* ataupun *blur* yang diakibatkan oleh sebagian aspek. dalam pengolahan citra digital memindahkan suatu informasi citra dari *domain* spasial kedalam *domain* frekuensi, yaitu dengan merepresentasikan citra spasial sebagai

magnitude dan *phase*. *Magnitude* merepresentasikan seberapa banyak komponen frekuensi dalam citra tersebut. Sedangkan *phase* merepresentasikan letak dimana frekuensi tersebut dalam citra tersebut [2].

Berdasarkan permasalahan yang diatas, akan dibuat aplikasi yang bisa memperbaiki citra *blur* dengan mengimplementasikan algoritma untuk *noise removal* dan *image restoration*. Dalam penelitian ini aplikasi akan mengolah citra dengan metode *Lucy Richardson*. Diharapkan metode yang digunakan dapat merestorasi citra yang diuji dengan baik.

2. Dasar Teori

2.1 Definisi Image Processing

Pengolahan Citra *Digital (Digital Image Processing)* adalah metode untuk mengubah gambar menjadi bentuk *digital* dan melakukan beberapa operasi di atasnya, untuk mendapatkan gambar yang disempurnakan atau untuk mengekstrak beberapa informasi yang berguna darinya [3]. *Image processing* atau pengolahan citra merupakan salah satu pengolahan sinyal dengan *input* berupa gambar (*image*) dan *output* gambar yang sudah ditransformasikan dengan teknik tertentu. Pengolahan citra ada berbagai macam proses, seperti *sampling*, kuantisasi, dan *noise*.

2.2 Image Enhancement

Image enhancement adalah salah satu proses awal dalam citra pengolahan. Peningkatan citra berfungsi untuk meningkatkan kualitas. dari gambar yang ada. Beberapa proses yang termasuk dalam bagian peningkatan gambar termasuk perubahan kecerahan gambar, peningkatan kontras, peregangan kontras, *histogram* gambar konversi, pelunakan gambar, penajaman, deteksi tepi, pemerataan *histogram* dan alterasi *geometric* [4]. *Image enhancement* memiliki banyak metode, mulai dari metode penyaringan, metode *histogram*, metode dengan banyak algoritma bahkan penggabungan beberapa metode untuk menghasilkan perbaikan gambar yang sangat baik [5].

2.3 Blur Image

Gambar *blur* sangat umum pada pengambilan foto, yang timbul dari faktor-faktor yang berbeda seperti gerak benda, lensa kamera *out-of-focus*, dan kamera goyang [6]. Dalam banyak kasus itu tidak diinginkan, ketika daerah-daerah penting terpengaruh dan menjadi kurang tajam. sementara dalam kasus lain sering diinginkan, ketika latar belakang buram untuk membuat subjek keluar, atau gerakan *blur* ditambahkan untuk memberikan foto terlihat artistik.

2.3.1 Gaussian Blur

Blur yang disimulasikan dengan fungsi *Gaussian*. Efek *gaussian blur* yang dihasilkan melalui filter yang mengikuti kurva berbentuk lonceng dengan menyatukan jumlah piksel yang pasti secara bertahap. Jenis *blur* seperti itu tidak bisa ditembus di tengah dan di tepi sisi buram akan mengembang [7].

2.3.2 Motion Blur

Motion Blur [8] bisa terjadi karena disebabkan oleh gerakan relatif antara kamera dan pemandangan selama waktu pencahayaan.

2.3.3 Defocus Blur

Defocus Blur [8] terjadi dikarenakan sistem pencitraan optik, *defocus blur* digunakan untuk membuat *background* foto menjadi *blur* dan memunculkan *object* utama menggunakan lensa besar.

2.3.4 Average Blur

Average Blur bisa menyebar didalam dua arah (*Horizontal, Vertical*), *Average Filter* akan menghapus jenis *blur* dan itu akan berguna ketika *noise* mempengaruhi seluruh gambar [7].

2.4 Noise

JPEG (Joint Photographic Experts Group) adalah format gambar standar yang berisi data gambar lossy dan terkompresi. Hampir setiap kamera digital dapat menyimpan citra menggunakan format ini. Meskipun ada pengurangan besar dalam ukuran file, gambar JPEG mempertahankan kualitas gambar yang wajar. Fitur kompresi unik ini memungkinkan file JPEG digunakan secara luas di Internet, Komputer, dan Perangkat Seluler [9].

2.5 PSF (Point Spread Function)

Point spread function (PSF) deconvolution adalah teknik yang digunakan dalam banyak

aplikasi pencitraan untuk setidaknya membalikkan sebagian efek dari noda tersebut. PSF menjelaskan respons sistem optik ke sumber titik, oleh karena itu PSF harus ditentukan untuk pengaturan pencitraan dan jenis sampel tertentu. Jika PSF sebenarnya diketahui maka gambar yang diukur dapat dikembalikan melalui dekonvolusi. Ada beberapa metode untuk menentukan PSF untuk sistem pencitraan tertentu dan teknik ekstraksi yang berbeda dapat menyebabkan variasi dalam hasil PSF [10].

2.6 Spatial Domain Filters

Domain spasial merujuk pada gambar bidang itu sendiri, dan pendekatan dalam kategori ini didasarkan pada manipulasi langsung dari piksel dalam gambar [11]. Dalam Teknik *domain spatial*, Nilai-nilai piksel yang dimanipulasi untuk mencapai peningkatan yang diinginkan.

2.6.1 Max Filter

Max Filter memainkan peran kunci dalam pengolahan citra tingkat rendah dan bayangan. Hal ini identik dengan operasi morfologi matematika. Nilai tingkat abu-abu piksel paling terang diidentifikasi oleh *filter* ini. *Max Filter* telah diterapkan oleh banyak peneliti untuk menghapus *pepper noise*.

2.6.2 Min Filter

Min Filter memainkan peran penting dalam pengolahan citra dan bayangan. Ini terlihat dari nilai abu-abu piksel paling gelap dan mempertahankannya dengan melakukan operasi *Min Filter*. ini diusulkan untuk menghilangkan *salt noise* dari gambar. *Salt noise* memiliki nilai yang sangat tinggi dalam gambar.

2.6.3 Median Filter

Hal ini biasa disebut sebagai *median* dari semua piksel di wilayah lokal dari suatu gambar. Ia melakukan jauh lebih baik daripada aritmatika *Mean Filter* dalam menghilangkan *salt and pepper noise* dari gambar dan dalam mempertahankan *detail* yang terkandung dalam gambar [12].

2.7. Frequency Domain Filters

Filter domain frekuensi efektif untuk pemulihan gambar yang rusak oleh gangguan berskala [13]. Piksel dari detail gambar dipertimbangkan dan berbagai prosedur dan langsung diterapkan pada piksel ini. Fungsi pemrosesan gambar dalam *domain* spasial dapat diekspresikan sebagai berikut :

$$g(x,y)=T[f(x,y)] \quad (1)$$

Domain frekuensi dapat dideskripsikan juga sebagai Perubahan posisi gambar yang sebelumnya pada *domain* spasial kemudian mengubahnya ke *domain* frekuensi. Secara proses akan merubah Nilai intensitas citra mana yang berubah pada citra *domain* spasial [14]. Untuk mendapatkan gambar asli lagi, menggunakan *Inverse Fourier Transform*. Karena perkalian pada ruang *Fourier* sama dengan konvolusi pada domain spasial, secara teoritis semua *filter* transformasi *Fourier* dapat diimplementasikan sebagai filter spasial, walaupun pada kenyataannya fungsi *filter domain Fourier* hanya dapat diimplementasikan oleh *domain* spasial [15].

2.8. Image Restoration

Restorasi Gambar adalah proses mengembalikan gambar asli dari gambar yang terdegradasi dan mengetahui tentang faktor-faktor apa saja yang menyebabkan gambar tersebut dapat terdegradasi [16]. Bentuk yang diubah dapat muncul dalam berbagai bentuk seperti *blur*, *noise*, yang diakibatkan oleh kamera yang kehilangan fokus. restorasi citra digital adalah bidang teknik yang mempelajari metode yang digunakan untuk memulihkan gambar asli dari gambar yang terdegradasi.

2.9. Metode Lucy Richardson

Image Restoration dibagi menjadi 2 *blind deconvolution* dan *non blind deconvolution*. Dalam *PSF non-butu*. *Richardson-Lucy* adalah teknik paling populer di bidang astronomi dan pencitraan medis. Alasan popularitasnya adalah kemampuannya untuk menghasilkan gambar rekonstruksi dengan kualitas yang baik dengan adanya tingkat kebisingan yang tinggi. *Lucy Richardson* adalah metode iteratif nonlinier. Metode ini lebih diterima daripada metode linier karena hasil yang lebih baik diperoleh di sini. Transformasi *Fourier* terbalik dari *Optical Transfer Function (OTF)* dalam *domain* frekuensi adalah *PSF*, di mana *OTF* memberikan sistem invarian posisi linier sebagai respons terhadap impuls. [17].

William Richardson dan Leon Lucy, menemukan LR yang merupakan prosedur *iterative* (berulang) untuk memulihkan gambar laten (tidak terlihat) yang telah dikaburkan oleh *PSF* yang diketahui. Dalam kasus ini, *PSF* diidentifikasi tetapi tidak ada informasi yang tersedia untuk *noise* tersebut. Satu masalah utama dengan metode LR dasar adalah berapa kali proses tersebut harus berulang. Jika jumlah iterasi sangat besar maka akan memperlambat proses komputasi dan juga menimbulkan artefak (noda baru). Persamaan dari algoritma *Richardson-Lucy* adalah :

$$f^{k+1} = f^k \left[p \otimes \frac{g}{p \otimes f^k} \right] \quad (2)$$

dimana $f^{(k+1)}$ adalah gambar yang dipulihkan pada langkah ini, $f^{(k)}$ adalah gambar yang dipulihkan di langkah sebelumnya dan p^* adalah kebalikan dari p di sepanjang masing-masing dimensinya. Keunggulan utama dari algoritma ini adalah batas artefak gambar dan kurangnya informasi tentang jumlah *optimal* dari iterasi algoritma [18].

2.10 Penelitian sebelumnya

Terdapat sebagian referensi buat jadi tolak ukur buat menulis riset ini. Awal ialah *Paper* yang bertajuk "*Restoration of motion blurred image using Lucy Richardson*" yang ditulis oleh Abhilash Mahapatra, Muddasir Ahamad Faruquee, Pranaw Kumar. Pada *paper* ini disebutkan kalau *Lucy Richardson* masih memerlukan suatu tambahan untuk hasil yang lebih maksimal, hingga dari itu perlu kenaikan pada pengimplementasiannya.

3. Pembahasan

3.1 Sumber Data

Sumber informasi pada riset ini diperoleh dari kumpulan buku menimpa pemrograman *android*, pula berasal dari *e-book*, jurnal tentang riset terdahulu yang berkaitan dengan riset yang dicoba, dan dari dunia maya maupun internet.

3.2 Metode Pengumpulan Data

Ada pula tata cara pengumpulan informasi yang digunakan pada tugas akhir ini merupakan riset literatur, riset dokumentasi serta observasi.

3.2.1 Studi Literatur

Riset literatur merupakan tata cara pengumpulan informasi dengan metode menekuni perihal perihal yang berkaitan dengan riset yang dicoba semacam membaca buku ataupun harian. Tujuan penulis memakai tata cara riset literatur ialah buat mengumpulkan referensi yang berkaitan dengan riset yang hendak dilakukan.

3.2.2 Studi Dokumentasi

Dengan menekuni dokumentasi program seragam yang berbentuk *source code* buat digunakan selaku contoh dalam proses pembuatan fitur lunak.

3.2.3 Observasi

Ialah dengan mengamati proses secara langsung terhadap sebagian fitur lunak yang sejenis.

3.3 Instrumen Penelitian

Adapun instrumen penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah:

3.3.1 Perangkat Keras

- a. Laptop HP Asus ROG GL552JX, Intel Core-i7-4750HQ

b. Smartphone Android 10, Samsung A71 (Android Versi 10)

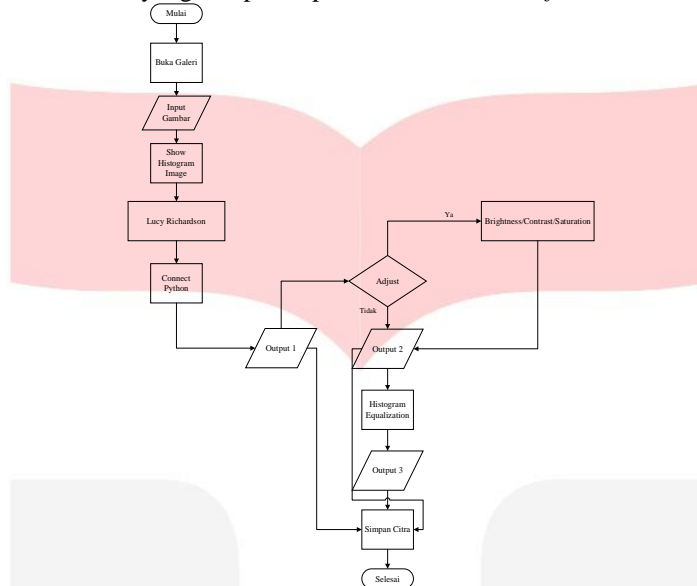
3.3.2 Perangkat Lunak

- a. Android Studio 3.6
- b. Android JDK
- c. Android SDK
- d. Android 10 Lollipop

3.4 Pemodelan Proses

3.4.1 Flowchart

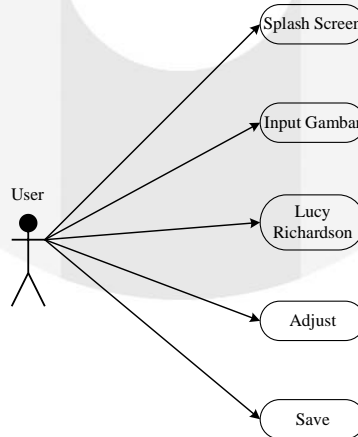
Flowchart yang ada pada aplikasi ini akan berisi *flowchart* sistem keseluruhan,



Gambar 3.1 Flowchart

3.4.2 Use Case Diagram

Use case diagram merupakan metode yang menjelaskan fungsi-fungsi proses pada sistem sehingga *user* dapat memahami sistem yang akan dibangun. Berikut ini merupakan *use case diagram* yang digunakan pada aplikasi ini:



Gambar 3.2 Use Case Diagram

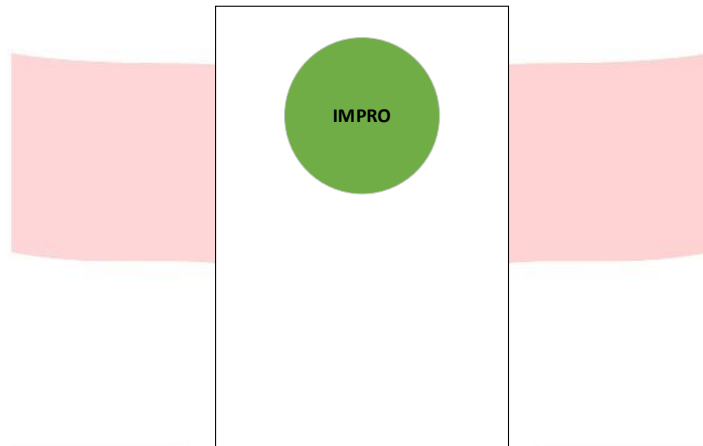
Pada gambar 3.3 terdapat beberapa fungsi yang dapat dilakukan oleh *user*. *User* dapat menginput gambar dengan mudah yang terdapat pada *gallery smartphone*. *User* juga dapat langsung mendapatkan hasil citra setelah di proses, lalu setelah di proses, *user* juga dapat menyimpan citra hasilnya.

3.5 Perancangan *User Interface*

Dalam perancangan sebuah aplikasi pastinya dibutuhkan *User Interface* (UI). *User Interface* adalah tampilan sebuah produk yang menjembatani sistem dengan pengguna. *User Interface* berfokus pada mengantisipasi apa yang mungkin dilakukan oleh pengguna dan memastikan bahwa sistem memiliki elemen yang mudah diakses, dipahami, dan digunakan. Berikut adalah tampilan *User Interface* pada aplikasi yang sudah dibuat:

3.5.1 Tampilan Awal Aplikasi

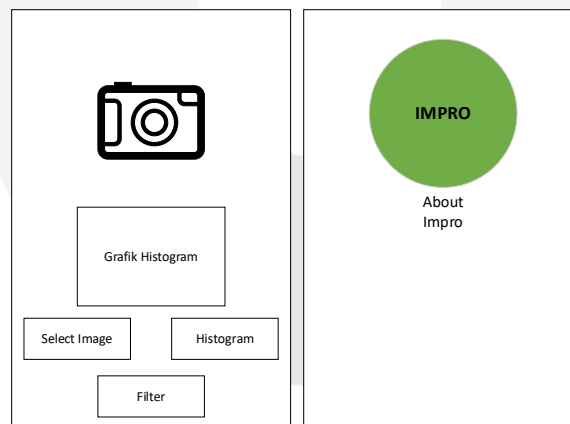
Rancangan *user interface* ketika aplikasi dibuka pertama kali oleh *user* adalah *splash screen* dan *logo* dan langsung menuju ke *user interface* kamera.



Gambar 3. 3 UI Splash Screen dan Logo

3.5.2 Tampilan Menu Beranda Aplikasi

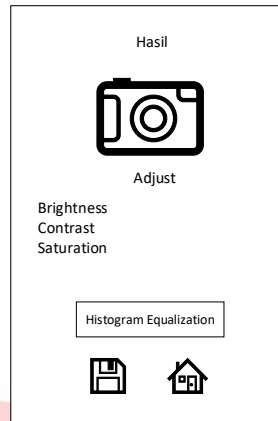
Rancangan *user interface* selanjutnya adalah *home*, dimana terdapat menu *capture* dan *about*. Di menu *capture* ini *user* melakukan *open gallery* untuk menginput gambar. Di menu *about* terdapat penjelasan tentang aplikasi dan *copyright*.



Gambar 3. 4 UI Home, Capture, dan About

3.5.3 Tampilan Menu Proses

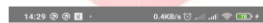
Pada *menu* ini, *user* akan memproses gambar menggunakan *filter*. Gambar proses akan ditampilkan dibawah gambar *original*. Setelah hasil gambar dari proses di tampilkan *user* dapat menyimpan hasilnya dengan menekan *button save photo*.



Gambar 3.5 *UI Proses*

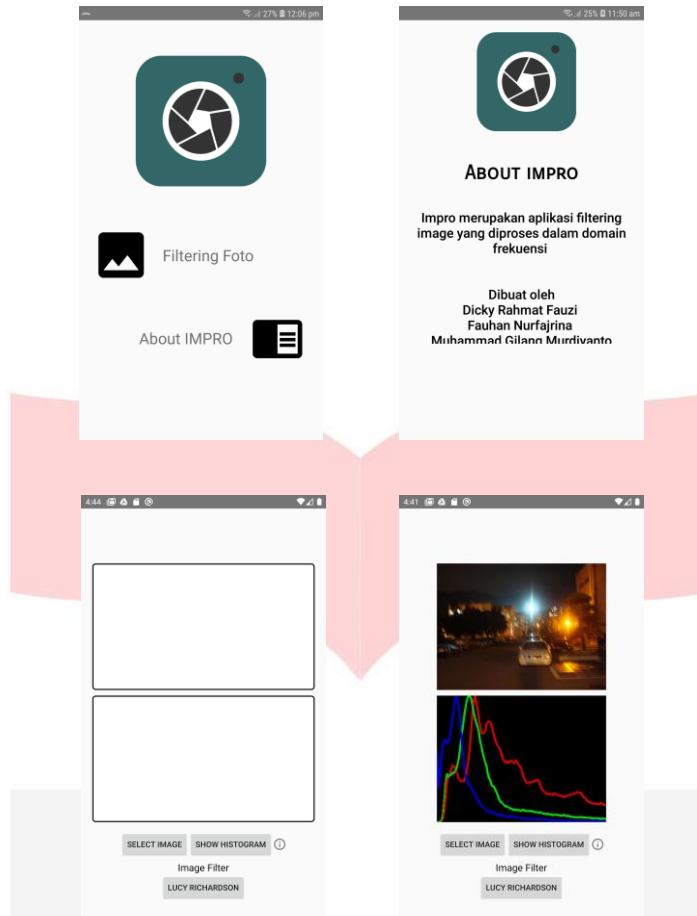
3.6 Implementasi *User Interface*

Berdasarkan Rancangan *User Interface* yang sudah ditampulkan pada bab 3 sub bab 3.5 maka didapatkan implementasi sebagai berikut:

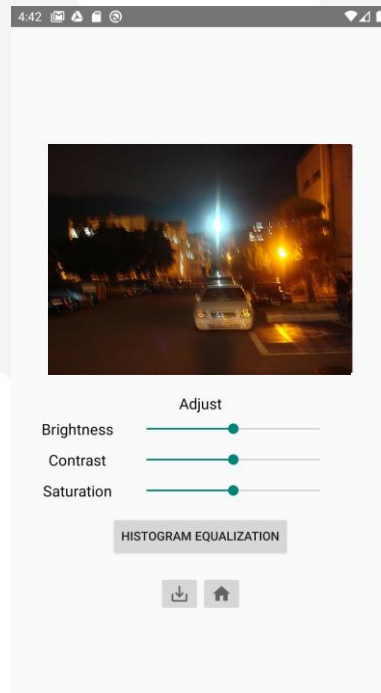


Gambar 3.6 *Implementasi Splash Screen dan Logo*

Gambar 3.6 digunakan sebagai penanda tampilan awal aplikasi. *Logo* yang digunakan dalam *splash screen* merupakan *symbol* aplikasi ini.



Gambar 3.7 Implementasi Home, Image Filtering, dan About



Gambar 3.8 Implementasi Result

Gambar 3.8 akan digunakan *user* untuk memproses gambar, setelah diproses hasil gambar akan otomatis ditampilkan kepada *user*, setelah hasil gambar dari proses ditampilkan *user*

dapat melakukan penyesuaian kembali apabila hasil dirasa kurang. Namun untuk penelitian *image restoration* ini tidak melakukan penyesuaian dikarenakan akan merubah nilai parameter yang didapat.

3.7 Pengujian Sistem

3.7.1 Pengujian Tampilan Awal Aplikasi

Tabel 3. 1 Hasil Pengujian Membuka Aplikasi

No	Data Masukan	Hasil Yang Diharapkan	Hasil Pengamatan	Kesimpulan
1	Membuka Aplikasi	Menampilkan <i>Splash screen</i> dan <i>Logo</i> aplikasi	Menampilkan <i>Splash screen</i> dan terdapat <i>Logo</i> aplikasi di tengah.	Berhasil
		Menampilkan menu <i>Home</i>	Menampilkan menu <i>Home</i>	Berhasil

3.7.2 Pengujian Menu *Filtering* Foto

Tabel 3. 2 Hasil Pengujian *Menu Filter*

No	Data Masukan	Hasil Yang Diharapkan	Hasil Pengamatan	Kesimpulan
1	Tombol Select Image	Menampilkan pilihan <i>Take photo</i> , <i>Open Gallery</i> , dan <i>Cancel</i> dan dapat meng- <i>input</i> dan menampilkan gambar	Menampilkan pilihan <i>Take photo</i> , <i>Open Gallery</i> , dan <i>Cancel</i> dan menampilkan gambar yang telah di- <i>input</i>	Berhasil
2	Tombol Show <i>Histogram</i>	Menampilkan <i>Histogram</i> dari gambar yang telah di- <i>input</i>	Menampilkan <i>Histogram</i> dari gambar yang telah di- <i>input</i>	Berhasil
3	Tombol <i>Info</i>	Menampilkan menu <i>Info Histogram</i>	Menampilkan menu <i>Info Histogram</i>	Berhasil
4	Tombol <i>Filter</i>	Menampilkan menu <i>Result</i> dan menampilkan hasil gambar yang telah di- <i>filter</i>	Menampilkan menu <i>Result</i> dan menampilkan hasil gambar yang telah di- <i>filter</i>	Berhasil

3.7.3 Pengujian Menu Result

Tabel 3. 3 Hasil Pengujian Menu Result

No	Data Masukan	Hasil Yang Diharapkan	Hasil Pengamatan	Kesimpulan
1	Seekbar Brightness	Meng- <i>enhance</i> gambar dengan <i>brightness</i> dan menampilkan gambar yang telah di beri <i>brightness</i>	Gambar telah ter- <i>enhance</i> dan menampilkan gambar yang telah di beri <i>brightness</i>	Berhasil
2	Seekbar Contrast	Meng- <i>enhance</i> gambar dengan <i>contrast</i> dan menampilkan gambar yang telah di beri <i>contrast</i>	Gambar telah ter- <i>enhance</i> dan menampilkan gambar yang telah di beri <i>contrast</i>	Berhasil
3	Seekbar Saturation	Meng- <i>enhance</i> gambar dengan <i>saturation</i> dan menampilkan gambar yang telah di beri <i>saturation</i>	Gambar telah ter- <i>enhance</i> dan menampilkan gambar yang telah di beri <i>saturation</i>	Berhasil
4	Tombol Histogram Equalization	Menampilkan gambar yang telah diberi <i>histogram equalization</i>	Menampilkan gambar yang telah diberi <i>histogram equalization</i>	Berhasil
5	Tombol Save	Menyimpan gambar hasil <i>filter</i> dan <i>enhancemnet</i>	Gambar hasil <i>filter</i> dan <i>enhancemnet</i> telah tersimpan	Berhasil
6	Tombol Home	Kembali ke menu <i>Home</i>	Kembali ke menu <i>Home</i>	Berhasil

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian, pengujian dan Analisa yang telah dilakukan pada Tugas Akhir ini, dapat disimpulkan sebagai berikut, yaitu :

1. Proses *deblurring* pada iterasi 1, 20, 40 menunjukkan *filter Lucy Richardson* dapat menghasilkan gambar yang buram pada iterasi 1, ini diakibatkan penambahan derau atau *blur* pada gambar untuk pemrosesan pertama, semakin besar iterasi yang dilakukan maka akan berdampak pada gambar tersebut yang menghasilkan *artifact* pada citra. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan terhadap citra *blur* menggunakan algoritma *Lucy Richardson*, kinerja yang lebih baik ketika jumlah iterasi sekitar 40 kali.
2. Bersumber pada pengujian beta, dengan menggunakan 23 responden dicoba hasil uji usability serta hasil pengujian membuktikan kalau 85. 749% nilai yang didapatkan terhadap kepuasan user sangat baik.

REFERENSI

- [1] A. Mahapatra, M. A. Faruquee, and P. Kumar, "Restoration of motion blurred image using Lucy Richardson Algorithm," in *2018 International Conference on Communication, Computing and Internet of Things (IC3IoT)*, Feb. 2018, pp. 73–76, doi: 10.1109/IC3IoT.2018.8668143.
- [2] A. L. Prasasti, B. Irawan, S. E. Fajri, A. Rendika, and S. Hadiyoso, "Perbandingan Ekstraksi Fitur dan Proses Matching pada Autentikasi Sidik Jari Manusia," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 8, no. 1, p. 95, 2020, doi: 10.26760/elkomika.v8i1.95.
- [3] Kavita, R. Saroha, R. Bala, and S. Siwach, "Review paper on Overview of Image Processing and Image Segmentation," vol. 1, no. 7, pp. 1–13, 2013.
- [4] R. D. Putra, T. W. Purboyo, and A. L. Prasasti, "A Review on Image Enhancement Methods," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 164, no. 6, pp. 4–9, 2017, doi: 10.5120/ijca2017913647.
- [5] A. Mohamad Nurfakhrian, P. Tito Waluyo, and P. Anggunmeka Luhur, "A Survey on the Implementation of Image Enhancement," *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 12, no. 21, pp. 11451–11459, 2017.
- [6] R. Huang, M. Fan, Y. Xing, and Y. Zou, "Image Blur Classification and Unintentional Blur Removal," *IEEE Access*, vol. 7, no. 1, pp. 106327–106335, 2019, doi: 10.1109/access.2019.2932124.
- [7] S. Yadav, C. Jain, and A. Chugh, "Evaluation of Image Deblurring Techniques," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 139, no. 12, pp. 32–36, 2016, doi: 10.5120/ijca2016909492.
- [8] M. M. Sada and M. M. Goyani, "Image Deblurring Techniques-A Detail Review," *Int. J. Sci. Res. Sci. Eng. Technol.*, vol. 4, no. 2, p. 15, 2018, [Online]. Available: <http://ijsrset.com/paper/3541.pdf>.
- [9] F. Nurfajrina, A. L. Prasasti, and M. T. A. D. S. Pd, "Implementasi Noise Removal Dan Image Enhancement Dalam Domain Frekuensi Terhadap Citra Berkabut Dengan Menggunakan Low Pass Filter (LPF)," vol. 8, no. 2, pp. 1926–1933, 2021.
- [10] D. N. R. Payne, M. K. Juhl, M. E. Pollard, A. Teal, and D. M. Bagnall, "Evaluating the accuracy of point spread function deconvolutions applied to luminescence images," *Conf. Rec. IEEE Photovolt. Spec. Conf.*, vol. 2016-Novem, pp. 1585–1589, 2016, doi: 10.1109/PVSC.2016.7749887.
- [11] V. N. Ghodke and S. R. Ganorkar, "Image Enhancement Using Spatial Domain Techniques and Fuzzy Intensification Factor," *Int. J. Emerg. Technol. Adv. Eng.*, vol. 3, no. 10, pp. 430–435, 2013.
- [12] K. Vandra and Kulkarni, "Spatial Domain Image Enhancement And Restoration Techniques," *J. Information, Knowl. Res. Electron. Commun.*, vol. 2, no. 1, pp. 229–241, 2012.
- [13] J. Varghese, S. Subash, N. Tairan, and B. Babu, "Laplacian-Based Frequency Domain Filter for the Restoration of Digital Images Corrupted by Periodic Noise," *Can. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 39, no. 2, pp. 82–91, 2016, doi: <https://doi.org/10.1109/CJECE.2015.2490598>.
- [14] I. M. Hayder, H. A. Younis, and H. Abdul-Kareem Younis, "Digital Image Enhancement Gray Scale Images in Frequency Domain," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1279, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1279/1/012072.
- [15] M. G. Murdiyanto, A. L. Prasasti, and A. Dinimaharawati, "Implementasi Noise Removal Dan Image Enhancement Dalam Domain Frekuensi Terhadap Citra Cahaya Rendah Dengan Menggunakan Multiscale Retinex With Color Restoration," vol. 8, no. 1, pp. 506–514, 2021.
- [16] C. Khare and K. K. Nagwanshi, "Image Restoration Technique with Non Linear Filter," *Int. J. Adv. Sci. Technol.*, vol. 39, pp. 67–74, 2012.
- [17] I. Bashir, A. Majeed, and O. Khursheed, "International Journal Of Computer Science And Mobile Computing Image Restoration And The Various Restoration Techniques Used In The Field Of Digital Image Processing," *Int. J. Comput. Sci. Mob. Comput.*, vol. 6, no. 6, pp. 390–393, 2017, [Online]. Available: www.ijcsmc.com.
- [18] S. Khetkeeree, "Optimization of Lucy-Richardson Algorithm Using Modified Tikhonov Regularization for Image Deblurring," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1438, no. 1, pp. 1–6, 2020.