

Perbaikan Citra Gelap dan Pembesaran Objek Citra Menggunakan Gradient Based Low-Light Image Enhancement dan Rational Ball Cubic B-Spline With Genetic Algorithm

Irpan Adiputra Pardosi¹, Pahala Sirait², Kevin³, Steven Goh⁴, Ricky Chandra⁵

Program Studi Teknik Informatika, STMIK Mikroskil

¹irpan@mikroskil.ac.id, ²pahala@mikroskil.ac.id, ³kevinpohh@gmail.com,

⁴sgoh980@gmail.com, ⁵rickychandra970204@gmail.com

Abstrak

Citra yang berkontras rendah (gelap) serta citra yang memiliki objek tidak jelas menyebabkan objek pada citra sulit diidentifikasi baik secara sistem ataupun oleh pengamat. Salah satu solusi dalam mengatasi masalah ini dengan menambahkan proses untuk perbaikan kualitas citra (image enhancement). Perbaikan kualitas citra berbasis gradient mempunyai hasil yang cukup baik karena unsur gradient dipercaya lebih sensitif terhadap sistem visual manusia dengan metode Gradient Based Low-Light Image Enhancement mampu memperbaiki kualitas citra gelap dan metode Rational Ball Cubic B-Spline with Genetic Algorithm untuk memperbesar objek tidak jelas pada citra terbukti memiliki hasil yang bagus dalam implementasinya. Pengujian untuk metode Gradient Based menggunakan metode SSIM dalam membandingkan citra hasil dan citra raw yang menghasilkan rata-rata nilai SSIM baik yaitu 7.0077 sedangkan pengujian untuk metode Rational Ball menggunakan persepsi dari user dengan hasil yang relatif lebih baik.

Kata Kunci : citra gelap, gradient, interpolasi citra

Abstract

Low-contrast (dark) images and images with unclear objects can cause the image becomes difficult to be identified by the system or an observer. One of the solutions to overcome this problem is by improving image quality (image enhancement). Image quality improvement by using gradient-based has quite good results because the gradient element is believed to be more sensitive to the Human Visual System (HVS) use the Gradient-Based Low-Light Image Enhancement method to improve the quality of dark images and the Rational Ball Cubic B-Spline method with Genetic Algorithm to enlarge obscure objects of the image and Rational Cubic B-Spline with Genetic Algorithm proved to have quite good results in its implementation. The calibration for the Gradient-Based method is used the SSIM method in comparing the yield image and raw image which results in an average SSIM value that is quite good at 7.0077. And testing for the Rational Ball method uses perceptions from users who have relatively better results.

Keyword : dark image, gradient, image interpolation

1. PENDAHULUAN

Citra merupakan suatu representasi, kemiripan atau imitasi dari suatu obyek atau benda [1]. Citra dapat diperoleh dari berbagai media seperti kamera, *scanner* ataupun dari perangkat *mobile phone*. Meskipun sebuah citra kaya informasi, namun seringkali citra yang dimiliki

mengalami penurunan mutu (degradasi), misalnya mengandung cacat atau derau (*noise*), warnanya terlalu kontras, objek kurang tajam, kabur (*blurred*), dan sebagainya[2]. Salah satu masalah yang sering dijumpai adalah citra yang gelap ataupun citra yang memiliki objek tidak jelas karena pengambilan gambar yang terlalu jauh sehingga berdampak pada citra menjadi sulit untuk diidentifikasi. Citra gelap maksudnya citra yang memiliki kontras rendah yang dapat terjadi karena kurangnya pencahayaan, kurangnya bidang dinamika dari sensor citra atau kesalahan setting pembuka lensa pada saat pengambilan citra[1]. Untuk memperbaiki citra tersebut, maka dapat diterapkan metode peningkatan kualitas citra, dimana salah satunya adalah pengolahan citra berbasis *gradient*. *Gradient* adalah perubahan arah dalam intensitas atau warna pada citra dan merupakan komponen penting dalam pemrosesan citra. Sementara untuk memperjelas objek tidak jelas dalam citra dapat dilakukan metode pembesaran citra. Proses perubahan ukuran suatu citra melalui pembesaran ukuran atau resolusi sering dibutuhkan untuk keperluan memperlihatkan detail citra, untuk peragaan pada alat peraga, maupun untuk keperluan pembuatan dokumen[3]. Penelitian ini menerapkan metode *low-light image enhancement* yang mengatasi dampak pada gambar kurang bagus disebabkan oleh kurangnya pencahayaan dan metode interpolasi citra untuk pembesaran citra yang memiliki objek tidak jelas.

Penelitian mengenai citra gelap yang pernah dilakukan sebelumnya seperti *Image Enhancement* pada *Screen Capture* CCTV dengan menggunakan Metode *Histogram* Ekualisasi[4]. Namun, metode *Histogram* Ekualisasi merupakan algoritma perbaikan citra berdasarkan intensitas dan tidak melakukan perbaikan terhadap *gradient* citra. Proses pengolahan citra berbasis *gradient* merupakan salah satu proses yang penting dalam pengolahan citra karena *gradient* lebih sensitif terhadap sistem visual manusia (*human visual system/HVS*)[5]. Penelitian lainnya seperti peningkatan kualitas citra dengan Metode *Fuzzy Possibility Distribution*, namun, metode ini hanya mampu melakukan peningkatan kualitas terhadap citra *grayscale* dan tujuan dari metode *fuzzy possibility* hanya untuk menurunkan tingkat keabuan *pixel* saja[2]. Untuk menyelesaikan permasalahan diatas, maka dapat diterapkan metode *gradient-based low-light image enhancement*[5]. *Gradient* dari daerah gelap pada citra digital biasanya bernilai kecil sehingga menyebabkan sistem visual manusia sulit untuk mengenali objek di dalamnya. Ide dasar dari metode *gradient-based low-light image enhancement* ini adalah untuk meningkatkan *gradient* dari daerah gelap atau daerah dengan tingkat pencahayaan rendah. Salah satu kelebihan dari metode *gradient-based low-light image enhancement* ini adalah proses *gradient-based filtering* dapat diterapkan secara sekaligus untuk menjadikan sisi objek lebih tajam dan halus[5]. Penelitian untuk pembesaran objek citra menggunakan Metode *Nearest Neighbour Interpolation*, masih terdapat *jaggies* (*pixel-pixel* yang bergerigi) pada citra hasil pembesaran dengan skala yang besar[3].

Untuk menyelesaikan masalah diatas, dapat diterapkan metode pembesaran citra digital salah satunya dengan metode *Rational Ball Cubic B-Spline with Genetic Algorithm*[6]. Metode *Rational Ball Cubic B-spline* merupakan metode interpolasi citra yang dapat digunakan untuk memperbesar citra digital dengan kualitas citra hasil perbesaran yang memiliki tingkat keakuratan cukup bagus. Metode ini menggunakan beberapa tahapan, yaitu perhitungan *rational ball cubic spline* dan algoritma genetika[6]. Beberapa batasan masalah pada penelitian ini mencakup; (1) Dataset menggunakan kumpulan citra dari Exclusive Dark dataset dengan format JPG dan PNG[7], (2) Daerah yang akan diperbesar ditentukan secara manual oleh pemakai.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Gradient Based Low Light Image Enhancement

Proses kerja dari algoritma *Gradient Based Low Light Image Enhancement* untuk gambar warna RGB, gambar warna pertama-tama diubah menjadi ruang warna luminance-chrominance. Lalu, setelah *luminance* komponen diproses, komponen *chrominance* ditambahkan untuk menghasilkan gambar RGB yang diproses [5].

Keseluruhan pipeline pemrosesan gambar peningkatan gambar cahaya rendah berbasis gradien yang diusulkan. Pertama, perbedaan intensitas piksel horizontal dan piksel berdekatan vertikal dari gambar input dihitung sebagai perkiraan gradien. Gradien yang dihitung dari wilayah gelap ditingkatkan sebagai berikut[5]:

$$\begin{aligned} q_h(x) &= f_h(x).L(f(x); \beta, \tau) \\ q_v(x) &= f_v(x).L(f(x); \beta, \tau) \end{aligned} \quad (1)$$

Dimana: x adalah posisi piksel, $f(x)$ adalah nilai intensitas dari citra input, $f_h(x)$ dan $f_v(x)$ adalah nilai gradien horizontal dan vertikal dari citra input, $q_h(x)$ dan $q_v(x)$ adalah nilai gradien horizontal dan vertikal yang akan ditingkatkan, $L(f(x); \beta; \tau)$ adalah fungsi peningkatan.

Dalam penelitian ini, fungsi peningkatan dirancang dengan menggunakan dua buah parameter β dan τ seperti terlihat pada rumusan berikut (Tanaka, et. al., 2018):

$$L(\xi; \beta, \tau) = \begin{cases} \frac{\beta-1}{2\tau^2}\xi^2 - \frac{\beta-1}{\tau}\xi + \beta & (\xi \leq \tau) \\ 1 & (\xi > \tau) \end{cases} \quad (2)$$

Fungsi peningkatan ini memperkuat gradien sebanyak β kali jika intensitas piksel terkait adalah nol. Rasio amplifikasi apabila nilai intensitas lebih besar dari nilai τ adalah satu. Fungsi perangkat tambahan ini dirancang, sehingga rasio amplifikasi menurun dengan halus dari nilai intensitas nol hingga τ . Dalam penelitian ini, parameter β dan τ akan diatur secara manual [5]

Untuk menjaga detail gambar *input*, metode yang digunakan untuk merekonstruksi kembali gambar *output* dari bentuk gradien agar dapat mempertahankan informasi gradien sambil menegakkan kisaran intensitas menghasilkan gambar dalam rentang tertentu yaitu 0 hingga 255 untuk Gambar 8-bit dengan proses integrasi citra digital dengan *intensity-range constraint* dengan menggunakan rumusan berikut:

$$G_R[u(x)] = \int g_R(u(x))dx \quad (3)$$

2.2 Rational Ball Cubic B-Spline Representation dan Algoritma Genetika

Pada pencarian solusi suatu masalah terkadang dibutuhkan formulasi matematika yang kompleks untuk memberikan solusi yang pasti. Solusi optimum mungkin dapat diperoleh akan tetapi memerlukan proses perhitungan yang panjang dan tidak praktis. Untuk mengatasi kasus tersebut dapat digunakan metode heuristik, yaitu suatu metode pencarian yang didasarkan atas intuisi atau aturan-aturan empiris untuk memperoleh solusi yang lebih baik daripada solusi yang telah dicapai sebelumnya. Metode heuristik tidak selalu menghasilkan solusi terbaik, namun jika dirancang dengan baik akan menghasilkan solusi yang mendekati optimum dalam waktu yang cepat. Algoritma Genetika (GA) adalah salah satu cabang *evolutionary algorithms*, yaitu suatu teknik optimasi yang didasarkan pada genetika alami. Untuk menghasilkan suatu solusi optimal, GA melakukan proses pencarian di antara sejumlah alternatif titik optimal berdasarkan fungsi probabilistik. Masalah utama pada GA adalah bagaimana memetakan satu masalah

menjadi satu string entitas. Siklus perkembangan GA diawali dengan pembuatan himpunan solusi baru (*initialization*) yang terdiri atas sejumlah string entitas dan ditempatkan pada penampungan populasi. Kemudian dilakukan proses reproduksi dengan memilih individu-individu yang akan dikembangbiakkan. Penggunaan operator-operator genetik seperti pindah silang (*crossover*) dan mutasi (*mutation*) terhadap individu-individu yang terpilih dalam penampungan individu akan menghasilkan keturunan atau generasi baru. Setelah proses evaluasi untuk perbaikan populasi, maka generasi-generasi baru ini akan menggantikan himpunan populasi asal. Siklus ini akan berlangsung berulang kali sampai tidak dihasilkan perbaikan keturunan, atau sampai kriteria optimum ditemukan. Setelah individu-individu dalam populasi telah terbentuk, maka langkah selanjutnya adalah menghitung nilai *fitness* setiap individu. Fungsi *fitness* sendiri bertujuan untuk mengetahui baik tidaknya solusi yang ada pada suatu individu dan setiap individu pada populasi harus memiliki nilai pembandingnya. Selanjutnya, nilai *fitness* digunakan untuk solusi terbaik dengan cara pengurutan nilai *fitness* dari individu-individu [8].

Setelah entitas terbentuk, maka selanjutnya dilakukan proses perhitungan *fitness*. Aturan perhitungan fungsi *fitness* yang digunakan dapat dilihat pada rumus (5). *Cost* adalah total jarak yang ditempuh dari setiap tempat yang dilewati dari titik awal sampai titik akhir. Dari rumusan tersebut maka nilai *fitness* akan berbanding terbalik dengan nilai *cost*. *Fitness* terbaik, yaitu *fitness* terbesar, dapat dicapai dengan nilai *cost* terkecil. Nilai *fitness* tidak pernah mencapai nilai 1, akan tetapi hanya mendekati 1 untuk *fitness* terbaik[8].

$$fitness = \frac{1}{(cost + 1)} \quad (4)$$

Pada penerapannya nanti, nilai *fitness* dapat dinyatakan dengan bilangan lebih dari 1 atau bahkan nilai minus. Hal ini dapat dilakukan dengan mengubah rumus (5) menjadi rumus (6), dimana nilai *fitness* dihitung dengan mengurangkan suatu konstanta dengan nilai *cost*. Nilai konstanta ini dapat dihitung dari jumlah maksimal *cost* yang mungkin dari suatu persoalan. Dalam kasus ini, nilai konstanta adalah 1000. Jika digunakan rumus (6), maka *fitness* adalah terbaik jika memiliki nilai terbesar[8].

$$fitness = c - cost \quad (5)$$

Entitas dengan nilai *fitness* terbesar akan terpilih sebagai entitas terbaik. Metode seleksi yang digunakan adalah seleksi roda *roulette*, dimana nilai *fitness* terbesar mempunyai kemungkinan lebih besar untuk menjadi induk pada generasi selanjutnya. Sedangkan untuk nilai *fitness* terburuk akan digantikan oleh individu baru dengan nilai *fitness* yang lebih besar[8].

Algoritma Genetika merupakan teknik pencarian dan optimasi yang terinspirasi oleh prinsip dari genetika dan seleksi alam (teori evolusi Darwin). Algoritma ini digunakan untuk mendapatkan solusi yang tepat untuk masalah optimasi dari satu variabel atau multi variabel. Berbeda dengan teknik pencarian konvensional, Algoritma Genetika bermula dari himpunan solusi yang dihasilkan secara acak. Himpunan ini disebut populasi. Sedangkan setiap individu dalam populasi disebut entitas yang merupakan representasi dari solusi. Entitas-entitas berevolusi dalam suatu proses iterasi yang berkelanjutan yang disebut generasi. Pada setiap generasi, entitas dievaluasi berdasarkan suatu fungsi evaluasi. Setelah beberapa generasi maka Algoritma Genetika akan konvergen pada entitas terbaik, yang diharapkan merupakan solusi optimal. Sebelum Pertama kali, sebelum Algoritma Genetika dijalankan, maka perlu didefinisikan fungsi *fitness* sebagai masalah yang ingin dioptimalkan. Jika nilai *fitness* semakin

besar, maka sistem yang dihasilkan semakin baik. fungsi *fitness* ditentukan dengan metode heuristik[9].

Algoritma Genetika sangat tepat digunakan untuk penyelesaian masalah optimasi yang kompleks dan sukar diselesaikan dengan menggunakan metode konvensional. Sebagaimana halnya proses evolusi di alam, suatu Algoritma Genetika yang sederhana umumnya terdiri dari tiga operasi yaitu: operasi reproduksi, operasi persilangan (*crossover*), dan operasi mutasi. Struktur umum dari suatu Algoritma Genetika dapat didefinisikan dengan langkah-langkah sebagai berikut[9]:

1. Membangkitkan populasi awal secara *random*.
2. Membentuk generasi baru dengan menggunakan tiga operasi diatas secara berulang-ulang sehingga diperoleh entitas yang cukup untuk membentuk generasi baru sebagai representasi dari solusi baru.
3. Evolusi solusi yang akan mengevaluasi setiap populasi dengan menghitung nilai *fitness* setiap entitas hingga kriteria berhenti terpenuhi. Bila kriteria berhenti belum terpenuhi maka akan dibentuk lagi generasi baru dengan mengulangi langkah 2. beberapa kriteria berhenti yang sering digunakan antara lain:
 - a) Berhenti pada generasi tertentu
 - b) Berhenti setelah dalam beberapa generasi berturut-turut didapatkan nilai *fitness* tertinggi/terendah (tergantung persoalan) tidak berubah
 - c) Berhenti bila dalam n generasi berikutnya tidak diperoleh nilai *fitness* yang lebih tinggi/rendah.

Bola spline kubik rasional diusulkan di bagian ini untuk dibuat representasi bola rasional B-spline kubik dengan parameter dalam deskripsinya. Bola rasional satu dan dua dimensi fungsi B-spline kubik juga diturunkan untuk beberapa arbitrer data yang diperoleh oleh bola rasional dukungan lokal fungsi dasar B-spline kubik[6].

Anggap (ξ_i, f_i) , $i = 0, 1, \dots, n$ adalah sekumpulan data titik yang didefinisikan pada interval $[a, b]$ dimana $a = \xi_0 < \xi_1 < \dots < \xi_n = b$ adalah partisi dari $[a, b]$. Sebuah fungsi *piecewise rational ball cubic* $\Delta(\xi)$ dapat didefinisikan pada setiap subinterval $[\xi_i, \xi_{i+1}]$; $i = 0, 1, \dots, n - 1$ sebagai berikut[6]:

$$\Delta(\xi) = \Delta_i(\xi, \gamma_i) \quad (6)$$

$$= \frac{(1-\Theta)^2 f_i + \Theta(1-\Theta)^2 (\gamma_i f_i + \delta_i d_i) + \Theta^2 (1-\Theta) (\gamma_i f_{i+1} + \delta_i d_{i+1}) + \Theta^2 f_{i+1}}{1 + (\gamma_i - 2)\Theta(1-\Theta)}$$

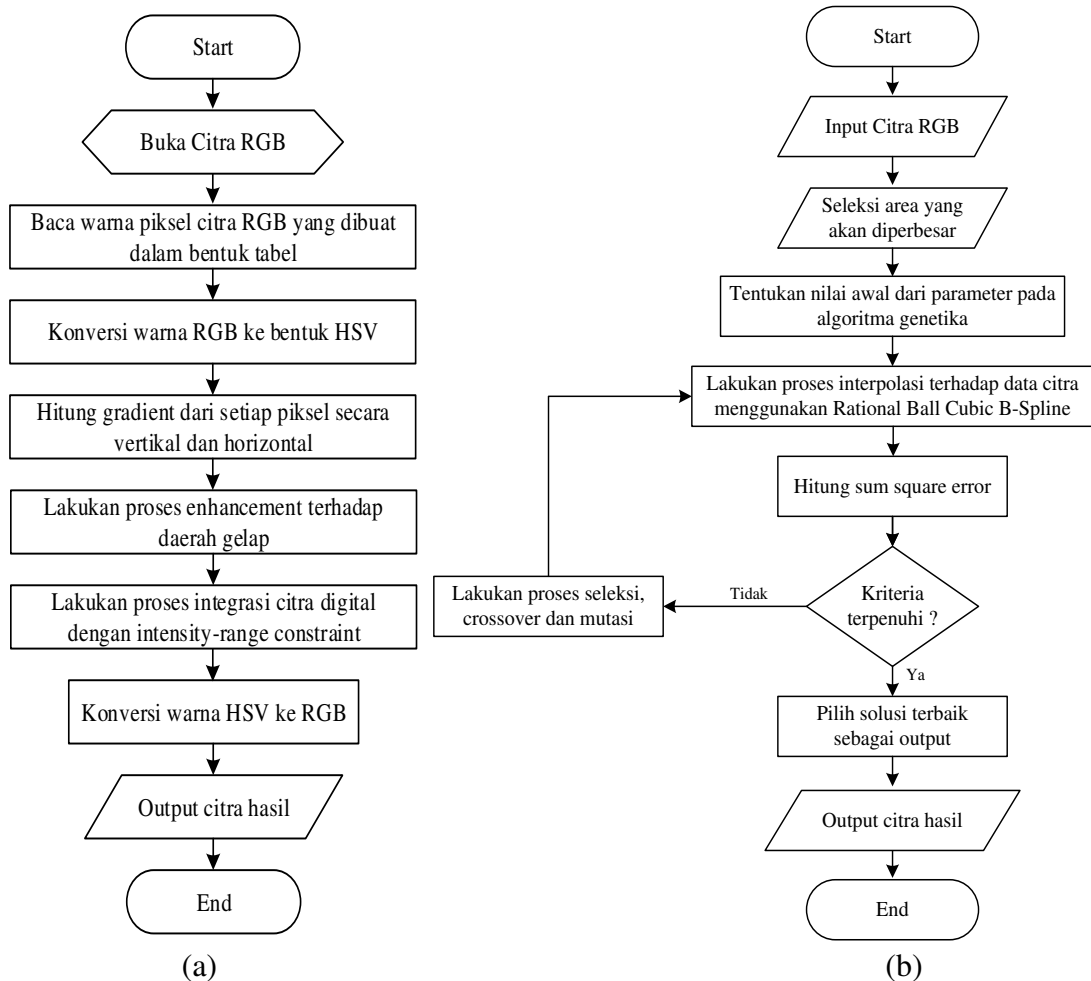
dimana:

$$\Theta(\xi) = (\xi - \xi_i) / \delta_i; \quad \delta_i = \xi_{i+1} - \xi_i; \quad \gamma_i = \text{parameter tensi}$$

Interpolasi bikubik merupakan kemajuan dari interpolasi kubik dalam kisi reguler dua dimensi. Permukaan interpolasi lebih halus dari permukaan yang sesuai yang diperoleh dengan metode yang disebutkan di atas interpolasi bilinear dan interpolasi tetangga terdekat. Menggunakan algoritma polinomial, kubik, atau konvolusi kubik. Interpolasi Konvolusi Kubik menentukan nilai tingkat abu-abu dari rata-rata tertimbang dari 16 piksel terdekat ke koordinat input yang ditentukan, dan menetapkan nilai tersebut ke koordinat output, empat dimensi satu dimensi pertama. Untuk Interpolasi *Bicubic* (interpolasi konvolusi kubik dalam dua dimensi), jumlah titik kisi yang diperlukan untuk mengevaluasi fungsi interpolasi adalah 16, dua titik kisi di kedua sisi titik yang dipertimbangkan untuk arah horizontal dan tegak lurus[6].

2.3 Analisis Proses

Perbaikan Citra Gelap dan Pembesaran Citra Menggunakan algoritma *Gradient Based Low Light Image Enhancement* dan *Rational Ball Cubic B-Spline with Genetic Algorithm* diproses secara terpisah dan tidak saling terhubung sehingga satu algoritma dengan algoritma lain dapat saling mendulukan. Proses dari kedua algoritma digambarkan dalam bentuk flowchart seperti terlihat pada gambar berikut:



Gambar 1. Flowchart algoritma *Gradient Based Low-Light Image Enhancement* (a) dan *Rational Ball Cubic B-Spline with Genetic Algorithm* (b)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil

Berikut ini merupakan hasil antarmuka untuk proses perbaikan kualitas citra gelap yang dapat terlihat pada gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Tampilan Proses Perbaikan Citra Gelap

Sedangkan untuk melakukan proses pembesaran terhadap citra digital yang areanya ditentukan manual oleh pengguna dapat dilihat pada gambar 3 berikut ini.



Gambar 3. Tampilan *Form* Pembesaran Objek pada Citra

Untuk menentukan area yang akan diperbesar pengguna dapat menekan tombol ”**Pilih Area Pembesaran**” dan menentukan jumlah pembesaran. Setiap hasil pengujian, akan dimasukkan ke tabel pengujian, Isi dari Tabel Pengujian diantaranya lokasi dari citra yang dipilih, waktu perbaikan citra, nilai β , nilai τ dan nilai *SSIM* untuk mengukur nilai dari hasil perbaikan citra.

3.2 Pembahasan

Pengujian pada metode Gradient Based Low Light Image Enhancement akan menggunakan metode *SSIM* untuk mengukur nilai β dan τ yang paling optimal. Nilai *SSIM* memiliki rentang 1-10, dimana apabila nilai *SSIM* semakin tinggi maka hasil citra dinilai semakin bagus. Untuk proses pembesaran dengan metode *Rational Ball Cubic B-Spline with Genetic Algorithm* hanya akan diuji berdasarkan persepsi. Pengujian menggunakan 5 citra gelap

yang diambil dari *Exclusive Dark Dataset* serta menggunakan nilai β dan τ yang bervariasi. Berikut adalah kelima citra tersebut:



Gambar 4. Kumpulan Citra Gelap untuk Pengujian

Hasil pengujian dengan nilai *SSIM* tertinggi untuk masing-masing citra dapat dirincikan sebagai berikut:

Tabel 1. Kumpulan nilai β dan τ terbaik untuk citra pengujian

No	Nama Citra	Nilai Beta	Nilai Tau	SSIM
1	bike2	15	200	7.4747
2	car3	15	50	7.1819
3	car6	100	1000	9.6005
4	rider	15	50	7.8550
5	street2	15	25	6.1665

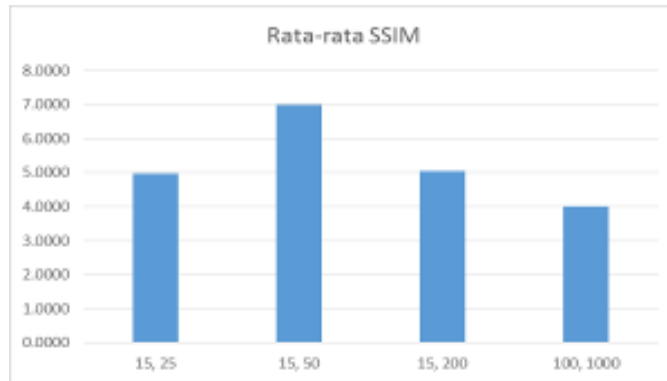


Gambar 5. Hasil Citra Pengujian

Dalam menentukan nilai nilai β dan τ yang paling optimal, akan diambil nilai rata-rata *SSIM* dari masing-masing hasil perbaikan terbaik. Rata-rata nilai *SSIM* dari hasil pengujian dapat dirincikan sebagai berikut:

Tabel 2. Rata-rata Nilai *SSIM* untuk Hasil Perbaikan Terbaik

No	Nilai β dan τ	Citra 'bike2'	Citra 'car3'	Citra 'car6'	Citra 'rider'	Citra 'street2'	Rata-rata <i>SSIM</i>
1	15, 25	2.1392	6.8421	3.2062	6.5053	6.1665	4.9719
2	15, 50	7.3435	7.1819	7.9014	7.8550	4.7569	7.0077
3	15, 200	7.4747	4.0963	4.6790	5.0413	3.9769	5.0536
4	100, 1000	1.3192	1.3746	9.6005	3.8727	3.8389	4.0012



Gambar 6. Tampilan Statistik Hasil Rata-rata Nilai SSIM

Dari pengujian yang dilakukan, disimpulkan bahwa nilai yang paling optimal untuk nilai β adalah 15 dan τ adalah 50 dengan rata-rata nilai $SSIM = 7.0077$. Pengujian terhadap citra pembesaran akan menggunakan 5 citra warna berbeda. Hasil pengujian dapat ditampilkan dalam *screenshot* gambar sebagai berikut:

- a. Pembesaran pada citra hasil perbaikan 'bike2' dengan resolusi 1024x683:



(a)

(b)

(c)

Gambar 7. Hasil Pembesaran pada Citra 'bike2' dengan skala 2x(a), 4x(b), dan 8x(c)

- b. Pembesaran pada citra hasil perbaikan 'car3' dengan resolusi 1000x750:



(a)

(b)

(c)

Gambar 8. Hasil Pembesaran pada Citra 'car3' dengan skala 2x(a), 4x(b), dan 8x(c)

- c. Pembesaran pada citra 'airplane' dengan resolusi 1280x720:



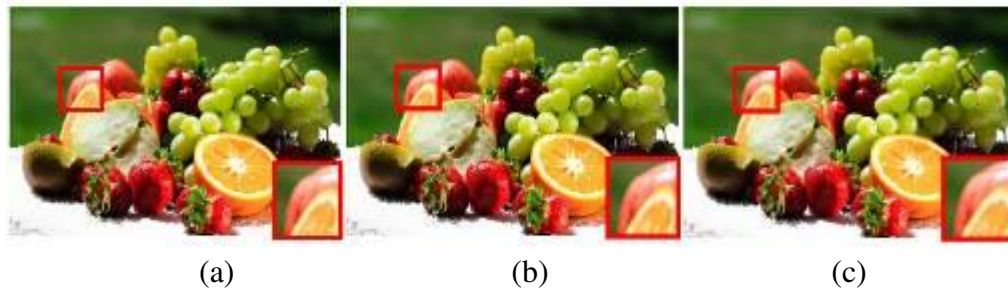
(a)

(b)

(c)

Gambar 9. Hasil Pembesaran pada Citra 'airplane' dengan skala 2x (a), 4x(b), dan 8x(c)

- d. Pembesaran pada citra 'fruit' dengan resolusi 2560x1600:



Gambar 10. Hasil Pembesaran pada Citra 'fruit' dengan skala 2x(a), 4x(b), dan 8x(c)

Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode *Rational Ball Cubic B-Spline with Genetic Algorithm* dapat memperbesar citra dengan hasil pembesaran yang cukup baik meskipun tingkat pembesaran dilakukan hingga 8x. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, setelah dianalisa diperoleh beberapa informasi berikut:

1. Pada bagian perbaikan kualitas citra dengan metode *Gradient Based Low Light Image Enhancement*, apabila nilai β lebih besar daripada nilai τ menyebabkan citra lebih terdegradasi dibandingkan apabila nilai β lebih kecil daripada nilai τ .
2. Perbedaan nilai β dan nilai τ yang terlalu mencolok (≥ 1000) akan menyebabkan citra menjadi terlalu gelap atau terlalu terang.
3. Nilai β dan nilai τ dapat menggunakan nilai minus dan pecahan, tetapi bila nilai $\tau < 0$ hasil citra akan tetap memiliki kontras dan nilai *SSIM* yang serupa.
4. Penerapan metode *Gradient Based Low Light Image Enhancement* dapat menghasilkan *noise* pada beberapa bagian citra.
5. Proses perbaikan kualitas citra terhadap citra hasil perbaikan akan menyebabkan kualitas citra menjadi semakin menurun. Hal ini berarti bahwa metode *Gradient Based Low Light Image Enhancement* tidak cocok apabila diterapkan beberapa kali terhadap citra.
6. Proses perbaikan kualitas metode *Gradient Based* tidak sesuai untuk diterapkan pada citra pencahayaan normal, karena akan menyebabkan citra menjadi terdegradasi.
7. Pembesaran citra dengan metode *Rational Ball Cubic B-Spline with Genetic Algorithm* memiliki hasil pembesaran yang relatif lebih baik tetapi dipengaruhi juga oleh kualitas dari citra asal.

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian yang sudah dianalisis maka diambil beberapa kesimpulan antara lain:

1. Metode *Gradient Based Low Light Image Enhancement* dapat memperbaiki kontras citra gelap dengan baik menggunakan parameter nilai $\beta = 15$, nilai $\tau = 50$ dengan rata-rata nilai *SSIM* yang cukup tinggi yaitu 7.0077
2. Nilai β harus lebih kecil daripada nilai τ dan perbedaannya tidak boleh ≥ 1000 untuk mendapatkan kualitas citra yang maksimal dengan rata-rata nilai *SSIM* antara nilai 1 sampai 3
3. Penerapan metode *Gradient Based Low Light Image Enhancement* dapat menghasilkan sejumlah *noise* pada beberapa bagian citra selain itu penerapan secara berulang-ulang akan menyebabkan kualitas citra semakin menurun.

4. Metode *Rational Ball Cubic B-Spline with Genetic Algorithm* dapat memperbesar citra dengan hasil pembesaran yang relatif lebih baik dan sangat dipengaruhi oleh kualitas citra asal.

5. SARAN

Beberapa saran yang dapat dijadikan bahan pertimbangan untuk meningkatkan kualitas dan hasil dari pengembangan penelitian ini antara lain:

1. Metode *Gradient Based Low Light Image Enhancement* dapat dikombinasikan dengan metode perbaikan kualitas citra lainnya seperti *Median Filtering* (perbaikan *noise*) agar dapat meningkatkan kualitas citra yang dihasilkan.
2. Citra yang akan diperbesar dengan metode *Rational Ball Cubic B-Spline with Genetic Algorithm* dapat dilakukan perbaikan *noise* terlebih dahulu, contohnya dengan metode *Median Filtering* atau *Gaussian Filtering* agar kualitas citra yang dihasilkan lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Purba, "Aplikasi Perbaikan Kualitas Citra Hasil Penginderaan Jauh (Remote Sensing) Dengan Metode Contrast Stretching," vol. VI, no. 2, pp. 26–36, 2017.
- [2] Sugiarti, "PENINGKATAN KUALITAS CITRA DENGAN METODE FUZZY," vol. 10, no. April, pp. 100–104, 2018.
- [3] Daryanto, "Aplikasi Pembesaran Citra Menggunakan Metode Nearest Neighbour Interpolation," vol. 01, pp. 31–35, 2016.
- [4] H. Nugroho, "Image Enhancement Pada Screen Capture CCTV Dengan Menggunakan Metode Histogram Ekualisasi," vol. 2, no. 2, pp. 99–106, 2017.
- [5] M. Tanaka, "Gradient-Based Low-Light Image Enhancement."
- [6] S. Abbas, M. Zawwar, and M. Irshad, "Image interpolation by rational ball cubic B-spline representation and genetic algorithm," *Alexandria Eng. J.*, vol. 57, no. 2, pp. 931–937, 2018.
- [7] Y. P. Loh and C. S. Chan, "Getting to Know Low-light Images with The Exclusively Dark Dataset."
- [8] A. Widodo and W. Mahmudy, "Agus Wahyu Widodo , ** Wayan Firdaus Mahmudy," *J. Ilm. kursor Menuju Solusi Teknol. Inf.*, vol. 5, no. 4, pp. 205–211, 2010.
- [9] M. Kartika, "METODE ALGORITMA GENETIKA MENGGUNAKAN," *J. Mat. UNAND*, vol. 2, no. 2, pp. 1–9, 2013.