

Perancangan Aplikasi Perbesaran Citra dengan Metode Proyeksi Cahaya

Zolyviade Zarcelonia

Prodi Teknik Informatika, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura
zolyviadezarcelonia@gmail.com

Abstract - The research conducted in this thesis is to try to analyze and verify whether the assumed working principles projector to enlarge the image to produce a magnified image. The method is designed based on the principles of light projection in its design and fully utilize the unique properties of light which always propagates through straight lines and in all directions.

The result of this research is a light projection method, which is divided into two phases: a projection phase of the original image pixel to image results, which is an early stage light projection method, in which all of the original image that is projected onto the enlarged image of the results, and the filling empty pixels (resampling) phase, which fills the pixels that have not been defined (resampling). Magnification with light projection method produces enlarged images which are similar to the results of bilinear magnification method.

Keywords - *light projection, digital image processing, image magnification, projector, resampling, Java, BufferedImage*

1. Pendahuluan

Selain representasi warna yang terkandung dalam sebuah citra digital, ukuran dari citra digital tersebut juga akan sangat berpengaruh pada proses pengolahan citra digital. Pada beberapa kasus akuisisi citra yang dilakukan, terkadang ditemukan ukuran citra yang didapat tidak sesuai dengan yang diinginkan. Untuk keperluan yang berkaitan dengan pengolahan citra digital, memerlukan citra dengan ukuran tertentu sebagai masukan. Pada proses pattern recognition, seperti pengenalan tulisan tangan, optical character recognition (OCR) dan pengenalan wajah, dapat menghasilkan keluaran yang salah jika ukuran citra masukan yang diproses tidak sesuai. Proses-proses dalam algoritma computer vision akan lebih mudah jika citra masukan yang diolah adalah citra dengan ukuran tertentu. Berdasarkan hal-hal tersebut dapat disimpulkan bahwa penentuan ukuran dari

suatu citra digital sangat penting dalam proses pengolahan citra lebih lanjut.

Keunikan dari sebuah proyektor adalah hasil proyeksinya yang bisa mencapai ukuran gambar yang sangat besar dari gambar aslinya. Hasil proyeksi dari proyektor itu mempunyai kualitas dan ketajaman gambar yang cukup baik. Proyektor juga bekerja atas prinsip-prinsip cahaya yang akan sangat berkaitan erat dengan citra. Pada dasarnya sebuah citra terbentuk dari hasil pemantulan cahaya dan dapat terlihat oleh mata manusia karena disinari oleh cahaya. Sifat-sifat cahaya yang merambat dengan lintasan garis-garis lurus akan lebih mudah diterapkan dalam operasi geometri citra yang bekerja berdasarkan koordinat titik-titik dan fungsi-fungsi pemetaan.

Berdasarkan latar belakang di atas, dengan melihat karakteristik proyektor yang dapat memperbesar slide gambar kecil, secara teori dapat diterapkan dalam proses perbesaran citra digital. Dengan mengasumsikan slide adalah citra asal, bayangan slide adalah citra yang telah diperbesar, layar proyektor adalah bidang gambar baru yang telah diperbesar, maka akan didapatkan citra yang lebih besar dari citra asal.

2. Teori Dasar

2.1 Operasi Geometri

Operasi Geometri adalah memodifikasi susunan piksel berdasarkan pada beberapa transformasi geometri. Artinya adalah koordinat piksel berubah akibat transformasi, sedangkan intensitasnya tetap. Sedangkan dalam definisi bahasa pemrograman, operasi geometri adalah algoritma untuk memanipulasi lokasi atau koordinat piksel pada citra (ittelkom.ac.id, 2013).

Pada operasi geometri, yang berubah adalah letak posisi koordinat dari tiap piksel, sedangkan nilai warna dari piksel tersebut tetap. Ini berbeda dengan dengan operasi aritmetika yang manaposisi piksel tetap sedangkan nilai warnanya yang berubah.

Operasi geometri yang dilakukan misalnya translasi, rotasi, penskalaan citra, dan pencerminan citra (*flipping*). Perubahan

geometri dari citra $f(x, y)$ menjadi citra baru $f'(x, y)$ dapat ditulis sebagai:

$$f'(x', y') = f(g_1(x, y), g_2(x, y))$$

yang dalam hal ini, $g_1(x)$ dan $g_2(y)$ adalah fungsi transformasi geometrik. Dengan kata lain,

$$x' = g_1(x, y)$$
$$y' = g_2(x, y)$$

2.2 Interpolasi dalam Perbesaran Citra

Interpolasi (disebut juga dengan istilah *resampling*) adalah sebuah metode pencitraan untuk meningkatkan (atau mengurangi) jumlah piksel dalam gambar digital. Beberapa kamera digital menggunakan interpolasi untuk menghasilkan gambar yang lebih besar daripada sensor ditangkap atau untuk membuat *zoom* digital. Hampir semua perangkat lunak editing gambar mendukung satu atau lebih metode interpolasi. Bagaimana gambar yang diperbesar bisa halus tanpa meninggalkan kesan pecah sangat tergantung pada kecanggihan algoritma interpolasi tersebut.

Interpolasi bekerja dengan menggunakan data yang diketahui untuk memperkirakan nilai-nilai pada titik-titik yang tidak diketahui. Sebagai contoh: jika Anda ingin mengetahui suhu pada siang hari, tapi hanya diukur itu pada jam 11 dan jam 1, Anda bisa memperkirakan nilai dengan melakukan interpolasi linear. Jika Anda memiliki pengukuran tambahan pada jam 11.30 pagi, Anda bisa melihat bahwa sebagian besar dari kenaikan suhu terjadi sebelum tengah hari, dan bisa menggunakan titik data tambahan untuk melakukan interpolasi kuadrat. Semakin banyak Anda memiliki pengukuran suhu yang dekat dengan tengah hari, algoritma interpolasi Anda dapat lebih canggih (dan mudah-mudahan lebih akurat).

Interpolasi citra bekerja dalam dua arah, dan mencoba untuk mencapai pendekatan yang terbaik dari sebuah piksel yang warna dan intensitas yang didasarkan pada nilai-nilai di sekitar piksel.

Tidak seperti fluktuasi suhu udara dan gradien yang ideal, nilai-nilai piksel dapat berubah lebih jauh dari satu lokasi ke lokasi berikutnya. Seperti halnya dengan contoh temperatur, semakin banyak yang diketahui tentang informasi di sekitar pixel, semakin baik dalam proses interpolasi. Oleh karena itu semakin diperbesar, semakin banyak informasi yang harus diketahui.

2.3 Algoritma Interpolasi

- Algoritma non-adaptif, meliputi: tetangga terdekat, *bilinear*, *bicubic*, *spline*, *sinc*, *lanczos* dan lain-lain. Tergantung pada kompleksitas, gunakan ini di antara 0 hingga 255 (atau lebih) yang berdekatan piksel ketika diinterpolasi. Semakin banyak piksel yang berdekatan maka akan lebih akurat, tapi ini memerlukan waktu pemrosesan yang lebih lama lagi. Algoritma ini dapat digunakan untuk mendistorsi dan merubah ukuran foto (Sean McHugh, 2014).
- Algoritma adaptif, meliputi banyak algoritma yang dimiliki oleh software berlisensi seperti: *Qimage*, *PhotoZoomPro*, *GenuineFractals* dan lain-lain. Banyak dari versi yang berbeda menerapkan algoritma mereka (pada basis piksel) ketika mereka mendeteksi keberadaan tepi – bertujuan untuk meminimalkan kerosakan interpolasi di daerah yang tajam. algoritma ini terutama dirancang untuk memaksimalkan artefak secara detail pada foto yang diperbesar (Sean McHugh, 2014).

Nearest Neighbor Interpolation (Interpolasi Tetangga Terdekat)

Nearest Neighbor Interpolation adalah metode paling sederhana dan pada dasarnya membuat piksel lebih besar. Warna pixel dalam gambar yang baru adalah warna dari piksel terdekat dari gambar asli. Jika Anda memperbesar 200%, satu piksel akan diperbesar ke 2 x 2 luas dari 4 piksel dengan warna yang sama seperti aslinya pixel (Lancaster, 2007). Sebagian besar perangkat lunak untuk melihat dan mengedit gambar menggunakan interpolasi jenis ini untuk memperbesar gambar digital untuk keperluan pemeriksaan lebih dekat karena tidak mengubah informasi warna dari gambar dan tidak memperlihatkan anti-aliasing. Untuk alasan yang sama, tidak cocok untuk memperbesar gambar foto karena meningkatkan visibilitas *jaggies*.

Bilinear Interpolation

Bilinear Interpolation menentukan nilai piksel baru berdasarkan rata-rata (dengan memberi bobot) dari 4 piksel dari ukuran 2x2 piksel tetangga terdekat dalam gambar asli (Lancaster, 2007). Metode ini rata-rata memiliki efek *anti-aliasing* dan karena itu relatif mulus pada bagian tepinya dan tanpa meninggalkan kesan *jaggies*.

Bicubic Interpolation

Bicubic Interpolation adalah interpolasi dengan metode yang lebih canggih dan

hasilnya lebih halus pada bagian tepi-tepinya dari pada interpolasi *bilinear*. *Bicubic* menggunakan 4 x 4 piksel tetangga untuk mengambil informasi. *Bicubic* menghasilkan gambar yang terasa lebih tajam dari dua metode sebelumnya, dan mungkin merupakan kombinasi ideal waktu proses dan output yang berkualitas (Lancaster, 2007). Ini adalah metode yang paling sering digunakan oleh perangkat lunak editing gambar, printer driver dan banyak kamera digital untuk resampling gambar. *Adobe Photoshop CS* menawarkan dua varian dari metode interpolasi *bicubic*: *bicubic* halus dan *bicubic* tajam.

2.4 Cahaya

Cahaya merupakan energi berbentuk gelombang yang dapat membantu manusia untuk melihat. Dilihat dari sumber cahaya, secara garis besar dibagi menjadi :

1. Cahaya Alam (*Natural Lighting*)
Yang termasuk cahaya alam adalah cahaya matahari yang merupakan sumber cahaya utama dan dominan di bumi.
2. Cahaya Buatan (Artifisial)
Cahaya buatan ini meliputi cahaya listrik, lampu minyak dan lilin. Cahaya buatan ini sebagai sarana pelengkap untuk penerangan ruangan.

Sifat-sifat cahaya adalah bergerak lurus ke segala arah, namun cahaya dapat dipantulkan. Pantulan cahaya tergantung kepada jenis permukaan. Semakin teratur permukaan benda, maka gambar yang dipantulkan akan semakin jelas. Cahaya yang terpantul oleh permukaan benda dan masuk ke mata akan menjadi gambar yang diterjemahkan oleh otak manusia sebagai informasi (Julian, 2007).

Cahaya yang dipancarkan oleh sebuah sumber cahaya merambat ke segala arah. Bila medium yang dilaluinya homogen, maka cahaya lurus. Bukti cahaya merambat lurus tampak pada berkas cahaya matahari yang menembus masuk ke dalam ruangan yang gelap. Demikian pula dengan berkas lampu sorot pada malam hari. Ketika menyentuh permukaan suatu benda maka rambatan cahaya akan mengalami dua hal, yaitu pemantulan atau pembiasan. Pemantulan akan terjadi pada benda-benda yang tidak tembus cahaya, sedangkan pembiasan terjadi pada benda yang transparan atau tembus cahaya.

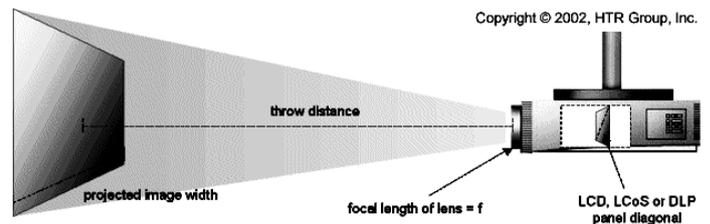
2.5 Proyektor

Proyektor adalah salah satu alat optik yang dapat memproyeksikan gambar yang kecil menjadi sebuah tampilan gambar besar

yang dapat ditangkap pada layar. Prinsip utama kerja proyektor adalah memanfaatkan karakteristik lensa cembung yang dapat menampilkan bayangan benda yang lebih besar dari aslinya.

Proyektor terbagi dalam dua jenis yaitu : LCD proyektor dan DLP proyektor. Azas kerja kedua jenis proyektor ini hampir sama yaitu memberikan bayangan yang besar ke layar (Dudi Indrajit, 2009).

Pembentukan bayangan pada proyektor dapat dilihat seperti pada gambar berikut :



3. Metode Proyeksi Cahaya

Metode perbesaran gambar dengan prinsip kerja proyeksi cahaya merupakan sebuah metode perbesaran gambar sederhana yang memanfaatkan keistimewaan sifat-sifat cahaya yang merambat ke segala arah dan melalui lintasan garis lurus. Cahaya juga memantulkan warna yang sesuai warna benda yang disinarnya.

3.1 Proyeksi Piksel Citra Asal ke Citra Hasil

Merupakan tahap awal metode proyeksi cahaya, dimana semua citra asal yang ada diproyeksikan ke citra hasil yang diperbesar.

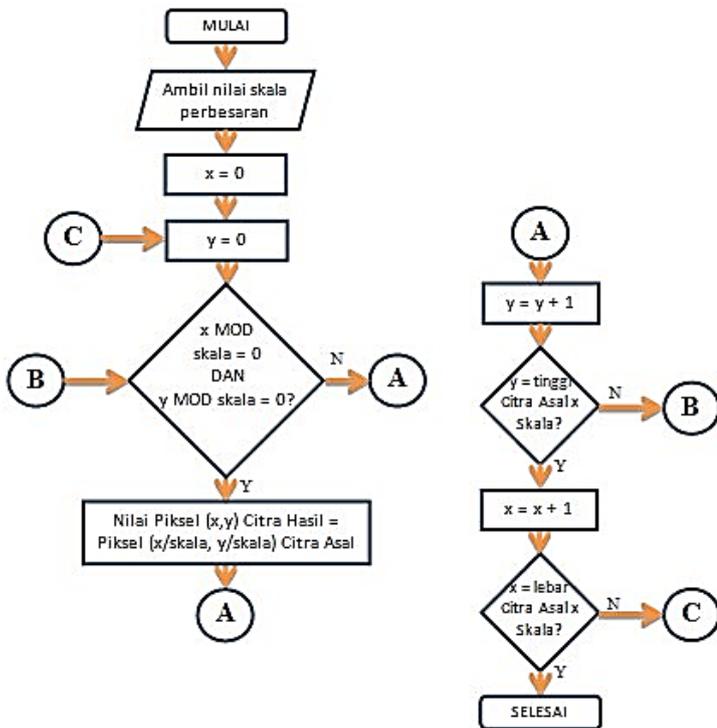
Untuk perbesaran gambar dengan skala s , maka jarak-jarak pada piksel-piksel gambar asal akan dikalikan dengan skala perbesaran s pada piksel gambar hasil. Sehingga hubungan antara titik asal (x, y) dan titik proyeksi (x', y') akan dapat diuraikan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} x' &= sx & y' &= sy \\ x &= \frac{x'}{s} & y &= \frac{y'}{s} \end{aligned}$$

Persamaan di atas jika dimasukkan ke dalam rumus pemetaan dari citra asal $f(x, y)$ ke citra hasil $f'(x', y')$ dapat ditulis sebagai :

$$f'(x', y') = f(s.x, s.y)$$

Proses proyeksi piksel citra asal ke citra hasil ini dapat dijelaskan dalam diagram alur (flowchart) sebagai berikut :



$$f(x', y') = db_x \cdot db_y \cdot f(x_0, y_0) + db_x \cdot da_y \cdot f(x_0, y_1) + da_x \cdot db_y \cdot f(x_1, y_0) + da_x \cdot da_y \cdot f(x_1, y_1)$$

dimana :

Z' adalah piksel citra hasil yang akan dicari nilainya
Z adalah piksel perpotongan antara garis proyeksi Z' ke bidang citra asal,

A_x, B_x, A_y dan B_y adalah titik-titik referensi penentu nilai Z'

(x₀, y₀), (x₀, y₁), (x₁, y₀), (x₁, y₁) adalah titik-titik piksel citra asal di sekitar titik Z

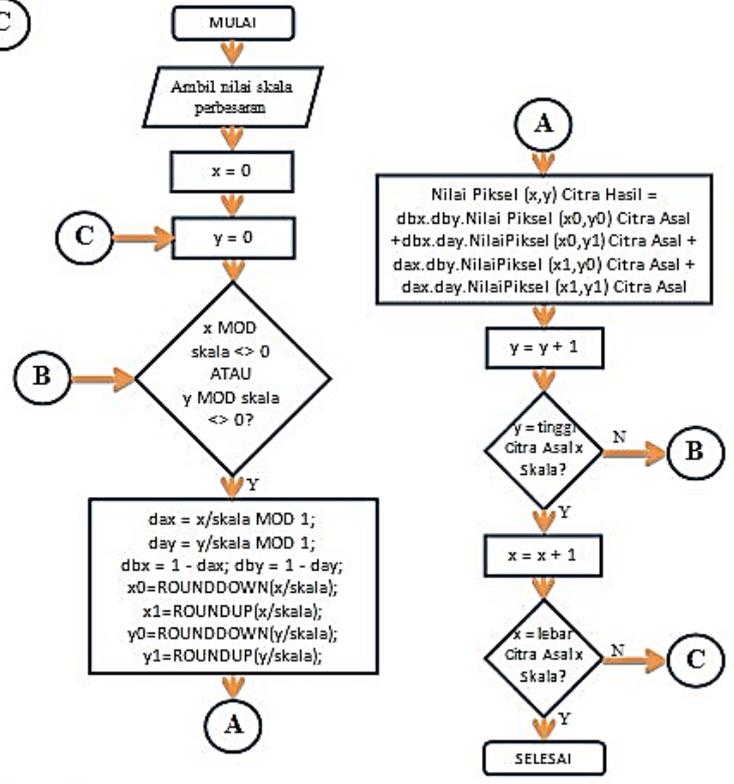
da_x adalah jarak antara titik Z ke A_x

db_x adalah jarak antara titik Z ke B_x

da_y adalah jarak antara titik Z ke A_y

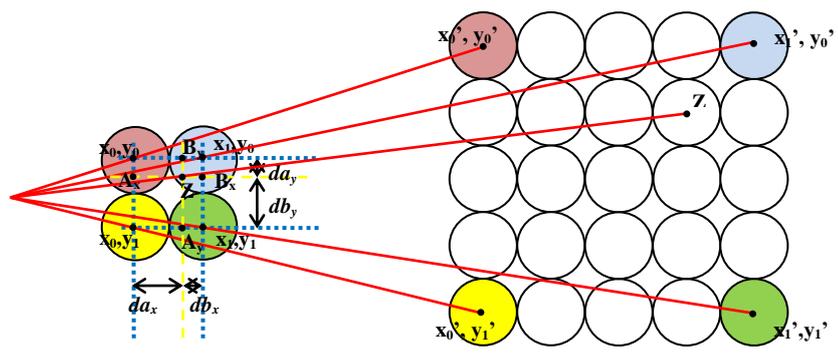
db_y adalah jarak antara titik Z ke B_y

Flowchart Proses pengisian piksel-piksel yang kosong ini adalah sebagai berikut :



3.2 Pengisian Piksel-piksel yang Kosong

Ketika sebuah citra diperbesar dengan cara memproyeksikan semua piksel dari citra asal ke citra hasil, maka akan ada piksel-piksel kosong yang terdapat pada citra hasil. Hal ini dikarenakan jumlah piksel yang terdapat pada citra hasil jelas akan lebih banyak dari jumlah piksel citra asal, sehingga akan terdapat piksel-piksel pada citra hasil yang tidak diketahui nilainya. Proses pengisian piksel-piksel yang kosong (piksel-piksel yang tidak diketahui nilainya) menjadi bagian yang tidak terpisahkan dari proses perbesaran citra. Tanpa proses ini, citra hasil akan menjadi tidak sempurna. Proses pengisian ini sering disebut proses *resampling*.



4. Pengujian

Pengujian pada Aplikasi

Hasil pengujian aplikasi dengan melakukan proses perbesaran citra pada 3 (tiga) buah file citra dengan berbagai tipe citra dan beberapa skala perbesaran yang dilakukan, dapat dilihat pada tabel berikut :

Nama File Citra	Ukuran Citra Masukan	Tipe Citra	Skala Perbesaran	Ukuran Citra Keluaran	Hasil Eksekusi
3.jpg	400 x 342 pixel	RGB Color 24 bit	800 %	3200 x 2736 pixel	Berhasil, waktu eksekusi 12.3 detik
3.jpg	400 x 342 pixel	RGB Color 24 bit	1600 %	6400 x 5472 pixel	Berhasil, waktu eksekusi 45.10 detik
3.jpg	400 x 342 pixel	RGB Color 24 bit	2000 %	8000 x 6840 pixel	Berhasil, waktu eksekusi 01.08.58 detik
san.bmp	256 x 256 pixel	Grayscale 8 bit	800 %	2048 x 2048 pixel	Berhasil, waktu eksekusi 05.08 detik
san.bmp	256 x 256 pixel	Grayscale 8 bit	1600 %	4096 x 4096 pixel	Berhasil, waktu eksekusi 18.70 detik
san.bmp	256 x 256 pixel	Grayscale 8 bit	2000 %	5120 x 5120 pixel	Berhasil, waktu eksekusi 02.15.00 detik
boat.bmp	512 x 512 pixel	Grayscale 8 bit	800 %	4096 x 4096 pixel	Berhasil, waktu eksekusi 16.15 detik
boat.bmp	512 x 512 pixel	Grayscale 8 bit	1600 %	8192 x 8192 pixel	Berhasil, waktu eksekusi 01.01.91 detik
boat.bmp	512 x 512 pixel	Grayscale 8 bit	2000 %	10240 x 10240 pixel	Berhasil, waktu eksekusi 01.32.97 detik

Dari hasil pengujian aplikasi di atas, beberapa hal yang dapat dilihat adalah :

- Semakin besar persentase skala perbesaran yang dimasukkan, semakin lama pula waktu yang diperlukan oleh aplikasi untuk melakukan perbesaran citra.
- Pada skala perbesaran yang sama dan tipe citra yang sama, citra-citra yang berukuran lebih besar akan memerlukan waktu proses aplikasi yang lebih lama dibandingkan citra-citra yang lebih kecil ukuran dimensi gambarnya.
- Pada skala perbesaran yang sama dan ukuran dimensi citra yang sama, citra-citra 24 bit memerlukan waktu proses aplikasi yang lebih lama dibandingkan citra-citra dengan tipe 8 bit.

Pengujian pada Citra

Pengujian pada citra dengan *Root Mean Squared Error* dilakukan pada 5 (lima) buah file citra dengan cara melakukan perbesaran 200 %, 400 % dan 800 % masing-masing menggunakan metode *NearestNeighbor*, *Bilinear* dan *Bicubic*, dengan aplikasi *AdobePhotoshop*. Kemudian perbesaran citra dilakukan dengan metode proyeksi cahaya pada masing-masing file. Hasil perbesaran citra dengan aplikasi kemudian dibandingkan dengan masing-masing metode dengan menghitung nilai *RMSE*. Perhitungan yang telah dilakukan tersebut dapat dilihat pada tabel berikut :

No	Nama File Citra	Ukuran Citra	Tipe Citra	Perbesaran	Nilai RMSE		
					Proyeksi Cahaya v.s. Nearest Neighbor	Proyeksi Cahaya v.s. Bilinear	Proyeksi Cahaya v.s. Bicubic
1	3.jpg	400 x 342 pixel	RGB Color 24 bit	200 %	13,176	8,871	10,082
				400 %	16,617	11,609	13,299
				800 %	18,203	13,071	14,858
2	bunga.jpg	400 x 300 pixel	RGB Color 24 bit	200 %	6,261	4,468	5,026
				400 %	7,857	5,899	6,539
				800 %	8,617	6,660	7,311
3	boat.bmp	512 x 512 pixel	Grayscale 8 bit	200 %	4,347	4,347	4,347
				400 %	5,701	5,701	5,701
				800 %	6,346	6,346	6,346
4	san.bmp	256 x 256 pixel	Grayscale 8 bit	200 %	6,619	6,619	6,619
				400 %	8,651	8,651	8,651
				800 %	9,614	9,614	9,614
5	Lena512 warna.bmp	512 x 512 pixel	RGB Color 24 bit	200 %	5,267	3,671	4,161
				400 %	6,876	5,184	5,772
				800 %	7,632	5,940	6,554
Jumlah					129,788	106,651	114,880
Rata-rata					8,653	7,110	7,659
Persentase kemiripan rata-rata					96,607 %	97,212 %	96,997 %

Dari hasil pengujian citra hasil dengan *RMSE*, beberapa hal yang dapat dilihat adalah :

- Pada setiap kasus perbesaran citra, terlihat bahwa perhitungan *RMSE* antara perbesaran metode proyeksi cahaya dengan perbesaran metode *bilinear* menghasilkan nilai yang lebih kecil dibandingkan perhitungan *RMSE* perbesaran metode proyeksi cahaya dengan metode-metode lain.
- Nilai *RMSE* yang dihasilkan memiliki kecenderungan semakin besar saat skala perbesaran yang dilakukan dinaikkan.
- Nilai-nilai *RMSE* dari citra dengan tipe 24 bit terlihat lebih besar dibandingkan nilai-nilai *RMSE* dari citra 8 bit.

Nilai *RMSE* yang dihitung antara dua buah citra menunjukkan kemiripan dari kedua citra tersebut. Semakin kecil nilai *RMSE* yang didapat dari hasil perhitungan, maka semakin mirip kedua citra yang dibandingkan. Dari hasil pengujian diatas, secara umum dapat disimpulkan bahwa metode proyeksi cahaya memiliki hasil perbesaran yang mirip dengan metode *bilinear*, dengan nilai *RMSE* rata-rata adalah 7,110.

Nilai *RMSE* tertinggi yang bisa diperoleh adalah selisih nilai terendah dan nilai tertinggi yang dicapai oleh komponen yang diukur. Dalam percobaan ini komponen yang diukur adalah komponen warna, dimana setiap komponennya memiliki nilai terendah 0 dan nilai tertinggi 255. Sehingga nilai *RMSE* yang akan didapat dari kasus pengujian ini adalah berkisar antara 0 hingga 255.

Dengan melihat *range* nilai *RMSE* yang bisa didapat, maka dapat disimpulkan persentase tingkat kemiripan rata-rata antara hasil perbesaran dengan metode proyeksi cahaya dengan metode-metode lainnya dapat dihitung sebagai berikut :

- Persentase kemiripan rata-rata metode proyeksi cahaya dan metode *Nearest Neighbor* :

$$\% = \frac{255 - 8,653}{255} \cdot 100 \% = 96,607 \%$$

- Persentase kemiripan rata-rata metode proyeksi cahaya dan metode *Bilinear*:

$$\% = \frac{255 - 7,110}{255} \cdot 100 \% = 97,212 \%$$

- Persentase kemiripan rata-rata metode proyeksi cahaya dan metode *Bicubic*:

$$\% = \frac{255 - 7,659}{255} \cdot 100 \% = 96,997 \%$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, disimpulkan bahwa hasil perbesaran dengan metode proyeksi cahaya memiliki tingkat kemiripan dengan hasil perbesaran dengan metode *bilinear* hingga mencapai rata-rata 97,212 %

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pengujian terhadap metode perbesaran gambar dengan prinsip kerja proyeksi cahaya ini maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Metode proyeksi cahaya, terbagi dalam 2 (dua) tahapan, yaitu :
 - a. Proyeksi piksel citra asal ke citra hasil
Merupakan tahap awal metode proyeksi cahaya, dimana semua citra asal yang ada diproyeksikan ke citra hasil yang diper-besar
 - b. Pengisian Piksel-piksel yang Kosong (*Resampling*)
Mengisi piksel-piksel yang belum terdefiniskan (*resampling*).
2. Metode proyeksi cahaya dapat digunakan untuk memperbesar citra digital dengan hasil perbesaran yang mirip dengan metode *bilinear*, dengan tingkat kemiripannya ketika diukur dengan pengujian *RMSE* mencapai rata-rata 97,212 %.
3. Kecepatan proses aplikasi saat melakukan perbesaran citra akan tergantung pada :
 - a. Tipe citra asal
Semakin tinggi kedalaman warna dari tipe citra asal, kecepatan proses aplikasi akan semakin rendah. Citra dengan tipe 8 bit akan lebih cepat

proses perbesarannya dibandingkan citra dengan tipe 24 bit.

- b. Ukuran citra asal
Kecepatan proses aplikasi akan semakin rendah jika ukuran citra asal yang diproses lebih besar. Waktu proses citra akan semakin besar.
- c. Skala perbesaran yang dimasukkan.
Untuk skala perbesaran yang lebih kecil kecepatan proses aplikasi akan lebih tinggi dibandingkan skala perbesaran yang lebih besar.

4. Metode *resampling* dengan pencampuran warna akan menghasilkan warna-warna yang menggradasi, sehingga akan menghasilkan citra perbesaran dengan ketajaman warna yang kurang baik.
5. Karena perhitungan pencampuran warna pada proses *resampling* tergantung pada sisa bagi nilai koordinat piksel-piksel gambar hasil dengan skala perbesaran, maka pemilihan tipe data untuk perhitungan nilai *dax*, *dbx*, *day* dan *dby* harus benar-benar diperhatikan untuk menghasilkan nilai bagi yang presisi dengan tingkat ketelitian yang tinggi.

6. Referensi

- Djumanta, Wahyudin, dan Susanti, Dwi. 2008. *Belajar Matematika Aktif dan Menyenangkan Untuk SMP/MTs Kelas IX*. Jakarta : Pusat Perbukuan Departement Pendidikan Nasional.
- ESRI. 2014. *GIS Dictionary*. New York : ESRI.
<http://support.esri.com/en/knowledgebase/GISDictionary/term/RMS%20error>
- Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. 2001. *Digital Image Processing Second Edition*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Hestingsih, Idhawati. 2013. *Pengolahan Citra*. Bandung : Institut Teknologi Telkom.
http://www.ittelkom.ac.id/staf/kru/TA/andri/6_REFERENSI/23REFERENSI%20Pengenalan%20digital%20image%20processing/Pengolahan%20Citra%20sangatk%20lengkap.pdf
- Indrajit, Dudi. 2009. *Mudah dan aktif belajar Fisika X*. Jakarta : Pusat Perbukuan Departement Pendidikan Nasional.

Julian, Victor. 2007. *Perancangan dan Pembuatan Perangkat Lunak rekonstruksi Gambar Obyek 2 Dimensi menjadi 3 Dimensi dengan Menggunakan Metode Generalized Voxel Coloring – Layered Depth Image*. Yogyakarta : Universitas Kristen Petra

Lancaster, D. 2007. *A Review of Some Image Pixel Interpolation Algorithm*. Retrieved 17, 2013, from The Guru's Lair.
<http://www.tinaja.com/glib/pixintpl.pdf>

McHugh, Sean. 2014. *Digital Photo Enlargement* Cambridge : Cambridge in Colour.
<http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/digital-photo-enlargement.htm>

Merriam-Webster. 2014. *Merriam-Webster Dictionary*. Merriam-Webster Inc.
<http://www.merriam-webster.com/dictionary/image>

Murni, Aniaty. 1992. *Pengantar Pengolahan Citra*. Jakarta : Elex Media Komputindo.

P., Eugene. 2014. *What Is Image Scaling*. Conjecture Corporation.
<http://www.wisegEEK.com/what-is-image-scaling.htm>

7. **Biografi**

Zolyviade Zarcelonia lahir di Singkawang, 1 Agustus 1992. Ia menerima gelar ST dari Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura pada tahun 2014.