

Rekonstruksi Citra Pada Super Resolusi Menggunakan Interpolasi Bicubic

Bagus Hardiansyah¹, Aidil Primasetya Armin², Anton Breva Yunanda³

¹Jurusan Teknik, Fakultas Teknik Informatika, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

²Jurusan Teknik, Fakultas Teknik Informatika, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

³Jurusan Teknik, Fakultas Teknik Informatika, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Email: ¹bagushardiansyah@untag-sby.ac.id, ²aidilprimasetya@untag-sby.ac.id, ³antonbreva@untag-sby.ac.id

Abstract. Digital image interpolation is important role in the geometric manipulation of a digital image. Interpolation is related to the process of mapping pixels, forward and reverse.

Then this research will implementation of the bicubic interpolation method in the image process that is 16 pixel 4×4 nearest neighborhood contained in the input image and generated a new pixel value with upscale 3x and 4x. Tests carried out on the type of RGB and images with BMP format with a variety of different image sizes. Tests with secondary data "Set5" and "Set14" validation results on upscale 3x using the PSNR method and results based on the average value of the secondary data "Set5" 30.40 and "Set14" 27.54

Keywords: Bicubic Interpolation, Super Resolution, PSNR,

Abstrak. Interpolasi citra digital memegang peranan penting dalam manipulasi geometris dari sebuah citra digital. Interpolasi berkaitan erat dengan proses pemetaan piksel-piksel baik secara forward maupun reverse.

penelitian ini akan dibahas implementasi metode interpolasi bicubic pada proses citra yang dilakukan dengan 16 nilai piksel pada 4×4 ketetanggaan terdekat yang terdapat pada citra input dan dihasilkan nilai piksel baru dengan upscale $3 \times$ dan $4 \times$. Pengujian di lakukan pada jenis citra RGB dan citra image dengan format BMP dengan berbagai ukuran citra yang berbeda-beda. Dilakukan pengujian dengan data sekunder "Set5" dan "Set14" hasil validasi pada upscale 3x menggunakan metode PSNR dan hasil berdasarkan nilai rata-rata dari data sekunder tersebut "Set5" 30.40 dan "Set14" 27.54

Kata Kunci: Interpolasi Bicubic, PSNR, Forward, Reserve.

1. Pendahuluan

Seiring berjalannya waktu kebutuhan manusia akan teknologi informasi semakin meningkat. Teknologi informasi yang masih berkembang pada saat ini adalah teknologi pengolahan citra seperti kamera, salah satu kemajuannya adalah peningkatan resolusi untuk mendapat citra resolusi tinggi baik untuk pengambilan gambar maupun video. Ada beberapa cara untuk mendapatkan citra dengan resolusi tinggi, salah satunya yaitu dengan meningkatkan kualitas sensor ataupun lensa. Meskipun teknik ini dapat meningkatkan resolusi citra, namun cara tersebut membutuhkan biaya yang besar dan belum dapat memenuhi kebutuhan citra resolusi tinggi di beberapa bidang (Yudhi, 2010)

Cara lain untuk mendapatkan resolusi citra yang tinggi dengan menggunakan pengolahan citra digital, berbagai penelitian untuk memperoleh citra resolusi tinggi dengan pendekatan yang lain, pendekatan tersebut berupa perangkat lunak yang salah satunya dibangun dengan teknik Super Resolusi.

Super Resolusi digunakan untuk perbaikan citra yang dapat mengubah citra beresolusi rendah tersebut menjadi sebuah citra beresolusi tinggi. Dengan demikian, biaya untuk mendapatkan citra dengan resolusi tinggi dapat lebih murah (Imaddudin, 2011). Terdapat 2 output yang di hasilkan oleh teknik Super Resolusi yaitu berupa gambar resolusi tunggal disebut teknik Super Resolusi statis dan gambar rangkaian maka disebut teknik Super Resolusi Dinamis (Wayan, 2011).

Terdapat banyak metode interpolasi yang sering digunakan untuk melakukan memperbesar resolusi citra, salah satunya adalah Interpolasi Nearest Neighbor, Interpolasi Bilinear, dan Interpolasi Bicubic. Interpolasi Nearest Neighbor merupakan metode yang paling sederhana dan paling sering digunakan untuk membuat piksel menjadi lebih besar. Kelebihan Interpolasi Nearest Neighbor adalah memanfaatkan teknik replikasi piksel. Interpolasi Bilinear menentukan nilai piksel baru dengan melakukan proses perataan sehingga menghasilkan sisi yang lebih halus dan sedikit jaggies (Hartanto,

2015). Interpolasi Bicubic merupakan metode interpolasi yang lebih canggih dan hasilnya lebih halus dibandingkan dengan metode Interpolasi Bilinear.

Interpolasi matematika, banyak digunakan dalam proses geometris citra digital. Dalam proses geometris citra, piksel-piksel citra dipetakan dari satu citra ke citra lainnya melalui teknik pemetaan *forward* maupun teknik pemetaan *reverse*. Algoritma pengolahan citra yang menerapkan proses interpolasi antara lain adalah algoritma penskalaan (pembesaran atau *digital zoom*), rotasi citra serta proses-proses geometris dan kreatif lainnya.

Hasil interpolasi bisa sangat bervariasi bergantung pada algoritma interpolasi yang digunakan. Pada dasarnya interpolasi adalah proses pendekatan sehingga memungkinkan terjadi perubahan khususnya degradasi kualitas citra pada saat algoritma interpolasi diterapkan. Karena hal ini tak dapat dihindarkan, maka efek negatif proses interpolasi diusahakan seminimal mungkin dengan menerapkan algoritma interpolasi yang tepat dan sesuai dengan kebutuhan.

Penilaian kualitas citra yang dihasilkan dapat dilakukan dengan cara melakukan penilaian dengan memanfaatkan algoritma matematik berdasarkan suatu kriteria. Indeks kualitas yang sering digunakan adalah Mean Square Error (MSE) dan Peak Signal to Noise Ratio (PSNR).

1.1. Metode Interpolasi Bicubic

Interpolasi adalah suatu proses untuk menentukan nilai baru di suatu posisi yang terletak diantara beberapa sampel. Penentuan nilai baru tersebut dilakukan dengan suatu fungsi tertentu (Wulandari, 2017). Interpolasi citra digital bekerja secara dua arah. Proses ini berusaha untuk mendapatkan perkiraan nilai piksel warna dan intensitas yang terbaik berdasarkan nilai pada piksel-piksel di sekitarnya (Hadi, 2014)

Interpolasi memiliki jenis yang sering digunakan dalam penelitian meliputi: tetangga terdekat, bilinear, bicubic, spline, sinc, lanczos dan lain-lain. 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 citra (Zolyviade, 2014) (Aisyah, 2011) (L. Brutman, 1997).

Berikut rumus untuk interpolasi :

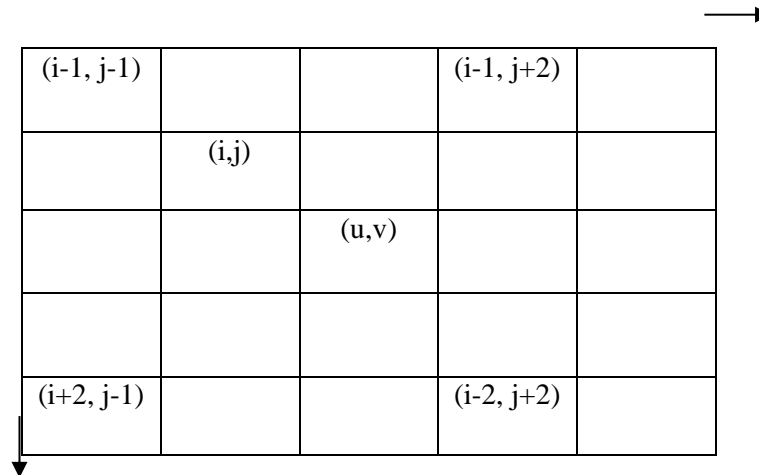
$$f(x, y) = \sum_{i,j=0}^{N=1} a_{i,j} x^i y^j$$

a = lokasi piksel tetangga terdekat

x = lokasi piksel baru horisontal

y = lokasi piksel baru vertikal


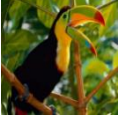
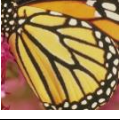


Interpolasi Bicubic adalah interpolasi dengan metode yang lebih canggih dan hasilnya lebih halus pada bagian tepitepinya daripada interpolasi bilinear. Interpolasi Bicubic menggunakan 4x4 piksel tetangga untuk mendapatkan informasi. Interpolasi Bicubic menghasilkan gambar yang terasa lebih tajam dibandingkan metode bilinear dan metode nearest neighbor (Wulandari, 2017).



Gambar 1 Diagram Metode Interpolasi Bicubic (6)

1.2 Dataset Super Resolusi

Dataset sekunder “Set5” dan “Set14” (<http://deeplearning.net/datasets/>).

| Nama Image | Format | Ukuran Image | Image |
|------------|--------|--------------|---|
| Baby | BMP | 504x504 |  |
| Bird | BMP | 282x282 |  |
| Butterfly | BMP | 249x249 |  |
| Head | BMP | 273x273 |  |
| Woman | BMP | 222x336 |  |

1.3 Mean Square Error (MSE)

Mean Square Error merupakan suatu metode pengukuran kontrol dan kualitas yang sudah dapat diterima luas. MSE dihitung dari sebuah contoh objek yang kemudian dibandingkan dengan objek aslinya, sehingga dapat diketahui tingkat ketidak sesuaiannya antara objek contoh dengan aslinya (Hartanto, 2015).

$$MSE = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} [X(i, j) - Y(i, j)]^2 \quad (1)$$

dimana :

M, N : Lebar dan tinggi citra

$X(i, j)$: Nilai intensitas citra asli pada posisi x, y

$Y(I, j)$: Nilai intensitas citra asli pada posisi x, y

1.4 Peak Signal Noise Ratio (PSNR)

Peak Signal Noise Ratio merupakan salah satu metode pengukuran yang digunakan untuk sistem rekonstruksi super resolusi gambar. Semakin besar PSNR, maka kualitas gambar semakin baik (Hartanto, 2015).

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{255^2}{MSE} \right) \quad (2)$$

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Citra Digital

Citra biasanya digunakan dalam bidang pengolahan citra. Citra diartikan sebagai fungsi dua variabel $f(x, y)$, x dan y adalah koordinat spasial dan nilai $f(x, y)$ adalah intensitas citra pada koordinat tersebut.

Citra digital dapat disajikan dalam bentuk matriks berdimensi $M \times N$ dengan M menyatakan baris dan N menyatakan kolom. Masing-masing nilai pada matriks tersebut mewakili nilai derajat keabuan dari citra. Persamaan (2.1) merupakan representasi citra dalam bentuk matriks (Rafael C, 2001).

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \cdots & f(0, N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \cdots & f(1, N-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \cdots & f(M-1, N-1) \end{bmatrix} \quad (0.1)$$

Dimana, $f(x, y)$ menunjukkan nilai keabuan. Nilai pada baris dan kolom (pada posisi x dan y) sering disebut dengan istilah piksel. Suatu piksel memiliki nilai dalam rentang tertentu, tergantung dari jenis warnanya. Namun secara umum jangkauannya adalah 0-255. Berikut adalah jenis-jenis citra berdasarkan nilai pikselnya:

1. Citra Biner

Citra biner adalah citra digital yang hanya memiliki dua kemungkinan nilai piksel yaitu hitam dan putih. Citra biner sering muncul sebagai hasil dari proses pengolahan citra seperti segmentasi, pengambangan, ataupun morfologi.

2. Citra Greyscale

Citra grayscale merupakan citra digital yang hanya memiliki satu nilai kanal pada setiap pikselnya, dengan kata lain nilai RED = GREEN = BLUE. Nilai tersebut digunakan untuk menunjukkan tingkat intensitas. Citra ini memiliki kedalaman warna 8 bit (256 kombinasi warna keabuan). Pengubahan dari citra berwarna ke bentuk greyscale mengikuti aturan yang disajikan pada Persamaan (2.2) (Darma, 2010).

$$s = \frac{r + g + b}{3} \quad (0.2)$$

dengan :

s = Nilai intensitas citra *greyscale*

r = Nilai intensitas warna merah dari citra asal

g = Nilai intensitas warna hijau dari citra asal

b = Nilai intensitas warna biru dari citra asal

3. Citra Warna

Citra warna ada 3 macam yaitu 8 bit, 16 bit, 24 bit. Perbedaannya hanya terletak pada jumlah variasi warna, 8 bit memiliki 256 variasi warna, 16 bit memiliki 65.536 variasi warna, sedangkan 24 bit memiliki 16.777.216 variasi warna.

2.2 Super Resolusi

Resolusi citra menggambarkan detail dari sebuah citra, semakin tinggi resolusi citra maka semakin tinggi ketajamannya. Dalam istilah citra digital resolusi citra sering dinyatakan dengan banyaknya piksel dari suatu citra, misalkan: citra dengan ukuran 256x256 mempresentasikan 256 pixel pada kolomnya dan 256 pixel pada barisnya (Ivado, 2014).

Resolusi citra adalah suatu ukuran kualitas dari keluaran sebuah citra yang biasa dikaitkan dengan piksel. Resolusi citra menggambarkan detail dari sebuah citra, semakin tinggi resolusi citra maka semakin tinggi ketajamannya. Dalam istilah citra digital resolusi citra sering dinyatakan dengan banyaknya piksel dari suatu citra, misalkan: citra dengan ukuran 256 x 256 mempresentasikan 256 pixel pada kolomnya dan 256 pixel pada barisnya (Remimol, 2014).

Prinsip resolusi citra adalah meningkatkan jumlah piksel gambar, dimana gambar dengan resolusi yang rendah diubah menjadi gambar dengan resolusi tinggi (D. Han, 2013). Contoh, ketika sebuah citra berukuran kecil diperbesar 400%. Citra tersebut mempunyai empat buah nilai piksel intensitas citra yang ditandai sebagai A, B, C, dan D pada Gambar 2 (a). Pada saat proses perbesaran ukuran citra nilai intensitas A, B, C, dan D ini diregangkan, sehingga terdapat beberapa nilai intensitas piksel baru di antara nilai intensitas piksel yang sudah ada, contohnya piksel P. penentuan nilai-nilai intensitas piksel baru P, dapat dilakukan dengan suatu perhitungan perkiraan interpolasi pada Gambar 1 (b). (D. Han, 2013)

| | | | |
|---|--|--|---|
| A | | | B |
|---|--|--|---|

| | | | |
|----------|----------|--|--|
| A | B | | |
| C | D | | |
| | | | |
| | | | |

a.

| | | | |
|----------|--|----------|----------|
| | | P | |
| | | | |
| C | | | D |

b.






Gambar 1 Skema Resolusi Citra

3. Metode Penelitian

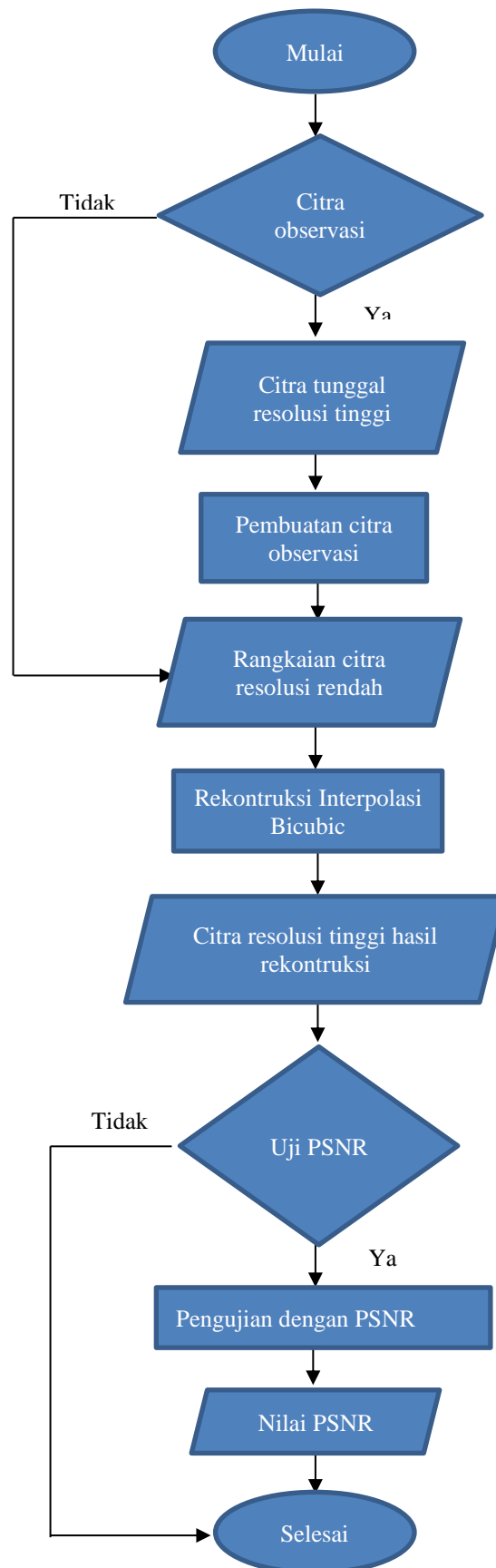
3.1 Pengambilan Data

Dalam penelitian ini menggunakan data berupa citra RGB dengan berbagai berbagai ukuran yang berbeda-beda dan format citra image BMP. Penelitian ini menggunakan dataset sekunder “Set5” dan “Set14” (<http://deeplearning.net/datasets/>). Table 4.1 menunjukkan beberapa contoh dari dataset.

Table 3.1 contoh dataset super resolusi

| Nama Image | Format | Ukuran Image | Image |
|----------------|--------|--------------|---|
| Baby (Set5) | BMP | 504x504 |  |
| Bird (Set5) | BMP | 282x282 |  |
| Zebra (Set14) | BMP | 579x384 |  |
| Baboon (Set14) | BMP | 492x474 |  |
| Flower (Set14) | BMP | 492x354 |  |

3.2 Diagram Alir



4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Downsampling

Pada tahap selanjutnya adalah melakukan *downsampling* pada citra. *Downsampling* dilakukan pada semua citra untuk menghasilkan ukuran citra yang lebih kecil dan mengurangi kualitas citra dengan metode polynomial lagrange. *Proses downsampling digunakan untuk memperkecil resolusi dari sebuah citra dengan menghilangkan sebagian piksel, hal itu berpengaruh pada kualitas citra yang dihasilkan. Untuk menjaga kualitas citra, maka metode interpolasi Bicubic modifikasi digunakan dalam proses downsampling. Interpolasi bicubic merupakan modifikasi dari interpolasi bicubic dengan kualitas yang sama dan waktu pemrosesan yang lebih cepat. Maka pada penelitian ini akan dibahas mengenai implementasi metode interpolasi bicubic modifikasi pada proses downsampling citra yang dilakukan dengan menghitung 16 piksel terdekat yang terdapat pada citra input dan dihasilkan nilai piksel baru. Pengujian dilakukan pada citra yaitu RGB. Hasil pengujian menunjukkan bahwa ukuran file citra output pada citra RGB (Jagadeesan, 2014) (M Rinaldi, 2010) (Jagadeesan, 2014).*

$$f(x, y) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 a_{ij} I_{ij}$$

yang merupakan hasil perkalian matriks citra I dan variabel a_{ij} yang didapat dari polinomial *Lagrange*.

4.2 Algoritma Interpolasi Bicubic








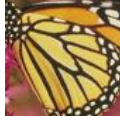







Sebuah piksel merupakan fungsi bicubic menggunakan 16 piksel pada 4×4 ketetanggaan dari citra asli. Algoritmanya adalah sebagai berikut:

1. Perbesar lebar dan tinggi sebanyak $3x$ dan $4x$
 2. Lakukan interpolasi polinomial kubik secara vertikal dengan cara sebagai berikut:
 - (a) susun matriks augmented y
 - (b) lakukan metode eliminasi Gauss Jordan hingga diperoleh
 $projection\ p = a_0 + a_1 y + a_2 y^2 + a_3 y^3$
 - (c) masukkan nilai y dari piksel yang akan dicari ke persamaan di atas
 3. Lakukan interpolasi polinomial kubik secara horizontal dengan cara sebagai berikut:
 - (a) susun matriks augmented x
 - (b) lakukan metode eliminasi Gauss Jordan hingga diperoleh
 $projection\ p = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3$
 - (c) masukkan nilai x dari piksel yang akan dicari ke persamaan di atas
 4. lakukan pembulatan pada tiap piksel
- Adapun matriks augmented y dan x adalah






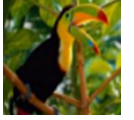
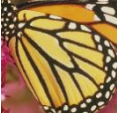

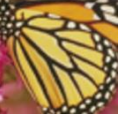






$$\begin{array}{ccccccc} 1 & y_1 & y_1^2 & y_1^3 & = & p_1 & 1 & x_1 & x_1^2 & x_1^3 & = & p_1 \\ 1 & y_2 & y_2^2 & y_2^3 & = & p_2 & 1 & x_2 & x_2^2 & x_2^3 & = & p_2 \\ 1 & y_3 & y_3^2 & y_3^3 & = & p_3 & 1 & x_3 & x_3^2 & x_3^3 & = & p_3 \\ 1 & y_4 & y_4^2 & y_4^3 & = & p_4 & 1 & x_4 & x_4^2 & x_4^3 & = & p_4 \end{array}$$

Tampilan sistem hasil implementasi metode interpolasi *Bicubic* pada proses *ini* dapat dilihat pada table hasil di bawah ini. Pengujian program dilakukan dua perbandingan yaitu pada upscale 3x dan upscale 4x, untuk mengimplementasikan interpolasi *bicubic* menggunakan 19 citra image RGB dengan format BMP. Pengujian dinilai berdasarkan ukuran *file* citra, nilai PSNR untuk menilai kualitas citra hasil *super resolusi* dan hasil nilai PSNR di rata-rata berdasarkan kumpulan dataset “Set5” dan “Set14”.

Tabel 4.1 Hasil Interpolasi Bicubic upscale 3x

| Image | Format image | upscale | PSNR (dB) | Size Original Image | Size Low Resolution Image | Size Metode Bicubic |
|-----------|--------------|---------|-----------|---|--|--|
| Baby | BMP | 3x | 33.92 | 504x504  | 168x168  | 504x504  |
| Bird | BMP | 3x | 32.58 | 282x282  | 94x94  | 282x282  |
| Butterfly | BMP | 3x | 24.04 | 249x249  | 83x83  | 249x249  |
| Head | BMP | 3x | 32.89 | 273x273  | 91x91  | 273x273  |
| Baboon | BMP | 3x | 23.21 | 492x472  | 164x158  | 492x472  |

Tabel 4.2 Hasil Interpolasi Bicubic upscale 4x

| Image | Format image | upscale | PSNR (dB) | Size Original Image | Size Low Resolution Image | Size Metode Bicubic |
|-----------|--------------|---------|-----------|---|--|--|
| Baby | BMP | 4x | 31.78 | 504x504  | 168x168  | 504x504  |
| Bird | BMP | 4x | 30.18 | 282x282  | 94x94  | 282x282  |
| Butterfly | BMP | 4x | 22.10 | 249x249  | 83x83  | 249x249  |
| Head | BMP | 4x | 31.60 | 273x273  | 91x91  | 273x273  |
| Baboon | BMP | 4x | 22.44 | 492x472  | 164x158  | 492x472  |

HR Image

LR Image

Metode Bicubic 3x



HR Image

LR Image

Metode Bicubic 4x



Proses pengujian dinilai dari ukuran file citra *output*, waktu pemrosesan dan kualitas citra. Untuk mengukur kualitas citra digunakan *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR). PSNR merupakan rasio antara nilai maksimum sebuah sinyal dan nilai *noise* yang berpengaruh pada sinyal tersebut (Wayan, 2011). Semakin besar nilai PSNR maka akan semakin tinggi kualitas dari citra *output*.

| images | Bicubic | Bicubic |
|----------------|--------------|--------------|
| | PSNR | PSNR |
| | 3x | 4x |
| Baby | 33.92 | 31.78 |
| Bird | 32.58 | 30.18 |
| Butterfly | 24.04 | 22.10 |
| Head | 32.89 | 31.60 |
| Woman | 33.92 | 26.46 |
| Average | 30.40 | 28.43 |
| Baboon | 23.21 | 22.44 |
| Barbara | 26.25 | 25.15 |
| Bridge | 24.40 | 23.15 |
| Coastguard | 26.55 | 25.48 |
| Comic | 23.12 | 21.69 |
| Face | 32.83 | 31.56 |
| Flowers | 27.23 | 25.53 |
| Foreman | 31.16 | 29.39 |
| Lenna | 31.69 | 29.84 |
| Man | 27.01 | 25.70 |
| Monarch | 29.43 | 27.46 |
| Pepper | 32.39 | 30.60 |
| PPT3 | 23.71 | 21.97 |
| Zebra | 26.64 | 24.08 |
| Average | 27.54 | 26.00 |

5.kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut

1. Nilai PSNR tertinggi pada citra jenis RGB dihasilkan oleh citra dengan format BMP, jika ukurannya citra image semakin besar maka semakin besar pula nilai PSNR nya dan nilai tertinggi rata-rata dari nilai PSNR adalah pada upscale 3x.
2. Untuk kualitas citra image RGB menggunakan 16 piksel pada 4×4 ketetanggaan dari citra asli dan dihasilkan nilai piksel baru sehingga nilai piksel pada citra *output* akan serupa dengan nilai piksel pada citra *input*.

Referensi

- Yudhi Purwananto, S.Kom, M.Kom, Rully Soelaiman, S.Kom, M.Kom Lulu Ardiansyah, "Rekonstruksi Citra Super-Resolusi Menggunakan Kerangka Kerja Soft," 2010.
- Imaddudin Septyan P, "REKONSTRUKSI CITRA MENGGUNAKAN ALGORITMA STRUCTURE-ADAPTIVE NORMALIZED CONVOLUTION," 2011.
- ST Ni Wayan Sumartini Saraswati, "TRANSFORMASI WAVELET DAN THRESHOLDING PADA CITRA MENGGUNAKAN MATLAB," 2011.
- B. Hartanto. "Analisa Bicubic Dan Bilinear Menggunakan Metode Discrete Wavelet Transform Pada Super Resolusi". Tugas Akhir, Fakultas Ilmu Komputer Universitas Dian Nuswantoro Semarang. 2015
- M. Wulandari. "Index Quality Assesment Citra Terinterpolasi (SSIM dan FSIM)". *Jurnal Terapan Teknologi Informasi (JUTEI)*. vol. 1, no. 1, April 2017. pp. 11-20.
- D. Han, "Comparison of Commonly Used Image Interpolation methods". *Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Science and Electronics Engineering (ICCSEE)*. 2013. pp. 1556-1559.
- Zolyviade Zarcelonia, "Perancangan Aplikasi Perbesaran Citra dengan Metode Proyeksi Cahaya," 2014.
- Siti Aisyah dan Fitri Arnia Nailul Mustaqim Abdi, "Peningkatan Kualitas Citra Digital Menggunakan Metode Super Resolusi Pada Domain Spasial," 2011.
- S. Hadi. "Metode Interpolasi Dan Implementasinya Dalam Citra Digital". 2014.
- Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods Digital Image Processing 2nd Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc. Boston, MA, USA ©2001 ISBN:0201180758
- Ivando, 2014, Implementasi Metode Interpolasi Bicubic Modifikasi untuk Perbaikan Citra Hasil Penskalaan, STMIK GI MDP, Palembang.
- Munir, Rinaldi 2010, Metode Numerik, Informatika, Bandung
- Jagadeesan, N. dan Parvathi, R.M.S 2014, An Efficient Image Downsampling Technique Using Genetic Algorithm and DWT, Journal of Theoretical and Applied Information Technology.
- Remimol 2014, A Method of DWT With Bicubic Interpolation for Image Scaling, International Journal of Computer Science Engineering (IJCSE), Vol. 3, No. 02.
- L. Brutman (1997), Lebesgue functions for polynomial interpolation a survey, Ann. Numer. Math. 4, 111127
- Jagadeesan, N. dan Parvathi, R.M.S 2014, *An Efficient Image Downsampling Technique Using Genetic Algorithm and DWT*, Journal of Theoretical and Applied Information Technology