

Index Quality Assessment Citra Terinterpolasi (SSIM dan FSIM)

Meirista Wulandari¹

¹Teknik Elektro, Universitas Tarumanagara

Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta Barat

meiristaw@ft.untar.ac.id

Abstract— There are some applications of pattern recognition which need input image with a certain size. The size effect the result of pattern recognition. Interpolation method is adopted to resize an image. Interpolated image's quality depends on interpolation method. Image Quality Assessment (IQA) plays very important role in image processing applications such as image enhancement, image compression, image restoration, and some other fields. Image quality assessment is necessary because images may contain different types of noise like blur, noise, contrast change, etc. This research compared 4 interpolation methods which are used to enhance image's quality. Those interpolation methods are Nearest Neighbor Interpolation (NNI), Bilinear Interpolation, Bicubic Interpolation and Nearest Neighbor Value Interpolation (NNVI). Those interpolation methods are analyzed by using IQA. The wellknown index of IQA such as Image Quality Assesment Metrics (SSIM) and A Feature Similarity Index (FSIM) are used in this research. Bicubic Interpolation shows the best quality based on PSNR, SSIM and FSIM. NNV shows the poor quality. Bilinear Interpolation and NNI shows middle quality among the others methods.

Intisari— Ada sejumlah aplikasi dalam pengenalan pola yang membutuhkan citra dengan ukuran tertentu. Ukuran citra menentukan hasil dari pengenalan pola suatu sistem. Suatu metode interpolasi digunakan untuk menyesuaikan ukuran suatu citra. Kualitas suatu citra terinterpolasi bergantung pada metode interpolasi yang digunakan. *Image Quality Assessment* (IQA) memainkan suatu peranan penting dalam berbagai aplikasi pengolahan citra seperti peningkatan kualitas citra, kompresi citra, restorasi citra, dan lain sebagainya. IQA sangat dibutuhkan karena suatu citra dapat mengandung beberapa tipe derau seperti derau blur, perubahan kontras dan sebagainya. Pada penelitian ini dibandingkan 4 buah metode interpolasi yang digunakan untuk meningkatkan kualitas citra. Keempat metode tersebut adalah *Nearest Neighbor Interpolation* (NNI), *Bilinear Interpolation*, *Bicubic Interpolation* dan *Nearest Neighbor Value Interpolation* (NNVI). Metode-metode ini dianalisa dengan IQA. IQA yang digunakan adalah *Image Quality Assesment Metrics* (SSIM) dan *A Feature Similarity Index* (FSIM). Metode *Bicubic Interpolation* menunjukkan nilai yang paling baik untuk PSNR, SSIM dan FSIM. Metode NNV menunjukkan nilai yang kurang baik dibanding ketiga metode interpolasi lainnya. Metode *Bilinear Interpolation* dan NNI memberikan kualitas yang berada ditengah-tengah antara metode *Bicubic Interpolation* dan NNV.

Kata Kunci— citra, interpolasi, SSIM, FSIM

I. PENDAHULUAN

Pengolahan citra digital telah banyak berkembang di zaman modern seperti sekarang ini. Pengolahan citra digital dapat dimengerti sebagai suatu metode untuk memproses

suatu citra menggunakan algoritma komputer untuk meningkatkan kualitas citra. Peningkatan kualitas citra dapat diupayakan dengan berbagai teknik yang salah satunya adalah interpolasi citra [1]. Interpolasi citra telah banyak digunakan dalam *computer vision* dan merupakan salah satu dasar proses *resampling* [2] baik untuk meningkatkan atau mengurangi resolusi citra [3, 4]. Kualitas citra yang dihasilkan dari proses interpolasi tergantung dari teknik interpolasi yang digunakan [5].

Penilaian kualitas suatu citra dapat dibagi menjadi 2 cara yaitu secara subjektif dan secara objektif [6, 7]. Penilaian secara subjektif adalah cara penilaian kualitas citra berdasarkan persepsi manusia [8]. Penilaian ini kurang efektif dan efisien serta memerlukan banyak waktu, karena dibutuhkan waktu untuk mencari para penilai dan menunggu nilai dari para penilai berdasarkan pendapat mereka masing-masing [9]. Penilaian secara objektif adalah cara penilaian kualitas citra dengan memanfaatkan algoritma matematik berdasarkan suatu kriteria [10, 11].

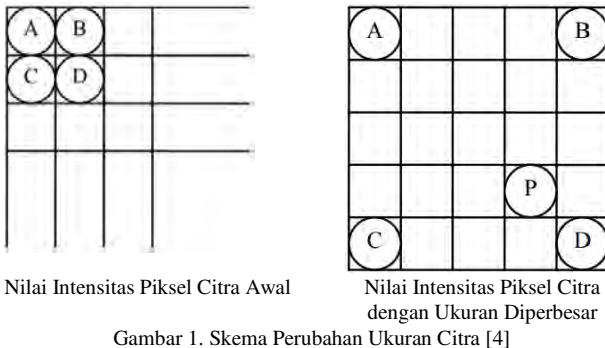
Penilaian kualitas secara objektif telah berkembang di zaman sekarang ini. Indeks kualitas yang paling umum digunakan adalah *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR), *Structural Similarity Index Metrics* (SSIM) [12, 13] dan *Feature Similarity Index Metrics* (FSIM) [14, 15]. Pada penelitian ini akan dibahas mengenai pengaruh interpolasi terhadap ketiga indeks kualitas *metrics*. Interpolasi yang akan dibahas adalah *Nearest Neighbor Interpolation* (NNI), *Bilinear Interpolation*, *Bicubic Interpolation* [1] dan *Nearest Neighbor Value Interpolation* (NNVI) [16]. Tiga indeks kualitas *metrics* yang digunakan adalah PSNR, SSIM dan FSIM.

II. LANDASAN TEORI

Interpolasi adalah suatu proses menentukan nilai yang baru di suatu posisi yang terletak diantara beberapa *sample* [1]. Penentuan nilai baru tersebut dilakukan dengan suatu fungsi tertentu. Interpolasi citra bekerja dalam dua arah dan mencoba untuk mencapai pendekatan yang terbaik dari sebuah piksel yang warna dan intensitasnya didasarkan pada nilai-nilai di sekitar piksel.

Pada umumnya, proses untuk memperbesar citra mengadopsi teori interpolasi. Ketika suatu citra berukuran kecil, empat buah nilai piksel intensitas citra ditandai sebagai A, B, C dan D. Proses untuk memperbesar 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. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 1.

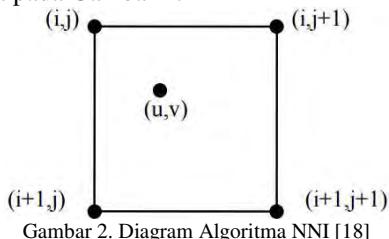


A. Nearest Neighbor Interpolation

Nearest Neighbor Interpolation (NNI) adalah metode paling sederhana dan pada dasarnya membuat piksel lebih besar. Jika Anda akan memperbesar 200% satu piksel akan diperbesar 2×2 luas dari 4 piksel dengan warna yang sama seperti aslinya piksel [1].

Penentuan nilai piksel baru dengan metode NNI dilakukan dengan memperhitungkan empat buah piksel tetangga terdekat [17].

Suatu nilai piksel baru hendak dicari. Koordinat piksel tersebut dimisalkan (u,v) , maka empat piksel tetangga yang diperlukan untuk kalkulasi interpolasi adalah piksel-piksel dengan koordinat (i,j) , $(i,j+1)$, $(i+1,j)$ dan $(i+1, j+1)$. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Dalam metode ini setiap piksel hasil interpolasi didapat dari nilai tetangga terdekat pada citra masukan. *Kernel* interpolasi dari metode NNI adalah

$$h(x) = \begin{cases} 0; & |x| > 0 \\ 1; & |x| < 0 \end{cases} \quad (1)$$

Frekuensi *response* dari kernel NNI adalah

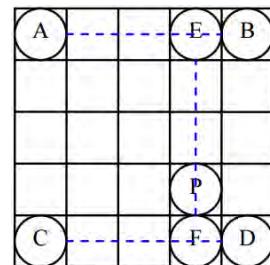
$$H(\omega) = \text{sinc}(\omega/2) \quad (2)$$

Walaupun metode ini sangat sederhana, tetapi kualitas yang dihasilkan kurang baik

B. Bilinear Interpolation

Bilinear interpolation menentukan nilai piksel baru berdasarkan rata-rata, dengan memberi bobot, dari 4 piksel dari ukuran 2×2 piksel tetangga terdekat dalam gambar asli [1]. Nilai piksel dengan jarak terdekat dengan piksel yang baru mempunyai bobot yang lebih besar dibanding nilai-nilai piksel lainnya dengan jarak yang agak jauh. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3. Ada beberapa langkah yang perlu dilakukan untuk menentukan nilai piksel baru. Dicantohkan koordinat piksel A, B, C dan D adalah (i,j) , $(i,j+1)$, $(i+1,j)$ dan $(i+1, j+1)$. Koordinat piksel baru (u,v) Langkah 1 menghitung pengaruh piksel A dan B, anggap suatu nilai baru yaitu piksel E.

$$f(i,j + v) = [f(i,j + 1) - f(i,j)]v + f(i,j) \quad (3)$$



Gambar 3. Diagram Algoritma Bilinear Interpolation [19]

Langkah kedua: menghitung pengaruh nilai piksel C dan D, anggap sebagai piksel F

$$f(i + 1, j + v) = [f(i + 1, j + 1) - f(i + 1, j)]v + f(i + 1, j) \quad (4)$$

Langkah ketiga: menghitung pengaruh nilai piksel E dan F, anggap sebagai piksel P.

$$\begin{aligned} f(i + u, j + v) = & (1-u)(1-v)f(i,j) - (1-u)v f(i,j+1) + \\ & u(1-v)f(i+1,j) + uv f(i+1,j+1) \end{aligned} \quad (5)$$

Metode ini rata-rata memiliki efek *anti-aliasing* dan karena itu relatif mulus pada bagian tepinya. *Kernel bilinear interpolation* adalah

$$u(x) = \begin{cases} 0; & |x| > 1 \\ 1 - |x|; & |x| < 1 \end{cases} \quad (6)$$

x adalah jarak diantara 2 titik yang diinterpolasi.

C. Bicubic Interpolation

Bicubic interpolation adalah interpolasi dengan metode yang lebih canggih dan hasilnya lebih halus pada bagian tepi-tepi daripada *bilinear interpolation* [1]. *Bicubic* menggunakan 4×4 piksel tetangga untuk mendapatkan informasi. *Bicubic* menghasilkan gambar yang terasa lebih tajam dari dua metode sebelumnya, dan mungkin merupakan kombinasi ideal waktu proses dan *output* yang berkualitas. Ini adalah metode yang paling sering digunakan oleh perangkat lunak *editing*. *Kernel* interpolasi dari *bicubic interpolation* adalah

$$W(x) = \begin{cases} (a+2)|x|^2 - (a+3)|x|^3 + 1 & \text{untuk } |x| \leq 1 \\ a|x|^2 - 5a|x|^3 + 8a|x| - 4a & \text{untuk } 1 < |x| < 2 \\ 0 & \text{untuk lainnya} \end{cases} \quad (7)$$

D. Nearest Neighbor Value Interpolation (NNVI)

Nearest Neighbor Value Interpolation (NNVI) adalah suatu pengembangan interpolasi yang menerapkan algoritma *Bilinear Interpolation*. Nilai hasil interpolasi didapat dengan mencari selisih nilai piksel hasil *Bilinear Interpolation* dengan nilai piksel tetangganya. Tujuan dari mendapatkan nilai selisih adalah untuk meminimalkan *underestimation* atau *overestimation* dari bagian tekstur citra setelah interpolasi [16].

Langkah-langkah untuk melakukan NNVNI adalah melakukan kalkulasi dengan empat tetangga piksel baru, mendapatkan nilai perbedaan minimum antara empat piksel tetangga dengan nilai bilinear.

Langkah pertama: menghitung nilai bilinear dan membandingkan nilai piksel asli dengan hasil bilinear. Dimisalkan terdapat piksel awal A, K, P dan G, dengan piksel baru hasil bilinear adalah B. Perbedaan antara nilai piksel A, K, P dan G dengan piksel B akan dihitung.

$$|A - B| = V_1 \quad (8)$$

$$|K - B| = V_2 \quad (9)$$

$$|P - B| = V_3 \quad (10)$$

$$|G - B| = V_4 \quad (11)$$

Langkah kedua: mendapatkan nilai minimum dari keempat perbedaan V_1, V_2, V_3 dan V_4 .

Jika sudah didapatkan nilai minimum di antara keempat V tersebut maka nilai piksel baru dapat ditentukan. Penentuan nilai piksel baru dapat dilakukan dengan mengurangi nilai hasil bilinear dengan nilai V minimum tersebut.

E. Peak to Signal Ratio (PSNR)

PSNR adalah nilai perbandingan antara citra asli (f) dengan citra yang diuji (g) berdasarkan atas perbedaan nilai piksel kedua citra [20]. Kedua citra mempunyai ukuran yang sama $M \times N$.

$$PSNR(f, g) = 10 \log_{10}(255^2 / MSE(f, g)) \quad (12)$$

dengan,

$$MSE(f, g) = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (f_{ij} - g_{ij})^2 \quad (13)$$

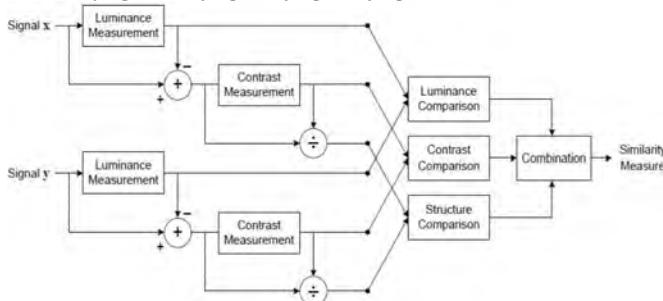
MSE adalah suatu nilai yang dihitung dengan merata-ratakan nilai intensitas kuadrat. Nilai intensitas yang dimaksud adalah perbedaan antara citra asli dengan citra uji. Semakin tinggi nilai PSNR maka semakin tinggi pula kualitas citranya.

F. Structural Similarity Index Metrics (SSIM)

SSIM dikenal sebagai kualitas *metric* yang digunakan untuk mengukur kemiripan diantara 2 buah citra dan dipercaya berkorelasi dengan kualitas persepsi *Human Visual System* (HVS) [21]. Model SSIM dibuat dengan memperhatikan 3 buah faktor yaitu *loss of correlation*, *luminance distortion* dan *contrast distortion*.

Persamaan SSIM dapat dilihat pada (14).

$$SSIM(f, g) = l(f, g) c(f, g) s(f, g) \quad (14)$$



Gambar 4. Diagram Sistem Pengukuran SSIM [9]

Dengan faktor-faktornya dapat dilihat pada (15)

$$\begin{cases} l(f, g) = \frac{2\mu_f\mu_g + C_1}{\mu_f^2 + \mu_g^2 + C_1} \\ c(f, g) = \frac{2\sigma_f\sigma_g + C_2}{\sigma_f^2 + \sigma_g^2 + C_2} \\ s(f, g) = \frac{2\sigma_{fg} + C_3}{\sigma_f\sigma_g + C_3} \end{cases} \quad (15)$$

$l(f, g)$ adalah perbandingan luminansi yang mengukur kemiripan nilai luminansi rerata 2 citra (μ_f dan μ_g). Nilai maksimal dari nilai $l(f, g)$ sama dengan 1. Nilai maksimal akan tercapai bila $\mu_f = \mu_g$

$c(f, g)$ adalah perbandingan nilai kontras yang mengukur kemiripan nilai standar deviation 2 citra yaitu σ_f dan σ_g . Nilai maksimal dari nilai $c(f, g)$ sama dengan 1. Nilai maksimal akan tercapai bila $\sigma_f = \sigma_g$

$s(f, g)$ adalah perbandingan struktur yang mengukur koefisien korelasi di antara 2 citra (f, g). σ_{fg} adalah nilai kovarian antara f dan g .

Jangkauan nilai SSIM adalah 0 sampai dengan 1. Nilai "0" menunjukkan kedua citra yang dibandingkan tidak berkorelasi sedangkan nilai "1" menunjukkan kedua citra yang dibandingkan sama persis $f = g$.

C_1, C_2 dan C_3 adalah suatu konstanta agar menyebut tidak sama dengan nol.

G. Feature Similarity Index Metrics (FSIM)

FSIM merupakan *index quality assessment* yang didasarkan pada kenyataan bahwa HVS lebih mengutamakan *low-level feature* suatu citra daripada *high-level features* [14, 22]. Ada 2 buah fitur utama dalam FSIM yaitu *Phase Congruency* (PC) dan *Gradient Magnitude* (GM).

$$PC_{2D}(x) = \frac{\sum_j E_{\theta_j}(x)}{\varepsilon + \sum_n \sum_j A_{n,\theta_j}(x)} \quad (16)$$

$$A_{n,\theta_j} = \sqrt{e_{n,\theta_j}(x)^2 + o_{n,\theta_j}(x)^2} \quad (17)$$

A_{n,θ_j} adalah amplitudo lokal pada poin x saat skala n dan orientasi θ_j ,

ε adalah suatu konstanta kecil.

$$E_{\theta_j}(x) = \sqrt{F_{\theta_j}(x)^2 + H_{\theta_j}(x)^2} \quad (18)$$

$$F_{\theta_j}(x) = \sum_n e_{n,\theta_j}(x) \quad (19)$$

$$H_{\theta_j}(x) = o_{n,\theta_j}(x) \quad (20)$$

GM dari suatu citra dapat didefinisikan sebagai (21)

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (21)$$

Dengan $G_x(x)$ dan $G_y(x)$ adalah gradien citra sepanjang arah vertikal dan horizontal.

Dengan tujuan untuk memisahkan *feature similarity measurement* antara citra asli $f_1(x)$ dengan citra uji $f_2(x)$, PC dan GM dapat dimanfaatkan untuk mencari $S_{PC}(x)$ dan $S_G(x)$.

$$S_{PC}(x) = \frac{2PC_1(x) \cdot PC_2(x) + T_1}{PC_1^2(x) + PC_2^2(x) + T_1} \quad (22)$$

$$S_G(x) = \frac{2G_1(x) \cdot G_2(x) + T_2}{G_1^2(x) + G_2^2(x) + T_2} \quad (23)$$

dengan

$PC_1(x), PC_2(x)$ adalah nilai PC dari $f_1(x)$ dan $f_2(x)$.

$G_1(x), G_2(x)$ adalah nilai GM dari $f_1(x)$ dan $f_2(x)$.

$T_1 = 0,85$ dan $T_2 = 160$;

Setelah mendapatkan $S_{PC}(x)$ dan $S_G(x)$, nilai $S_L(x)$ dapat dicari persamaan (24)

$$S_L(x) = [S_{PC}(x)]^\alpha + [S_G(x)]^\beta \quad (24)$$

α dan β adalah suatu parameter untuk menyesuaikan *relative importance* antara PC dan GM.

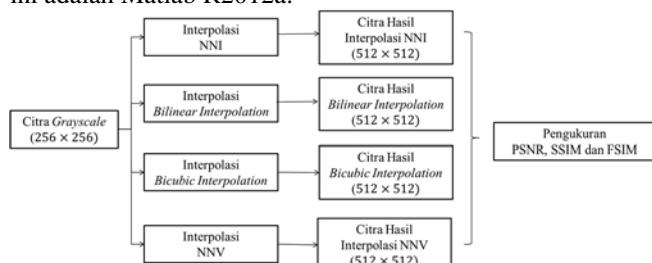
Untuk lebih mudahnya, α dan β dibuat sama dengan 1. Kemudian FSIM antara $f_1(x)$ dan $f_2(x)$ dapat dicari dengan persamaan (25)

$$FSIM = \frac{\sum_{x \in \Omega} S_L(x) \cdot PC_m(x)}{\sum_{x \in \Omega} PC_m(x)} \quad (25)$$

$$PC_m(x) = \max(PC_1(x), PC_2(x)) \quad (26)$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan menggunakan 20 buah citra *grayscale* berukuran 256×256 . Setiap citra diinterpolasi dengan faktor perbesaran sama dengan 2. Metode interpolasi yang dilakukan terhadap setiap citra ada 4 buah metode yaitu NNI, *Bilinear Interpolation*, *Bicubic Interpolation* dan NNVI. Kemudian citra hasil interpolasi dibandingkan dengan citra asli 512×512 untuk diukur parameter PSNR, SSIM dan FSIM. *Software* yang digunakan dalam penelitian ini adalah Matlab R2012a.



Gambar 5. Diagram Blok Pengukuran Kualitas Citra Interpolasi

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN



Citra 1



Citra 2



Citra 3



Citra 4



Citra 5



Citra 6



Citra 7



Citra 8



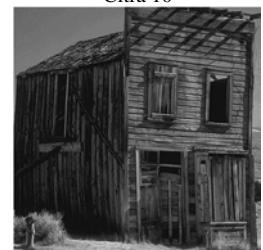
Citra 9



Citra 10



Citra 11



Citra 12



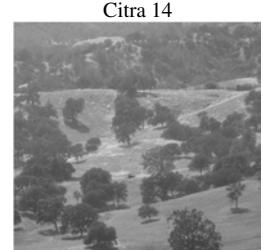
Citra 13



Citra 14



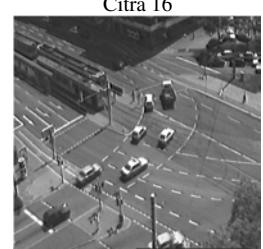
Citra 15



Citra 16



Citra 17



Citra 18



Citra 19



Citra 20

Gambar 6. Citra *Grayscale* Asli Berukuran 512 × 512
(Lanjutan)



Citra 2 Hasil Bilinear
Interpolation



Citra 2 Hasil Bicubic
Interpolation



Citra 3 Hasil NNVI



Citra 3 Hasil NNI



Citra 3 Hasil Bilinear
Interpolation



Citra 3 Hasil Bicubic
Interpolation



Citra 1 Hasil NNVI



Citra 1 Hasil NNI



Citra 1 Hasil Bilinear
Interpolation



Citra 1 Hasil Bicubic
Interpolation



Citra 4 Hasil NNVI



Citra 4 Hasil NNI



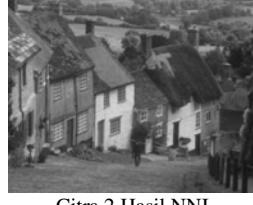
Citra 4 Hasil Bilinear
Interpolation



Citra 4 Hasil Bicubic
Interpolation



Citra 2 Hasil NNVI



Citra 2 Hasil NNI



Citra 5 Hasil NNVI



Citra 5 Hasil NNI



Citra 5 Hasil Bilinear
Interpolation



Citra 5 Hasil Bicubic
Interpolation



Citra 8 Hasil Bilinear
Interpolation



Citra 8 Hasil Bicubic
Interpolation



Citra 6 Hasil NNVI
Gambar 7. Citra Hasil Interpolasi (Lanjutan)



Citra 6 Hasil NNI



Citra 9 Hasil NNVI



Citra 9 Hasil NNI
Gambar 7. Citra Hasil Interpolasi (Lanjutan)



Citra 6 Hasil Bilinear
Interpolation



Citra 6 Hasil Bicubic
Interpolation



Citra 9 Hasil Bilinear
Interpolation



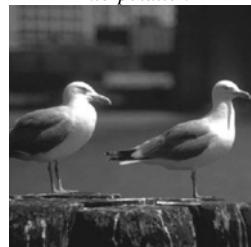
Citra 9 Hasil Bicubic
Interpolation



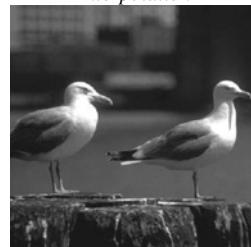
Citra 7 Hasil NNVI



Citra 7 Hasil NNI



Citra 10 Hasil NNVI



Citra 10 Hasil NNI



Citra 7 Hasil Bilinear
Interpolation



Citra 7 Hasil Bicubic
Interpolation



Citra 10 Hasil Bilinear
Interpolation



Citra 10 Hasil Bicubic
Interpolation



Citra 8 Hasil NNVI



Citra 8 Hasil NNI



Citra 11 Hasil NNVI



Citra 11 Hasil NNI



Citra 11 Hasil Bilinear
Interpolation



Citra 11 Hasil Bicubic
Interpolation



Citra 14 Hasil Bilinear
Interpolation



Citra 14 Hasil Bicubic
Interpolation



Citra 12 Hasil NNVI
Gambar 7. Citra Hasil Interpolasi (Lanjutan)



Citra 12 Hasil NNI



Citra 15 Hasil NNVI
Gambar 7. Citra Hasil Interpolasi (Lanjutan)



Citra 15 Hasil NNI



Citra 12 Hasil Bilinear
Interpolation



Citra 12 Hasil Bicubic
Interpolation



Citra 15 Hasil Bilinear
Interpolation
Gambar 7. Citra Hasil Interpolasi (Lanjutan)



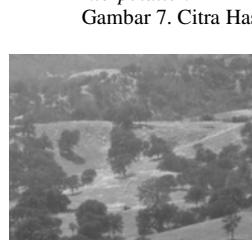
Citra 15 Hasil Bicubic
Interpolation



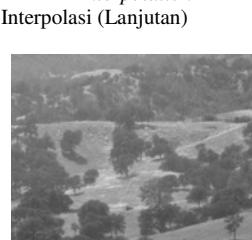
Citra 13 Hasil NNVI



Citra 13 Hasil NNI



Citra 16 Hasil NNVI



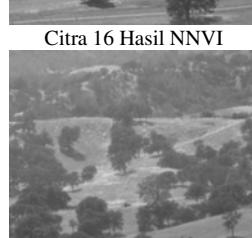
Citra 16 Hasil NNI



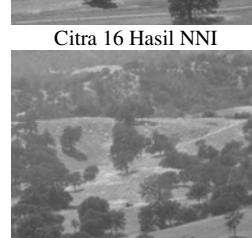
Citra 13 Hasil Bilinear
Interpolation



Citra 13 Hasil Bicubic
Interpolation



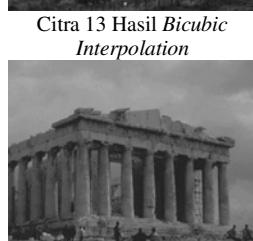
Citra 16 Hasil Bilinear
Interpolation



Citra 16 Hasil Bicubic
Interpolation



Citra 14 Hasil NNVI



Citra 14 Hasil NNI



Citra 17 Hasil NNVI



Citra 17 Hasil NNI



Citra 17 Hasil Bilinear
Interpolation



Citra 17 Hasil Bicubic
Interpolation



Citra 20 Hasil Bilinear
Interpolation



Citra 20 Hasil Bicubic
Interpolation



Citra 18 Hasil NNV
Gambar 7. Citra Hasil Interpolasi (Lanjutan)



Citra 18 Hasil NNI



Citra 18 Hasil Bilinear
Interpolation



Citra 18 Hasil Bicubic
Interpolation



Citra 19 Hasil NNV



Citra 19 Hasil NNI



Citra 19 Hasil Bilinear
Interpolation



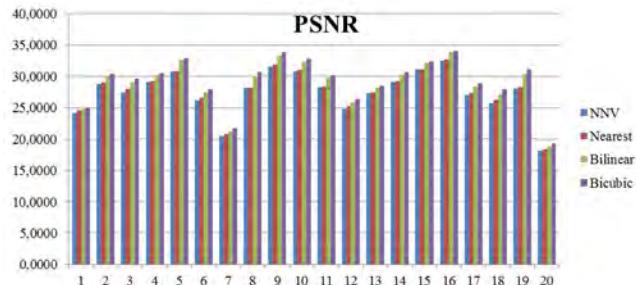
Citra 19 Hasil Bicubic
Interpolation



Citra 20 Hasil NNV

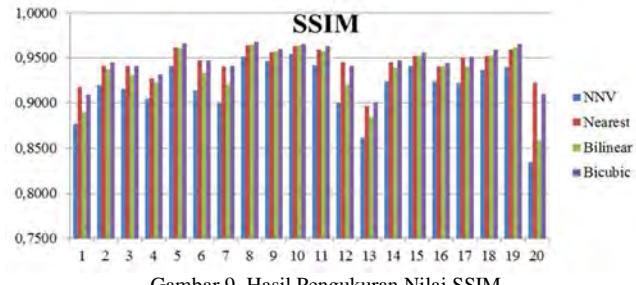


Citra 20 Hasil NNI



Gambar 8. Hasil Pengukuran Nilai PSNR

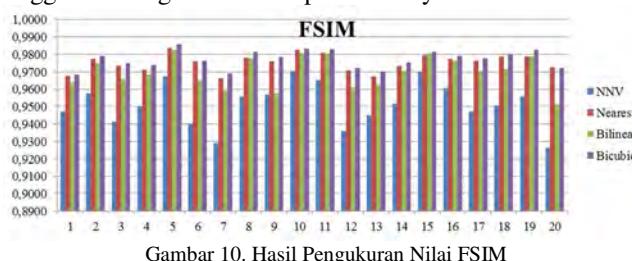
Gambar 8 menunjukkan hasil pengukuran nilai PSNR. Nilai PSNR hasil pengukuran keempat metode interpolasi untuk kedua puluh citra uji secara umum berada di antara 15 dB sampai dengan 35 dB. Setiap metode mempunyai nilainya masing-masing. Nilai PSNR terendah terdapat pada citra 20. Pada citra 20 nilai PSNR hasil NNV adalah 18,1215 dB, nilai PSNR hasil NNI adalah 18,4007 dB, nilai PSNR hasil *bilinear interpolation* adalah 18,8103 dB dan nilai PSNR hasil *bicubic interpolation* adalah 19,2833 dB. Nilai PSNR tertinggi ditunjukkan oleh citra 16. Pada citra 16 nilai PSNR hasil NNV adalah 32,5130 dB, nilai PSNR hasil NNI adalah 32,6802 dB, nilai PSNR hasil *bilinear interpolation* adalah 33,8601 dB dan nilai PSNR hasil *bicubic interpolation* adalah 34,0742 dB. Dari kedua puluh citra dapat dilihat pada metode interpolasi NNV menunjukkan nilai PSNR yang lebih rendah dibanding ketiga metode interpolasi lainnya. Nilai PSNR hasil interpolasi NNI lebih baik daripada nilai PSNR hasil interpolasi NNV namun tidak lebih baik dari nilai PSNR *bilinear interpolation* dan *bicubic interpolation*. Nilai PSNR yang dihasilkan oleh *bilinear interpolation* lebih baik dibanding nilai PSNR hasil metode NNI dan NNV, namun tidak lebih baik daripada nilai PSNR hasil *bicubic interpolation*. Nilai PSNR yang dihasilkan metode *bicubic interpolation* lebih baik daripada nilai PSNR ketiga metode interpolasi.



Gambar 9. Hasil Pengukuran Nilai SSIM

Gambar 9 menunjukkan nilai-nilai SSIM dari kedua puluh citra uji. Nilai SSIM kedua puluh citra berada di antara

nilai 0,83 sampai dengan 0,96. Tidak seperti nilai PSNR yang dapat dilihat dengan keteraturannya, nilai SSIM ini lebih acak, setiap metode interpolasi memberikan efek yang berbeda terhadap masing-masing citra. Pada citra 1 nilai SSIM hasil NNV adalah 0,8766, nilai SSIM hasil NNI adalah 0,9179, nilai SSIM hasil *bilinear interpolation* adalah 0,8900, nilai SSIM hasil *bicubic interpolation* adalah 0,9091. Setiap metode mempunyai kelebihan dan kelemahannya masing-masing untuk setiap citra. Hal ini dapat dilihat bahwa untuk nilai SSIM hasil NNV terendah ditunjukkan oleh citra 20 dengan nilai SSIMnya adalah 0,8347. Nilai SSIM hasil NNV tertinggi ditunjukkan oleh citra 10 dengan nilai SSIMnya adalah 0,9545. Nilai SSIM hasil NNI terendah ditunjukkan oleh citra 13 dengan nilai SSIMnya adalah 0,8964. Nilai SSIM tertinggi hasil NNI ditunjukkan oleh citra 8 dengan nilai SSIMnya adalah 0,9639. Nilai SSIM hasil *bilinear interpolation* terendah ditunjukkan oleh citra 20 dengan nilai SSIMnya adalah 0,8589. Nilai SSIM hasil *bilinear interpolation* tertinggi ditunjukkan pada citra 8 dengan nilai SSIMnya adalah 0,9648. Nilai SSIM hasil *bicubic interpolation* terendah ditunjukkan oleh citra 13 dengan nilai SSIMnya adalah 0,9005. Nilai SSIM tertinggi hasil *bicubic interpolation* ditunjukkan oleh citra 8 dengan nilai SSIMnya adalah 0,9677. Kedua puluh citra uji menunjukkan bahwa metode NNV mempunyai nilai SSIM yang lebih kecil dibandingkan dengan nilai SSIM hasil ketiga metode interpolasi lainnya untuk suatu citra. Nilai SSIM hasil *bilinear interpolation* lebih besar daripada nilai SSIM hasil NNV dan lebih besar daripada nilai SSIM hasil *bilinear interpolation* pada citra 8, citra 9, citra 10, citra 16, citra 18 dan citra 19. Nilai SSIM hasil *bilinear interpolation* lebih kecil dibanding nilai SSIM hasil NNI pada citra 1, citra 2, citra 3, citra 4, citra 5, citra 6, citra 7, citra 11, citra 12, citra 13, citra 14, citra 15, citra 17 dan citra 20. Nilai SSIM hasil *bilinear interpolation* terlihat lebih kecil daripada nilai SSIM hasil *bicubic interpolation* pada kedua puluh citra uji. Nilai SSIM hasil *bicubic interpolation* pada suatu citra lebih tinggi dibanding metode interpolasi lainnya.



Gambar 10. Hasil Pengukuran Nilai FSIM

Gambar 10 menunjukkan nilai-nilai FSIM dari dua puluh citra uji. Nilai FSIM kedua puluh citra berada diantara nilai 0,92 sampai dengan 0,99. Kelebihan dan kelemahan nilai FSIM ini pun tersebar pada masing-masing citra. Nilai FSIM terendah untuk metode NNV dapat dilihat pada citra 20 dengan nilai FSIMnya adalah 0,9262. Nilai FSIM tertinggi hasil NNV dapat dilihat pada citra 10 dengan nilai FSIMnya yaitu 0,9703. Nilai FSIM terendah untuk metode NNI dapat dilihat pada citra 7 dengan nilai FSIMnya adalah 0,9662. Nilai FSIM tertinggi untuk metode NNI dapat dilihat pada citra 5 dengan nilai FSIMnya adalah 0,9835. Nilai FSIM terendah untuk metode *bilinear interpolation* ditunjukkan oleh citra 20 dengan nilai FSIMnya adalah

0,9515. Nilai FSIM tertinggi untuk metode *bilinear interpolation* ditunjukkan oleh citra 5 dengan nilai FSIMnya adalah 0,9827. Nilai FSIM terendah hasil *bicubic interpolation* ditunjukkan oleh citra 13 dengan nilai FSIMnya adalah 0,9700. Nilai FSIM tertinggi hasil *bicubic interpolation* dapat dilihat pada citra 5 dengan nilai FSIMnya adalah 0,9857. Kedua puluh citra menunjukkan bahwa nilai FSIM hasil NNV lebih kecil dari pada ketiga metode interpolasi lainnya. Nilai FSIM hasil *bilinear interpolation* lebih besar daripada nilai FSIM hasil NNV dan lebih kecil daripada nilai FSIM hasil NNI. Nilai FSIM hasil NNI lebih besar daripada nilai FSIM hasil *bilinear interpolation* namun masih lebih kecil daripada nilai FSIM hasil *bicubic interpolation*. Nilai FSIM hasil *Bicubic interpolation* lebih besar daripada ketiga metode interpolasi lainnya. Hal ini ditunjukkan oleh kedua puluh citra uji.

V. KESIMPULAN

Kualitas citra hasil interpolasi dipengaruhi oleh metode interpolasi yang digunakan terhadap citra. Empat buah metode interpolasi telah diteliti kualitasnya berdasarkan nilai PSNR, SSIM dan FSIM. Empat metode interpolasi yang diteliti yaitu NNV, NNI, *bilinear interpolation* dan *bicubic interpolation*. Metode *Bicubic Interpolation* menunjukkan nilai yang paling baik untuk PSNR, SSIM dan FSIM. Metode NNV menunjukkan nilai yang kurang baik dibanding ketiga metode interpolasi lainnya. Metode *Bilinear Interpolation* dan NNI memberikan kualitas yang berada di tengah-tengah antara metode *Bicubic Interpolation* dan NNV.

Parameter PSNR, SSIM dan FSIM mempunyai kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Kelebihan dan kekurangannya dinamis terhadap jenis karakteristik citra.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada Laboratorium Komputer Universitas Tarumanagara pihak-pihak yang telah mendukung berlangsungnya penelitian interpolasi ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Fadnavis, "Image Interpolation Techniques in Digital Image Processing: An Overview," in *Int. Journal of Engineering Research and Applications*, vol. 4, ed, October 2014, pp. 70-73.
- [2] T. M. Lehmann, C. Gonner, and K. Spitzer, "Survey: Interpolation Methods in Medical Image Processing," *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 18, pp. 1049-1075, 1999.
- [3] R. C. Gonzales and R. E. Woods, *Digital Image Processing 2nd Edition*: Prentice Hall, 2002.
- [4] D. Han, "Comparison of Commonly Used Image Interpolation Methods," *Proceeding of the 2nd International Conference on Computer Science and Electronics Engineering (ICCSEE)*, pp. 1556-1559, 2013.
- [5] C. Khare and K. K. Nagwanshi, "Image Restoration Technique with Non Linear Filter," *International Journal of Advanced Science and Technology*, vol. 39, February 2012.
- [6] R. Kreis, "Issues of Spectral Quality in Clinical H-Magnetic Resonance Spectroscopy and a Gallery of Artifacts," *NMR in Biomedicine*, vol. 17, pp. 361-381, 2004.
- [7] I. Avciabas, B. Sankur, and K. Sayood, "Statistical Evaluation of Image Quality Measures," *Journal of Electronic Imaging*, vol. 11, pp. 206-223, 2002.

- [8] J. E. Farrel, "Image Quality Evaluation in Colour Imaging: Vision and Technology," MacDonald, L. W. and Luo, M.R. ed: John Wiley, 1999, pp. 285-313.
- [9] Y. A. Y. Al-Najjar and D. D. C. Soong, "Comparison of Image Quality Assesment: PSNR, HVS, SSIM UIQI," *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. 3, pp. 11-5, August 2012.
- [10] M. Cadik and P. Slavik, "Evaluation of Two Principal Approaches to Objective Image Quality Assesment," *8th International Conference on Information Visualisation*, vol. IEEE Computer Science Society Press, pp. 513-551, 2004.
- [11] T. B. Nguyen and D. Ziou, "Contextual and Non-Contextual Performance Evaluation of Edge Detectors," *Pattern Recognition Letters*, vol. 21, pp. 805-816, 2000.
- [12] A. Hore and D. Ziou, "Image Quality Metrics: PSNR vs. SSIM," *International Conference on Pattern Recognition*, pp. 2366-2369, 2010.
- [13] Z. Wang, L. Li, S. Wu, Y. Xia, Z. Wan, and C. Cai, "A New Image Quality Assesment Algorithm based on SSIM adn Multiple Regression," *International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition*, vol. 8, pp. 221-230, 2015.
- [14] R. Kumar and V. Moyal, "Visual Image Quality Assessment Technique using FSIM," *International Journal of Computer Applications Technology and Research*, vol. 2, pp. 250-254, 2013.
- [15] M. K. Rajjada, D. Patel, and P. Prajapati, "A Review Paper on Image Quality Assessment Metrics," *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)*, vol. 2, pp. 130-132, January, 2015.
- [16] R. Olivier and C. Hanqiang, "Nearest Neighbor Value Interpolation," *IJACSA (International Journal of Advanced Computer Science and Applications)*, vol. 3, pp. 1-6, 2012.
- [17] J. Yonghong, *Digital Image Processing (The Second Edition)*. Wu Han China: Wu Han University press, 2010.
- [18] Z. Haifeng, Z. Yongfei, and H. Ziqiang, "Comparison of Image Amplifying Method," *Modern Electronics Technique*, vol. 24, pp. 33-36, 2010.
- [19] W. Sen, "An Image Scalling Algorithm Based On Bilinear Interpolation with VC++," *Journal of Techniques of Automation & Applications*, vol. 27, pp. 44-45, 2008.
- [20] a. L. M. J.-B. Martens, "Image Dissimilarity," *Signal Processing*, vol. 70, pp. 155-176, 1998.
- [21] Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh, and E. P. Simoncelli, "Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 13, pp. 600-612, 2004.
- [22] L. Zhang, L. Zhang, X. Mou, and D. Zhang, "FSIM: A Feature Similarity Index For Image Quality Assessment," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 20, pp. 2378-2386, 2011.