

APLIKASI *INPAINTING* DENGAN BICUBIC DAN RBF INTERPOLATION

Liliana¹, Johan Kartahadikusuma², Kartika Gunadi³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Kristen Petra

¹ lilian@petra.ac.id, ² kgundi@petra.ac.id

Abstrak

Dalam memanipulasi gambar, salah satu hal yang sering dilakukan adalah menghilangkan penghalang obyek utama, menghilangkan tulisan yang menghalangi latar, ataupun menghilangkan sebagian gambar yang tidak diinginkan. Masalah timbul karena adanya kekosongan pada bagian yang dihilangkan tersebut. Untuk mengisi bagian yang dihapus tersebut tidak bisa dilakukan dengan sembarangan. Cara yang digunakan untuk mereka atau mengestimasi warna pada bagian yang dihapus tersebut disebut *inpainting*. Metode yang bisa digunakan untuk melakukan *inpainting*, banyak sekali. Namun dari keseluruhan metode yang ada, ide utama yang mendasari semua metode adalah adanya asumsi bahwa warna dari pixel-pixel yang berdekatan akan mempunyai kemiripan yang tinggi. Dengan asumsi itulah interpolasi bicubic dan *radial basis* dicoba untuk diaplikasikan.

Interpolasi bicubic dan radial basis menggunakan pixel-pixel tetangga dari pixel yang akan diestimasi warnanya sebagai acuan. Dengan mempertimbangkan kemungkinan terjadinya gradasi warna, maka kedua metode ini akan menggunakan bobot yang bervariasi. Semakin jauh pixel tetangga, maka semakin kecil kontribusinya dalam interpolasi. Perbedaan mendasar dari kedua interpolasi ini adalah *bicubic* melibatkan 16 pixel tetangga, sedangkan *radial basis* bisa bervariasi, tergantung pada input dari pengguna. Implementasi dari kedua metode interpolasi ini adalah untuk melihat sejauh mana performa dari keduanya dalam berbagai kasus.

Pengujian dilakukan terhadap tiga aspek, luas dari area yang dihapus, penghapusan pada area perbatasan perubahan warna dan penghapusan dari area yang menghalangi obyek yang ingin dipertahankan. Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa walaupun hasilnya kurang maksimal pada beberapa kasus, namun radial basis menghasilkan estimasi warna yang lebih mendekati. Hal ini dikarenakan pixel tetangga yang digunakan sebagai acuan lebih dekat lokasinya dengan pixel yang diestimasi.

Kata kunci : *inpainting*, interpolasi, radial basis, bicubic, restorasi gambar

1. Pendahuluan

Salah satu keunggulan gambar digital dibandingkan dengan foto atau gambar yang dicetak pada kertas adalah kemampuannya untuk bertahan terhadap kerusakan isi dan kemudahannya untuk dimanipulasi. Salah satu bentuk manipulasi yang sering dilakukan terhadap sebuah gambar adalah menghapus sebagian dari gambar yang tidak diinginkan, seperti menghapus coretan yang tidak disengaja, menghapus tulisan, menghapus obyek karena hanya menginginkan latar belakang dan lain sebagainya.

Kesulitan yang dihadapi setelah memanipulasi gambar yang sudah dihapus sebagian adalah mengisi bagian yang kosong supaya gambar terlihat alami. Cara untuk mengisi bagian kosong tersebut adalah

inpainting[1,4,5]. Ada banyak metode *inpainting*. Dari kesemua metode *inpainting* yang ada, informasi warna dari pixel-pixel tetangga yang tidak dihapus akan menjadi acuan dalam memperkirakan warna pada pixel yang dihapus. Pada aplikasi ini akan diimplementasikan metode interpolasi *bicubic* dan *Radial Basis* (RBF -Radial Basis Function-), kemudian membandingkan hasil dari kedua metode tersebut.

Algoritma dasar yang digunakan dalam *inpainting* dengan interpolasi adalah mengisi bagian yang kosong dengan menggunakan informasi warna dari pixel-pixel yang bertetangga langsung atau dalam jarak yang dekat [1,4,5]. Bagian kosong pada image yang dihapus sebagian akan diisi dengan menginterpolasikan warna di daerah sekelilingnya.

Input bagi inpainting dilakukan dengan memberi tanda pada area yang ingin dihilangkan.

2. Interpolasi Bicubic dan Interpolasi RBF

2.1 Interpolasi Bicubic

Bicubic Interpolation termasuk kelompok inpainting dengan menggunakan interpolasi dan merupakan pengembangan dari cubic interpolation dimana penggunaannya adalah untuk mengestimasi nilai suatu pixel pada area 2D [3]. Hasil dari interpolasi yang dihasilkan menunjukkan daerah hasil yang lebih halus dan lebih bersifat kontinyu dari pada linear interpolation.

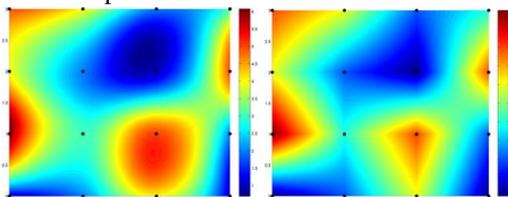
Anggap fungsi f dan turunannya f_x, f_y dan f_{xy} terdapat pada 4 ujung daerah $(0,0)$, $(1,0)$, $(0,1)$, dan $(1,1)$. Daerah interpolasi dapat ditemukan dengan menggunakan persamaan 1.

$$p(x, y) = \sum_{i=0}^{\epsilon} \sum_{j=0}^{\epsilon} a_{ij} x^i y^j \quad (1)$$

Dimana a_{ij} adalah enam belas koefisien untuk titik-titik yang dipakai pada interpolasi bicubic untuk setiap titik pada i dan j , nilai dari titik setiap posisi (menurut x dan y yang sesuai) dikalikan dengan hasil perhitungan koefisien sehingga dapat ditentukan bobot yang sesuai untuk hasil interpolasi titik tersebut.

Keenam belas koefisien a_{ij} pada persamaan 1, dapat digambarkan pada sebuah titik $p(x,y)$ dengan nilai fungsi yang sesuai dengan keenam belas rumus yang memenuhi koefisien a_{ij} , seperti pada persamaan 2.

Persamaan 2 adalah kumpulan rumus untuk menentukan ke enambelas koefisien titik pada Bicubic Interpolation.



Gambar 1. Perbandingan antara hasil Bicubic interpolation (kiri) dan Bilinear interpolation (kanan) [4]

Dari gambar 1 di atas, dapat terlihat bahwa batas daerah hasil yang dihasilkan oleh bicubic interpolation menunjukkan daerah yang lebih kontinyu daripada bilinear interpolation.

2.2 Interpolasi Radial Basis

RBF adalah fungsi dengan nilai yang bergantung dari tingkat perbedaan atau jarak terhadap daerah asal, sehingga $\phi(x) = \phi(\|x\|)$ atau jarak dari sebuah titik c , yang dianggap sebagai titik

tengah sehingga $\phi(x, c) = \phi(\|x - c\|)$. Fungsi ϕ yang memenuhi fungsi di atas adalah sebuah fungsi radial (radial function) [2].

RBF pada dasarnya dapat digunakan sebagai fungsi pendekatan sebuah nilai dengan bentuk yang terlihat pada persamaan 3.

$$y(x) = \sum_{i=1}^N W_i \phi(\|x - c_i\|) \quad (3)$$

Koefisien W_i yang bisa didapat dengan menggunakan metode linear least squares, karena fungsi pendekatan ini bersifat linier dengan bobot (w). Salah satu cara penggunaan RBF terhadap sebuah perhitungan interpolasi adalah sebagai berikut:

Sebuah matrix A dengan ukuran 3×3 memiliki nilai sebagai berikut:

1	2	3
4	X	6
7	8	9

Dari matrix A di atas, akan dicari nilai x (bagian yang kosong) dengan menggunakan rumus RBF interpolation. Solusi dari persoalan diatas dapat ditentukan dengan menentukan bobot masing-masing nilai yang berada disekitar x terhadap x itu sendiri. Rumus yang digunakan adalah rumus perhitungan jarak $c^2 = a^2 + b^2$. Dengan menggunakan rumus jarak tersebut, maka dapat diketahui jarak (r) masing-masing nilai disekitar x yaitu :

1.41	1	1.41
1	X	1
1.41	1	1.41

Setelah diketahui jarak (r) masing-masing nilai terhadap x , maka kita dapat menghitung nilai x dengan menggunakan persamaan 4.

$$x = \frac{\sum r \cdot n}{\sum r} \quad (4)$$

Dimana r adalah jarak masing-masing nilai terhadap x itu sendiri, dan n adalah nilai masing-masing yang terdapat pada matrix A .

3. Desain Sistem

Input dari sistem adalah gambar yang akan dimanipulasi. Kemudian user akan menandai area yang akan dihapus. Setelah area tersebut dihapus, maka akan terdapat pixel-pixel yang kosong. Proses akan dilanjutkan dengan menghitung estimasi warna pada pixel kosong tersebut dengan menggunakan informasi warna dari pixel-pixel disekelilingnya.

Proses interpolasi bicubic untuk setiap pixel kosong melibatkan 16 pixel tetangganya. Jika pixel tetangga yang dimaksudkan merupakan pixel kosong jga, maka akan diabaikan. Warna dari 16 pixel tetangga ini tidak dirata-rata namun diitung dengan

bobot yang dihitung dengan menggunakan persamaan 2.

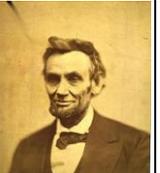
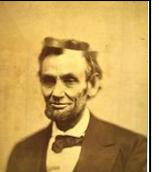
Ide utama dari pemanfaatan fungsi RBF adalah bahwa pixel yang paing berdekatan akan memiliki kesamaan warna yang lebih tinggi. Semakin jauh, maka dua buah pixel semakin tidak berhubungan atau lebih tidak memiliki kesamaan warna. Untuk proses interpolasi RBF, mirip dengan interpolasi bicubic, juga menggunakan pixel-pixel tetangga dari pixel yang kosong. Namun, yang menjadi perbedaan utama dari metode ini adalah penggunaan fungsi RBF untuk menentukan jarak pixel tetangga terhadap pixel yang akan diestimasi nilainya. Hasil perhitungan dari jarak tersebut ditentukan sebagai nilai pengali atau bobot masing-masing pixel dalam menentukan bobotnya untuk mengisi rata-rata dari interpolasi yang akan dilakukan. Semakin jauh jarak pixel acuan dari pixel target itu sendiri, maka nilai pengali atau bobotnya akan semakin kecil sehingga didapat rata-rata nilai yang sesuai untuk pixel yang akan diisi sesuai dengan jarak pixel acuan masing-masing. Total jumlah pixel yang digunakan sebagai acuan untuk metode ini adalah delapan pixel yang bertetangga langsung dengan pixel yang kosong.

4. Pengujian

Untuk menguji aplikasi yang dikembangkan, dilakukan pengujian terhadap beberapa aspek kondisi gambar. Aspek-aspek yang diujikan adalah parameter size pada luas daerah interpolasi yang berbeda, gambar dengan warna gradasi dan gambar dengan edge warna yang mencolok.

Hasil ketiga aspek pengujian dapat dilihat pada tabel 1, tabel 2 dan tabel 3.

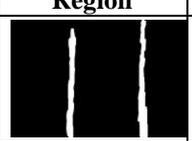
Tabel 1. Hasil Pengujian Terhadap Parameter size pada luas daerah interpolasi yang berbeda

Luas Daerah	Region	Hasil interpolasi bicubic	Hasil interpolasi RBF
5 – 11 pixel			
15 – 21 pixel			
25 – 31 pixel			

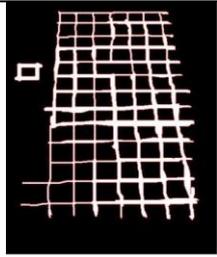
Dari Tabel 2 dapat dilihat pengaruh luas daerah terhadap metode interolasi Bicubic yang digunakan dalam proses interpolasi. Daerah input yang memiliki daerah kosong lebih luas akan diestimasi dengan semakin tidak sesuai karena mengacu pada pixel yang jauh letaknya dan mempunyai warna yang semakin tidak mirip. Interpolasi RBF memiliki hasil yang lebih halus karena menggunakan referensi pixel tetangga langsung dan tidak terlalu jauh dari lokasi pixel yang akan diestimasi nilainya.

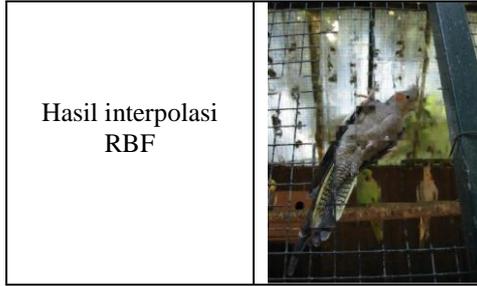
Dalam pengujian pada gambar yang memiliki gradasi warna, akan dilakukan penghapusan pada bagian terjadinya gradasi warna, dan kemudian diestimasi kembali. Hal ini dilakukan untuk menguji apakah metode ini bisa mempertahankan gradasi warna yang seharusnya.

Tabel 2. Hasil Pengujian Terhadap gambar dengan warna gradasi

Region	Hasil bicubic	Hasil RBF
		
		
		

Tabel 3. Hasil Pengujian Terhadap objek dalam gambar yang melewati banyak objek

Input	Mask
	
Hasil interpolasi Bicubic	



Hasil pengujian tabel 3 membuktikan bahwa kedua metode tidak dapat mempertahankan objek (bagian burung yang terkena daerah input menjadi blur).

5. Kesimpulan

Luas area yang dihapus dan dilakukan estimasi untuk mengganti warna yang dihapus sangat mempengaruhi hasil estimasi warna. Semakin luas area yang harus diestimasi, semakin terlihat berbeda dengan warna pada pixel-pixel tetangganya karena informasi pixel yang didapat adalah hasil estimasi juga.

Pengujian dengan menggunakan gambar yang memiliki gradasi warna menunjukkan bahwa kedua metode mampu mempertahankan gradasi warna apabila pixel-pixel input yang digunakan tetap memberikan warna gradasi sebagai informasi (area yang diestimasi tidak meliputi area warna di sekitarnya yang dibutuhkan untuk mempertahankan gradasi warna).

Kedua metode tidak mampu mempertahankan warna pinggiran (edge) dari obyek secara sempurna.

Hal ini dikarenakan oleh adanya perbedaan warna yang cukup besar antara kedua sisi pinggiran obyek.

Kedua metode tidak dapat mempertahankan ataupun mengenali objek yang terlintas pada area yang diestimasi karena informasi penting yang dapat digunakan sebagai acuan terhapus.

Daftar Pustaka

- [1] Bertalmio, M., Sapiro, G., Caselles, V. & Ballester, C, 2000, *Image inpainting. Mineapolis: Electrical and Computer Engineering*, Minnesota, University of Minnesota.
- [2] Buhmann, Martin D, 2003, *Radial basis functions: Theory and implementations*, Cambridge, Cambridge University Press.
- [3] Keys, R., 1981, *Cubic Convolution interpolation for digital image processing*. IEEE Transactions on Signal Processing, Acoustics, Speech, and Signal Processing 29: 1153. doi:10.1109/TASSP.1981.1163711
- [4] Meijering, Erik., 2002, *A chronology of interpolation: from ancient astronomy to modern signal and image processing*. Proceedings of the IEEE 90 (3): 319–342, doi:10.1109/5.993400
- [5] Oliveira, M.M., Bowen, B., McKenna, R., Chang, Y.S., 2001, *Fast digital image inpainting*. New York, Department of Computer Science State University of New York at Stony Brook.

$$a_{00} = p_{11} \quad (2)$$

$$a_{01} = -\frac{1}{2}p_{10} + \frac{1}{2}p_{12}$$

$$a_{02} = p_{10} - \frac{5}{2}p_{11} + 2p_{12} - \frac{1}{2}p_{13}$$

$$a_{03} = -\frac{1}{2}p_{10} + \frac{3}{2}p_{11} - \frac{3}{2}p_{12} + \frac{1}{2}p_{13}$$

$$a_{10} = -\frac{1}{2}p_{01} + \frac{1}{2}p_{21}$$

$$a_{11} = \frac{1}{4}p_{00} - \frac{1}{4}p_{02} - \frac{1}{4}p_{20} + \frac{1}{4}p_{22}$$

$$a_{12} = -\frac{1}{2}p_{00} + \frac{5}{4}p_{01} - p_{02} + \frac{1}{4}p_{03} + \frac{1}{2}p_{20} - \frac{5}{4}p_{21} + p_{22} - \frac{1}{4}p_{23}$$

$$a_{13} = \frac{1}{4}p_{00} - \frac{3}{4}p_{01} + \frac{3}{4}p_{02} - \frac{1}{4}p_{03} - \frac{1}{4}p_{20} + \frac{3}{4}p_{21} - \frac{3}{4}p_{22} + \frac{1}{4}p_{23}$$

$$a_{20} = p_{01} - \frac{5}{2}p_{11} + 2p_{21} - \frac{1}{2}p_{31}$$

$$a_{21} = -\frac{1}{2}p_{00} + \frac{1}{2}p_{02} + \frac{5}{4}p_{10} - \frac{5}{4}p_{12} - p_{20} + p_{22} + \frac{1}{4}p_{30} - \frac{1}{4}p_{32}$$

$$a_{22} = p_{00} - \frac{5}{2}p_{01} + 2p_{02} - \frac{1}{2}p_{03} - \frac{5}{2}p_{10} + \frac{25}{4}p_{11} - 5p_{12} + \frac{5}{4}p_{13} + 2p_{20} - 5p_{21} + 4p_{22} - p_{23} - \frac{1}{2}p_{30} + \frac{5}{4}p_{31} - p_{32} + \frac{1}{4}p_{33}$$

$$a_{23} = -\frac{1}{2}p_{00} + \frac{3}{2}p_{01} - \frac{3}{2}p_{02} + \frac{1}{2}p_{03} + \frac{5}{4}p_{10} - \frac{15}{4}p_{11} + \frac{15}{4}p_{12} - \frac{5}{4}p_{13} - p_{20} + 3p_{21} - 3p_{22} + p_{23} + \frac{1}{4}p_{30} - \frac{3}{4}p_{31} + \frac{3}{4}p_{32} - \frac{1}{4}p_{33}$$

$$a_{30} = -\frac{1}{2}p_{01} + \frac{3}{2}p_{11} - \frac{3}{2}p_{21} + \frac{1}{2}p_{31}$$

$$a_{31} = \frac{1}{4}p_{00} - \frac{1}{4}p_{02} - \frac{3}{4}p_{10} + \frac{3}{4}p_{12} + \frac{3}{4}p_{20} - \frac{3}{4}p_{22} - \frac{1}{4}p_{30} + \frac{1}{4}p_{32}$$

$$a_{32} = -\frac{1}{2}p_{00} + \frac{5}{4}p_{01} - p_{02} + \frac{1}{4}p_{03} + \frac{3}{2}p_{10} - \frac{15}{4}p_{11} + 3p_{12} - \frac{3}{4}p_{13} - \frac{3}{2}p_{20} + \frac{15}{4}p_{21} - 3p_{22} + \frac{3}{4}p_{23} + \frac{1}{2}p_{30} - \frac{5}{4}p_{31} + p_{32} - \frac{1}{4}p_{33}$$

$$a_{33} = \frac{1}{4}p_{00} - \frac{3}{4}p_{01} + \frac{3}{4}p_{02} - \frac{1}{4}p_{03} - \frac{3}{4}p_{10} + \frac{9}{4}p_{11} - \frac{9}{4}p_{12} + \frac{3}{4}p_{13} + \frac{3}{4}p_{20} - \frac{9}{4}p_{21} + \frac{9}{4}p_{22} - \frac{3}{4}p_{23} - \frac{1}{4}p_{30} + \frac{3}{4}p_{31} - \frac{3}{4}p_{32} + \frac{1}{4}p_{33}$$