

DENOISING PADA CITRA GRAYSCALE MENGGUNAKAN METODE FRAKTAL

Janoë Hendarto

*Departemen Ilmu Komputer dan Elektronika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Gadjah Mada
email : jhendarto@ugm.ac.id*

Abstraksi

Citra seringkali rusak karena adanya noise baik karena faktor alat pengambil gambarnya maupun karena proses transmisi, sehingga diperlukan proses denoising. Denoising merupakan teknik penghilangan noise pada citra dan mempertahankan informasi yang penting. Denoising citra dapat dilakukan dengan berbagai macam metode, misalnya dengan proses filtering, analisa wavelet, dan metode fraktal. Yang menjadi permasalahan pada penelitian ini adalah bagaimana metode fraktal untuk mereduksi noise pada citra grayscale dan bagaimana efisiensinya. Denoising citra dengan metode fraktal adalah pengkodean citra ke dalam bentuk kode fraktal, pada penelitian ini, pengkodean fraktalnya digunakan partisi seragam. Pertama, dirancang algoritma untuk menentukan kode fraktal dari suatu citra, kemudian disusun algoritma untuk menghilangkan noise. Akhirnya dibangun program komputer untuk penghilangan noise dan diuji dengan beberapa citra grayscale standar yang bernoise Gaussian. Hasil uji program komputer menunjukkan dapat mereduksi noise pada citra dengan rerata penurunan RMSE sebesar 6,45 dan rerata kenaikan nilai PSNR sebesar 4,02 dengan rerata nilai PSNR adalah 27,28.

Kata Kunci : *Denoising, Noise, Grayscale, Partisi seragam, Fraktal*

Abstract

An image is often corrupted by noise in its acquisition and transmission, hence, noise reduction is required. Denoising is the technique of noise removal on image and retain important information. Denoising the image can be done by various methods, for example by the process of filtering, wavelet analysis and fractal method. The problem in this research are how the fractal method for reducing noise in grayscale image and how it's efficiency. Fractal image denoising method is encoding the image into the fractal code, in this research, the fractal encoding used is a uniform partitioning. First, the algorithm is designed to determine the fractal code of an image, then build the algorithm to Eliminate noise. Finally develop the computer program for denoising and tested with several standard grayscale images that given Gaussian noise. The test results showed the computer program can reduce noise in the image with the avarage of decreasing RMSE of 6.45 and the avarage of increasing PSNR of 4.02 with the mean value of PSNR is 27.28.

Keywords : *Denoising, Noise, Grayscale, Uniform partitioning, Fractal*

Pendahuluan

Pengurangan noise (*denoising*) adalah bagian penting dan mendasar dalam pengolahan citra digital. Pengolahan citra digital merupakan salah satu elemen penting dalam analisis citra. Salah satu permasalahan yang dihadapi pada pengolahan citra digital adalah adanya noise. Noise selain muncul karena proses pengambilan gambar dengan camera, juga bisa muncul dalam proses pengiriman informasi pada setiap sistem komunikasi. Hal ini mengakibatkan informasi yang diterima sering mengalami gangguan sehingga hasilnya tidak sesuai dengan yang diharapkan. Noise juga menyebabkan sebuah nilai intensitas piksel tidak mencerminkan nilai intensitas piksel yang sebenarnya. Denoising merupakan teknik penghilangan noise yang terdapat pada citra dan mempertahankan informasi yang penting. Denoising citra dapat dilakukan dengan berbagai macam metode, misalnya dengan proses filtering, analisa wavelet, dan metode fraktal [2].

Fraktal adalah bidang geometri yang mengupas dan dapat menjelaskan hal-hal yang alamiah (natural), yang mana semakin hari semakin berkembang seiring perkembangan teknologi komputer dan keinginan manusia untuk

mengungkap rahasia alam semesta. Dengan menggunakan fraktal dapat dirancang/dibuat gambar-gambar tiruan objek alam seperti manusia, pohon, gunung, batuan, awan, permukaan bumi/planet dan lain-lainnya. Denoising

citra menggunakan metode fraktal pada dasarnya adalah menemukan kode fraktalnya dan kemudian merekonstruksi atau menggambar ulang berdasar kode fraktalnya.

Pada penelitian ini dielaborasi dan dikaji (a). Bagaimana metode fraktal untuk mereduksi noise (denoising) pada citra grayscale; (b). Bagaimana program komputer untuk melakukan denoising pada citra grayscale dengan metode fraktal dan bagaimana efisiensi metodenya. Sedangkan tujuan Penelitian ini adalah mengetahui bagaimana metode fraktal untuk mereduksi noise pada citra grayscale dan seberapa efisien dapat mengurangi noise pada citra grayscale.

Hasil tinjauan pustaka tentang denoising citra dengan metode fraktal dapat dilihat pada Tabel 1.

TABEL 1 TABEL HASIL TINJAUAN PUSTAKA

Peneliti	Topik Penelitian, Metode yang digunakan	Kekurangan/kelemahan
Barnsley, M., 1988	Pengkodean fraktal dengan sistem fungsi iterasi (SFI), dimana citra adalah atraktor dari suatu SFI.	Belum memberikan proses denoisingnya
Falconer, K., 1990	Pengkodean fraktal dengan SFI untuk proses kompresi citra.	Belum membahas untuk proses denoising
Ghazel, M. dkk, 2002	Fractal-Wavelet Image Denoising dengan partisi quadtree dan melakukan perbandingan beberapa metode, Fractal wavelet (FW), quadtree FW dan quadtree fractal denoising	Tidak membahas metode partisi seragam dan tidak memberikan algoritma dan programnya
Wang, H.K.S., 2003	Analisis koefisien wavelet dari Shannon entropy untuk sinyal fraktal dan white noise	Tidak membahas denoising citra grayscale
Buades, A. dkk., 2005	Metode Non-Local Means (NL Means) untuk menangani pelestarian struktur dalam sebuah citra digital	Error atau nilai RMSE agak tinggi
Ghazel, M. dkk, 2005	Denoising dan interpolasi fraktal. Denoising citra dilakukan dengan memprediksi kode fraktal dari citra yang bebas noise berdasarkan statistik dari observasi noise	Tidak membahas metode partisi seragam dan tidak memberikan algoritma dan programnya
Ghazel, M., 2006	Fractal-Wavelet Image Denoising Revisited, menggunakan metode prediksi parent dari wavelet subtree pada citra, kemudian membandingkan beberapa skema yaitu partisi tetap dan partisi quadtree dan prediktif fractal dan prediktif fraktal wavelet.	Tidak membahas metode partisi seragam dan tidak memberikan algoritma dan programnya
Malviya, A., 2008	Denoising citra dengan metode fraktal berbasis domain spasial. Membahas metode fractal coding baik untuk keperluan denoising maupun kompresi citra	Hanya menggunakan partisi quadtree belum menyinggung partisi seragam
Handoko, W.dkk., 2011	Penghilangan noise (<i>additive Gaussian noise</i> dan <i>additive Laplacian noise</i>), Metode yang digunakan adalah <i>wavelet thresholding analysis</i> . wavelet yang digunakan adalah <i>wavelet daubchiess</i> , <i>coiflet</i> dan <i>symlet</i>	Tidak membahas denoising citra dengan metode fraktal

Gayathri, R. dan Sabeenian, R.S., 2013	Analisis beberapa prosedur denoising dengan menunjukkan ukuran efisiensinya dalam meningkatkan kualitas citra, Order dari noise juga dianalisis untuk menentukan tipe algoritma yang mana yang cocok	Tidak membahas denoising citra dengan metode fraktal
Meng, F., 2015	Denoising sinyal seismic dengan metode filtering. Metode menggunakan hukum konservasi fraktal, yaitu menggunakan persamaan diferensial parsial sederhana yang dimodifikasi.	Fraktal digunakan untuk denoising sinyal seismic bukan pada citra

Berdasarkan analisis terhadap hasil penelitian sebelumnya maka dapat dilihat bahwa permasalahan yang belum banyak diteliti adalah penghilangan noise dengan metode fraktal menggunakan partisi seragam pada proses pengkodean citranya, selain metode partisi seragam tidak terlalu rumit, juga diharapkan dapat memberikan tingkat perbaikan citra yang tinggi.

Penggambaran objek dengan metode fraktal dilakukan dengan menggunakan beberapa transformasi sederhana yang disebut sistem fungsi iterasi (*iterated function system*) yang disingkat SFI, titik tetap/atraktor dari sistem fungsi iterasi inilah yang berupa gambar kompleks yang bisa berbentuk objek alam yang mirip sebenarnya [1].

Suatu transformasi $f : X \rightarrow X$ pada suatu ruang metrik (X, d) disebut suatu pemetaan kontraksi jika terdapat suatu konstan $0 \leq s < 1$ sedemikian hingga

$$d(f(x), f(y)) \leq s \cdot d(x, y) \text{ untuk setiap } x, y \in X. \quad (1)$$

s disebut faktor kontraksi untuk f .

Sistem fungsi iterasi (SFI) adalah suatu sistem yang terdiri dari suatu ruang metrik lengkap (X, d) bersama dengan himpunan berhingga dari pemetaan kontraksi $w_i : X \rightarrow X$ dengan faktor kontraksi masing-masing adalah s_i , untuk $i=1, 2, \dots, N$. Dan biasanya diberi notasi $\{X; w_i, i=1, 2, \dots, N\}$.

Sedangkan yang dimaksud dengan Atraktor dari suatu sistem fungsi iterasi adalah suatu titik tetap (*fixed point*) A yang merupakan himpunan bagian kompak dari X yang memenuhi

$$A = W(A) = w_1(A) \cup w_2(A) \cup \dots \cup w_N(A), \quad (2)$$

yaitu $A = \lim_{n \rightarrow \infty} W^n(B)$, untuk sembarang B himpunan bagian kompak dari X , dimana

$$W^1(B) = W(B), W^2(B) = W(W(B)), W^3(B) = W(W^2(B)), \dots, W^n(B) = W(W^{n-1}(B)). \quad (3)$$

Semua citra merupakan atraktor, yang menjadi permasalahannya adalah bagaimana menemukan SFI dari suatu citra, dimana SFI tersebut bisa dijadikan sebagai kode fraktal dari citranya. Dengan menggunakan kode fraktal diharapkan dapat digunakan untuk menghilangkan atau mengurangi noise pada suatu citra.

Citra hasil denoising apakah sudah mengalami perbaikan atau belum serta seberapa tingkat perbaikan citranya, diperlukan ukuran-ukuran antara lain [7] :

- a. Root Mean Square Error (RMSE)

RMSE dari 2 citra grayscale Z dan Y ($0 \leq Z_{i,j}, Y_{i,j} \leq 255$) yang masing-masing berukuran $n \times n$ pixel ($n = 256$) dihitung menggunakan rumus berikut :

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum_{0 \leq i, j \leq n-1} (Z_{i,j} - Y_{i,j})^2}}{n} \quad (4)$$

b. Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)

PSNR dari 2 citra grayscale Z dan Y ($0 \leq Z_{ij}, Y_{ij} \leq 255$) dihitung menggunakan rumus berikut :

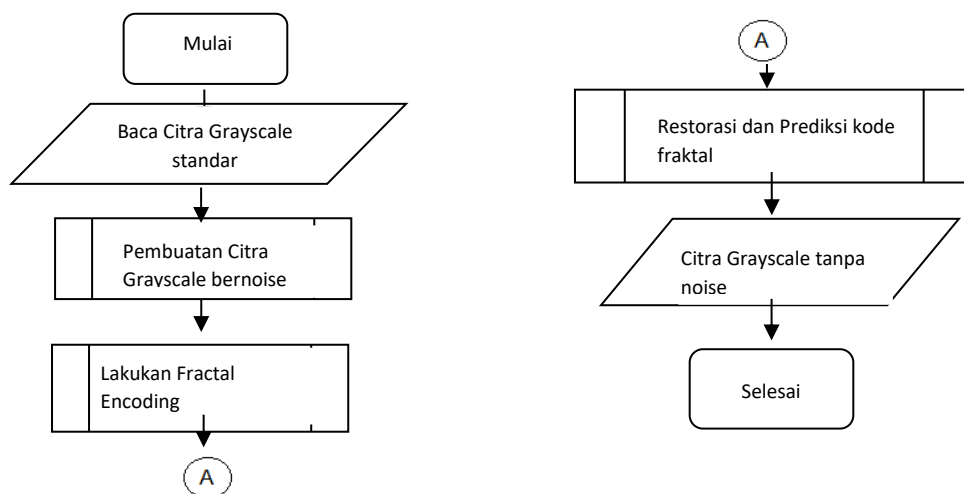
$$\text{PSNR} = 20 \log_{10} (255 / \text{RMSE})$$

(5)

Metode Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah :

1. Studi pustaka, mulai dari referensi buku hingga mempelajari paper-paper mengenai denoising citra digital dan metodenya termasuk dengan metode fraktal.
2. Analisis permasalahan dan analisis terhadap metode penghilangan noise dari citra grayscale dengan metode fraktal.
3. Perancangan algoritma untuk melakukan penghilangan noise dari citra grayscale dengan menggunakan metode fraktal, secara garis besar algoritmanya dapat dinyatakan dengan diagram alir pada Gambar 1. Dimana pembuatan citra grayscale bernoise menggunakan citra grayscale standar seperti Lena, Barbara dll. yang diberi noise gaussian dengan parameter tertentu.
4. Mengimplementasikan algoritma dalam bentuk program, dengan menggunakan bahasa pemrograman Delphi.
5. Menguji kebenaran dan efisiensi dari algoritma dan program yang dibuat dengan menggunakan citra uji berupa beberapa citra grayscale standar dan kemudian menganalisis hasilnya dengan menghitung Root Mean Square Error (RMSE) dan Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) dari masing-masing citra uji.



Gambar 1 Diagram Alir Penghilangan Noise Citra Grayscale dengan Metode Fraktal

Untuk menguji kebenaran algoritma dan program penghilangan noise pada citra grayscale dengan metode fraktal, diperlukan citra grayscale standar yaitu citra Lena, citra Barbara, citra mandrill, citra lake dan citra rumahku. Dalam penelitian ini, digunakan citra berukuran 256 x 256 piksel dengan warna grayscale 8 bit. Citra-citra tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Citra uji yang digunakan

Hasil dan Pembahasan

Pertama akan dibahas tentang algoritma dan program tentang penghilangan noise pada citra grayscale dengan metode fraktal dan kemudian dibahas analisis hasil programnya.

1. Algoritma dan Program Denoising

Konsep dari denoising pada citra grayscale dengan metode fraktal adalah pertama dilakukan pengkodean citra ke dalam bentuk kode fraktal berupa sistem fungsi iterasi. Kemudian dengan menggunakan kode fraktal tersebut dilakukan rekonstruksi citra, yang diharapkan dapat melakukan restorasi citra yaitu berkurangnya noise pada citra.

Pembuatan gambar dengan metode fraktal dilakukan dengan iterasi terus menerus dari suatu SFI dan gambar merupakan atraktor dari SFI. Pengkodean fraktal adalah merupakan *inverse problem*, yaitu bagaimana mencari SFI (SFI *parsial*) dari suatu citra yang diberikan. Algoritma pengkodean fraktal dari suatu citra menggunakan partisi seragam adalah sebagai berikut :

Algoritma 1. Fractal_Encoding

Input : Citra grayscale G

Output : Data domain D_i dan transformasi²nya

Begin

- Baca data citra ($G[0..255,0..255]$: citra grayscale berukuran 256 x 256 titik)
- Buat partisi citra G menjadi 64 x 64 blok domain (D) berukuran 4 x 4 titik
- Buat Partisi gambar G menjadi 128 x 128 blok range (R) berukuran 2 x 2 titik
- Untuk setiap range R_i :
 - o Lakukan pencarian blok domain D_i yang "mirip" dengan blok range R_i { nilai_jumlahan harga mutlak dari selisih pixel kedua blok D_i dan R_i adalah minimum }
 - o Simpan data domain D_i yang mirip dengan R_i beserta transformasi yang dilakukan (data ini merupakan hasil pengkodean fraktal).

End.

Sedangkan Algoritma untuk pencarian blok domain D_i yang "mirip" dengan blok range R_i adalah sebagai berikut :

Algoritma 2. Pencarian_blok_domain

Input : Blok range R_i

Output : Blok domain D_i yang mirip dengan R_i

- $Min = \max_{longint}$;
- Untuk setiap blok domain D_i :
 - o lakukan dilatasi terhadap D_i sehingga ukurannya menjadi 2 x 2 titik.
 - o lakukan transformasi warna grayscale dari D_i ke R_i (skala dan ofset)
 - o Jika blok range R_i sewarna Maka
 - hitung nilai_jumlahan harga mutlak dari selisih pixel blok D_i dan R_i
 - Jika nilai_jumlahan < min maka min = nilai_jumlahan
 - o Jika blok range R_i tidak sewarna Maka
 - Untuk setiap 8 transformasi geometri (Identitas, Pencerminkan terhadap sumbu tengah vertikal, Pencerminkan terhadap sumbu tengah horisontal, Pencerminkan terhadap diagonal pertama, Pencerminkan terhadap diagonal kedua, Rotasi sebesar 90° , Rotasi sebesar 180° , Rotasi sebesar -90°)

Lakukan transformasi terhadap D_i kemudian hitung nilai_jumlahan harga mutlak dari selisih pixel kedua blok D_i dan R_i

Jika nilai_jumlahan < min maka min = nilai_jumlahan

End.

Proses denoising citra adalah proses rekonstruksi citra yaitu proses pembuatan citra berdasar SFI (SFI parsial) hasil pengkodean fraktal di atas. Algoritma denoising citra dengan metode fraktal menggunakan partisi seragam adalah sebagai berikut :

Algoritma 3. Denoising_citra

Input : Blok domain dan transformasi (hasil fractal encoding)

Output : Citra hasil G (tanpa noise)

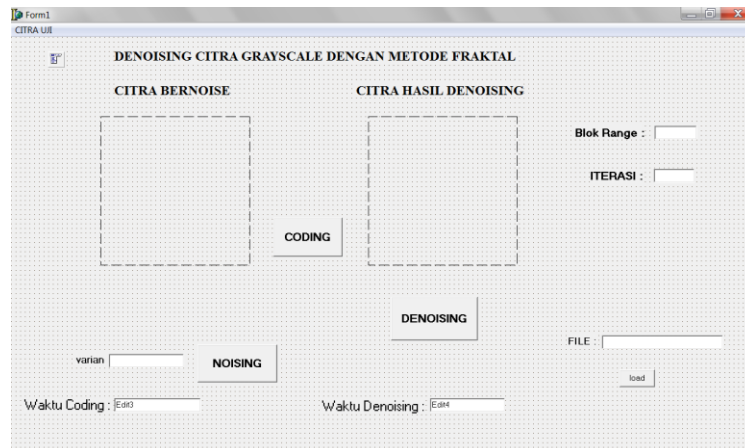
Begin

- Buat gambar awal sembarang ($G[0..255,0..255]$)
- Baca data hasil pengkodean fraktal (blok domain dan transformasinya)
- **Ulangi**
 - o Buat partisi gambar G menjadi 64 x 64 blok domain D berukuran 4 x 4 titik
 - o Lakukan transformasi terhadap blok domain dari hasil pengkodean fraktal
 - o Konstruksikan/susun gambar G dari blok range hasil transformasi
- Sampai** (jumlah iterasi tertentu)

- Gambar G adalah gambar hasil rekonstruksi yang diharapkan dapat memperbaiki citra dengan mengurangi noisenya

End.

Rancangan Tampilan dari program yang dibuat hanya terdiri 1 tampilan utama yang mempunyai fasilitas untuk memberikan noise gaussian pada citra uji (*noising*) dan fasilitas untuk melakukan pengkodean fraktal (*coding*) serta fasilitas untuk melakukan rekonstruksi citra dalam rangka mengurangi noise (*denoising*). Tampilan utama program dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Rancangan Tampilan Utama

Untuk mengimplementasikan algoritma di atas ke dalam bentuk program komputer diperlukan struktur data. Struktur data (Delphi) untuk program denoising pada citra grayscale menggunakan metode fraktal adalah sebagai berikut :

Struktur data yang digunakan :

```
const res=256;nr=2;nd=4;{res:resolusi citra,nr:resolusi range,nd:resolusi domain}
```

```
type
```

```
tuple = record      { komponen data hasil pengkodean fraktal }  
      a,b : 0..res div nr; { untuk menyimpan indek dari blok domain  
yang mirip}  
      c : 0..7;           { untuk menyimpan nomer transformasi }  
      s,o : byte;        { untuk menyimpan hasil transformasi warna }  
end;
```

```
domain = array[0..nd-1,0..nd-1] of tcolor;  
range = array[0..nr-1,0..nr-1] of tcolor;  
larikD = array[0..res div nd-1,0..res div nd-1] of domain;  
larikR = array[0..res div nr-1,0..res div nr-1] of range;  
larik = array[0..res*res div (nr*nr)] of byte;
```

```
var
```

```
D : larikD; R,R1,R2 : larikR;  
ii,i,j,k,m,n,vx,vn: integer; hasil : tuple; namafile:string;  
bm,bma:tbitmap;u:tcolor; e,f,l,ls,lo : larik; cek : boolean;
```

3. Analisis Hasil Program Denoising pada Citra Grayscale dengan Metode Fraktal.

Citra hasil denoising apakah sudah mengalami perbaikan atau belum serta seberapa tingkat perbaikannya, diukur dengan [7] :

- Root Mean Square Error (RMSE)
- Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)

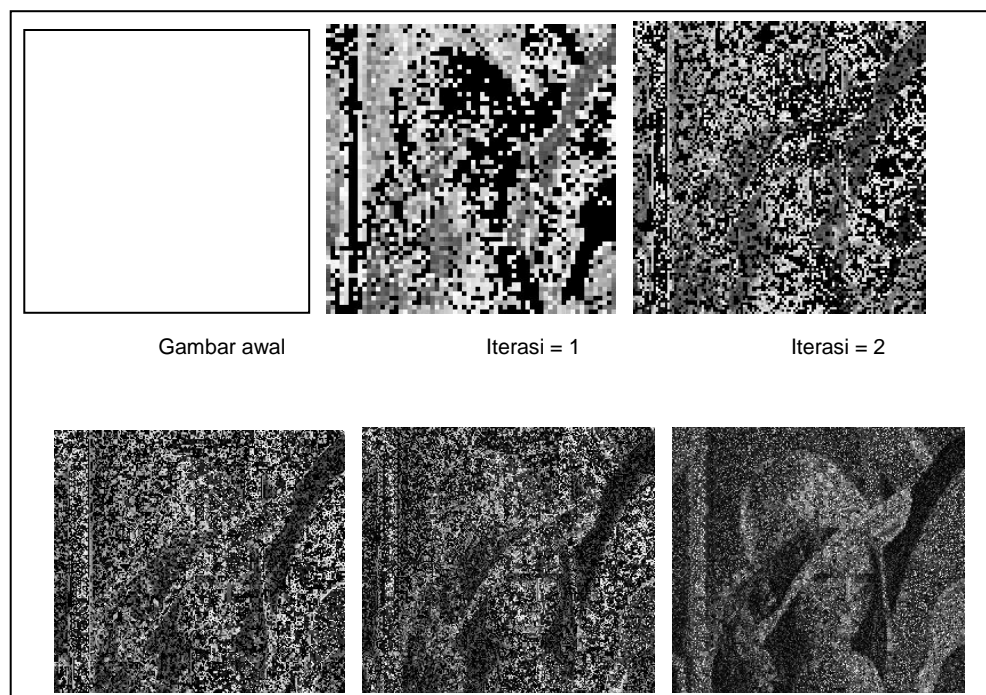
Pada penelitian ini, pertama citra uji diberikan noise gaussian kemudian diukur RMSE dan PSNR terhadap citra uji asli tanpa noise, kemudian citra bernoise tersebut dilakukan pengkodean fraktal dilanjutkan rekonstruksi citra (denoising) dan citra hasil denoising diukur RMSE dan PSNR terhadap citra uji asli tanpa noise, kemudian dibandingkan keduanya. Gambar 4 menunjukkan citra Lena asli dan citra Lena bernoise, yaitu citra Lena asli yang diberi noise Gaussian dengan nilai varian 625, yang akan dijadikan citra uji program.



Gambar 4 Citra Lena asli dan citra Lena bernoise

Dari citra bernoise yang merupakan masukan dari program kemudian dilakukan proses pengkodean fraktal yang menghasilkan 128×128 nilai tuple (a,b,c,s,o) yang merupakan hasil pencarian domain. Proses denoising dimulai dari gambar awal sembarang, gambar putih polos, kemudian dilakukan iterasi dan rekonstruksi citra berdasarkan kode fraktal tersebut, Proses awal rekonstruksi citra untuk beberapa nilai jumlah iterasi dapat dilihat pada Gambar 5.

Proses denoising citra dilakukan dengan cara rekonstruksi citra menggunakan partisi seragam untuk nilai iterasi di atas 25. Gambar 6 menunjukkan hasil denoising untuk beberapa nilai iterasi. Dari Gambar 6 terlihat semakin besar nilai iterasi semakin berkurang noisennya ditunjukkan dengan semakin besar nilai PSNR dan semakin kecil nilai RMSE.



Gambar 5 Proses awal rekonstruksi citra Lena

Hasil untuk citra uji yang lain dapat dilihat pada Gambar 7 yaitu gambar tampilan hasil program yang berisi citra grayscale (Barbara) bernoise sebagai masukan program dan citra grayscale hasil denoising yang diharapkan terbebas dari noise atau setidaknya noisanya jauh berkurang. Dari gambar tersebut terlihat ada penurunan nilai RMSE dan kenaikan PSNR yang cukup signifikan hal ini menunjukkan program mampu mereduksi noise dan memperbaiki citra. Hasil pengukuran RMSE dan PSNR untuk ke lima citra uji dapat dilihat pada Tabel 2.

Dari Tabel 2 terlihat program komputer yang dibuat dapat mereduksi noise untuk ke lima citra uji dengan rerata penurunan RMSE sebesar 6,45 dan rerata kenaikan nilai PSNR sebesar 4,02 dan rerata nilai PSNR adalah 27,28 dengan nilai terbesar pada citra Lena dan nilai terkecil pada citra rumahku. Sedangkan jumlah iterasi yang dibutuhkan agar noise pada citra dapat berkurang secara optimal adalah sangat bervariasi. Waktu yang dibutuhkan dalam proses pengkodean fraktal hampir sama untuk ke lima citra uji yaitu sekitar 65 detik, sedangkan waktu yang dibutuhkan untuk proses denoising bergantung dari jumlah iterasinya, untuk jumlah iterasi = 25 membutuhkan waktu sekitar 7 detik dan waktunya bertambah secara linear terhadap jumlah iterasi. Waktu pengkodean fraktal lebih besar dibanding waktu denoising hal ini karena algoritma pengkodean fraktal mempunyai kompleksitas waktu $O(n^4)$ dengan n adalah ukuran panjang atau lebar citra, Sedangkan algoritma denoising mempunyai kompleksitas waktu $O(n^2)$.



Gambar 6 Citra Lena hasil denoising untuk beberapa nilai Iterasi



Gambar 7 Tampilan hasil program untuk citra Barbara

Tabel 2 Tabel perubahan nilai RMSE dan PSNR

No.	CITRA	CITRA BERNOISE		CITRA HASIL		ITERASI
		RMSE	PSNR	RMSE	PSNR	
1	LENA	17,35	23,46	8,95	29,09	75
2	BARBARA	16,65	23,7	10,13	28,01	100
3	MANDRILL	17,35	23,34	11,7	26,76	80
4	LAKE	18,39	22,83	11,5	26,91	25
5	RUMAHKU	18,12	22,96	13,31	25,64	50

Kesimpulan dan Saran

Dari penelitian yang dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Telah berhasil disusun algoritma dan program untuk mereduksi noise pada citra grayscale dengan metode fraktal.
2. Proses denoising citra dilakukan dengan pengkodean fraktal (*fractal encoding*), dalam penelitian ini digunakan partisi seragam, dan dengan rekonstruksi citra (*fractal decoding*) untuk mendapatkan citra tanpa noise.
3. Uji hasil program menggunakan 5 citra grayscale berukuran 256 x 256 piksel dengan diberikan noise Gaussian kemudian diukur tingkat perbaikan citranya dengan RMSE dan PSNR.
4. Hasil uji coba menunjukkan program komputer yang dibuat dapat mereduksi noise pada citra dengan rerata penurunan RMSE sebesar 6,45 dan rerata kenaikan nilai PSNR sebesar 4,02 dengan rerata nilai PSNR adalah 27,28. Waktu proses pengkodean fraktal cukup lama yaitu sekitar 65 detik karena algoritma yang digunakan mempunyai kompleksitas waktu $O(n^4)$ dan hasil denoising citra bergantung dari jumlah iterasi pada proses rekonstruksi citra.

Sedangkan sebagai saran untuk penelitian lebih lanjut adalah sebagai berikut :

1. Untuk meningkatkan tingkat perbaikan citra, nilai PSNR lebih tinggi dan RMSE lebih rendah, perlu dicari algoritma pengkodean fraktal dari suatu citra menggunakan selain partisi seragam.
2. Perlu dikembangkan algoritma pengkodean fraktal dari suatu citra warna yang tentunya berbeda dengan citra grayscale.

Daftar Pustaka

- [1] Barnsley, M., 1988, "Fractals Everywhere", Academic Press, Inc., New York.
- [2] Bire dkk., 2012, "Denoising Pada Citra Menggunakan Transformasi Wavelet", hal. 487-493, ISBN 979-26-0255-0.
- [3] Buades, A. dkk., 2005, "A Review Of Image Denoising Algorithms, With A New One", MULTISCALE MODEL. SIMUL. Vol. 4, No. 2, pp. 490-530 @2005 Society for Industrial and Applied Mathematics.
- [4] Falconer, K., 1990, *Fractal Geometry : Mathematical Foundations and Applications*, John Wiley & Sons Ltd., New York.
- [5] Gayathri, R. dan Sabeenian, R.S., 2013, "A Performance Analysis of Efficient Schemes and Algorithms in Image Denoising Procedures", 2013 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI -2013), Jan. 04 – 06, 2013.
- [6] Ghazel, M. dkk., 2002, "Fractal-Wavelet Image Denoising", *IEEE ICIP 2002*, 0-7803-7622-6/02/\$17.00 ©2002 IEEE
- [7] Ghazel, M. dkk., 2003, "Fractal Image Denoising", 1057-7149/03/\$17.00 ©2003 IEEE.
- [8] Ghazel, M. dkk., 2005, "Simultaneous Fractal Image Denoising And Interpolation", 0-7803-9195-0/05/\$20.00 ©2005 IEEE.
- [9] Ghazel, M., 2006, "Fractal-Wavelet Image Denoising Revisited", *IEEE Transactions On Image Processing*, Vol. 15, No. 9, September 2006.
- [10] Handoko, W.T. dkk., 2011, "Analisis Dan Implementasi *Image Denoising* dengan Metode *Normal Shrink* sebagai *Wavelet Thresholding Analysis*", *Jurnal Teknologi Informasi DINAMIK Volume 16, No.1, Januari 2011* : 5663 ISSN : 08549524.
- [11] Malviya, A., 2008, *Fractal Based Spatial Domain Techniques for Image De-Noising*, 978-1-4244-1724-7/08/\$25.00 ©2008 IEEE.
- [12] Meng, F., 2015, "A Fractal Conservation Law for Simultaneous Denoising and Enhancement of Seismic Data", *IEEE Geoscience And Remote Sensing Letters*, Vol. 12, No. 2, February 2015.
- [13] Wang, H.K.S., 2003, "Study On Denoising Of Fractal Signal Based On Shannon Entropy", *IEEE Int. Conf. Neural Networks & Signal Processing Nanjing, China, December 14-17, 2003*, 0-7803-77

Biodata Penulis

Drs. Janoe Hendarto M.Kom, dosen Jurusan Ilmu Komputer dan Elektronika FMIPA UGM Sekip Utara Yogyakarta, Undergraduate, MIPA, Universitas Gadjah Mada, Indonesia, 08/1981 - 07/1986 . Master, Computer Science, Universitas Indonesia, Indonesia, 08/1989 - 07/1991. Research interest are Algorithm Analysis, Computer Graphic.