

## ANALISIS PENERAPAN METODE KONVOLUSI UNTUK REDUKSI DERAU PADA CITRA DIGITAL.

Rika Novita Wardhani, Mera Kartika Delimayanti  
Electrical Engineering Department, Politeknik Negeri Jakarta  
Kampus UI Depok, Indonesia 16424  
[rikanov89@yahoo.com](mailto:rikanov89@yahoo.com), [d5yanti@yahoo.com](mailto:d5yanti@yahoo.com)

### ABSTRACT

Noise in digital image processing is a disorder caused by deviations of the data received. There are three types of noise, Additive, Gaussian and Speckle. Currently, there are many methods for reducing noise in digital images. One method that can be used for reducing noise is convolution method, which consists of Low Pass Filter, High Pass Filter, Median Filter, Mean Filter and Gaussian Filter. This research will analyze an output by applying the convolution method for noise reduction with various parameters such as histogram, Timing- Run calculation and SNR calculation. Noise reduction will be imposed on the three types of noise.

**Keywords** : digital image, noise reduction, convolution method, histogram, Timing-Run, SNR.

### ABSTRAK

Derau (noise) dalam pengolahan citra digital merupakan gangguan yang disebabkan oleh menyimpangnya data digital yang diterima oleh alat penerima data gambar. Noise memiliki tiga jenis yakni noise Aditif, Gaussian dan Speckle. Saat ini terdapat banyak metode untuk mengurangi derau pada citra digital. Salah satu metode yang dapat digunakan dengan metode konvolusi yang terdiri dari filter lolos bawah (Low Pass Filter), lolos atas ( High Pass Filter), Median, Mean dan Gaussian. Pada penelitian ini akan dilakukan analisis citra digital keluaran dengan penerapan metode konvolusi untuk reduksi derau dengan berbagai parameter yakni histogram, perhitungan Timing-Run dan perhitungan SNR. Reduksi noise dikenakan pada ketiga jenis noise.

**Kata kunci** : citra digital, reduksi noise, metode konvolusi, histogram, Timing-Run, SNR.

### PENDAHULUAN

Citra (*image*) merupakan istilah lain untuk gambar sebagai bentuk informasi visual yang memegang peranan penting dalam komponen multimedia. Seiring dengan perkembangan teknologi di bidang komputerisasi, teknologi pengolahan citra (*image processing*) telah banyak dipakai di berbagai bidang antara lain bidang kedokteran dan bidang industri hiburan. Pengolahan citra digital merupakan proses yang bertujuan untuk memanipulasi dan menganalisis citra dengan bantuan komputer. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan alternatif solusi sebuah masalah dengan hasil yang lebih efisien dan akurasi yang baik, sebagai contoh untuk deteksi penyakit

osteoporosis dari citra X-Rays dan untuk kompresi video (Murinto, 2007).

Derau (*noise*) dalam pengolahan citra digital merupakan gangguan yang disebabkan oleh menyimpangnya data digital yang diterima oleh alat penerima data gambar. Alat penerima gambar ini bisa berbentuk berbagai macam, mulai dari kamera, baik itu jenis kamera *analog* maupun jenis kamera digital dan juga *scanner*. Citra digital sangat rentan mendapatkan serangan derau. Ada beberapa cara yang menyebabkan suatu derau dapat berada di dalam sebuah citra, bergantung bagaimana citra tersebut diciptakan. Sebagai contoh, jika citra merupakan hasil *scan* foto yang berasal dari sebuah *film* negatif, maka *film* negatif ini merupakan sumber derau. Jika citra diperoleh secara langsung dalam format

digitalnya, mekanisme dalam mendapatkan data digital tersebut juga dapat menyebabkan adanya derau (Sulistyo, 2009).

Saat ini sudah ada berbagai teori dan algoritma komputer yang digunakan untuk reduksi derau. Reduksi derau merupakan suatu proses untuk mereduksi atau mengurangi derau (*noise*) pada sebuah citra digital. Sampai saat ini, banyak metode yang telah dicoba untuk mengurangi banyaknya derau pada citra digital dengan tujuan untuk memperbaiki kualitas citra (*Image Enhancement*). Jenis operasi ini bertujuan untuk memperbaiki citra dengan cara manipulasi parameter-parameter citra sehingga ciri-ciri khusus dalam citra dapat ditonjolkan. Reduksi derau dapat dilakukan dengan melakukan penapisan / filtering. Salah satu metode yang dapat digunakan dengan metode konvolusi. Konvolusi sangat berguna untuk melakukan operasi penapisan (*filtering*) pada citra. Banyak tapis yang diimplementasikan dalam bentuk *kernel* yang dikonvolusikan dengan citra dengan tujuan untuk perbaikan kualitas citra, diantaranya adalah lolos bawah (*Low Pass Filter*), lolos atas (*High Pass Filter*), Median, Mean dan Gaussian (Widita, 2005).

Citra digital adalah citra kontinu yang diubah ke dalam bentuk diskrit, baik koordinat ruang maupun intensitas cahayanya. Proses digitalisasi terdiri dari dua proses, yaitu pencuplikan (*sampling*) posisi dan kuantisasi intensitas. Citra digital dapat dinyatakan dalam matriks dua dimensi  $f(x,y)$  dimana  $x$  dan  $y$  merupakan koordinat piksel dalam matriks dan  $f$  merupakan derajat intensitas piksel tersebut. Pengolahan citra digital merupakan proses yang menerima masukan berupa citra, melakukan pengolahan terhadapnya, dan menghasilkan keluaran yang juga berbentuk citra. Aplikasi pengolahan citra dapat dikelompokkan dalam dua jenis kegiatan, yaitu (Widita, 2005):

- a) Memperbaiki kualitas suatu gambar, sehingga dapat lebih mudah diinterpretasi oleh mata manusia
  - b) Mengolah informasi yang terdapat pada suatu gambar untuk keperluan pengenalan objek secara otomatis.
- Pada dasarnya, ada dua alasan mengenai perlunya pengolahan citra, yaitu:
- a) Untuk mendapatkan citra asli dari suatu citra yang sudah buruk karena pengaruh derau (*noise*).
  - b) Untuk memperoleh citra dengan karakteristik tertentu dan cocok secara visual yang dibutuhkan untuk tahap selanjutnya dalam pengolahan citra.

### Derau (*Noise*)

Derau (*Noise*) adalah titik-titik pada citra yang sebenarnya bukan merupakan bagian dari citra, melainkan ikut tercampur pada citra karena suatu sebab. Ada tiga macam *noise*, yaitu:

#### a. *Noise Aditif*

*Noise aditif* adalah *noise* yang bersifat menambahkan secara seragam pada sebuah bidang citra dengan varian tertentu. Contoh *noise* ini adalah *noise salt-and-peppers* yang menambahkan aras gelap dan terang pada citra.

#### b. *Noise Gaussian*

*Noise* ini memiliki intensitas yang sesuai dengan distribusi normal yang memiliki rerata (*mean*) dan varian tertentu.

#### c. *Noise Speckle*

*Noise* ini muncul pada saat pengambilan citra tidak sempurna karena alasan cuaca, perangkat pengambil citra dan sebagainya. Sifat *noise* ini *mulipikatif*, artinya semakin besar intensitas citra atau semakin cerah citra, semakin jelas juga *noise*.

*Noise* muncul biasanya sebagai akibat dari pemblokkan yang tidak bagus (sensor *noise*, *photographic gain noise*). Gangguan tersebut umumnya berupa variasi intensitas suatu piksel yang tidak berkorelasi dengan piksel-piksel tetangganya. Secara visual, gangguan mudah dilihat oleh mata karena

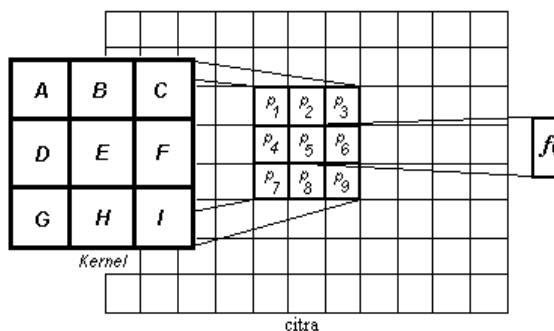
tampak berbeda dengan piksel tetangganya. Piksel yang mengalami gangguan umumnya memiliki frekuensi tinggi. Komponen citra yang berfrekuensi rendah umumnya mempunyai nilai piksel konstan atau berubah sangat lambat. Operasi *denoise* dilakukan untuk menekan komponen yang berfrekuensi tinggi dan meloloskan komponen yang berfrekuensi rendah (Murinto, 2007).

**Metode Konvolusi**

Pada umumnya analisa suatu citra dalam domain frekuensi didasarkan pada teknik konvolusi. Keluaran dari sebuah sistem linear dapat diperoleh dari operasi konvolusi antara respon impuls sistem dengan sinyal masukan. Operasi konvolusi dilakukan dengan menggeser *kernel* konvolusi piksel per piksel, menghitung piksel keluaran  $f(i,j)$ , lalu menyimpannya dalam matriks baru. Konvolusi sangat berguna untuk melakukan operasi penapisan (*filtering*) pada citra. Pada pengolahan citra digital, konvolusi dilakukan secara dua dimensi pada sebuah citra, seperti ditunjukkan oleh persamaan:

$$g(x, y) = f(x, y) * h(x, y) = \sum_{a=-\infty}^{\infty} \sum_{b=-\infty}^{\infty} f(a, b)h(x - a, y - b)$$

dimana  $f(x,y)$  adalah citra asal  
 $h(x,y)$  adalah matriks konvolusi  
 $g(x,y)$  adalah citra hasil konvolusi



$$f(i, j) = A.P_1 + B.P_2 + C.P_3 + D.P_4 + E.P_5 + F.P_6 + G.P_7 + H.P_8 + I.P_9$$

Gambar 1. Ilustrasi Operasi Konvolusi

Banyak tapis yang diimplementasikan dalam bentuk *kernel* yang dikonvolusikan dengan citra dengan tujuan untuk perbaikan kualitas citra, diantaranya adalah penapisan lolos bawah (*Low Pass Filter*), penapisan lolos atas (*High Pass Filter*), penapisan nilai rata-rata (*Mean Filtering*), penapisan nilai tengah (*Median Filtering*), dan *Gaussian Filtering* (Widita, 2005).

1) *Low Pass Filter*

*Low Pass Filter* (LPF) adalah proses filter yg mengambil citra dengan gradiasi intensitas yg halus dan perbedaan intensitas yg tinggi akan dikurangi atau dibuang. LPF dilakukan untuk menghilangkan ruang derau berfrekuensi tinggi dari sebuah gambar digital. Low pass filter digunakan untuk mengurangi detail dari gambar atau justru membuat gambar menjadi lebih kabur dari sebelumnya. Filter ini akan menghilangkan atau mengurangi derau-derau berfrekuensi tinggi dari gambar menjadi frekuensi yang lebih rendah. Frekuensi tinggi dari sebuah pixel dapat diperlihatkan dengan melihat tingkat ketajaman gambar dari pixel tersebut LPF digunakan pada gambar yang memiliki intensitas warna yang rendah. Karena letak *noise* berada di intensitas rendah, maka dilakukan pencarian pada titik-titik gambar dan kemudian akan ditandai sebagai *noise*. Selanjutnya titik tersebut akan diganti dengan mencari warna rata-rata di sekitar titik tersebut (Maziyah, 2007).

2) *High Pass Filter*

*High Pass Filter* (HPF) adalah proses filter yang mengambil citra dengan gradiasi intensitas yang tinggi dan perbedaan intensitas yang rendah akan dikurangi atau dibuang. HPF digunakan jika *noise* diketahui memiliki intensitas warna tinggi (Murinto, 2007).

3) *Mean Filtering*

Tujuan dari filter mean (*averaging filter*) adalah mengurangi noise dengan cara merata-rata sekumpulan citra bernoise.

4) *Median Filtering*

*Median filter* merupakan suatu metode

yang menitik beratkan pada nilai *median* atau nilai tengah dari jumlah total nilai keseluruhan *pixel* yang ada di sekelilingnya. Filter median merupakan salah satu contoh filter spasial non linear. Operasi untuk memperoleh nilai median akan menempatkan nilai yang sangat besar atau sangat kecil berada pada ujung atas atau ujung bawah urutan. Dengan demikian filter median secara umum akan mengganti piksel-piksel yang berderau dengan suatu nilai yang dekat dengan piksel-piksel disekitarnya (Eng, 2006 dan Adipranata, 2006).

### 5) Gaussian Filtering

Filter Gaussian adalah filter yang merupakan respon dari fungsi Gaussian. Filter gaussian hampir sama dengan filter mean hanya ada nilai bobot yang tidak rata seperti pada filter rata-rata, tetapi mengikuti fungsi Gaussian.

## METODOLOGI

Penelitian dilakukan dengan menggunakan citra digital sebanyak 50 citra uji yang Aditif, Gaussian dan Speckle. Langkah berikutnya adalah memperlakukan setiap citra yang dikenai derau dengan penapisan (filtering) yang terdiri dari :

- (a) Low Pass Filter (LPF)
- (b) High Pass Filter (HPF)
- (c) Mean Filter
- (d) Median Filter
- (e) Gaussian Filter

Perlakuan terhadap citra digital dilakukan sesuai prosedur yang dilanjutkan dengan melakukan perhitungan variabel terikat yakni berupa :

- (a) Histogram, digunakan untuk menyatakan distribusi data dari nilai derajat keabuan yang merupakan fungsi untuk menyatakan jumlah kemunculan dari setiap nilai.
- (b) Perhitungan *Timing-Run*, yakni menghitung berapa lama waktu proses reduksi derau pada suatu citra

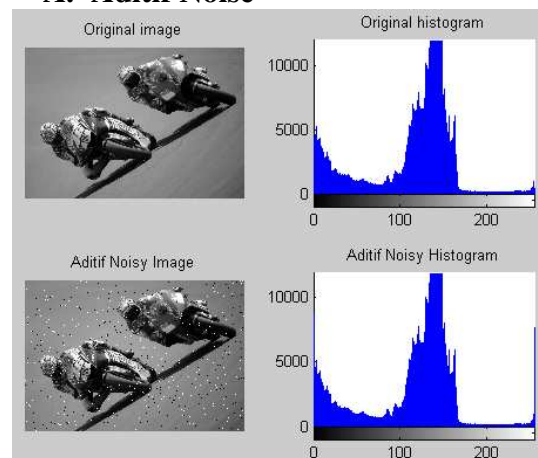
digital

- (c) Perhitungan SNR, untuk mengukur kinerja suatu filter
- (d) Efektifitas dari kelima jenis filter untuk reduksi derau

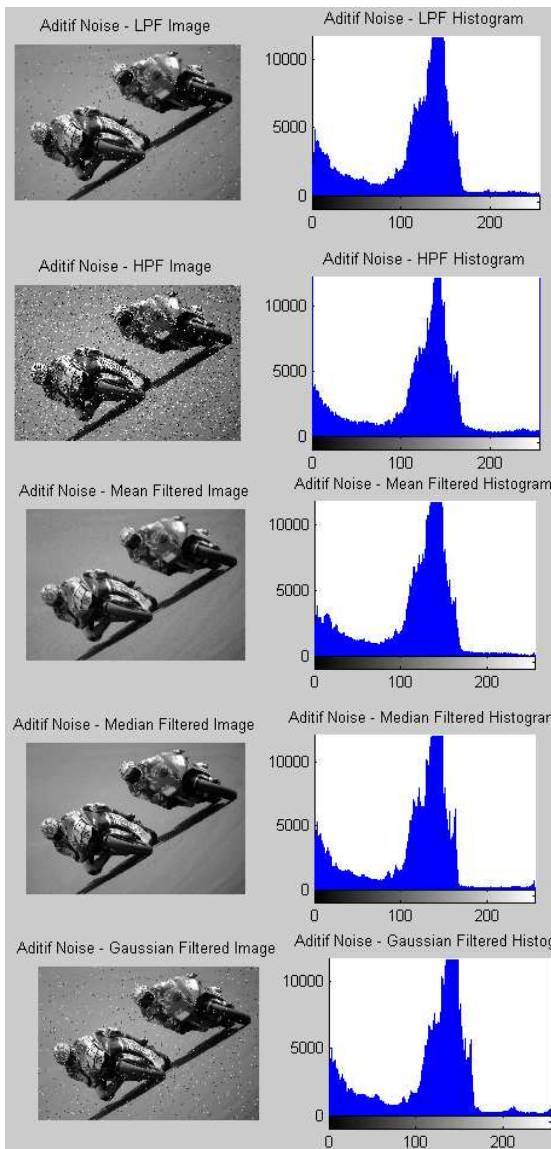
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menggunakan 50 citra uji pada berbagai ukuran pixel dengan diberikan noise dan selanjutnya dilakukan penapisan / pemfilteran. Untuk setiap citra uji dilakukan perhitungan histogram. Berikut adalah hasil percobaannya. Citra uji sample8 mempunyai ukuran 1024 X 710 pixel yang merupakan ukuran citra uji terbesar. Untuk citra uji dengan ukuran sedang yakni ukuran 800 X 785 pixel, sedangkan untuk sample1 mempunyai ukuran 320 X 240 pixel merupakan citra uji dengan ukuran kecil. Berikut ini adalah salah satu hasil pengujian pada citra uji yakni sample8.jpg dengan noise jenis Aditif.

### A. Aditif Noise



Gambar 2. Citra asli dan citra yang terkena derau Aditif beserta histogramnya



Gambar 3. Citra yang telah dilakukan penapisan/ pemfilteran beserta histogramnya

Untuk setiap citra uji dilakukan perhitungan Timing Run dan SNR. Perhitungan Timing Run masih dalam orde ms (mili detik) sehingga dilakukan perhitungan dari CPU komputer sedangkan untuk SNR terdapat dua perhitungan yakni SNR noise yang dihitung saat citra mendapat noise dan SNR filter yang dihitung saat citra yang mendapat noise dikenakan filter. Perhitungan tersebut bertujuan untuk mendapatkan analisa efektifitas dari setiap filter terhadap noise. SNR digunakan untuk menentukan kualitas citra setelah dilakukan operasi pengurangan noise. Besarnya SNR filter dibandingkan dengan SNR noise yang

apabila SNR filter lebih besar dari SNR noise berarti noise mengecil sehingga filter efektif untuk melakukan reduksi noise dan meningkatkan kualitas citra. Nilai SNR yang tinggi adalah lebih baik karena berarti rasio sinyal terhadap noise juga tinggi, dimana sinyal adalah citra asli. SNR diukur dengan satuan *decibels* (dB). Percobaan dilakukan pada berbagai ukuran citra uji untuk mendapatkan rata-rata data yang seimbang. Selain itu, dari 50 citra uji telah dilakukan perhitungan rata-rata untuk seluruh besaran yang diinginkan. Berikut ini adalah contoh tabel hasil perhitungan SNR dan timing run untuk perhitungan rata-rata untuk 50 citra uji.

Hasil penelitian dengan menggunakan 50 citra uji menunjukkan bahwa histogram didapatkan dari setiap citra uji yang terkena noise maupun yang sudah terfilter. Secara umum, histogram untuk citra noise dengan citra asli tidak jauh berbeda, terdistribusi merata ke seluruh daerah dengan derajat keabuan. Perbedaan terdapat pada daerah tumpukan histogram yakni adanya gunung dan lembah.

Tabel 1. Tabel perhitungan rata-rata 50 citra uji

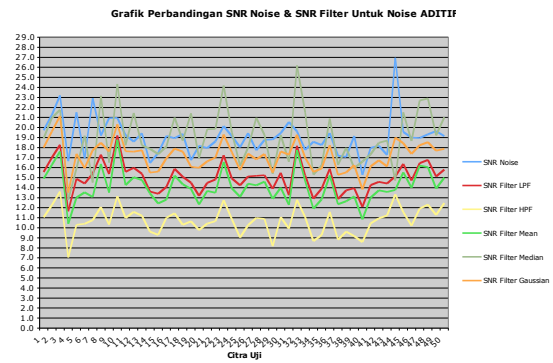
Macam Noise	Aditif		Gaussian		Speckle	
Macam Filter	SNR (dB)	T-Run (ms)	SNR (dB)	T-Run (ms)	SNR (dB)	T-Run (ms)
<b>SNR noise</b>	19.07		9.200		11.21	
	7				3	
<b>LPF</b>	15.04	170.63	13.307	171.13	14.50	169.38
	1				3	
<b>HPF</b>	10.74	19.38	4.599	18.76	5.900	19.07
	5			6		7
<b>Mean Filter</b>	14.10	18.76	13.046	19.07	14.31	19.38
	7			7	9	8
<b>Median Filter</b>	18.97	44.69	12.311	48.13	13.69	48.44
	0			3	4	4
<b>Gaussian Filter</b>	17.19	20.01	11.011	19.38	13.14	20.07
	0			8	9	1

Histogram tampak berbeda pada citra dengan noise Gaussian dan Speckle yang disebabkan jenis noise itu sendiri. Noise Gaussian memiliki distribusi normal dengan rerata dan varian tertentu sedangkan noise Speckle merupakan noise yang muncul pada saat pengambilan citra tidak sempurna. Selanjutnya untuk

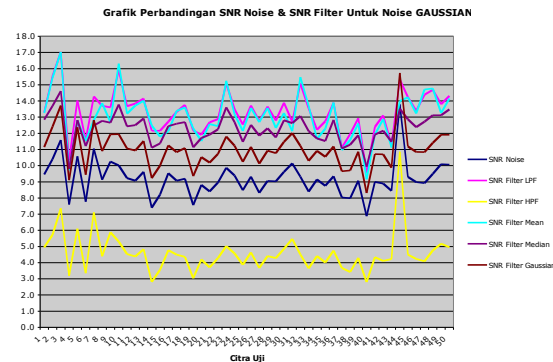
histogram citra yang terfilter dengan filter Mean, Median, LPF dan Gaussian tidak ada perbedaan berarti, namun histogram untuk citra yang terfilter dengan filter HPF mengalami perbedaan yang signifikan yang secara umum menjadi berbeda. Hal ini tampak pada citra yang terfilter dengan HPF menjadi lebih kabur daripada citra asli untuk seluruh jenis noise (Aditif, Gaussian dan Speckle). Histogram pada citra filter Gaussian memiliki puncak yang hampir sama dengan citra asli dan tampak bahwa citra filter Gaussian lebih jelas dan baik daripada citra asli.

Hasil perhitungan Timing Run yakni berapa lama waktu yang diperlukan untuk melakukan reduksi noise pada suatu citra dengan menggunakan filter dalam orde perhitungan adalah mili sekon. selain itu, semakin besar ukuran citra (pixel) maka semakin besar pula Timing-Run nya. Dari perhitungan seluruh citra uji (50) dan hasil perhitungan rata-rata didapatkan dengan menjumlahkan nilai tiap citra dari suatu filter lalu membaginya dengan jumlah sampel citra yang ada. Didapatkan bahwa reduksi noise dengan metode HPF membutuhkan waktu yang paling cepat. Sedangkan filter LPF membutuhkan waktu yang lebih lama. Namun efektifitas filter LPF belum dapat ditentukan dari perhitungan timing run saja.

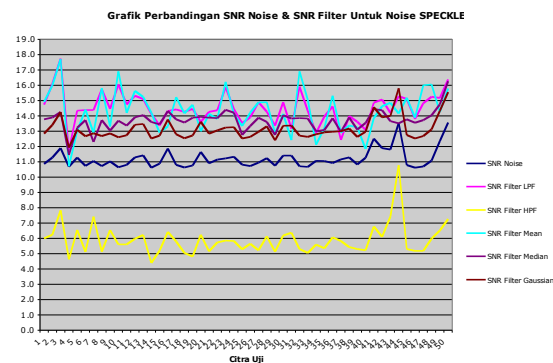
SNR merupakan perbandingan dari rata-rata nilai pixel untuk standar deviasi dari nilai-nilai pixel. SNR ini biasanya dipakai untuk mengukur kinerja suatu filter. Dari perhitungan SNR filter dan SNR noise untuk 50 citra uji untuk ketiga jenis noise yakni Aditif, Gaussian dan Speckle didapatkan grafik pada gambar 8, 9 dan 10.



Gambar 8. Grafik perbandingan SNR Noise & SNR Filter untuk noise Aditif



Gambar 9. Grafik perbandingan SNR Noise & SNR Filter untuk noise Gaussian



Gambar 10. Grafik perbandingan SNR Noise & SNR Filter untuk noise Speckle

Pada jenis noise aditif, tampak dari perhitungan 50 citra uji bahwa SNR filter untuk seluruh jenis filter mempunyai nilai lebih kecil dari SNR noise yang artinya nilai noise membesar setelah dikenakan filter. Dapat disimpulkan bahwa kelima jenis filter metode konvolusi tidak ada yang efektif untuk reduksi noise jenis Aditif. Namun untuk filter Median mempunyai nilai SNR filter sama atau lebih besar dari SNR noise, sehingga filter Median dapat dipertimbangkan sebagai filter untuk reduksi noise jenis Aditif. Namun reduksi

noise pada citra uji dengan filter median tampak menyebabkan citra menjadi lebih blur. Hal ini sependapat dengan pernyataan dari percobaan sulisty (Sulistyo, 2009) yang mana filter median dapat mengeliminasi *salt and pepper noise* yakni noise yang termasuk dalam jenis noise aditif.

Perhitungan untuk jenis noise Gaussian didapatkan bahwa nilai SNR filter LPF paling besar dibandingkan dengan SNR noise, sehingga disimpulkan bahwa filter LPF merupakan filter yang efektif untuk reduksi noise jenis Gaussian. Sedangkan data untuk SNR filter HPF paling kecil dibandingkan dengan SNR noise sehingga tampak bahwa filter HPF tidak efektif untuk reduksi noise jenis Gaussian.

Pada perhitungan jenis noise Speckle tampak pada grafik bahwa nilai SNR filter LPF dan SNR filter Mean yang lebih besar daripada SNR noise dan pada perhitungan rata-rata untuk 50 citra uji didapatkan bahwa nilai SNR filter LPF paling tinggi dibandingkan dengan SNR noise. Hal tersebut dapat disimpulkan bahwa filter LPF paling efektif untuk melakukan reduksi noise jenis Speckle.

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian berupa uji coba dan analisis dengan 50 citra uji dan perhitungan rata-rata seluruh citra uji didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Berdasarkan histogram dari 50 citra uji didapatkan bahwa filter HPF merupakan filter yang tidak dapat mereduksi noise namun justru menambah noise pada citra uji.
- 2) Perhitungan Timing-Run menunjukkan semakin besar ukuran pixel citra digital maka semakin besar waktu yang diperlukan untuk melakukan reduksi noise.
- 3) Berdasarkan perhitungan SNR filter dan SNR noise untuk jenis noise Aditif, filter Median dapat

dipertimbangkan sebagai jenis filter yang efektif untuk mereduksi noise aditif pada citra digital. Sedangkan pada noise Speckle dan Gaussian, filter LPF merupakan filter yang efektif untuk mereduksi noise.

- 4) Berdasarkan histogram, perhitungan Timing-Run dan SNR didapatkan bahwa metode konvolusi dengan menggunakan filter LPF merupakan filter yang paling efektif untuk reduksi noise untuk noise jenis Speckle dan Gaussian. Walaupun membutuhkan waktu untuk reduksi noise (Timing-Run) yang paling besar. Sedangkan untuk noise jenis Aditif, filter Median cukup efektif dibanding filter lainnya.
- 5) Disarankan untuk melakukan reduksi noise dengan menggabungkan beberapa macam metode atau beberapa jenis filter untuk mendapatkan reduksi noise yang optimal pada citra digital. Mengingat setiap metode atau jenis filter memiliki kelebihan dan kekurangan dalam mereduksi noise bergantung jenis noise.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1.] Adipranata, R. Liliana. Sanjaya, V.A. 2006. *Pembuatan Perangkat Lunak Untuk Memperbaiki Citra Pada Video Digital*. Seminar Nasional Sistem dan Informatika 2006. Bali, 17 November 2006. SNSI06-042.
- [2.] Eng, P.Ng. and Ma, K.K. 2006. *A Switching Median Filter With Boundary Discriminative Noise Detection For Extremely Corrupted Images*. IEEE Trans. Image Process., vol. 15, no. 6.
- [3.] Maziyah, M. dan Andy, N. 2007. *Implementasi VB 6.0 Pada Face Detection Berbasis Image Processing Untuk Sistem Identifikasi*. Jurnal
- [4.] Fisika Dan Aplikasinya. Vol.3, no.2 Juni 2007. Surabaya.
- [5.] Murinto. E, W. Risnadi, S. 2007. *Analisis Perbandingan Metode*

*Intensity Filtering Dengan Metode Frequency Filtering Sebagai Reduksi Noise Pada Citra Digital*. Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi 2007 (SNATI 2007). Yogyakarta, 16 Juni 2008. ISSN : 1907-5022.

- [6.] Saikhu. A, Nanik S, Widhiatantri S. 2009. *Perbaikan Citra Bernoise Switching Median Filter Dan Boundary Discriminative Noise Detection*. Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi 2009 (SNATI 2009). Yogyakarta, 20 Juni 2009. ISSN : 1907- 5022. Tersedia di <http://journal.uui.ac.id/index.php/Snati/index> diunduh 17 Juli 2011.
- [7.] Sulistyono, W. Yos, R.B. Filipus, F.Y. 2009. *Analisis Penerapan Metode Median Filter Untuk Mengurangi Noise Pada Citra Digital*. Konferensi Nasional Sistem dan Informatika 2009. Bali, 14 November 2009. KNS&I09-035.
- [8.] Widita, A.P., 2005, *Perancangan dan Implementasi Sistem Perangkat Lunak Pendeteksi Dini Osteoporosis Melalui Pengukuran Ketebalan Korteks Klavikula*, Tugas Akhir, Fakultas Teknologi Industri-ITB.