

# Inkonsistensi Antara Hasil Pengukuran SSIM Dengan Kondisi Visual Citra Hasil Metode Denoising Berbasis Ant Colony Optimization

*Inconsistency Between SSIM Result and Visual Condition of Image Resulting from Denoising Method based Ant Colony Optimization*

**Septian Enggar Sukmana<sup>1</sup>, Dewi Nurfitri Oktaviani<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Teknik Informatika - Universitas Dian Nuswantoro, Jalan Imam Bonjol 107, Semarang

<sup>2</sup>Graduate School of Informations, Productions, and Systems – Waseda University, 1 Chome-104 Totsukamachi, Shinjuku - Tokyo

e-mail: septian.enggar@dsn.dinus.ac.id<sup>1</sup>, oktaviani.dewi@asagi.waseda.jp<sup>2</sup>

## **Abstrak**

Hasil denoising perlu dievaluasi untuk mengetahui nilai hasil secara terukur yang bertujuan untuk mendapatkan penilaian secara objektif. Seperti halnya teknik denoising, teknik evaluasi hasil citra juga dapat dilakukan baik pada domain spasial maupun domain frekuensi. Bagaimanapun, hasil denoising pada citra sangat fokus pada bagian visual sehingga penilaian secara visual merupakan penilaian yang sangat penting. Penilaian secara visual dapat ditempuh melalui metode structural similarity index measurement (SSIM). SSIM melakukan teknik evaluasi dengan cara perbandingan antara citra hasil denoising dengan citra asli. Berdasarkan penelitian pada modifikasi metode denoising AntShrink telah ditemukan kelemahan SSIM terhadap kurangnya kemampuan SSIM dalam membaca kondisi blur. Untuk mengetahui ketepatan penemuan tersebut, evaluasi citra berbasis blur dan pemetaan SSIM dilakukan. Ketepatan temuan terbukti pada setiap tingkat noise  $\sigma_n$  yang tinggi ( $\sigma \geq 50$ ) dengan representasi hasil citra yang memiliki banyak blur namun hasil penilaian indeks oleh SSIM dianggap tinggi. Hasil ini cukup serupa dengan hasil pada metode AntShrink yang menunjukkan trend angka lebih kecil daripada hasil metode usulan.

**Kata kunci**— *denoising, AntShrink, wavelet, SSIM, blur*

## **Abstract**

*A denoising result must be evaluated to know the measured result to get objectivity measurement. Not only denoising technique, evaluation method of image can also be performed in frequency or spatial domain. However, denoising result on image is very focused on visual appearance after processing. SSIM is the one of method that measures visual result of image after processing using comparison of image result and ground truth. Based on AntShrink modification, it discovers that SSIM is less on blur condition reading. To make sure about this phenomenon, the visual image evaluation and SSIM mapping are performed. It shows that on high level noise ( $\sigma \geq 50$ ), the image which is dominated by blur get high value by SSIM index. This result is similar with AntShrink's although its trend is smaller than the modification one.*

**Keywords**— *denoising, AntShrink, wavelet, SSIM, blur*

## 1. PENDAHULUAN

Denoising citra sering menjadi topik penelitian hingga saat ini. Upaya penyelesaian permasalahan berbagai jenis *noise* pada domain frekuensi atau domain spasial telah dilakukan untuk menghasilkan kualitas citra yang lebih baik. Berbagai teknik denoising pada domain frekuensi telah dikembangkan dengan berbagai teknik optimalisasi [1, 2, 3] untuk meningkatkan informasi tentang koefisien-koefisien sehingga proses denoising dapat dilakukan secara lebih optimal. Salah satu contoh ditunjukkan oleh Youlian dan Cheng [2] menerapkan *particle swarm optimization* (PSO) untuk menentukan ukuran elemen yang tepat untuk daerah citra yang hendak dilakukan *denoising*. Optimisasi estimasi *noise* dilakukan dengan kombinasi antara parameter PSO dan *peak signal to noise ratio* (PSNR). Teknik lain dilakukan oleh Jing Tian [1] dengan melakukan klasifikasi koefisien *noise* dan *non-noise* oleh ACO yang didapatkan dari karakteristik koefisien *wavelet*-nya. Tidak hanya pemanfaatan teknik optimalisasi berbasis tingkah laku hewan, teknik berbasis *fuzzy* juga dilakukan untuk optimalisasi informasi koefisien *wavelet* pada tahap *shrinkage* [3].

Hasil *denoising* dapat dilihat melalui kondisi visual citra tersebut dan diperbandingkan dengan citra yang belum mengalami proses *denoising* atau dengan kata lain citra tersebut masih terkontaminasi oleh *noise*. Namun, penilaian hasil dengan pandangan secara visual oleh manusia masih bersifat subjektif karena untuk hasil tertentu setiap manusia dapat memiliki pendapat yang berbeda. Oleh karena itu, evaluasi kualitas denoising umumnya diselesaikan melalui teknik-teknik evaluasi seperti *mean square error*(MSE), *peak-signal-to-noise-ratio*(PSNR), *similarity structural measurement*(SSIM), dan lain-lain.

SSIM merupakan teknik evaluasi citra yang bekerja pada domain spasial sehingga kualitas citra secara visual dapat diukur secara langsung. Melalui skema perbandingan antara citra asli dengan citra hasil pengolahan (dalam hal ini citra hasil *denoising*), SSIM mampu merepresentasikan kondisi visual dari citra hasil *denoising* melalui hasil penilaian yang diwujudkan dalam bentuk skala 0-1 dan wujud pemetaan sebagai bukti penilaian oleh SSIM. Berdasarkan kemampuan yang dimiliki SSIM tersebut, penilaian hasil *denoising* pada sisi visual merupakan hal yang patut diteliti lebih lanjut. Hal ini penting karena penilaian pada fitur yang dibandingkan harus mampu konsisten akan hasilnya secara visual dan angka serta memiliki relevansi terhadap informasi tentang fitur-fitur citra yang dihasilkan dari *denoising* pada bagian koefisien *noise* maupun yang bukan *noise*.

Kegiatan pada penelitian menceritakan tentang temuan inkonsistensi hasil secara visual dan angka pada penilaian SSIM terhadap citra hasil metode *denoising* AntShrink yang telah dimodifikasi. Pembuktian inkonsistensi tidak hanya didasarkan dari persepsi visual semata, namun juga dari hasil pemetaan SSIM serta hasil penilaian tingkat blur citra.

## 2. METODE PENELITIAN

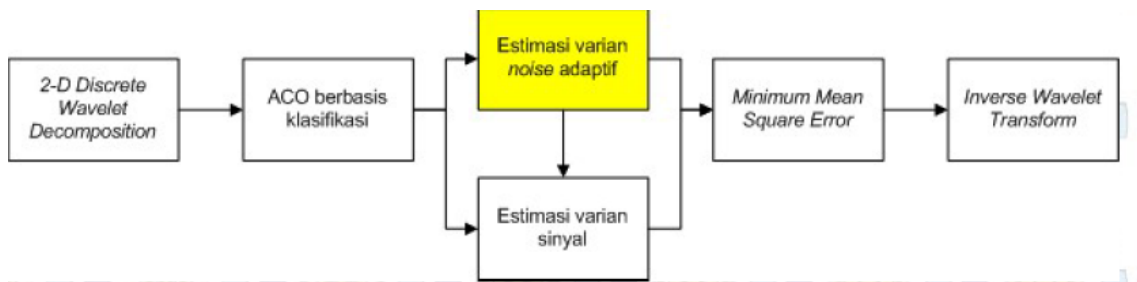
Data yang digunakan pada kegiatan ini adalah citra *grayscale* dimensi dua dengan ukuran  $N \times N$  yang berasal dari *The Stanford for Image Systems Engineering* (SCIEN) [4]. Jenis *noise* yang digunakan adalah *Additive White Gaussian Noise*

(AWGN) dan basis filter yang digunakan untuk *denoising* adalah Daubechies dan Haar, dua basis filter digunakan sebagai pembanding hasil dari representasi denoising pada sinyal yang simetris (Haar) dan tidak simetris (Daubechies). Untuk mengetahui koefisien-koefisien *wavelet*, *thresholding*  $T$  yang diterapkan terdiri dari dua jenis yaitu *hard thresholding* dan *soft thresholding*. *Hard thresholding* dilakukan pada setting koefisien yang jelas bersifat *non-zero* menjadi *zero* untuk nilai yang masuk dalam kriteria  $T$  tersebut, sedangkan koefisien yang bernilai kurang dari  $T$  dan lebih dari  $T$  maka dilakukan *soft thresholding*. Pada *soft thresholding*, nilai-nilai yang berada pada di luar kriteria  $T$  akan dikonversi ke nilai 0 sehingga dalam hal ini nilai-nilai yang dipertahankan hanya nilai yang berada  $-T \leq x \leq +T$ . Objek varian estimasi noise adalah koefisien homogen yang berada pada 8-ketetanggaan lokal. Hasil dari denoising tersebut dievaluasi oleh metode *Structural Similarity Index Metric* (SSIM) dan dilakukan dengan perbandingan dari metode state of the art yaitu metode AntShrink.

Modifikasi terkriteria pada metode yang dilakukan pada kegiatan ini terjadi pada tahap pendekatan estimasi varian noise (gambar 1) yang menggunakan dengan perpaduan antara *Median Absolute Deviation* (MAD) dan threshold  $\sqrt{\log \bar{M}}$ , threshold ini adalah bentuk adaptasi threshold  $(2 \log n)^{\frac{1}{2}}$  [5]. Fungsi dari threshold ini adalah penampakan citra yang kurang baik secara visual pada hasil tahap rekonstruksi.

$$pr \{ \max_i |z_i| \sqrt{\log \bar{M}} > \} \rightarrow 0 \quad (2)$$

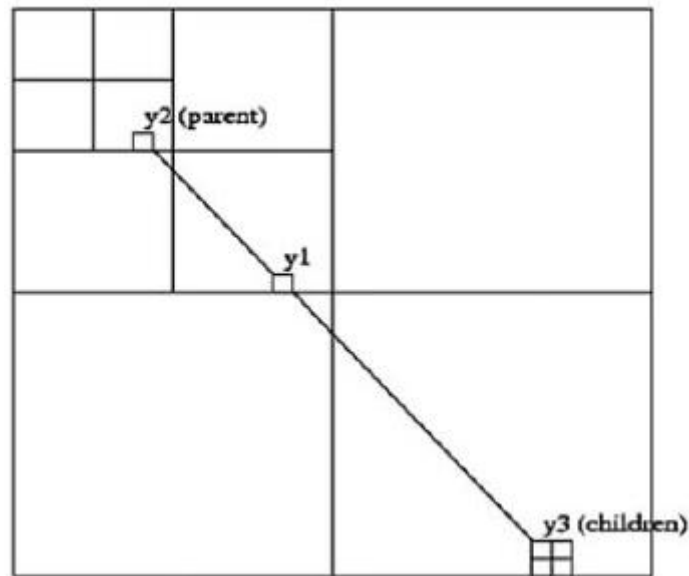
$z$  adalah koefisien zero yang dapat ditemukan. Berdasarkan hal tersebut penggunaan threshold  $\sqrt{\log \bar{M}}$  berfungsi untuk memperjelas perbedaan koefisien zero (bebas noise) dan koefisien nonzero (terkontaminasi noise), dengan probabilitas yang tinggi maka setiap sample pada transformasi wavelet yang secara pasti zero diestimasi sebagai zero sehingga lebih membantu semut dalam melakukan estimasi noise secara efisien.



Gambar 1 Skema perbandingan citra pada metode SSIM

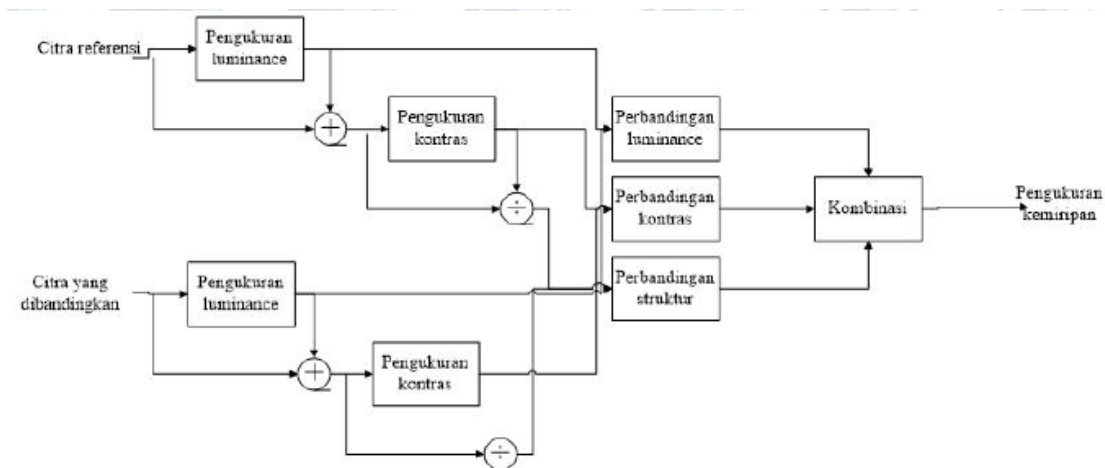
Untuk mendapatkan detail koefisien yang lebih baik, teknik *bivariate thresholding* dilakukan dengan cara menerapkan konsep *parent-children* untuk setiap bentuk penguraian citranya (gambar 2). Konsep ini menerapkan setaip detail pada setiap penskalaan saling bergantung, atau dengan kata lain detail pada penguraian pertama (*parent*) merupakan referensi untuk detail yang dihasilkan pada penguraian tahap berikutnya (*children*). Keuntungan dari teknik ini adalah terjaganya detail dari setiap penguraian yang terdapat pada setiap skala sehingga ketika terjadi proses *denoising*, informasi-informasi tentang koefisien-koefisien yang bebas *noise* dan yang terkontaminasi *noise* dapat terpantau dengan jelas dari detail referensinya (*parent*) dan

menjadi keputusan tindakan jelas untuk setiap detail koefisien apakah perlu dilakukan *denoising* atau tidak.



Gambar 2 Skema *parent-children* pada setiap tingkat penguraian skala *wavelet*

Citra yang terbentuk setelah hasil rekonstruksi selanjutnya dievaluasi menggunakan metode pengukuran SSIM melalui skema pengukuran kemiripan di antara dua buah citra (citra asli dan citra hasil *denoising*) [6]. Citra asli dianggap sebagai referensi dan berkualitas sempurna sedangkan citra yang dibandingkan (citra hasil *denoising*) dianggap sebagai objek pengukuran. Perbandingan yang dilakukan berdasar pada tiga komponen, antara lain: *luminance*, kontras, dan struktur (Gambar 3).



Gambar 3 Skema perbandingan citra pada metode SSIM

Perbandingan *luminance* merupakan langkah awal yang didefinisikan sebagai

$$l(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1} \quad (3)$$

$x$  adalah citra referensi dan  $y$  adalah citra yang diukur atau dibandingkan.  $\mu_x$  dan  $\mu_y$  adalah fungsi intensitas rata-rata untuk setiap citra

$$\mu_x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (4)$$

$$\mu_y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \quad (5)$$

Konstanta  $C_1$  dimanfaatkan untuk mencegah hasil  $\mu_x^2 + \mu_y^2$  bernilai hampir mendekati nol

$$C_1 = (K_1 L)^2 \quad (5)$$

$L$  adalah rentang yang bersifat dinamis dari nilai piksel dan  $K$  adalah konstanta. Perbandingan kontras merupakan tahap kedua yang didefinisikan sebagai

$$c(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + C_2}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + \frac{C_1}{\mu_x^2}} \quad (6)$$

Sedangkan perbandingan struktur didefinisikan dengan bentuk

$$s(x, y) = \frac{\mu_{xy} + C_3}{\mu_x + \mu_y + C_3} \quad (7)$$

$\mu_{xy}$  dapat diestimasi sebagai

$$\mu_{xy} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu_x)(x_i - \mu_y) \quad (8)$$

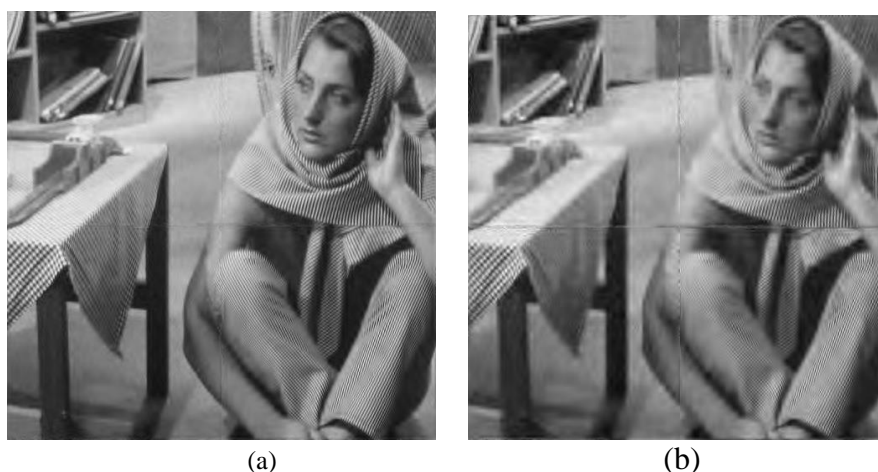
SSIM merupakan kombinasi ketiga persamaan tersebut

$$SSIM(x, y) = [l(x, y)]^\alpha \times [c(x, y)]^\beta \times [s(x, y)]^\gamma \quad (9)$$

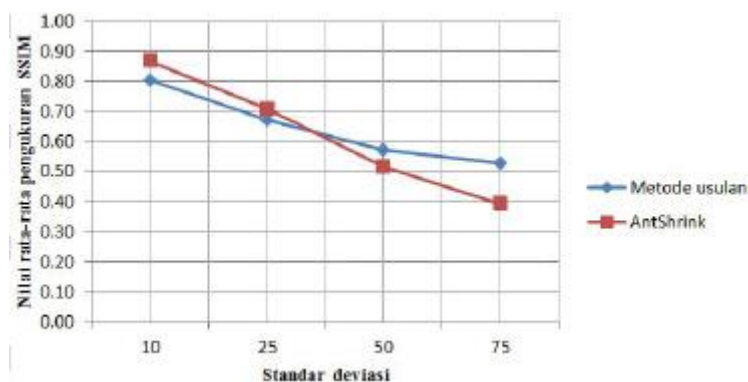
Tingkat pengukuran pada SSIM didasarkan pada skala 0-1 dengan nilai 0 berarti ketimpangan hasil visual yang sangat besar di antara kedua citra dan nilai 1 untuk kondisi sebaliknya. Korelasi pengukuran SSIM terletak pada kondisi yang tampak blur pada citra hasil denoising menunjukkan terdapat informasi struktur citra yang hilang dan nilai pengukuran kontras menjadi rendah [6].

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada kegiatan ini, basis *wavelet* yang digunakan adalah *daubechies* dan *haar*. Secara umum, hasil denoising menunjukkan semakin tinggi tingkat noise  $\sigma$  yang terdapat pada citra tersebut, maka hasil oleh metode tersebut dalam melakukan denoising kurang mampu menghasilkan kondisi perbaikan citra yang kurang optimal, sekalipun kondisi ini bersifat relatif untuk setiap kemampuan sebuah metode *denoising* terhadap citra yang diolah seperti pada hasil metode usulan (Gambar 4). Untuk lebih mengetahui kondisi hasil denoising oleh metode usulan, metode Antshrink yang merupakan metode *state-of-the art* dari metode ini diujicobakan pada data yang sama sehingga menjadi pembanding hasil dari metode usulan. Data yang digunakan sejumlah 30 data dengan sampel berjumlah tiga buah citra yaitu Barbara, Lena, dan Smandrill sebagai penunjuk hasil pada paper ini. Hasil pada basis *daubechies* menunjukkan bahwa metode usulan lebih kuat pada *noise* tingkat tinggi dibandingkan metode Antshrink. Secara khusus, kemampuan penanganan pada *noise* tingkat tinggi yang dimiliki oleh metode usulan terletak pada selisih hasil yang dimiliki oleh metode Antshrink.



Gambar 4 Hasil *denoising* pada metode usulan untuk: (a)  $\sigma = 10$ ; (b)  $\sigma = 25$ .



Gambar 5 Perbedaan tren hasil *denoising* pada metode usulan dan metode Antshrink dengan basis *Daubechies*

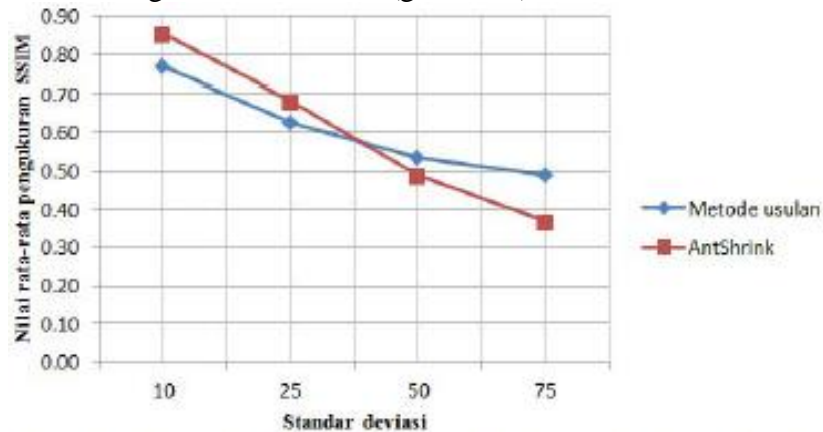
Gambar 5 menunjukkan perubahan fenomena hasil dari metode usulan dan metode Antshrink. Dengan menggunakan basis *daubechies*, hasil pengukuran SSIM terhadap hasil *denoising* metode AntShrink menunjukkan kondisi unggul pada *noise* tingkat kecil, namun semakin tinggi tingkat *noise* yang diberikan pada citra, kemampuan *denoising* pada metode Antshrink lebih rendah dibandingkan metode usulan dan kondisinya terus berselisih lebih besar untuk setiap tingkat *noise* yang lebih tinggi. Contoh hasil *denoising* ditunjukkan pada tiga citra dengan hasil yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil penilaian SSIM untuk citra hasil *denoising* basis *Daubechies*

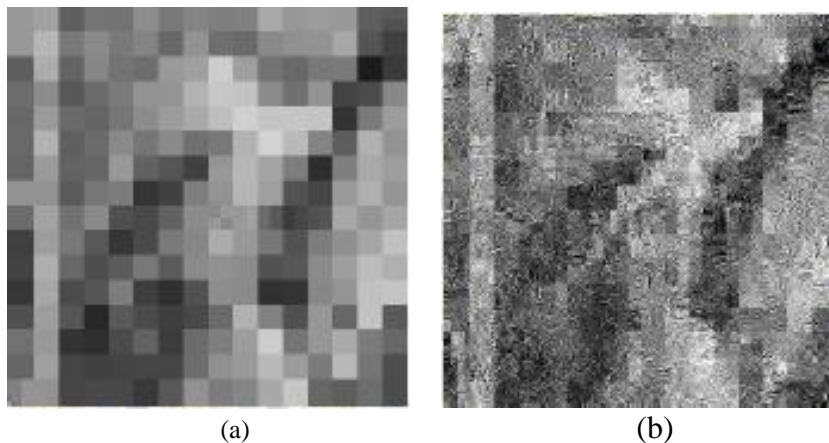
Citra	Tingkat <i>noise</i> $\sigma_n$							
	Metode Usulan				Metode AntShrink			
	10	25	50	75	10	25	50	75
Barbara	0.85	0.68	0.55	0.50	0.90	0.76	0.56	0.42
Lena	0.86	0.77	0.69	0.65	0.88	0.73	0.53	0.39
Smandril	0.70	0.45	0.36	0.32	0.87	0.68	0.48	0.36

Pada penggunaan basis *Haar*, kondisi hasil *denoising* berdasarkan pengukuran SSIM menunjukkan pola yang agak berbeda pada penggunaan basis *Daubechies*. Gambar 6 menunjukkan hasil selisih antara *denoising* dari metode usulan dengan metode Antshrink yang lebih kecil dibandingkan pada penggunaan basis *Daubechies*.

Perbedaan pola dari kedua basis *wavelet* ini dapat diasumsikan bahwa peranan basis terutama pada proses rekonstruksi citra ikut mempengaruhi hasil pengukuran oleh SSIM. Secara detail perbedaan hasil terlihat antara gambar 3 dan gambar 5, hasil dari basis *Haar* lebih memiliki bentuk kotak (grid) pada hasil *denoising*-nya, sedangkan pada hasil basis *Daubechies* tidak terdapat bentuk kotak dan langsung ditunjukkan efek dari pengolahan *denoising* yang dilakukan. Kondisi yang terpantau secara numerik pada tabel 2 juga selaras dengan kondisi visual (gambar 7).



Gambar 6 Perbedaan tren hasil *denoising* pada metode usulan dan metode Antshrink dengan basis *Haar*



Gambar 7 Hasil *denoising* dengan basis *Haar* pada (a) metode usulan; (b) metode Antshrink

Tabel 2 Hasil penilaian SSIM untuk citra hasil *denoising* basis *Haar*

Citra	Tingkat noise $\sigma_n$							
	Metode Usulan				Metode AntShrink			
	10	25	50	75	10	25	50	75
Barbara	0.85	0.68	0.55	0.50	0.90	0.76	0.56	0.42

Lena	0.86	0.77	0.69	0.65	0.88	0.73	0.53	0.39
Smandril	0.70	0.45	0.36	0.32	0.87	0.68	0.48	0.36

Fenomena dari hasil pengukuran SSIM terhadap hasil *denoising* dari kegiatan ini dapat ditinjau dari bentuk pemetaannya. SSIM memiliki sebuah fitur untuk menilai hasil pengukuran SSIM tersebut secara visual berdasarkan kemiripan karakteristik terhadap citra asli. Pada kegiatan ini, hasil pemetaan juga perlu diperhitungkan karena dari hasil *denoising* dari sisi numerik pada setiap level noise menampilkan ketimpangan dengan hasil secara visual. Gambar 7 menunjukkan salah satu hasil pemetaan SSIM pada sebuah citra hasil *denoising* dengan sampel level noise 25 dan 75. Hasil pemetaan SSIM pada citra hasil *denoising* dengan level noise 25 menunjukkan hampir tidak ada perbedaan antara hasil pemetaan SSIM dari metode usulan dan metode AntShrink (Gambar 7 poin a dan b). Perbedaan dapat terlihat pada gambar 8 poin c dan d, hasil pemetaan menunjukkan bahwa citra hasil *denoising* oleh metode usulan memiliki kemiripan lebih banyak dibandingkan citra hasil *denoising* oleh metode AntShrink.

Fenomena ini semakin menguatkan bahwa metode usulan lebih kuat dalam menghadapi tingkat noise yang lebih tinggi dibandingkan metode AntShrink, selain itu muncul kondisi unik yaitu meskipun secara angka dan pemetaan menunjukkan hasil metode usulan lebih tinggi dibandingkan metode AntShrink namun untuk secara visual hasil pada metode AntShrink menunjukkan kondisi yang lebih unggul dibandingkan metode usulan dengan dibuktikan kondisi blur pada citra hasil metode AntShrink lebih sedikit dibandingkan citra hasil metode usulan

(Gambar 8).



(a) (b)

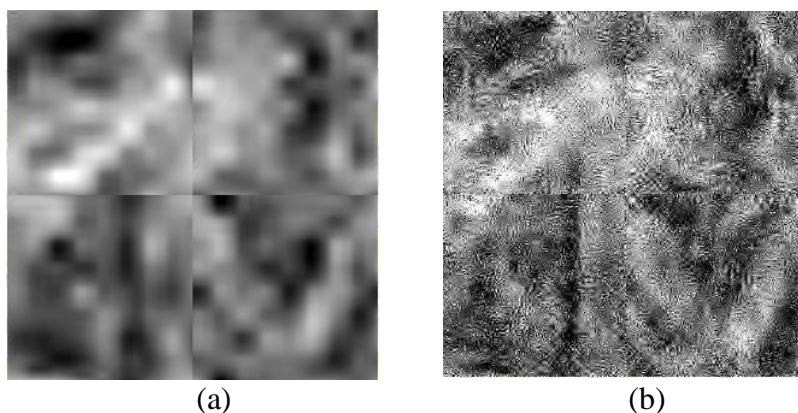


(c) (d)

Gambar 7



Hasil pemetaan SSIM pada  $\sigma = 25$  untuk citra hasil (a) metode usulan dan (b) metode AntShrink serta  $\sigma = 75$  untuk citra hasil (c) metode usulan dan (d) metode AntShrink



Gambar 8 Perbedaan kualitas citra secara visual antara hasil (a) metode usulan dan (b) metode AntShrink yang diuji pada  $\sigma = 425$

Penilaian secara visual masih dianggap subjektif karena penilaian banyaknya blur yang terjadi serta kejelasan objek pada citra dapat dipersepsikan berbeda pada setiap orang. Oleh karena itu, untuk menjangkau objektivitas hasil pemetaan SSIM dan penilaian secara visual, maka tingkat blur pada citra hasil denoising di kedua metode dievaluasi. Evaluasi yang dilakukan adalah evaluasi tingkat blur suatu citra dengan hasil ditunjukkan pada tabel 2 untuk acuan skala 0-1 yang berarti nilai yang lebih dekat dengan 0 menandakan kurangnya blur dan nilai yang lebih dekat dengan 1 menandakan blur pada citra tersebut cukup banyak [7]. Hasil pada tabel 2 menunjukkan adanya keselarasan penilaian blur pada citra secara visual dengan salah satu contoh pada citra Barbara untuk  $\sigma = 75$  terlihat tingkat blur pada citra hasil denoising oleh metode usulan lebih banyak dibandingkan citra hasil denoising pada metode AntShrink.

Tabel 3 Nilai blur setiap citra hasil metode denoising untuk setiap  $\sigma_n$

Citra	Metode	$\sigma_n$	Basis wavelet	
			<i>Daubechies</i>	<i>Haar</i>
Barbara	Usulan	10	0.343023	0.223712
		25	0.456431	0.210137
		50	0.632327	0.163179
		75	0.722039	0.132250
	AntShrink	10	0.269481	0.23994
		25	0.255474	0.215227
		50	0.217169	0.182664
		75	0.188883	0.164493
Lena	Usulan	10	0.486984	0.315502
		25	0.586111	0.246339
		50	0.67491	0.178904
		75	0.723167	0.135143
	AntShrink	10	0.367647	0.323012
		25	0.317042	0.260512

		50	0.239768	0.200883
		75	0.199611	0.171044
Smandril	Usulan	10	0.363188	0.235148
		25	0.411784	0.213262
		50	0.662202	0.147717
		75	0.721539	0.119475
	AntShrink	10	0.257786	0.233539
		25	0.254309	0.217978
		50	0.227162	0.183884
		75	0.181122	0.158605

#### 4. KESIMPULAN

Modifikasi pada metode AntShrink telah membuktikan adanya inkonsistensi hasil secara visual oleh penilaian SSIM. Faktor *blur* merupakan temuan kelemahan SSIM pada penelitian ini, SSIM kurang mampu membaca kondisi citra yang memiliki blur.

Pemetaan SSIM juga memperlihatkan *blur* tidak mempengaruhi hasil pemetaan. Objek pada wujud pemetaan citra hasil *denoising* tidak terganggu oleh kondisi *blur* yang terletak pada wujud citra.

Basis *wavelet* yang digunakan tidak mempengaruhi penilaian SSIM terhadap citra hasil *denoising* secara signifikan sekalipun antara hasil dari basis *daubechies* dan *haar* terdapat sedikit perbedaan struktur hasil.

#### 5. SARAN

Kegiatan selanjutnya akan fokus pada perbaikan metode SSIM yang lebih peka terhadap blur. Perbaikan yang dimaksud ditempuh melalui penambahan variabel pembacaan kondisi blur pada SSIM yang berkorelasi dengan kondisi *luminance*.

Perbandingan dan analisis kondisi hasil pengukuran juga akan dilakukan dengan metode lain seperti MSE, PSNR, dan lainnya. Analisis terhadap hasil pengukuran SSIM juga perlu dilakukan dengan pengembangan teknik *denoising* pada metode usulan berbasis paralel setiap tingkat penguraian koefisien.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tiang, J., Weiyu, Y. dan Lihong, M. 2010. AntShrink: Ant Colony Optimization for Image Shrinkage. *Pattern Recognition Letters*, Vol.31, 1751-1758.
- [2] Youlian, Z. dan Cheng, H. 2012. Image Denoising Algorithm Based on PSO Optimizing Structuring Element. *IEEE 24<sup>th</sup> Chinese Control and Decision Conference*, China.
- [3] Jamal, S., MOhammad, H. M. dan Karim, F. 2010. A New-Wavelet-Based Fuzzy Single and Multi-Channel Image Denoising. *Image and Vision Computing*, Vol.28, 1611-1623.
- [4] The Stanford for Image Systems Engineering, <https://scien.stanford.edu/>, diakses tanggal 23 April 2014.
- [5] Donoho, D.L. dan Johnstone, I. M. 1994. Ideal Spatial Adaptation via Wavelet Shrinkage. *Biometrika*, Vol.80, 425-455.

- [6] Wang, Z., Bovik, A.C., Sheikh, H.R., dan Simocelli, E. P. 2004. Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Visibility. *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol.4, 600-612.
- [7] Crete-Roffet, F., Dolmiere, T., Ladret, P., dan Nicolas, M. 2007. The Blur Effect: Perception and Estimation with A New No-Reference Perceptual Blur Metric. *SPIE Electronic Imaging Symposium Conference Human Vision and Electronic Imaging*, No.12.