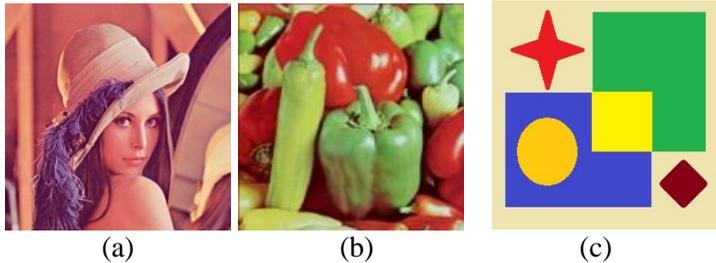


BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN

1.1 Data Uji

Pada penelitian ini citra uji yang digunakan yaitu citra alami dan citra buatan. Kemudian citra tersebut diberikan *noise*. *Noise* yang digunakan yaitu *noise Gaussian*, *noise 'Salt & Pepper'*, dan *noise 'Speckle'* dengan beragam densitas *noise*.

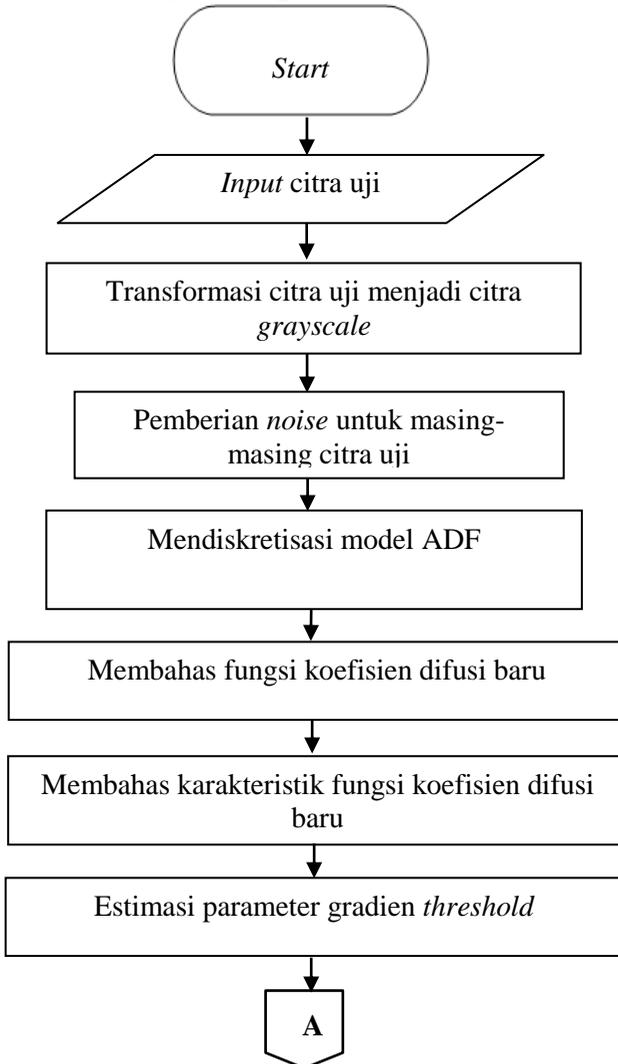
Data citra alami diambil dari *database* citra USC-SIPI pada situs <http://sipi.usc.edu/database/database.php>. Citra alami yang digunakan yaitu Citra_uji_1.tiff dengan ukuran 512×512 dapat dilihat pada Gambar 3.1(a) dan Citra_uji_2.tiff dengan ukuran 512×512 dapat dilihat pada Gambar 3.1(b). Citra buatan yang digunakan adalah Citra_uji_3.jpg dengan ukuran 256×256 dapat dilihat pada Gambar 3.1(c).

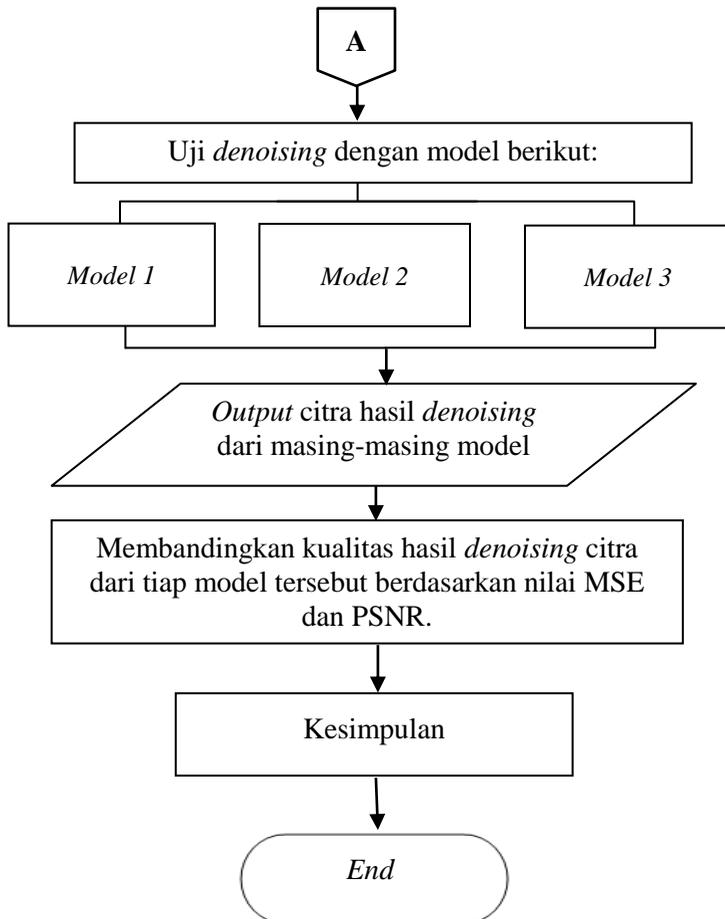


Gambar 3.1 (a) Citra uji 1, (b) Citra uji 2, dan (c) Citra uji 3

3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang digunakan dalam skripsi ini dijelaskan dalam diagram alir pada Gambar 3.2.





Gambar 3.2 Diagram alir tahapan penelitian

1.3 Masukan Citra

Citra yang digunakan untuk uji *denoising* adalah citra alami dengan format 'tiff' berukuran 512×512 dan citra buatan dengan format 'jpg' berukuran 256×256 . Citra yang dimasukkan merupakan citra warna sehingga memiliki tiga matriks *pixels* komponen warna dasar RGB (*Red*, *Green*, *Blue*). Pemilihan tiga citra uji yang digunakan berdasarkan karakteristik tepian objek pada setiap citra uji. Citra uji 3 memiliki tepian objek yang jelas dan kontras dengan latar belakang, sedangkan citra uji 1 dan citra uji 2 memiliki beberapa tepian yang tidak terlalu kontras dengan latar belakang.

3.4 Transformasi Citra Warna ke Citra *Grayscale*

Citra uji yang merupakan citra warna ditransformasikan menjadi citra *grayscale*. Hal ini bertujuan untuk menyederhanakan proses pengolahan citra karena citra warna direpresentasikan dalam tiga matriks warna dasar penyusunnya yaitu R (*Red*), G (*Green*), dan B (*Blue*). Nilai *pixel* citra *grayscale* merupakan nilai rata-rata dari nilai *pixel* R, G, dan B pada citra warna sehingga citra *grayscale* hanya direpresentasikan dalam satu matriks dengan elemen-elemennya merupakan nilai *pixel* keabuan.

Hasil transformasi citra uji ke *grayscale* dapat dilihat pada Gambar 3.3. Pada Gambar 3.3 dapat dilihat bahwa detail dan tepian objek setiap citra masih dapat dipertahankan, walaupun citra warna sudah ditransformasikan menjadi citra *grayscale*.

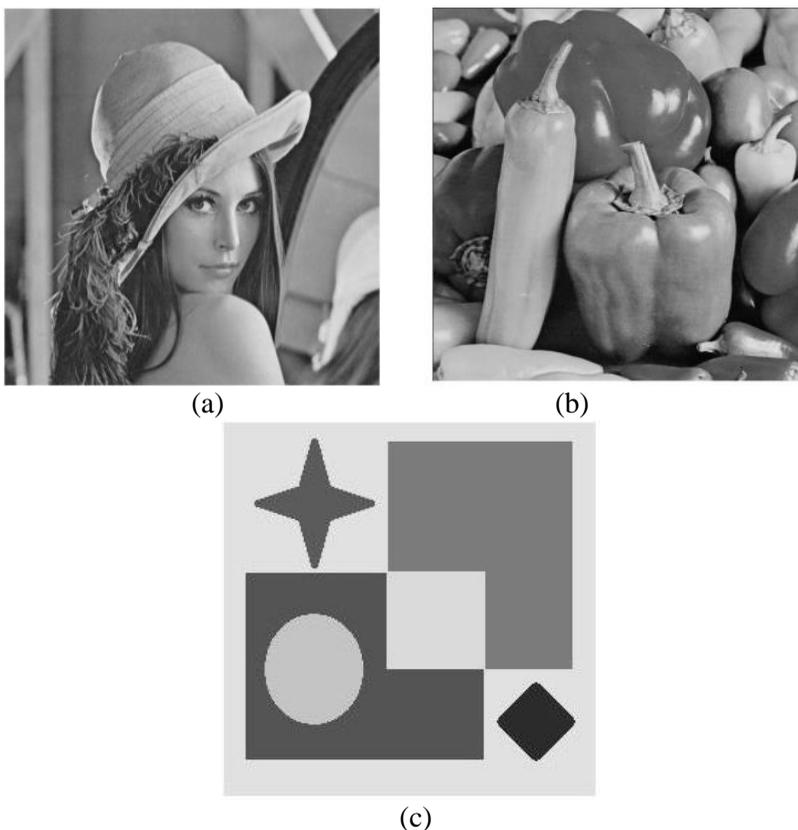
3.5 Pemberian *Noise* pada Citra Uji

Pada masing-masing citra uji yang telah ditransformasi ke citra *grayscale* diberikan *noise* dengan kepadatan yang bervariasi sebagai berikut:

- a. *Noise Gaussian* dengan $\sigma^2 = 0.005$ dan $\sigma^2 = 0.015$. Hasil pemberian *noise Gaussian* pada citra uji dapat dilihat pada Gambar 3.4 sampai dengan Gambar 3.6.
- b. *Noise salt & pepper* dengan $d = 5\%$ dan $d = 10\%$. Hasil pemberian *noise 'Salt & Pepper'* pada citra uji dapat dilihat pada Gambar 3.7 sampai Gambar 3.9.

c. *Noise speckle* dengan $\sigma^2 = 0.05$ dan $\sigma^2 = 0.1$. Hasil pemberian *noise Gaussian* pada citra uji dapat dilihat pada Gambar 3.10 sampai dengan Gambar 3.12.

Pemberian *noise* bertujuan untuk pengujian performa model uji *denoising* dalam memperbaiki kualitas citra ber-*noise*. Pada Gambar 3.4 sampai dengan Gambar 3.12 dapat dilihat bahwa setiap *noise* memiliki karakteristik masing-masing yang berdampak pada penurunan kualitas citra secara visual dan juga terganggunya detail objek citra. Penurunan kualitas citra ber-*noise* dapat ditunjukkan oleh angka MSE dan PSNR dari citra ber-*noise* yang dapat dilihat pada Tabel 3.1.



Gambar 3.3 Citra uji *grayscale*: (a) Citra uji 1, (b) Citra uji 2, dan (c) Citra uji 3



(a)

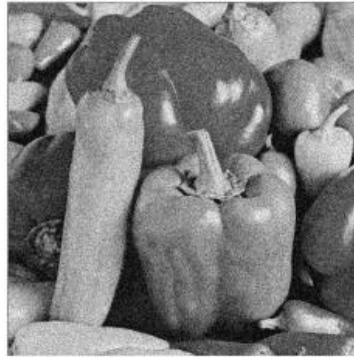


(b)

Gambar 3.4 (a) Citra uji 1 ber-noise *Gaussian* dengan $\sigma^2 = 0.005$,
(b) Citra uji 1 ber-noise *Gaussian* dengan $\sigma^2 = 0.015$

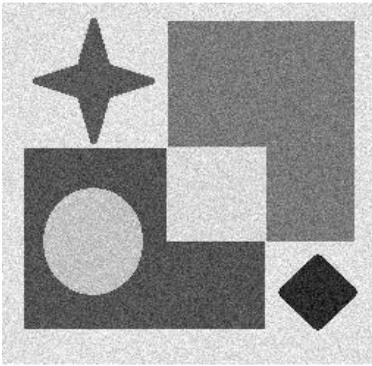


(a)

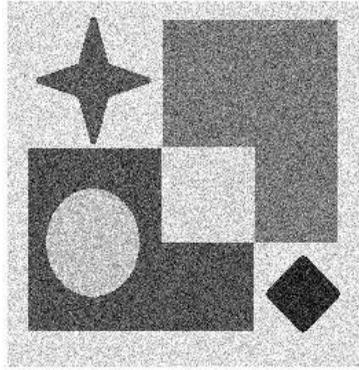


(b)

Gambar 3.5 (a) Citra uji 2 ber-noise *Gaussian* $\sigma^2 = 0.005$, (b) Citra uji 2 ber-noise *Gaussian* dengan $\sigma^2 = 0.015$



(a)



(b)

Gambar 3.6 (a) Citra uji 3 ber-noise *Gaussian* dengan $\sigma^2 = 0.005$,
(b) Citra uji 3 ber-noise *Gaussian* dengan $\sigma^2 = 0.015$

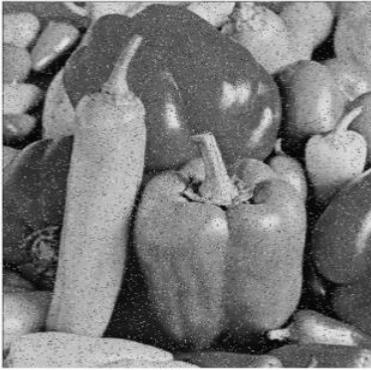


(a)

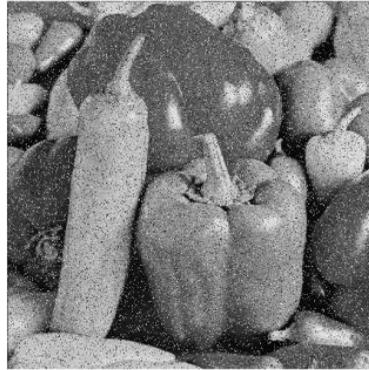


(b)

Gambar 3.7 (a) Citra uji 1 ber-noise '*Salt & Pepper*' dengan $d = 5\%$, (b) Citra uji 1 ber-noise '*Salt & Pepper*' dengan $d = 10\%$

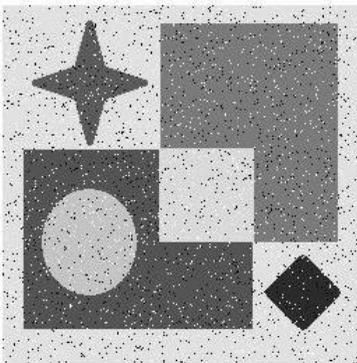


(a)

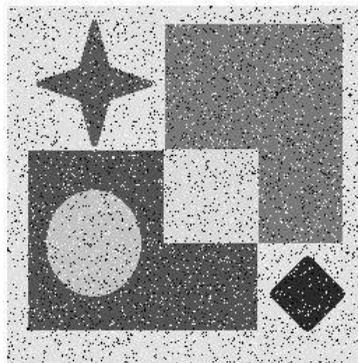


(b)

Gambar 3.8 (a) Citra uji 2 ber-noise 'Salt & Pepper' dengan $d = 5\%$, (b) Citra uji 2 ber-noise 'Salt & Pepper' dengan $d = 10\%$



(a)



(b)

Gambar 3.9 (a) Citra uji 3 ber-noise 'Salt & Pepper' dengan $d = 5\%$, (b) Citra uji 3 ber-noise 'Salt & Pepper' dengan $d = 10\%$



(a)

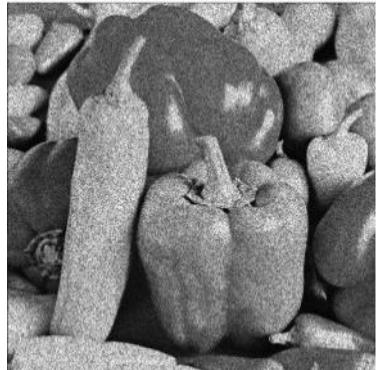


(b)

Gambar 3.10 (a) Citra uji 1 ber-noise 'Speckle' dengan $\sigma^2 = 0.005$,
(b) Citra uji 3 ber-noise 'Speckle' dengan $\sigma^2 = 0.015$

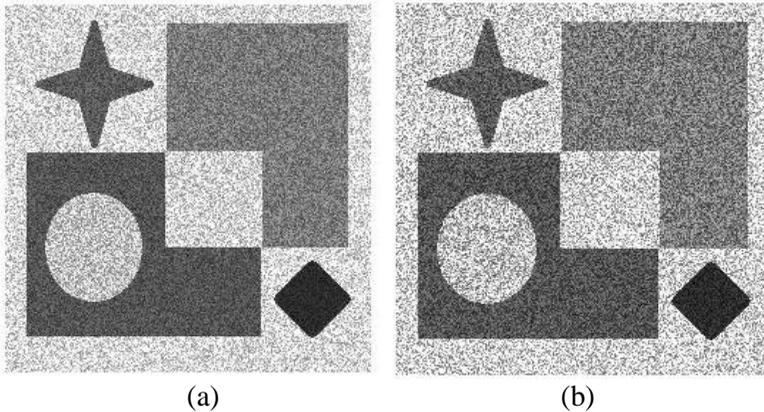


(a)



(b)

Gambar 3.11 (a) Citra uji 2 ber-noise 'Speckle' dengan $\sigma^2 = 0.005$,
(b) Citra uji 2 ber-noise 'Speckle' dengan $\sigma^2 = 0.015$



Gambar 3.12 (a) Citra uji 3 ber-noise 'Speckle' dengan $\sigma^2 = 0.005$,
 (b) Citra uji 3 ber-noise 'Speckle' dengan $\sigma^2 = 0.015$

Tabel 3.1 Nilai MSE dan PSNR citra uji ber-noise

Citra Uji	Noise	Densitas noise	MSE	PSNR
Citra uji 1	Gaussian	$\sigma^2 = 0.005$	0.0035	24.6169
		$\sigma^2 = 0.015$	0.0135	18.7060
	Salt & Pepper	$d = 5\%$	0.0142	18.4649
		$d = 10\%$	0.0289	15.3895
	Speckle	$\sigma^2 = 0.005$	0.0131	18.8353
		$\sigma^2 = 0.015$	0.0252	15.9842
Citra uji 2	Gaussian	$\sigma^2 = 0.005$	0.0034	24.6685
		$\sigma^2 = 0.015$	0.0132	18.7857
	Salt & Pepper	$d = 5\%$	0.0147	18.3171
		$d = 10\%$	0.0297	15.2657
	Speckle	$\sigma^2 = 0.005$	0.0130	18.8708
		$\sigma^2 = 0.015$	0.0247	16.0766
Citra uji 3	Gaussian	$\sigma^2 = 0.005$	0.0015	24.6999
		$\sigma^2 = 0.015$	0.0123	19.0954
	Salt & Pepper	$d = 5\%$	0.0164	17.8615
		$d = 10\%$	0.0325	14.8834
	Speckle	$\sigma^2 = 0.005$	0.0171	17.6812
		$\sigma^2 = 0.015$	0.0311	15.0752

3.6 Diskretisasi Model *Anisotropic Diffusion Filter* (ADF)

Model ADF seperti yang terdapat pada persamaan (2.2) akan didiskretisasi menggunakan pendekatan beda terpusat terhadap (x, y) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial \mathbf{I}}{\partial t} &= \text{div}(g(x, y, t)\nabla \mathbf{I}(x, y, t)) \\
 &= \text{div}\left(g(x, y, t)\frac{\partial \mathbf{I}}{\partial x}\mathbf{i} + g(x, y, t)\frac{\partial \mathbf{I}}{\partial y}\mathbf{j}\right) \\
 &= \frac{\partial}{\partial x}\left[g(x, y, t)\frac{\partial}{\partial x}\mathbf{I}(x, y, t)\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[g(x, y, t)\frac{\partial}{\partial y}\mathbf{I}(x, y, t)\right] \\
 &\approx \frac{\partial}{\partial x}\left[g(x, y, t)\left(\frac{\mathbf{I}(x+\frac{\Delta x}{2}, y, t) - \mathbf{I}(x-\frac{\Delta x}{2}, y, t)}{\Delta x}\right)\right] + \\
 &\quad \frac{\partial}{\partial y}\left[g(x, y, t)\left(\frac{\mathbf{I}(x, y+\frac{\Delta y}{2}, t) - \mathbf{I}(x, y-\frac{\Delta y}{2}, t)}{\Delta y}\right)\right] \\
 &= \frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{1}{\Delta x}g(x, y, t)\left(\mathbf{I}\left(x + \frac{\Delta x}{2}, y, t\right) - \mathbf{I}\left(x - \frac{\Delta x}{2}, y, t\right)\right)\right] \\
 &\quad \frac{\partial}{\partial y}\left[\frac{1}{\Delta y}g(x, y, t)\left(\mathbf{I}\left(x, y + \frac{\Delta y}{2}, t\right) - \mathbf{I}\left(x, y - \frac{\Delta y}{2}, t\right)\right)\right] \\
 &\approx \frac{1}{\Delta x^2}\left[g\left(x + \frac{\Delta x}{2}, y, t\right)\left(\mathbf{I}\left(x + \frac{\Delta x}{2} + \frac{\Delta x}{2}, y, t\right) - \mathbf{I}\left(x - \frac{\Delta x}{2} + \frac{\Delta x}{2}, y, t\right)\right) - g\left(x - \frac{\Delta x}{2}, y, t\right)\left(\mathbf{I}\left(x + \frac{\Delta x}{2} - \frac{\Delta x}{2}, y, t\right) - \mathbf{I}\left(x - \frac{\Delta x}{2} - \frac{\Delta x}{2}, y, t\right)\right)\right] + \frac{1}{\Delta y^2}\left[g\left(x, y + \frac{\Delta y}{2}, t\right)\left(\mathbf{I}\left(x, y + \frac{\Delta y}{2} + \frac{\Delta y}{2}, t\right) - \mathbf{I}\left(x, y + \frac{\Delta y}{2} - \frac{\Delta y}{2}, t\right)\right) - g\left(x, y - \frac{\Delta y}{2}, t\right)\left(\mathbf{I}\left(x, y - \frac{\Delta y}{2} + \frac{\Delta y}{2}, t\right) - \mathbf{I}\left(x, y - \frac{\Delta y}{2} - \frac{\Delta y}{2}, t\right)\right)\right]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{\Delta x^2} \left[g \left(x + \frac{\Delta x}{2}, y, t \right) (I(x + \Delta x, y, t) - I(x, y, t)) - \right. \\
&\quad \left. g \left(x - \frac{\Delta x}{2}, y, t \right) (I(x, y, t) - I(x - \Delta x, y, t)) \right] + \\
&\quad \frac{1}{\Delta y^2} \left[g \left(x, y + \frac{\Delta y}{2}, t \right) (I(x, y + \Delta y, t) - I(x, y, t)) - \right. \\
&\quad \left. g \left(x, y - \frac{\Delta y}{2}, t \right) (I(x, y, t) - I(x, y - \Delta y, t)) \right],
\end{aligned}$$

dengan memasukkan nilai $\Delta x = \Delta y = 1$, didapatkan:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial I(x,y,t)}{\partial t} &= g \left(x + \frac{1}{2}, y, t \right) (I(x + 1, y, t) - I(x, y, t)) + \\
&\quad g \left(x - \frac{1}{2}, y, t \right) (I(x - 1, y, t) - I(x, y, t)) + \\
&\quad g \left(x, y + \frac{1}{2}, t \right) (I(x, y + 1, t) - I(x, y, t)) + \\
&\quad g \left(x, y - \frac{1}{2}, t \right) (I(x, y - 1, t) - I(x, y, t)). \tag{3.1}
\end{aligned}$$

Persamaan (3.1) diselesaikan menggunakan beda maju terhadap parameter t dengan $\mathbf{s} = (x, y)$ dan $I(\mathbf{s}, t) = I_s^{(t)}$ sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
\frac{\partial I(\mathbf{s}, t)}{\partial t} &= g \left(x + \frac{1}{2}, y, t \right) (I(x + 1, y, t) - I(x, y, t)) + g \left(x - \right. \\
&\quad \left. \frac{1}{2}, y, t \right) (I(x - 1, y, t) - I(x, y, t)) + g \left(x, y + \right. \\
&\quad \left. \frac{1}{2}, t \right) (I(x, y + 1, t) - I(x, y, t)) + g \left(x, y - \right. \\
&\quad \left. \frac{1}{2}, t \right) (I(x, y - 1, t) - I(x, y, t))
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{I(\mathbf{s}, t + \Delta t) - I(\mathbf{s}, t)}{\Delta t} &= g \left(x + \frac{1}{2}, y, t \right) (I(x + 1, y, t) - I(x, y, t)) + \\
&\quad g \left(x - \frac{1}{2}, y, t \right) (I(x - 1, y, t) - I(x, y, t)) + \\
&\quad g \left(x, y + \frac{1}{2}, t \right) (I(x, y + 1, t) - I(x, y, t)) + \\
&\quad g \left(x, y - \frac{1}{2}, t \right) (I(x, y - 1, t) - I(x, y, t)). \tag{3.2}
\end{aligned}$$

Beda *pixel* $I(x, y, t)$ dengan tetangga terdekat untuk empat arah mata angin yaitu S (*South*), N (*North*), E (*East*), dan W (*West*) dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$I(x + 1, y, t) - I(x, y, t) = \Delta_S I(\mathbf{s}, t),$$

$$I(x - 1, y, t) - I(x, y, t) = \Delta_N I(\mathbf{s}, t),$$

$$I(x, y + 1, t) - I(x, y, t) = \Delta_E I(\mathbf{s}, t),$$

$$I(x, y - 1, t) - I(x, y, t) = \Delta_W I(\mathbf{s}, t).$$

Fungsi koefisien difusi g bergantung pada variabel $\|\nabla I(x, y, t)\|$ yang menyatakan besaran dari besaran gradien citra $I(x, y, t)$ dan dapat diaproksimasi sebagai suatu nilai mutlak dari beda *pixel* dengan tetangga terdekat. Sehingga fungsi koefisien difusi dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} g\left(x + \frac{1}{2}, y, t\right) &= g\left(\left\|\nabla I\left(x + \frac{1}{2}, y, t\right)\right\|\right) = g_S \\ &= g(|\Delta_S I(\mathbf{s}, t)|), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} g\left(x - \frac{1}{2}, y, t\right) &= g\left(\left\|\nabla I\left(x - \frac{1}{2}, y, t\right)\right\|\right) = g_N \\ &= g(|\Delta_N I(\mathbf{s}, t)|), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} g\left(x, y + \frac{1}{2}, t\right) &= g\left(\left\|\nabla I\left(x, y + \frac{1}{2}, t\right)\right\|\right) = g_E \\ &= g(|\Delta_E I(\mathbf{s}, t)|), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} g\left(x, y - \frac{1}{2}, t\right) &= g\left(\left\|\nabla I\left(x, y - \frac{1}{2}, t\right)\right\|\right) = g_W \\ &= g(|\Delta_W I(\mathbf{s}, t)|), \end{aligned}$$

sehingga persamaan (3.2) menjadi:

$$\begin{aligned} \frac{I(\mathbf{s}, t + \Delta t) - I(\mathbf{s}, t)}{\Delta t} &= g_S \Delta_S I(\mathbf{s}, t) + g_N \Delta_N I(\mathbf{s}, t) + g_E \Delta_E I(\mathbf{s}, t) \\ &\quad + g_W \Delta_W I(\mathbf{s}, t), \end{aligned}$$

$$I(\mathbf{s}, t + \Delta t) - I(\mathbf{s}, t) \approx \Delta t [g_S \Delta_S I(\mathbf{s}, t) + g_N \Delta_N I(\mathbf{s}, t) + g_E \Delta_E I(\mathbf{s}, t) + g_W \Delta_W I(\mathbf{s}, t)],$$

$$\mathbf{I}_s^{(t+1)} = \mathbf{I}_s^{(t)} + \Delta t \left[g_S \Delta_S \mathbf{I}_s^{(t)} + g_N \Delta_N \mathbf{I}_s^{(t)} + g_E \Delta_E \mathbf{I}_s^{(t)} + g_W \Delta_W \mathbf{I}_s^{(t)} \right], \quad (3.3)$$

Parameter Δt dimasukkan suatu nilai parameter $\frac{\lambda}{|\varphi_s|}$ dimana λ merupakan parameter difusi dalam *range* $[0,1]$ dan $|\varphi_s|$ adalah banyaknya elemen himpunan φ_s dengan $\varphi_s = \{N, S, E, W\}$. Berdasarkan persamaan (3.3) didapatkan bentuk diskret dari model ADF sebagai berikut:

$$\begin{cases} \mathbf{I}_s^{(t+1)} = \mathbf{I}_s^{(t)} + \frac{\lambda}{|\varphi_s|} \sum_{\mathbf{p} \in \varphi_s} g_{\mathbf{p}} \Delta_{\mathbf{p}} \mathbf{I}_s^{(t)}, \\ \mathbf{I}_s^{(0)} = \mathbf{I}(s, 0) \end{cases}, \quad (3.4)$$

dimana:

- t : parameter iterasi,
- $\mathbf{I}_s^{(0)}$: citra awal pada saat $t = 0$,
- $g_{\mathbf{p}}$: fungsi koefisien difusi pada arah $\mathbf{p} \in \varphi_s$.

Bentuk diskret model ADF dapat menggunakan 8-ketetanggaan *pixel* dengan menambahkan tetangga diagonal dari $\mathbf{I}(x, y, t)$ sehingga:

$$\varphi_s = \{N, S, E, W, NE, SE, NW, SW\},$$

dengan beda *pixel* $\mathbf{I}(x, y, t)$ dengan tetangga diagonal didefinisikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \mathbf{I}(x-1, y+1, t) - \mathbf{I}(x, y, t) &= \Delta_{NE} \mathbf{I}(s, t), \\ \mathbf{I}(x-1, y-1, t) - \mathbf{I}(x, y, t) &= \Delta_{NW} \mathbf{I}(s, t), \\ \mathbf{I}(x-1, y+1, t) - \mathbf{I}(x, y, t) &= \Delta_{NE} \mathbf{I}(s, t), \\ \mathbf{I}(x+1, y+1, t) - \mathbf{I}(x, y, t) &= \Delta_{SE} \mathbf{I}(s, t). \end{aligned} \quad (3.5)$$

Fungsi koefisien difusi pada arah diagonal dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$g_{NE} = g(|\Delta_{NE} \mathbf{I}(\mathbf{s}, t)|),$$

$$g_{NW} = g(|\Delta_{NW} \mathbf{I}(\mathbf{s}, t)|),$$

$$g_{SE} = g(|\Delta_{SE} \mathbf{I}(\mathbf{s}, t)|),$$

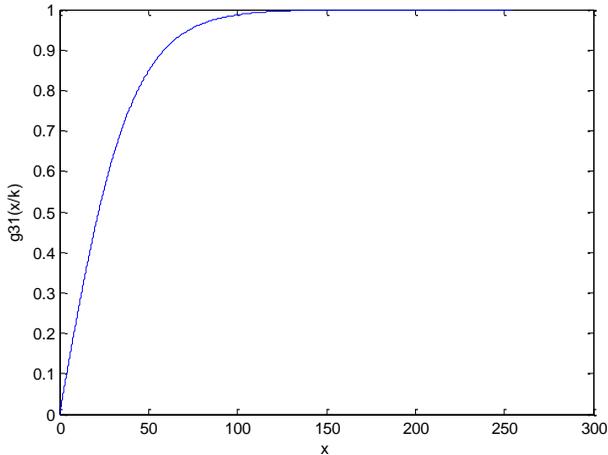
$$g_{SW} = g(|\Delta_{SW} \mathbf{I}(\mathbf{s}, t)|).$$

3.7 Fungsi Koefisien Difusi Baru

Fungsi koefisien difusi baru dibentuk berdasarkan fungsi tangen hiperbolik. Berikut adalah langkah-langkah untuk mengkonstruksi fungsi koefisien difusi baru:

1. Membentuk sebuah fungsi \tanh dan bergantung pada variabel besaran gradien citra x dan parameter gradien *threshold* k yang didefinisikan pada persamaan (3.6).

$$g_{31}(x) = \tanh\left(\left|\left(\frac{x}{k}\right)\right|\right), \quad (3.6)$$

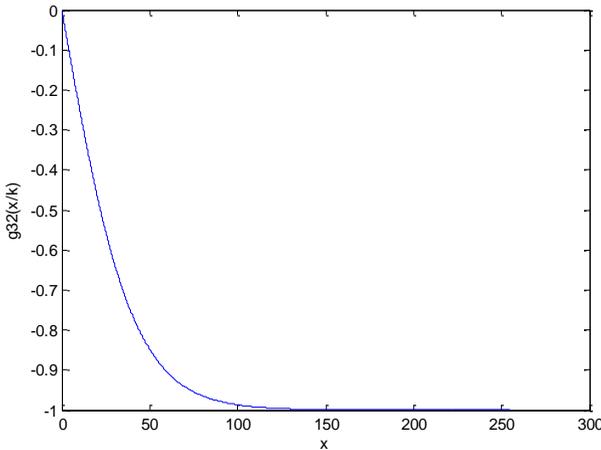


Gambar 3.13 Grafik fungsi g_{31}

Grafik fungsi g_{31} pada Gambar 3.13 menunjukkan fungsi yang monoton naik. Karena fungsi koefisien difusi harus merupakan fungsi monoton turun, maka diperlukan perubahan pada langkah 2.

2. Fungsi koefisien difusi yang diajukan harus merupakan fungsi monoton turun. Jadi, dilakukan perubahan dari fungsi g_{31} yang didefinisikan pada persamaan (3.7).

$$g_{32}(x) = \tanh\left(-\left(\left|\frac{x}{k}\right|\right)\right), \quad (3.7)$$



Gambar 3.14 Grafik fungsi g_{32}

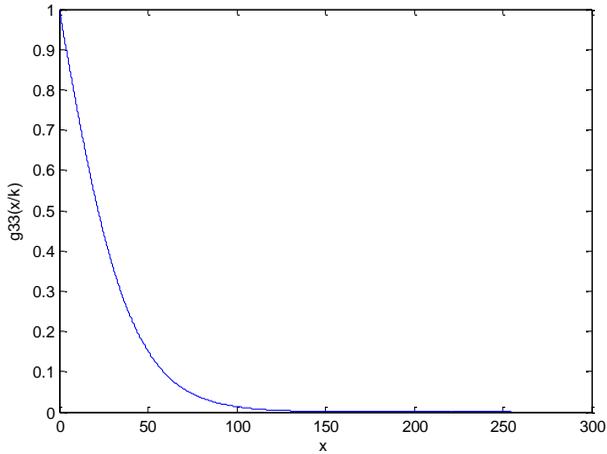
Grafik fungsi g_{32} pada Gambar 3.14 menunjukkan fungsi yang menuju ke 0 dan -1 berturut turut untuk $x = 0$ dan $x = \infty$. Karena fungsi koefisien difusi harus memenuhi kondisi (2.3), maka diperlukan perubahan pada langkah 3.

3. Fungsi koefisien difusi harus memenuhi kondisi (2.3), sehingga dilakukan perubahan pada fungsi g_{32} menjadi persamaan yang didefinisikan persamaan (3.8).

$$g_{33}(x) = 1 + \tanh\left(-\left(\left|\frac{x}{k}\right|\right)\right), \quad (3.8)$$

Paa Gambar 3.15 dapat dilihat bahwa fungsi g_{33} merupakan fungsi yang memenuhi kondisi (2.3), sehingga didapatkan fungsi koefisien difusi baru bergantung pada variabel besaran gradien citra dan parameter gradien *threshold* k yang didefinisikan pada persamaan (3.9).

$$g_3(\|\nabla I\|) = 1 + \tanh\left(-\left(\left|\frac{\|\nabla I\|}{k}\right|\right)\right) \quad (3.9)$$

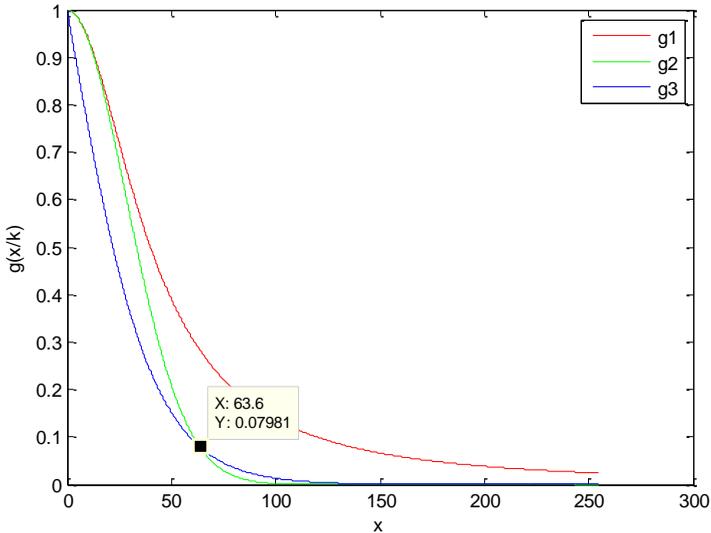


Gambar 3.15 Grafik fungsi g_3

3.7.1 Karakteristik Fungsi Koefisien Difusi

Fungsi koefisien difusi baru yang diajukan adalah yang terdapat pada persamaan (3.9) dan akan ditunjukkan karakteristik fungsi tersebut dibandingkan dengan fungsi koefisien difusi model ADF tradisional yang terdapat pada persamaan (2.4) dan (2.5).

Pada Gambar 3.16 diperlihatkan grafik dari fungsi g_1 , g_2 , dan g_3 . Terlihat bahwa untuk besaran gradien citra bernilai $0 < x \leq 63.6$, fungsi koefisien difusi yang diajukan (g_3) bernilai lebih mendekati 0 dibandingkan dengan fungsi g_1 dan g_2 . Berdasarkan persamaan (3.4), jika nilai dari fungsi koefisien difusi mendekati 0 maka hampir tidak terjadi difusi di bagian tersebut. Hal ini akan menjangka keutuhan tepian citra saat dilakukan proses difusi.

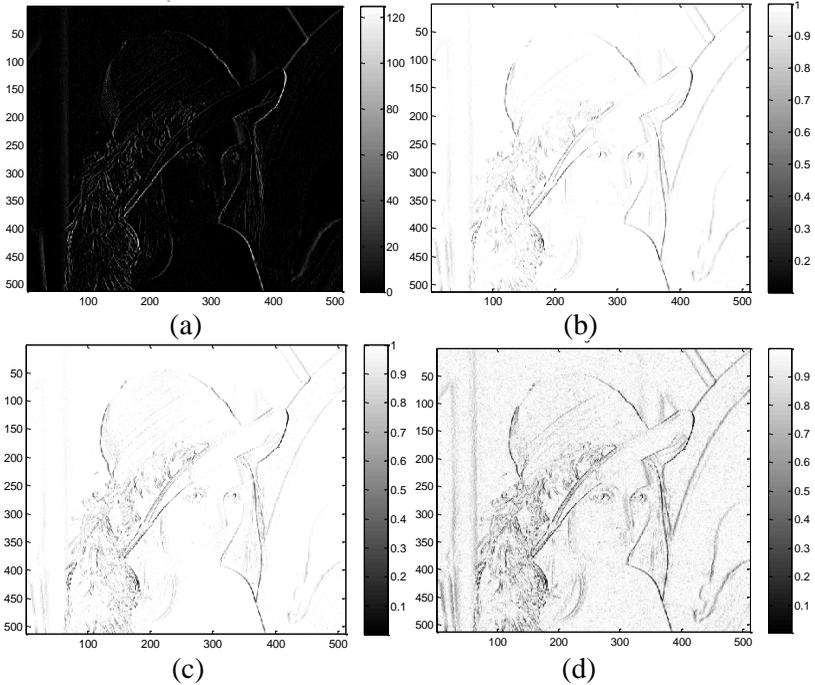


Gambar 3.16 Grafik fungsi g_1 , g_2 , dan g_3

3.7.2 Implementasi Fungsi Koefisien Difusi

Fungsi koefisien difusi berperan sebagai pengatur kekuatan difusi. Dimana saat gradien citra bernilai tinggi, fungsi koefisien difusi akan bernilai rendah sehingga citra pada bagian tepi objek (memiliki gradien tinggi) akan tetap terjaga. Misalkan untuk citra uji 1 akan ditinjau nilai besaran gradien citra pada arah barat (W) yang didekati dengan nilai mutlak beda *pixel* dengan $\Delta_W I(x, y) = |I(x, y - 1) - I(x, y)|$ dan fungsi koefisien difusi g_1 pada arah W yaitu $g_w = g(|\Delta_W I(x, y)|)$.

Dapat dilihat pada Gambar 3.17 bahwa hasil keluaran fungsi koefisien difusi menggunakan persamaan (3.9) dapat mendeteksi tepian citra dengan lebih baik dibandingkan dengan persamaan (2.4) dan (2.5). Pada citra hasil keluaran fungsi koefisien difusi, bagian yang berwarna hitam merupakan tepian objek yang terdeteksi dan memiliki nilai intensitas *pixel* mendekati 0. Sedangkan bagian yang berwarna putih memiliki intensitas *pixel* mendekati 1. Keluaran citra gradien dan fungsi koefisien difusi citra uji 1 untuk arah yang lain dapat dilihat pada Lampiran 1.



Gambar 3.17 (a) Besaran gradien citra uji 1 di arah W , (b) Fungsi koefisien difusi g_1 pada arah W , (c) Fungsi koefisien difusi g_2 di arah W , dan (d) Fungsi koefisien difusi g_3 di arah W

3.8 Pembahasan Model yang akan Diujikan

Uji model *denoising* menggunakan model diskret *anisotropic diffusion filter* pada persamaan (3.4) menggunakan operasi 8-ketetangaan pixel. Beda *pixel* dengan tetangga terdekat dan fungsi koefisien difusi untuk setiap arah didefinisikan pada persamaan (3.10) dan (3.11).

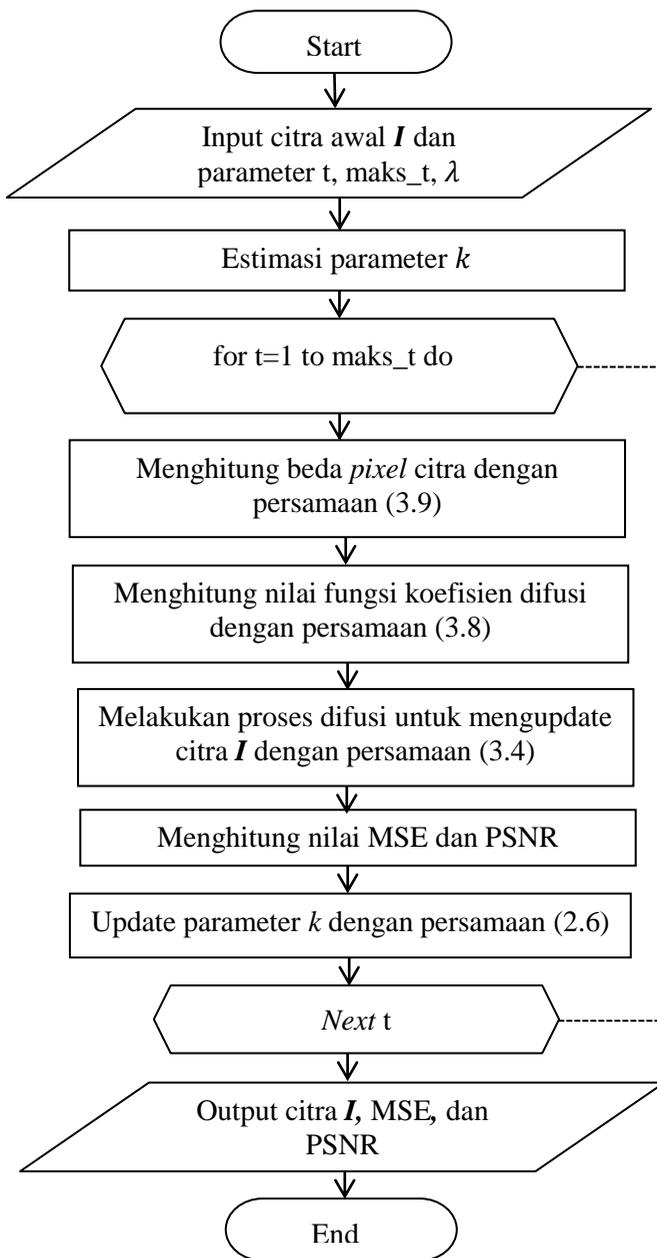
$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta_N \mathbf{I}(\mathbf{s}, t) = \mathbf{I}(x - 1, y, t) - \mathbf{I}(x, y, t) \\ \Delta_S \mathbf{I}(\mathbf{s}, t) = \mathbf{I}(x + 1, y, t) - \mathbf{I}(x, y, t) \\ \Delta_E \mathbf{I}(\mathbf{s}, t) = \mathbf{I}(x, y + 1, t) - \mathbf{I}(x, y, t) \\ \Delta_W \mathbf{I}(\mathbf{s}, t) = \mathbf{I}(x, y - 1, t) - \mathbf{I}(x, y, t) \\ \Delta_{NE} \mathbf{I}(\mathbf{s}, t) = \mathbf{I}(x - 1, y + 1, t) - \mathbf{I}(x, y, t) \\ \Delta_{NW} \mathbf{I}(\mathbf{s}, t) = \mathbf{I}(x - 1, y - 1, t) - \mathbf{I}(x, y, t) \\ \Delta_{SW} \mathbf{I}(\mathbf{s}, t) = \mathbf{I}(x + 1, y - 1, t) - \mathbf{I}(x, y, t) \\ \Delta_{SE} \mathbf{I}(\mathbf{s}, t) = \mathbf{I}(x + 1, y + 1, t) - \mathbf{I}(x, y, t) \end{array} \right. \quad (3.10)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} g_N = g(|\Delta_N \mathbf{I}(\mathbf{s}, t)|) \\ g_S = g(|\Delta_S \mathbf{I}(\mathbf{s}, t)|) \\ g_E = g(|\Delta_E \mathbf{I}(\mathbf{s}, t)|) \\ g_W = g(|\Delta_W \mathbf{I}(\mathbf{s}, t)|) \\ g_{NE} = g(|\Delta_{NE} \mathbf{I}(\mathbf{s}, t)|) \\ g_{NW} = g(|\Delta_{NW} \mathbf{I}(\mathbf{s}, t)|) \\ g_{SE} = g(|\Delta_{SE} \mathbf{I}(\mathbf{s}, t)|) \\ g_{SW} = g(|\Delta_{SW} \mathbf{I}(\mathbf{s}, t)|) \end{array} \right. \quad (3.11)$$

Untuk mendapatkan nilai beda *pixel* untuk setiap arah dengan persamaan (3.10) dapat dilakukan dengan mengkonvolusikan citra dengan masing-masing filter 3×3 yang didiefinisikan pada persamaan (3.12).

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \Delta_N \mathbf{I}(\mathbf{s}, t) = \mathbf{I}(x, y, t) * \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\
 \Delta_S \mathbf{I}(\mathbf{s}, t) = \mathbf{I}(x, y, t) * \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \\
 \Delta_E \mathbf{I}(\mathbf{s}, t) = \mathbf{I}(x, y, t) * \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\
 \Delta_W \mathbf{I}(\mathbf{s}, t) = \mathbf{I}(x, y, t) * \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\
 \Delta_{NE} \mathbf{I}(\mathbf{s}, t) = \mathbf{I}(x, y, t) * \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\
 \Delta_{NW} \mathbf{I}(\mathbf{s}, t) = \mathbf{I}(x, y, t) * \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\
 \Delta_{SW} \mathbf{I}(\mathbf{s}, t) = \mathbf{I}(x, y, t) * \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\
 \Delta_{SE} \mathbf{I}(\mathbf{s}, t) = \mathbf{I}(x, y, t) * \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
 \end{array} \right. \quad (3.12)$$

Diagram alir model ADF dapat dilihat pada Gambar 3.18.



Gambar 3.18 Diagram alir model ADF

3.9 Percobaan

3.9.1 Pengantar Percobaan

Pada bagian ini akan dilakukan pengujian *denoising* pada masing-masing citra uji yang telah diberikan *noise* menggunakan program MATLAB. Adapun model yang digunakan dalam proses *denoising* yaitu model ADF dengan fungsi koefisien difusi g_1 (model 1), model ADF dengan fungsi koefisien difusi g_2 (model 2), dan model ADF dengan fungsi koefisien difusi baru g_3 (model 3).

3.9.2 Parameter Uji

Parameter t dan k berturut-turut merupakan parameter iterasi filtering dan parameter gradien *threshold*. Pada skripsi ini parameter t yang digunakan adalah $t = 5$, $t = 10$, dan $t = 20$. Parameter gradien *threshold* k didapatkan dengan melakukan estimasi parameter menggunakan persamaan (2.6). Parameter λ yang digunakan adalah 1.

Hasil estimasi parameter k awal untuk masing-masing citra uji ber-*noise Gaussian* dapat dilihat pada Tabel 3.2, sedangkan untuk hasil estimasi parameter k awal untuk masing-masing citra uji ber-*noise 'Salt & Pepper'* dan *'Speckle'* dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.2 Hasil estimasi parameter k awal untuk masing-masing citra uji ber-*noise*

Citra Uji	Noise	Densitas Noise	k
Citra uji 1	Gaussian	$\sigma^2 = 0.005$	68.9866
		$\sigma^2 = 0.015$	74.4971
	'Salt & Peppers'	$d = 5\%$	74.3887
		$d = 10\%$	80.5837
	'Speckle'	$\sigma^2 = 0.05$	73.8884
		$\sigma^2 = 0.1$	80.5614
Citra uji 2	Gaussian	$\sigma^2 = 0.005$	60.0027
		$\sigma^2 = 0.015$	67.9201
	'Salt & Peppers'	$d = 5\%$	65.3430
		$d = 10\%$	71.9887
	'Speckle'	$\sigma^2 = 0.05$	67.7795
		$\sigma^2 = 0.1$	75.8644
Citra uji 3	Gaussian	$\sigma^2 = 0.005$	88.3304
		$\sigma^2 = 0.005$	88.3099
	'Salt & Peppers'	$d = 5\%$	79.9960
		$d = 10\%$	91.3999
	'Speckle'	$\sigma^2 = 0.05$	78.5053
		$\sigma^2 = 0.1$	86.7325

3.10 Implementasi Program *Denoising* pada Citra Uji 1

Pada subbab ini akan dibahas hasil fungsi koefisien difusi dan citra hasil uji *denoising* menggunakan program dengan *software* MATLAB pada citra uji 1 untuk setiap model uji, jenis *noise* dan parameter t yang disediakan. Nilai fungsi koefisien difusi yang akan ditinjau adalah g_{NE} .

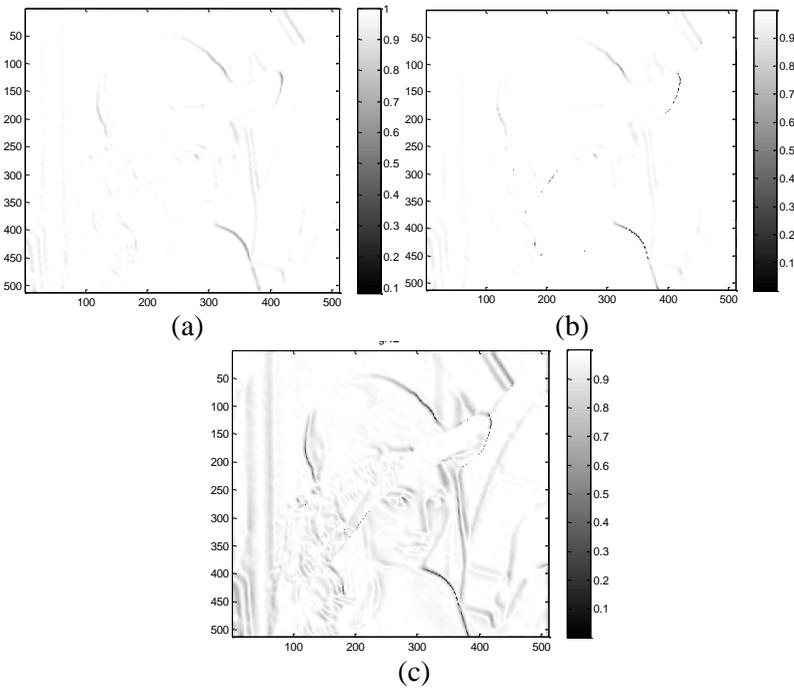
3.10.1 Uji *Denoising* Citra Uji 1 ber-*noise* Gaussian

Uji *denoising* Citra uji 1 ber-*noise* Gaussian mendapatkan hasil nilai MSE dan PSNR citra hasil *denoising* yang dapat dilihat pada Tabel 3.3. Pada Tabel 3.3 dapat dilihat bahwa model 3 menghasilkan kualitas citra hasil *denoising* lebih baik berdasarkan nilai MSE dan PSNR dibandingkan dengan model 1 dan model 2.

Fungsi koefisien difusi pada model 3 dapat mendeteksi tepian lebih baik sedangkan model 1 dan 2 mengalami penurunan kualitas pendeteksian tepi seiring bertambahnya iterasi. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3.19 yang menunjukkan citra keluaran hasil fungsi koefisien difusi tiap model untuk Citra uji 1 ber-*noise Gaussian* dengan $\sigma^2 = 0.015$ untuk 20 iterasi. Nilai fungsi koefisien difusi untuk arah yang lain dapat dilihat pada Lampiran 2. Nilai fungsi koefisien difusi model 3 untuk arah yang lain juga menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan model 1 dan model 2.

Tabel 3.3 Nilai MSE dan PSNR hasil uji *denoising* pada citra uji 1 ber-*noise Gaussian*

Model Uji	Densitas <i>noise</i>	t	MSE	PSNR
Model 1	$\sigma^2 = 0.005$	5	0.0013	28.8943
		10	0.0022	26.5132
		20	0.0038	24.2035
	$\sigma^2 = 0.015$	5	0.0015	28.2161
		10	0.0023	26.2916
		20	0.0038	24.1841
Model 2	$\sigma^2 = 0.005$	5	0.0011	29.6728
		10	0.0018	27.4736
		20	0.0028	25.4638
	$\sigma^2 = 0.015$	5	0.0014	28.6885
		10	0.0019	27.2419
		20	0.0029	25.3383
Model 3	$\sigma^2 = 0.005$	5	0.0008	30.7746
		10	0.0014	28.4269
		20	0.0024	26.1795
	$\sigma^2 = 0.015$	5	0.0013	28.8662
		10	0.0015	28.1066
		20	0.0024	26.1269



Gambar 3.19 Nilai fungsi koefisien difusi: (a) g_{NE} model 1, (b) g_{NE} model 2, (c) g_{NE} model 3

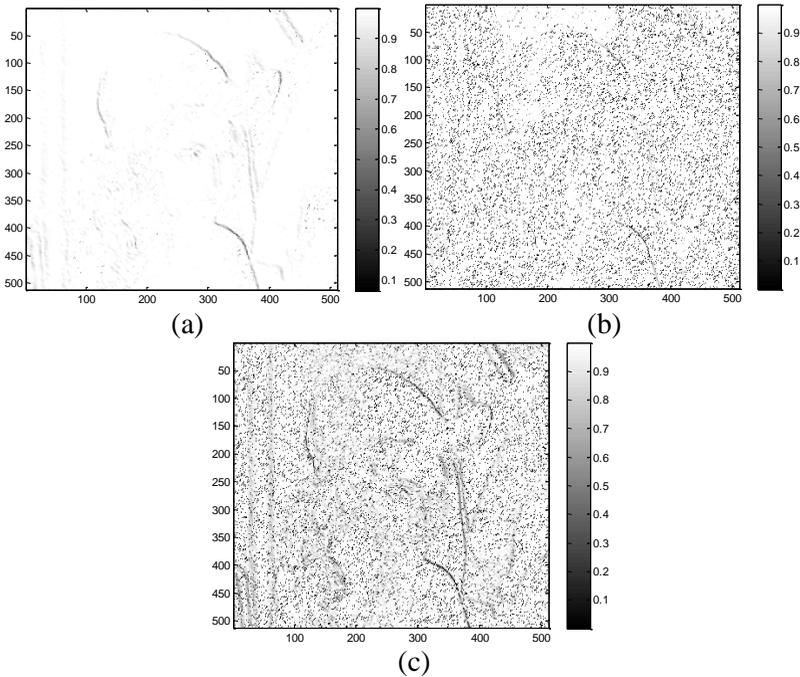
3.10.2 Uji Denoising Citra uji 1 ber-noise ‘Salt & Pepper’

Hasil angka MSE dan PSNR citra hasil *denoising* pada citra uji 1 ber-noise ‘Salt & Pepper’ dapat dilihat pada Tabel 3.4. Model 1 menghasilkan kualitas citra hasil *denoising* lebih baik berdasarkan nilai MSE dan PSNR dibandingkan dengan model 2 dan model 3. Hal ini disebabkan noise ‘Salt & Pepper’ memiliki karakteristik *pixel* terang bernilai 255 sehingga cenderung menghasilkan gradien yang tinggi karena memiliki perbedaan *pixel* yang sangat kontras dengan *pixel* tetangganya. Pada Gambar 3.16 dapat dilihat bahwa fungsi koefisien difusi pada model 1 tidak bernilai 0 bahkan untuk gradien citra bernilai 255 sehingga difusi akan tetap terjadi pada bagian tersebut. Model 1 lebih efisien dalam mereduksi titik terang pada noise ‘Salt & Pepper’ dibandingkan dengan model 1 dan model 2, namun beberapa tepian citra juga ikut tereduksi pada model 1 seiring

bertambahnya iterasi. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3.20 yang menunjukkan citra keluaran hasil fungsi koefisien difusi tiap model untuk citra uji 1 ber-noise ‘Salt & Pepper’ dengan $d = 10\%$ untuk 10 iterasi. Nilai fungsi koefisien difusi untuk arah yang lain dapat dilihat pada Lampiran 3. Nilai fungsi koefisien difusi model 1 untuk arah yang lain juga menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan model 1 dan model 2.

Tabel 3.4 Nilai MSE dan PSNR hasil uji *denoising* pada citra uji 1 ber-noise ‘Salt & Pepper’

Model Uji	Densitas noise	t	MSE	PSNR
Model 1	$d = 5\%$	5	0.0032	24.9824
		10	0.0026	25.8028
		20	0.0040	23.9477
	$d = 10\%$	5	0.0047	23.3212
		10	0.0032	24.9385
		20	0.0044	23.5247
Model 2	$d = 5\%$	5	0.0125	19.0438
		10	0.0121	19.1808
		20	0.0121	19.1743
	$d = 10\%$	5	0.0221	16.5533
		10	0.0199	17.0023
		20	0.0189	17.2417
Model 3	$d = 5\%$	5	0.0013	19.4517
		10	0.0095	20.2083
		20	0.0080	20.9513
	$d = 10\%$	5	0.0198	17.0258
		10	0.0159	17.9740
		20	0.0109	19.2552



Gambar 3.20 Nilai fungsi koefisien difusi: (a) g_{NE} model 1, (b) g_{NE} model 2, (c) g_{NE} model 3

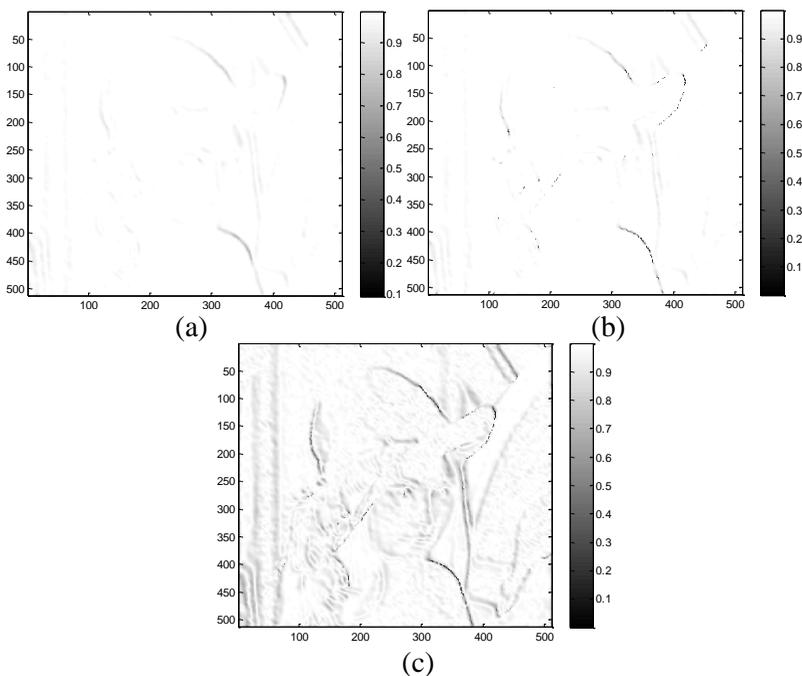
3.10.3 Uji Denoising Citra Uji 1 ber-noise ‘Speckle’

Kualitas citra hasil uji *denoising* dengan model 3 menghasilkan kualitas lebih baik berdasarkan nilai MSE dan PSNR dibandingkan dengan model 2 dan model 3 untuk iterasi 10 dan 20. *Noise ‘Speckle’* memiliki karakteristik *pixel* gelap bernilai 0 sehingga cenderung menghasilkan gradien yang rendah saat berada pada bagian citra dengan perbedaan *pixel* yang tidak terlalu kontras. Model 1 paling cepat dalam mereduksi *noise ‘Speckle’* namun tepian citra juga ikut tereduksi seiring bertambahnya iterasi. Hal ini ditunjukkan oleh Tabel 3.5 dimana untuk 5 iterasi, model 1 menghasilkan nilai PSNR paling tinggi. Namun secara keseluruhan model 3 menghasilkan nilai PSNR lebih tinggi dibandingkan model 1 dan model 2 untuk 10 dan 20 iterasi. Model 3 dapat menjaga tepian citra dengan lebih baik seiring bertambahnya iterasi dibandingkan dengan model 1 dan model 2. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3.21

yang menunjukkan nilai fungsi koefisien difusi tiap model untuk uji *denoising* pada citra uji 1 ber-noise 'Speckle' dengan $\sigma^2 = 0.1$ untuk 20 iterasi. Nilai fungsi koefisien difusi untuk arah yang lain dapat dilihat pada Lampiran 4. Nilai fungsi koefisien difusi model 3 untuk arah yang lain juga menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan model 1 dan model 2.

Tabel 3.5 Nilai MSE dan PSNR hasil uji *denoising* pada Citra uji 1 ber-noise 'Speckle'

Model Uji	Densitas Noise	t	MSE	PSNR
Model 1	$\sigma^2 = 0.05$	5	0.0031	25.0291
		10	0.0024	26.2386
		20	0.0039	24.1347
	$\sigma^2 = 0.1$	5	0.0021	26.8399
		10	0.0027	25.7184
		20	0.0042	23.8006
Model 2	$\sigma^2 = 0.05$	5	0.0125	19.0425
		10	0.0118	19.2839
		20	0.0118	19.2807
	$\sigma^2 = 0.1$	5	0.0221	16.5562
		10	0.0199	17.0129
		20	0.0188	17.2571
Model 3	$\sigma^2 = 0.05$	5	0.0111	19.5273
		10	0.0016	28.0228
		20	0.0025	26.0375
	$\sigma^2 = 0.1$	5	0.0202	16.9385
		10	0.0020	26.8950
		20	0.0027	25.7542



Gambar 3.21 Nilai fungsi koefisien difusi: (a) g_{NE} model 1, (b) g_{NE} model 2, (c) g_{NE} model 3

3.11 Implementasi Program *Denoising* pada Citra Uji 2

Pada subbab ini akan dibahas hasil fungsi koefisien difusi dan citra hasil uji *denoising* menggunakan program dengan *software* MATLAB pada citra uji 2 untuk setiap model uji, jenis *noise* dan parameter t yang disediakan. Nilai fungsi koefisien difusi yang akan ditinjau adalah g_{NE} .

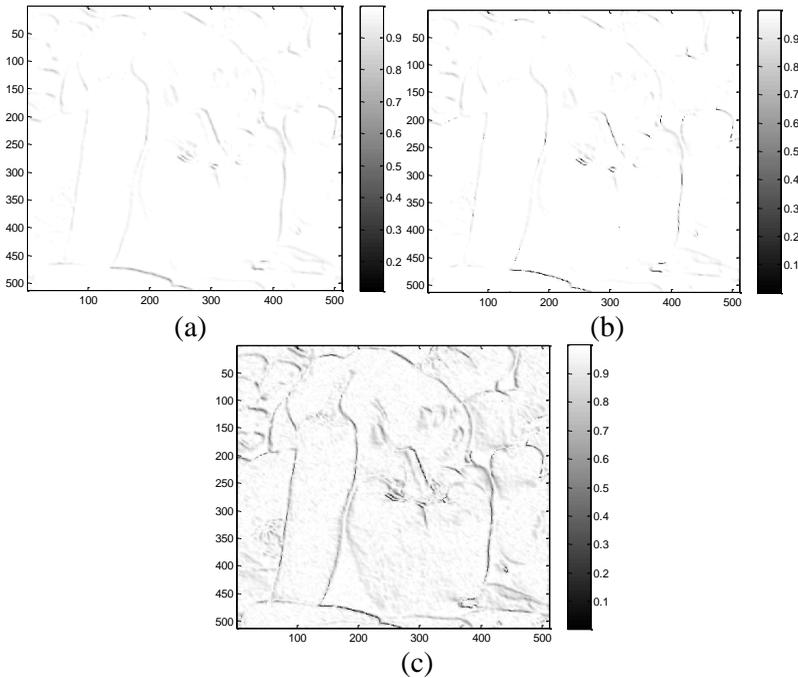
3.11.1 Uji *Denoising* Citra Uji 2 ber-*noise Gaussian*

Uji *denoising* pada citra uji 2 ber-*noise Gaussian* mendapatkan hasil angka MSE dan PSNR citra hasil *denoising* yang dapat dilihat pada Tabel 3.6. Pada Tabel 3.6 dapat dilihat bahwa model 3 menghasilkan kualitas citra hasil *denoising* lebih baik berdasarkan nilai MSE dan PSNR dibandingkan dengan model 1 dan model 2. Fungsi koefisien difusi pada model 3 dapat mendeteksi tepian

dengan baik sedangkan model 1 dan 2 mengalami penurunan kualitas pendeteksian tepi seiring bertambahnya iterasi. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3.22 yang menunjukkan keluaran hasil fungsi koefisien difusi tiap model uji *denoising* pada citra uji 2 ber-*noise Gaussian* dengan $\sigma^2 = 0.015$ untuk 10 iterasi. Nilai fungsi koefisien difusi untuk arah yang lain dapat dilihat pada Lampiran 5. Nilai fungsi koefisien difusi model 3 untuk arah yang lain juga menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan model 1 dan model 2.

Tabel 3.6 Nilai MSE dan PSNR hasil uji *denoising* pada citra uji 2 ber-*noise Gaussian*

Model Uji	Densitas <i>noise</i>	t	MSE	PSNR
Model 1	$\sigma^2 = 0.005$	5	0.0013	29.0171
		10	0.0023	26.4493
		20	0.0041	23.8815
	$\sigma^2 = 0.015$	5	0.0015	28.1588
		10	0.0024	26.1359
		20	0.0042	23.7939
Model 2	$\sigma^2 = 0.005$	5	0.0010	29.8956
		10	0.0018	27.4721
		20	0.0031	25.0675
	$\sigma^2 = 0.015$	5	0.0013	28.7737
		10	0.0020	27.0664
		20	0.0033	24.8751
Model 3	$\sigma^2 = 0.005$	5	0.0008	31.0443
		10	0.0014	28.6858
		20	0.0025	26.0213
	$\sigma^2 = 0.015$	5	0.0012	29.0907
		10	0.0015	28.1454
		20	0.0026	25.7850



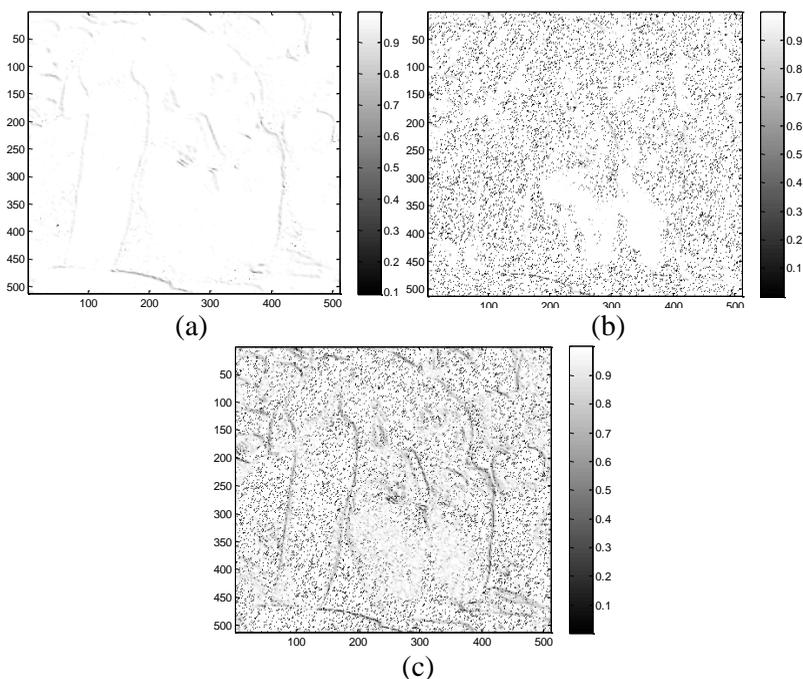
Gambar 3.22 Nilai fungsi koefisien difusi: (a) g_{NE} model 1, (b) g_{NE} model 2, (c) g_{NE} model 3

3.11.2 Uji Denoising Citra Uji 2 ber-noise ‘Salt & Pepper’

Sama halnya dengan kasus uji *denoising* citra uji 1 ber-noise ‘Salt & Pepper’, pada kasus uji *denoising* citra uji 2 ber-noise ‘Salt & Pepper’, dapat dilihat pada Tabel 3.7 bahwa model 1 memiliki kualitas citra hasil denoising lebih baik berdasarkan nilai MSE dan PSNR. Model 1 lebih efisien dalam mereduksi titik terang pada noise ‘Salt & Pepper’ dibandingkan dengan model 1 dan model 2, namun beberapa tepian citra juga ikut tereduksi pada model 1 seiring bertambahnya iterasi. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3.23 yang menunjukkan keluaran fungsi koefisien difusi tiap model uji *denoising* pada citra uji 2 ber-noise ‘Salt & Pepper’ dengan $d = 10\%$ untuk 10 iterasi. Nilai fungsi koefisien difusi untuk arah yang lain dapat dilihat pada Lampiran 6. Nilai fungsi koefisien difusi model 1 untuk arah yang lain juga menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan model 2 dan model 3.

Tabel 3.7 Nilai MSE dan PSNR hasil uji *denoising* pada citra uji 2 ber-noise 'Salt & Pepper'

Model Uji	Densitas noise	t	MSE	PSNR
Model 1	$d = 5\%$	5	0.0027	25.7368
		10	0.0027	25.6810
		20	0.0043	23.6461
	$d = 10\%$	5	0.0042	23.7831
		10	0.0034	24.6835
		20	0.0050	23.0073
Model 2	$d = 5\%$	5	0.0118	19.2762
		10	0.0113	19.4741
		20	0.0112	19.5189
	$d = 10\%$	5	0.0217	16.6325
		10	0.0192	17.1647
		20	0.0176	17.5498
Model 3	$d = 5\%$	5	0.0107	19.7159
		10	0.0086	20.6398
		20	0.0067	21.7541
	$d = 10\%$	5	0.0191	17.1911
		10	0.0138	18.6041
		20	0.0098	20.0960



Gambar 3.23 Nilai fungsi koefisien difusi: (a) g_{NE} model 1, (b) g_{NE} model 2, (c) g_{NE} model 3

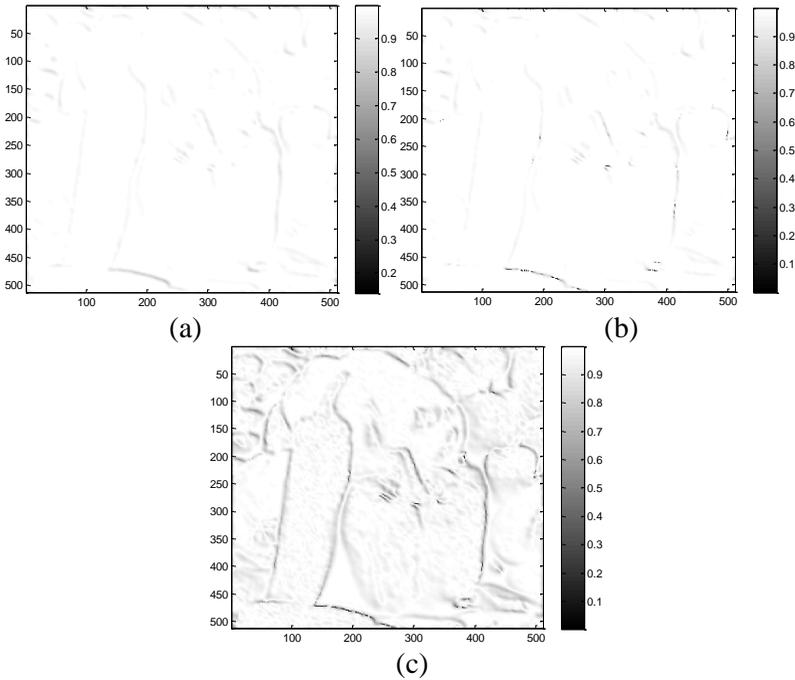
3.11.3 Uji Denoising Citra Uji 2 ber-noise ‘Speckle’

Pada Tabel 3.8 dapat dilihat bahwa model 3 menghasilkan kualitas citra hasil denoising lebih baik berdasarkan nilai MSE dan PSNR dibandingkan dengan model 1 dan model 2 untuk 10 dan 20 iterasi. Model 2 paling cepat dalam mereduksi *noise* ‘Speckle’ pada uji *denoising* citra uji 2, namun tepian citra juga ikut tereduksi seiring bertambahnya iterasi. Hal ini ditunjukkan oleh Tabel 3.8 dimana untuk 5 iterasi, model 2 menghasilkan nilai PSNR paling tinggi. Namun secara keseluruhan model 3 menghasilkan nilai PSNR lebih tinggi dibandingkan model 1 dan model 2 untuk 10 dan 20 iterasi. Model 3 dapat menjaga tepian citra lebih baik seiring bertambahnya iterasi dibandingkan dengan model 1 dan model 2. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3.24 yang menunjukkan nilai fungsi koefisien difusi tiap model uji *denoising* pada citra uji 2 ber-*noise*

'Speckle' dengan $\sigma^2 = 0.1$ untuk 20 iterasi. Nilai fungsi koefisien difusi untuk arah yang lain dapat dilihat pada Lampiran 7. Nilai fungsi koefisien difusi model 3 untuk arah yang lain juga menunjukkan hasil lebih baik dibandingkan model 1 dan model 2.

Tabel 3.8 Nilai MSE dan PSNR hasil uji *denoising* citra uji 2 ber-*noise 'Speckle'*

Model Uji	Densitas Noise	t	MSE	PSNR
Model 1	$\sigma^2 = 0.05$	5	0.0015	28.2002
		10	0.0024	26.2046
		20	0.0042	23.7915
	$\sigma^2 = 0.1$	5	0.0015	28.2428
		10	0.0024	26.2219
		20	0.0042	23.7783
Model 2	$\sigma^2 = 0.05$	5	0.0013	28.8654
		10	0.0019	27.2219
		20	0.0032	24.9806
	$\sigma^2 = 0.1$	5	0.0022	26.5306
		10	0.0022	26.5565
		20	0.0034	24.6585
Model 3	$\sigma^2 = 0.05$	5	0.0013	29.0067
		10	0.0015	28.3107
		20	0.0025	25.9665
	$\sigma^2 = 0.1$	5	0.0031	25.0652
		10	0.0019	27.2248
		20	0.0028	25.5647



Gambar 3.24 Nilai fungsi koefisien difusi: (a) g_{NE} model 1, (b) g_{NE} model 2, (c) g_{NE} model 3

3.12 Implementasi Program *Denoising* pada Citra Uji 3

Pada subbab ini akan dibahas hasil fungsi koefisien difusi dan citra hasil uji *denoising* menggunakan program dengan *software* MATLAB pada citra buatan citra uji 3 untuk setiap model uji, jenis *noise* dan parameter t yang disediakan. Nilai fungsi koefisien difusi yang akan ditinjau adalah g_{NE} .

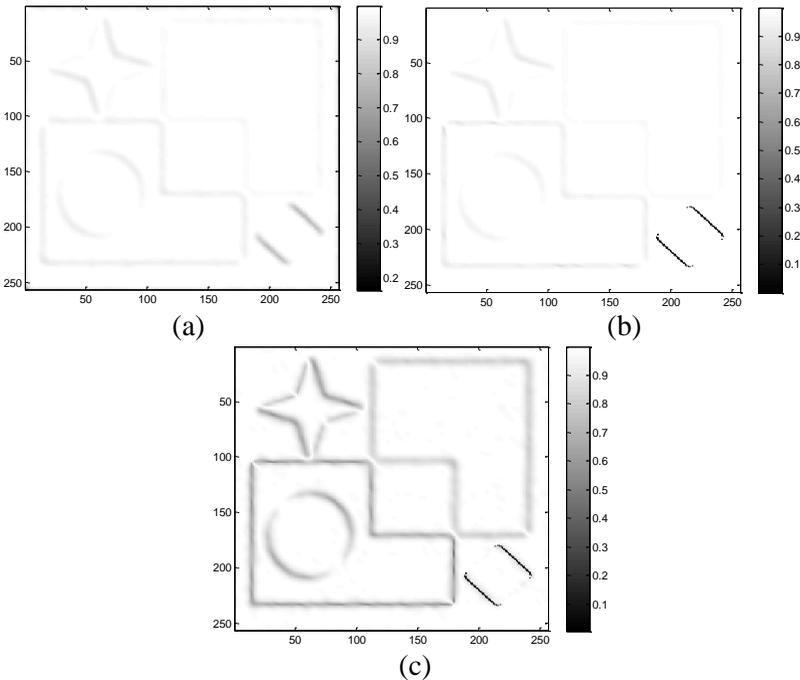
3.12.1 Uji *Denoising* Citra Uji 3 ber-*noise Gaussian*

Sama halnya dengan kasus uji *denoising* pada citra uji 1 dan citra uji 2 ber-*noise Gaussian*, pada uji *denoising* citra uji 3 ber-*noise Gaussian*, model 3 memiliki kualitas citra hasil *denoising* lebih baik berdasarkan nilai MSE dan PSNR yang dapat dilihat pada Tabel 3.9. Model 3 dapat mendeteksi tepian citra lebih baik dibandingkan dengan model 1 dan model 2, hal ini dapat dilihat pada Gambar 3.25

yang menunjukkan keluaran fungsi koefisien difusi hasil *denoising* pada citra uji 3 ber-*noise Gaussian* dengan $\sigma^2 = 0.015$ untuk 10 iterasi. Nilai fungsi koefisien difusi untuk arah yang lain dapat dilihat pada Lampiran 8. Nilai fungsi koefisien difusi model 3 untuk arah yang lain juga menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan model 1 dan model 2.

Tabel 3.9 Nilai MSE dan PSNR hasil uji *denoising* citra uji 3 ber-*noise Gaussian*

Model Uji	Densitas Noise	t	MSE	PSNR
Model 1	$\sigma^2 = 0.005$	5	0.0024	26.1820
		10	0.0047	23.3252
		20	0.0085	20.7312
	$\sigma^2 = 0.015$	5	0.0028	25.5605
		10	0.0050	23.0276
		20	0.0088	20.5427
Model 2	$\sigma^2 = 0.005$	5	0.0010	29.8559
		10	0.0025	26.0782
		20	0.0045	23.4303
	$\sigma^2 = 0.015$	5	0.0013	28.7500
		10	0.0026	25.7969
		20	0.0047	23.2797
Model 3	$\sigma^2 = 0.005$	5	0.0006	32.2870
		10	0.0016	28.0685
		20	0.0036	24.3946
	$\sigma^2 = 0.015$	5	0.0010	30.0057
		10	0.0018	27.4708
		20	0.0038	24.1813



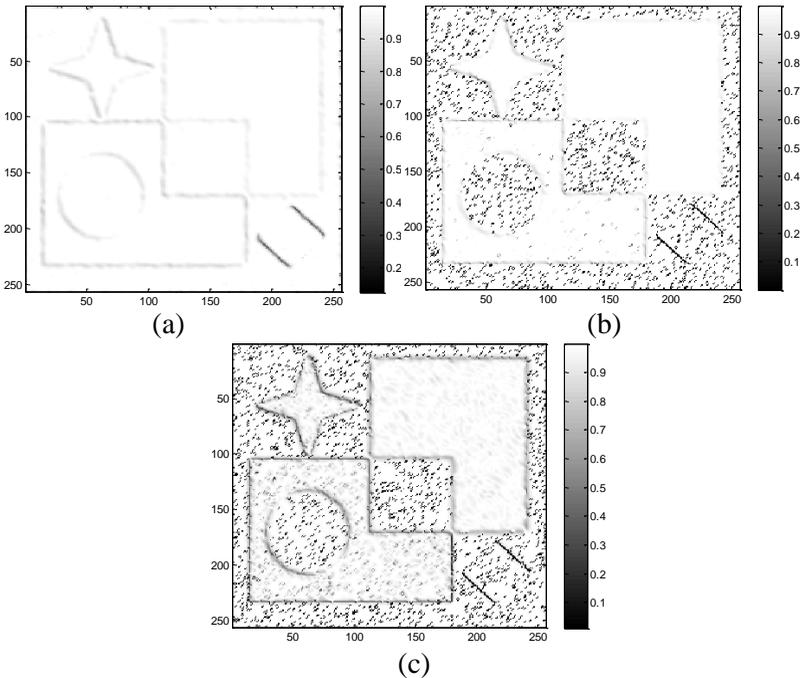
Gambar 3.25 Nilai fungsi koefisien difusi: (a) g_{NE} model 1, (b) g_{NE} model 2, (c) g_{NE} model 3

3.12.2 Uji Denoising Citra Uji 3 ber-noise ‘Salt & Pepper’

Sama halnya dengan kasus uji *denoising* pada citra uji 1 dan citra uji 2 ber-noise ‘Salt & Pepper’, model 1 menghasilkan kualitas citra hasil denoising lebih baik berdasarkan nilai MSE dan PSNR yang dapat dilihat pada Tabel 3.10. Model 1 lebih efisien dalam mereduksi titik terang pada *noise* ‘Salt & Pepper’ dibandingkan dengan model 2 dan model 3, namun beberapa tepian citra juga ikut tereduksi pada model 1 seiring bertambahnya iterasi. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3.26 yang menunjukkan keluaran fungsi koefisien difusi tiap model uji *denoising* pada citra uji 3 ber-noise ‘Salt & Pepper’ dengan $d = 10\%$ untuk 10 iterasi. Nilai fungsi koefisien difusi untuk arah yang lain dapat dilihat pada Lampiran 9. Nilai fungsi koefisien difusi model 1 dan 2 untuk arah yang lain juga menunjukkan bagian *noise* yang ikut terdeteksi sebagai tepian.

Tabel 3.10 Nilai MSE dan PSNR hasil uji *denoising* citra uji 3 ber-
noise 'Salt & Pepper'

Model Uji	Densitas noise	t	MSE	PSNR
Model 1	$d = 5\%$	5	0.0037	24.3011
		10	0.0055	22.5694
		20	0.0093	20.3105
	$d = 10\%$	5	0.0055	22.6007
		10	0.0068	21.6868
		20	0.0105	19.7980
Model 2	$d = 5\%$	5	0.0118	19.2875
		10	0.0116	19.3632
		20	0.0130	18.8558
	$d = 10\%$	5	0.0224	16.5068
		10	0.0207	16.8398
		20	0.0210	16.7737
Model 3	$d = 5\%$	5	0.0102	19.9286
		10	0.0083	20.8230
		20	0.0069	21.6071
	$d = 10\%$	5	0.0189	17.2423
		10	0.0139	18.5658
		20	0.0094	20.2786



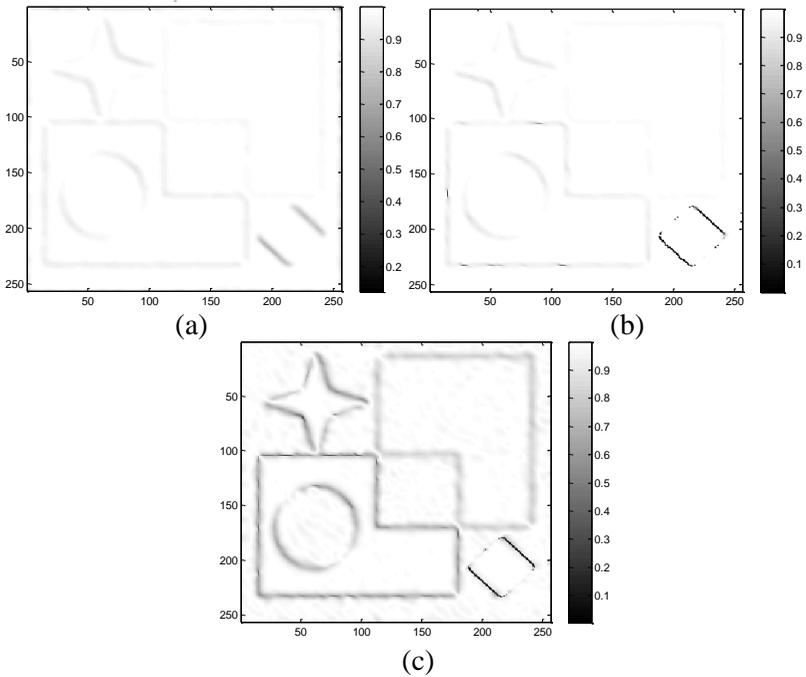
Gambar 3.26 Nilai fungsi koefisien difusi: (a) g_{NE} model 1, (b) g_{NE} model 2, (c) g_{NE} model 3

3.12.3 Uji Denoising Citra Uji 3 ber-noise ‘Speckle’

Pada Tabel 3.11 dapat dilihat bahwa model 3 menghasilkan kualitas citra hasil denoising lebih baik berdasarkan nilai MSE dan PSNR. Model 3 dapat menjaga tepian citra lebih baik seiring bertambahnya iterasi dibandingkan model 1 dan model 2. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3.27 yang menunjukkan keluaran fungsi koefisien difusi tiap model uji *denoising* pada citra uji 3 ber-noise ‘Speckle’ dengan $\sigma^2 = 0.1$ untuk 20 iterasi. Nilai fungsi koefisien difusi untuk arah yang lain dapat dilihat pada Lampiran 10. Nilai fungsi koefisien difusi model 3 untuk arah yang lain juga menunjukkan hasil lebih baik dibandingkan model 1 dan model 2.

Tabel 3.11 Nilai MSE dan PSNR hasil uji *denoising* citra uji 3 ber-
noise 'Speckle'

Model Uji	Densitas noise	t	MSE	PSNR
Model 1	$\sigma^2 = 0.05$	5	0.0036	24.3878
		10	0.0059	22.2577
		20	0.0100	20.0043
	$\sigma^2 = 0.1$	5	0.0060	22.2469
		10	0.0082	20.8785
		20	0.0122	19.1229
Model 2	$\sigma^2 = 0.05$	5	0.0020	27.0148
		10	0.0032	24.9267
		20	0.0054	22.6837
	$\sigma^2 = 0.1$	5	0.0045	23.5100
		10	0.0052	22.8797
		20	0.0073	21.3936
Model 3	$\sigma^2 = 0.05$	5	0.0019	27.1220
		10	0.0026	25.9119
		20	0.0046	23.3595
	$\sigma^2 = 0.1$	5	0.0050	23.0121
		10	0.0045	23.4330
		20	0.0064	21.9296



Gambar 3.27 Nilai fungsi koefisien difusi: (a) g_{NE} model 1, (b) g_{NE} model 2, (c) g_{NE} model 3