

# Watermarking Citra Digital menggunakan Contourlet Transform, Discrete Cosine Transform dan Noise Visibility Function

## Digital Image Watermarking using Contourlet Transform, Discrete Cosine Transform and Noise Visibility Function

Daniel Setiadikarunia<sup>1\*</sup>, Riko A. Saragih<sup>2</sup>, Yohana Susanthi<sup>3</sup>, Vincent Liu<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Teknik Elektro Universitas Kristen Maranatha

Jl. Suria Sumantri 65 Bandung

daniel.sk@eng.maranatha.edu<sup>1\*</sup>

**Abstrak** – Informasi dalam bentuk multimedia digital mudah dilakukan duplikasi dan modifikasi oleh pihak-pihak yang mungkin saja tidak memiliki izin dari pemilik yang sah. Hal ini dapat menimbulkan persoalan pelanggaran hak cipta atas informasi multimedia tersebut. Salah satu cara untuk mengatasi persoalan tersebut adalah dengan digital watermarking. Dalam artikel ini dibahas mengenai teknik watermarking pada citra digital menggunakan contourlet transform (CT) yang digabung dengan discrete cosine transform (DCT) dan perhitungan noise visibility function (NVF). Watermark disisipkan pada koefisien DCT dari subband hasil transformasi contourlet level 2. Penyisipan watermark dilakukan dengan memperhitungkan nilai NVF koefisien CT dari subband yang digunakan. Untuk daerah yang bertekstur, watermark akan disisipkan lebih kuat daripada daerah yang datar. Dari hasil uji coba diperoleh bahwa citra yang telah disisipi watermark mempunyai kualitas yang baik dengan rata-rata nilai peak signal to noise ratio (PSNR) lebih besar dari 35 dB, dan watermark dapat diekstraksi kembali dengan baik dengan rata-rata nilai bit correct ratio (BCR) lebih besar dari 98%. Watermark masih tahan terhadap kompresi JPEG dengan faktor kualitas  $Q > 9$ , penambahan noise Gaussian sampai 10%, cropping sampai 25%, dan scaling 75% dan 125%, tetapi tidak tahan terhadap rotasi.

**Kata Kunci:** watermarking, contourlet transform, discrete cosine transform, noise visibility function.

**Abstract** – Information in the form of digital multimedia can easily be duplicated and modified by parties who may not have the permission of the legal owner. This can lead to issues of copyright infringement of the multimedia information. One solution to overcome this problem is digital watermarking. This article discusses watermarking technique in digital images using contourlet transform (CT) combined with discrete cosine transform (DCT) and noise visibility function (NVF) calculation. Watermark is inserted in the DCT coefficients of level 2 contourlet transform subband. Watermark insertion is done by calculating the NVF value of the CT coefficients of the subband used. For textured areas, the watermark will be inserted stronger than flat areas. From the test results, it is found that the watermarked image has good quality with an average peak signal to noise ratio (PSNR) value greater than 35 dB, and the watermark can be extracted back well with an average bit correct ratio (BCR) value greater than 98%. Watermark is still resistant to JPEG compression with a quality factor  $Q$  greater than 9, Gaussian noise addition up to 10%, cropping up to 25%, scaling 75% and 125%, but not resistant to rotation.

**Keywords:** *watermarking, contourlet transform, discrete cosine transform, noise visibility function.*

## 1. Pendahuluan

Masalah hak cipta dan otentikasi informasi multimedia digital merupakan persoalan yang semakin mendapat perhatian seiring dengan makin mudahnya orang melakukan duplikasi dan modifikasi informasi multimedia digital. Ketika orang makin mudah melakukan duplikasi dan modifikasi informasi multimedia digital, hal ini dapat menimbulkan persoalan otentikasi dan pelanggaran hak cipta atas informasi multimedia tersebut. Untuk itu diperlukan cara untuk melindungi hak cipta dan otentikasi suatu informasi multimedia digital. Salah satu cara untuk mengatasi persoalan tersebut adalah dengan *digital watermarking*. *Digital watermarking* adalah penyisipan *watermark* ke dalam suatu multimedia digital. *Watermark* adalah suatu informasi yang dapat berupa data teks, citra, video, maupun audio yang disisipkan pada suatu multimedia digital. Dari multimedia digital tersebut *watermark* diekstraksi kembali. *Watermark* hasil ekstraksi ini digunakan untuk menunjukkan keaslian atau bukti hak cipta dari multimedia digital tersebut. *Watermark* yang disisipkan harus memiliki ketahanan yang kuat (*robustness*), yaitu *watermark* dapat diperoleh kembali meskipun multimedia digital telah diproses, diduplikasi, atau didistribusikan. Multimedia digital yang telah disisipi *watermark* juga diupayakan memiliki *imperceptibility* yang baik, yaitu multimedia digital yang telah disisipi *watermark* tidak dapat dilihat atau didengar perubahannya oleh sistem indera manusia.

Pada *digital image watermarking*, media yang akan diberi *watermark* adalah citra digital, dikenal sebagai citra *cover/host* [1]. Citra digital yang telah disisipi *watermark* diharapkan tidak terlihat perubahannya secara visual (*imperceptible*) dan *watermark* yang disisipkan dapat diekstraksi kembali walaupun sudah mengalami pemrosesan citra.

Umumnya *watermark* dapat disisipkan dalam dua domain, yaitu domain spasial atau domain transformasi (frekuensi) dari citra digital. Penyisipan *watermark* dalam domain spasial biasanya dilakukan dengan mengubah nilai intensitas piksel dari citra digital. Teknik penyisipan *watermark* dalam domain spasial yang paling mudah adalah mengganti LSB (*Least Significant Bit*) dari intensitas piksel dengan bit-bit *watermark* [2]–[4]. Penyisipan *watermark* dalam domain transformasi dapat dilakukan dengan mengubah nilai koefisien-koefisien hasil transformasi dari citra digital. Transformasi yang banyak digunakan adalah DCT (*Discrete Cosine Transform*) [5][6], DWT (*Discrete Wavelet Transform*) [7][8], dan FHT (*Fast Hadamard Transform*) [9][10]. Penyisipan *watermark* dalam domain transformasi dapat memberikan tingkat *imperceptibility* dan *robustness* yang lebih baik daripada penyisipan *watermark* dalam domain spasial [11][12].

Beberapa peneliti telah mengusulkan penggabungan beberapa teknik atau transformasi untuk *watermarking* dalam rangka mengatasi kelemahan masing-masing teknik, agar diperoleh kinerja yang lebih baik, seperti DWT digabung dengan DCT [12]–[16], DWT digabung dengan SVD (*Singular Value Decomposition*) [17][18], DCT dengan SVD [19], atau DWT digabung dengan DCT dan SVD [20].

Dalam artikel ini diusulkan suatu teknik *watermarking* menggunakan *contourlet transform* (CT) dan DCT. Dalam *watermarking* ini, level intensitas penyisipan *watermark* dibuat adaptif bergantung pada citra *host* yang digunakan. Perhitungan nilai *noise visibility function* (NVF) dari *subband* hasil transformasi *contourlet* digunakan untuk menentukan level intensitas penyisipan *watermark*. Pada teknik yang diusulkan ini digunakan *subband* kiri-bawah hasil CT level 2. Citra *host* yang digunakan adalah citra berwarna RGB dan *watermark* yang digunakan adalah citra hitam putih.

## 2. Metode Penelitian

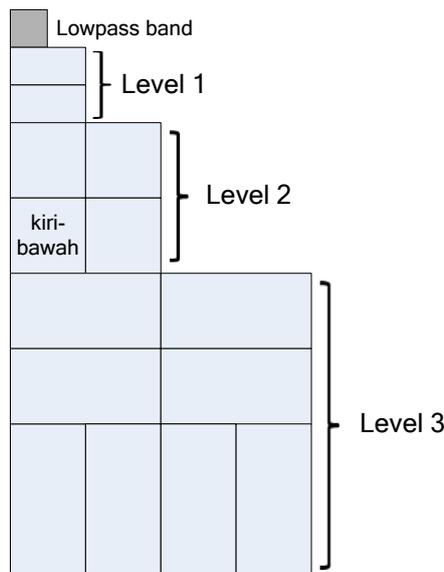
### 2.1. Transformasi *Contourlet*

Transformasi *contourlet* [21] merupakan skema baru dekomposisi citra yang menyediakan representasi multiresolusi fleksibel untuk sinyal-sinyal dua dimensi. Transformasi *contourlet* menggunakan *Laplacian Pyramid* untuk melakukan dekomposisi multiresolusi, kemudian

*directional filter bank* digunakan pada setiap citra *bandpass* yang dihasilkan. *Directional filter bank* ini menangkap informasi frekuensi tinggi berupa kontur halus dan tepi *directional*. Jadi dengan transformasi *contourlet*, suatu citra direpresentasikan sebagai kumpulan dari *directional subband* dengan berbagai skala.

Dalam transformasi *contourlet*, jumlah *directional subband* pada setiap level sama dengan  $2^n$  dengan  $n$  adalah level dekomposisi. Sebagai contoh, jika citra ingin didekomposisi sampai level tiga ( $n = 1, 2, 3$ ) maka akan didapat 2, 4, dan 8 *directional subband* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Dalam penelitian ini, penyisipan *watermark* dilakukan pada *subband* hasil dekomposisi *contourlet* level 2. Pada dekomposisi level 2 terdapat 4 buah *subband*. Penyisipan dilakukan pada *subband* kiri-bawah.



Gambar 1. Dekomposisi *contourlet*.

## 2.2. Noise Visibility Function

Nilai *noise visibility function* [22] memberikan informasi mengenai sifat dari daerah lokal suatu citra. Nilai NVF daerah lokal suatu citra bervariasi antara 0 dan 1. Untuk daerah lokal citra yang sangat bertekstur memiliki nilai NVF 0, sedangkan untuk daerah lokal citra yang datar (*flat*) memiliki nilai NVF 1.[23]

Nilai NVF pada piksel dengan lokasi  $(i, j)$  dapat dihitung menggunakan (1) dengan asumsi citra mempunyai distribusi Gaussian non-stasioner [22]:

$$NVF(i, j) = \frac{1}{1 + \sigma_x^2(i, j)}, \quad (1)$$

dengan

$$\sigma_x^2(i, j) = \frac{1}{(2L+1)^2} \sum_{k=-L}^L \sum_{l=-L}^L [x(i+k, j+l) - \bar{x}(i, j)]^2, \quad (2)$$

$$\bar{x}(i, j) = \frac{1}{(2L+1)^2} \sum_{k=-L}^L \sum_{l=-L}^L x(i+k, j+l), \quad (3)$$

dimana  $\sigma_x^2(i, j)$  adalah variansi dari citra dalam suatu jendela berukuran  $(2L+1)^2$  dengan pusat  $(i, j)$ , dan  $\bar{x}(i, j)$  adalah nilai piksel rata-rata jendela dengan pusat  $(i, j)$ . Berdasarkan nilai NVF yang diperoleh, maka dapat dihitung besarnya distorsi yang diizinkan pada tiap piksel menggunakan (4)[24]

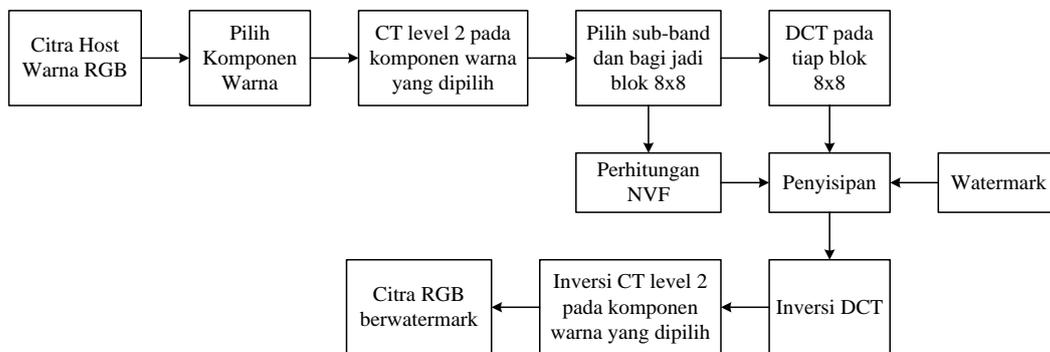
$$\Delta(i, j) = [1 - NVF(i, j)] \cdot S_t + NVF(i, j) \cdot S_d, \quad (4)$$

dengan  $S_t$  adalah distorsi maksimum yang diizinkan pada piksel dalam daerah bertekstur dan  $S_d$  dalam daerah datar. Biasanya nilai  $S_t$  dapat sampai maksimum 30, sementara  $S_d$  biasanya sekitar 3.

Untuk daerah-daerah datar pada citra, nilai NVF umumnya mendekati 1, sehingga suku pertama dari (4) cenderung mendekati 0, sehingga distorsi yang diizinkan pada piksel maksimum adalah sebesar  $S_d$  yang nilainya relatif kecil. Ini berarti bahwa pada daerah-daerah datar distorsi lebih mudah terlihat, sehingga distorsi yang diizinkan kecil. Untuk daerah-daerah bertekstur pada citra, nilai NVF umumnya mendekati 0, sehingga distorsi yang diizinkan bergantung pada nilai  $S_t$  yang nilainya besar. Pada daerah-daerah bertekstur distorsi kurang terlihat, sehingga distorsi yang diizinkan dapat lebih besar. *Watermark* yang disisipkan ke dalam citra *host* dapat dianggap sebagai *noise* yang memberikan distorsi pada citra *host*. Jadi *watermark* dapat disisipkan ke dalam citra *host* dengan level penyisipan yang lebih besar pada daerah-daerah bertekstur daripada daerah-daerah datar.

### 2.3. Algoritma Penyisipan *Watermark*

Secara garis besar, diagram blok proses penyisipan *watermark* pada citra digital berwarna yang diusulkan dalam artikel ini ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Diagram blok proses penyisipan *watermark*.

Gambar 2 menunjukkan diagram blok proses penyisipan *watermark*. *Watermark* akan disisipkan pada komponen warna dari citra *host* RGB. Kemudian pada komponen warna yang akan disisipi *watermark* dilakukan transformasi *contourlet* level 2. Komponen warna hasil transformasi *contourlet* bagi menjadi blok 8×8. Lakukan perhitungan nilai NVF pada masing-masing blok 8×8. Lalu lakukan DCT pada tiap blok 8×8. *Watermark* yang digunakan pada penelitian ini adalah citra biner. *Watermark* disisipkan pada citra *host* dengan cara mengubah nilai koefisien DCT tertentu blok 8×8 sesuai dengan hasil perhitungan nilai NVF nya. Setiap blok 8×8 akan disisipi 8-bit *watermark*. Setelah tahap penyisipan, dilakukan proses kebalikan (inversi) DCT dan inversi CT level 2, sehingga diperoleh citra *host* yang telah disisipi *watermark*.

Algoritma proses penyisipan *watermark* yang diusulkan adalah sebagai berikut:

- Baca citra *host* RGB 512×512 dan *watermark* biner 90×90.
- Pilih komponen warna yang akan digunakan untuk penyisipan *watermark*. Kemudian lakukan transformasi *contourlet* level 2, sehingga dihasilkan 4 *subband*.
- Pilih *subband* kiri-bawah hasil transformasi *contourlet* level 2 tersebut dan bagi menjadi blok 8×8.
- Hitung besarnya distorsi  $D(z)$  yang diizinkan dalam blok 8×8 ke- $z$  menggunakan (5)

$$D(z) = \frac{\sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^8 \Delta(i, j)}{64}, \quad (5)$$

- dengan  $\Delta(i, j)$  dihitung menggunakan (4).
- Pada masing-masing blok  $8 \times 8$  lakukan DCT.
  - Sisipkan 8-bit *watermark* ke dalam koefisien DCT blok  $8 \times 8$ . Gambar 3 menunjukkan delapan pasang koordinat koefisien DCT untuk posisi penyisipan 8 bit *watermark*. Pasangan koordinat koefisien DCT dipilih berdasarkan faktor kuantisasi JPEG yang besarnya hampir sama. Pasangan koordinatnya dinotasikan dengan  $(M_u, N_u)$  dan  $(P_u, Q_u)$  dengan  $u = 1, 2, \dots, 8$ .

	1	2	3	4	5	6	7	8
1								①
2							①	②
3						③	②	
4					③			
5				④	⑤			
6			④	⑤				
7		⑥	⑦	⑧				
8	⑥	⑦	⑧					

$(M_u, N_u) = (1, 8_1)$   
 $(P_u, Q_u) = (2, 7_1)$   
 $(M_u, N_u) = (2, 8_2)$   
 $(P_u, Q_u) = (3, 7_2)$

Gambar 3. Pasang lokasi penyisipan *watermark* pada blok  $8 \times 8$  koefisien DCT.

- Jika bit *watermark* = 1, maka:[25]

$$I_z(M_u, N_u) = \bar{I}_z - \alpha \cdot D(z) \quad (6)$$

$$I_z(P_u, Q_u) = \bar{I}_z + \alpha \cdot D(z) \quad (7)$$

- Jika bit *watermark* = 0, maka:[25]

$$I_z(M_u, N_u) = \bar{I}_z + \alpha \cdot D(z) \quad (8)$$

$$I_z(P_u, Q_u) = \bar{I}_z - \alpha \cdot D(z) \quad (9)$$

dengan  $\bar{I}_z = [I_z(M_u, N_u) + I_z(P_u, Q_u)]/2$  adalah rata-rata nilai koefisien DCT pada koordinat  $(M_u, N_u)$  dan  $(P_u, Q_u)$  dari blok  $8 \times 8$  ke- $z$ , dan  $\alpha$  adalah faktor kekuatan penyisipan *watermark*.

- Pada masing-masing blok  $8 \times 8$  lakukan inversi DCT.
- Lakukan inversi CT, sehingga diperoleh citra *host* yang sudah diberi *watermark*.

Untuk menentukan tingkat *imperceptibility* dari citra *host* yang sudah disisipi *watermark* digunakan perhitungan nilai PSNR (*Peak Signal to Noise Ratio*) menggunakan (10)[13][14]

$$\text{PSNR} = 10 \log \frac{255^2}{\text{MSE}} \quad (10)$$

dengan MSE adalah *Mean Square Error*, yaitu perbedaan/kesalahan antara citra *host* dengan citra *host* yang sudah disisipi *watermark*. MSE dihitung menggunakan (11)[13][14]

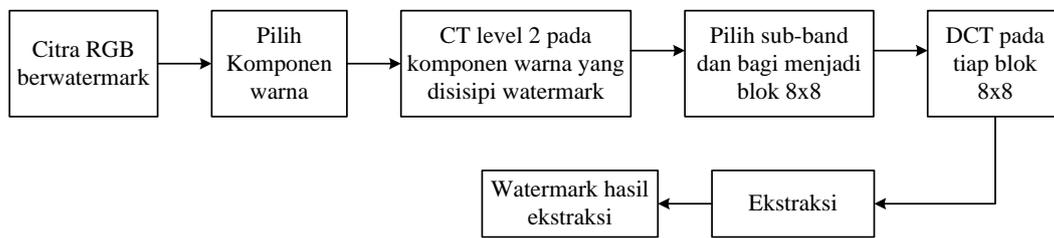
$$\text{MSE} = \frac{1}{3MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [\{R(i, j) - R'(i, j)\}^2 + \{G(i, j) - G'(i, j)\}^2 + \{B(i, j) - B'(i, j)\}^2] \quad (11)$$

dengan:

- $M$  = tinggi citra
- $N$  = lebar citra
- $R(i,j)$  = nilai piksel  $(i,j)$  dari komponen warna *red*
- $R'(i,j)$  = nilai piksel  $(i,j)$  dari komponen warna *red* yang disisipi *watermark*
- $G(i,j)$  = nilai piksel  $(i,j)$  dari komponen warna *green*
- $G'(i,j)$  = nilai piksel  $(i,j)$  dari komponen warna *green* yang disisipi *watermark*
- $B(i,j)$  = nilai piksel  $(i,j)$  dari komponen warna *blue*
- $B'(i,j)$  = nilai piksel  $(i,j)$  dari komponen warna *blue* yang disisipi *watermark*.

#### 2.4. Algoritma Ekstraksi *Watermark*

Proses ekstraksi *watermark* yang sudah disisipkan pada citra *host*, secara garis besar merupakan kebalikan dari proses penyisipan. Gambar 4 menunjukkan proses ekstraksi yang diusulkan dalam artikel ini.



Gambar 4. Diagram blok proses ekstraksi *watermark*.

Dari citra *host* RGB yang sudah disisipi *watermark*, pilih komponen warna yang digunakan saat penyisipan. Kemudian pada komponen warna yang disisipi *watermark* dilakukan transformasi *contourlet* level 2 dan hasilnya bagi menjadi blok  $8 \times 8$ . Lalu lakukan DCT pada tiap blok  $8 \times 8$ . Ekstraksi *watermark* dilakukan dengan melakukan perbandingan, jika  $I_z(M_u, N_u) < I_z(P_u, Q_u)$ , maka bit *watermark* = 1, jika  $I_z(M_u, N_u) > I_z(P_u, Q_u)$ , maka bit *watermark* = 0.[25]

Algoritma proses ekstraksi *watermark* adalah sebagai berikut:

- a. Baca citra *host* RGB yang sudah disisipi *watermark*
- b. Lakukan transformasi *contourlet* level 2 pada komponen warna yang digunakan pada penyisipan *watermark*.
- c. Ambil *subband* kiri-bawah dan bagi menjadi blok  $8 \times 8$ , kemudian lakukan DCT pada tiap blok  $8 \times 8$ .
- d. Proses ekstraksi: bila  $I_z(M_u, N_u) < I_z(P_u, Q_u)$ , maka bit *watermark* = 1, bila  $I_z(M_u, N_u) > I_z(P_u, Q_u)$ , maka bit *watermark* = 0.
- e. Diperoleh *watermark* hasil ekstraksi.

Untuk menentukan tingkat *robustness* dari *watermark* yang disisipkan pada citra digunakan perhitungan nilai BCR (*Bit Correct Ratio*). BCR digunakan untuk menunjukkan kesamaan atau kemiripan antara dua data biner yaitu *watermark* dan *watermark* hasil ekstraksi. BCR menghitung perbandingan dari jumlah bit yang sama antara dua data biner pada koordinat (posisi) yang sama terhadap jumlah bit data biner tersebut. Semakin besar nilai BCR, maka kedua data semakin mirip. Jika nilai BCR sama dengan 100%, berarti dua buah data tersebut sama. BCR dapat dihitung dengan menggunakan (12)[25]

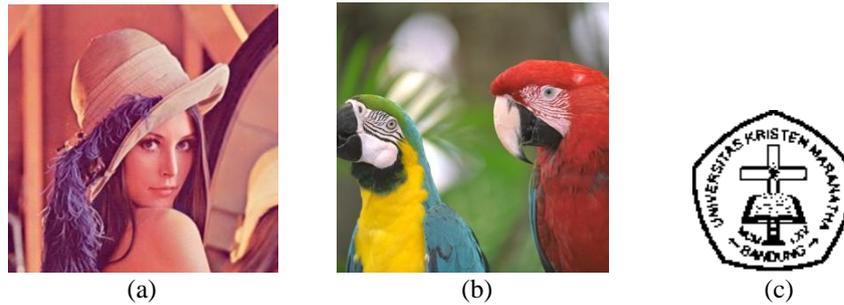
$$\text{BCR} = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \overline{W_{(i,j)} \oplus W'_{(i,j)}}}{MN} \times 100\% \quad (12)$$

dengan:

- $M$  = tinggi citra
- $N$  = lebar citra
- $W_{(i,j)}$  = piksel/bit  $(i, j)$  dari *watermark*
- $W'_{(i,j)}$  = piksel/bit  $(i, j)$  dari *watermark* hasil ekstraksi

**3. Hasil dan Pembahasan**

Uji coba dilakukan menggunakan citra *host RGB* “Lena.bmp” dan “Macaw.bmp” berukuran 512×512, seperti diperlihatkan pada Gambar 5a dan 5b. *Watermark* yang digunakan adalah citra biner “logoukm.bmp” berukuran 90×90, seperti diperlihatkan pada Gambar 5c. *Watermark* disisipkan dalam komponen warna biru.



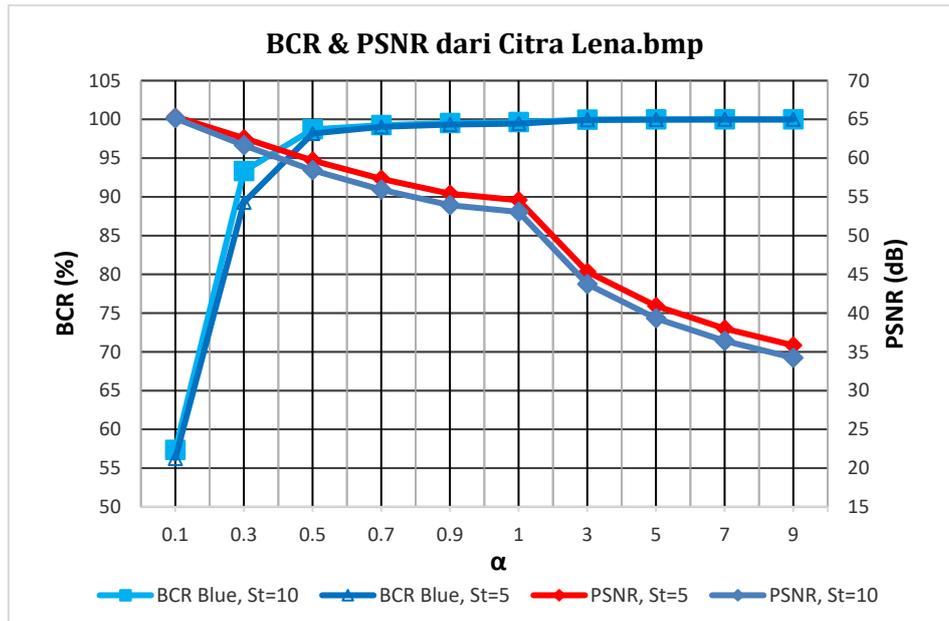
Gambar 5. (a) citra *host* “Lena.bmp”, (b) citra *host* “Macaw.bmp”, (c) citra *watermark* “Logoukm.bmp”

Hasil perhitungan nilai NVF untuk salah satu blok 8×8 dari citra Lena.bmp ditunjukkan pada Gambar 6. Untuk satu citra dengan ukuran 512×512, terdapat blok 8×8 sebanyak 32×32 dengan nilai NVF nya masing-masing. Nilai NVF yang diperoleh bervariasi antara 0 sampai dengan 1. Nilai NVF ini digunakan untuk menentukan level/kekuatan penyisipan *watermark* menggunakan (5) – (9).

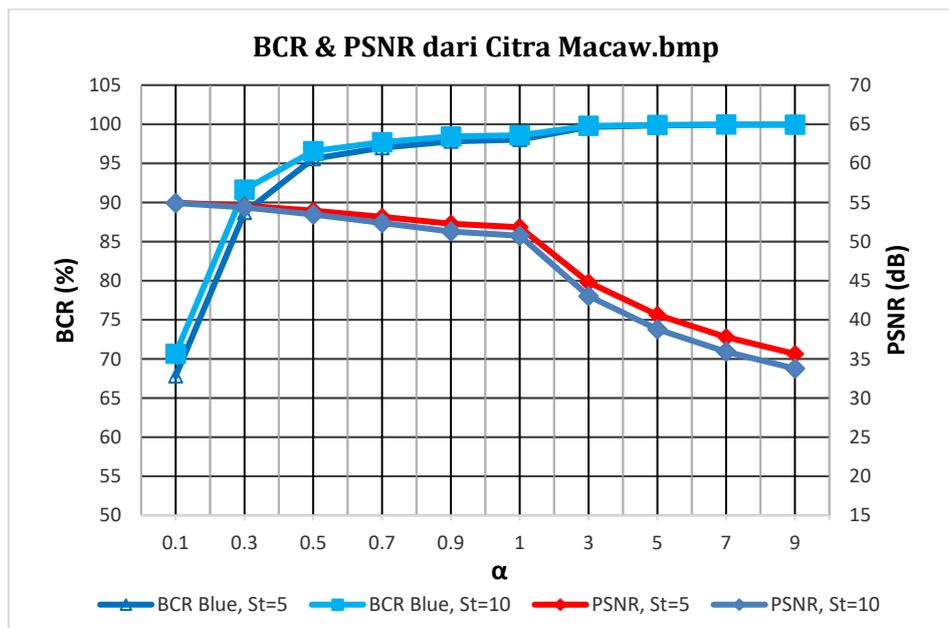
1.000E+00							
1.000E+00	5.765E-05	5.752E-05	5.700E-05	5.752E-05	5.752E-05	5.713E-05	1.000E+00
1.000E+00	5.765E-05	5.700E-05	5.752E-05	5.778E-05	5.791E-05	5.765E-05	1.000E+00
1.000E+00	5.700E-05	5.675E-05	5.700E-05	5.726E-05	5.752E-05	5.791E-05	1.000E+00
1.000E+00	5.625E-05	5.662E-05	5.688E-05	5.713E-05	5.726E-05	5.752E-05	1.000E+00
1.000E+00	5.550E-05	5.575E-05	5.600E-05	5.612E-05	5.675E-05	5.739E-05	1.000E+00
1.000E+00	5.490E-05	5.550E-05	5.563E-05	5.575E-05	5.600E-05	5.662E-05	1.000E+00
1.000E+00							

Gambar 6. Nilai NVF untuk salah satu blok 8×8 dari citra “Lena.bmp”.

Gambar 7 memperlihatkan kurva BCR dan PSNR terhadap variasi faktor kekuatan penyisipan  $\alpha$  untuk nilai  $S_t = 5$  dan 10, sedangkan  $S_d = 3$ . Gambar 7a untuk citra Lena dan gambar 7b untuk citra Macaw. Dari kurva tersebut dapat dilihat bahwa untuk masing-masing citra *host*, semakin besar  $\alpha$ , nilai BCR semakin besar, yang berarti *watermark* yang disisipkan semakin kuat/tahan, tetapi nilai PSNR semakin kecil, yang berarti kualitas citra hasil penyisipan semakin menurun.



(a)



(b)

Gambar 7. Kurva nilai BCR dan PSNR terhadap  $\alpha$ : (a) untuk citra Lena.bmp (b) untuk citra Macaw.bmp.

Dari kurva PSNR tersebut dapat dilihat juga bahwa untuk nilai  $S_i$  yang lebih besar, menghasilkan nilai PSNR yang lebih kecil. Hal ini dikarenakan untuk nilai  $S_i$  yang lebih besar, maka level penyisipan *watermark* lebih besar, yang berarti citra *host* mengalami distorsi yang lebih besar.

Untuk nilai  $S_i = 5$ , penyisipan *watermark* yang menghasilkan PSNR lebih besar dari 35 dB (kualitas citra hasil penyisipan masih baik) dan nilai BCR dari *watermark* hasil ekstraksinya lebih besar dari 98% terjadi pada  $\alpha$  antara 1 – 9.

Tabel 1 menunjukkan citra hasil penyisipan dengan nilai PSNR nya dan *watermark* hasil ekstraksi dengan nilai BCR nya untuk citra *host* Lena.bmp dan Macaw.bmp untuk nilai  $S_i = 5$  dan  $S_d = 3$ .

Tabel 1. Citra hasil penyisipan dan *watermark* hasil ekstraksi untuk variasi  $\alpha$ .

$\alpha$	PSNR (dB)	BCR (%)	PSNR (dB)	BCR (%)
1	 54.5675	 99.4568	 51.8358	 98.0370
3	 45.3368	 99.9259	 44.7814	 99.6420
5	 40.9279	 99.9753	 40.6305	 99.8519
7	 38.0137	 99.9877	 37.7925	 99.9259
9	 35.8345	 99.9877	 35.6458	 99.9506

Untuk menguji apakah *watermark* yang telah disisipkan ke dalam citra *host* tahan terhadap pemrosesan citra, maka pada citra *host* yang telah disisipi *watermark* diberikan pemrosesan citra, seperti kompresi JPEG, penambahan *noise*, *scaling*, *cropping*, atau rotasi. Jika *watermark* dapat diekstraksi kembali setelah diberikan suatu pemrosesan citra berarti *watermark* tahan terhadap pemrosesan citra tersebut. Pengujian dilakukan pada citra *host* yang telah disisipi *watermark*

dengan nilai  $S_d = 3$ ,  $S_t = 5$  dan  $\alpha = 5$ , karena nilai PSNR-nya masih cukup besar (sekitar 40 dB) dan nilai BCR-nya mendekati 100%. Hasil pengujian yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil ekstraksi watermark dan Nilai BCR (%).

Cropping 10%	Cropping 20%	Cropping 25%	Cropping 25%
96.3086	91.3580	89.2222	90.9753
Kompresi JPEG Q9	Kompresi JPEG Q10	Rotate 45°	Rotate 180°
68.3457	94.0123	57.0494	55.9753
Scaling 75%	Scaling 125%	Gaussian Noise 5%	Gaussian Noise 10%
99.3704	99.9753	95.5309	80.3704

Hasil pada Tabel 2 menunjukkan bahwa watermark yang disisipkan masih dapat diekstraksi kembali dengan baik walaupun telah dilakukan pemrosesan citra, seperti *cropping* 25%, kompresi

JPEG dengan faktor kualitas  $Q = 9$  dan  $10$ , *scaling* 75% dan 125%, atau penambahan *noise* Gaussian sampai 10%. *Watermark* hasil ekstraksi masih memiliki nilai BCR yang besar (umumnya lebih dari 80%) dan secara visual citra *watermark* hasil ekstraksi masih terlihat jelas dan dapat dikenali. Jadi teknik *watermarking* yang diusulkan dapat memberikan ketahanan *watermark* yang baik terhadap beberapa pemrosesan citra tersebut. Untuk rotasi  $45^\circ$  dan  $180^\circ$ , nilai BCR lebih kecil dari 60% dan secara visual citra *watermark* hasil ekstraksi tidak begitu jelas. Ini berarti teknik *watermarking* yang diusulkan tidak memberikan ketahanan *watermark* yang baik terhadap rotasi.

#### 4. Kesimpulan

Dalam penelitian ini *contourlet transform* yang digabung dengan *discrete cosine transform* dan perhitungan *noise visibility function* dapat digunakan sebagai teknik *watermarking* pada citra digital. Dalam teknik *watermarking* ini, hasil perhitungan *noise visibility function* dari citra *host* digunakan untuk menentukan level penyisipan *watermark*, agar diperoleh tingkat *imperceptibility* dan *robustness* yang baik. Dari pengujian diperoleh, untuk  $S_r = 5$ , citra hasil penyisipan memiliki PSNR lebih besar dari 35 dB dan nilai BCR *watermark* hasil ekstraksinya mendekati 100% (> 98%) untuk faktor kekuatan penyisipan  $\alpha$  antara 1 – 9. Teknik *watermarking* yang diusulkan dapat memberikan ketahanan *watermark* yang baik terhadap pemrosesan citra berupa *cropping* 25%, kompresi JPEG dengan faktor kualitas  $Q = 9$  dan  $10$ , *scaling* 75% dan 125%, penambahan *noise* Gaussian sampai 10%, tetapi tidak memberikan ketahanan *watermark* yang baik terhadap rotasi. Untuk pengembangan lebih lanjut, pada *watermark* dapat dilakukan pengacakan untuk mengurangi korelasi spasial dan meningkatkan keamanan. Selain itu perlu diteliti lebih lanjut untuk mengetahui tingkat *imperceptibility* dan *robustness* dari teknik *watermarking* yang diusulkan jika *watermark* disisipkan pada level lain dari transformasi *contourlet*.

#### Referensi

- [1] I. J. Cox, M. L. Miller, J. A. Bloom, J. Fridrich, and T. Kalker, *Digital Watermarking and Steganography*, 2nd Editio. Elsevier Inc., 2008.
- [2] C. K. Chan and L. M. Cheng, "Hiding data in images by simple LSB substitution," *Pattern Recognition: The Journal of The Pattern Recognition Society*, vol. 37, no. 3, pp. 469–474, 2004.
- [3] M. El-Gayyar and J. von zur Gathen, "Watermarking Techniques Spatial Domain," 2006.
- [4] R. K. Singh, D. K. Shaw, and M. J. Alam, "Experimental Studies of LSB Watermarking with Different Noise," in *Procedia Computer Science*, 2015, pp. 612–620.
- [5] M. Barni, F. Bartolini, V. Cappellini, and A. Piva, "A DCT-domain system for robust image watermarking," *Signal Processing*, vol. 66, no. 3, pp. 357–372, May 1998.
- [6] S. D. Lin and C. F. Chen, "A Robust DCT-based Watermarking for Copyright Protection," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 46, no. 3, pp. 415–421, 2000.
- [7] P. Tao and A. M. Eskicioglu, "A Robust Multiple Watermarking Scheme in The Discrete Wavelet Transform Domain," pp. 133–144, 2004.
- [8] A. A. Reddy and B. N. Chatterji, "A New Wavelet Based Logo-Watermarking Scheme," *Pattern Recognition Letters*, vol. 26, no. 7, pp. 1019–1027, 2005.
- [9] Y. Zhang, Z. M. Lu, and D. N. Zhao, "A Blind Image Watermarking Scheme Using Fast Hadamard Transform," *Information Technology Journal.*, vol. 9, no. 7, pp. 1369–1375, 2010.
- [10] S. E. Fami, S. Samavi, R. H. Kaviani, and Z. Radani, Molaei, "Adaptive watermarking in Hadamard transform coefficients of textured image blocks," in *AISP 2012 - 16th CSI International Symposium on Artificial Intelligence and Signal Processing*, 2012, pp. 503–507.
- [11] V. Potdar, S. Han, and E. Chang, "A Survey of Digital Image Watermarking Techniques," in *Proc. of the IEEE International Conference on Industrial Informatics*, 2005, pp. 709–716.

- [12] A. R. Amirgholipour and A. R. Naghsh-Nilchi, "Robust Digital Image Watermarking based on Joint DWT-DCT," *International Journal of Digital Content Technology and its Applications*, vol. 3, no. 2, pp. 42–54, 2009.
- [13] A. Al-Haj, "Combined DWT-DCT Digital Image Watermarking," *Journal of Computer Science*, vol. 3, no. 9, pp. 740–746, 2007.
- [14] L. P. Feng, L. B. Zeng, and P. Cao, "A DWT-DCT Based Blind Watermarking Algorithm for Copyright Protection," in *Proceeding of 3rd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology (ICCSIT)*, 2010, pp. 455–458.
- [15] C. Chuang, C. Liu, Y. Liao, and H. Chi, "A Robust Digital Watermarking with Mixed Transform Technique for Digital Image," *Proceeding of The International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*, vol. I, no. 2, pp. 14–17, 2012.
- [16] R. Sinhal and I. A. Ansari, "A blind and secured image watermarking method using DWT-DCT techniques," in *2018 Conference on Information and Communication Technology, CICT 2018*, 2018.
- [17] O. Jane, E. Elbaşı, and H. G. İlk, "Hybrid Non-Blind Watermarking Based on DWT and SVD," *Journal of Applied Research Technology*, vol. 12, no. 4, pp. 750–761, 2014.
- [18] N. Mohananthini and G. Yamuna, "A study of DWT-SVD based multiple watermarking scheme for medical images," *International Journal of Network Security*, vol. 17, no. 5, pp. 558–568, 2015.
- [19] M. M. Rahman, M. S. Ahammed, M. R. Ahmed, and M. N. Izhar, "A Semi Blind Watermarking Technique for Copyright Protection of Image Based on DCT and SVD Domain," *Global Journal of Research in Engineering*, vol. 16, no. 7, pp. 9–15, 2016.
- [20] H. Xu, X. Kang, Y. Wang, and Y. Wang, "Exploring robust and blind watermarking approach of colour images in DWT-DCT-SVD domain for copyright protection," *International Journal of Electronic Security and Digital Forensics*, vol. 10, no. 1, p. 79, 2018.
- [21] M. N. Do and M. Vetterli, "The contourlet transform: An efficient directional multiresolution image representation," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 14, no. 12, pp. 2091–2106, 2005.
- [22] S. Voloshynovskiy, A. Herrigel, N. Baumgaertner, and T. Pun, "A Stochastic Approach to Content Adaptive Digital Image Watermarking," *Proceedings of the Third International Workshop on Information Hiding*, pp. 211–236, 1999.
- [23] S. Voloshynovskiy, S. Pereira, V. Iquise, and T. Pun, "Attack modelling: Towards a second generation benchmark," *Signal Processing*, vol. 81, no. 6, pp. 1177–1214, 2001.
- [24] S. Pereira, S. Voloshynovskiy, and T. Pun, "Optimal transform domain watermark embedding via linear programming," *Signal Process. Spec. Issue Inf. Theor. Issues Digit. Watermarking*, 2001.
- [25] D. Setiadikarunia and D. E. Surbakti, "Blind Watermarking Adaptif pada Citra Digital Berdasarkan Noise Visibility Function dalam Domain DWT-DCT," *Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Multimedia 2015*, pp. 19–24, 2015.