

# Analisis *Watermarking* Citra Digital Berbasis *Contourlet Transform* dan DCT dalam Ruang Warna RGB, YCbCr, dan YIQ

Daniel Setiadikarunia<sup>1,\*</sup>, Agus Setiawan<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>*Program Studi Teknik Elektro, Universitas Kristen Maranatha  
Jl. Prof. Drg. Suria Sumantri, MPH. No. 65 Bandung, Indonesia*

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

<sup>2</sup>radiancharlot@hotmail.com

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

---

**Abstract**— This article discusses watermarking techniques for contourlet transform (CT)-based digital images, combined with the discrete cosine transform (DCT). Watermarks are inserted into one of the colour components of the host image's colour space, namely RGB, YCbCr, or YIQ. Level 2 contourlet transformation is applied to the colour component used for watermark insertion. The upper-right subband of the contourlet transform result is selected, divided into 4×4 blocks, and then DCT and zigzag scanning are applied to each block. The watermark used is a black-and-white (binary) image. To improve security and reduce spatial correlation, the watermark is scrambled using Arnold scrambling. The watermark is embedded in the host image by inserting a PN sequence corresponding to each watermark bit into the midband DCT coefficients of the 4×4 block. Test results show that the inserted image has a high level of imperceptibility (PSNR > 30 dB). The watermark is robust against JPEG compression with a minimum quality factor of 8, scaling of 75% and 125%, rotation of 180°, cropping of 20% with different cropping positions, and the addition of up to 5% Gaussian noise, but is not robust against 90° rotation and median filtering. Watermarks embedded in the YCbCr colour space in the Cb or Cr components, or in the YIQ colour space in the I or Q components, achieve optimal imperceptibility and robustness.

**Keywords**— digital image, contourlet transform, imperceptibility, robustness, watermarking, color space

**Abstract**— Artikel ini membahas teknik/metode watermarking untuk citra digital berbasis contourlet transform (CT) yang dikombinasikan dengan discrete cosine transform (DCT). Watermark disisipkan pada salah satu komponen warna dari ruang-ruang warna citra host, yaitu RGB, YCbCr, dan YIQ. Transformasi contourlet level 2 diterapkan pada komponen warna yang digunakan untuk penyisipan watermark. Subband kanan atas hasil transformasi contourlet dipilih dan dibagi menjadi blok-blok 4×4, kemudian DCT dan zigzag scanning diterapkan pada tiap blok 4×4. Watermark yang digunakan berupa citra hitam-putih (biner). Untuk meningkatkan keamanan dan mengurangi korelasi spasial, pada watermark dilakukan pengacakan dengan Arnold scrambling. Watermark disisipkan pada citra host dengan cara menyisipkan PN sequence yang sesuai dengan masing-masing bit watermark pada koefisien-koefisien midband DCT blok 4×4. Hasil uji coba menunjukkan bahwa citra hasil penyisipan mempunyai tingkat imperceptibility yang baik (PSNR > 30 dB). Watermark bersifat tahan (robust) terhadap kompresi JPEG dengan faktor kualitas minimal 8, scaling 75% dan 125%, rotasi 180°, cropping 20% dengan posisi cropping yang berbeda, serta penambahan Gaussian noise hingga 5%, namun tidak tahan terhadap rotasi 90° dan median filtering. Watermark yang disisipkan dalam ruang warna YCbCr pada komponen warna Cb atau Cr, atau dalam ruang warna YIQ pada komponen warna I atau Q, menghasilkan tingkat imperceptibility dan robustness yang optimal.

## I. PENDAHULUAN

Informasi dalam bentuk multimedia digital sangat mudah diduplikasi maupun dimodifikasi oleh pihak yang tidak berwenang sehingga menimbulkan masalah terkait keaslian (otentikasi) dan pelanggaran hak cipta atas konten yang beredar [1],[2],[3]. Salah satu solusi yang banyak digunakan untuk mengatasi masalah ini adalah *digital watermarking*.

*Digital watermarking* merupakan teknik untuk menyisipkan informasi tambahan, yang disebut *watermark*, ke dalam data multimedia digital [1],[4]. Informasi tersebut nantinya dapat diambil kembali dan berfungsi sebagai bukti kepemilikan maupun keaslian dari suatu konten digital. Dalam kasus citra digital, *watermark* ditanamkan pada citra utama (*cover/host image*)[5]. Penyisipan *watermark* idealnya tidak menimbulkan perubahan visual yang dapat terlihat (*imperceptibility*) serta harus mampu bertahan (*robust*) terhadap berbagai bentuk pemrosesan citra.

Secara umum, metode *watermarking* terbagi menjadi dua berdasarkan domain penyisipannya, yaitu domain spasial dan domain transformasi [6],[7]. Teknik pada domain spasial lebih sederhana dibandingkan domain transformasi. Namun, pendekatan berbasis transformasi dinilai lebih efektif dalam mencapai tingkat *imperceptibility* dan *robustness* yang tinggi yang merupakan syarat penting suatu algoritma *watermarking* dibandingkan dengan pendekatan berbasis spasial [8],[9]. Penelitian di bidang ini terus berkembang untuk menghasilkan teknik *watermarking* dengan kualitas yang semakin baik dalam aspek *imperceptibility* dan *robustness*.

Pada domain spasial, penyisipan *watermark* dilakukan secara langsung dengan memodifikasi nilai intensitas piksel pada citra digital. Metode paling sederhana biasanya dilakukan dengan mengganti bit paling rendah atau *least significant bit* (LSB) dari intensitas piksel [10],[11]. Sementara itu, pada domain transformasi, *watermark* ditanamkan dengan cara memodifikasi nilai koefisien hasil transformasi. Beberapa transformasi yang umum digunakan dalam teknik ini meliputi *discrete Fourier transform* (DFT) [12],[13],[14], *discrete cosine transform* (DCT) [7],[15],[16],[17], *discrete wavelet transform* (DWT) [18],[19],[20],[21], serta *fast Hadamard transform* (FHT) [22],[23]. Dibandingkan dengan domain spasial, teknik *watermarking* berbasis transformasi dinilai lebih efektif dalam mencapai dua aspek penting, yaitu ketidakterlihatan *watermark* (*imperceptibility*) dan ketahanan *watermark* (*robustness*) [8],[9].

Dalam domain DCT, distribusi komponen frekuensi citra dapat dijelaskan sebagai berikut: bagian frekuensi rendah berada di sudut kiri atas matriks koefisien DCT, sedangkan frekuensi tinggi berada di sudut kanan bawah. Koefisien frekuensi rendah memiliki nilai besar karena merepresentasikan mayoritas energi citra. Oleh karena mata manusia sangat peka terhadap perubahan pada frekuensi rendah, penyisipan *watermark* di daerah ini akan mudah terlihat. Sebaliknya, koefisien frekuensi tinggi bernilai kecil dan kurang sensitif bagi penglihatan manusia, tetapi sering kali hilang akibat kompresi atau pengolahan sinyal. Hal ini menyebabkan *watermark* yang disisipkan pada frekuensi tinggi lebih sulit dideteksi secara visual, namun rentan hilang akibat pemrosesan citra. Sebaliknya, jika *watermark* ditanamkan pada frekuensi rendah, *watermark* akan lebih tahan terhadap pemrosesan, tetapi berisiko menimbulkan perubahan visual yang lebih mudah terlihat [24].

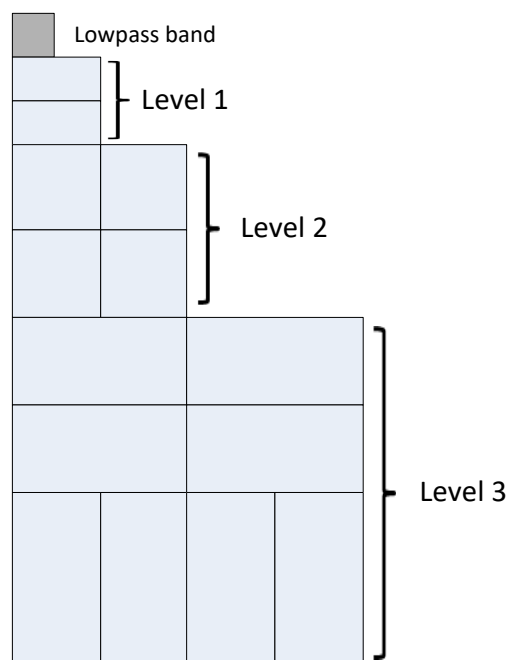
Akhir-akhir ini berkembang teknik *watermarking* menggunakan *contourlet transform* [25]. Zhou dan Li [26] menggunakan *subband* frekuensi rendah hasil dekomposisi *contourlet* level tiga untuk menyisipkan *watermark*. *Subband* frekuensi rendah dibagi menjadi blok-blok *nonoverlap*, kemudian dihitung energi masing-masing blok. Blok-blok dengan energi yang besar dipilih untuk menyisipkan *watermark*. Hadi dan Ayubi [27] melakukan penyisipan *watermark* berdasarkan *contourlet transform* (CT), *singular value decomposition* (SVD), dan *chaotic cellular automata* (CCA). CCA digunakan untuk

mengkripsi *watermark* dan menentukan lokasi blok hasil CT untuk penyisipan *watermark*. Penyisipan *watermark* dilakukan pada elemen matriks singular kiri hasil SVD blok hasil CT. George dkk. [28] menggunakan CT dan SVD untuk *watermarking*, mirip dengan yang digunakan oleh Hadi dan Ayubi. Namun, George dkk. [28] menyisipkan nilai *singular* dari *watermark* pada nilai *singular* dari *subband* hasil CT level dua citra *host*. Setiadarunia dkk. [29] menyisipkan *watermark* pada koefisien DCT dengan level intensitas penyisipan berdasarkan perhitungan *noise visibility function* dari *subband* hasil CT citra *host*.

Artikel ini mengulas teknik *watermarking* citra digital yang diusulkan, yaitu berbasis *contourlet transform* yang dikombinasikan dengan *discrete cosine transform* yang diterapkan dalam ruang warna berbeda (RGB, YCbCr, dan YIQ) sehingga diketahui bagaimana tingkat *imperceptibility* dari citra yang telah disisipi *watermark* dan tingkat ketahanan (*robustness*) dari *watermark* untuk masing-masing ruang warna.

## II. METODOLOGI

Transformasi *contourlet* adalah sebuah metode dekomposisi citra yang efektif dalam merepresentasikan kontur halus pada berbagai arah dalam citra digital [30]. Transformasi *contourlet* mengombinasikan dua tahap *filter bank*, yaitu *Laplacian pyramid* (LP) untuk mendapatkan struktur multiresolusi dan *directional filter bank* (DFB) untuk mendeteksi informasi arah sehingga citra dipecah menjadi kumpulan *subband* terarah pada berbagai skala [31]. Dalam transformasi *contourlet*, setiap level dekomposisi menghasilkan jumlah *subband* arah yang dinyatakan sebagai  $2^n$  untuk setiap level, dengan  $n$  merupakan bilangan bulat positif. Sebagai contoh, jika citra didekomposisi hingga tiga level, maka  $n = 1, 2, \text{ dan } 3$  sehingga dihasilkan masing-masing 2, 4, dan 8 *subband*, sebagaimana sering digambarkan dalam literatur transformasi *contourlet* seperti pada Gambar 1.



Gambar 1 *Contourlet decomposition*

A. *Prosedur Penyisipan Watermark*

Secara umum, diagram blok penyisipan *watermark* ke dalam citra digital berwarna ditunjukkan pada Gambar 2. Proses dimulai dengan memilih komponen warna dari ruang warna tertentu pada citra *host* untuk disisipi *watermark*. Penelitian ini menggunakan beberapa ruang warna, yaitu RGB, YCbCr, dan YIQ. Karena citra *host* berasal dari format RGB, konversi ke ruang warna lain diperlukan apabila *watermark* akan ditanamkan pada komponen warna selain *red*, *green*, atau *blue*. Setelah komponen warna ditentukan, dilakukan transformasi *contourlet* hingga level dua untuk memperoleh representasi multiresolusi dan multiarah. Hasil dekomposisi kemudian dibagi menjadi blok-blok berukuran 4x4, pada setiap blok diterapkan *discrete cosine transform* (DCT) dan proses *zigzag scanning*. *Watermark* yang digunakan berupa citra biner yang terlebih dahulu diacak menggunakan *Arnold scrambling* untuk meningkatkan keamanan sekaligus mengurangi korelasi spasial antar piksel *watermark*. Tahap penyisipan dilakukan dengan menanamkan *PN sequence* sesuai bit *watermark* pada koefisien *mid-band* hasil DCT blok 4x4. Setelah seluruh bit *watermark* tertanam, citra *host* direkonstruksi kembali dengan menerapkan proses inversi dari pemrosesan citra yang dilakukan sebelumnya sehingga diperoleh citra *host* dengan *watermark* yang tersembunyi.

Prosedur penyisipan *watermark* yang diusulkan adalah sebagai berikut:

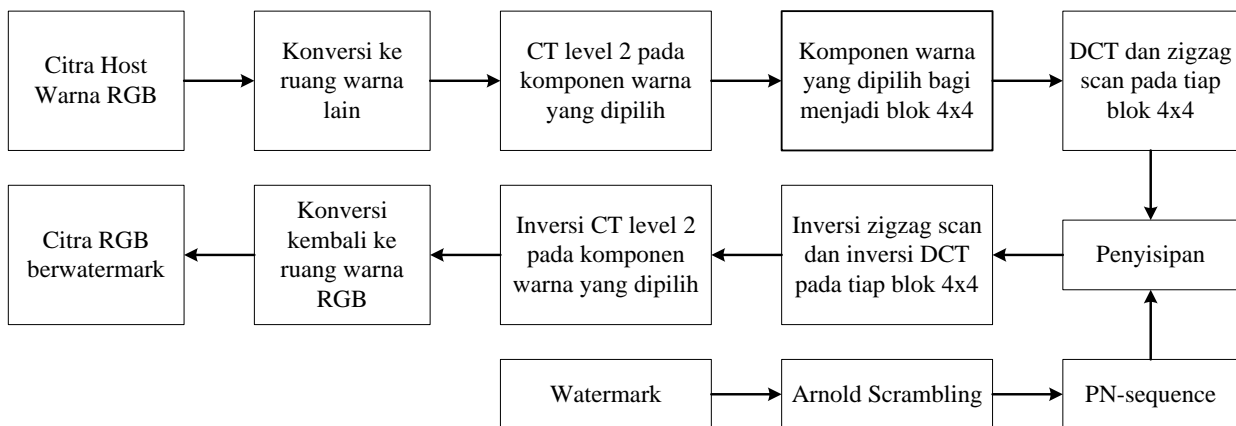
1. Lakukan pembacaan citra *host* RGB 512x512 dan *watermark* biner 64x64.
2. Apabila penyisipan dilakukan pada ruang warna selain RGB, konversi terlebih dahulu citra *host* ke ruang warna yang sesuai.
3. Pilih salah satu komponen warna untuk proses penyisipan *watermark*, kemudian lakukan transformasi *contourlet* level 2 sehingga diperoleh 4 *subband*.
4. Dari keempat *subband* tersebut pilih sebuah *subband*, kemudian pecah menjadi blok 4x4. Pada penelitian ini *subband* kanan atas yang dipilih untuk penyisipan karena hasil ekstraksinya paling baik dibandingkan *subband* yang lain.
5. Lakukan DCT untuk setiap blok 4x4 yang diperoleh di atas dan lakukan *zigzag scanning* pada tiap blok 4x4 hasil DCT.
6. Lakukan *Arnold scrambling* pada *watermark*.
7. Bangkitkan dua *PN sequence* masing-masing 6 bit, yaitu *PN0* dan *PN1*.
8. Lakukan penyisipan *watermark* dengan cara:

jika bit *watermark* 1, maka

$$DCT\_mid'(i) = DCT\_mid(i) + \alpha \cdot PN1(i), i = 1, \dots, 6$$

jika bit *watermark* 0, maka

$$DCT\_mid'(i) = DCT\_mid(i) + \alpha \cdot PN0(i), i = 1, \dots, 6$$



Gambar 2 Diagram blok proses penyisipan *watermark*

dengan  $DCT_{mid}$  adalah koefisien DCT *midband* dalam blok  $4 \times 4$ ,  $DCT_{mid}'$  adalah koefisien DCT *midband* dalam blok  $4 \times 4$  setelah penyisipan, dan  $\alpha$  adalah konstanta kekuatan penyisipan *watermark* yang nilainya ditentukan berdasarkan hasil pengujian yang memberikan tingkat *imperceptibility* dan ketahanan *watermark* yang baik.

9. Lakukan inversi *zigzag scanning*.
10. Lakukan inversi DCT.
11. Lakukan inversi transformasi *contourlet* level 2 pada komponen warna yang dipilih untuk penyisipan.
12. Konversikan kembali ke ruang warna RGB untuk mendapatkan citra *host* yang telah disisipi *watermark*.

Untuk mengevaluasi tingkat *imperceptibility* dari citra hasil penyisipan *watermark*, maka digunakan perhitungan *peak signal to noise ratio* (PSNR) dengan persamaan (1):

$$PSNR = 10 \log 255^2 / MSE \tag{1}$$

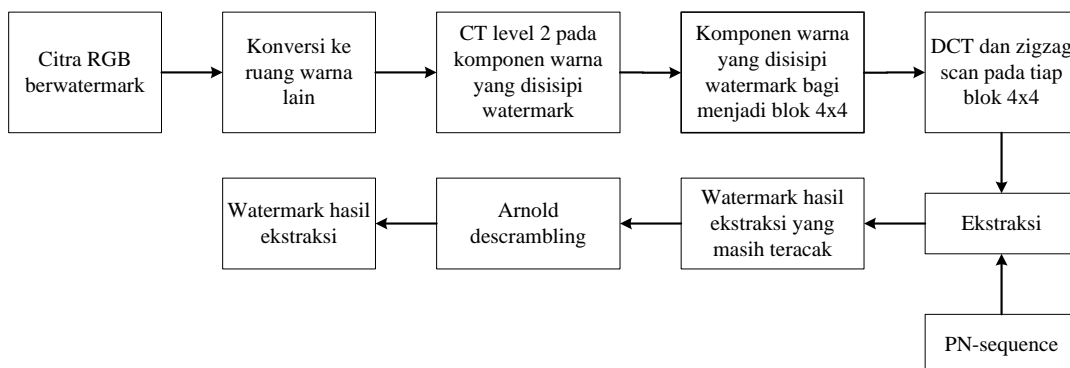
dengan MSE (*mean square error*) menyatakan rata-rata kesalahan atau perbedaan antara citra *host* asli dan citra *host* yang telah disisipi *watermark* yang dihitung dengan persamaan (2):

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

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

### B. Prosedur Ekstraksi Watermark

Prosedur ekstraksi *watermark* pada citra *host* pada dasarnya merupakan kebalikan dari tahapan penyisipan. Prosedur ekstraksi *watermark* ditunjukkan pada Gambar 3. Pertama, citra *host* RGB yang telah berisi *watermark* dikonversi ke ruang warna yang sama dengan ruang warna yang digunakan saat proses penyisipan. Selanjutnya, pada komponen warna tempat *watermark* disisipkan, dilakukan transformasi *contourlet* level 2, dan hasil dekomposisinya dibagi menjadi blok-blok berukuran  $4 \times 4$ . DCT dan *zigzag scanning* diterapkan pada masing-masing blok  $4 \times 4$ . *Watermark* diekstraksi dengan cara melakukan korelasi antara koefisien DCT *midband* dengan  $PN_0$  dan  $PN_1$ . Jika hasil korelasi dengan  $PN_1$  lebih besar daripada korelasi dengan  $PN_0$ , bit *watermark* bernilai 1, sedangkan jika lebih kecil, bit *watermark* bernilai 0. Pada tahap ini *watermark* hasil ekstraksi masih dalam kondisi teracak sehingga dilakukan Arnold *descrambling* untuk mendapatkan *watermark* hasil ekstraksi yang telah terdeskripsi.



Gambar 3 Diagram blok proses ekstraksi *watermark*

Prosedur ekstraksi *watermark* adalah sebagai berikut:

1. Baca citra *host* RGB yang sudah berisi *watermark*.
2. Konversi ke ruang warna yang sesuai dengan ruang warna yang digunakan ketika penyisipan.
3. Lakukan transformasi *contourlet* level 2 pada komponen warna tempat *watermark* disisipkan.
4. Ambil *subband* kanan atas dan pecah menjadi blok-blok berukuran 4×4, kemudian lakukan DCT pada masing-masing blok 4×4.
5. Lakukan *zigzag scanning* pada masing-masing blok 4×4 hasil DCT.
6. Bangkitkan kembali *PN0* dan *PN1* seperti pada proses penyisipan.
7. Bandingkan korelasi antara *DCT\_mid* tiap blok 4×4 dengan *PN1* dan *PN0*:  
jika (korelasi *DCT\_mid* dengan *PN1*) > (korelasi *DCT\_mid* dengan *PN0*), bit *watermark* bernilai 1.  
jika (korelasi *DCT\_mid* dengan *PN1*) < (korelasi *DCT\_mid* dengan *PN0*), bit *watermark* bernilai 0.
8. Lakukan *Arnold descrambling* untuk memperoleh *watermark* hasil ekstraksi.

Tingkat *robustness* dari *watermark* yang tertanam dalam citra diukur menggunakan nilai BCR (*bit correct ratio*). Metode ini digunakan untuk menilai tingkat kesamaan antara dua data biner, yaitu *watermark* asli dan *watermark* hasil ekstraksi. Perhitungan BCR dilakukan dengan membandingkan jumlah bit yang identik pada posisi yang sama dari kedua data biner terhadap total jumlah bit. Nilai BCR yang lebih besar menunjukkan tingkat kemiripan yang semakin besar. Jika BCR mencapai 100%, kedua data biner tersebut dianggap identik. Rumus perhitungan BCR ditunjukkan pada persamaan (3).

$$BCR = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \overline{W_{(i,j)} \oplus W'_{(i,j)}}}{MN} \times 100\% \quad (3)$$

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

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pengujian ini, *watermark* disisipkan pada citra *host* dalam komponen warna dari ruang-ruang warna yang digunakan sebagai berikut:

- Untuk ruang warna RGB, *watermark* disisipkan dalam komponen warna R, G, atau B.
- Untuk ruang warna YCbCr, *watermark* disisipkan dalam komponen warna Y, Cb, atau Cr.
- Untuk ruang warna YIQ, *watermark* disisipkan dalam komponen warna Y, I, atau Q.

#### A. Hasil Uji Penyisipan

Tabel I dan Tabel II menunjukkan hasil pengujian penyisipan *watermark* menggunakan teknik *watermarking* yang dikembangkan dalam penelitian ini. Notasi R/Y/Y, G/Cb/I, dan B/Cr/Q merepresentasikan komponen warna yang digunakan untuk penyisipan *watermark*. Contoh notasi R/Y/Y dengan R untuk *red* dalam ruang warna RGB, Y untuk luminansi dalam ruang warna YCbCr, dan Y untuk luminansi dalam ruang warna YIQ.

Dari Tabel I dan Tabel II diperoleh bahwa kualitas citra hasil penyisipan *watermark* dengan  $\alpha = 5, 10, 15, 20, 25, 30,$  dan  $35$  dalam ruang warna RGB paling baik, diikuti secara rata-rata oleh penyisipan dalam ruang warna YIQ dan YCbCr. Untuk kualitas *watermark* hasil ekstraksi yang paling baik adalah yang disisipkan dalam ruang warna YCbCr dan YIQ (rata-rata kualitasnya hampir sama), diikuti oleh *watermark* yang disisipkan dalam ruang RGB.

#### B. Hasil Uji Ketahanan Watermark

Untuk menguji ketahanan *watermark*, maka pada citra *host* yang telah disisipi *watermark* dilakukan pemrosesan citra, kemudian diuji apakah *watermark* masih dapat diekstraksi kembali. Pengujian ketahanan *watermark* dilakukan pada citra *host* yang telah disisipi *watermark* dengan konstanta kekuatan penyisipan  $\alpha = 25$  karena nilai kualitas citra *host* hasil penyisipan masih baik, yaitu nilai PSNR lebih besar dari 30 dB dan *watermark* hasil ekstraksinya memiliki nilai BCR lebih besar dari 90%.



















Tabel III menunjukkan bahwa *watermark* yang disisipkan dengan teknik *watermarking* yang dikembangkan dalam penelitian ini umumnya tahan terhadap beberapa pemrosesan citra yang diberikan, yaitu berupa kompresi JPEG dengan faktor kualitas ( $Q$ ) minimal 8, *scaling* 75% dan 125%, rotasi 180°, *cropping* 20% dengan posisi *cropping* yang berbeda, dan penambahan *Gaussian noise* sampai 5%. *Watermark* yang disisipkan tidak tahan terhadap rotasi 90° dan *median filtering*.

*Watermark* yang disisipkan pada komponen warna G untuk ruang warna RGB, *watermark* yang disisipkan pada komponen warna Cb untuk ruang warna YCbCr, dan *watermark* yang disisipkan pada komponen warna Q untuk ruang warna YIQ paling tahan terhadap pemrosesan citra yang dilakukan dalam pengujian pada penelitian ini.

*Watermark* yang disisipkan pada komponen warna Cb untuk ruang warna YCbCr dan *watermark* yang disisipkan pada komponen warna Q untuk ruang warna YIQ secara rata-rata memiliki ketahanan yang sama dan lebih baik dibandingkan dengan *watermark* yang disisipkan dalam komponen warna G untuk ruang warna RGB.

Secara rata-rata, *watermark* yang disisipkan pada komponen warna Cb dan Cr untuk ruang warna YCbCr dan *watermark* yang disisipkan pada komponen warna I dan Q untuk ruang warna YIQ memiliki ketahanan yang lebih baik daripada yang disisipkan pada komponen Y maupun komponen RGB. Hal ini komponen Y atau intensitas/nilai piksel RGB umumnya paling dipengaruhi oleh pemrosesan citra yang dilakukan sehingga *watermark* yang disisipkan pada komponen-komponen tersebut akan banyak terpengaruh. Untuk kompresi JPEG, tergantung pada tingkat kompresinya atau faktor kualitasnya. Untuk

TABEL I  
NILAI PSNR CITRA YANG DISISIPI WATERMARK DAN NILAI BCR WATERMARK HASIL EKSTRAKSI UNTUK  $\alpha = 25$

Ruang Warna	Komponen Warna yang Disisipi Watermark					
	R/Y/Y		G/Cb/I		B/Cr/Q	
	PSNR (dB)	BCR (%)	PSNR (dB)	BCR (%)	PSNR (dB)	BCR (%)
RGB	 37,8820	 96,9482	 37,8044	 96,8506	 37,8949	 96,2646
YCbCr	 31,7301	 97,5586	 31,6306	 99,8535	 32,7710	 99,8291
YIQ	 33,0877	 96,9727	 34,4265	 99,8535	 32,1861	 99,9756

faktor kualitas yang lebih rendah (tingkat kompresi yang lebih tinggi), maka ketahanan *watermark* yang disisipkan pada Y lebih tinggi, karena makin tinggi tingkat kompresinya, semakin banyak komponen krominansi yang terpengaruh. Dari Tabel III terlihat nilai BCR komponen luminansi Y lebih tinggi daripada komponen krominansi untuk kompresi JPEG dengan faktor kualitas  $Q = 8$ . Untuk  $Q = 9$ , nilai BCR komponen Y umumnya lebih rendah daripada komponen krominansi.

Untuk kompresi JPEG, ketahanan watermark bergantung pada tingkat kompresi atau faktor kualitasnya. Pada faktor kualitas yang lebih rendah (tingkat kompresi yang lebih tinggi), ketahanan *watermark* yang disisipkan pada komponen Y lebih tinggi karena semakin tinggi tingkat kompresi, semakin banyak komponen krominansi yang terpengaruh. Dari Tabel III terlihat bahwa nilai BCR pada komponen luminansi Y lebih tinggi dibandingkan dengan komponen krominansi untuk kompresi JPEG dengan faktor kualitas  $Q = 8$ . Sementara itu, untuk  $Q = 9$ , nilai BCR komponen Y umumnya lebih rendah dibandingkan dengan komponen krominansi.

Ketika dilakukan rotasi  $90^\circ$ , maka posisi *watermark* dalam citra berubah sehingga *watermark* tidak dapat diekstraksi dengan baik, sama halnya dengan rotasi  $180^\circ$ . Nilai BCR yang dihasilkan relatif kecil, yaitu sekitar 50 - 60%. Hanya saja untuk rotasi  $180^\circ$  citra *watermark* yang diekstraksi masih dapat dikenali, walaupun tidak begitu jelas.

TABEL II  
NILAI PSNR CITRA YANG DISISIPI WATERMARK DAN NILAI BCR WATERMARK HASIL EKSTRAKSI UNTUK  $\alpha = 5 - 35$

Ruang Warna	$\alpha$	Komponen Warna Yang Disisipi Watermark					
		R/Y/Y		G/Cb/I		B/Cr/Q	
		PSNR (dB)	BCR (%)	PSNR (dB)	BCR (%)	PSNR (dB)	BCR (%)
RGB	5	51,5082	81,0791	51,4593	81,0059	51,5262	80,6885
	10	45,7981	90,6738	45,7420	91,4063	45,8133	90,6738
	15	42,2436	93,8477	42,1800	94,1650	42,2581	93,5059
	20	39,7964	95,9229	39,7262	96,1182	39,8101	95,5566
	25	37,8820	96,9482	37,8044	96,8506	37,8949	96,2646
	30	36,2694	97,8271	36,1856	97,8271	36,2805	97,6807
	35	34,9872	98,2910	34,8955	98,4619	34,9965	98,1689
YCbCr	5	44,5808	82,9590	44,4813	96,1670	45,4339	95,1416
	10	39,4539	92,5781	39,3408	99,4629	40,4310	99,3164
	15	36,0287	95,1904	35,9188	99,6826	37,0461	99,5361
	20	33,6264	96,9482	33,5190	99,8291	34,6574	99,7559
	25	31,7301	97,5586	31,6306	99,8535	32,7710	99,8291
	30	30,1287	98,5596	30,0333	99,9512	31,1786	99,9023
	35	28,8508	98,9502	28,7628	99,9512	29,9066	99,9023
YIQ	5	46,7028	81,7383	48,0457	95,1660	46,0282	97,7539
	10	41,0182	91,6016	42,3180	98,8281	40,0438	99,5117
	15	37,4513	94,1895	38,8327	99,2920	36,5912	99,8291
	20	35,0059	96,3135	36,3242	99,6094	34,1010	99,9268
	25	33,0877	96,9727	34,4265	99,8535	32,1861	99,9756
	30	31,4718	97,9980	32,8355	99,8535	30,6151	99,9756
	35	30,1783	98,5840	31,4986	99,8535	29,2927	99,9756



TABEL III  
NILAI BCR WATERMARK HASIL EKSTRAKSI SETELAH DILAKUKAN PEMROSESAN CITRA UNTUK  $\alpha = 25$

<i>Image Processing</i>	BCR (%)								
	RGB			YCbCr			YIQ		
	R	G	B	Y	Cb	Cr	Y	I	Q
JPEG compression $Q = 8$	64,404	76,001	55,493	91,870	72,022	73,682	91,235	58,154	62,964
JPEG compression $Q = 9$	71,118	88,623	60,523	93,237	96,655	97,656	89,282	72,778	89,404
Scaling 75%	90,356	90,210	90,015	92,505	99,048	98,560	91,040	98,438	99,463
Scaling 125%	95,483	95,557	94,946	96,533	99,707	99,683	95,825	99,634	99,902
Rotation 90°	49,634	50,293	50,269	49,927	48,975	47,144	50,269	47,339	49,976
Rotation 180°	58,423	58,350	57,935	58,350	59,009	58,838	58,398	58,008	58,325
Lower side cropping 20%	88,379	88,428	88,062	88,940	91,724	90,332	88,428	90,576	90,918
Left side cropping 20%	88,623	88,867	92,481	89,136	89,746	92,212	88,867	92,090	91,480
Gaussian noise addition 3%	86,694	85,938	86,035	91,577	92,969	92,603	89,941	90,356	92,017
Gaussian noise addition 5%	80,151	78,125	79,541	87,158	88,721	87,549	85,400	84,497	86,475
Median filtering 3×3	58,789	58,081	57,861	58,203	60,278	61,353	60,059	61,621	63,550
Median filtering 5×5	44,898	44,556	45,874	43,604	45,508	45,508	42,529	45,410	43,945

Penambahan Gaussian noise mengakibatkan penambahan atau pengurangan nilai piksel citra. Hal ini tidak terlalu memengaruhi watermark yang disisipkan pada citra selama level noise relatif rendah. Dari hasil pengujian pada Tabel III dapat dilihat makin tinggi level noise yang ditambahkan, nilai BCR makin rendah. Untuk penambahan Gaussian noise 5%, watermark masih tahan, masih dapat diekstraksi dengan nilai BCR lebih besar dari 80%.

Median filtering adalah pemrosesan citra yang mengganti nilai piksel tengah kernel  $N \times N$  dengan nilai median dari seluruh piksel dalam kernel tersebut setelah diurutkan dari yang terkecil sampai terbesar. Oleh karena itu, pada citra yang dilakukan median filtering, maka nilai piksel seluruh citra berubah sehingga watermark yang disisipkan pada citra tersebut tidak dapat diekstraksi kembali.

#### IV. SIMPULAN

Dari hasil pengujian dan analisis penyisipan watermark menggunakan teknik watermarking berbasis *contourlet transform* yang digabung dengan *discrete cosine transform* yang diusulkan, diperoleh simpulan bahwa teknik watermarking yang dikembangkan dapat menghasilkan kualitas (*imperceptibility*) citra hasil penyisipan yang baik dengan nilai PSNR lebih besar dari 30 dB untuk nilai konstanta kekuatan penyisipan ( $\alpha$ ) sampai 30 dan watermark dapat diekstraksi kembali dengan nilai BCR lebih besar dari 95% untuk penyisipan pada masing-masing komponen warna dalam ruang-ruang warna citra yang digunakan. Kualitas citra hasil penyisipan watermark dengan  $\alpha = 5, 10, 15, 20, 25, 30,$  dan 35 dalam ruang warna RGB paling baik, diikuti secara rata-rata oleh penyisipan dalam ruang warna YIQ, dan YCbCr. Untuk kualitas watermark hasil ekstraksi yang paling baik adalah yang disisipkan dalam ruang warna YCbCr dan YIQ (rata-rata kualitasnya hampir sama), diikuti oleh watermark yang disisipkan dalam ruang RGB. Watermark yang disisipkan umumnya tahan terhadap beberapa pemrosesan citra yang diberikan, yaitu berupa kompresi JPEG dengan faktor kualitas ( $Q$ ) minimal 8, scaling 75% dan 125%, rotasi 180°, cropping 20% dengan posisi cropping yang berbeda, dan penambahan Gaussian noise sampai 5%. Watermark yang disisipkan tidak tahan terhadap rotasi 90° dan median filtering. Dapat dicoba

untuk dikembangkan teknik *watermarking* berbasis *deep neural network* atau kecerdasan artifisial agar *watermark* tahan terhadap rotasi maupun *median filtering*.

*Watermark* yang disisipkan pada komponen warna Cb untuk ruang warna YCbCr dan *watermark* yang disisipkan pada komponen warna Q untuk ruang warna YIQ secara rata memiliki ketahanan yang sama dan lebih baik dibandingkan dengan *watermark* yang disisipkan dalam komponen warna G untuk ruang warna RGB. Untuk memperoleh hasil *watermarking* yang optimal, maka *watermark* dapat disisipkan dalam ruang warna YCbCr pada komponen warna Cb atau Cr, atau dalam ruang warna YIQ pada komponen warna I atau Q karena akan menghasilkan tingkat *imperceptibility* dan *robustness* yang baik.

#### UCAPAN TERIMA-KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Kristen Maranatha atas dukungan dana dalam penelitian ini.

#### DAFTAR REFERENSI

- [1] Z. Li, H. Zhang, X. Liu, C. Wang, and X. Wang, "Blind and safety-enhanced dual watermarking algorithm with chaotic system encryption based on RHFMT and DWT-DCT," *Digital Signal Processing*, vol. 115, Art. no. 103062, 2021, doi: 10.1016/j.dsp.2021.103062.
- [2] L. Zhang and D. Wei, "Robust and reliable image copyright protection scheme using downsampling and block transform in integer wavelet domain," *Digital Signal Processing*, vol. 106, Art. no. 102805, 2020, doi: 10.1016/j.dsp.2020.102805.
- [3] X. Zhang, Q. Su, Z. Yuan, and D. Liu, "An efficient blind color image watermarking algorithm in spatial domain combining discrete Fourier transform," *Optik*, vol. 219, Art. no. 165272, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.ijleo.2020.165272.
- [4] A. K. Abdulrahman and S. Öztürk, "A novel hybrid DCT and DWT based robust watermarking algorithm for color images," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 78, no. 12, pp. 17027–17055, 2019, doi: 10.1007/s11042-018-7085-z.
- [5] I. J. Cox, M. L. Miller, J. A. Bloom, J. Fridrich, and T. Kalker, *Digital Watermarking and Steganography*, 2nd ed. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, 2008, doi: 10.1016/B978-0-12-372585-1.X5001-3.
- [6] S. W. Byun, H. S. Son, and S. P. Lee, "Fast and robust watermarking method based on DCT specific location," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 123441–123454, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2931039.
- [7] Z. Yuan, D. Liu, X. Zhang, and Q. Su, "New image blind watermarking method based on two-dimensional discrete cosine transform," *Optik*, vol. 204, Art. no. 164152, 2020, doi: 10.1016/j.ijleo.2019.164152.
- [8] V. M. Potdar, S. Han, and E. Chang, "A survey of digital image watermarking techniques," in *Proc. 3rd IEEE Int. Conf. Industrial Informatics*, Perth, Australia, 2005, pp. 709–716, doi: 10.1109/INDIN.2005.1560462.
- [9] 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.
- [10] C. K. Chan and L. M. Cheng, "Hiding data in images by simple LSB substitution," *Pattern Recognition*, vol. 37, no. 3, pp. 469–474, 2004, doi: 10.1016/j.patcog.2003.08.007.
- [11] M. El-Gayyar and J. von zur Gathen, "Watermarking techniques in spatial domain," Tech. Rep., University of Bonn, Bonn, Germany, 2006.
- [12] M. Cedillo-Hernandez, F. Garcia-Ugalde, M. Nakano-Miyatake, and H. Perez-Meana, "Robust watermarking method in DFT domain for effective management of medical imaging," *Signal, Image and Video Processing*, vol. 9, no. 5, pp. 1163–1178, 2015, doi: 10.1007/s11760-013-0555-x.
- [13] N. Jimson and K. Hemachandran, "DFT-based coefficient exchange digital image watermarking," in *Proc. 2nd Int. Conf. Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)*, Madurai, India, 2018, pp. 1292–1297, doi: 10.1109/ICCONS.2018.8663122.
- [14] K. Fares, K. Amine, and E. Salah, "A robust blind color image watermarking based on Fourier transform domain," *Optik*, vol. 208, Art. no. 164562, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.ijleo.2020.164562.
- [15] J. Li and C. Zhang, "Blind and robust watermarking scheme combining bimodal distribution structure with iterative selection method," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 79, no. 1–2, pp. 1239–1260, 2020, doi: 10.1007/s11042-019-08213-9.
- [16] M. Moosazadeh and G. Ekbatanifard, "A new DCT-based robust image watermarking method using teaching-learning-based optimization," *Journal of Information Security and Applications*, vol. 47, pp. 28–38, Aug. 2019, doi:

10.1016/j.jisa.2019.04.001.

- [17] M. Lebcir, S. Awang, and A. Benziane, "Robust blind watermarking approach against compression for fingerprint image using 2D-DCT," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 81, no. 15, pp. 21417–21437, 2022, doi: 10.1007/s11042-022-12365-6.
- [18] K. J. Giri and R. Bashir, "A block-based watermarking approach for color images using discrete wavelet transformation," *International Journal of Information Technology*, vol. 10, no. 2, pp. 227–234, 2018, doi: 10.1007/s41870-017-0075-y.
- [19] C. Pradhan, "Robust and blind watermarking using Arnold 4D cat map in discrete wavelet," *International Journal of Information Technology*, vol. 12, no. 2, pp. 457–466, 2020, doi: 10.1007/s41870-019-00341-7.
- [20] Y. Yuan, J. Li, J. Liu, U. A. Bhatti, Z. Liu, and Y.-W. Chen, "Robust zero-watermarking algorithm based on discrete wavelet transform and daisy descriptors for encrypted medical image," *CAAI Transactions on Intelligence Technology*, vol. 9, no. 1, pp. 124–136, 2024, doi: 10.1049/cit2.12282.
- [21] Y. Hua, X. Xi, C. Qu, J. Du, M. Weng, and B. Ye, "An adaptive watermarking for remote sensing images based on maximum entropy and discrete wavelet transformation," *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, vol. 18, no. 1, pp. 217–236, 2024, doi: 10.3837/tiis.2024.01.011.
- [22] 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, doi: 10.3923/itj.2010.1369.1375.
- [23] E. S. Fami, S. Samavi, H. R. Kaviani, and Z. M. Radani, "Adaptive watermarking in Hadamard transform coefficients of textured image blocks," in *Proc. 16th CSI Int. Symp. Artificial Intelligence and Signal Processing (AISP)*, Shiraz, Iran, 2012, pp. 503–507, doi: 10.1109/AISP.2012.6313799.
- [24] J. R. Hernández, M. Amado, and F. Pérez-González, "DCT-domain watermarking techniques for still images: Detector performance analysis and a new structure," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 9, no. 1, pp. 55–68, Jan. 2000, doi: 10.1109/83.817598.
- [25] 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, Dec. 2005, doi: 10.1109/TIP.2005.859376.
- [26] S. Zhou and F. Li, "Watermark algorithm based on chaotic encryption and contourlet domain," in *Proc. IEEE Int. Conf. Computer Science and Automation Engineering (CSAE)*, Zhangjiajie, China, 2012, pp. 168–171, doi: 10.1109/CSAE.2012.6272751.
- [27] R. M. Hadi and P. Ayubi, "Blind digital image watermarking based on CT-SVD and chaotic cellular automata," in *Proc. 2nd Int. eConf. Computer and Knowledge Engineering (ICCKE)*, Mashhad, Iran, 2012, pp. 301–306, doi: 10.1109/ICCKE.2012.6395396.
- [28] J. George, S. Varma, and M. Chatterjee, "CT-SVD and Arnold transform for secure color image watermarking," *International Journal of Innovative Research in Information Security*, vol. 1, no. 2, pp. 59–65, 2014.
- [29] D. Setiadikarunia, R. A. Saragih, and Y. Susanthi, "Watermarking citra digital menggunakan contourlet transform, discrete cosine transform, dan noise visibility function," *Jurnal TELKA*, vol. 8, no. 1, pp. 24–35, 2022.
- [30] J. Sarvaiya, S. Patnaik, and H. Goklani, "Image registration using NSCT and invariant moment," *International Journal of Image Processing*, vol. 4, no. 2, pp. 119–132, 2010.
- [31] I. A. El Rube, M. A. El Nasr, M. M. Naim, and M. Farouk, "Contourlet versus wavelet transform for a robust digital image watermarking technique," *International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering*, vol. 3, no. 12, pp. 2303–2307, 2009.

**Daniel Setiadikarunia**, menyelesaikan pendidikan S3 di Institut Teknologi Bandung. Saat ini sebagai staf dosen pada Fakultas Teknologi dan Rekayasa Cerdas, Universitas Kristen Maranatha. Minat penelitian pada bidang pemrosesan sinyal dan citra, sistem komunikasi, akustik, dan kecerdasan artifisial.

**Agus Setiawan**, menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Elektro di Universitas Kristen Maranatha.