

Skema *Digital Watermarking* Citra dengan Metode TLDCCT dan *Chinese Remainder Theorem*

Danang Aditya Nugraha^{1,2}, Rahmadwati³, Muhammad Aziz Muslim⁴

Abstract— Currently, it is easy to access the wide variety of digital content on the internet, and therefore protection effort for digital content is an important problem that needs to solve. One kind of digital content that urgently needs to protect is digital image. Protection is needed not only for the copyright but also for the authenticity of digital image because there are so many advanced image editing software, that are easy to use. This paper presents a scheme for digital image protection through Digital Watermarking process using Two Level Discrete Cosine Transform, and Chinese Remainder Theorem for color digital image. This scheme has an ability to detect and to recover some kind of changes that occur in the watermarked image. This ability can be achieved because this scheme is categorized into fragile digital watermarking, thus, has low robustness. However, based on experiment results, this scheme shows a good invisibility. It is higher than the previous research and has a minimum distortion, proven by Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) value of around 45.

Intisari— Perlindungan terhadap konten digital merupakan permasalahan yang penting untuk diperhatikan, mengingat mudahnya akses terhadap berbagai konten digital dalam jaringan internet. Salah satu konten digital yang penting untuk dilindungi adalah citra digital, yang memerlukan perlindungan tidak hanya dalam hal hak cipta, namun dalam hal keaslian (*authenticity*). Ini dikarenakan semakin mudahnya perubahan pada citra digital dilakukan. Pada makalah ini disajikan suatu skema perlindungan citra digital melalui proses *Digital Watermarking* dengan menggunakan metode *Two Level Discrete Cosine Transform* dan metode *Chinese Remainder Theorem* terhadap citra digital berwarna. Skema yang disajikan dalam makalah ini memiliki kemampuan untuk melakukan deteksi dan pemulihan (*recovery*) apabila terdapat perubahan terhadap citra yang mengandung *watermark*. Hal ini dapat terjadi karena metode ini termasuk dalam jenis *fragile watermarking*, sehingga memiliki tingkat ketegaran (*robustness*) yang rendah. Namun, berdasarkan hasil uji coba, skema ini memiliki tingkat *invisibility* yang lebih tinggi dibandingkan skema pada penelitian sebelumnya, dengan tingkat distorsi yang minimum dengan nilai *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR) berkisar pada nilai 45.

Kata Kunci— Citra Digital, *Digital Watermarking*, *Authenticity*, *Two Level Discrete Cosine Transform*, *Chinese Remainder Theorem*, *Robustness*, *Invisibility*.

¹ Mahasiswa, Program Magister Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Jln Veteran Malang 65145, INDONESIA (e-mail: d4n4ng.adty@gmail.com)

² Dosen, Program Studi Teknik Informatika Universitas Kanjuruhan Malang, Jln S. Supriyadi No.48 Malang 65148, INDONESIA (e-mail: d4n4ng.adty@gmail.com)

^{3,4} Dosen, Program Magister Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Jln Veteran Malang 65145, INDONESIA (e-mail: rahma@ub.ac.id, muh_aziz@ub.ac.id)

I. PENDAHULUAN

Perlindungan terhadap berbagai konten digital yang mudah diakses dalam internet mulai menjadi perhatian saat ini. Citra digital dalam dunia internet sangat rentan, tidak hanya dalam hal kepemilikan, tetapi juga rentan terhadap penyalahgunaan. Dalam persebaran konten citra digital, jenis konten citra digital yang rentan terhadap penyalahgunaan adalah citra digital foto. Ini dikarenakan cukup rendahnya upaya perlindungan terhadap citra digital tersebut, terutama dengan adanya aplikasi penyuntingan (*editing*) citra digital, yang memungkinkan terjadinya penyalahgunaan citra. Hal ini diperparah dengan semakin pesatnya perkembangan teknologi penyuntingan citra digital, sehingga perubahan terhadap citra dokumen digital semakin sulit dideteksi oleh mata telanjang.

Berbagai bentuk perlindungan telah dilakukan untuk melindungi konten citra digital, di antaranya adalah melalui metode *watermarking*, *time stamping*, dan enkripsi. Salah satu solusi metode untuk perlindungan konten citra digital adalah *digital watermarking*. Metode ini memiliki kelebihan dibandingkan metode *watermarking* biasa. Metode *digital watermarking* tidak mengubah citra secara kasat mata, dalam artian perubahan yang dilakukan terhadap citra tidak tampak oleh mata. Metode *digital watermarking* ini secara umum terdiri atas dua tahap proses yaitu proses *generate watermark* dan proses *embedding watermark*.

Berbagai penelitian mengenai metode *digital watermarking* telah dilakukan. Penerapan proses penyisipan kode bahkan dapat dilakukan pada sinyal radio [1]. Meskipun kode tersebut ditambahkan dan tidak mengganggu konten siaran radio, tetapi masih dapat dideteksi. Salah satu penelitian *digital watermarking* pada citra digital yang telah dilakukan adalah penelitian mengenai skema proses *digital watermarking* dengan menggunakan konsep *Chinese Remainder Theorem* (CRT) [2]. Dalam penelitian tersebut, skema metode yang dihasilkan mampu melakukan proses deteksi perubahan citra dan juga mampu mengembalikan citra yang sudah diubah kembali seperti citra semula. Dua fitur ini sangat penting dalam perlindungan terhadap praktek perubahan/penyuntingan citra digital foto. Namun, metode ini tetap memiliki kekurangan, yang dikarenakan metode tersebut ditujukan sebagai bentuk perlindungan terhadap citra digital dokumen, sehingga hanya terbatas pada representasi warna citra keabuan. Hal ini tentunya agak kurang sesuai dengan penerapan pada citra digital foto, karena representasi citra yang digunakan pada umumnya adalah bentuk representasi citra berwarna RGB. Meskipun demikian, konsep CRT sebagai metode *embedding watermark* telah dibandingkan dengan metode *Single Value Decomposition* (SVD) sebagai perwakilan metode yang populer digunakan sebagai proses *embedding watermark* [3]. Hasilnya

menunjukkan bahwa konsep CRT memiliki keunggulan pada sisi keamanan dan ketahanan terhadap beberapa jenis serangan.

Penggunaan metode CRT sebagai bagian dari proses *digital watermarking* pada citra digital berwarna memiliki kendala tersendiri, dikarenakan hanya terdapat satu kanal (*channel*) representasi warna, sedangkan pada citra berwarna memiliki tiga kanal representasi warna, yang berarti ukuran data bit *watermark* akan berkembang hingga tiga kali lipat dibandingkan data *watermark* yang berasal dari citra *grayscale* [2].

Semakin besar bit *watermark*, berarti semakin besar pula data yang disisipkan dalam citra induk, dan dapat berakibat terjadinya kerusakan dan distorsi pada citra induk (*host*). Bentuk kerusakan tersebut dapat terlihat dalam nilai *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR) antara citra induk asli dengan citra induk yang telah disisipkan dengan data *watermark*. Beberapa penelitian untuk melakukan proses *digital watermarking* pada induk citra digital berwarna dengan citra *watermark* yang berupa citra digital berwarna juga telah dilakukan [4] - [6].

Pada salah satu penelitian, skema *digital watermarking* yang dikemukakan menggunakan metode *Discrete Cosine Transform* (DCT) secara *two level* atau disebut dengan metode *Two Level Discrete Cosine Transform* (TLDCCT) dalam proses *generate watermark*, yang menjanjikan faktor kompresi *watermark* lebih kompak [6].

Berdasarkan keunggulan metode CRT dalam proses *watermark embedding* dan juga kelebihan TLDCCT, dalam makalah ini dikaji perancangan suatu skema metode *digital watermarking* pada citra digital berwarna dengan menggabungkan konsep CRT sebagai metode *embedding watermark*, dan metode TLDCCT proses *generate watermark*.

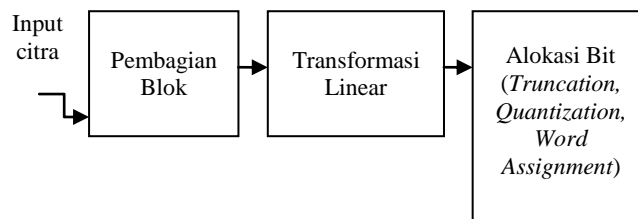
II. PROSES DIGITAL WATERMARKING

Secara umum, proses *digital watermarking* terdiri atas dua proses utama yaitu proses *embedding watermark* dan proses *extracting watermark*. Proses *embedding watermark* pada beberapa jenis model *digital watermarking* didahului dengan proses *generate watermark*. Proses *generate watermark* bertujuan untuk mengubah data yang dijadikan sebagai *watermark* menjadi bentuk bit-bit biner yang siap untuk disisipkan pada proses *embedding watermark*. Untuk mendapatkan bit-bit tersebut, dilakukan beberapa proses. Setiap proses tersebut terdiri atas tahapan-tahapan kompresi data, sehingga diharapkan nantinya *watermark* yang disisipkan tidak terlalu membebani ataupun mendistorsi data induk. Bit *watermark* yang sudah diperoleh tersebut kemudian disisipkan melalui proses *embedding watermark*.

A. Generate Watermark

Berdasarkan penjelasan sebelumnya, salah satu proses penting dalam sebuah skema *digital watermarking* adalah proses pembuatan bit *watermark*. Dikarenakan data yang disisipkan berupa citra digital, maka diperlukan suatu mekanisme untuk memperkecil ukuran data melalui proses kompresi. Proses kompresi citra yang umum digunakan adalah teknik *Transform Coding*. Teknik tersebut melibatkan proses

transformasi linear [7]. Tahapan kompresi citra dengan teknik *Transform Coding* secara umum ditunjukkan pada Gbr. 1.



Gbr. 1 Diagram blok proses kompresi.

Dalam langkah kompresi tersebut salah satu faktor terpenting adalah metode transformasi linear yang digunakan. Beberapa alternatif metode dipakai dalam tahapan ini dan yang sering dipakai adalah sebagai berikut.

1) *Discrete Cosine Transform*: Metode ini merupakan suatu metode transformasi sinyal dan banyak digunakan dalam proses transformasi citra maupun video. Proses transformasi sendiri pada prinsipnya berarti mengubah suatu besaran data menjadi bentuk besaran data yang lain. Apabila dihubungkan dengan konteks citra digital berarti mengubah besaran data spasial (nilai piksel) menjadi suatu data yang lain. Proses perubahan tersebut dilakukan melalui persamaan berikut.

$$[C]_{i,j} = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{N}} \cos \frac{(2j+1)i\pi}{2N} & i = 0, j = 0, 1, \dots, N-1 \\ \sqrt{\frac{2}{N}} \cos \frac{(2j+1)i\pi}{2N} & i = 1, 2, \dots, N-1 \\ & j = 0, 1, \dots, N-1 \end{cases} \quad (1)$$

Pada (1), N adalah ukuran data yang ditransformasikan, dan C adalah nilai koefisien baru yang dihasilkan dari proses transformasi. Apabila diterapkan pada data citra digital, maka proses transformasi menjadi bentuk transformasi 2D yang ditunjukkan pada (2).

$$f(x, y, u, v) = C(u)C(v) \cos \left(\frac{(2x+1)u\pi}{2N} \right) \cos \left(\frac{(2y+1)v\pi}{2N} \right) \quad (2)$$

dengan

$$C(u) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{N}} & \text{untuk } u=0 \\ \frac{2}{\sqrt{N}} & \text{untuk } u=1, 2, \dots, N-1 \end{cases}$$

Pada (2), x dan y adalah koordinat lokasi nilai piksel sedangkan u dan v adalah posisi koefisien yang berkorelasi dengan x dan y .

2) *Two Level Discrete Cosine Transform*: Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, satu hal yang menjadi keunggulan dalam penelitian tersebut adalah diajukannya penggunaan metode DCT, hanya saja digunakan secara *two level*, yang artinya adalah diterapkan dua kali secara bertingkat [4]. Penggunaan secara *two level* ini dalam penelitian tersebut menunjukkan tingkat pemampatan energi yang lebih besar dan juga pemerataan koefisien yang lebih baik dibanding menggunakan metode DCT secara biasa. Hal ini dapat terlihat pada proses transformasi yang dilakukan pada nilai piksel yang ditunjukkan pada Gbr. 2.

149	150	132	110	97	123	120	126
117	125	126	120	115	134	120	122
104	109	118	124	127	124	106	108
113	110	115	124	129	111	89	92
125	120	125	134	141	108	81	81
121	133	142	137	126	95	100	94
115	127	136	130	118	100	99	93
105	118	128	122	109	109	100	94

Gbr. 2 Contoh blok nilai piksel.

931.8750	63.0501	-41.3676	-9.9625	-1.3750	-7.2349	5.6346	-2.0074
26.2649	-25.1949	34.8677	15.6615	-7.4747	-4.3157	9.7379	-10.8084
17.3140	-8.0411	42.2373	-11.5544	-27.6215	6.7894	3.1239	-8.9521
23.8258	34.4704	17.1786	-7.0082	-0.0618	0.7097	-6.1506	4.2983
-9.3750	13.6182	6.3859	11.8750	4.3750	-3.2739	3.9845	-2.8280
-4.2635	6.2706	9.5479	-3.5906	0.4399	1.0542	-2.3944	1.2195
1.6228	0.4159	4.1239	-5.6915	-1.6828	1.5794	-2.4873	1.4712
-0.3509	3.3913	-5.5673	6.0666	3.9679	-2.4074	1.6492	0.1490

Gbr. 3 Koefisien transformasi DCT.

275.9041	332.1454	217.3039	133.2286
287.4279	400.2517	313.6405	124.2531
230.1266	336.2173	215.3954	50.4639
114.6008	176.9485	106.6890	50.3580

Gbr. 4 Koefisien transformasi TLDCT.

Berdasarkan contoh blok piksel pada Gbr. 2, apabila dilakukan proses transformasi menggunakan metode DCT, diperoleh koefisien seperti pada Gbr. 3.

Seperti yang terlihat pada Gbr. 3, nilai koefisien terbesar terdapat pada posisi pojok kiri atas. Apabila dibandingkan dengan koefisien yang lain, koefisien tersebut memiliki perbedaan jarak nilai yang jauh. TLDCT berusaha mengatasi permasalahan tersebut dengan melakukan proses DCT level kedua pada sebagian nilai koefisien terbesar yaitu pada posisi pojok kiri atas, sehingga didapatkan nilai koefisien TLDCT seperti pada Gbr. 4.

Terlihat pada Gbr. 4 bahwa persebaran nilai koefisien menjadi lebih merata, sehingga nantinya memudahkan dalam proses kuantisasi, dan proses kuantisasi akan menghasilkan nilai yang lebih detail.

B. Watermark Embedding

Proses berikutnya setelah mendapatkan bit watermark adalah melakukan skema penyisipan bit watermark tersebut ke dalam citra induk. Skema proses ini menentukan tingkat ketahanan bit watermark yang tertanam dalam citra induk. Dalam penelitian sebelumnya diusulkan skema penanaman watermark dengan menggunakan konsep CRT [2].

CRT merupakan sebuah konsep yang berdasar pada relasi kongruensi. Namun, berbeda dengan kongruensi pada umumnya, konsep ini berdasar pada relasi kongruensi simultan. Kongruensi simultan yang dimaksud adalah beberapa relasi kongruensi yang memiliki hubungan satu sama lain, dan hubungan ini berkaitan pada nilai variabel yang

sama namun dengan modulo yang berbeda. Teori ini merupakan teori kuno yang sering digunakan dalam pengaplikasian kriptografi. Teori ini akhir-akhir ini juga digunakan dalam proses penggabungan watermark yang secara keseluruhan tergabung dalam sebuah sistem digital watermarking [2]. Secara umum, penerapan teori ini dalam sistem digital watermarking memanfaatkan relasi antar bilangan integer yang berasal dari konsep CRT, dan diketahui bahwa sebuah bilangan integer dapat direpresentasikan dengan dua bilangan integer yang lebih kecil.

Apabila terdapat dua bilangan integer $S1$ dan $S2$, dan bilangan $S = S1*S2$, maka jika sebuah bilangan Z berada pada rentang antara 0 hingga $S-1$ ($0 \leq Z \leq S-1$), maka berapa pun nilai Z tersebut dapat direpresentasikan dengan sepasang integer ($R1,R2$), dengan nilai $R1 < S1$, sedangkan nilai $R2 < S2$. Proses untuk memperoleh $R1$ dan $R2$ dilakukan melalui persamaan yang melibatkan operasi modulo yang terwujud dalam relasi kongruensi yang ditunjukkan pada (3)

$$Z \equiv R1(mod S1), \tag{3}$$

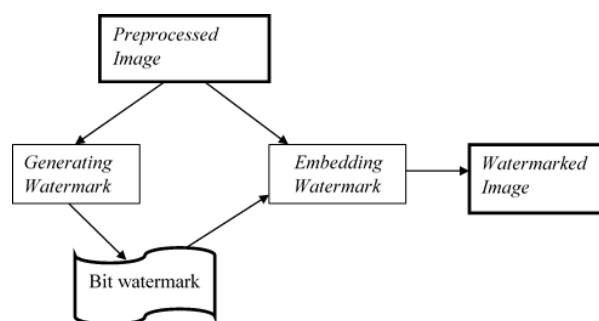
$$Z \equiv R2(mod S2).$$

Sebagai contoh, apabila $S1 = 6$ dan $S2 = 11$, sehingga nilai $S = S1*S2 = 66$, maka bilangan berapapun di antara 0 dan 65 dapat direpresentasikan oleh nilai ($R1, R2$), dengan nilai $R1$ berada pada rentang $0 \leq R1 \leq 5$, sedangkan nilai $R2$ berada pada rentang $0 \leq R2 \leq 10$. Apabila nilai integer yang dimaksud $Z = 52$, maka diperoleh relasi kongruensi $52 \equiv R1(mod 6)$ dan $52 \equiv R2(mod 11)$, sehingga $R1 = 4, R2 = 8$. Maka, nilai $Z = 52$ dapat diwakili dengan (4,8).

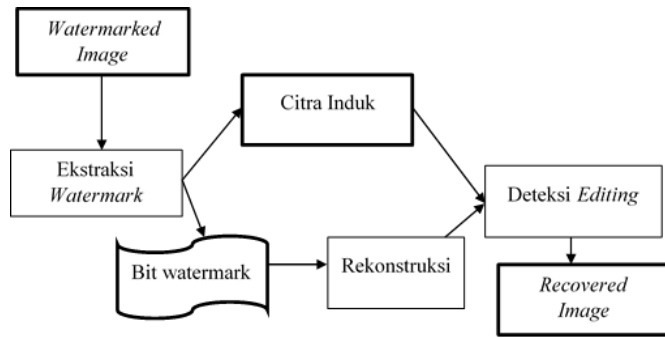
III. METODOLOGI

Dalam makalah ini, dikembangkan suatu skema proses digital watermarking pada citra digital berwarna. Secara garis besar, skema tersebut ditunjukkan pada Gbr. 5, sedangkan proses ekstraksi watermark, deteksi area yang berubah, proses pemulihan secara umum dilakukan dengan tahapan proses yang ditunjukkan pada Gbr. 6.

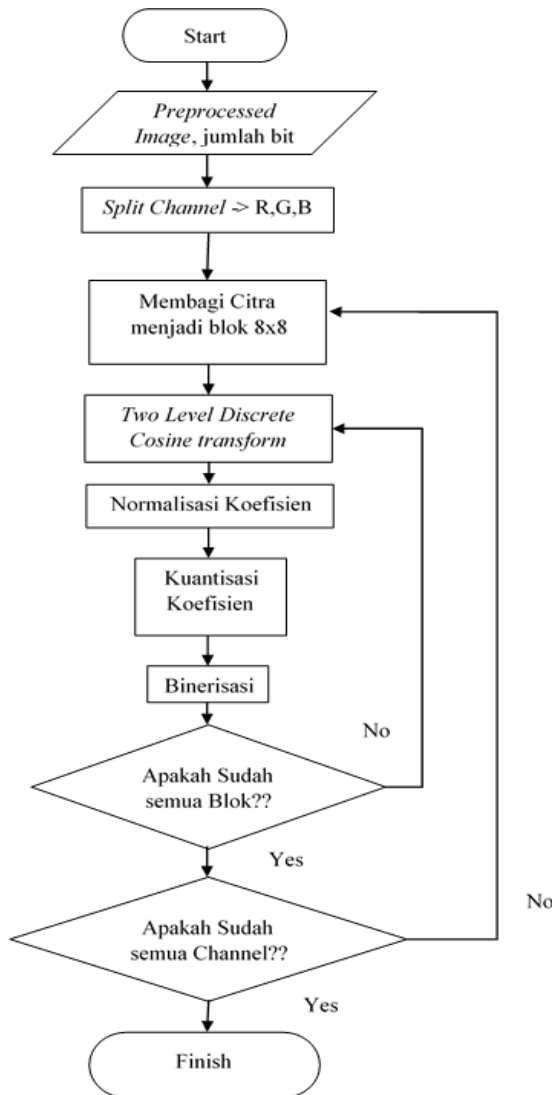
Berdasarkan rancangan proses pada Gbr. 5, terlihat bahwa skema ini memanfaatkan citra hasil preprocessing yang sama untuk tahap proses generating watermark dan juga proses embedding watermark. Hal ini perlu dilakukan karena watermark yang ditanamkan nantinya akan diekstraksi dan digunakan sebagai referensi untuk mendeteksi adanya perubahan pada citra yang telah ditanam dengan watermark.



Gbr. 5 Skema proses watermarking.



Gbr. 6 Skema proses ekstraksi, deteksi, dan pemulihan.



Gbr. 7 Diagram alir proses generating watermark.

A. Preprocessing

Pada tahap ini, citra masukan diolah terlebih dahulu untuk memperoleh ukuran yang sesuai untuk proses generate watermark. Hal ini perlu dilakukan karena proses tersebut menggunakan metode transformasi yang membutuhkan pembagian citra menjadi blok 8x8, sehingga dalam preprocessing ini langkah yang dilakukan adalah melakukan

pengecekan ukuran citra masukan dan melakukan penambalan dengan nilai piksel ‘0’ hingga diperoleh ukuran citra yang habis dibagi 8.

B. Generate Watermark

Untuk proses generate watermark dengan memanfaatkan metode TLDCT, citra hasil preprocessing perlu melalui beberapa proses, dimulai dengan membagi citra menjadi komponen warna RGB, kemudian pada masing-masing komponen warna tersebut dibagi menjadi blok berukuran 8x8. Selanjutnya, setiap blok tersebut melalui proses transformasi TLDCT, sehingga diperoleh 4x4 koefisien. Keseluruhan koefisien tersebut kemudian melalui proses normalisasi dan kuantisasi, sesuai proses yang ditunjukkan pada Gbr. 7.

C. Embedding Watermark

Proses embedding watermark dengan menggunakan konsep CRT diterapkan dalam bentuk skema penanaman watermark seperti yang ditunjukkan pada Gbr. 8. Pada skema tersebut, bit watermark yang telah dihasilkan dari setiap blok citra masukan kemudian ditanamkan pada citra masukan yang sama. Penentuan lokasi penanaman bit berdasarkan proses Pseudo Random Number Generator (PRNG), dengan menggunakan suatu key tertentu. Proses acak tersebut dilakukan dua kali untuk menentukan posisi blok, dan juga untuk posisi piksel.

Setelah lokasi penanaman bit ditentukan, proses selanjutnya adalah penanaman bit dengan menggunakan konsep CRT. Secara garis besar, proses penanaman bit tersebut dimulai dengan mengambil nilai piksel dari citra induk, kemudian mengambil dua Least Significant Bit (LSB) dari nilai piksel tersebut. Dua bit LSB tersebut kemudian dihitung dengan (3) untuk memperoleh dua nilai representasi, P1 dan P2, dengan nilai S1 dan S2 telah ditentukan sebelumnya. Berdasarkan kedua nilai representasi CRT, yaitu P1 dan P2 ini, kemudian dilakukan pengecekan apakah memenuhi kondisi seperti yang ditunjukkan pada (4).

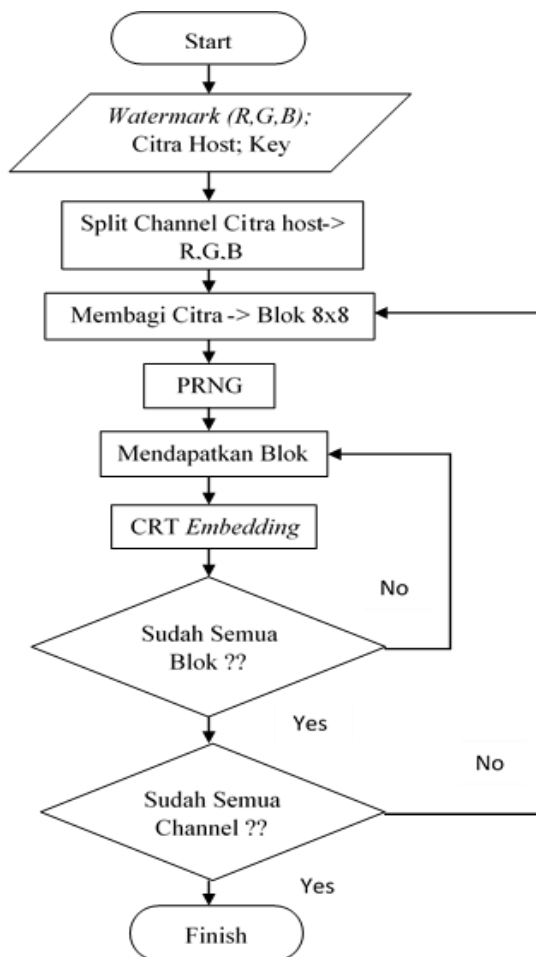
$$\text{If Watermark bit} == 1 \ \&\& \ P1 \geq P2 \tag{4}$$

$$\text{If Watermark bit} == 0 \ \&\& \ P1 < P2$$

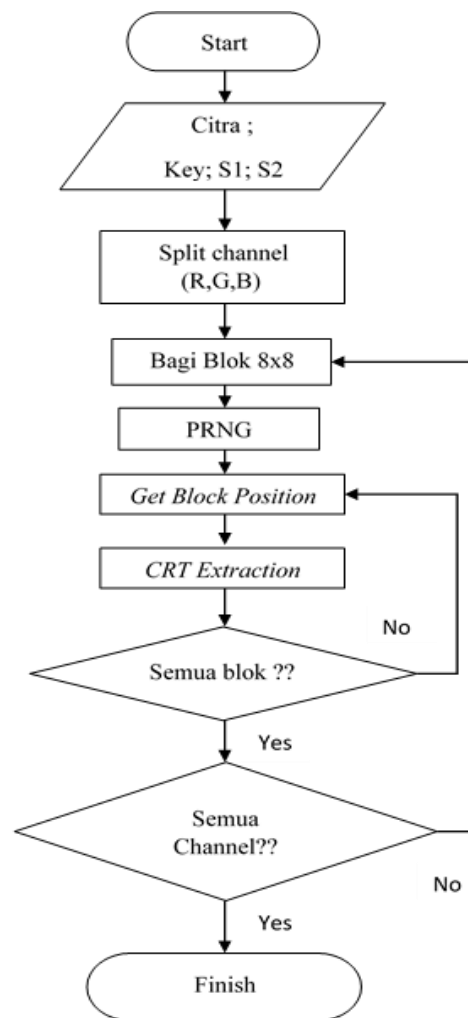
Apabila kondisi terpenuhi, maka proses dilanjutkan pada piksel berikutnya. Apabila tidak terpenuhi, maka dilakukan modifikasi pada nilai intensitas tersebut dengan menambah atau mengurangi dengan 1. Seluruh langkah tersebut diulang hingga semua bit watermark selesai ditanamkan pada blok citra host.

D. Ekstraksi Watermark

Setelah dilakukan penanaman bit watermark dan telah dilakukan analisis serta diperoleh ukuran bit yang sesuai, langkah penelitian selanjutnya adalah mengembangkan proses ekstraksi watermark. Secara prinsip, proses ekstraksi berjalan terbalik dibandingkan dengan proses embedding watermark. Dengan mengetahui nilai key, S1, dan S2 yang digunakan untuk melakukan proses embedding watermark, maka proses ekstraksi watermark secara rinci dijabarkan pada Gbr. 9.



Gbr. 8 Diagram alir proses *embedding watermark*.



Gbr. 9. Diagram alir proses ekstraksi *watermark*

Pada Gbr. 9 terlihat bahwa dalam proses ekstraksi *watermark* ini nilai *key* digunakan sebagai petunjuk lokasi penanaman *watermark*. Penentuan lokasi piksel yang telah ditanam dengan bit *watermark* dapat dilakukan dengan melibatkan proses PRNG dan nilai *key* berlaku sebagai *seed*-nya.

E. Deteksi dan Pemulihan

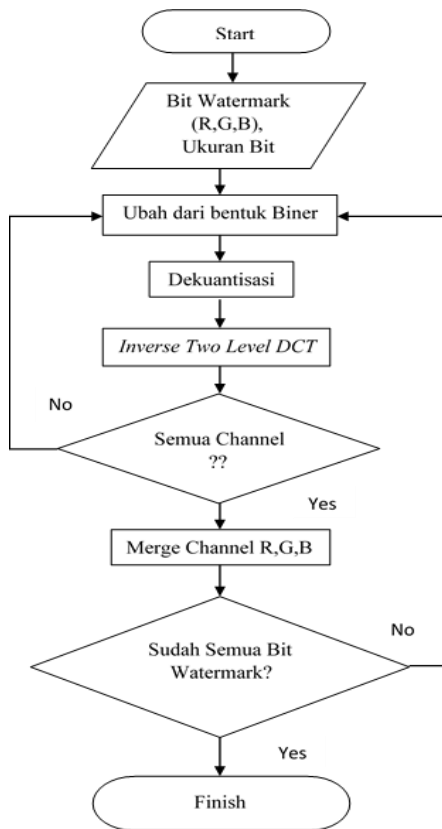
Setelah diperoleh setiap bit *watermark* melalui proses ekstraksi, setiap bit tersebut dikembalikan menjadi bentuk nilai piksel seperti semula melalui proses dekuantisasi dan proses transformasi *inverse* TLDCT. Menggunakan nilai *key* yang sama dengan proses *embedding* sebagai *seed* PRNG, nilai piksel tersebut diposisikan pada posisi yang tepat pada blok, kemudian blok tersebut diposisikan pada posisi yang tepat. Keseluruhan proses tersebut menghasilkan citra rekonstruksi bit *watermark*. Selain citra rekonstruksi, untuk proses deteksi dan pemulihan area yang mengalami perubahan, harus dibuat citra dekomposisi.

Citra dekomposisi hampir sama dengan citra rekonstruksi. Yang membedakan adalah citra dekomposisi tidak melalui proses penataan blok piksel, hanya melalui proses *inverse* TLDCT. Secara umum, proses pembentukan citra rekonstruksi diperlihatkan pada Gbr. 10.

Setelah terbentuk, citra rekonstruksi dan citra dekomposisi digunakan untuk menentukan suatu blok dalam citra merupakan blok yang sudah mengalami proses penyuntingan atau tidak. Proses penentuan dilakukan dengan mengukur nilai *Mean Square Error* (MSE) setiap blok antara citra rekonstruksi dan citra dekomposisi, seperti pada (5).

$$\theta_{i,j} = \frac{1}{64} \sum_{l=1}^{64} [x(r,l) - x(d,l)]^2 \tag{5}$$

Dalam formula tersebut, $x(r,l)$ mewakili setiap nilai piksel pada sebuah blok 8x8 dari citra hasil rekonstruksi, sedangkan $x(d,l)$ mewakili setiap nilai piksel pada sebuah blok 8x8 dari citra hasil dekomposisi. Proses ini perlu dilakukan dikarenakan apabila terjadi perubahan pada citra yang mengandung *watermark* pada posisi blok (©,j) sedangkan pada blok tersebut mengandung *watermark* dari blok (m,n), maka perubahan akan terjadi pula pada citra hasil dekomposisi pada posisi blok (©,j), dan juga pada citra rekonstruksi pada posisi blok (m,n). Dengan mengetahui asumsi ini, maka dapat dihasilkan proses deteksi dan pemulihan dengan memanfaatkan suatu nilai ambang (*threshold*) dari nilai MSE ini, sehingga dapat dibentuk citra pemulihan dengan memanfaatkan aturan seperti yang ditunjukkan pada (6).



Gbr. 10 Diagram alir pembentukan citra rekonstruksi.

$$\begin{aligned} & \text{IF } (\theta_{(c,j)} > \text{threshold}) \text{ AND } (\theta_{(m,n)} > \text{threshold}) \\ & \text{THEN } v(c,j) = r(c,j) \\ & \text{ELSE } v(c,j) = b(c,j) \end{aligned} \quad (6)$$

Pada (6), $v(c,j)$ adalah blok hasil pemulihan, $r(c,j)$ adalah blok dari citra hasil rekonstruksi, dan $b(c,j)$ adalah blok citra yang mengandung watermark.

IV. HASIL PENGUJIAN

Proses pengujian bertujuan untuk melihat beberapa variabel kerja, di antaranya adalah waktu eksekusi program dan tingkat kualitas hasil proses digital watermarking.

Untuk melihat tingkat kualitas hasil citra yang telah ditanam dengan watermark, pengujian dilakukan dengan melakukan perhitungan nilai PSNR. Nilai PSNR bermanfaat sebagai bentuk perbandingan kemiripan antara dua buah citra. Apabila perbandingan ini dilakukan antara citra asli dan citra ter-watermark, maka akan dapat terlihat tingkat invisibility metode yang digunakan untuk melakukan proses watermarking. Persamaan PSNR secara keseluruhan dapat dilihat pada (7).

$$PSNR = XY \max_{x,y} P_{x,y}^2 / \sum_{x,y} (P_{x,y} - P'_{x,y})^2 \quad (7)$$

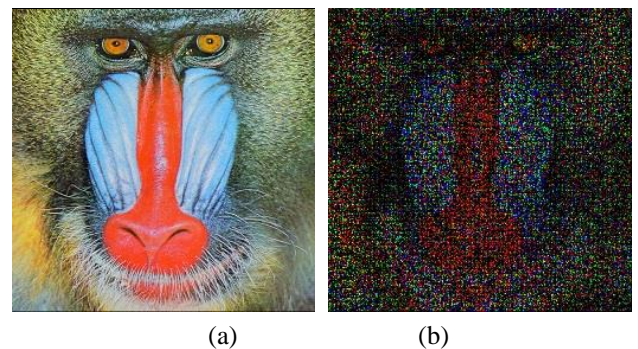
Pada (7), P adalah nilai piksel citra pada posisi x,y dan P' adalah nilai piksel citra pembanding. XY adalah ukuran dari kedua citra yang dibandingkan.

Untuk pengujian pertama, nilai PSNR digunakan untuk membandingkan citra masukan dengan citra yang telah

ditanam dengan watermark. Sebagai 6 variabel tetap dalam pengujian ini adalah besaran bit watermark yang digunakan dalam proses generate watermark. Besaran bit yang digunakan dalam pengujian ini adalah 4 bit untuk setiap koefisien hasil transformasi TLDCT. Besaran bit watermark kurang dari 4 bit tidak digunakan karena hasil proses ekstraksi yang menunjukkan penurunan kualitas yang cukup jauh dibandingkan dengan citra masukan, seperti yang ditunjukkan pada Gbr. 11.

Berdasarkan nilai PSNR, perbandingan antara hasil ekstraksi watermark 3 bit dan 4 bit beserta nilai PSNR citra yang ditanam bit watermark 3 bit dan 4 bit dapat dilihat pada Tabel I. Dalam tabel tersebut terlihat bahwa apabila ukuran bit semakin besar, maka citra hasil proses embedded memiliki kualitas yang semakin buruk. Hal ini terjadi karena semakin besarnya beban watermark yang ditanamkan pada citra induk. Sebaliknya, kualitas hasil ekstraksi watermark dengan ukuran 4 bit lebih tinggi dibandingkan dengan watermark berukuran 3 bit. Hal ini terjadi dikarenakan ukuran bit menentukan tingkat akurasi proses kuantisasi yang terjadi pada saat dilakukan generating watermark.

Sedangkan untuk nilai PSNR citra yang telah tertanam bit berukuran 4 bit, pada beberapa jenis dan ukuran citra, dapat dilihat pada Tabel II beserta lamanya waktu eksekusi pada saat proses generate dan embedding watermark.



Gbr. 11 Perbandingan citra, (a) citra masukan, (b) citra ekstraksi watermark 3 bit.

TABEL I
PERBANDINGAN WATERMARK 3 BIT DAN 4 BIT

Ukuran Bit	PSNR citra embedded	PSNR citra extracted
Baboon 4 bit	45,609	22,745
Baboon 3 bit	57,656	6,675

TABEL II
NILAI PSNR CITRA WATERMARK DAN WAKTU EKSEKUSI

No	Nama data	PSNR	Esekusi Generate	Esekusi Embedding
1	Baboon 4 bit	45,609	170 ms	329 ms
2	Lena 4 bit	45,217	122 ms	223 ms
3	Pepper 4 bit	45,738	119 ms	198 ms
4	F16 4 bit	45,027	119 ms	207 ms
5	800x600	45,818	307 ms	678 ms
6	1024x768	45,810	501 ms	1177 ms

TABEL III
NILAI PSNR CITRA WATERMARK DAN HASIL PENELITIAN SEBELUMNYA

No	Nama data	PSNR	Ref [4] PSNR
1	Baboon	45,609	34,885
2	Lena	45,217	34,192
3	Pepper	45,738	34,859
4	F16	45,027	34,951

TABEL IV
NILAI PSNR CITRA HASIL EKSTRAKSI DAN WAKTU EKSEKUSI

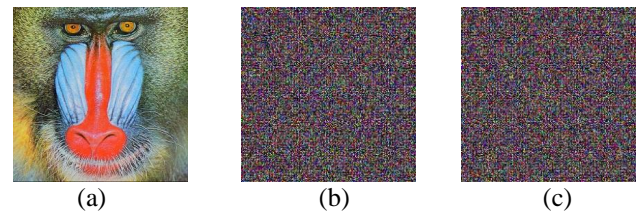
Nama data	PSNR Ekstraksi	Eksekusi Ekstraksi
Baboon	22,745	494 ms
Lena	28,379	466 ms
Pepper	27,903	465 ms
F16	27,993	436 ms
800x600	28,897	1128 ms
1024x768	28,653	2015 ms

Pada Tabel II terlihat bahwa kualitas hasil proses *embedding* tidak dipengaruhi oleh ukuran citra. Ukuran citra mempengaruhi waktu eksekusi, baik proses *generate watermark* maupun proses *embedding watermark*. Perbandingan kualitas citra hasil penanaman *watermark* dengan penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel III [4].

Tabel III menunjukkan bahwa skema *digital watermarking* yang diajukan pada makalah ini memiliki kualitas yang lebih tinggi daripada penelitian sebelumnya dalam segi *invisibility* pada citra yang telah mengandung *watermark*. Hal ini dapat terjadi karena penggunaan metode TLDCCT yang mampu menghasilkan *watermark* dengan ukuran lebih kecil sehingga sedikit membebani citra induk dan meminimalkan adanya perubahan.

Hasil ekstraksi *watermark* juga dapat dibandingkan dengan citra masukan dan diukur nilai PSNR-nya pada citra standar dan beberapa citra dengan ukuran yang lebih besar, beserta waktu eksekusi proses ekstraksinya. Hasil perbandingan disajikan pada Tabel IV. Berdasarkan Tabel IV, waktu eksekusi semakin meningkat dengan semakin besarnya ukuran citra. Sedangkan kualitas hasil proses ekstraksi terlihat tidak terlalu buruk, dengan nilai PSNR yang berkisar antara 22 dB hingga 28 dB.

Pengujian berikutnya adalah untuk melihat tingkat ketegaran metode *watermarking* ini dalam menghadapi berbagai macam serangan. Dalam makalah ini diterapkan beberapa penyerangan terhadap citra yang telah mengandung *watermark*. Pada jenis serangan yang mengakibatkan terjadinya perubahan pada seluruh bagian piksel seperti halnya jenis serangan kompresi citra, maupun penerapan derau, hasil ekstraksi *watermark* mengalami kerusakan juga pada seluruh bagiannya, seperti yang ditunjukkan pada Gbr. 12. Gbr. 12(a) adalah hasil citra yang telah ditanami dengan *watermark*, sedangkan Gbr. 12(b) menunjukkan hasil ekstraksi *watermark* setelah Gbr 12(a) mengalami proses kompresi dengan rasio kompresi 10%. Sedangkan citra pada Gbr. 12(c) adalah hasil ekstraksi *watermark* setelah Gbr. 12(a) mengalami penambahan derau Gaussian dengan standar deviasi 10.

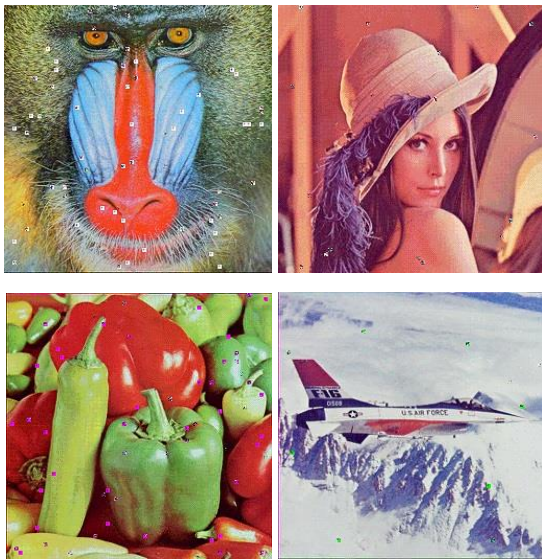


Gbr. 12 Hasil ekstraksi *watermark*; (a) Citra *embedded*; (b) hasil ekstraksi dengan kompresi 10%; (c) hasil ekstraksi dengan derau Gaussian dengan standar deviasi=10.



Gbr. 13 Citra ter-*watermark* dan citra hasil penyuntingan.

Hasil uji coba yang ditunjukkan pada Gbr. 12 memperlihatkan bahwa skema *digital watermarking* ini memiliki tingkat ketegaran yang rendah. Hal ini wajar mengingat skema ini termasuk dalam jenis *fragile watermarking* dan bertujuan agar memiliki tingkat sensitivitas yang tinggi dalam mendeteksi perubahan yang terjadi pada citra induk. Apabila perubahan itu terjadi pada keseluruhan area citra, maka keseluruhan blok dari citra tersebut akan memiliki bit *watermark* yang tidak valid, sehingga mengakibatkan hasil ekstraksi dari keseluruhan blok tersebut mengalami kerusakan.



Gbr. 14 Citra hasil proses deteksi dan pemulihan.

TABEL V
NILAI PSNR CITRA PEMULIHAN DAN NILAI AMBANG

Citra	Pemulihan PSNR	Ambang
Baboon	21,790	1930
Lena	26,997	145
Pepper	23,702	690
F16	28,162	954

Uji coba berikutnya adalah untuk mengetahui kemampuan citra yang telah mengandung *watermark* ini dalam menghadapi jenis serangan tertentu. Jenis serangan tersebut mengakibatkan perubahan pada sebagian citra, atau disebut dengan jenis serangan penyuntingan atau *tampering*.

Pada uji coba ini diterapkan proses *watermarking* pada empat macam citra digital standar, yaitu Baboon, Lena, Pepper, dan F16. Pada citra yang telah mengandung *watermark* ini kemudian dilakukan penyuntingan untuk mengubah sebagian dari citra tersebut. Perbandingan antara citra ter-*watermark* dan yang telah melalui proses penyuntingan ditunjukkan pada Gbr. 13.

Dalam proses deteksi dan pemulihan, dibutuhkan suatu nilai ambang sebagai penentu bagian blok citra yang terdeteksi mengalami penyuntingan atau tidak, dan dalam uji coba ini nilai ambang dicari dengan cara melakukan analisis nilai MSE setiap blok, dan kemudian dicoba secara *trial and error*.

Berdasarkan langkah penetapan nilai ambang berdasar nilai MSE keseluruhan blok citra, diperoleh hasil pemulihan yang paling optimal, ditunjukkan pada Gbr. 14. Sedangkan nilai PSNR citra hasil proses deteksi dan pemulihan beserta nilai ambang yang digunakan disajikan pada Tabel V.

Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada Tabel V, kualitas hasil citra pemulihan dipengaruhi oleh besarnya area yang diubah. Hal ini dapat terjadi karena semakin besar area penyuntingan, semakin banyak pula blok citra dengan

watermark yang tidak valid. Blok citra yang tidak valid akan mempengaruhi kualitas citra dan menjadi derau seperti yang ditunjukkan pada Gbr. 14.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil uji coba yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan mengenai skema *digital watermarking* yang digunakan dalam makalah ini. Pertama, ukuran bit yang optimal untuk proses *generate watermark* adalah 4 bit. Kemudian, nilai PSNR citra ter-*watermark* menunjukkan tingkat *invisibility* yang lebih tinggi dibandingkan penelitian sebelumnya. Waktu eksekusi untuk proses *generating*, *embedding*, dan juga ekstraksi *watermark* masing-masing menunjukkan unjuk kerja yang cukup baik. Citra hasil ekstraksi *watermark* menunjukkan kualitas yang cukup baik dengan nilai PSNR yang berkisar antara 22 dB hingga 28 dB. Skema ini memiliki tingkat ketegaran yang rendah, terlihat dari hasil pengujian terhadap jenis serangan kompresi dan derau. Proses deteksi dan pemulihan juga telah mampu menjalankan tugasnya untuk mengembalikan citra ter-*watermark* yang mengalami perubahan pada sebagian area. Hasil citra pemulihan menunjukkan penurunan kualitas dengan semakin besarnya area yang citra yang diubah. Pemilihan nilai ambang yang optimal tidak dipengaruhi oleh besarnya area perubahan pada citra ter-*watermark*.

VI. SARAN

Beberapa pengembangan dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya untuk meningkatkan unjuk kerja mapun fleksibilitas skema *digital watermarking* ini. Pertama, peningkatan kualitas citra hasil ekstraksi dapat dilakukan dengan menerapkan proses kuantisasi yang lebih detail. Selain itu, perlu adanya suatu metode untuk melakukan pemilihan nilai ambang yang optimal, sehingga tidak lagi dipilih berdasarkan *trial and error*.

REFERENSI

- [1] Dewanto, W., Susanto, M.F., Sujoko, S. 2012. "Penyisipan Kode Dalam Sinyal Iklan Radio Siaran Niaga Sebagai Penanda Identitas Kepemilikan", *JNTETI*, Vol.1, No.1, 2012.
- [2] Patra, B. & Patra, J.C. 2012. "CRT-Based Fragile Self-Recovery Watermarking Scheme for Image Authentication and Recovery". *International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems, ISPACS*, 4 – 7 November 2012.
- [3] Patra, J.C., Karthik, A. & Bornand, C. 2009. "A novel CRT-based watermarking technique for authentication of multimedia contents". *Digital Signal Processing*, 20(2): 442-453.
- [4] Su, Q., Niu, Y., Liu, X. & Yao, T. 2013. "A novel blind digital watermarking algorithm for embedding color image into color image". *International Journal for Light and Electron Optics*, 124: 3254 – 3259.
- [5] Botta, M., Cavagnino, D. & Pomponiu, V. 2015. A modular framework for color image watermarking. *Signal Processing*, 119: 102 – 114.
- [6] Vaishnavi, D. & Subashini, T.S. 2015. "Robust and Invisible Image Watermarking in RGB Color space using SVD". *Procedia Computer Science* 46(2015): 1770-1777. ICICT 2014.
- [7] Shi, Y.Q. & Sun, H. 2000. *Image and Video Compression for Multimedia Engineering: Fundamentals, Algorithms, and Standards*. Florida: CRC Press.