

*Reversible Low Contrast Mapping dan Penggunaannya dalam Reversible Watermarking

Hendra[†]

Abstrak

Tantangan utama dalam *reversible watermarking* bukan hanya bagaimana mendapatkan kembali *watermark* yang telah disisipkan tetapi juga bagaimana mengembalikan media yang telah disisipi *watermark* ke keadaan semula. Disamping itu proses tersebut harus dapat dilakukan tanpa informasi tambahan dari luar media itu sendiri. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan dalam *reversible watermarking* adalah transformasi *integer*. Transformasi *integer* bertujuan untuk memetakan data dalam domain bilangan bulat ke kodomain bilangan bulat juga. *Reversible Low Contrast Mapping* (RLCM) adalah fungsi transformasi *integer* yang didefinisikan sebagai pasangan fungsi $x' = \left\lfloor \frac{3x - y}{2} \right\rfloor$ dan $y' = \left\lfloor \frac{3y - x}{2} \right\rfloor$ dengan pasangan inversnya $x = \left\lfloor \frac{3x' + y'}{4} \right\rfloor$ dan $y = \left\lfloor \frac{3y' + x'}{4} \right\rfloor$. Penggunaan RLCM sebagai metode dalam *reversible watermarking* dilakukan dengan memanfaatkan sifat istimewa dari pasangan fungsi transformasi tersebut yang kemudian dijabarkan sebagai algoritma yang memenuhi seluruh ketentuan dalam *reversible watermarking*.

Kata Kunci : *reversible watermarking, transformasi integer, reversible low contrast mapping.*

1. Pendahuluan

Perkembangan komputer digital dan perangkat-perangkat lainnya yang serba digital, telah membuat data digital banyak digunakan. Ada beberapa faktor yang membuat data digital (seperti audio, citra, video, dan text) banyak digunakan, antara lain:

- Mudah diduplikasi dan hasilnya sama dengan aslinya,
- Murah untuk penduplikasian dan penyimpanan,
- Mudah disimpan untuk kemudian diolah atau diproses lebih lanjut,
- Serta mudah didistribusikan, baik dengan media disk maupun melalui jaringan seperti Internet.

Dengan adanya Internet sebagai sistem jaringan terluas didunia yang dapat menghubungkan hampir seluruh komputer-komputer dunia, membuat semua komputer di dunia ini semakin mudah untuk bertukar data. Kemudahan ini menimbulkan permasalahan baru dalam hal ijin penggunaan, ijin meng-*copy* atau modifikasi suatu produk digital.

[†] Jurusan Matematika FMIPA Universitas Hasanuddin Makassar

Email: hendra@unhas.ac.id

Solusi yang telah banyak digunakan untuk masalah ini adalah *digital watermarking*, teknik ini menyisipkan informasi untuk kebutuhan proteksi dalam suatu produk. Informasi yang disisipkan dapat berupa text, citra, suara, video dan lain-lain. *Digital watermarking* diartikan sebagai suatu teknik dimana seseorang dapat menambahkan informasi hak cipta atau pesan verifikasi lain dalam suara digital, video atau signal citra dan dokumen.

Metode *watermarking* pada dasarnya mengubah sejumlah bit pada data media asli dengan informasi yang akan disembunyikan. Akan tetapi pada faktanya, beberapa aplikasi mengharuskan akurasi data yang tinggi sehingga tidak dapat mentoleransi distorsi dari proses *watermarking* tersebut. Contohnya adalah penggunaan *watermarking* pada data medik seperti citra X-ray dan penggunaan pada citra satelit untuk kepentingan militer, dimana degradasi pada citra tersebut akan mempengaruhi.

Teknik *watermarking* yang digunakan untuk menangani kasus tersebut adalah *reversible watermarking*, dimana teknik ini mengharuskan proses penyisipan yang dapat dibalik, yaitu suatu kemampuan dimana media asli dapat diperoleh kembali setelah *watermark* dikeluarkan dari media yang ter-*watermark*. Menurut Feng dkk (2006), Proses pengekstraksian watermark dan proses *recovery* harus memiliki sifat *blind* dimana proses tersebut harus dapat dilakukan tanpa informasi tambahan dari luar media itu sendiri.

Sejumlah peneliti telah mengembangkan metode dalam *reversible watermarking* dengan menggunakan pendekatan yang berbeda-beda, diantaranya adalah Celik dkk (2002) menggunakan metode kompresi data yang diberi nama kompresi CALLIC, Vleeschouwer dkk (2001) dan Ni dkk (2003) menggunakan sifat statistik pada blok-blok citra, Tien (2002) menggunakan tranformasi *wavelet integer*, Alattar (2003) mengembangkan metode Tien dengan menggunakan *difference extension*, Coltuc dan Chassery (2007) menggunakan tranformasi *integer* yang diberi nama *Reversible Contrast Mapping*(RCM) dan Hendra (2008) yang juga menggunakan transformasi integer dengan fungsi transformasi yang berbeda yang kemudian diberi nama *Reversible Low Contrast Mapping* (RLCM).

2. Reversible Low Contrast Mapping (RLCM)

RLCM adalah pasangan fungsi transformasi integer yang didefinisikan sebagai

$$x' = \left\lfloor \frac{3x - y}{2} \right\rfloor \text{ dan } y' = \left\lfloor \frac{3y - x}{2} \right\rfloor \quad (1)$$

Dengan invers fungsi transformasinya adalah :

$$x = \left\lfloor \frac{3x' + y'}{4} \right\rfloor \text{ dan } y = \left\lfloor \frac{3y' + x'}{4} \right\rfloor \quad (2)$$

Persamaan (1) memiliki sifat khusus yaitu nilai x' dan y' keduanya selalu ganjil atau keduanya selalu genap. Sifat ini dapat digunakan untuk menyisipkan watermark dengan mengganti salah satu LSB dari nilai x' atau y' sedangkan LSB yang lainnya digunakan sebagai bit kontrol dalam proses pengekstraksian dan *recovery*.

Untuk membuktikan kebenaran sifat tersebut dan menunjukkan bahwa persamaan (2) merupakan invers dari persamaan (1) perlu dilakukan pembuktian kasus-perkasus terhadap sifat fungsi yang dinyatakan sebagai berikut :

Hendra

1. Untuk setiap $x, y \in \mathbb{Z}$, jika $x' = \left\lfloor \frac{3x - y}{2} \right\rfloor$ dan $y' = \left\lfloor \frac{3y - x}{2} \right\rfloor$, maka x' dan y' keduanya genap atau keduanya ganjil.
2. Untuk setiap $x, y \in \mathbb{Z}$, Jika $x' = \left\lfloor \frac{3x - y}{2} \right\rfloor$ dan $y' = \left\lfloor \frac{3y - x}{2} \right\rfloor$ adalah fungsi transformasi, maka invers dari fungsi tersebut adalah $x = \left\lfloor \frac{3x' + y'}{4} \right\rfloor$ dan $y = \left\lfloor \frac{3y' + x'}{4} \right\rfloor$.

Untuk membuktikan sifat pertama terlebih dahulu harus ditunjukkan bahwa untuk setiap $x, y \in \mathbb{Z}$, jika $x' = 3x - y$ dan $y' = 3y - x$, maka x' dan y' keduanya genap atau keduanya ganjil. Pernyataan ini harus dibuktikan kasus per kasus sebagai berikut :

Kasus 1 : Jika x genap dan y genap.

Misal $x = 2n$ dan $y = 2m$, maka

$$x' = 3(2n) - 2m = 2(3n - m) \text{ jadi } x' \text{ adalah genap.}$$

$$y' = 3(2m) - 2n = 2(3m - n) \text{ jadi } y' \text{ adalah genap.}$$

Kasus 2 : Jika x ganjil dan y ganjil.

Misal $x = 2n - 1$ dan $y = 2m - 1$, maka

$$x' = 3(2n - 1) - (2m - 1) = 2(3n - m - 1) \text{ jadi } x' \text{ adalah genap.}$$

$$y' = 3(2m - 1) - (2n - 1) = 2(3m - n - 1) \text{ jadi } y' \text{ adalah genap.}$$

Kasus 3 : Jika x ganjil dan y genap atau sebaliknya.

Misalkan $x = 2n - 1$ dan $y = 2m$, maka

$$x' = 3(2n - 1) - 2m = 2(3n - m) - 3, \text{ jadi } x' \text{ adalah ganjil.}$$

$$y' = 3(2m) - (2n - 1) = 2(3m - n) + 1, \text{ jadi } y' \text{ adalah ganjil.}$$

Selanjutnya, dengan menggunakan hasil tersebut dibuktikan sifat pertama secara kasus-perkasus sebagai berikut :

Kasus 1 : Jika x genap dan y genap.

Misal $x = 2r$ dan $y = 2s$, maka

$$x' = \left\lfloor \frac{3(2r) - 2s}{2} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{2(3r - s)}{2} \right\rfloor = 3r - s.$$

$$y' = \left\lfloor \frac{3(2s) - 2r}{2} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{2(3s - r)}{2} \right\rfloor = 3s - r.$$

Berdasarkan hasil sebelumnya maka x' dan y' keduanya genap atau keduanya ganjil.

Kasus 2 : Jika x ganjil dan y ganjil.

Misal $x = 2r - 1$ dan $y = 2s - 1$, maka

$$x' = \left\lfloor \frac{3(2r - 1) - (2s - 1)}{2} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{2(3r - s - 1)}{2} \right\rfloor = (3r - s) - 1.$$

$$y' = \left\lfloor \frac{3(2s - 1) - (2r - 1)}{2} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{2(3s - r - 1)}{2} \right\rfloor = (3s - r) - 1.$$

Hendra

Berdasarkan hasil sebelumnya maka x' dan y' keduanya genap atau keduanya ganjil.

Kasus 3 : Jika x genap dan y ganjil atau sebaliknya.

Misal $x = 2r$ dan $y = 2s - 1$, maka

$$x' = \left\lceil \frac{3(2r) - (2s - 1)}{2} \right\rceil = \left\lceil \frac{2(3r - s) + 1}{2} \right\rceil = \left\lceil (3r - s) + \frac{1}{2} \right\rceil = (3r - s) + 1.$$

$$y' = \left\lceil \frac{3(2s - 1) - (2r)}{2} \right\rceil = \left\lceil \frac{2(3s - r) - 3}{2} \right\rceil = \left\lceil (3s - r - 1) - \frac{1}{2} \right\rceil = (3s - r) - 1.$$

Berdasarkan hasil sebelumnya maka x' dan y' keduanya genap atau keduanya ganjil.

Sifat kedua juga harus dibuktikan kasus perkasus. Dari pasangan fungsi $x = \frac{3x' + y'}{4}$ dan

$y = \frac{3y' + x'}{4}$ dapat dengan mudah ditunjukkan bahwa invers pasangan fungsi tersebut adalah

$$x' = \frac{3x - y}{2} \text{ dan } y' = \frac{3y - x}{2}.$$

Selanjutnya untuk kasus :

Kasus 1 : Untuk x, y keduanya genap atau keduanya ganjil.

Berdasarkan bukti sifat pertama, diperoleh bahwa x' dan y' keduanya bilangan bulat dan tidak perlu proses *ceiling*. Jadi invers berdasarkan bukti diatas akan berlaku secara langsung.

Kasus 2 : Untuk x, y dimana salah satunya adalah genap dan yang lainnya ganjil.

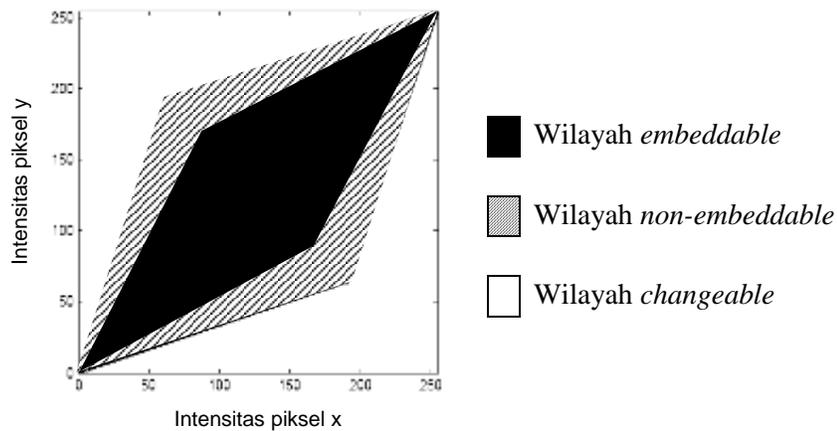
Misalkan $x = 2r$ dan $y = 2s - 1$ maka berdasarkan bukti dari sifat pertama, diperoleh $x' = 3r - s + 1$ dan $y' = 3s - r - 1$. Dengan mensubstitusi persamaan tersebut ke persamaan (2)

$$\text{diperoleh } x = \left\lfloor 2r + \frac{1}{2} \right\rfloor = 2r \text{ dan } y = \left\lfloor 2s - 1 + \frac{1}{2} \right\rfloor = 2s - 1.$$

3. Reversible Watermarking

Metode *reversible watermarking* dengan menggunakan sifat istimewa pasangan fungsi RLCM membagi piksel-piksel dalam citra kedalam pasangan-pasangan yang selanjutnya diolah oleh suatu algoritma. Metode ini menggunakan *Least Significant Bits* (LSB) dari nilai intensitas/warna piksel sebagai tempat untuk menyisipkan bit-bit watermark.

Dalam metode ini pasangan piksel dibagi atas tiga wilayah, yaitu *embeddable*, *changeable* dan *non-embeddable* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Pasangan piksel yang berada pada wilayah *embeddable* adalah pasangan piksel yang dapat disisipkan bit *watermark*, sedangkan pasangan piksel yang berada pada wilayah *changeable* adalah pasangan piksel yang tidak dapat disisipkan bit *watermark* dan salah satu LSB-nya harus disimpan untuk proses *recovery*. Pasangan piksel yang berada pada wilayah *non-embeddable* adalah pasangan piksel yang tidak dapat disisipi *watermark* dan salah satu LSB-nya tidak disimpan untuk proses *recovery*.



Gambar 1. Hubungan nilai intensitas pasangan piksel pada metode watermarking menggunakan RLCM.

3.1. Algoritma Penyisipan

Algoritma yang digunakan untuk menyisipkan *watermark* kedalam citra host secara lengkap diuraikan sebagai berikut.

Input : Citra *host* dan *watermark*.

Output : Citra ter-*watermark*.

- 1) Partisi seluruh citra kedalam pasangan-pasangan piksel.
- 2) Untuk seluruh nilai intensitas pasangan piksel (x, y) :
 - a. Definisikan y_{\max} yaitu nilai y setelah LSB-nya diganti dengan 0 atau 1 sehingga selisih x dan y_{\max} adalah selisih terbesar.
 - b. Jika $(x, y_{\max}) \in D$:
 - i. Transformasi x dan y menjadi x' dan y' dengan menggunakan fungsi transformasi.
 - ii. Definisikan nilai y'_{\max} yaitu nilai y' setelah LSB-nya diganti dengan 0 atau 1 sehingga selisih x' dan y'_{\max} adalah selisih terbesar.
 - iii. Jika $(x', y'_{\max}) \in D$, Ganti nilai pasangan (x, y) dengan (x', y') selanjutnya LSB dari y' dapat digunakan untuk menyisipkan bit *watermark*.
 - iii. Jika $(x', y'_{\max}) \notin D$, Ganti nilai pasangan (x, y) dengan (x', y') tetapi LSB dari y' tidak dapat digunakan untuk menyisipkan bit *watermark*.
 - c. Jika $(x, y_{\max}) \notin D$:
 - i. Simpan LSB dari y untuk proses *recovery*.
 - ii. LSB nilai $y = \text{not}$ LSB nilai x .
- 3) Ganti LSB nilai intensitas piksel yang telah ditandai dari langkah 2.b.iii, dengan data gabungan dari watermark dan bit yang disimpan dari langkah 2c.

Hendra

Penggunaan nilai y_{max} dalam pemeriksaan syarat piksel dilakukan untuk menghindari kesalahan dalam mengenali wilayah keberadaan pasangan piksel pada proses pendekstraksian dan *recovery* nilai ini dihitung dengan menggunakan algoritma berikut.

Input : pasangan nilai intensitas piksel x dan y .

Output : nilai y_{max} .

- 1) Jika $x > y$ maka :
Jika LSB dari y adalah 1 maka definisikan y_{max} dengan mengganti LSB nilai y dengan 0. Jika tidak, $y_{max} = y$.
- 2) Jika $x < y$ maka :
Jika LSB dari y adalah 0 maka definisikan y_{max} dengan mengganti LSB nilai y dengan 1. Jika tidak, $y_{max} = y$.
- 3) Jika $x = y$ maka :
Jika LSB nilai y adalah 0 maka definisikan y_{max} dengan mengganti LSB nilai y dengan 1. Jika tidak, definisikan y_{max} dengan mengganti LSB nilai y dengan 0.

Pernyataan pasangan piksel $(x, y) \in D$ terpenuhi jika memenuhi sifat berikut :

$$0 \leq \left\lceil \frac{3x - y}{2} \right\rceil \leq L \text{ dan } 0 \leq \left\lceil \frac{3y - x}{2} \right\rceil \leq L$$

dimana L adalah nilai maksimum komponen warna dalam citra. Untuk citra *gray level* 8 bit maka nilai L adalah 255.

3.2. Algoritma Pengekstraksian dan *Recovery*.

Untuk mengekstrak *watermark* yang disisipkan dan me-*recover* citra ter-*watermark* diperlukan proses kebalikan dari algoritma penyisipan. Berdasarkan syarat yang diberikan maka pendeteksian dapat dilakukan dengan memeriksa status pasangan piksel pada citra ter-*watermark* yaitu (x', y') serta memeriksa kesamaan LSB kedua pasangan piksel tersebut. Pemeriksaan kondisi ini dilakukan sebagai berikut :

1. Jika $(x', y'_{max}) \in D$ maka LSB dari y' adalah bit *watermark*.
2. Jika $(x', y'_{max}) \notin D$ dan LSB dari $x' =$ LSB dari y' maka piksel y' bukan merupakan bit *watermark* dan LSB dari y' tidak perlu disimpan.
3. Jika $(x', y'_{max}) \notin D$ dan LSB dari $x' \neq$ LSB dari y' maka posisi piksel y' harus diberi tanda untuk proses *recovery*.

Proses *recovery* dilakukan dengan mengganti LSB piksel y' pada alamat yang telah ditandai dengan sejumlah bit-*watermark* yang diperoleh sebelumnya. *watermark* yang disisipkan diperoleh dari bit-bit *watermark* yang terdeteksi setelah bit-bit untuk proses *recovery* dikeluarkan.

Secara lengkap metode untuk mengekstrak *watermark* dan me-*recover* citra ter-*watermark* disusun dalam algoritma berikut.

Hendra

Input : Citra yang dicurigai mengandung watermark (*Suspected image*).

Output : *watermark* dan citra *host*.

- 1) Partisi seluruh citra kedalam pasangan-pasangan piksel.
- 2) Untuk seluruh nilai intensitas pasangan piksel (x',y') :
 - a. Definisikan y'_{\max} yaitu nilai y' setelah LSB nya diganti dengan 0 atau 1 sehingga selisih x' dan y'_{\max} adalah selisih terbesar.
 - b. Jika $(x',y'_{\max}) \in D$, ekstrak LSB dari y' dan simpan sebagai barisan *watermark* yang terdeteksi. Ganti LSB dari y' sehingga LSB dari $y' = \text{LSB dari } x'$. Transformasi balik nilai x' dan y' dengan menggunakan fungsi invers..
 - c. Jika $(x',y'_{\max}) \notin D$:
 - i. Jika LSB dari $x' = \text{LSB dari } y'$, transformasi balik x' dan y' dengan menggunakan fungsi invers.
 - ii. Jika LSB dari $x' \neq \text{LSB dari } y'$, ganti LSB dari y' dengan bit *watermark* yang terdeteksi dari langkah 2b.

3.3. Kapasitas Penyembunyian Data

Berdasarkan algoritma penyisipan *watermark* maka dalam metode watermarking ini kapasitas penyembunyian data dihitung dengan rumus :

$$B = \frac{2T - P + H}{2P} \text{ bpp.}$$

dimana P adalah jumlah pasangan piksel, T adalah jumlah pasangan piksel yang dapat disisipi *watermark* dan H adalah jumlah pasangan piksel yang tidak dapat disisipi *watermark*.

3.4. Hasil Pengujian

Metode *watermarking* ini telah diuji dengan menggunakan citra host berupa citra *graylevel* dengan ukuran 512x512 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Citra Lena

Citra Boat.

Citra Mandrill

Citra X-ray

Citra Peta

Gambar 2. Citra Host.

Dari hasil pengujian diperoleh bahwa untuk sekali proses penyisipan diperoleh kapasitas penyembunyian data dan nilai *peak signal to noise ratio* (PSNR) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Kapasitas penyembunyian data dan nilai PSNR citra uji.

Hendra

Citra	Kapasitas penyembunyian data (bpp)	PSNR (dB)
Lena	0.498	35.99
Boot	0.494	33.50
Mendrill	0.45	25.45
X-ray	0.492	42.23
Peta	0.215	25.11

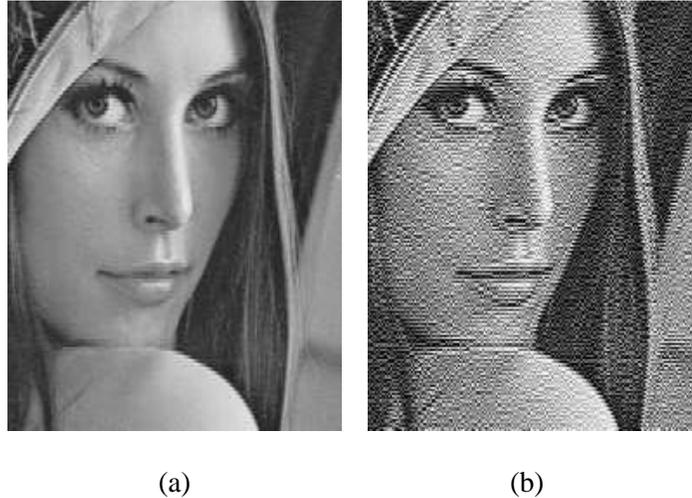
Dari Tabel 1 terlihat bahwa nilai PSNR citra X-ray lebih besar dibandingkan citra lain karena citra X-ray memiliki detail citra yang lebih halus dibandingkan citra-citra yang lain. Hasil ini juga menunjukkan bahwa detail citra juga mempengaruhi kapasitas penyembunyian data. Kapasitas penyembunyian data pada citra lena, citra boot dan citra X-ray hampir mencapai nilai maksimum yaitu mendekati nilai 0.5 bit per piksel (bpp).

Sebagian besar metode dalam *reversible watermarking* mampu melakukan proses penyisipan berulang sehingga dapat menampung data yang lebih besar. Dengan melakukan proses penyisipan berulang diperoleh hasil seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2 dimana untuk masing-masing *level* penyisipan pada citra lena diperoleh kapasitas penyembunyian data yang meningkat akan tetapi nilai PSNR citra semakin rendah.

Tabel 2. Perbandingan nilai PSNR dan kapasitas penyembunyian data citra lena pada beberapa level penyisipan.

Level	PSNR (dB)	Kapasitas penyembunyian data (bpp)
1	35.992	0.498
2	27.159	0.980
3	21.737	1.407
4	17.801	1.708
5	14.913	1.801

Nilai PSNR berhubungan dengan kualitas citra yang telah disisipi watermark, semakin rendah nilai PSNR maka kualitas citra akan semakin buruk sehingga citra tersebut dapat dicurigai mengandung watermark seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Perbandingan kualitas citra lena ter-watermark terhadap nilai PSNR yang berbeda.
 (a) citra lena dengan nilai PSNR 35.99dB (b) citra lena dengan nilai PSNR 14.91dB.

4. Kesimpulan dan Saran

Penelitian ini menunjukkan bahwa metode *reversible watermarking* dengan menggunakan RLCM memiliki kapasitas penyembunyian data yang sangat besar sekalipun tanpa menggunakan proses kompresi data seperti pada metode-metode *reversible watermarking* yang lain. Kompleksitas algoritma metode ini sudah cukup rendah. Walaupun demikian kompleksitasnya masih dapat dibuat lebih kecil dengan mengimplementasikan *Look-Up Table* (LUT) pada algoritma tersebut.

Pada metode ini citra dibagi dalam pasangan-pasangan piksel, perlu penelitian lebih lanjut untuk membagi citra kedalam tiga atau lebih piksel sehingga diperoleh kapasitas penyembunyian data yang lebih besar

Daftar Pustaka

1. Alattar. A.M., 2003, Reversible watermarking using difference extension of triplets, *in Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing*, Vol. 1, pp : 501-504, Catalonia, Spain.
2. Celik. M.U., Sharma. G., Tekalp. A.M., and Saber. E., 2002, Reversible data hiding, *in Proceedings of the International Conference of Image Processing*, pp : 157-160, NY, USA.
3. Coltuc. D. dan Chassery. J-M., 2007, Very Fast Watermarking by Reversible Contrast Mapping, *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 14, No. 4.
4. Feng. J-B, Lin. I-C, Tsai. C-S dan Chu Y-P, 2006, Reversible Watermarking : Current Status and key issue, *International Journal of Network Security*, Vol.2, No.3, pp : 161-171.

Hendra

5. Hendra, 2008, Reversible Watermarking menggunakan Transformasi Integer, *Tesis S2 Ilmu Komuter, UGM, Yogyakarta*.
6. Ni. Z., Shi. Y.Q., Ansari. N., Su. W., Sun. Q. dan Lin. X., 2003, Robust Lossless Image Data Hiding, in *ISCAS Proceddings of the 2003 International Symposium on Circuits and Systems*, Vol. 2, pp : II-912-II-915, Thailand.
7. Tian. J., 2002, Wavelet-based reversible watermarking for authentication, in *Proceddings of SPIE sec. and Watermarking of Multimedia Cont. IV*, Vol. 4675.
8. Vleeschouwer. C.D., Delaigle. J.E., dan Macq. B., 2001, Circular interpretation of histogram for reversible watermarking, in *Procedding of the IEEE 47h Workshop on Multimedia Signal Processing*, pp : 345-350, France.