

TEKNIK WATERMARKING ADAPTIF MENGGUNAKAN MICRO GENETIC ALGORITHM

Hardisal¹, Muhammad Zarlis², Erna Budhiarti Nababan³

Programstudi Pascasarjana Teknik Informatika Universitas Sumatra Utara¹

E-mail: hardisal.nm@gmail.com

Dosen Pascasarjana Teknik Informatika Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi USU²

Jl. Universitas No.9 Kampus USU

Dosen Pascasarjana. Teknik Informatika Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi USU³

Jl. Universitas No.9 Kampus USU

Abstrak

Citra digital sangat rentan terhadap perlakuan pengolahan kembali, seperti pemampatan, penyaringan, pengaburan, dan sebagainya. Pada citra yang mengandung *watermark*, pengolahan kembali tentunya dapat merusak eksistensi *watermark* di dalamnya. Kekukuhan *watermark* dalam citra asli dapat ditingkatkan melalui pemilihan teknik-teknik penyisipan yang tepat. Salah satunya dengan menggunakan teknik transformasi citra seperti *discrete wavelete transform* atau DWT. Namun penentuan skala penyisipan (*gain*) bagi *watermark* menjadi sangat krusial, karena dengan nilai *gain* yang besar akan membuat kualitas visual citra dapat berkurang. Sebaliknya, nilai *gain* yang terlalu kecil membuat *watermark* akan sukar untuk dideteksi. Penggunaan teknik cerdas seperti *micro genetic algorithm* dapat memberika solusi dalam menentukan nilai penskalaan ini. Sehingga kualitas visual citra dapat dijaga dan *watermark* di dalamnya dapat dipertahankan.

Kata kunci: citra, *watermarking*, *watermark*, *micro-GA*, DWT, PSNR, NC.

1. Pendahuluan

Terdapat permasalahan pada teknik *watermarking* yang hingga saat ini masih ramai dibicarakan, yaitu adanya konstrain antara kualitas visual citra (*imperceptibility*), kekukuhan *watermark* dalam citra (*robustness*), kapasitas pesan yang mampu ditampung (*capacity*), dan keamanan data (*security*). Untuk tujuan tertentu, ada kalanya aspek *imperceptibility* lebih diutamakan, atau pada tujuan yang lain kebutuhan *robustness* menjadi lebih penting, demikian halnya dengan aspek kapasitas dan kemandirian. Pastinya hingga saat ini masih sulit untuk mencapai keempat aspek tersebut secara bersamaan.

Penyisipan *watermark* ke dalam citra asli diartikan sebagai usaha merubah sebagian atau keseluruhan nilai piksel dalam citra asli karena telah ditumpangi oleh *watermark*. Akibatnya pada citra asli akan mengalami degradasi secara visual. Teknik *watermarking* yang baik akan selalu berusaha meminimalisir degradasi visual pada citra asli. Usaha untuk mempertahankan kualitas visual citra ini dimaksud dengan *imperceptibility*. Selain itu, aspek penting lainnya yang menjadi perhatian peneliti adalah kekukuhan (*robustness*) *watermark* di dalam citra asli [1].

Robustness dapat diartikan sebagai kondisi yang mendeskripsikan eksistensi *watermark* dalam citra asli setelah citra asli dikenakan perlakuan (serangan). Karena tidak dapat dipungkiri bahwa citra digital sangat rentan terhadap pengolahan kembali, seperti

pemampatan, penyaringan, pengaburan, pemotongan, dan sebagainya.

Penyisipan *watermark* ke dalam citra melalui ranah spasial dinilai mudah untuk mengendalikan aspek visual dan kapasitas, namun kurang efektif dalam mempertahankan kekukuhan *watermark*. Sebaliknya, penyisipan dengan ranah transformasi dapat meningkatkan kekukuhan *watermark*, namun cenderung kehilangan kendali terhadap aspek visual, dan beban komputasinya relatif tinggi [2].

Oleh karena itu, peneliti mulai memperkenalkan teknik-teknik cerdas untuk mencari solusi terkait konstrain pada *watermarking*. Misalnya [3] memperkenalkan *genetic pixel selection* (GPS), *genetic band selection* (GBS), *genetic codebook partition* (GCP), dan *genetic index assignment* (GIA). Kemudian [4] menggunakan algoritma genetika (*genetic algorithm* atau GA) untuk mengevaluasi fitur saat proses penyisipan. Kedua peneliti ini menggunakan citra keabuan (*grayscale*) sebagai objek penelitiannya. Selanjutnya ada [5] yang melakukan penyisipan *watermark* pada citra warna dengan bantuan GA. Mereka mengklaim bahwa metode mereka sebagai satu-satunya yang menggunakan GA pada citra warna pada saat itu. Namun diakui bahwa metode yang mereka ajukan memerlukan waktu komputasi yang cukup besar.

Penggunaan algoritma genetika umumnya membutuhkan beban komputasi yang besar, dikarenakan harus membangkitkan sejumlah populasi

untuk mewakili solusi-solusi alternatif yang dievaluasi disetiap proses iterasi operator genetik. Pada *watermarking* hal ini sangat memberatkan, apalagi jika harus mengolah data citra yang besar, ditambah jika teknik watermarking menggunakan ranah transformasi, tentunya beban komputasi menjadi bertambah.

Di sini penulis akan mencoba menjelaskan penggunaan *micro genetik algorithm (micro-GA)* dalam teknik *watermarking*. Istilah *micro-GA* [6], lebih ditekankan pada penggunaan jumlah populasi relatif kecil yakni lebih kecil dari 10 populasi. Dengan demikian, beban komputasi tentunya menjadi lebih ringan jika dibandingkan dengan penggunaan populasi yang lebih besar. Disamping itu, pada *micro-GA*, penggunaan tipe-tipe operator dan penerapan strategi tertentu turut menentukan kesuksesan dalam pencarian solusi secara cepat dan tepat.

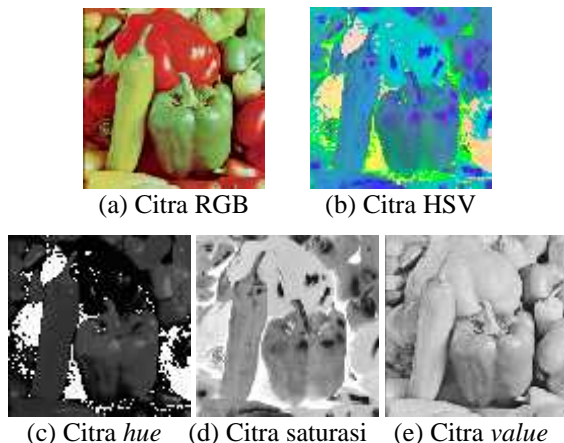
Penerapan *micro-GA* yang akan diulas di sini berdasarkan pada teknik *watermarking* sebelumnya [7] menggunakan *discrete wavelet transform*, dan penggunaan *micro-GA* ditujukan saat penyisipan *watermark* yang berfungsi untuk mencari nilai *gain* penyisipan yang tepat yang akan menyesuaikan pada kebutuhan mempertahankan kualitas citra (*imperceptibility*) dan menguatkan *watermark* (*robustness*).

2. Metode dan Analisis

Teknik penyisipan *watermark* ke dalam citra dilakukan melalui tahapan-tahapan utama, yakni: (1) Transformasi citra menggunakan DWT; (2) Enkripsi *watermark* dengan ACM; dan terakhir (3) Penyisipan *watermark* dengan *assessment micro-GA*.

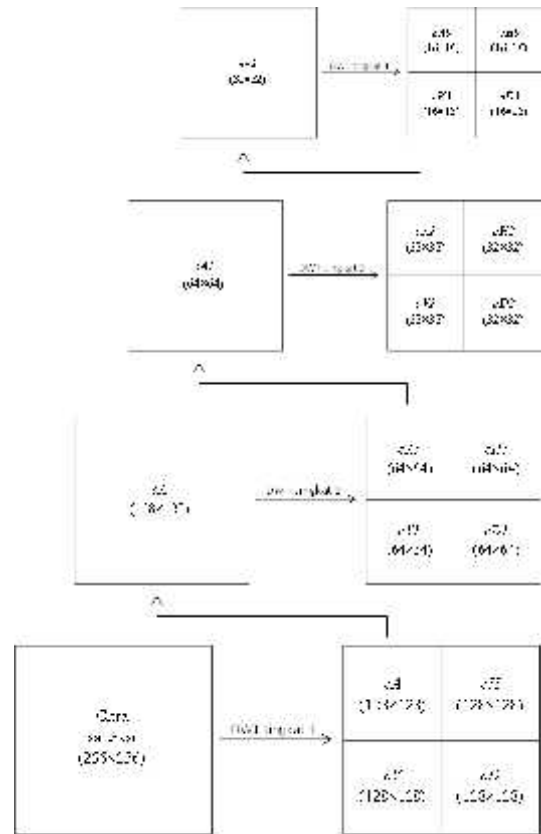
2.1 Transformasi cira asli dan enkripsi watermark

Citra yang digunakan dalam teknik *watermarking* ini adalah citra warna RGB (*red, green, blue*) berdimensi $256 \times 256 \times 3$ dengan format berkas TIFF (*tagged image file format*). Pertama-tama citra RGB ini ditransformasikan ke koordinat warna HSV (*hue, saturation, value*) seperti ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Perubahan koordinat RGB ke HSV

Ruang warna *saturasi (S)* dari citra di atas dipilih untuk ditransform dengan DWT sebanyak 4 tingkat. Setiap tingkat transformasi DWT akan menghasilkan 4 citra yang serupa namun dengan koefesien yang berbeda. Koefesien tersebut disebut koefesien aproksimasi (*cA*), horizontal (*cH*), vertikal (*cV*), dan detail (*cD*) [8]. Di setiap tingkat citra mengalami perubahan dimensi menjadi $(M/2, N/2)$. Citra *cA* hasil transformasi tingkat pertama akan ditransform ke tingkat selanjutnya yang menghasilkan empat citra *cA, cH, cV, dan cD* baru lagi dengan dimensi yang lebih kecil, begitu seterusnya sampai tingkat empat. Ilustrasi transformasi DWT ini ditunjukkan oleh Gambar 2. Citra *cA, cH, cV, dan cD* level 4 didekomposisi membentuk sub citra baru berdimensi 32×32 (Gambar 3). Citra dekomposisi inilah yang akan digunakan sebagai media penyisipan *watermark* nantinya.

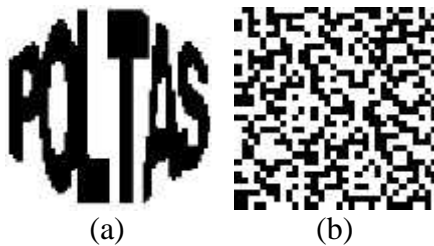


Gambar 2. Ilustrasi transformasi DWT pada citra *host*



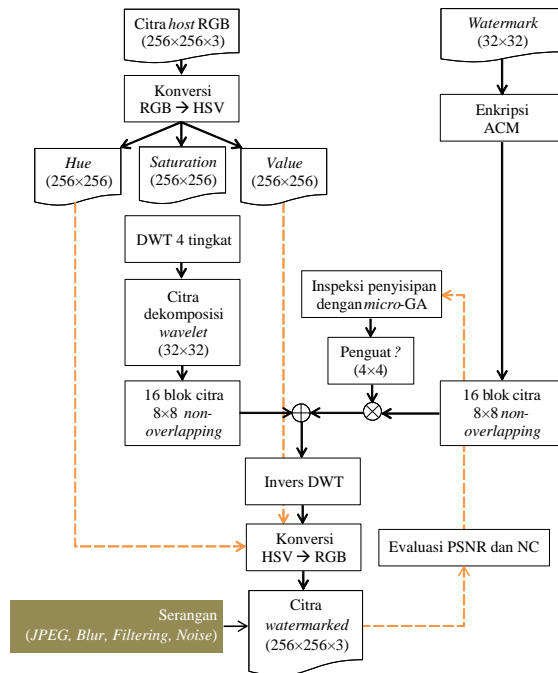
Gambar 3. Citra dekomposisi *wavelet* level 4 untuk citra paprika

Sementara itu, *watermark* dipersiapkan berupa citra biner berdimensi 32×32. Agar lebih memberikan efek kekukuhan *watermark* terhadap serangan citra, sebelumnya *watermark* dienkripsi terlebih dahulu menggunakan teknik enkripsi *chaos Arnold's cat map* [9]. Enkripsi juga bertujuan untuk mengamankan data pesan (*watermark*) dari pengaksesan yang tidak berhak.



Gambar 4. *Watermark*, (a) asli, (b) terenkripsi.

Gambaran risngkas tahapan-tahapan *watermarking* ini diilustrasikan oleh Gambar 5. Sekarang mari kita lanjutkan pembahasan kita pada penggunaan *micro-GA* dalam menentukan faktor skala penyisipan yang dibutuhkan.



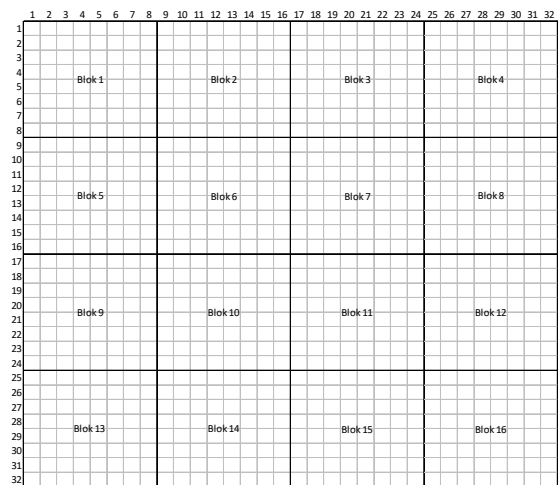
Gambar 5. Skema *watermarking*

2.2 Penyisipan *watermark* dengan *micro-GA*

Penyisipan *watermark* pada koefisien *wavelet* dengan bantuan *micro-GA* ditujukan untuk mencari nilai penguat (*gain*) *watermark* yang tepat, yang dapat menyesuaikan dengan kebutuhan transparansi dan kekukuhan *watermark* dalam citra asli. Pencarian skala energi *watermark* dengan *micro-GA* ini tidak hanya sebatas pada besaran nilai, namun juga diharapkan ada variasi menurut kelompok piksel tertentu. Untuk keperluan ini, terlebih dahulu piksel

dari kedua buah citra (citra dekomposisi *wavelet* dan *watermark* acak) akan dibagi dalam blok-blok piksel.

Adapun pembentukan blok dilakukan secara sederhana, dengan membagi citra ke dalam 16 buah blok yang tidak tumpang tindih. Sehingga masing-masing blok mempunyai 8×8 piksel seperti diilustrasikan pada Gambar 6. Untuk selanjutnya, setiap blok piksel akan berkorespondensi satu-satu dengan himpunan nilai *gain*. Jadi diperlukan sebanyak 16 buah nilai *gain*. Nantinya himpunan 16 buah nilai *gain* inilah yang akan membentuk kromosom dari individu dalam perhitungan dengan *micro-GA*, dan akan diinpeksi menurut nilai *fitnes* yang diperoleh.



Gambar 6. Ilustrasi blok citra

Dengan demikian, persamaan penyisipan dijelaskan sebagai berikut. Misalkan blok citra asli adalah Hb_i , blok *watermark* adalah Wb_i , serta besaran *gain* adalah i , dan $i = 1, \dots, 16$, maka citra hasil penyisipan I_w didefinisikan sebagai:

$$I_w = Hb_i + r_i Wb_i \quad (1)$$

Dalam hal ini I_w merupakan citra dekomposisi *wavelet* yang mengandung *watermark*. Proses invers DWT perlu dilakukan untuk mengembalikan citra ke tampilan aslinya, termasuk mengembalikan format warna dari HSV ke RGB, sehingga hasil akhirnya adalah citra RGB yang mengandung *watermark*. Citra ter-*watermark* yang terbentuk, dalam penelusuran solusi genetika disebut sebagai individu. Sedangkan *watermark* dapat diekstrak dengan persamaan berikut.

$$W_{ekstrak} = \frac{I_w - Hb_i}{a_i} \quad (2)$$

Pertama-tama individu dibentuk melalui pembangkitan sejumlah populasi awal. Individu-individu yang terbentuk selama proses iterasi genetika merupakan citra ter-*watermark* hasil penyisipan menggunakan kromosom (himpunan

gain) yang ada. Sesuai dengan masalah yang dihadapi, *micro-GA* ditujukan untuk mencari nilai gain sebagai penguat *watermark* dalam citra. Dari fakta yang ada, koefisien yang dibutuhkan adalah sebanyak 16 buah variasi nilai, sebuah nilai diperuntukkan untuk sebuah blok citra. Enambelas buah variasi nilai ini adalah gen-gen pembentuk kromosom yang akan menjadi solusi. Sebuah kromosom akan membentuk sebuah individu berupa citra *watermarked* setelah melalui prosedur penyisipan menurut persamaan 1.

a. Kromosom

Pada kasus ini, kromosom dapat dituliskan sebagai matrik yang mengandung 4x4 buah gen masing-masing bernilai seperti berikut.

$$Kromosom = \begin{bmatrix} r1 & r5 & r9 & r13 \\ r2 & r6 & r10 & r14 \\ r3 & r7 & r11 & r15 \\ r4 & r8 & r12 & r16 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Populasi awal dibangkitkan dengan membentuk sejumlah *n* buah matrik *K*, atau *K_n*, *n* adalah jumlah populasi. Adapun nilai dibangkitkan secara acak pada interval [0 1].

b. Evaluasi fitness

Evaluasi setiap individu dilakukan berdasarkan pada perhitungan *peak noise-to-ratio* (PSNR) dan *normalize correlation* (NC) yang diformulasikan ke dalam fungsi fitness. Nilai PSNR (dalam satuan *decibel* atau dB) menggambarkan tingkat transparansi *watermark* di dalam citra, semakin besar nilai PSNR semakin bagus kualitas visual citra ter-*watermark*, sebaliknya semakin kecil nilai PSNR menunjukkan citra ter-*watermark* mengalami degradasi (kualitas visual) yang besar.

Umumnya nilai yang diinginkan lebih besar dari 30 dB. PSNR dapat dihitung melalui persamaan berikut.

$$PSNR(I, I') = 10 \times \log_{10} \frac{255^2}{MSE(I, I')} \quad (4)$$

dimana, *I* merupakan citra asli, *I'* adalah citra ter-*watermark*. MSE (*mean square error*) didapatkan setelah dihitung selisih *Euclidean distance* antara dua citra, menurut persamaan:

$$MSE(I, I') = \frac{ED(I, I')}{M \times N} \quad (5)$$

$$ED(I, I') = \sum_i^M \sum_j^N (I(i, j) - I'(i, j))^2 \quad (6)$$

Sedangkan nilai NC mendeskripsikan tingkat distorsi yang dialami oleh *watermark* akibat adanya serangan (pengolahan) terhadap citra ter-*watermark*.

Ada 4 (empat) tipe serangan yang dikenakan. Masing-masing diberi 3 (tiga) intensitas yang berbeda-beda. Jadi ada total 12 serangan yang dikenakan untuk menguji kekuhan *watermark* dalam citra. Tabel 1 merangkum jumlah serangan yang diberikan.

Tabel 1. Kategori serangan

No.	Jenis Serangan	Intensitas
1.	Kompresi JPEG	Bitdepth 8, quality: 90%, 70%, dan 45%.
2.	Blur	Average, Gaussian, unsharp.
3.	Median filtering	Neighborhood: 3x3, 5x5, dan 8x8.
4.	Noise	Gaussian 0,002, Salt & pepper 0,007, dan speckle 0,007.
5.	Scaling	Scaling factor: 0,6, 1,2 dan 1,6.
6.	Cropping	Pemotongan tepi: 5%, 15%, 30%.

NC didapatkan dengan memeriksa kesamaan piksel citra *watermark* asli (*W*) dengan citra *watermark* yang terkena serangan (*W'*). Nilainya berkisar dalam range [0,1]. Dihitung dengan persamaan di bawah ini.

$$NC(W, W') = \frac{\sum_i^M \sum_j^N W(i, j) \times W'(i, j)}{\sum_i^M \sum_j^N W(i, j)^2} \quad (7)$$

M dan *N* adalah dimensi citra, lalu *i* dan *j* adalah pasangan koordinat piksel citra.

Setelah didapatkan nilai PSNR dan NC, maka dapat dilakukan evaluasi fitness berdasarkan fungsi berikut:

$$f = \frac{\sum_{c=1}^3 PSNR_c}{3} - \sum_{i=1}^{22} (1 - NC_i) + 5 \quad (8)$$

PSNR_c mewakili PSNR citra warna R, G, dan B. Lalu *NC_i* mewakili nilai NC dari setiap *watermark* suspek (*i* = 1, ..., 22). Nilai konstan 5 ditujukan untuk mengimbangi nilai NC dengan nilai PSNR. Kemudian nilai *f* diberikan penskalaan sebesar *f^k* untuk mengantisipasi merosotnya diversitas populasi selama iterasi, *k* dipilih sangat kecil yaitu 1,005. Oleh karena itu, nilai fitness akhir untuk evaluasi setiap individu adalah:

$$fitness = f^{1,005} \quad (9)$$

Keseluruhan penyisipan melalui iterasi genetika dilakukan dengan operator dan parameter yang disajikan pada Tabel 2. Perbedaan *micro-GA* dengan

algoritma genetika pada umumnya terletak pada jumlah populasi yang digunakan, yakni lebih kecil dari 10 populasi. Sedangkan operator mutasi boleh ditiadakan. Untuk menjaga keberagaman gen selama iterasi diterapkan skenario *restart strategy* atau pembangkitan populasi ulang dengan mempertahankan populasi terbaik sebelumnya.

Tabel 2. Operator dan parameter *micro-GA*

Jumlah populasi	8
Pengkodean gen	<i>real</i>
Jumlah gen per kromosom	16
Strategi seleksi	Turnamen dan <i>elitism</i>
Operator <i>crossover</i>	<i>Two point arithmetic crossover</i>
Peluang <i>crossover</i>	0,89
Peluang mutasi	0
Iterasi maksimum	10
Jumlah <i>restart</i>	20

c. Seleksi orang tua dan persilangan

Pemilihan orang tua menggunakan metode *tournament selection* dengan jumlah pasangan *tour 2* (dua). Dari pasangan *tour* dilakukan prosedur kawin silang (*crossover*) menggunakan metode *crossover arithmetic*. Ditentukan dua titik persilangan atau *two-point-cut crossover*. Nilai *margin* ditentukan acak dalam rentang nilai [0,0080 – 0,3550]. Persilangan akan terjadi jika peluang *crossover Pc* lebih besar dari 0,89.

d. Restart strategy

Restart strategy dilakukan dengan menentukan dua nilai ambang batas. Nilai ambang pertama adalah *average distance* atau nilai selisih rata-rata gen antar kromosom, dibatasi minimal 0,0125, jika gen-gen antar kromosom sudah mengalami rata-rata selisih lebih kecil dari nilai minimal, maka kromosom dianggap tidak mempunyai perbedaan yang berarti. Nilai ambang ke-dua, jumlah kromosom yang mempunyai selisih rata-rata sudah lebih kecil dari ambang batas dibatasi hanya sebesar 50%. Artinya jika ada 50% kromosom dalam populasi telah mengalami kekurangan *diversity* maka iterasi akan dihentikan dan *restart strategy* akan dilakukan.







3. Hasil dan Pembahasan

Dari percobaan yang dilakukan, telah didapatkan data-data yang dapat memberikan gambaran tentang bagaimana pengaruh metode yang digunakan terhadap usaha menghasilkan sistem *watermarking*

yang lebih baik. Akhir dari iterasi *micro-GA* pada setiap percobaan didapatkan data-data sebagai berikut.

Pertama, akan ditampilkan perbandingan citra asli dengan citra ter-*watermark* yang merupakan *output* utama dalam percobaan ini. Bersamanya juga turut disajikan perolehan nilai PSNR sebagai deskripsi kualitas citra ter-*watermark* dibandingkan dengan citra aslinya sebagaimana dirangkum pada Tabel 3.

Tabel 3. Citra ter-*watermark* terbaik dan nilai PSNR

No.	Data uji	Citra asli	Citra ter- <i>watermark</i>	PSNR (dB)
1.	Paprika			49,74
2.	Baboon			57,55
9.	Gula-gula			53,78

Hasil *watermarking* menunjukkan hasil relatif baik dalam hal menyembunyikan *watermark* di dalam citra. Hal ini ditandai oleh perolehan nilai PSNR yang rata-rata melampaui 50 dB seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3. Hal ini bermakna bahwa kandungan *watermark* di dalam citra tidak terlalu memperkeruh kualitas visual citra secara keseluruhan. Jika dilihat sepintas, hampir tidak ada cacat ataupun noda pada gambar yang diakibatkan oleh *watermark*. Nilai ini dapat dikatakan telah memenuhi kualitas *imperceptible* yang pada umumnya diinginkan 40 dB.

Namun, memang jika diperhatikan secara seksama, akan didapati bahwa terdapat sedikit degradasi warna dari piksel di area tertentu pada citra. Sangat disayangkan, bahwa metode yang telah dibangun masih memiliki kekurangan walaupun degradasi masih dapat ditolerir oleh pandangan mata.

Data selanjutnya (Tabel 4) adalah gambar *watermark* hasil ekstraksi dari citra suspek serangan beserta nilai NC. Data ini akan menunjukkan akibat yang ditimbulkan oleh serangan-serangan. Tabel 5 memberikan deskripsi luas terhadap pencapaian *robustness* dalam setiap percobaan. Dari data-data tersebut bisa dinilai bahwa *watermark* telah dapat dideteksi dengan baik dari citra suspek. Bahkan pada intensitas serangan tertentu hasilnya sangat memuaskan.

Itulah hasil *watermarking* yang telah dilakukan dengan menggunakan DWT dan *micro-GA*. Individu terbaik telah didapatkan setelah proses iterasi

berakhir. Individu terbaik telah tumbuh dari kromosom (*gain*) terbaik pula. Sekumpulan nilai dalam kromosom juga akan berfungsi sebagai kunci rahasia yang diperlukan pada proses ekstraksi *watermark* dilakukan.

Penggunaan *micro-GA* telah menunjukkan hasil yang baik. Hal ini tercermin data pengujian, dimana *micro-GA* telah berhasil melakukan adaptasi terhadap objek citra yang digunakan. *Micro-GA* dapat dianggap telah berhasil mendapatkan besaran *gain* yang disesuaikan dengan objek citra. Nilai menjadi penentu konvergensi antara kualitas citra dan kekukuhan *watermark* di dalamnya.

Tabel 4. *Watermark* suspek serangan JPEG

No.	Data uji	Intensitas serangan		
		Q = 90%	Q = 70%	Q = 45%
1.	Paprika	NC = 0,9011	NC = 0,8255	NC = 0,7572
2.	Baboon	NC = 0,8471	NC = 0,7572	NC = 0,6475
3.	Gula-gula	NC = 0,9047	NC = 0,7518	NC = 0,6313

Tabel 5. Perolehan nilai NC

No.	Serangan	Nilai NC		
		Paprika	Baboon	Gula-gula
1.	Jpeg 1	0,9011	0,8471	0,9047
2.	Jpeg 2	0,8255	0,7572	0,7518
3.	Jpeg 3	0,7572	0,6475	0,6313
4.	Blur 1	0,8849	0,8669	0,9083
5.	Blur 2	0,9317	0,9155	0,9460
6.	Blur 3	0,8777	0,8561	0,8903
7.	Median filter 1	0,9640	0,9083	0,9658
8.	Median filter 2	0,9065	0,7824	0,9119
9.	Median filter 3	0,6817	0,5827	0,8165
10.	Noise 1	0,8993	0,8273	0,8633
11.	Noise 2	0,9586	0,9676	0,9047
12.	Noise 3	0,9550	0,9011	0,8633
13.	Scaling 1	0,8993	0,8795	0,8921

14.	Scaling 2	0,9388	0,9550	0,8993
15.	Scaling 3	0,9640	0,9820	0,9640
16.	Cropping 1	0,9317	0,9658	0,9406
17.	Cropping 2	0,8417	0,8777	0,8453
18.	Cropping 3	0,7554	0,7626	0,7482

Proses evolusi setiap generasi pada iterasi yang dilakukan sejak mulai individu terbaik awal hingga individu terbaik akhir telah berhasil meningkatkan perolehan nilai PSNR pada setiap data uji. Demikian halnya dengan perolehan nilai NC, walaupun tidak signifikan, minimal nilai NC akan cenderung dipertahankan pada nilai terbaik awalnya

Namun dari percobaan didapatkan kondisi proses evolusi cenderung terlalu cepat mengalami proses konvergensi. Artinya operasi genetik yang dilakukan masih kurang berhasil menciptakan keberagaman genetik pada setiap generasi. Generasi-generasi cenderung memiliki sifat yang identik, atau pada setiap persilangan, ataupun pembangkitan populasi pada saat *restart* tidak berhasil melahirkan generasi yang lebih baik. Peninjauan kembali di masa yang akan datang terhadap operator dan parameter genetik yang digunakan mungkin dapat memperbaiki keadaan ini.

4. Kesimpulan

Secara keseluruhan teknik *watermarking* ini telah berjalan dengan baik, hasil pengujian menunjukkan citra ter-*watermark* yang terbentuk bisa dikatakan telah memenuhi kriteria *imperceptibility* dan *robustness*. Proses evolusi generasi dalam operasi *micro-GA* di sini cenderung terlalu cepat mengalami situasi konvergen dini, peninjauan kembali terhadap operator dan parameter genetik mungkin dapat memperbaiki keadaan ini.

Daftar Pustaka

- [1] Tremeau, A. & Muselet, D. 2009. Recent trends in color watermarking. *Journal of Imaging Science and Technology* **53**(1): 1-15.
- [2] Hussein, E. & Belal, M.A. 2012. Digital watermarking techniques, application and attack applied to digital media: a survey. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)* **1** (7): 1-8.
- [3] Wang, F.-H., Pan, J.-S. & Jain, L.C. 2009. *Innovation in Digital Watermarking Techniques*. Studies in Computational Intelligence 232. Springer.
- [4] Tsai, J.-S., Huang, W.-B. & Kuo, Y.-H. 2011. On the selection of optimal feature region set for robust digital image watermarking. *IEEE*

- Transaction on Image Processing* **20** (3): 735-743.
- [5] Vahedi, E., Zoroofi, R.A. & Shiva, M. 2012. Toward a new wavelet-based watermarking approach for color images using bio-inspired optimizing principles. *Digital Signal Processing* **22** (1): 153-162.
- [6] Coello, C.A.C., Pulido, G.T., 2001, A Micro-Genetic Algorithm for Multiobjective Optimization. *E. Zitzler et al. (Eds.): EMO 2001, LNCS 1993*, 126-140, Springer.
- [7] Hardisal, 2016, Analisis Watermarking Citra Warna dengan Micro Genetic Algorithm dan Discrete Wavelet Transform, *Tesis*, USU, Medan.
- [8] Reddy, P.P., Prasad, M.V.N.K. & Rao, D.S. 2009. Robust digital watermarking of color images under noise attacks. *International Journal of Recent Trends in Engineering* **1**(1): 334-338.
- [9] Munir, R. 2012. Algoritma enkripsi selektif citra digital dalam ranah frekuensi berbasis permutasi chaos. *Jurnal Rekayasa Elektrika* **10** (2): 66-72.