

Robust Watermarking untuk Pengenalan Pembocor Konten

Pengaplikasian *Blind* dan *Robust Watermarking* pada segi Visual dari Gim berbasis DCT

Chokyi Ozer - 13518107

Program Studi Teknik Informatika
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika
Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha 10 Bandung
E-mail: 13518107@std.stei.itb.ac.id

Abstrak—Untuk penanggulangan pembocoran konten gim pada masa *beta testing*, diperlukan penindakan terhadap pelanggar kontrak. Untuk itu, sebuah mekanisme untuk mengidentifikasi pelaku pembocoran diperlukan. Salah satu teknik yang dapat dipakai untuk mekanisme ini adalah dengan menyisipkan markah tirta digital yang dapat mengidentifikasi pemain pada gambar-gambar tangkapan layar yang diperoleh dari gim. Pada makalah ini, dicoba sebuah metode *blind* dan *robust watermarking* berbasis DCT. Solusi ini mampu melakukan pemarkahan tirta digital dengan cepat sehingga tidak memberatkan laju permainan.

Kata kunci—*pemarkahan tirta digital, blind watermarking, robust watermarking, pembocoran konten gim*

I. PENDAHULUAN

Pengembangan konten untuk gim yang ditambahkan fitur secara iteratif tentunya membutuhkan proses yang memakan waktu. Salah satu keperluan yang dapat memakan waktu adalah untuk melakukan pengujian terhadap konten gim yang belum dirilis secara umum tersebut. Salah satu metode yang sering dipakai oleh pengembang adalah *beta testing* tertutup. Metode ini mengundang sejumlah pemain, baik yang belum pernah maupun yang sudah pernah bermain gim tersebut sebelumnya, untuk mencoba fitur-fitur baru tersebut. Walaupun bukan merupakan syarat dari *beta testing*, terkadang pengembang tidak ingin informasi mengenai konten tersebut bocor ke umum, sehingga menggunakan pemain dari luar perusahaan dapat mengakibatkan bocornya konten.

Dewasa ini, terdapat kabar bahwa pengembang dari salah satu gim ternama sedang dalam upaya untuk menangkap pembocor konten, atau *leaker*, yang menyebarkan informasi mengenai konten yang seharusnya belum dapat disebarluaskan untuk umum. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk membantu penangkapan pembocor konten adalah dengan menandai setiap pemain dengan sebuah identitas unik dan mengidentifikasi identitas unik tersebut. Pada gim yang dimaksud, setiap pemain harus melakukan autentikasi ke peladen gim agar dapat bermain. Hal tersebut akan mempermudah pemberian identitas unik kepada pemain-pemain dari gim.

Salah satu metode yang dapat dipakai untuk mengidentifikasi identitas unik pemain adalah dengan menyisipkan identitas tersebut pada tangkapan layar dari gim tersebut. Teknik penyisipan identitas pada citra (ataupun tipe informasi digital lainnya) ini disebut pemarkahan tirta digital. Markah tirta digital pada citra dapat dipasang sebagai informasi yang mudah dilihat oleh mata telanjang, ataupun yang sulit untuk dideteksi.

Pada makalah ini, dibahas penggunaan teknik pemarkahan tirta digital yang memiliki kebutuhan spesifik. Teknik yang dibahas ini sifatnya tidak mudah untuk dilihat oleh mata telanjang untuk mempersulit pendeteksian dan tidak mengganggu estetika dari gim. Teknik yang dibahas juga perlu kokoh terhadap manipulasi citra agar identitas unik pemain tidak dapat disamarkan dengan mudah.

II. LANDASAN TEORI

A. Discrete Cosine Transform

Representasi pada domain frekuensi merupakan hal yang sangat berguna dalam pemrosesan sinyal, contohnya pada pemrosesan citra. Agar diperoleh representasi ini, diperlukan mekanisme konversi citra dari domain spasial (setiap piksel merepresentasikan lokasi pada gambar) ke domain frekuensi (setiap piksel merepresentasikan frekuensi tertentu). Salah satu metode yang dapat melakukan hal tersebut adalah *discrete cosine transform*.

Discrete Cosine Transform (DCT) dari sebuah citra dua dimensi dapat dihitung menggunakan persamaan berikut [1].

$$B_p = a_p \sum_{m=0}^{M-1} A_m \cos \frac{\pi(2m+1)p}{2M}, 0 \leq p \leq M-1$$
$$a_p = \begin{cases} 1/\sqrt{M}, & p < 0 \\ \sqrt{2/M}, & 1 \leq p < M \end{cases}$$

DCT dari citra dua dimensi dapat dihitung dengan melakukan DCT terhadap tiap dimensi berturut-turut. Agar dapat diubah ke domain spasial lagi, sebuah fungsi invers

diperlukan. IDCT adalah metode konversi hasil DCT ke bentuk semula dan memiliki persamaan sebagai berikut.

$$A_m = \sum_{p=0}^{M-1} a_p B_p \cos \frac{\pi(2m+1)p}{2M}, 0 \leq m \leq M-1$$

$$a_p = \begin{cases} 1/\sqrt{M}, & p < 0 \\ \sqrt{2/M}, & 1 \leq p < M \end{cases}$$

Seperti DCT, IDCT untuk citra dua dimensi dilakukan dengan mengaplikasikan IDCT untuk setiap dimensi berturut-turut.

B. Pemarkahan Tirta Digital

Kasus hak cipta dan lisensi merupakan salah satu permasalahan yang dapat dihadapi dalam membagikan gambar di Internet. Salah satu hal yang terkait dengan permasalahan ini adalah pemarkahan tirta digital atau *digital watermarking*. Berdasarkan kekokohnya, markah tirta digital dapat dikategorikan menjadi dua jenis.

1) Fragile Watermarking

Yakni markah tirta yang mudah rusak akibat manipulasi pada citra [2]. Umumnya, markah tirta ini dipakai untuk pendeteksian manipulasi pada citra, seperti contoh pada Gambar 1.

2) Robust Watermarking

Yakni markah tirta yang kokoh terhadap manipulasi pada citra. Beberapa contoh manipulasi yang mungkin dapat ditangani pemarkahan tirta ini adalah kompresi dan pengubahan ukuran. Tujuan umum dari menggunakan pemarkahan tirta ini adalah untuk perlindungan hak cipta, seperti contoh pada Gambar 2. Sebuah metode *robust watermarking* umumnya memiliki sifat berikut [2].

a) *Imperceptible* – Perbedaan antara citra orisinal dengan citra bermarkah tirta tidak mudah terlihat



Gambar 1. Contoh hasil ekstraksi markah tirta *fragile watermarking* yang dimanipulasi [2].

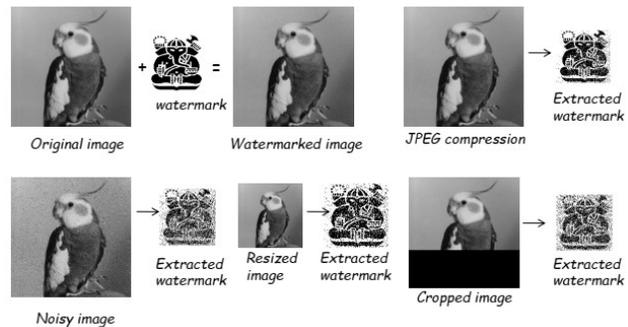
b) *Robust* – Kekokohan markah tirta yang tinggi terhadap bermacam jenis manipulasi citra.

c) *Secure* – Markah tirta tidak mudah untuk diakses oleh publik.

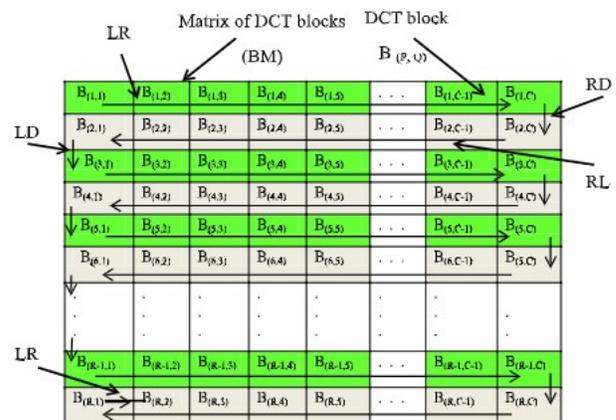
C. Blind and Robust Watermarking

Sebuah metode pemarkahan tirta digital disebut *blind* (buta) ketika proses ekstraksi markah tirta dari citra bermarkah tidak membutuhkan citra orisinalnya. Dalam makalah ini, dipakai metode pemarkahan tirta digital berikut [3].

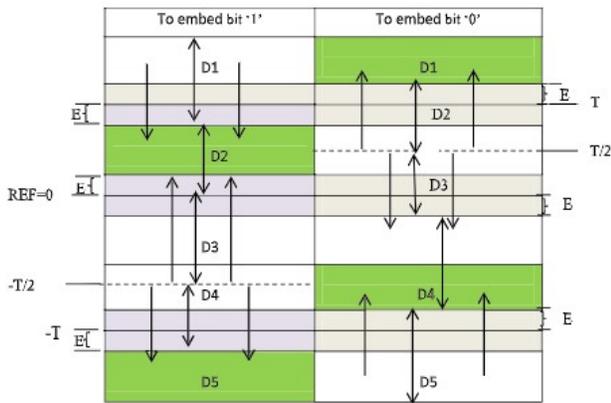
Singkatnya, metode ini menerima masukan citra *grayscale* atau RGB berukuran 512x512 sebagai citra orisinal dan citra hitam-putih 64x64 sebagai citra markah tirta. DCT akan dilakukan untuk setiap blok 8x8 pada citra orisinal, dan bit markah tirta akan disisipkan pada salah satu koefisien DCT. Koefisien yang dipilih untuk penyisipan bergantung pada genap-ganjilnya indeks blok 8x8 tersebut, yang terlihat dari Gambar 3. Nilai yang ditambah/dikurang dari koefisien tersebut bergantung pada selisihnya dengan koefisien pada blok setelahnya (urutan blok terlihat pada Gambar 3) dengan pergeseran yang terlihat pada Gambar 4.



Gambar 2. Contoh hasil ekstraksi markah tirta *robust watermarking* yang dimanipulasi [2].



Gambar 3. Representasi matriks dari blok-blok DCT [3]. Indeks dari DCT ditentukan dari posisinya, dihitung dengan mengikuti arah panah dari pojok kiri atas dan menelusurinya kebawah. Untuk indeks ganjil, dipilih koefisien di (3, 3) pada blok DCT, sementara untuk indeks genap, dipilih koefisien di (3,4) pada blok DCT.



Gambar 4. Modifikasi dari koefisien DCT untuk menyisipkan bit markah tirta [3]. T merupakan sebuah ambang batas untuk menghindari terlihatnya perubahan pada citra, sementara E adalah margin galat. Misal untuk menyisipkan bit 1, bila selisih antar koefisien DCT melebihi ambang batas, koefisien akan dikurang secara iteratif hingga nilainya berada dibawah ambang batas.

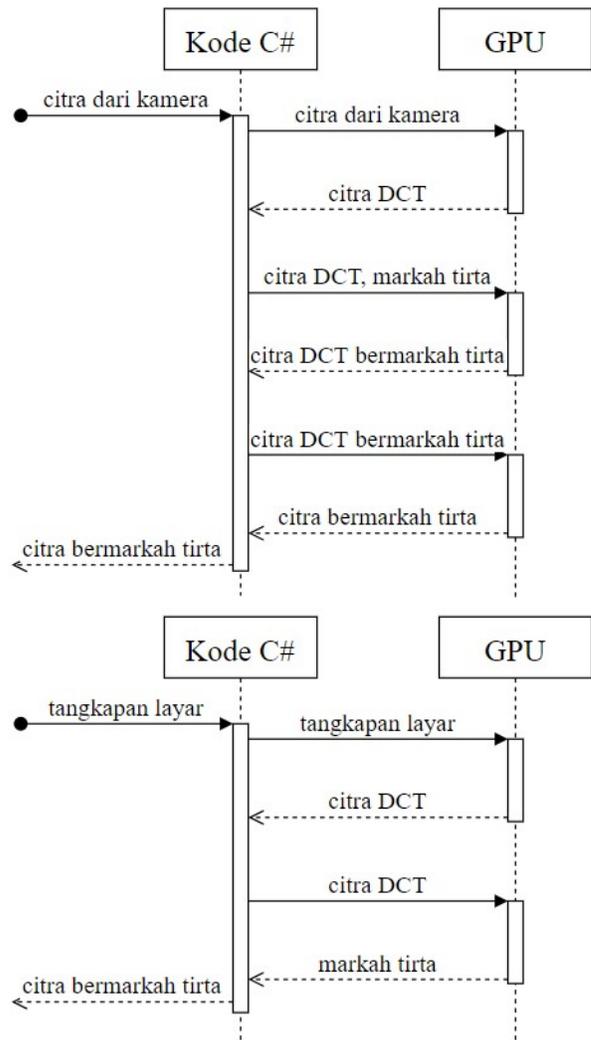
Kunci dari sifat *blind* metode ini terletak pada hubungan antar blok-blok DCT. Agar dapat mengekstraksi markah tirta, diperlukan “konteks” yang diperoleh dari blok tetangganya. Proses ekstraksi markah tirta dilakukan dengan menghitung selisih koefisien antar dua blok dan memeriksa Gambar 4 untuk menentukan bit 1 atau 0. Misal, bila selisih berada pada rentang D2 atau D5, bit yang terekstraksi adalah 1. Sebaliknya, bila selisih berada pada rentang D1 atau D4, bit yang terekstraksi adalah 0.

D. Mesin Gim Unity

Unity merupakan sebuah aplikasi pengembangan media digital yang diutamakan pada pengembangan gim. Unity utamanya dibuat untuk pengembangan gim yang membutuhkan kemampuan grafis tiga dimensi. Hingga saat ini, gim-gim yang dibangun menggunakan Unity dapat dimainkan dalam berbagai platform, seperti *personal computer*, konsol, perangkat seluler, dan perangkat realitas maya. Tidak hanya dalam industri gim, Unity dipakai oleh industri lainnya seperti arsitektur, manufaktur, otomotif, dan perfilman/animasi [4]. Dalam pemrogramannya, Unity mendukung pemrograman dengan bahasa pemrograman C#.

E. Compute Shader

Salah satu metode untuk mempercepat komputasi adalah dengan melakukan komputasi secara paralel. Dalam kasus pemrosesan citra, komputasi secara paralel dengan GPU merupakan sesuatu yang umum. Untuk melakukan hal tersebut, Unity menyediakan sebuah mekanisme yang dinamakan dengan *compute shader*. Sesuai namanya, *compute shader* adalah sebuah program yang dituliskan dalam bahasa pemrograman HLSL yang dapat dijalankan dalam GPU. Komunikasi dapat dilakukan dengan memanfaatkan variabel sederhana seperti angka, variabel tekstur, atau dengan struktur data kompleks menggunakan mekanisme *compute buffer*.



Gambar 5. Rancangan alur kerja program. Atas: sistem untuk menyisipkan markah tirta digital pada citra dari kamera. Bawah: sistem untuk mengekstraksi markah tirta dari tangkapan layar konten gim.

III. RANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

Implementasi dari aplikasi dilakukan dengan memakai mesin gim Unity. Kode HLSL akan dijalankan pada GPU dalam bentuk *compute shader* dan akan melakukan penyisipan dan ekstraksi markah tirta digital. Kode C# akan dijalankan pada CPU dan berfungsi untuk meneruskan hasil komputasi citra dari *compute shader* ke layar. Adapun rancangan alur kerja sistem dapat dilihat pada Gambar 5. Komunikasi antara CPU dengan GPU dilakukan beberapa kali agar dapat dipastikan komputasi paralel GPU sudah menyelesaikan pengerjaan setiap tugas sebelum lanjut ke tugas selanjutnya.

A. Penyisipan Markah Tirta

Untuk pemarkahan tirta, kami menggunakan metode yang mirip dengan [3]. Markah tirta akan disisipkan secara langsung pada citra yang dihasilkan kamera. Markah tirta yang

disisipkan akan bersifat unik untuk setiap pengguna agar layar pengguna dapat teridentifikasi.

Beberapa konfigurasi yang perlu diketahui serta beberapa perbedaan sistem pemarkahan tirta yang diimplementasi dengan [3] adalah seperti berikut.

- Mengingat sistem harus dapat berjalan dengan cepat agar tidak memperlambat kinerja gim, penyisipan markah tirta hanya dilakukan pada kanal R (merah) dari citra RGB yang dihasilkan kamera.
- Citra orisinal yang disisipkan markah tirta berukuran sembarang untuk mengakomodasi berbagai ukuran layar pemain, sehingga ukuran layar dapat tidak kelipatan 8 ataupun lebih kecil dari 512x512
- Citra markah tirta berukuran 64x64. Tidak seperti pada makalah referensi, ukuran ini adalah ukuran berpangkat dua sembarang yang dipilih dan tidak berkorelasi dengan ukuran citra orisinal, mengingat citra orisinal sudah tidak memiliki batasan ukuran.
- Sistem penyisipan markah tirta menggunakan konfigurasi ambang batas dan margin galat yang sama dengan yang disarankan makalah referensi, yakni ± 80 untuk ambang batas dan 12 untuk margin galat.

Sistem penyisipan markah tirta diekspor beserta isi dari gim. Penyisipan ini akan berjalan selama nyalanya gim – mulai dari gim dinyalakan hingga gim dimatikan.

B. Ekstraksi Markah Tirta

Agar dapat menentukan identitas pembocor konten, diperlukan sebuah cuplikan gambar yang dibocorkan dari gim tersebut. Cuplikan gambar ini umumnya berbentuk tangkapan layar, baik sebagai sebuah citra atau sebagai sebuah video. Cuplikan gambar ini akan dimasukkan ke sistem ekstraksi yang akan menghasilkan markah tirta yang tersimpan.

Sistem ekstraksi markah tirta diimplementasi menggunakan mesin gim Unity dengan pertimbangan sudah adanya kode untuk melakukan DCT karena dipakai dalam sistem penyisipan. Karena menggunakan sistem yang serupa, proses ekstraksi diprogram dengan kode HLSL dan dijalankan di GPU. Alur kerja sistem ekstraksi juga dapat dilihat pada Gambar 5.

IV. PERCOBAAN DAN ANALISIS

Eksperimen dilakukan terhadap dua citra orisinal seperti pada Gambar 6 dan Gambar 7. Markah tirta yang disisipkan adalah gambar pertama pada Gambar 8. Akan tetapi, pada pengaplikasiannya di kasus nyata, markah tirta yang disisipkan akan memiliki bentuk beragam. Sistem pemarkahan tirta akan dievaluasi dengan beberapa kriteria: waktu penyisipan markah tirta, kemiripan citra dengan citra orisinal, serta hasil ekstraksi markah tirta pada citra yang telah dimodifikasi.



Gambar 6. Gambar pertama yang dipakai sebagai subjek citra orisinal.



Gambar 7. Gambar kedua yang dipakai sebagai subjek citra orisinal.



Gambar 8. Gambar markah tirta yang dapat disisipkan pada gambar. Gambar pertama (yang berbentuk huruf A) adalah yang dipakai untuk percobaan pada makalah ini.

A. Pengujian Waktu Penyisipan

Kinerja sistem penyisipan markah tirta digital diuji dengan membandingkan waktu yang diperlukan untuk menghasilkan sebuah *frame*. Pada tabel berikut, terlihat perbandingan waktu yang dibutuhkan dengan dan tanpa penyisipan markah tirta pada citra.

Seperti pada Tabel 1, terdapat selisih 5 milisekon antara waktu kerja CPU tiap *frame* pada saat penyisip dimatikan dan dinyalakan untuk satu kanal. Ketika dinaikkan menjadi dua kanal, selisih bertambah menjadi ~30ms. “Waktu habis” pada kolom 3 kanal menandakan bahwa waktu pemrosesan di GPU melebihi waktu maksimum yang diperbolehkan sistem operasi yang menjalankan Unity (dalam kasus ini adalah sistem operasi Windows), sehingga menyebabkan *crash* aplikasi gim.

TABEL 1. WAKTU PENYISIPAN MARKAH TIRTA

Gambar	0 Kanal	1 Kanal	2 Kanal	3 Kanal
1	86ms	90ms	117 ms	Waktu habis
2	70ms	76ms	102ms	Waktu habis

TABEL 2. PERHITUNGAN PSNR CITRA BERMARKAH TIRTA

Gambar	Nilai PSNR
1	43.92 dB
2	45.02 dB

B. Pengujian Kemiripan Citra

Pengujian kemiripan citra bermarkah tirta dengan citra orisinal dihitung menggunakan nisbah puncak sinyal terhadap derau atau *peak signal to noise ratio* (PSNR). Pada tabel berikut, terlihat nilai PSNR dari penyisipan gambar markah tirta terhadap tangkapan layar dalam gim.

Sesuai dengan yang di Tabel 2, PSNR dari penyisipan markah tirta memiliki nilai yang cukup baik – serupa dengan nilai PSNR pada kompresi citra dan video pada umumnya. Akan tetapi, setelah peninjauan lebih lanjut, pada bagian gim yang memiliki warna datar, walaupun sulit terlihat, terdapat sebuah pola artefak yang dapat terlihat seperti yang terlihat pada Gambar 9.

C. Pengujian Serangan Markah Tirta

Pada makalah ini, untuk pengujian serangan terhadap markah tirta, dilakukan 3 jenis penyerangan yakni serangan perubahan kontras citra (*contrast change*), serangan pemotongan gambar (*image cropping*), dan serangan khusus metode penyisipan markah tirta. Tangkapan layar diambil pada ukuran layar 1920x1080. Hasil ekstraksi markah tirta dari citra tanpa dilakukan penyerangan dapat dilihat pada Gambar 10 dan Tabel 3.

1) Pengujian Serangan Perubahan Kontras Citra

Pada kasus ini, dicoba perubahan kontras citra sebesar -60%, -20%, 20% dan 60%. Adapun modifikasi citra dapat dilihat pada Gambar 11, hasil ekstraksi markah tirta dapat dilihat pada Gambar 12, dan tingkat kemiripan markah tirta yang diekstraksi dengan markah tirta orisinal dapat dilihat pada Tabel 4.



Gambar 9. Contoh pola artefak yang terlihat akibat penyisipan markah citra. Gambar di kanan adalah hasil pembesaran gambar di kiri. Terlihat pada gambar di kanan bahwa terdapat bercak-bercak kemerahan yang tersembunyi.



Gambar 10. Hasil ekstraksi markah tirta pada citra yang tidak dimanipulasi. Kiri: hasil ekstraksi dari gambar pertama. Kanan: hasil ekstraksi dari gambar kedua.

TABEL 3. KESERUPAAN MARKAH TIRTA ORISINAL DENGAN HASIL EKSTRAKSI

Gambar	PSNR
1	32.95 dB
2	37.20 dB

TABEL 4. KESERUPAAN MARKAH TIRTA ORISINAL DENGAN HASIL EKSTRAKSI SETELAH SERANGAN PERUBAHAN KONTRAS CITRA

Gambar	PSNR				
	-60%	-20%	Orisinal	20%	60%
1	32.95 dB	32.80 dB	32.84 dB	32.51 dB	32.62 dB
2	36.93 dB	37.11 dB	37.20 dB	36.72 dB	37.00 dB



Gambar 11. Hasil modifikasi citra setelah serangan perubahan kontras citra. Kelompok atas: gambar pertama. Kelompok bawah: gambar kedua. Atas kiri: kontras -60%. Atas kanan: kontras -20%. Tengah: kontras +0%. Bawah kiri: kontras +20%. Bawah kanan: kontras +60%.



Gambar 12. Hasil ekstraksi markah tirta pada pengujian serangan perubahan kontras citra. Atas: hasil ekstraksi dari gambar pertama. Bawah: hasil ekstraksi gambar kedua. Dari kiri ke kanan: kontras -60%, kontras -20%, kontras +0%, kontras +20%, kontras +20%.

2) Pengujian Serangan Pemotongan Gambar

Pada kasus ini, dicoba pemotongan gambar secara horizontal, vertikal, dan dari kedua sumbu. Adapun modifikasi citra dapat dilihat pada Gambar 13, hasil ekstraksi markah tirta dapat dilihat pada Gambar 14, dan tingkat kemiripan markah tirta yang diekstraksi dengan markah tirta orisinal dapat dilihat pada Tabel 5.

TABEL 5. KESERUPAAN MARKAH TIRTA ORISINAL DENGAN HASIL EKSTRAKSI SETELAH SERANGAN PEMOTONGAN GAMBAR

Gambar	PSNR			
	Orisinal	Horizontal	Vertikal	Keduanya
1	32.84 dB	32.19 dB	33.41 dB	32.59 dB
2	37.20 dB	37.22 dB	36.78 dB	32.69 dB



Gambar 13. Hasil modifikasi citra setelah serangan pemotongan gambar. Kelompok atas: gambar pertama. Kelompok bawah: gambar kedua. Atas kiri: gambar orisinal. Atas kanan: pemotongan horizontal. Bawah kiri: pemotongan vertikal. Bawah kanan: pemotongan horizontal dan vertikal.



Gambar 14. Hasil ekstraksi markah tirta pada pengujian serangan pemotongan gambar. Atas: hasil ekstraksi dari gambar pertama. Bawah: hasil ekstraksi dari gambar kedua. Dari kiri ke kanan: gambar orisinal, pemotongan horizontal, pemotongan vertikal, pemotongan horizontal dan vertikal.

3) Pengujian Serangan Strategi Khusus

Serangan ini menggunakan fakta bahwa metode penyisipan markah tirta ini menyisipkan bit-bit markah tirta pada koefisien (3,3) dan (3,4) pada domain frekuensi hasil DCT. Serangan ini akan mengubah agar selisih koefisien antara blok-blok berdekatan menjadi tidak sesuai agar identitas tidak dapat diperoleh. Spesifiknya, serangan ini mengubah koefisien (3,3) dan (3,4) menjadi 0. Adapun hasil modifikasi citra dapat dilihat pada Gambar 15 dan hasil ekstraksi markah tirta dapat dilihat pada Gambar 16. Tanpa diperlukan perhitungan PSNR, terlihat bahwa markah tirta tidak berhasil diperoleh.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Pemarkahan tirta digital dapat diaplikasikan dalam kasus pengenalan identitas pemain gim untuk penanggulangan pembocoran konten. Terlebihnya lagi, metode ini cukup kokoh dalam menghadapi serangan-serangan citra umum. Akan tetapi, sistem penyisipan markah digital diimplementasi pada aplikasi yang disebar ke pengguna, sehingga jika dilakukan rekayasa mundur pada aplikasi, penyerang dapat dengan mudah melakukan serangan khusus terhadap citra.



Gambar 15. Hasil modifikasi citra setelah serangan pemotongan gambar. Kelompok atas: gambar pertama. Kelompok bawah: gambar kedua. Kiri: gambar orisinal. Kanan: gambar hasil penyerangan.



Gambar 16. Hasil ekstraksi markah tirta pada pengujian serangan strategi khusus. Dari kiri ke kanan: gambar pertama orisinal, gambar pertama terserang, gambar kedua orisinal, gambar kedua terserang.

Selain masalah kerentanan, sistem pemarkahan tirta digital yang diimplementasi juga masih hanya melakukan penyisipan markah tirta pada kanal R dari citra RGB karena alasan kinerja. Markah tirta tentunya akan lebih kokoh terhadap serangan bila penyisipan dilakukan pada semua kanal citra.

Dalam menghadapi permasalahan-permasalahan tersebut, terdapat beberapa saran pengembangan yang dapat dilakukan sebagai lanjutan dari sistem yang tertera pada makalah ini.

- Penggunaan algoritma penyisipan markah tirta pada citra yang *blind*, agar tidak memerlukan citra orisinal, *robust*, agar tidak rentan terhadap serangan citra, dan lebih cepat dan efisien, agar dapat tidak memberatkan alur main gim serta dapat dilakukan terhadap semua kanal pada citra
- Penggunaan algoritma penyisipan markah tirta pada citra yang memiliki skema serupa dengan kriptografi kunci publik. Hal ini dilakukan agar program yang disebarakan ke umum (bahkan siapa pun) dapat menyisipkan markah tirta pada tangkapan layar gim menggunakan kunci publik. Skema ini juga hanya menghindari akses markah tirta oleh pihak yang tidak memiliki kunci privat untuk menghindari pengaruh serangan citra.
- Penggunaan algoritma penyisipan markah tirta pada citra yang dapat menyisipkan markah tirta dengan panjang sinyal yang besar. Hal ini diperlukan bila gim memiliki banyak pemain sehingga jumlah dan panjang identitas unik menjadi lebih besar.

ACKNOWLEDGMENT

Saya mau berterima kasih kepada dosen mata kuliah Kriptografi ini, Pak Rinaldi Munir, beserta dua asistennya, yang sudah membawa materi kriptografi yang menarik ini menjadi lebih menarik dan mudah dipahami. 🙏

REFERENSI

- [1] The MathWorks, Inc, "Discrete Cosine Transform," The MathWorks, Inc, [Daring]. Dari: <https://www.mathworks.com/help/images/discrete-cosine-transform.html>. [Diakses tanggal 12 Desember 2021].
- [2] R. Munir, "IF4020 Kriptografi - Semester II Tahun 2020/2021," 2020. [Daring]. Dari: <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Kriptografi/2020-2021/Digital-watermarking-2020.pdf>. [Diakses tanggal 17 Desember 2021].
- [3] S. A. Parah, J. A. Sheikh, N. A. Loan dan G. M. Bhat, "Robust and blind watermarking technique in DCT domain using inter-block coefficient differencing," Digital Signal Processing, vol. Volume 53, hal. 11-24, 2016.
- [4] Unity Technologies, "+70 case studies from studios & firms using the Unity engine," [Daring]. Dari: <https://unity.com/case-study>. [Diakses tanggal 17 Desember 2021].

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa makalah yang saya tulis ini adalah tulisan saya sendiri, bukan saduran, atau terjemahan dari makalah orang lain, dan bukan plagiasi.

Bandung, 19 Desember 2021



Chokyi Ozer
13518107