

IMPLEMENTASI ALGORITMA BARNI SYMMETRIC UNTUK WATERMARKING CITRA DIGITAL

IMPLEMENTATION OF THE BARNI SYMMETRIC ALGORITHM FOR DIGITAL IMAGE WATERMARKING

Brian Damastu¹, M.Agus Sunandar²

¹ Sekolah Tinggi Teknologi Bandung ² Sekolah Tinggi Teknologi Wastukencana Purwakarta

¹ brian.damastu@gmail.com, ² agoes.61@wastukencana.ac.id,

Corresponding author: brian.damastu@gmail.com

Abstrak. Saat ini orang dapat dengan mudah membuat atau menyalin konten multimedia, baik itu analog ke digital atau digital ke digital dengan bantuan komputer, dan perkembangan internet yang begitu pesat memudahkan kita menyebarkan konten multimedia tersebut dengan cepat. Kemudahan penyebaran citra digital ini dapat memberikan efek negatif, misalnya penyalinan citra digital secara ilegal disebabkan tidak adanya perlindungan terhadap kepemilikan dan hak cipta, pengeditan, dan sebagainya. Image watermarking merupakan solusi untuk melindungi citra digital dari masalah seperti perlindungan copyright, kepemilikan, otentikasi, fingerprinting, dan sebagainya. Metode digital watermarking menggunakan algoritma Barni symmetric pada citra digital dengan sebuah metode berbasis korelasi dalam ranah Discrete Cosine Transform (DCT). Citra berwarna dalam ruang warna RGB terlebih dahulu ditransformasikan ke dalam ruang warna YCbCr. Watermark disisipkan pada larik f , lalu hasilnya ditransformasikan kembali ke ruang warna RGB. Watermark disisipkan pada koefisien DCT yang dipilih dari sub-band middle frequency untuk mendapatkan keseimbangan antara robustness dan imperceptibility. Pendeteksian watermark dilakukan dengan menghitung korelasi antara citra yang diterima dengan watermark semula, kemudian membandingkannya dengan sebuah nilai-ambang. Hasil pengujian adalah keputusan biner yang menyatakan citra mengandung watermark atau tidak mengandung watermark. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa kualitas citra ber-watermark tidak dapat dibedakan dengan citra aslinya. Berdasarkan hal tersebut maka perlu dibuat sebuah aplikasi yang dapat mengimplementasikan image watermarking.

Abstrack. Nowadays people can easily create or copy multimedia content, be it analog to digital or digital to digital with the computers, and the rapid development of the internet makes it easy for us to distribute multimedia content quickly. The ease of dissemination of digital images can have negative effects, for example illegal copying of digital images due to the lack of protection for ownership and copyright, editing, and so on. Image watermarking is a solution to protect digital images of issues such as copyright protection, ownership, authentication, fingerprinting, and etc. Digital watermarking method using a symmetric algorithm Barni on digital images with a correlation-based method in the domain of Discrete Cosine Transform (DCT). Color images in RGB color space is transformed first into the YCbCr color space. Watermark is inserted in the array f , then the results are transformed back into RGB color space. Watermark is inserted in the selected DCT coefficients of middle frequency sub-band to get a balance between robustness and imperceptibility. Watermark detection is done by calculating the correlation between the received image with the original watermark, and then compare it with an-value threshold. The test results are binary decision stating the image contains a watermark or not contain the watermark. The experimental results show that air-quality image watermark can not be distinguished from the original image. Based on this, it is necessary to create an application that can implement image watermarking.

Keywords: Image watermarking, digital watermarking, Barni Algorithm, DCT, robust.

1 Pendahuluan

Data atau informasi tidak hanya disajikan dalam bentuk teks, tetapi juga dapat berupa gambar, *audio* (bunyi, suara, musik), dan *video*. Keempat macam data atau informasi ini sering disebut multimedia. Era teknologi informasi saat ini tidak dapat dipisahkan dari multimedia. Situs web (*website*) di Internet dibuat semenarik mungkin dengan menyertakan visualisasi berupa gambar atau video yang dapat diputar (M. et al., 2014).

Saat ini orang dapat dengan mudah membuat atau menyalin konten multimedia, baik itu analog ke digital atau sebaliknya dan digital ke digital, dengan bantuan komputer yang cepat dan murah, dan perkembangan internet yang begitu pesat memudahkan kita menyebarkan konten konten multimedia tersebut dengan cepat. Kemudahan penyebaran citra digital ini dapat memberikan efek negatif, misalnya penyalinan citra digital secara ilegal disebabkan tidak adanya perlindungan terhadap kepemilikan dan hak cipta, pengeditan, dan sebagainya. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode yang dapat meminimalisir dampak negatif di atas, yaitu *digital watermarking*.

Digital watermarking adalah proses penyisipan informasi / kode ke dalam suatu data (audio, citra, video, dan teks) secara permanen (Munir et al., 2008). Watermarking bertujuan untuk menyatakan kepemilikan terhadap data multimedia ataupun menyisipkan informasi. Pada dasarnya teknik *watermarking* adalah proses menambahkan kode identifikasi secara permanen kedalam data digital. Kode identifikasi tersebut dapat berupa teks, gambar, suara, atau video. Selain tidak merusak data digital produk yang akan dilindungi, kode disisipkan seharusnya memiliki ketahanan (*robustness*) dari berbagai pemrosesan lanjutan seperti pengubahan, transformasi, kompresi, enkripsi, dan sebagainya. Sifat *robustness* berarti data *watermark* tidak terhapus akibat pemrosesan lanjutan tersebut. Informasi yang disisipkan juga tidak boleh merusak citra digital sehingga citra yang terlihat tetap seperti aslinya.

Dalam sebuah skema *digital watermarking*, terdapat dua proses utama, yaitu penyisipan dan pendeteksian watermark (Munir, 2010). Skema ini biasanya simetri, yaitu kunci (*watermark*) yang digunakan dalam proses penyisipan dan pendeteksian adalah sama, dan hanya pemilik citra yang dapat melakukan kedua proses tersebut. Penyisipan dan pendeteksian watermark dalam algoritma ini dilakukan dalam ranah *Discrete Cosine Transform* (DCT). Watermark yang disisipkan ke dalam citra adalah barisan bilangan riil berdistribusi normal.

Agar sebuah citra digital dapat terlindungi baik dari sisi hak cipta ataupun penyalahgunaan citra digital tersebut, maka dilakukan sebuah penelitian dengan membuat sebuah aplikasi *digital watermarking*.

Metode yang digunakan penelitian ini adalah algoritma barni *symmetric watermarking*, penyisipan dan pendeteksian watermark dalam algoritma ini dilakukan dalam ranah *Discrete Cosine Transform* (DCT).

2 Kajian Pustaka

A. Citra Digital

Citra adalah representasi objek dua dimensi dari dunia visual, menyangkut berbagai macam disiplin ilmu yang mencakup seni, human vision, astronomi, teknik, dan sebagainya. Merupakan suatu kumpulan piksel-piksel atau titik-titik yang berwarna yang berbentuk dua dimensi (Hutahaean et al., 2019). Dan digital adalah pengolahan citra menggunakan komputer yang dilakukan secara digital. Citra harus direpresentasikan secara numerik dengan nilai diskrit agar dapat diolah dengan mudah dan proses tersebut disebut dengan digitalisasi citra (Tri Laksono Aditya et al., 2022). Pemrosesan citra digital adalah merupakan sub bidang digital signal processing (pemrosesan sinyal digital) (Gupta, 2011). Citra/gambar digital terdiri dari sejumlah elemen, yang mana elemen ini memiliki lokasi dan nilai tertentu. Elemen-elemen ini disebut *picture element*, *image elements*, *pels*, dan *pixels* (Gonzales & Woods, 2018). Digital Image Processing bisa disebut dengan pengolahan citra digital menggunakan berbagai algoritma dalam teknik pengolahan gambar atau citra (Destriana et al., 2021).

B. Digital watermarking

Digital watermarking adalah proses penambahan informasi secara permanen pada suatu data digital (citra, video, audio, dan teks) (Munir et al., 2008). Proses penyisipan *watermark* disebut *encoding* dan proses ekstraksi *watermark* disebut *decoding*. *Digital image watermarking* merupakan tehnik yang digunakan untuk mengontrol penggandaan dan distribusi citra digital dengan cara menyisipkan informasi pemilik *copyright* yang dinamakan *watermark* (Sains &

Sipayung, 2014). Penyisipan *watermark* dilakukan sedemikian rupa sehingga tidak dapat dipersepsi oleh mata manusia. Algoritma Barni diketahui telah memenuhi persyaratan-persyaratan dasar *sistem watermarking*, yaitu *invisibility*, *robustness*, dan *security*. Sifat *invisibility* dalam *digital watermarking* berarti data yang disisipkan harus tidak terlihat secara kasat mata. *Robustness* berarti citra yang telah disisipi harus tahan terhadap segala jenis perubahan yang dapat dilakukan tanpa merusak informasi yang telah disisipkan sebelumnya ke dalam citra. *Security* berarti citra yang ter-*watermark* harus tahan terhadap pemindahan dari satu komputer ke komputer lain. Namun, dua sifat awal dari *watermarking* akan memiliki pertentangan jika diterapkan. Citra dengan tingkat *robustness* yang rendah akan memiliki nilai *invisibility* yang tinggi, sedangkan citra dengan tingkat *robustness* yang tinggi akan memiliki nilai *invisibility* yang rendah (Sugiharto & Sarwoko, 2004).

3 Metode

A. Metode Algoritma Barni

Algoritma Barni diketahui telah memenuhi persyaratan-persyaratan dasar *sistem watermarking*, yaitu *invisibility*, *robustness*, dan *security* (Munir, 2010). Sifat *invisibility* dalam *digital watermarking* berarti data yang disisipkan harus tidak terlihat secara kasat mata. *Robustness* berarti citra yang telah disisipi harus tahan terhadap segala jenis perubahan yang dapat dilakukan tanpa merusak informasi yang telah disisipkan sebelumnya ke dalam citra. *Security* berarti citra yang ter-*watermark* harus tahan terhadap pemindahan dari satu komputer ke komputer lain. Namun, dua sifat awal dari *watermarking* akan memiliki pertentangan jika diterapkan. Citra dengan tingkat *robustness* yang rendah akan memiliki nilai *invisibility* yang tinggi, sedangkan citra dengan tingkat *robustness* yang tinggi akan memiliki nilai *invisibility* yang rendah (Sugiharto & Sarwoko, 2004). Dalam penelitian ini, aktualisasi untuk mengatasi permasalahan *digital watermarking* adalah dengan dibangunnya sebuah perangkat lunak, perangkat lunak ini dapat digunakan untuk melakukan penyisipan, pendeteksian *watermark*.

Secara umum, penyisipan *watermark* pada perangkat lunak ini berbasis algoritma Barni dapat digambarkan dalam langkah-langkah sebagai berikut :

1. Siapkan citra yang akan disisipi *watermark* berupa 1024 x 768 pixel.
2. Terima input data yang akan dijadikan *watermark* (citra biner 32 x 32 pixel).
3. Transformasikan citra yang akan disisipi dengan *Discrete Cosine Transform* (DCT).
4. Urutkan koefisien citra hasil transformasi DCT secara zig-zag.
5. Pilih koefisien hasil transformasi DCT pada frekuensi menengah. Simpan hasilnya pada larik f.
6. Sisipkan *watermark* ke dalam larik f dengan menggunakan persamaan:

$$fw(i) = f(i) + \alpha |f(i)| w(i) \quad (1)$$

α adalah faktor kekuatan *watermark* antara 0 sampai dengan 1 yang dipilih sedemikian rupa sehingga *watermark* tidak dapat dipersepsi secara visual, namun masih dapat dideteksi

7. Letakkan kembali semua koefisien DCT yang baru pada posisi semula, lalu terapkan transformasi IDCT untuk mendapatkan citra yang telah disisipi *watermark*.

Untuk proses pendeteksian *watermark* pada aplikasi ini, langkah-langkah yang harus dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Transformasikan citra yang akan diuji dengan DCT.
2. Urutkan koefisien DCT yang dihasilkan secara zig-zag.
3. Pilih koefisien DCT pada frekuensi menengah. Simpan hasilnya pada larik f*.
4. Hitung korelasi antara f* dengan *watermark* w dengan persamaan:

$$c = \sum_{i=1}^M f^*(i) \cdot w(i) \quad (2)$$

5. Bandingkan c dengan nilai-ambang T untuk menentukan apakah watermark w terdapat dalam citra yang diuji.
6. Nilai ambang T yang disarankan oleh Barni dapat dihitung dengan persamaan:

$$T = \frac{\alpha}{3n} \sum_{i=1}^n |f * (i)| \quad (3)$$

7. Citra mengandung watermark jika $c \geq T$, sebaliknya jika $c < T$ maka citra tidak memiliki watermark.

B. Analisis Data

Dalam penelitian ini, hasil analisa yang diperoleh adalah sebagai berikut :

Dalam pembentukan kunci, terdapat dua tahap, yaitu pembentukan kunci dan pembentukan kunci:

1. Proses Pembentukan Kunci Privat.

Pembentukan kunci pada aplikasi ini menggunakan fungsi distribusi normal baku (rata-rata $\mu = 0$ dan variansi $\sigma^2 = 1$) dengan persamaan :

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (4)$$

Dimana :

$$\pi = 3,1416$$

$$e = 2,7183$$

μ = nilai rata-rata

σ = variansi

Dengan mensubstitusikan nilai rata-rata (μ) = 0 dan variansi (σ^2) = 1 ke dalam persamaan (3.1), maka bentuk baru persamaan tersebut dapat diperoleh, menjadi :

$$f(x)a = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} \quad (5)$$

Nilai x adalah nilai acak yang berkisar antara 0 sampai dengan 1. Nilai ini akan didapat secara otomatis dari perangkat lunak saat pengguna memulai proses penyisipan.

2. Proses Penyisipan Watermark.

Proses penyisipan watermark dalam aplikasi ini harus melewati beberapa tahap sebagai berikut :

- a. Dapatkan nilai RGB setiap pixel dalam gambar. RGB, singkatan dari Red, Green, dan Blue adalah tiga warna dasar yang dijadikan patokan secara universal. Nilai RGB untuk masing-masing kanal warna berkisar antara 0 sampai 255.
- b. Transformasikan nilai RGB tersebut ke dalam ruang warna YCbCr dengan persamaan:

$$\begin{aligned} Y &= 16 + ((65,738 \cdot R) / 16) + ((129,057 \cdot G) / 256) + \\ &\quad ((25,064 \cdot B) / 256) \\ C_B &= 128 + ((-37,945 \cdot R) / 256) - ((74,494 \cdot G) / 256) + \\ &\quad ((112,439 \cdot B) / 256) \\ C_R &= 128 + ((112,439 \cdot R) / 256) - ((94,154 \cdot G) / 256) \\ &\quad - ((18,285 \cdot B) / 256) \end{aligned} \quad (6)$$

- c. Aplikasikan metode DCT(8x8) ke dalam gambar di dalam komponen Y, urutkan secara zigzag, lalu pilih koefisien menengah dari gambar untuk disisipi. Simpan koefisien-koefisien ini dalam larik f .

- d. Setelah mendapatkan matriks pixel dari citra, maka koefisien DCT dapat dicari dengan langkah-langkah di bawah ini :

Dapatkan matriks DCT :

$$T(i,j) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{N}} & \text{jika } u = 0 \\ \sqrt{\frac{2}{N}} \cos \left[\frac{(2j+1)i\pi}{2N} \right] & \text{jika } u > 0 \end{cases} \quad (7)$$

Ubah nilai matriks asli

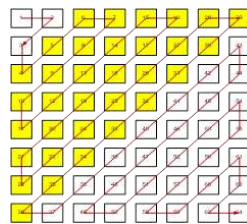
Perlu diingat bahwa nilai pixel berkisar antara 0 sampai dengan 255, dimana 0 adalah hitam dan 255 adalah putih. Karena DCT bekerja dalam rentang nilai -128 sampai dengan 127, maka nilai pixel matriks asli harus dikurangi dengan 128 agar dapat dioperasikan dengan DCT. Matriks M di bawah ini adalah nilai matriks asli yang telah disesuaikan untuk operasi DCT

Dengan adanya nilai dari matriks M, maka kita telah siap untuk melakukan transformasi DCT, yang dapat dilakukan dengan perkalian matriks $D = T M T'$

Matriks T' adalah transpose dari matriks T .

Matriks D sekarang berisi 64 koefisien DCT ke c_{ij} , dimana i dan j berada dalam rentang nilai 0 sampai dengan 7. Koefisien pada kiri atas, c_{00} , berkorelasi terhadap frekuensi rendah dari blok citra asli. Semakin jauh dari posisi c_{00} dalam segala arah, koefisien DCT akan berkorelasi dengan frekuensi yang lebih tinggi dari blok gambar, dengan puncaknya c_{77} yang berkorelasi dengan koefisien tertinggi.

Matriks D sekarang dapat disisipi setelah terlebih dahulu dilakukan proses zigzag terhadapnya. Berikut proses pen-zigzag-an matriks :



Gambar 1. Gambaran proses zig-zag

Setelah proses zigzag dilakukan terhadap matriks D , maka koefisien yang akan disimpan dalam larik f untuk proses penyisipan adalah koefisien-koefisien yang berada pada index c_4 sampai dengan c_{36} .

Setelah mendapatkan matriks pixel dari citra, maka koefisien DCT dapat dicari dengan langkah-langkah di bawah ini.

- e. Sisipkan watermark w_s , yang berupa kunci , ke dalam f dengan menggunakan persamaan :

$$f_w(i) = f(i) + \alpha \cdot |f(i)| \cdot w_s(i) \quad (8)$$

Dimana :

α = faktor kekuatan watermark, nilai $0 < \alpha < 1$

$f(i)$ = nilai dari matriks yang akan disisipi watermark

$ws(i)$ = kunci pengguna

α adalah faktor kekuatan watermark antara 0 sampai dengan 1. Dalam perangkat lunak, nilai ini dipilih berdasarkan keinginan pengguna. Hal ini dilakukan untuk menjaga agar nilai-nilai dalam proses penyisipan menggunakan persamaan (3.7) lebih sulit dipecahkan oleh penyerang.

- f. Lakukan transformasi balikan DCT (IDCT) untuk mendapatkan kembali komponen Y yang telah disisipi. IDCT dilakukan terhadap matriks D yang telah disisipi watermark. Untuk selanjutnya, matriks hasil penyisipan akan disebut matriks R. Berikut ini adalah contoh matriks R.
- g. Langkah terakhir untuk mereka-ulang gambar adalah menerapkan transformasi IDCT ke dalam matriks R. dengan persamaan:

$$N = \text{round}(T' R T) + 128 \quad (9)$$

- h. Langkah terakhir, transformasikan ruang warna YCbCr ke dalam RGB dengan persamaan :

$$R = \frac{298,082.Y}{256} + \frac{408,583.Cr}{256} - 222,921$$

$$G = \frac{298,082.Y}{256} - \frac{100,291.Cb}{256} - \frac{208,120.Cr}{256} + 135,576 \quad (10)$$

$$B = \frac{298,082.Y}{256} + \frac{516,412.Cb}{256} - 276,836$$

3. Proses Pendeteksian Watermark.

Pendeteksian watermark tidak membutuhkan citra asal, tetapi hanya membutuhkan kunci yang berkorelasi dengan kunci yang berfungsi juga sebagai watermark yang disisipkan ke dalam citra.

Berikut ini adalah langkah-langkah yang digunakan dalam melakukan pendeteksian watermark :

- a. Dapatkan nilai RGB setiap pixel dalam gambar.
- b. Transformasikan nilai RGB tersebut ke dalam ruang warna YCbCr masing-masing dengan persamaan.
- c. Aplikasikan metode DCT(8x8) ke dalam gambar di dalam komponen Y, urutkan secara zigzag, lalu pilih koefisien menengah dari gambar dan simpan di dalam larik f^* .
- d. Hitung korelasi antara f^* dan watermark w_p dengan persamaan:

$$c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f^*(i) \cdot w_p(i) \quad (11)$$

- e. Bandingkan c dengan nilai-ambang T untuk menentukan apakah watermark terdapat di dalam citra yang diuji. Nilai T didapat dengan persamaan :

$$T = \frac{\alpha}{3n} \sum_{i=1}^n |f * (i)| \quad (12)$$

dengan n adalah banyaknya kunci yang disisipkan. Citra mengandung watermark jika $c \geq T$, sebaliknya jika $c < T$ maka citra tidak mengandung watermark. Contoh penggunaan persamaan di atas adalah sebagai berikut :

Lakukan transformasi balikan DCT (IDCT) untuk mendapatkan ke mbali komponen Y yang telah disisipi. Transformasikan ruang warna $YcbCr$ ke dalam RGB dengan persamaan seperti di atas

4 Hasil dan Pembahasan

Aplikasi ini diharapkan dapat memenuhi kebutuhan fungsional untuk melakukan fungsi watermarking, diantaranya adalah :

1. Dapat memberikan kemudahan kepada user untuk menggunakan aplikasi watermark pada gambar.
2. Dapat memberikan hak cipta pada data khususnya citra digital dengan cara menyisipkan angka dengan bantuan citra biner terhadap gambar melalui aplikasi watermark ini.

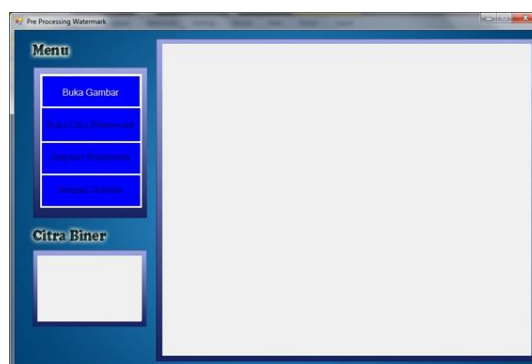
A. Implementasi sistem

Aplikasi watermark terhadap citra digital dilakukan proses pengujian. Berikut tampilan interface aplikasi yang telah dibuat :



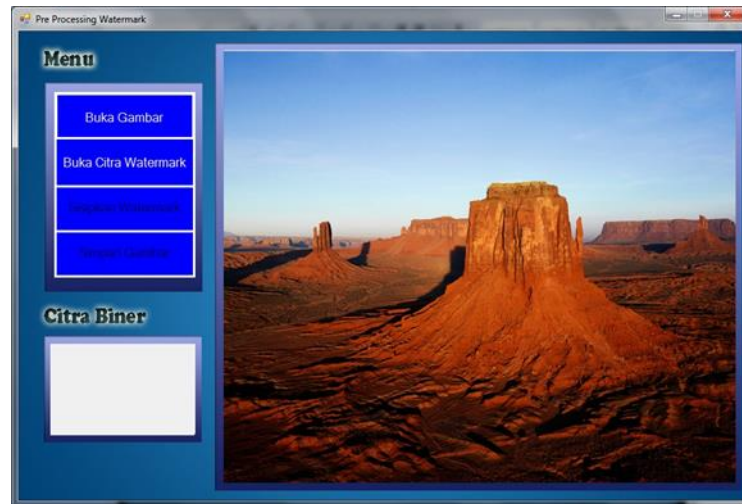
Gambar 2 Menu utama program

Pada menu utama kita di sediakan 2 pilihan antara Pre Processing Watermark dan Deteksi Watermark.



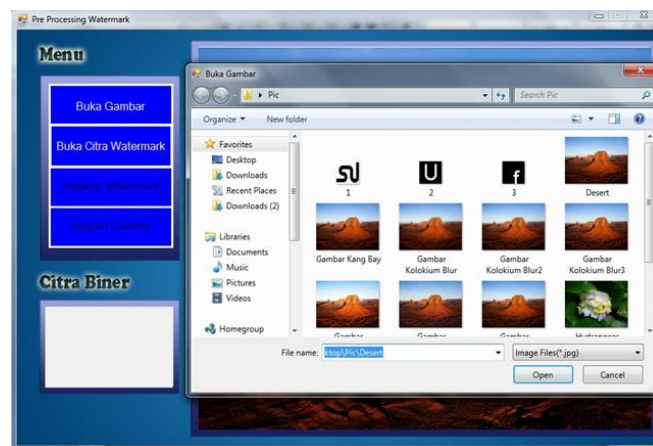
Gambar 3 Form Pre processing watermark

Pada tahap ini, kunci watermark akan disisipkan ke dalam gambar yang akan di watermark.



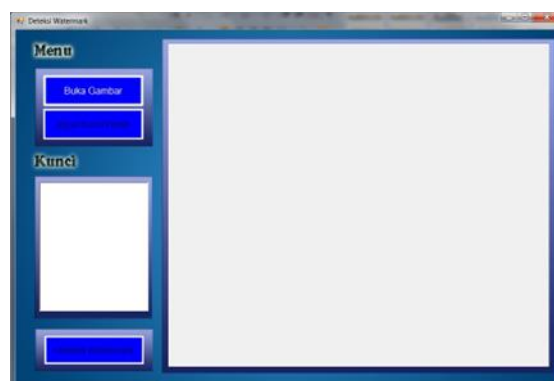
Gambar 4 Form Pre processing watermark

Di form ini user membuka gambar yang akan disisipkan watermark. Dengan memilih tombol buka gambar.



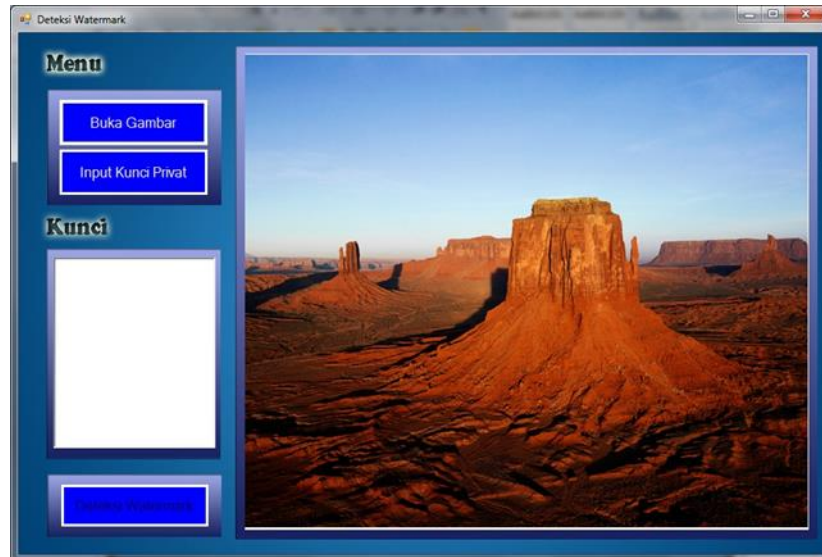
Gambar 5 Tampilan pilih gambar

Dalam tampilan diatas User membuka gambar dengan mengklik tombol Buka Citra Watermark



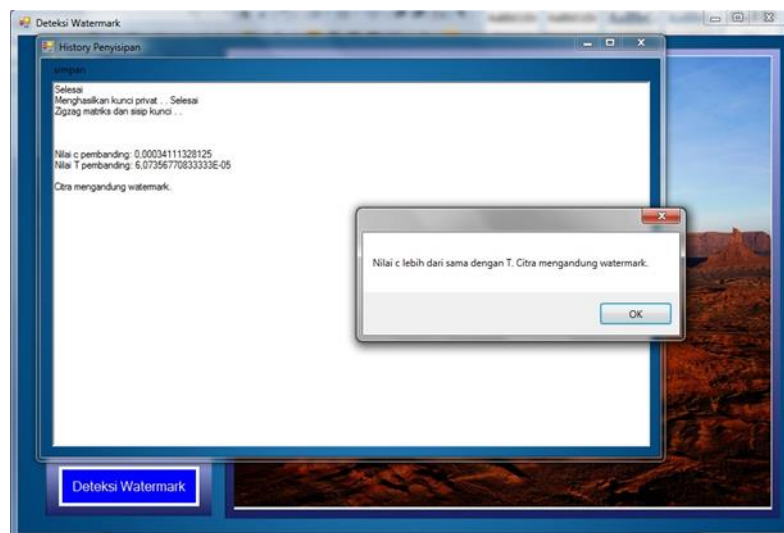
Gambar 6 Form deteksi watermark

Pada form ini user dapat mendeteksi bahwa gambar telah disisipi watermak apa belum dengan membuka gambar yang sebelumnya telah disisipkan watermark



Gambar 7 Form deteksi watermark

Setelah user membuka gambar yang akan di deteksi watermark, gambar akan ditampilkan di Image Box dan siap untuk diekstrak pesannya



Gambar 8 Form history deteksi pesan

Tampilan form membaca gambar dan apabila nilai perbandingan lebih besar maka gambar tersebut mengandung watermark yang telah di sisipkan



Gambar 9 Form gambar citra biner

Pada form ini user dapat membuat citra biner sendiri. Dengan mengarahkan mouse ke canvas yang telah disediakan.

5 Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang didapat, maka dapat disimpulkan bahwa algoritma Barni symmetric efektif untuk melakukan watermark dengan memasukkan citra biner terhadap suatu citra digital. Watermark tersebut berlaku sebagai signature pemilik data multimedia (citra digital) ataupun hak cipta dari gambar user. Dengan algoritma Barni symmetric, watermark yang disisipkan dalam citra tidak dapat dipersepsi oleh manusia. Citra yang telah di beri watermark tidak dapat dibedakan dengan citra asalnya. Nantinya diharapkan sistem ini dapat memiliki fitur agar citra biner ataupun signature yang telah di masukkan ke dalam citra digital dapat di keluarkan kembali untuk disimpan oleh pemilik citra digital tersebut.

Saran untuk penelitian selanjutnya sistem ini dapat memilih dengan satu kunci atau 2 kunci, yaitu kunci private dan kunci publik agar memudahkan dalam pengoperasian dan pendeteksian.

Referensi

- Destriana, R., Nurnaningsih, D., Alamsyah, D., & Sinlae, A. A. J. (2021). Implementasi Metode Linear Discriminant Analysis (LDA) Pada Klasifikasi Tingkat Kematangan Buah Nanas. *Building of Informatics, Technology and Science (BITS)*, 3(1), 56–63. <https://doi.org/10.47065/bits.v3i1.1007>
- Gonzales, R. C., & Woods, R. E. (2018). *Digital Image Processing: Digital Image Processing EE368/CS232*.
- Gupta, G. (2011). Algorithm for Image Processing Using Improved Median Filter and Comparison of Mean, Median and Improved Median Filter. *International Journal of Soft Computing*, 1(5), 304–311. http://ijsce.org/attachments/File/Vol-1_Issue-5/E0234101511.pdf
- Hutahaeen, H. D., Waluyo, B. D., & Rais, M. A. (2019). Teknologi Identifikasi Objek Berbasis Drone Menggunakan Algoritma Sift Citra Digital. *Teknik Informatika Unika St. Thomas(JTIUST)*, 04(02), 202–207.
- M., F. H., Hidayatno, A., & Zahra, A. A. (2014). Kompresi Citra Digital Aras Keabuan (Grayscale) Menggunakan Metode Embedded Zerotree Wavelet (EZW). *Transient*, 3(4), 460–466.
- Munir, R. (2010). Image Watermarking untuk Citra Berwarna dengan Metode Berbasis Korelasi dalam Ranah DCT. *Jurnal Petir*, 3(1).
- Munir, R., Riyanto, B., Sutikno, S., Agung, W. P., Teknik, S., & Itb, I. (2008). *Metode Asymmetric Watermarking pada Citra Digital Berbasiskan pada Permutasi-RC4 dan Fungsi Chaos*. 94–98.
- Sains, J., & Sipayung, L. Y. (2014). Watermarking Pada Citra Digital Dengan Menggunakan Metode Spread Spectrum. *Jurnal Sains Dan Teknologi ISTP*, 16(2), 136–143. <https://doi.org/10.59637/jsti.v16i2.118>
- Sugiharto, A., & Sarwoko, E. A. (2004). Watermarking Pada Beberapa Keluarga Wavelet. *Jurnal Matematika Dan Komputer*, 7(3), 18–25.
- Tri Laksono Aditiya, Endryansyah, Wanarti Rusmamto Puput, & Syariffuddien Zuhrie Muhammad. (2022). Pengolahan Citra Digital Buah Murbei Dengan Algoritma LDA (Linear Discriminant Analysis). *Indonesian Journal of Engineering and Technology*, 4(2), 71–78. <https://journal.unesa.ac.id/index.php/inajet>