

STEGANOGRAFI PADA BERKAS GAMBAR DENGAN SUDOKU SEBAGAI KUNCI STEGO

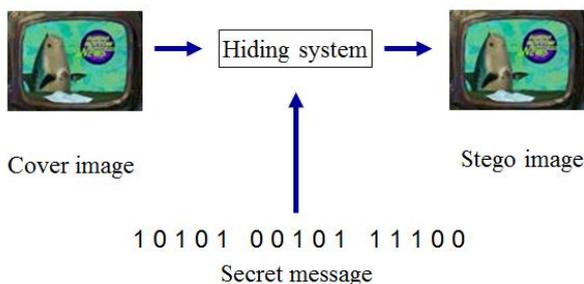
Rendy Bambang Junior - 13509036
Program Studi Teknik Informatika
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia
rendy.jr@students.itb.ac.id

Abstrak—Steganografi menyisipkan pesan rahasia tanpa disadari orang lain bahwa di dalamnya tersimpan pesan tersembunyi. Salah satu media steganografi adalah berkas gambar. Pesan rahasia yang jelas-jelas dienkripsi saja sulit untuk di pecahkan, apalagi bila disembunyikan di gambar, tentu tingkat keamanannya lebih tinggi. Tingkat keamanan ini dapat ditingkatkan secara signifikan bila kunci dari steganografi atau yang biasa disebut kunci stego adalah sebuah matriks berbentuk Sudoku. Pada makalah ini akan dijelaskan dasar-dasar menempelkan pesan sehingga terstege di gambar dengan kunci stego berupa matriks Sudoku.

Kata Kunci—steganografi, Sudoku, berkas gambar, kunci stego, Least Significant Bit, tabel indeks.

I. PENDAHULUAN

Di masa kini, kriptanalisis semakin canggih, sehingga semakin lama, terasa bahwa enkripsi saja tidak cukup untuk menyembunyikan pesan rahasia. Steganografi dapat dijadikan sebagai salah satu solusi pelengkap, namun bukan pengganti.



Gambar 1.1

Steganografi adalah teknik menyisipkan pesan tersembunyi dengan tidak menimbulkan kecurigaan bagi orang selain pengirim dan penerima. Steganografi berasal dari bahasa Yunani, yaitu *steganos* (στεγανός) yang berarti tertutupi atau terlindungi, dan *graphein* (γράφειν) yang berarti menulis. Bila disatukan, menjadi 'tulisan tersembunyi'. Kelebihan dari steganografi adalah tidak mengundang kecurigaan dari orang lain. Steganografi sering menggunakan berkas-berkas yang ukurannya besar seperti gambar, suara, lagu, dan sebagainya.

Semakin besar pesan tersembunyi yang disisipkan,

semakin berkurang kualitas dari media yang menjadi inang. Namun tidak selalu berlaku seperti itu. Bila teknik steganografi yang dilakukan tepat dan pengambilan bitnya sesuai, kualitas gambar dapat tetap dipertahankan.

Sudoku sendiri adalah sebuah *puzzle game* dimana pemain harus mengisi angka sedemikian sehingga terbentuk matriks 9 x 9 dengan karakteristik tertentu, yaitu tiap kolom dan tiap baris tidak boleh ada angka yang sama dan tiap blok matriks 3 x 3 tidak boleh ada angka yang sama dimana angka dibatasi dari 1-9.

Dua penemuan hebat ini bila dikombinasikan akan menjadi sebuah cara untuk menyembunyikan data yang kuat serta aman dan tidak memancing kecurigaan.

II. SEJARAH DAN APLIKASI STEGANOGRAFI

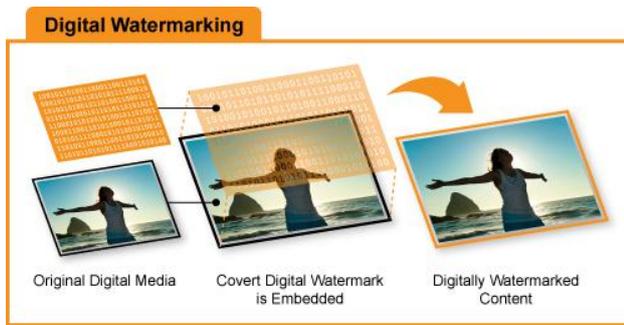
Steganografi pertama yang terdokumentasi ada pada sejarah Herodotus. Pada zaman Yunani kuno, teks rahasia ditulis di tablet yang diselubungi oleh lilin. Dalam sebuah cerita Demeratus menggunakannya untuk memberitahu Sparta bahwa Xerxes akan menyerang Yunani. Cerita lain mengatakan steganografi pertama dilakukan dengan menulis pesan di kepala pembawa pesan dan saat rambut si pembawa pesan tumbuh, pesan tersebut akan tersembunyi. Selain itu ada pula steganografi di zama perang dunia ke dua, ketika mata-mata Jerman mengirim sebuah pesan sebagai berikut:

Apparently neutral's protest is thoroughly discounted and ignored. Isman hard hit. Blockade issue affects pretext for embargo on by products, ejecting suets and vegetable oils.

Dengan mengambil huruf kedua dari setiap kata kita dapatkan pesan :

Pershing sails from NY June 1.

Di zaman sekarang yang serba digital, media steganografi pun bertansformasi menjadi media digital seperti gambar dan lagu. Teknik enkripsi dan dekripsinya pun terus berkembang menjadi semakin sulit dipecahkan. Namun esensinya sama : menyembunyikan tanpa terlihat menyembunyikan.



Gambar 1.2

Salah satu contoh penggunaan steganografi adalah untuk *digital watermarking*. Dalam digital watermarking ini, seorang seniman digital dapat menyisipkan kode tertentu di dalam karyanya dengan tujuan bila karya tersebut diakui orang lain, dia dapat mengaklaimnya kembali dengan bukti kode yang disisipkan dalam karya digitalnya tersebut.

Selain itu steganografi juga digunakan sebagai sarana komunikasi komunitas rahasia.

II. METODE UMUM STEGANOGRAFI

Berikut rumus umum sebagai deskripsi proses steganografi :

$$\text{berkas awal} + \text{pesan rahasia} + \text{kunci stego} = \text{berkas stego}$$

Kunci stego adalah kunci untuk mendekripsi berkas stego. Berkas stego adalah berkas yang telah disisipkan pesan ter-stego didalamnya. Tipe file berkas stego akan sama dengan berkas awal. Dalam pembahasan makalah ini berkas awal akan berupa berkas gambar, begitu juga berkas stegonya.

A. Representasi Berkas Gambar di Media Penyimpanan

Sebuah berkas gambar adalah sebuah berkas *binary* yang merepresentasikan warna dan intensitas cahaya setiap elemen berkas gambar atau piksel.

Berkas gambar biasanya menggunakan warna 8-bit atau 24-bit. Maksud angka-angka tersebut adalah banyak warna yang tersedia untuk setiap piksel. Untuk warna n-bit, setiap pikselnya memiliki pilihan warna sebanyak 2^n . Dalam hal ini 8-bit memiliki 256 pilihan warna untuk setiap pikselnya.

Satuan yang digunakan untuk menghitung ukuran berkas biasanya adalah byte dimana 1 byte = 8 bit. Berikut cara menghitung berkas. Bila kita memiliki sebuah gambar dengan ukuran 1350*9036 piksel dan warna 8-bit. Dengan warna 8-bit, setiap piksel gambar tersebut memiliki ukuran 1 byte. Sehingga ukuran gambar kita adalah :

$$1350 \times 9036 \times 1 \text{ byte} = 12198600 \text{ byte}$$

Berarti gambar kita memiliki ukuran sekitar 12 megabyte. Perhatikan bahwa semakin tinggi bit warna suatu gambar, semakin tinggi kualitas gambar, namun semakin besar pula ukuran dari berkas, seperti perhitungan di atas.

Ukuran tersebut tidak kecil, sehingga tidak mudah untuk dikirim atau diunduh, sehingga dibutuhkan kompresi. Beberapa tipe kompresi yang umum antara lain *Bitmap* (BMP), *Graphic Interchange Format* (GIF), dan *Joint Photographic Experts Group* (JPEG). Tipe kompresi ini kemudian menjadi ekstensi dari berkas.

Tidak semua tipe cocok untuk digunakan steganografi. GIF dan 8-bit BMP merupakan kompresi yang *lossless*, artinya hasil kompresi akan persis seperti berkas aslinya. Sedangkan JPEG tidak persis, tapi mendekati berkas asli dikenal sebagai kompresi yang *lossy*. Karena sifat ini GIF dan BMP lebih umum digunakan untuk steganografi.

B. Metode Least Significant Bit (LSB) Insertion

Metode *Least Significant Bit (LSB) Insertion* adalah metode paling sederhana untuk melakukan steganografi. Di metode ini, pesan rahasia disisipkan di LSB setiap byte dari berkas awal. LSB adalah bit yang paling tidak signifikan bila terjadi perubahan. Bila kita menggunakan warna 24-bit, maka akan ada 24 digit biner atau 3 byte untuk setiap piksel. Dengan perubahan maksimal 1 digit untuk masing-masing byte, apalagi di LSB, tentu tidak dapat dibedakan oleh mata manusia.

Perhatikan contoh berikut. Misal kita ingin menyembunyikan 9 bit pesan rahasia di 3 piksel gambar. Misalkan 3 piksel tersebut memiliki representasi biner sebagai berikut :

```
11111110 00001101 01001001
10010110 00001111 11001110
10010011 11111010 11001011
```

Misalkan pesan rahasia yang ingin kita sembunyikan adalah 001101101, maka dari berkas awal akan terjadi perubahan menjadi berkas stego dengan representasi biner sebagai berikut (perubahan ditunjukkan dengan huruf tebal dan miring) :

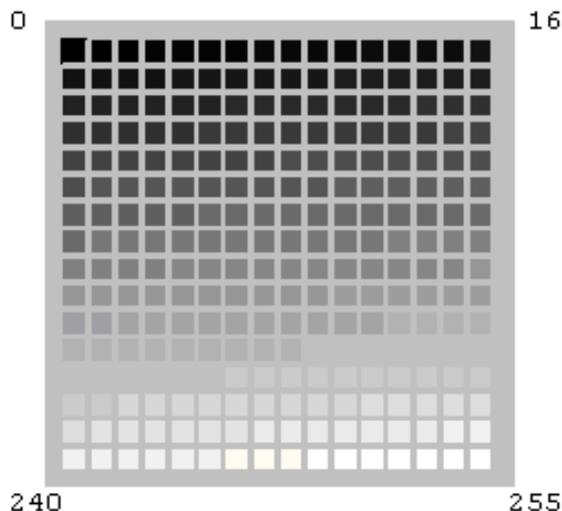
```
11111110 00001100 01001001
10010111 00001110 11001111
10010011 11111010 11001011
```

Perubahan yang terjadi hanya 4 bit atau sekitar 50% dari seluruh LSB atau Sebuah berkas gambar adalah sebuah berkas *binary* yang merepresentasikan warna dan intensitas cahaya setiap elemen berkas gambar atau piksel.

Gambar yang ideal digunakan untuk steganografi adalah gambar hitam putih atau *grayscale*. Hal ini karena degradasi warna yang halus untuk setiap perubahan warna yang disebabkan perubahan bit.

Gambar 8-bit yang hitam putih 8 kali lebih halus

perubahannya dari pada gambar 8-bit yang berwarna tak hanya hitam putih. Perhatikan gambar yang merepresentasikan *palette* warna untuk gambar hitam putih 8-bit. Terdapat 256 warna untuk gradasi dari warna hitam ke warna putih. Sedangkan untuk multiwarna, *palette* akan semakin terbatas banyak gradasinya untuk masing-masing warna.



Gambar 2.1

III. SUDOKU DAN SEJARAHNYA

Sudoku (数独) adalah teka-teki penempatan angka dalam sebuah matriks 9 x 9 yang terdiri dari 9 matriks berukuran 3 x 3. Matriks 3 x 3 tersebut seringkali disebut sebagai submatriks. Beberapa orang menyebut Sudoku ini sebagai Magic Number.

Solusi Sudoku memiliki karakteristik tertentu. Setiap submatriks dari Sudoku harus terdiri dari angka 1 sampai 9 dan tidak boleh ada yang sama.

Begitu juga kolom dan barisnya. Untuk setiap baris dengan panjang 9 dan kolom dengan tinggi 9 harus terdapat semua angka 1 sampai 9 dan tidak boleh ada satupun yang sama.

Teka-teki kombinatorial ini dipopularkan oleh Nikoli, perusahaan teka-teki asal Jepang pada tahun 1986 melalui majalah *Monthly Nikolist* di April 1984 sebagai *Sūji wa dokushin ni kagiru* (数字は独身に限る). Kemudian disingkat menjadi Sudoku dengan mengambil kanji pertamanya. Sudoku sendiri berarti 'nomor tunggal'. Sudoku populer secara internasional dan menjadi *hit* di tahun 2005.

Meskipun mulai populer dari negeri matahari terbit, Sudoku sendiri bukan teka-teki yang berasal dari Jepang, tapi ditemukan oleh Howard Garns asal Indiana, dia menamakannya *Number Place*. Dia meninggal tahun 1989 dan tidak sempat melihat penemuannya menjadi teka-teki yang dimainkan orang di seluruh dunia.

5	3			7				
6			1	9	5			
	9	8					6	
8				6				3
4			8		3			1
7				2				6
	6					2	8	
			4	1	9			5
				8			7	9

Gambar 3.1

Sudoku memiliki banyak varian. Salah satunya adalah *Jigsaw Sudoku Puzzle*. Submatriks direpresentasikan dengan bentuk yang tidak teratur seperti gambar di bawah ini.

3								4
		2		6		1		
	1		9		8		2	
		5				6		
	2						1	
		9				8		
	8		3		4		6	
		4		1		9		
5								7

Gambar 3.2

Sudoku yang akan dibahas di makalah ini adalah Sudoku yang umum digunakan dengan submatriks berbentuk kotak 3 x 3.

IV. SUDOKU SEBAGAI KUNCI STEGO

A. Kehandalan Sudoku sebagai Kunci Stego

Seperti yang kita bahas di awal, kunci stego adalah kunci untuk menemukan pesan terenkripsi yang terdapat pada berkas media steganografi. Seberapa handalkah Sudoku untuk digunakan sebagai kunci stego?

Secara kasar, tingkat keamanan dari Sudoku dapat dilihat dengan seberapa banyak kemungkinan solusi dari Sudoku.

Perhitungan tentang berapa banyak kemungkinan solusi Sudoku pertama kali terdokumentasi dilakukan oleh *USENET newsgroup rec.puzzles* pada September 2003. Dari hasil perhitungan mereka, didapat jumlah solusi

sebanyak 6.670.903.752.021.072.936.960 solusi atau kira-kira sebanyak 6.67×10^{21} solusi. Ini setara dengan 70-bit. Jauh lebih kuat dan handal disbanding DES yang hanya 56-bit.

B. Keteraturan Sudoku sebagai Kunci Stego

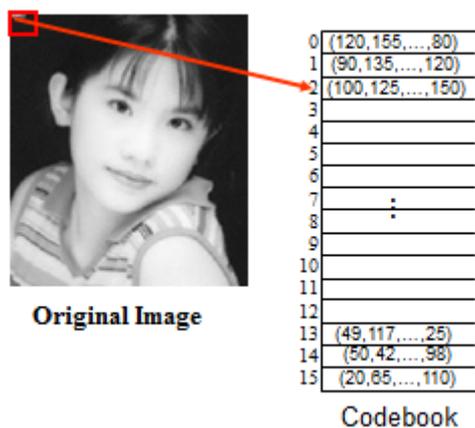
Sebagai informasi, banyaknya solusi Sudoku diperkirakan hanya 1.2×10^6 kali banyaknya solusi matriks 9×9 dengan isi matriks angka 1 sampai 9 namun tanpa ada aturan, boleh sama, boleh berapa saja. Bayangkan, kita dapat memiliki kombinasi bilangan sebanyak $81! = 81 \times 80 \times \dots \times 2 \times 1$.

Bila matriks 9×9 tanpa aturan 1.2×10^6 kali lebih handal, mengapa kita gunakan Sudoku?

Keteraturan dari Sudoku itulah yang mahal. Dengan keteraturan tersebut, kita akan mudah melakukan enkripsi dan dekripsi. Dan metode dari enkripsi serta dekripsi pun lebih mudah ditentukan. Sulit kita menentukan metode bila angka di dalam matriks tidak memiliki keteraturan.

IV. METODE STEGANOGRAFI DENGAN SUDOKU SEBAGAI KUNCI STEGO

Dari berkas awal, kita bisa mendapatkan *codebook*-nya dengan algoritma enkripsi yang kita definisikan sendiri. *Codebook* adalah *look-up table* yang merupakan representasi lain dari berkas tersebut dan memiliki algoritma tertentu untuk membuatnya. Asumsikan algoritmanya sudah kita buat sedemikian sehingga kita mendapat *codebook* seperti di bawah ini.

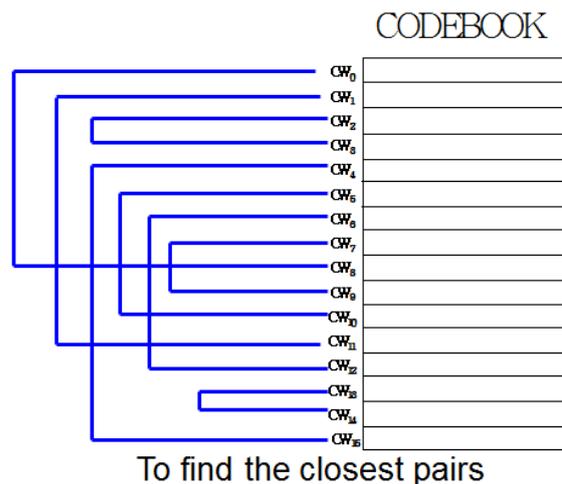


Gambar 4.1

Kemudian dari *codebook* tersebut tentukan mana yang memiliki hubungan paling dekat atau yang disebut *closest pairs*. Pasangan-pasangan ini yang kemudian akan dijadikan dasar keputusan dapat digunakan atau tidaknya suatu byte.

Metode yang kita gunakan disini berbeda dengan metode umum yang kita bahas di awal makalah yaitu *LSB Insertion*. *LSB Insertion* hanya merubah *LSB* dari tiap byte gambar sehingga maksimal perubahan tiap byte hanya 1 bit atau '1 kotak' bergeser di *palette* warna.

Dalam metode menggunakan Sudoku sebagai kunci, *worst case*-nya mengubah nilai tiap byte sebanyak $\pm 4_{10}$, atau bergeser '4 kotak' di *palette* warna. Misalnya nilai suatu byte adalah 132_{10} . Paling parah perubahannya akan menjadi 128_{10} atau 136_{10} .



Gambar 4.2

Setelah mendapatkan semua *closest pairs*, kita tentukan TH. TH ini tergantung pada gambar dan kualitas berkas hasil stego yang kita inginkan. Fungsi $d(A,B)$ menunjukkan seberapa signifikan dampak bila suatu pasangan byte yaitu A dan B dirubah. Pasangan yang memiliki signifikansi warna lebih dari TH, tidak kita gunakan karena dikhawatirkan bila disisipkan data disana, akan terjadi perubahan yang signifikan pada gambar. TH ini dapat dikatakan menentukan kualitas yang kita inginkan. Semakin besar TH, semakin bagus kualitas berkas hasil steganografi namun semakin sedikit tempat yang dapat digunakan untuk penyisipan.

Penjelasan mendalam tentang *codebook* dan TH tidak dijelaskan disini. Asumsi kita sudah mendapat pasangan yang tidak dapat digunakan untuk disisipkan pesan. Misal pasangan-pasangan yang tidak dapat digunakan tersebut adalah (0,8) dan (13,14).

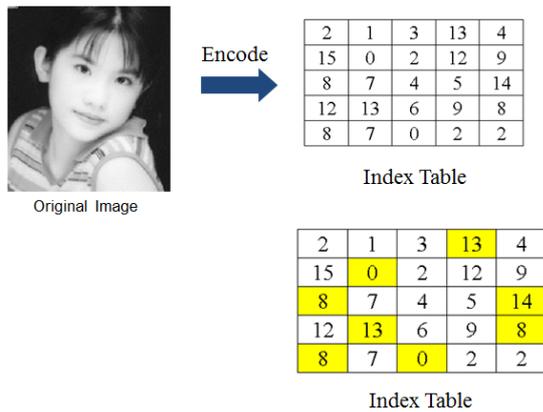
Setelah kita dapatkan pasangan-pasangan mana yang tidak dapat kita timpa dengan pesan rahasia, kita buat tabel indeks dari representasi biner berkas gambar. Tabel indeks berisi nilai-nilai setiap byte gambar. Misal kita gunakan gambar 8-bit sehingga nilai tiap elemen tabel ada di antara 0 sampai 255. Misalkan potongan tabel indeks dari berkas gambar awal kita adalah sebagai berikut.

2	1	3	13	4
15	0	2	12	9
8	7	4	5	14
12	13	6	9	8
8	7	0	2	2

Gambar 4.3

Selanjutnya tandai byte mana yang tidak dapat kita timpa. Perhatikan bahwa kotak yang berwarna kuning

tidak akan kita rubah nilainya, sedangkan kotak berwarna putih menjadi tempat kita menyisipkan pesan rahasia.



Gambar 4.4

Kemudian, kita mulai memasukkan pesan rahasia kita ke kotak-kotak yang sudah kita pilih. Misal pesan rahasia yang akan kita masukkan adalah 101011.

Langkah pertama adalah jadikan input kita basis 9. Basis 9 karena angka-angka yang mungkin menjadi isi Sudoku ada 9 angka, yaitu 1 sampai 9. Maka pesan tadi menjadi :

$$101011_2 = 47_9$$

Selanjutnya, ambil dua kotak pertama dari tabel indeks yang kita dapatkan terakhir kali.

2	1	3	13	4
15	0	2	12	9
8	7	4	5	14
12	13	6	9	8
8	7	0	2	2

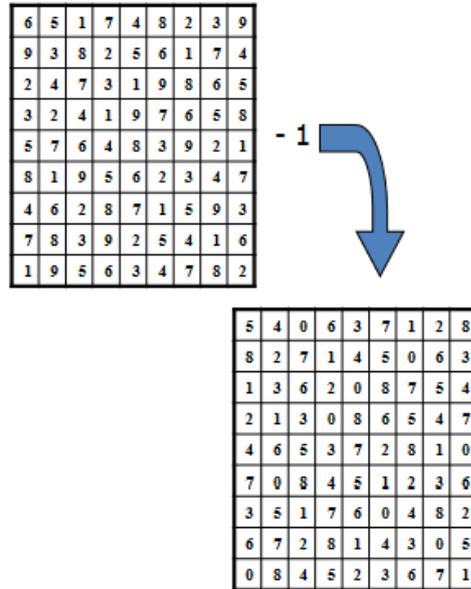
Gambar 4.5

Dua angka ini menjadi koordinat pusat dari pengambilan angka lain di dalam matriks Sudoku. Sekarang, kita persiapkan matriks Sudokunya terlebih dahulu. Dari salah satu dari sekian banyak solusi Sudoku, pilih salah satu. Misal sebagai berikut.

6	5	1	7	4	8	2	3	9
9	3	8	2	5	6	1	7	4
2	4	7	3	1	9	8	6	5
3	2	4	1	9	7	6	5	8
5	7	6	4	8	3	9	2	1
8	1	9	5	6	2	3	4	7
4	6	2	8	7	1	5	9	3
7	8	3	9	2	5	4	1	6
1	9	5	6	3	4	7	8	2

Gambar 4.6

Selanjutnya, kurangi setiap elemen matriks dengan 1. Dikurangi 1 karena pesan rahasia yang akan kita inputkan merupakan basis-9 yang terdiri dari angka 0-8 sedangkan kemungkinan isi tiap elemen kotak Sudoku adalah 1-9. Jadi tiap elemen kotak solusi Sudoku harus dikurangi 1 terlebih dahulu.



Gambar 4.7

Setelah didapat hasil pengurangan 1 dari solusi Sudoku, ulangi matriks 9 x 9 ini sampai terbentuk matriks 256 x 256 seperti gambar di bawah ini. Dibutuhkan matriks 256 x 256 karena gambar yang kita gunakan itu 8-bit.

g_{i-1}

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	...	252	253	254	255		
0	5	4	0	6	3	7	1	2	8	5	4	0	6	3	7	1	2	8	...	5	4	0	6	
1	8	2	7	1	4	5	0	6	3	8	2	7	1	4	5	0	6	3	...	8	2	7	1	
2	1	3	6	2	0	8	7	5	4	1	3	6	2	0	8	7	5	4	...	1	3	6	2	
3	2	1	3	0	8	6	5	4	7	2	1	3	0	8	6	5	4	7	...	2	1	3	0	
4	4	6	5	3	7	2	8	1	0	4	6	5	3	7	2	8	1	0	...	4	6	5	3	
5	7	0	8	4	5	1	2	3	6	7	0	8	4	5	1	2	3	6	...	7	0	8	4	
6	3	5	1	7	6	0	4	8	2	3	5	1	7	6	0	4	8	2	...	3	5	1	7	
7	6	7	2	8	1	4	3	0	5	6	7	2	8	1	4	3	0	5	...	6	7	2	8	
8	0	8	4	5	2	3	6	7	1	0	8	4	5	2	3	6	7	1	...	0	8	4	5	
9	5	4	0	6	3	7	1	2	8	5	4	0	6	3	7	1	2	8	...	5	4	0	6	
10	8	2	7	1	4	5	0	6	3	8	2	7	1	4	5	0	6	3	...	8	2	7	1	
11	1	3	6	2	0	8	7	5	4	1	3	6	2	0	8	7	5	4	...	1	3	6	2	
12	2	1	3	0	8	6	5	4	7	2	1	3	0	8	6	5	4	7	...	2	1	3	0	
13	4	6	5	3	7	2	8	1	0	4	6	5	3	7	2	8	1	0	...	4	6	5	3	
14	7	0	8	4	5	1	2	3	6	7	0	8	4	5	1	2	3	6	...	7	0	8	4	
15	3	5	1	7	6	0	4	8	2	3	5	1	7	6	0	4	8	2	...	3	5	1	7	
16	6	7	2	8	1	4	3	0	5	6	7	2	8	1	4	3	0	5	...	6	7	2	8	
17	0	8	4	5	2	3	6	7	1	0	8	4	5	2	3	6	7	1	...	0	8	4	5	
...	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	...	:	:	:	:
252	5	4	0	6	3	7	1	2	8	5	4	0	6	3	7	1	2	8	...	5	4	0	6	
253	8	2	7	1	4	5	0	6	3	8	2	7	1	4	5	0	6	3	...	8	2	7	1	
254	1	3	6	2	0	8	7	5	4	1	3	6	2	0	8	7	5	4	...	1	3	6	2	
255	2	1	3	0	8	6	5	4	7	2	1	3	0	8	6	5	4	7	...	2	1	3	0	

Gambar 4.8

Gambar di atas berikutnya kita sebut sebagai matriks referensi.

Ingat bahwa yang akan kita sembunyikan adalah 479. Untuk langkah pertama ini, kita masukkan angka 4 terlebih dahulu, baru angka 7.

Jadikan dua kotak kosong pertama di tabel indeks sebagai koordinat pusat di matriks referensi. Perhatikan panah warna biru pada gambar di bawah.

Lalu dengan koordinat tersebut sebagai pusat (dalam contoh ini ditandai dengan lingkaran biru), buat garis batas untuk 9 kotak secara horizontal dan 9 kotak secara diagonal dengan pusat tadi (dalam contoh ini koordinat pusat terletak agak pinggir sehingga tidak tepat 9 kotak, perhatikan kotak berwarna hijau). Sembilan kotak karena tiap elemen matriks memiliki 9 kemungkinan angka. Lalu buat juga garis batas untuk submatriks 3x3 tempat koordinat tersebut terletak (dalam contoh ini ditandai kotak dengan garis berwarna jingga).

Aturan sembilan kotak ini yang menyebabkan perubahan tiap byte representasi biner dari berkas gambar maksimal '4 kotak' bergeser di *palette* warna. Empat karena dengan mengambil titik pusat sebagai titik awal perubahan, 9 kotak akan menjadi titik pusat itu, dan 4 kotak di satu sisi, serta 4 kotak disisi lain.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	...	254	255	
0	5	4	0	6	3	7	1	2	8	5	...	0	6
1	8	2	7	1	4	5	0	6	3	8	...	7	1
2	1	3	6	2	0	8	7	5	4	1	...	6	2
3	2	1	3	0	8	6	5	4	7	2	...	3	0
4	4	6	5	3	7	2	8	1	0	4	...	5	3
5	7	0	8	4	5	1	2	3	6	7	...	8	4
6	3	5	1	7	6	0	4	8	2	3	...	1	7
7	6	7	2	8	1	4	3	0	5	6	...	2	8
8	0	8	4	5	2	3	6	7	1	0	...	4	5
9	5	4	0	6	3	7	1	2	8	5	...	0	6
...
254	1	3	6	2	0	8	7	5	4	1	...	6	2
255	2	1	3	0	8	6	5	4	7	2	...	3	0

Gambar 4.9

Perhatikan gambar di atas. Karena kita akan menyisipkan angka 4, cari angka 4 di seluruh daerah yang ada di dalam garis berwarna jingga dan hijau tadi. Dalam contoh ini kita hanya menemukan satu angka 4 yang letaknya di (0,1). Untuk itu kita ganti dua kotak pertama pada tabel indeks yang kita gunakan sebagai pusat koordinat tadi menjadi koordinat yang baru yaitu (0,1) sehingga terjadi perubahan sebagai berikut.

0	1	3	13	4
15	0	2	12	9
8	7	4	5	14
12	13	6	9	8
8	7	0	2	2

Gambar 4.10

Selanjutnya, untuk 2 kotak berikutnya, kita sisipkan digit pesan rahasia yang kedua yaitu 7. Dengan proses yang sama, kita tandai terlebih dahulu matriks referensinya, perhatikan gambar berikut.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	...	254	255	
0	5	4	0	6	3	7	1	2	8	5	...	0	6
1	8	2	7	1	4	5	0	6	3	8	...	7	1
2	1	3	6	2	0	8	7	5	4	1	...	6	2
3	2	1	3	0	8	6	5	4	7	2	...	3	0
4	4	6	5	3	7	2	8	1	0	4	...	5	3
5	7	0	8	4	5	1	2	3	6	7	...	8	4
6	3	5	1	7	6	0	4	8	2	3	...	1	7
7	6	7	2	8	1	4	3	0	5	6	...	2	8
8	0	8	4	5	2	3	6	7	1	0	...	4	5
9	5	4	0	6	3	7	1	2	8	5	...	0	6
...
254	1	3	6	2	0	8	7	5	4	1	...	6	2
255	2	1	3	0	8	6	5	4	7	2	...	3	0

Gambar 4.11

Di dalam garis batas jingga dan hijau, kita dapatkan dua angka 7, yaitu di (4,4) dan (3,8). Bila kita menemukan lebih dari satu koordinat, kita cari koordinat mana yang paling dekat dengan koordinat pusat (3,4) dengan menggunakan teorema Pythagoras.

$$(4,4) \rightarrow \sqrt{(4-3)^2 + (4-4)^2} = 1$$

$$(3,8) \rightarrow \sqrt{(3-3)^2 + (8-4)^2} = 4$$

Dari perhitungan diatas kita mendapatkan bahwa koordinat (4,4) lebih dekat sehingga koordinat tersebut yang akan kita pilih untuk mengisi tabel indeks. Sehingga tabel indeks akhir terlihat seperti berikut.

0	1	4	13	4
15	0	2	12	9
8	7	4	5	14
12	13	6	9	8
8	7	0	2	2

Gambar 4.12

Tabel indeks inilah yang menjadi berkas gambar hasil steganografi dengan Sudoku sebagai kuncinya.

V. KESIMPULAN

Steganografi yang merupakan teknik menyisipkan pesan rahasia dalam sebuah media sedemikian sehingga tidak menarik perhatian orang lain dan Sudoku yang merupakan permainan teka-teki berupa matriks yang memiliki karakteristik tertentu, bila dikombinasikan keduanya akan menghasilkan sebuah teknik penyisipan pesan rahasia tersembunyi dengan tingkat keamanan yang

sangat tinggi. Steganografi yang tidak memancing kecurigaan dan kunci stego berupa Sudoku yang memiliki kombinasi solusi yang lebih banyak dari DES, menjamin keamanan pesan. Namun metode ini tidak menghasilkan

DAFTAR REFERENSI

- Chin-Chen Chang, "Information Steganography Using Magic Matrix"
<http://msn.iecs.fcu.edu.tw/courses/talk/slides/data/2010-5-6/Information%20Steganography%20Using%20Magic%20Matrix.ppt>. Waktu akses 7:28WIB, 13/12/2010.
- Steganography, <http://en.wikipedia.org/wiki/Steganography>. Waktu akses 7:50WIB 13/12/2010.
- Neil F. Johnson, Sushil Jajodia, "Exploring Steganography, Seeing the Unseen," IEEE Computer Magazine, 1998.
- Sudoku, <http://en.wikipedia.org/wiki/Sudoku>. Waktu akses 8:30WIB, 13/12/2010.
- N.F. Johnson, Z. Duric, and S. Jajodia (Kluwer Academic Publishers, 2000), "Information Hiding: Steganography and Watermarking - Attacks and Countermeasures"
- S. Katzenbeisser dan F.A.P. Petitcolas (Artech House Books, 2000) "Information Hiding Techniques for Steganography and Digital Watermarking"
- Gary C. Kessler, "Steganography: Hiding Data Within Data", <http://www.garykessler.net/library/steganography.html>. Waktu akses 23:09WIB, 14/12/2010.

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, 15 Desember 2010



Rendy Bambang Junior
13509036