Steganografi QR Code pada *Dual Carrier Image* dengan Metode *Least Significant Bit*

Yahya Risqi^{#1}, Rudy Dwi Nyoto^{#2}, Hafiz Muhandi^{#3}

[#]Program Studi Informatika Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura
Jl. Prof Dr H. Hadari Nanawi, Kota Pontianak, 78115

¹yahyarisqi@gmail.com

²rudydn@informatika.untan.ac.id

³hafiz.muhandi@informatika.untan.ac.id

Abstrak— *Image Steganography* adalah teknik untuk menyisipkan pesan rahasia ke dalam suatu citra digital, sehingga secara kasat mata manusia tidak akan mengetahui keberadaan dari pesan rahasia tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah menggunakan citra QR Code sebagai *secret* yang diubah ke dalam mode bitonal dengan 1 bit pada tiap pikselnya kemudian dipecah menjadi dua bagian dan disisipkan kedalam *blue channel* di *dual carrier image* sehingga kapasitas dari pesan yang akan disisipkan dapat meningkat. Penyisipan pada *dual carrier image* juga dapat meningkatkan keamanan karena pesan dapat dikirim secara terpisah. Penyisipan pesan dilakukan dengan metode substitusi *Least Significant Bit (LSB)*. Untuk mengevaluasi model *steganography* yang diteliti, digunakan pengujian MSE and PSNR, *Hiding Capacity (HC)*, Histogram, *recovery* dan *noise*. Hasil pengujian menunjukkan dengan menggunakan citra PNG dan TIFF pada HC hingga 95% nilai PSNR tetap tinggi yaitu sebesar 56 dB, dengan tingkat *recovery* 100% dan tahan terhadap jenis *noise salt and pepper*.

Kata kunci— *Image Steganography, QR Code, Dual Carrier Image, Least Significant Bit, MSE and PSNR*

I. PENDAHULUAN

Cara manusia dalam berkomunikasi di era informasi teknologi sebagian besar dilakukan melalui media internet. Namun, mendistribusikan data digital melalui jaringan publik seperti Internet tidak dapat diandalkan karena berbagai hal seperti pelanggaran hak cipta, pemalsuan, imitasi, dan penipuan [1]. Oleh karena itu pertukaran informasi harus dirancang sedemikian rupa agar pihak-pihak yang tak memiliki otoritas terhadap informasi tidak dapat mengaksesnya. Alasan ini pula yang menyebabkan teknik seperti Steganografi dan Kriptografi dikembangkan.

Steganografi dan Kriptografi adalah beberapa teknik yang paling sering digunakan untuk mengamankan informasi. Bedanya, Kriptografi mengamankan data dengan mengacak data tersebut sehingga sulit untuk

dipahami secara langsung namun tidak dapat menyembunyikan fakta bahwa sebuah pesan rahasia eksis dari data yang teracak tersebut. Sedangkan steganografi adalah suatu teknik untuk menutupi keberadaan data rahasia yang tersembunyi di dalam objek lainnya [2].

Terminologi dari Steganografi berasal dari 2 kata dalam bahasa Yunani yaitu *Stegos* yang berarti “di tutupi atau disembunyikan” dan *Graphi* yang berarti “Tulisan” [3]. Tujuan steganografi adalah untuk menyembunyikan pesan rahasia di dalam pesan-pesan “*innocent*” lainnya, dengan suatu cara dimana penyerang tidak akan mungkin dapat mendeteksi bahwa ada pesan kedua yang eksis didalamnya [4].

Seiring perkembangan zaman, teknik steganografi mengalami perubahan dan adaptasi yang berbeda karena kebutuhan manusia yang berbeda-beda pula. Dalam beberapa penelitian seperti [5], [6], dan [7] sama-sama menggunakan citra digital sebagai media utama pembawa (*carrier*) pesan rahasia. Pada penelitian Maji *et al.*, [5], menggunakan dua citra digital yang berbeda yaitu *reference image* dan *cover image* bersamaan dengan penggunaan *stego key* dan penggunaan kamus indeks kata. Hasil tes menunjukkan peningkatan kapasitas *secret* yang dapat disisipkan hingga 40% dan menghasilkan nilai rata-rata MSE dan PSNR yang cukup baik. Penelitian Santoso *et al.*, [7], juga menggunakan dua citra digital namun bedanya mereka membagi pesan rahasia menjadi dua bagian menggunakan fungsi *div* dan *mod*, dimana satu bagian di sisipkan kedalam citra pertama yang berperan sebagai *cover image* dan satu bagian lainnya disimpan sebagai kunci ekstraksi dalam citra kedua. Dengan membagi pesan rahasia menjadi 2 bagian, kapasitas dari pesan yang di sisipkan akan meningkat dan pesan dapat lebih aman karena dapat dikirim secara terpisah. Pada penelitian Chen dan Wang [6], pesan rahasia yang akan disisipkan pada *cover image* juga berupa *image*, yaitu teks dalam bentuk *QR Code* dan sebuah citra digital beresolusi rendah. Dengan menggunakan model seperti ini mereka menciptakan sebuah skema steganografi bersarang (*nested steganography*) dimana dua format pesan rahasia *loosy*

(berupa citra) dan *loosless* (berupa teks) dapat di sisipkan secara bersamaan dengan steganografi. Selain itu dengan menggunakan metode penyisipan DCT (*Discrete Coefficient Transform*), model steganografi ini menunjukkan ketahanan citra *cover* yang luar biasa terhadap JPEG *attack*, namun semua citra *cover* yang diujikan hanya memiliki nilai PSNR dibawah 40%.

Dalam mengukur kualitas dari model steganografi yang diajukan, beberapa studi terkait diatas mengikuti tiga aspek dasar dalam steganografi gambar yaitu; Pertama, aspek kapasitas, atau seberapa maksimal *payload* yang dapat dicapai. Kedua, kualitas gambar visual, yaitu seberapa identik citra *stego* dengan *cover image*-nya sehingga sulit untuk dibedakan secara kasat mata ataupun secara statistik (*imperceptible*). Dan ketiga, aspek keamanan, bagaimana *stego-image* dapat menahan serangan deteksi steganalisis yang berbeda. Oleh karena itu, metode steganografi yang ideal harus memenuhi ketiga aspek di atas dalam waktu yang bersamaan. yaitu kapasitas tinggi, kualitas gambar visual yang baik, dan tidak terdeteksi [8].

Walaupun begitu, perlu diperhatikan bahwa ketiga aspek ini tidak saling eksklusif satu sama lainnya artinya mereka bukan merupakan aspek yang dapat berdiri sendiri. Dalam praktik di dunia nyata mustahil mendapatkan nilai yang tinggi untuk ketiga aspek tersebut secara bersamaan. Pasti akan selalu ada hubungan *trade off* diantara ketiga aspek tersebut agar dapat tercipta sebuah steganografi yang baik.

Dengan demikian, penelitian yang dilakukan bertujuan untuk memanfaatkan penggunaan citra QR Code sebagai *secret* atau pesan rahasia yang akan disisipkan. Lalu dengan memanfaatkan pengelompokan bit ganjil-genap, citra QR Code akan di dipecah menjadi dua bagian berdasarkan posisi bit mereka dan disisipkan kedalam *Dual Carrier Image* dengan menggunakan metode LSB sehingga meningkatkan *imperceptibility* dan *payload* pada steganografi.

II. LANDASAN TEORI

A. Quick Response Code (QR Code)

Quick Response Code atau yang biasanya disingkat *QR code* adalah simbologi 2 dimensi yang dikembangkan oleh perusahaan Denso Wave pada tahun 1944. *QR barcode* digunakan untuk mengkodekan data dalam jumlah yang besar dan dikembangkan untuk kecepatan interpretasi pesan. Ukuran dari *QR barcode* sendiri akan menyesuaikan secara otomatis tergantung dari data yang di inputkan ([6], [9]). *QR Code* dipilih untuk menjadi pesan yang akan di sisipkan karena ia mempunyai aspek visual yang unik. *QR Code* hanya terdiri dari dua warna yaitu hitam dan putih sehingga memungkinkan *QR code* untuk disimpan ke dalam bentuk gambar *bitonal* (*Black / White only*) dimana pada tiap satu pixel hanya memerlukan 1 bit data dibandingkan gambar *Grayscale* yang memerlukan 8 bit data atau gambar berformat *RGB* yang memerlukan 24 bit data per pixel nya. Hal ini dapat memaksimalkan *payload* (kapasitas pesan) yang akan di sembunyikan

kedalam file *carrier* disamping menjaga ukuran datanya tetap kecil.

B. Citra Digital Sebagai Carrier Dalam Steganografi

Apapun jenis steganografinya akan selalu melibatkan suatu media sebagai pembawa pesan rahasia (*carrier*). Media ini berfungsi sebagai penutup atau peyembunyi pesan yang sesungguhnya. Oleh karena itu istilah *cover object* juga biasa digunakan dalam mendeskripsikan *carrier*. Banyak file digital yang dapat dijadikan sebagai *carrier*. Sebagaimana disebutkan didalam [10], berbagai media seperti teks, audio, gambar, dan video dapat digunakan sebagai *cover*. Meskipun begitu, Menurut [11] media terbaik untuk menanamkan pesan rahasia harus memiliki dua fitur; yaitu media harus populer dan modifikasi di media *cover* tidak boleh terlihat oleh pihak ketiga. Salah satu media yang paling umum untuk digunakan sebagai *cover* dalam teknik steganografi digital adalah citra digital. Gambar digital adalah media yang paling populer karena memiliki frekuensi data redundan yang tinggi dan mampu menyembunyikan data rahasia di dalamnya dengan tetap memberikan efek yang tidak terlihat [8].

Carrier yang digunakan adalah sepasang gambar dengan mode *RGB* 24 bit ini berarti ada 256 kemungkinan intensitas warna dari tiap Channel Red, Green, dan Blue dan jika dikombinasikan maka ada 16,777,216 kemungkinan warna unik. Walaupun begitu pada kenyataannya ketiga saluran warna ini sangat jarang digunakan secara bersamaan. Ini sesuai dengan prinsip Hecht yang mengatakan bahwa persepsi visual terhadap warna merah pekat adalah yang paling tinggi, warna hijau pekat selanjutnya dan yang paling rendah adalah terhadap warna biru pekat [12] dengan kata lain pada suatu gambar *RGB* saluran warna merah adalah yang paling signifikan dan saluran warna biru memainkan peran paling tidak signifikan dalam formulasi warna.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya aspek visual dari *QR code* dapat mendukung model Steganografi yang efisien dalam perihal ukuran datanya, namun itu saja belum cukup untuk menghasilkan model steganografi yang aman. Oleh karena itu untuk meningkatkan keamanan dan kapasitas dari suatu sistem steganografi tak jarang seseorang melakukan *splitting* (pemecahan menjadi beberapa bagian) pada *secret* yang akan mereka sisipkan, pada penelitian [5] dan [7] teknik seperti ini juga diterapkan. Teknik *secret sharing* membagi suatu pesan rahasia *D* menjadi (*n*) bagian sedemikian rupa sehingga *D* nantinya dapat di rekonstruksi kembali melalui *k* dimana *k* adalah (*D*₁, *D*₂, ... *D*_n). Tetapi bahkan pengetahuan lengkap tentang *k-1* bagian sama sekali tidak akan mengungkapkan informasi apapun tentang *D* [13]. Teknik seperti ini akan memerlukan sepasang *cover image* sebagai media *carrier*-nya oleh karena itu ia disebut *dual carrier image*.

C. Distribusi Ganjil-Genap

Penggunaan *Dual Carrier Image* mengharuskan data dari *secret* untuk di pecah kedalam 2 bagian. Dalam hal ini *secret* akan didistribusikan pada *cover* 1 dan *cover* 2. Ada

banyak sekali cara atau teknik untuk memecah dan mendistribusikan data, namun yang harus diperhatikan adalah kesesuaian dari teknik distribusi data tersebut terhadap model steganografi yang diajukan. Beberapa penelitian sebelumnya, seperti [14] dan [15] sama – sama menggunakan teknik distribusi ganjil-genap untuk menyisipkan pesan rahasia kedalam gambar *cover*. Pengelompokan ganjil-genap yang mereka lakukan adalah berdasarkan nilai dari tiap bit pada secret (nilai 0 adalah genap, dan 1 ganjil). Tujuan yang ingin dicapai dari model distribusi tersebut adalah menyisipkan bit dengan nilai yang sama pula pada gambar *cover* sehingga tidak merubah kualitas dari gambar *cover* tersebut. Hanya saja, model distribusi seperti ini memerlukan pemetaan/pencatatan mengenai bit secret dan lokasi dimana ia disisipkan. Informasi tersebut kemudian harus di distribusikan pula kepada pihak penerima agar pesan dapat diekstraksi. Distribusi *stego-key* ini juga harus dipikirkan dengan baik. Jika proses distribusi hanya akan menimbulkan kecurigaan maka itu sama saja dengan mengingkari keseluruhan proses steganografi itu sendiri.

Pada model steganografi yang diajukan pengelompokan ganjil-genap dilakukan bukan berdasarkan nilai bit secret melainkan kan posisi/koordinat dari bit *secret* itu sendiri. Sehingga piksel pada posisi 0 adalah piksel genap dan piksel pada posisi 1 adalah piksel ganjil, begitu seterusnya. Kelompok piksel ganjil akan disisipkan pada *cover* 1 dan kelompok piksel genap akan disisipkan pada *cover* 2. Model seperti ini akan meningkatkan kerancuan distribusi data secret pada masing – masing *cover*, sehingga walaupun pihak penyerang berhasil mengekstraksi LSB dari salah satu *cover*, hasil ekstraksi tidak akan menunjukkan pola yang spesifik

D. Least Significant Bit

Salah satu metode yang paling populer dalam steganografi di bagian spasial domain adalah metode *Least Significant Bit* (LSB). Semakin akhir posisi bit dalam satu *byte* maka semakin tidak signifikan nilai yang dimilikinya. Oleh karena itu bit dengan posisi ke-8 (dari kiri) dalam satu pixel pada *cover* adalah bit yang paling tidak signifikan. Teknik LSB klasik akan mensubstitusikan Bit ke-8 ini dengan bit dari pesan rahasia [5]. Untuk menjelaskan proses ini umpamakan kita akan menyisipkan huruf A kedalam suatu gambar dengan mode RGB (24 bit). Huruf A dapat direpresentasikan dengan kode biner sebagai berikut :

$$A = 01000001$$

Huruf A itu kemudian akan disisipkan kedalam piksel pada *cover* file RGB (24 bit), misalkan suatu grid gambar dengan 3 piksel tersebut direpresentasikan sebagai berikut :

```
( 00101101 00011100 11011100 )
( 10100110 11000100 00001100 )
( 11010010 10101101 01100011 )
```

Maka saat dilakukan embedding huruf A kedalam *cover* dengan teknik LSB hasilnya adalah sebagai berikut :

```
( 00101100 00011101 11011100 )
( 10100110 11000100 00001100 )
( 11010010 10101101 01100011 )
```

Perhatikan bahwa walaupun pesan yang di sisipkan berjumlah 8 bit, hanya 2 bit dari *cover* file yang diperlukan untuk diubah (angka yang digaris bawah) agar bit *cover* sesuai dengan bit pesan rahasia. Hal ini tentu saja akan meningkatkan *imperceptibility* dari steganografi tersebut. Melakukan substitusi pada LSB *cover* menghasilkan perubahan yang sangat kecil pada intensitas warna. Perubahan ini tidak akan dapat di bedakan oleh mata manusia.

E. Kriteria Pengukuran Kualitas Steganografi Gambar

Untuk mengukur kualitas dari suatu steganografi gambar terdapat 4 kriteria yang dapat dijadikan acuan yaitu; *Imperceptibility* (tingkat kecurigaan), *Fidelity* (kualitas gambar *stego*), *Recovery* (kualitas *secret*), dan *Capacity* (kapasitas)[16].

(1) Imperceptibility

Aspek ini mengukur apakah keberadaan pesan rahasia dapat dipersepsi oleh manusia atau tidak. Hal ini karena citra digital adalah data yang dapat dipersepsi secara visual sehingga perubahan pada *stego-image* dapat menimbulkan kecurigaan dan keberadaan pesan rahasia dapat terdeteksi. Oleh karena itu steganografi gambar yang baik adalah steganografi yang tidak dapat dipersepsi oleh mata manusia secara langsung [17]. Namun tidak cukup sampai disitu, persepsi secara statistik juga harus diperhatikan. Semakin pesat kemajuan teknologi, manusia dapat mengecek perubahan pada gambar secara statistik sehingga walaupun perubahan *cover-image* menjadi *stego-image* sangat kecil maka perubahan tersebut masih dapat terdeteksi.

Aspek *Imperceptibility* dapat diukur menggunakan MSE (*Mean Squared Error*) dan PSNR (*Peak Signal to Noise Ratio*). PSNR merupakan sebuah parameter yang umum digunakan dalam proses steganografi untuk menentukan kualitas dari sebuah *stego-image*. PSNR membandingkan antara nilai maksimum dari sinyal yang diukur dengan besarnya *noise* yang berpengaruh pada sinyal tersebut. PSNR dinyatakan dalam satuan desibel (db). Untuk menghitung PSNR, terlebih dahulu harus ditentukan MSE. MSE adalah nilai error kuadrat rata-rata antara *cover image* dengan *stego-image*, secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (S_{xy} - C_{xy})^2 \quad (1)$$

Dimana :

M = Panjang *stego-image* (dalam piksel)

N = Lebar *stego-image* (dalam piksel)

S_{xy} = nilai piksel dari *stego-image*

C_{xy} = nilai piksel dari *cover-image*

Setelah diperoleh nilai MSE maka nilai PSNR dapat dihitung dari kuadrat nilai maksimum dibagi dengan MSE. Secara matematis, nilai PSNR dirumuskan sebagai berikut :

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{C_{\max}^2}{MSE} \right) \quad (2)$$

Dimana :

$C_{\max}^2$ = Nilai maksimum yang mungkin dari tiap piksel pada *cover image*

Semakin rendah nilai dari MSE menandakan *stego-image* memiliki kemiripan yang sangat dekat dengan *cover image*, dan semakin tinggi nilai PSNR-nya maka menandakan semakin baik pula kualitas dari *stego-image* yang dihasilkan. Nilai PSNR dibawah 30 dB mengindikasikan kualitas *stego-image* yang relatif rendah, dimana distorsi yang disebabkan oleh proses penyisipan dapat terlihat dengan jelas. Akan tetapi kualitas *stego-image* yang berada pada nilai 40dB dan diatasnya dapat dikategorikan memiliki kualitas yang baik [18].

Selain MSE dan PSNR, histogram juga dapat dijadikan sebagai alat uji untuk aspek *imperceptibility*. Histogram adalah suatu representasi grafis dari distribusi tonal dalam suatu gambar digital. Histogram menunjukkan jumlah kemunculan nilai intensitas piksel tertentu dari keseluruhan gambar[14]. Karena adanya substitusi pada LSB, nilai dari suatu piksel berubah dan mengakibatkan jumlah piksel dengan nilai intensitas tertentu juga berubah. Perubahan ini dapat diamati dengan cara membandingkan histogram dari citra asli sebelum penyisipan pesan rahasia (*Cover Image*) dengan citra setelah penyisipan (*Stego Image*). Jika perbedaan histogramnya sangat mencolok ini berarti banyak nilai intensitas dari piksel yang berubah. Oleh karena itu suatu sistem steganografi yang baik harus menghasilkan perbedaan histogram yang sedikit antara *cover image* dan *stego-image*.

(2) Fidelity

Aspek ini bertujuan untuk mengukur kualitas *Cover-Object*, dengan kata lain untuk menentukan apakah citra asli tidak jauh berubah akibat penyisipan pesan rahasia. Aspek ini berhubungan langsung dengan aspek *imperceptibility* dimana semakin tinggi fidelitas dari suatu *Stego-Image* maka semakin baik pula *imperceptibility* nya. *Fidelity* dapat diukur dengan membandingkan langsung kedua gambar secara visual, citra dengan model steganografi yang buruk bahkan dapat mengungkap pesan rahasia secara langsung. Jika perbedaan sulit untuk dipersepsi secara visual maka MSE dan PSNR juga dapat membantu untuk membuktikan kualitas dari suatu steganografi gambar.

(3) Capacity

Dalam steganografi gambar, aspek kapasitas adalah jumlah maksimum data yang dapat disisipkan kedalam *cover file*. Untuk kasus LSB klasik (dimana penyisipan dilakukan hanya dengan mensubstitusi 1 bit paling tidak signifikan dari *cover-image* dengan 1 bit dari *secret*), kapasitas maksimum substitusi yang dapat dicapai adalah

12.5 %. *Payload* didefinisikan sebagai muatan/jumlah bit *secret* yang akan disisipkan per pikselnya. Idealnya, hal ini harus setinggi mungkin sambil tetap mempertahankan kualitas yang dapat diterima dari gambar *stego* [19]. Tidak ada definisi khusus untuk mendeskripsikan HC. Namun, ada berbagai macam variasi ekspresi kapasitas yang dapat digunakan dengan mengandalkan berbagai pendekatan steganografi. Dalam model steganografi yang diajukan formulasi untuk menghitung HC dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$\%HC = \frac{Payload - 10}{Cover Capacity \times 2} \times 100 \quad (3)$$

Ket: -10 karena 5 piksel di tiap *cover-image* akan digunakan untuk bit dimensi *secret* sedangkan x2 karena *cover* yang digunakan adalah sepasang (2 buah).

(4) Recovery

Sebaik apa pun kualitas dan kapasitas dari *stego image* tidak akan ada gunanya jika *secret* yang disisipkan tidak dapat di *recover* kembali. Perlu untuk dijadikan perhatian bahwa *recovery* tidaklah sama dengan ekstraksi. Proses ekstraksi hanya akan mengambil bit *secret* data dari citra *cover* tanpa peduli kualitas dari *secret* yang telah di ekstraksi tersebut. Seringkali yang terjadi adalah proses ekstraksi berjalan namun *secret* yang dihasilkan tidak terbaca, ini artinya tingkat *recovery* dari model steganografi yang digunakan belum cukup baik. Oleh karena itu pengujian ini perlu untuk dilakukan agar kita dapat mengukur kualitas *recovery* dari model steganografi yang diajukan. Noise adalah suatu sinyal yang tak diinginkan, dalam bidang pengolahan citra noise ini dapat berupa gambar atau piksel yang menyerupai bintik – bintik hitam dan putih yang dapat mengganggu kualitas dari suatu citra. Noise biasanya terjadi saat transmisi data, banyak faktor yang mempengaruhi noise seperti gelombang elektromagnetik, radiasi, sensor dan lain sebagainya. Pada pengolahan citra sendiri umumnya *noise* akan berusaha untuk dihilangkan agar kualitas citra meningkat.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan QR Code sebagai *secret* dan *dual carrier image* sebagai model *splitting* dengan menggunakan metode LSB sebagai teknik penyisipannya. Citra *secret* akan dipecah dan dikelompokkan ke dalam bitstream ganjil dan genap baru kemudian disisipkan pada LSB *bluechannel* pada masing – masing gambar *cover*. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan kapasitas, keamanan dan kualitas dari *stego image* yang akan dihasilkan.

Model steganografi yang diajukan terbagi atas 2 proses utama yaitu proses *embedding* dan *extracting*.

A. Skema Proses Embedding

Model *embedding* dari steganografi yang diajukan menggunakan 1 gambar QR Code yang telah diubah kedalam gambar dengan mode *Black and White* sebagai *secret* dan sepasang gambar *cover* dengan format gambar 24 bit depth sebagai *carrier* nya. Masing - masing gambar akan dicek terlebih dahulu kesesuaian nya sebelum dilakukan proses *embedding* dimana gambar *secret* harus

merupakan gambar 1 bit, gambar *cover* adalah gambar 24 bit dan total piksel *cover* harus lebih besar daripada secret. Diagram alir proses *embedding* dapat dilihat pada Gambar 1. Berikut penjelasan secara rinci berdasarkan Gambar 1.

Gambar 1. Diagram alir proses *Embedding Secret*

1) *Encoding Secret ke Bitstream*: Sistem membaca secret image yang di masukkan kemudian mengubahnya kedalam bentuk matriks 1 dimensi, perlu diperhatikan bahwa secret adalah gambar QR Code bitonal artinya nilai piksel telah dalam bentuk bit. Gambar 2 mengilustrasikan bagaimana proses ini bekerja

Gambar 2. Ilustrasi proses *Encoding Secret ke bitstream*

2) *Splitting Bitstream ke Ganjil dan Genap*: Pada tahapan ini bitstream secret dipecah kedalam 2 bagian yaitu genap dan ganjil. Bit bit pada posisi ganjil nantinya akan di sisipkan kedalam *cover* 1 sedangkan bit – bit pada posisi genap akan disisipkan pada *cover* 2. Ilustrasi proses ini dapat dilihat pada Gambar 3.

Gambar 3. Ilustrasi Proses *Splitting*

Perlu menjadi perhatian bahwa pengelompokkan bitstream kedalam ganjil-genap bukan berdasarkan nilai dari piksel mereka melainkan posisi dari piksel tersebut. Hal ini dilakukan untuk menambah tingkat keamanan dari secret yang akan di kirim karena meskipun data dapat di ekstraksi dari salah satu *cover* oleh pihak yang tidak bertanggungjawab, tanpa informasi tentang ukuran dimensi

dan pasangan gambar lainnya maka mustahil data yang di ekstraksi dapat di mengerti. Ia hanya akan mendapatkan sequence dari bit bit ganjil/genap yang walaupun jika diubah kedalam bentuk gambar maka akan menampilkan sebuah gambar yang acak.

3) *Ambil Dimensi Secret dan Ubah ke Binary*: Dalam proses *embedding* secret cukup diambil salah satu dimensi pada QR Code (panjang/lebar) karena keduanya akan bernilai sama. Setelah itu ubah nilai tersebut kedalam tuple biner. Dalam penelitian yang diajukan batasan ukuran maksimal dimensi dari secret yang dapat dimasukkan adalah 1023x1023 piksel. Nilai 1023 jika di ubah kedalam bilangan biner adalah 1111 1111 11 bilangan ini berjumlah 10 digit, yang berarti memerlukan 10 bit pula untuk tempat penyimpanannya. Karena dalam penelitian ini gambar *cover* yang digunakan adalah sepasang gambar (2 buah gambar) maka masing masing dari gambar *cover* akan disisipkan 5 bit sebagai tempat penyimpanan bit informasi dari dimensi ukuran secret. Ilustrasi proses ini dapat dilihat pada Gambar 4.

Gambar 4. Ilustrasi Proses ambil dimensi *secret*

4) *Encoding Cover ke Array of bit (Matriks)*: Sama halnya seperti *secret*, maka gambar *cover* juga harus di *encode* kedalam bentuk tuple biner untuk tujuan penyisipan gambar. *Cover* file yang digunakan dalam penelitian ini adalah gambar RGB dengan *bit depth* 24. Gambar dengan mode ini direpresentasikan dengan 3 channel di tiap piksel nya, masing masing channel terdiri dari 8 bit dan untuk penyisipan pesan rahasia hanya dilakukan pada channel *blue*. Proses mengubah gambar *cover* kedalam format matriks ini diilustrasikan pada Gambar 5.

Gambar 5. Ilustrasi Proses *encode cover* ke dalam bentuk matriks

5) *LSB Embedding*: Pada tahapan ini akan dilakukan proses penyisipan bit bit secret, terdapat 2 jenis bit yang akan disisipkan kedalam gambar *cover* yaitu bit dari piksel QR Code itu sendiri dan bit informasi ukuran dimensi dari QR Code. Penyisipan bit secret akan dilakukan dengan metode LSB dan bit yang akan disubstitusi adalah bit paling tidak signifikan (urutan terakhir) dalam channel *blue* pada *cover*. Bit yang pertama kali di sisipkan adalah bit informasi dimensi dari secret, bit ini akan disisipkan masing – masing pada gambar *cover* 1 dan gambar *cover* 2 lalu bit dari QR Code yang telah dibagi menjadi ganjil-

ganjil juga akan disisipkan pada sepasang *cover* file. Gambar 6 mengilustrasikan bagaimana proses ini bekerja.

Gambar 6. Ilustrasi proses LSB embedding (a) embedding bit dimensi (b) embedding bit secret

6) *Decode to Stego Image* : Pada tahapan ini bit bit dalam susunan array yang telah disisipi bit secret masih berbentuk data biner oleh karena itu perlu dilakukan decode kembali agar angka – angka biner tersebut diubah kembali kedalam bentuk desimal yang merepresentasikan nilai tiap channel pada piksel. Hasil akhir dari proses ini adalah sepasang gambar yang hampir sama dengan gambar *cover* asli sebelum disisipi bit secret. Gambar ini kemudian disebut dengan *stego-image*. Ilustrasi proses ini dapat dilihat pada Gambar 7.

Gambar 7. Ilustrasi Proses decode ke Stego-Image

B. Skema Proses Extracting

Pada proses ekstraksi, prosedur yang berlaku juga sama seperti saat melakukan *embedding*, hanya saja kali ini keseluruhan tahapan akan dibalik. Diagram alir keseluruhan proses ekstraksi secret dapat dilihat pada Gambar 8. Berikut penjelasan secara rinci berdasarkan Gambar 8.

1) *Encoding Gambar Stego kedalam Bit Array (Matriks)*: Gambar *stego* di *encode* kedalam bentuk tuple biner agar proses ekstraksi dengan LSB dapat berjalan dengan baik.

Nilai dari tiap piksel pada pasangan gambar *stego* akan di kelompokkan berdasarkan channel mereka (R, G, B) lalu akan diubah kedalam bilangan biner.

Gambar 8. Diagram Alir proses *Extracting Secret*

Gambar 9. Ilustrasi proses *encode* gambar *stego* kedalam matriks

2) *Ekstraksi Bit Dimensi Secret dengan LSB dan Merge*: Setelah pasangan gambar *stego* direpresentasikan kedalam bentuk bit bit array proses ekstraksi LSB akan berjalan. Untuk mendapatkan dimensi secret, yang harus dilakukan sistem pertama kali adalah membaca 5 piksel pertama pada masing – masing gambar *stego* lalu mengambil nilai LSB pada channel *blue*-nya. Hal ini penting untuk dilakukan pertama kali karena nilai tersebut akan digunakan untuk memberitahu sistem seberapa banyak LSB dari channel *blue* yang harus diambil pada masing – masing *cover* untuk mengekstrak bit gambar secret. Ilustrasi dari proses ini dapat dilihat pada Gambar 10.

Gambar 10. ekstraksi bit dimensi *secret* dan *merge*

Bit – bit yang telah digabung tadi kemudian akan diubah kedalam bilangan desimal. Bilangan desimal ini kemudian akan dikuadratkan untuk mendapatkan jumlah total piksel dari gambar *secret* sekaligus batasan panjang *secret* yang harus diekstraksi dari tiap gambar *stego*.

3) *Ekstraksi Bit Secret*: Pada tahapan ini sistem akan mengekstraksi bit *secret* sebanyak nilai dari hasil kuadrat dimensi *secret* dibagi dengan 2 (hal ini karena sistem harus mengekstrak dari dua gambar *stego*). Hasil ekstraksi LSB dari gambar *stego* 1 adalah bit – bit pada posisi ganjil dari gambar *secret*, sedangkan hasil ekstraksi LSB dari gambar *stego* 2 adalah bit – bit pada posisi genap dari gambar *secret*. Ilustrasi dari proses ini ditunjukkan pada Gambar 11.

Gambar 11. Ilustrasi proses ekstraksi bit *secret*

4) *Merge Bit Secret*: Pada tahapan ini bit – bit hasil ekstraksi tersebut akan digabung dan disusun berdasarkan posisi ganjil-genap menjadi bitstream 1 dimensi seperti yang diilustrasikan pada Gambar 12.

Gambar 12. Ilustrasi proses *merge* bit *secret*

5) *Ubah Bitstream kedalam array 2 dimensi*: Setelah bit *secret* digabung menjadi satu, maka tahapan selanjutnya adalah menyusun bitstream tersebut menjadi array bit 2 dimensi. Hal ini dilakukan dengan cara menyusun bit bit *secret* dengan format baris dan kolom. Selama jumlah baris kurang dari nilai bit dimensi *secret* maka letakkan bit ke-1 pada kolom 1, bit ke-2 pada kolom 2, begitu seterusnya sampai jumlah kolom = N dimana nilai N = nilai dari bit dimensi *secret*. Lanjutkan proses ini sampai jumlah baris = N . Output dari proses ini adalah array bit 2 dimensi yang siap diubah menjadi gambar *secret*. Ilustrasi dari proses ini ditunjukkan pada Gambar 13.

Gambar 13. Ilustrasi proses bitstream ke matriks 2 dimensi

6) *Decode menjadi gambar Secret*: Pada tahapan ini bit array 2 dimensi tadi dapat langsung diubah menjadi format gambar bitonal dengan mendefinisikan bahwa nilai 1 adalah warna hitam dan nilai 0 adalah warna putih. Output yang dihasilkan dari proses ini adalah gambar *secret* yang “seharusnya” identik bahkan sama persis dengan gambar *secret* yang asli sehingga proses ekstraksi pesan rahasia dapat dikatakan 100% berhasil. Proses ini dapat dilihat pada Gambar 14.

Gambar 14. Ilustrasi proses *decode* menjadi gambar *secret*

IV. HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS

Data uji yang digunakan dalam penelitian ini dibagi menjadi 2 jenis yaitu data uji untuk *cover* dan data uji untuk *secret*. Untuk *cover* akan digunakan gambar sejumlah 5 pasang (10 file gambar) dengan dimensi 512 x 512 piksel yang terdiri atas 6 file gambar berekstensi *.png, 2 file gambar berekstensi *.tiff, dan 2 file gambar berekstensi *.jpg. Sedangkan untuk *secret* akan digunakan 4 file gambar QR Code dengan versi yang berbeda – beda dan berekstensi *.bmp. QR Code yang digunakan adalah versi 12 dengan dimensi 260 x 260 piksel (untuk 12,5% *Hiding Capacity*), versi 19 dengan dimensi 372 x 372 piksel (untuk 25% *Hiding Capacity*), versi 27 dengan dimensi 500 x 500 piksel (untuk 50% *Hiding Capacity*), dan versi 40 dengan dimensi 708 x 708 piksel (untuk 95% *Hiding Capacity*). Perlu menjadi perhatian bahwa QR code yang dapat digunakan tidak terbatas hanya pada versi yang disebutkan diatas (versi 12, 19, 27, dan 40), versi-versi QR code tersebut digunakan hanya untuk menyesuaikan tingkat *Hiding Capacity* yang dibagi menjadi 4 kategori (12,5%, 25%, 50% dan 95%) untuk memudahkan pengujian.

Pengujian terhadap kualitas steganografi dibagi menjadi 4 kriteria yaitu; *Imperceptibility* (tingkat kecurigaan), *Fidelity* (kualitas gambar stego), *Recovery* (kualitas *secret*), dan *Capacity* (kapasitas). Beberapa alat pengujian yang digunakan adalah *Mean Squared Error* (MSE) and *Peak Signal Noise to Ratio* (PSNR), *Hiding Capacity*, Histogram dan penambahan *Noise*. Perlu menjadi perhatian bahwa beberapa aspek yang akan diuji saling berhubungan satu sama lain, jadi aspek-aspek tersebut dapat menggunakan alat uji yang sama pula.

A. Pengujian *Imperceptibility*

Untuk hasil MSE dan PSNR dapat dilihat pada Tabel 1, untuk hasil histogram dapat dilihat pada Gambar 15.

TABEL I
HASIL PENGUJIAN MSE DAN PSNR TERHADAP HIDING CAPACITY

Images (512x512)		HC	MSE		PSNR (db)	
StegImage 1	StegImage 2		StegImg 1	StegImg 2	StegImg 1	StegImg 2
Baboon.png	Lena.png	12,5 %	0.0216	0.0215	64.7850	64.8114
Jetplanes.png	Veggies.png		0.0217	0.0216	64.7704	64.7839
Port1.png	Port2.png		0.0212	0.0217	64.8733	64.7714
Baboon.tiff	Lena.tiff		0.0216	0.0215	64.7850	64.8114
Baboon.jpg	Lena.jpg		46.6527	25.6572	31.4420	34.0387
Baboon.png	Lena.png	25%	0.0441	0.0437	61.6839	61.7226
Jetplanes.png	Veggies.png		0.0439	0.0441	61.7086	61.6865
Port1.png	Port2.png		0.0439	0.0441	61.7095	61.6861
Baboon.tiff	Lena.tiff		0.0441	0.0437	61.6839	61.7226
Baboon.jpg	Lena.jpg		46.6750	25.6667	31.4400	34.0371
Baboon.png	Lena.png	50%	0.0794	0.0799	59.1321	59.1039
Jetplanes.png	Veggies.png		0.0795	0.0792	59.1288	59.1426
Port1.png	Port2.png		0.0796	0.0797	59.1242	59.1186
Baboon.tiff	Lena.tiff		0.0794	0.0799	59.1321	59.1039
Baboon.jpg	Lena.jpg		46.6594	25.6543	31.4414	34.0392
Baboon.png	Lena.png	95%	0.1597	0.1595	56.0969	56.1036
Baboon.tiff	Lena.tiff		0.1597	0.1595	56.0969	56.1036
Baboon.jpg	Lena.jpg		46.6621	25.6460	31.4412	34.0406

Semakin rendah nilai dari MSE menandakan *stego-image* memiliki kemiripan yang sangat dekat dengan *cover image*, dan semakin tinggi nilai PSNR-nya maka menandakan semakin baik pula kualitas dari *stego-image* yang dihasilkan. Nilai PSNR dibawah 30 dB mengindikasikan kualitas *stego-image* yang relative rendah, dimana distorsi yang disebabkan oleh proses penyisipan dapat terlihat dengan jelas. Akan tetapi kualitas *stego-image* yang berada pada nilai 40dB dan diatasnya dapat dikategorikan memiliki kualitas yang baik.

Gambar 15. Perbandingan Histogram dengan HC 95% pada citra (a) baboon.png, (b) Jetplanes.png, (c) Baboon.tif, (d) Baboon.jpg

Histogram stego dengan tipe citra png dan tiff menunjukkan sedikit *error* pada grafik, hal ini menunjukkan bahwa tingkat imperceptibility dari model steganografi yang diajukan dengan tipe citra png dan tiff sudah cukup baik. Pada citra jpg grafik histogram menunjukkan *error* yang cukup terlihat, hal ini disebabkan karena proses kompresi yang terjadi pada citra ini akan merombak habis nilai dan posisi pada citra, sehingga saat pesan sudah disisipi, proses kompresi pada jpg akan secara otomatis mengkalkulasi ulang untuk mendapatkan hasil jpg yang paling baik (file jpg yang memiliki ukuran rendah).

B. Fidelity

Aspek ini mengukur kualitas dari *Cover-Object* sebelum dan sesudah penyisipan pesan rahasia, apakah citra mengalami perubahan yang signifikan atau tidak. Hasil pengujian fidelity dapat dilihat juga pada Tabel 1. Dan Perbandingan citra dapat dilihat pada Gambar 16.

(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

(f)

(g)

(h)

Gambar 16. Perbandingan citra sebelum (a, c, e, dan g) dan sesudah penyisipan (b, d, f dan h) dengan HC 95%

C. Pengujian Capacity

Aspek kapasitas diukur dengan cara meningkatkan *payload* yang disisipkan hingga mencapai *Hiding Capacity* (HC) maksimum dan mencatat nilai MSE dan PSNR nya. Jika nilai PSNR jatuh dibawah 40dB sebelum mencapai nilai HC maksimum nya maka model steganografi yang diteliti dapat dikatakan buruk.

Telah disebutkan pada awal bab IV bahwa *Cover-image* yang digunakan untuk pengujian adalah sepasang citra digital 24 bit dengan beragam tipe ekstensi, dan semuanya memiliki dimensi yang sama yaitu 512x512 (total piksel = 262144 piksel). Penelitian menggunakan satu *channel* (blue) di tiap *cover*, hal ini berarti masing-masing *cover*

image memiliki kemampuan kapasitas total yang sama dengan jumlah total piksel. Karena *cover image* yang digunakan berjumlah sepasang maka kapasitas total *payload* yang dapat ditampung mejadi 2 kali lipat (262144 x 2) atau sama dengan 524288 bit atau jika dijadikan citra 2 dimensi adalah citra dengan 724 x 724, Dengan menggunakan formula (3) maka HC untuk model steganografi ini dapat dihitung sebagai berikut

$$\%HC = \frac{524288-10}{262144 \times 2} \times 100$$

Berdasarkan formula diatas maka %HC maksimum adalah sebesar 99%, namun untuk keperluan pengujian dengan versi citra QR Code, nilai 95% dirasa sudah cukup ideal. Dapat diketahui pada tabel I dengan HC 95% nilai PSNR adalah 56 dB.

D. Pengujian Recovery

Pengujian dilakukan dengan dua metode yaitu metode MSE dan PSNR, dan penambahan noise. Pada steganografi, *noise* akan ditambahkan pada citra stego untuk menguji ketahanan model steganografi terhadap pengaruh gangguan. Pada pengujian ini akan digunakan 3 jenis *noise* yaitu, *Gaussian Noise*, *Poisson Noise*, dan *Salt and Pepper Noise*. Hasil pengujian *recovery* dapat dilihat pada Tabel 2, sedangkan pengujian Noise dapat dilihat pada Tabel 3.

TABEL III
HASIL PENGUJIAN RECOVERY TERHADAP HIDING CAPACITY

Citra ekstraksidari	Payload	MSE	PSNR
Baboon & Lena (png)	12,5% HC	0.00	100
Jetplanes& Veggies (png)		0.00	100
Port1 & Port2 (png)		0.00	100
Baboon & Lena (tiff)		0.00	100
Baboon & Lena (jpg)		Uncountable	Uncountable
Baboon & Lena (png)	25% HC	0.00	100
Jetplanes& Veggies (png)		0.00	100
Port1 & Port2 (png)		0.00	100
Baboon & Lena (tiff)		0.00	100
Baboon & Lena (jpg)		Uncountable	Uncountable
Baboon & Lena (png)	50% HC	0.00	100
Jetplanes& Veggies (png)		0.00	100
Port1 & Port2 (png)		0.00	100
Baboon & Lena (tiff)		0.00	100
Baboon & Lena (jpg)		Uncountable	Uncountable
Baboon & Lena (png)	95% HC	0.00	100
Baboon & Lena (tiff)		0.00	100
Baboon & Lena (jpg)		Uncountable	Uncountable

Seluruh *secret* dengan HC yang berbeda beda dapat diekstraksi dan di *recover* dengan baik, kecuali pada citra jpg. Nilai MSE yang menunjukkan angka 0 menginformasikan bahwa tidak ada satupun *error* yang terjadi saat proses *recovery* dilakukan dan nilai PSNR yang

menyentuh angka 100 menginformasikan bahwa citra secret hasil ekstraksi memiliki kualitas yang 100% sama dengan aslinya. Hasil “uncountable” pada seluruh citra dengan tipe jpg berarti kualitas citra secret yang diekstraksi tidak dapat dihitung karena walaupun berhasil di ekstraksi citra secret tidak dapat terbaca bahkan memiliki ukuran piksel yang berbeda dari aslinya.

TABEL IIIII
HASIL PENGUJIAN RECOVERY DENGAN PENAMBAHAN NOISE

Citra Stego dengan Noise	%HC	Ekstraksi dan Recovery (Y/N dan Y/N)		
		Gaussian	Poisson	Salt & Pepper
<i>baboon dan lena *.png</i>	12,5%	Y dan N	Y dan N	Y dan Y
<i>baboon dan lena *.png</i>	25%	Y dan Y	Y dan N	Y dan Y
<i>baboon dan lena *.png</i>	50%	N dan N	Y dan N	Y dan Y
<i>baboon dan lena *.png</i>	95%	N dan N	N dan N	Y dan Y

Pada pengujian *noise* di Tabel 3 kita dapat melihat bahwa sistem paling dapat bertahan pada *noise* salt and pepper. Hal ini dikarenakan *noise* dengan tipe ini tidak akan merusak gambar sepenuhnya, ia hanya akan mengubah nilai dari beberapa piksel dengan nilai on dan off. Sehingga saat diekstraksi secret tetap dapat terbaca walaupun terdapat *noise*. Alasan lain sistem tidak dapat bertahan pada *noise* seperti gaussian dan poisson adalah karena bit dimensi secret juga turut di embedd pada citra *cover*. Sehingga saat *noise* seperti gaussian dan poisson yang memiliki kerapatan lebih padat ditambahkan, besar kemungkinan ada beberapa *noise* yang mengenai bit dimensi ini sehingga merubah nilainya. Apa yang terjadi selanjutnya adalah saat diekstraksi secret tidak akan terbaca.

V. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pengujian terhadap sistem “Steganografi QR Code pada RGB channel dalam Dual Carrier Image dengan metode LSB”, maka dapat ditarik kesimpulan sebagaiberikut:

1. Berdasarkan pengujian *Imperceptible* pada tabel I, citra dengan tipe *.png dan *.tiff memiliki nilai PSNR diatas standar yang telah ditetapkan. Bahkan dengan HC sebesar 95% nilai PSNR masih ada di 56.1036 dB (masih jauh diatas 40 dB). Hal ini menunjukkan bahwa model steganografi yang diajukan sudah cukup baik jika digunakan dalam file PNG dan TIFF.
2. Berdasarkan pengujian *Imperceptibility* grafik histogram dengan citra *.png dan *.tiff yang didapatkan sudah termasuk dalam kategori baik karena error/distorsi pada grafik tidak dapat terlihat dengan jelas. Error baru dapat terlihat sedikit pada HC 95%. Semakin rendah % HC nya maka semakin mirip grafik histogram antara citra stego dan covernya.
3. Berdasarkan pengujian *Recovery*, Seluruh citra dengan tipe *.png dan *.tiff dapat diekstraksi dan *direcovery* dengan baik. Ini terbukti dari nilai MSE dan PSNR dimana, MSE pada citra tersebut bernilai 0 dan PSNR

bernilai 100dB. Ini berarti citra hasil ekstraksi memiliki tingkat kesamaan 100% dengan citra aslinya.

4. Berdasarkan pengujian *Noise*, model steganografi paling dapat bertahan dengan distorsi yang dihasilkan dari *Salt and Pepper noise* jika dibandingkan dengan *Gaussian noise*, dan *Poisson noise*. Hal ini dibuktikan dari citra secret yang berhasil di ekstraksi dan *direcovery* dengan baik walau terkena noise pada 95% HC.
5. Berdasarkan keseluruhan pengujian maka dapat disimpulkan bahwa model steganografi yang diajukan telah memenuhi kategori penilaian mulai dari *Imperceptibility*, *fidelity*, *capacity*, dan *recovery* dengan hasil yang memuaskan pada citra seperti PNG dan TIFF. Untuk citra JPG sendiri model steganografi ini tidak cocok untuk digunakan karena tingginya kompresi yang dilakukan terhadap citra.

B. Saran

Beberapa hal yang perlu ditambahkan dalam pengembangan sistem “Steganografi QR Code pada RGB channel dalam Dual Carrier Image dengan metode LSB” sebagai berikut:

1. *Payload* dapat ditingkatkan lebih lanjut, karena *secret* yang digunakan adalah citra QR Code maka terdapat modul modul standar yang dapat dibuang saat embedding pesan rahasia dan di masukkan kembali saat ekstraksi pesan rahasia.
2. Untuk meningkatkan *imperceptibility* dan *fidelity*, proses penyisipan rahasia dapat menggunakan *targetted LSB substitution* dimana bit secret akan disisipkan pada piksel yang memiliki LSB dengan nilai sama pula.
3. Model steganografi dapat di gabung dengan Enkripsi untuk meningkatkan keamanan *secret* itu sendiri dan keamanan dari *stego key* (jika menggunakan).

REFERENSI

- [1] P. Survase and P. Survase, “Qr code based image steganography with enhanced image quality and compression,” *Int. J. Innov. Res. Sci. Technol.*, vol. 2, no. 5, pp. 104–112, 2015.
- [2] B. S. Champakamala, K. Padmini, R. D. K. A. Professors, and D. Bosco, “Least Significant Bit algorithm for image steganography Overview of Steganography,” *Int. J. Adv. Comput. Technol.*, vol. 3, no. 4, p. 5, 2014.
- [3] S. Sharda and S. Budhiraja, “Image steganography: A review,” *Int. J. Emerg. Technol. Adv. Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 707–710, 2013.
- [4] M. Juneja and P. S. Sandhu, “Improved LSB based steganography techniques for color images in spatial domain,” *Int. J. Netw. Secur.*, vol. 16, no. 6, pp. 452–462, 2014.
- [5] G. Maji, S. Mandal, S. Sen, and N. C. Debnath, “Dual image based LSB steganography,” in *Proceedings - 2018 2nd International Conference on Recent Advances in Signal Processing, Telecommunications and Computing, SIGTELCOM 2018*, 2018, vol. 2018-January, pp. 61–66.
- [6] J.-W. Wang, “Nested image steganography scheme using QR-barcode technique,” *Opt. Eng.*, vol. 48, no. 5, p. 057004, 2009.
- [7] D. R. I. M. Setiadi, H. A. Santoso, E. H. Rachmawanto, and C. A. Sari, “An improved message capacity and security using divide and modulus function in spatial domain steganography,” in *2018*

- International Conference on Information and Communications Technology, ICOIAC 2018*, 2018, vol. 2018-January, pp. 186–190.
- [8] M. Hussain, A. W. A. Wahab, Y. I. Bin Idris, A. T. S. Ho, and K. H. Jung, "Image steganography in spatial domain: A survey," *Signal Process. Image Commun.*, vol. 65, pp. 46–66, 2018.
 - [9] A. Warang and A. Patankar, "QR Code Based Image Steganography," vol. 3, no. 3, pp. 1100–1105, 2017.
 - [10] K. Joshi, P. Dhankhar, and R. Yadav, "A new image steganography method in spatial domain using XOR," in *12th IEEE International Conference Electronics, Energy, Environment, Communication, Computer, Control: (E3-C3), INDICON 2015*, 2016, pp. 1–6.
 - [11] E. Zielińska, W. Mazurczyk, and K. Szczypiorski, "The magazine archive includes every article published in Communications of the ACM for over the past 50 years," *Commun. ACM*, vol. 57, no. 3, pp. 86–95, 2014.
 - [12] A. Sathyan, M. Thirugnanam, and S. Hazra, "A novel RGB based steganography using prime component alteration technique," *IIOAB J.*, vol. 7, no. 5, pp. 58–73, 2016.
 - [13] A. Shamir, "How to share a secret," *Commun. ACM*, vol. 22, no. 11, pp. 612–613, 1979.
 - [14] S. Singh and J. Kaur, "Odd-Even Message Bit Sequence Based Image Steganography," *Int. J. Comput. Sci. Inf. Technol.*, vol. 6, no. 4, pp. 3930–3932, 2015.
 - [15] M. M. Hashim and M. S. Mohd Rahim, "Image steganography based on odd/even pixels distribution scheme and two parameters random function," *J. Theor. Appl. Inf. Technol.*, vol. 95, no. 22, pp. 5977–5986, 2017.
 - [16] R. Munir, "SteganografidanWatermaking," *BahanKuliah ke-7*, 2004.
 - [17] Z. Y. Al-Omari and A. T. Al-Taani, "Secure LSB steganography for colored images using character-color mapping," in *2017 8th International Conference on Information and Communication Systems, ICICS 2017*, 2017, pp. 104–110.
 - [18] A. Cheddad, J. Condell, K. Curran, and P. McKeivitt, "Digital image steganography: Survey and analysis of current methods," *Signal Processing*, vol. 90, no. 3, pp. 727–752, 2010.
 - [19] M. S. Subhedar and V. H. Mankar, "Current status and key issues in image steganography: A survey," *Comput. Sci. Rev.*, vol. 13–14, no. C, pp. 95–113, 2014.