TESIS – IF 185401

PENGEMBANGAN METODE *DATA HIDING* BERBASIS *QUAD GENERAL DIFFERENCE EXPANSION CLUSTER (QGDEC) DAN* LOGIKA *FUZZY*

AHMAD JUNIAR ILHAM
NRP. 05111850010010

Dosen Pembimbing
Tohari Ahmad, S. Kom, MIT., Ph.D.
NIP: 19750525 200312 1 002

Departemen Teknik Informatika
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2020

[Halaman ini sengaja dikosongan]

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Komputer (M. Kom)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Oleh:
AHMAD JUNIAR ILHAM
NRP: 05111850010010

Tanggal Ujian: 16 Juli 2020
Periode Wisuda: September 2020

Disetujui oleh:
Pembimbing:

1. Tohari Ahmad, S.Kom., M.IT., Ph.D. .....
NIP: 197505252003121002

Penguji:

1. Royyana Muslim I, S.Kom., M.Kom., Ph.D. .....
NIP: 197708242006041001

2. Bagus Jati Santoso, S. Kom., Ph. D. .....
NIP: 198611252018031001

3. Dr.Eng. Radityo Anggoro, S.Kom., M.Sc. .....
NIP: NIP. 198410162008121002

Kepala Departemen Teknik Informatika
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas

Dr. Eng. Chastine Fatichah, S.Kom., M.Kom
NIP: 19751220 200112 2 002

[halaman ini sengaja dikosongkan]

PENGEMBANGAN METODE *DATA HIDING* BERBASIS *QUAD GENERAL DIFFERENCE EXPANSION CLUSTER (QGDEC)* DAN LOGIKA *FUZZY*

Nama : Ahmad Juniar Ilham
NRP : 05111850010010
Pembimbing : Tohari Ahmad, S.Kom, MIT., Ph.D.

ABSTRAK

Seiring dengan meningkatnya teknologi dan informasi dalam beberapa tahun terakhir, ada beberapa tantangan seperti pencurian informasi, pencurian identitas, pelanggaran privasi, hak cipta, dan lainnya oleh orang-orang yang tidak memiliki hak untuk melakukannya. Untuk alasan ini, sangat tepat untuk meningkatkan keamanan dan penyembunyian data *(data hiding)*. Steganografi adalah salah satu bidang penelitian terkenal dalam paradigma penyembunyian informasi. Namun dalam penerapan steganografi, ada beberapa hal yang harus diperhatikan seperti kapasitas dan kemiripan *(similarity)*. Pengembangan dilakukan dengan modifikasi metode QGDEC dan logika *fuzzy* untuk meningkatkan kapasitas dan kemiripan *stego image* dengan *cover image*.

Penerapan klaster pada metode QGDEC bertujuan agar selisih piksel tidak terlalu besar sehingga kualitas citra dapat dipertahankan. Dengan menggunakan logika *fuzzy*, penyisipan data rahasia dapat dilakukan secara multilapis dengan mengacu pada hasil level penyisipan dari hasil proses logika *fuzzy*. *S*ehingga kedua metode ini dapat meningkatkan nilai PSNR serta kapasitas penyisipan. Dari hasil percobaan, metode yang diusulkan memperoleh nilai PSNR lebih tinggi dan memiliki kapasitas penyisipan yang lebih besar dibanding dengan tiga metode lainnya.

Kata kunci: *Data hiding*, Logika *Fuzzy* , QGDEC, Steganografi

[halaman ini sengaja dikosongkan]

DEVELOPMENT OF DATA HIDING METHOD BASED ON QUAD GENERAL DIFFERENCE EXPANSION CLUSTER (QGDEC) AND FUZZY LOGIC

Name	: Ahmad Juniar Ilham
Student Identity Number	: 05111850010010
Supervisor	: Tohari Ahmad,S.Kom, MIT., Ph.D.

ABSTRACT

In the last few years, information technology has developed, but there have been challenges such as information theft, identity theft, invasion of privacy, copyrights, and others by people who do not have the right to do so. For this reason, it is appropriate to increase data hiding and security. Steganography is one of the famous fields of research in the information concealment paradigm. However, in the application of steganography, there are several things that must be considered such as capacity and similarity. The development is carried out by modifying the QGDEC method and fuzzy logic to increase the capacity and similarity of the *stego* image to the cover image.

The use of the cluster in the QGDEC method aims to ensure that the pixel difference is not too large so that image quality can be maintained. By using fuzzy logic, the embedding of confidential data can be done in multiple layers by referring to the results of the embedding level in the fuzzy logic process. From the experimental results, the proposed method obtains a higher PSNR value and has a greater embedding capacity than the existing methods.

Keywords: *Data hiding, Fuzzy logic , QGDEC, Steganography*

[halaman ini sengaja dikosongkan]

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehaditar Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan anugerah, bimbingan, dan hidayahnya-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul "Pengembangan metode *data hiding* berbasis Quad General Difference Expansion Cluster (QGDEC) dan Logika *fuzzy*" dengan tepat waktu.

Pengerjaan tesis ini merupakan suatu sarana pencurahan ilmu pengetahuan yang telah didapat penulis selama menempuh perkuliahan di Pascasarjana Teknik Informatika ITS. Dengan mengerjakan tesis ini, penulis dapat memperdalam, mengaplikasikan, serta mengembangkan apa yang selama ini penulis pelajari.

Terselesaikannya pengerjaan tesis ini tidak luput dari berbagai bantuan dan dukungan dari banyak pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa atas segala tuntunan, anugerah, kekuatan, dan rahmat-Nya yang senantiasa melindungi dan mendampingi setiap langkah penulis dalam hidup penulis terutama dalam pengerjaan tesis ini.
2. Kedua orang tua dan mertua serta adik-adik penulis, yang selalu memberikan kasih sayang dan perhatian yang tiada henti selama penulis menempuh pendidikan dan dalam tugas-tugas lainnya. Juga atas doa yang tidak pernah putus untuk kesuksesan penulis sejak lahir hingga saat ini.
3. Istri tercinta, Fathimatuz Zuhro' AF, yang senantiasa mendampingi dan memberi dukungan baik dalam wujud doa, perhatian, dan kasih sayang kepada penulis agar penulis termotivasi untuk dapat menyelesaikan pendidikan pasca sarjana ini dengan baik.
4. Bapak Tohari Ahmad selaku dosen pembimbing satu-satunya yang selalu memberikan masukan ide, pemikiran, dukungan, nasehat, dan waktu bimbingan sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini dengan baik.
5. Ibu Chastine selaku Kepala Departemen pascasarjana Teknik Informatika

ITS, Bapak Syaikhu selaku Ketua Jurusan Teknik Informatika ITS, serta ibu Nanik Suciati selaku dosen wali, terima kasih atas dukungannya selama perwalian, dan seluruh dosen pengajar yang telah membagikan ilmunya kepada penulis.

6. Bapak Royanna, Bapak Bagus dan Bapak Onggo selaku dosen penguji.
7. Seluruh teman-teman S2 Informatika ITS angkatan 2018.
8. Pihak-pihak yang belum disebutkan satu persatu yang turut membantu baik secara langsung maupun tidak langsung terselesaikannya tesis ini.

Tesis ini masih jauh dari sempurna dan memiliki banyak kekurangan, penulis terbukaatas kritik dan saran yang membangun dari para pembaca.

Pamekasan, 28 Juli 2020

Ahmad Juniar Ilham

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TESIS.....**Error! Bookmark not defined.**
ABSTRAK v
ABSTRACT vii
KATA PENGANTAR ix
DAFTAR ISI xi
DAFTAR TABEL xiii
DAFTAR GAMBAR xiv
BAB 1 1
1. 1. Latar Belakang 1
1. 2. Rumusan Masalah 5
1. 3. Tujuan Penelitian 5
1. 4. Manfaat Penelitian 5
1. 5. Kontribusi Penelitian 6
1. 6. Batasan Masalah 6
BAB 2 7
2.1 Steganografi 7
2.2 Logika *Fuzzy* 8
2.2.1 Himpunan *Fuzzy* 9
2.2.2 *Fuzzification* dan Fungsi Keanggotaan *Fuzzy* 11
2.2.3 Aturan Kontrol *Fuzzy* 11
2.2.4 *Defuzzification* 12
2.3 Difference Expansion (DE) 12
2.4 PSNR 15
2.5 Penelitian Terkait 15
BAB 3 19
3.1 Deskripsi Umum Metode 19
3.2 Perancangan Metode Keseluruhan 19

3.3 Perancangan Mekanisme Penentuan Level Penyisipan 21
3.3.1 Perancangan Variabel *Fuzzy* 21
3.3.2 Perancangan *Fuzzification* dan Fungsi Keanggotaan *Fuzzy* 22
3.3.3 Perancangan Aturan Kontrol Fuzzy 24
3.3.4 Perancangan *Defuzzification* 25
3.4 Perancangan Penyisipan dan Ekstraksi *Bit* 25
3.5 Perancangan Mekanisme Penyisipan Multilapis 26
3.6 Penyisipan dan Ektraksi dengan QGDEC 29
3.6.1 Proses Penyisipan 29
3.6.2 Proses Ekstraksi 34
3.7 Skenario dan Data Uji Coba 36
BAB 4 39
4.1 Lingkungan Uji Coba 39
4.2 Analisis Persamaan dan Logika Fuzzy 39
4.2.1 Analisis Persamaan 39
4.2.2 Analisis Logika Fuzzy 48
4.3 Pelaksanaan Uji Coba 50
4.4 Hasil dan Evaluasi 51
BAB 5 67
5.1 Kesimpulan 67
5.2 Saran 68
DAFTAR PUSTAKA 69
BIODATA PENULIS 73

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Fungsi keanggotaan karakteristik gambar..... 23
Tabel 3.2 Fungsi Keanggotaan *Output* Level Penyisipan..... 23
Tabel 3.3 Aturan kontrol rata-rata selisih piksel ketetanggan..... 24
Tabel 3.4 Aturan kontrol median selisih piksel ketetanggaan 24
Tabel 3.5 Aturan kontrol rata-rata dan median selisih piksel ketetanggan..... 24
Tabel 3.6 Penelitian awal metode 26
Tabel 3.7 Location map..... 29
Tabel 3.8 Klaster QGDEC 30
Tabel 4.1 Data *input* logika *fuzzy*..... 52
Tabel 4.2 Data *output* logika fuzzy..... 54
Tabel 4.3 Level penyisipan dari proses pembulatan *output* logika *fuzzy*..... 55
Tabel 4.4 Perbandingan metode dari segi PSNR pada citra ‘Airplane’..... 52
Tabel 4.5 Perbandingan metode dari segi PSNR pada citra ‘Baboon’ 54
Tabel 4.6 Perbandingan metode dari segi PSNR pada citra ‘Boat’ 55
Tabel 4.7 Perbandingan metode dari segi PSNR pada citra ‘Peppers’ 56
Tabel 4.8 Perbandingan metode dari segi PSNR pada citra ‘Abdominal’..... 58
Tabel 4.9 Perbandingan metode dari segi PSNR pada citra ‘Sandiego’ 59
Tabel 4.10 Perbandingan metode dari segi PSNR pada citra ‘Fruits’..... 60
Tabel 4.11 Perbandingan metode dari segi PSNR pada citra ‘Car’ 61
Tabel 4.12 Perbandingan kapisatas penyisipan pesan maksimum..... 64
Tabel 4.13 Perbandingan kapisatas penyisipan pesan dalam *bit per pixel*. 65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 *Flowchart* Penyisipan QGDEC multilapis 20
Gambar 3.2 Contoh piksel dalam satu blok 22
Gambar 3.3 Blok piksel 27
Gambar 3.4 Urutan pemindaian blok 27
Gambar 3.5 Contoh level map 28
Gambar 3.6 Contoh blok *expandable* 28
Gambar 3.7 Contoh nilai piksel blok 32
Gambar 3.8 *Flowchart* Proses Penyisipan 34
Gambar 4.1 Ilustrasi penyisipan dan ektraksi dengan batas bawah klaster 47
Gambar 4.2 Ilustrasi penyisipan dan ekstraksi dengan batas atas klaster piksel ... 47
Gambar 4.3 Citra sampul untuk data uji coba yang diperoleh dari [31] [32][33] . 50
Gambar 4.4 Perbandingan piksel *stego* dan piksel asli 51
Gambar 4.5 Grafik perbandingan metode pada gambar 'Airplane' 53
Gambar 4.6 Grafik perbandingan metode pada gambar ‘Baboon’ 55
Gambar 4.7 Grafik perbandingan metode pada gambar ‘Boat’ 56
Gambar 4.8 Grafik perbandingan metode pada gambar ‘Peppers’ 57
Gambar 4.9 Grafik perbandingan metode pada gambar ‘Abdominal’ 58
Gambar 4.10 Grafik perbandingan metode pada gambar ‘Sandiego’ 59
Gambar 4.11 Grafik perbandingan metode pada gambar ‘Fruits’ 60
Gambar 4.12 Grafik perbandingan metode pada gambar ‘Car’ 62
Gambar 4.13 Grafik perbandingan nilai rata-rata PSNR setiap gambar 62
Gambar 4.14 Grafik nilai rata-rata PSNR dari seluruh gambar 63
Gambar 4.15 Grafik perbandingan kapisatas penyisipan pesan dalam *bpp*. 65
Gambar 4.16 Grafik nilai rata-rata *bpp* dari seluruh gambar 66

BAB 1
PENDAHULUAN

Bab ini merupakan penjelasan mengenai beberapa hal dasar dalam pembuatan tesis. Hal-hal yang dimaksud meliputi latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitain, manfaat penelitian, kontribusi penelitian, serta batasan masalah.

1. 1. Latar Belakang

Seiring berkembangnya teknologi dan informasi pada zaman ini, meningkat pula serangkaian pencurian dan penyalahgunaan data dan informasi oleh orang-orang yang tidak berhak melakukannya. Oleh karenanya, sudah selayaknya keamanan dan proteksi data juga harus ditingkatkan, agar para pencuri data dan informasi tidak mudah mendapatkan apa yang mereka inginkan. Salah satu cara yang banyak dikembangkan saat ini untuk proteksi data selain dengan cara enkripsi, dengan menyembunyikan suata data atau informasi ke dalam suatu media tertentu. Teknik tersebut dinamakan steganografi.

Kata steganografi sendiri berasal dari Bahasa Yunani "*stego*s" yang berarti sampul dan "grafia" yang berarti menulis. Secara arti luas, steganografi merupakan teknik penyembunyian data memanfaatkan media tertentu dengan harapan pihak yang tidak memiliki hak akses atas data tersebut tidak dapat mengetahui bahwa ada data yang disembunyikan pada media steganografi [1]. Dengan alasan tersebut, maka steganografi dapat menjadi salah satu solusi untuk menangani masalah proteksi data yang banyak diretas oleh para pencuri. Teknik ini juga seakan-akan mengelabuhi pencuri saat pengiriman data, karena pengirim data terlihat hanya mengirimkan media saja padahal ada pesan tersembunyi dibalik media yang dikirimkan. Terdapat berbagai macam media yang dapat digunakan pada steganografi, seperti media teks, citra, audio, dan video.

Dalam penerapan teknik steganografi, ada beberapa hal yang harus diperhatikan agar tujuan penerapan steganografi benar-benar berhasil. Pertama, kemiripan atau *similarity* hasil media yang sudah disisipkan pesan rahasia (*stego*) harus tidak jauh berbeda dengan gambar aslinya. Perbedaan yang begitu mencolok akan menyebabkan pencuri data curiga terhadap media yang dikirimkam. Kedua, semakin meningkat kapasitas penyisipan data maka teknik steganografi ini akan semakin baik, karena pesan yang akan disisipkan akan tertampung lebih banyak [2]. Faktor-faktor lain yang harus dipertimbangkan adalah *imperceptibility, fidelity* dan *recovery*. *Imperceptibility* berarti keberadaan pesan rahasia tidak dapat dirasakan oleh indera manusia. Pesan rahasia yang disisipkan ke dalam media penyimpanan harus tidak bisa dilihat oleh mata manusia. *Fidelity* berarti kualitas media sampul tidak banyak berubah karena penyisipan. Jika kualitas citra *stego* banyak mengalami perubahan maka mengindikasikan bahwa teknik penyembunyian data tersebut kurang berhasil, dan *recovery* berarti pesan tersembunyi harus dikembalikan atau diungkapkan. Percuma saja ketika seseorang berhasil menyembunyikan data ke dalam suatu media namun pengirim dan penerima tidak dapat mengembalikan pesan rahasia yang telah disisipkan.

Ada beberapa metode yang sering dipakai dalam teknik steganografi pada gambar, seperti *Least Significant Bit (LSB), Discrete Cosine Transform (DCT), Wavelet Transform, Difference Expansion (DE), Reduced Difference Expansion (RDE), General Differencae Expansion (GDE), Quad General Difference Expansion* dan lain sebagainya. DE merupakan metode penyembunyian *bit* data rahasia dengan menggunakan selisih antar pasangan piksel yang bertetangga. Karena kelebihannya yang mudah diterapkan, maka saat ini banyak penelitian untuk mengembangkan metode DE. Oleh karena itu, saat ini banyak teknik turunan dari metode ini. Turunan-turunan dari metode ini dapat meningkatkan kapasitas pesan rahasia dengan tidak mengesampingkan dari kualitas dari citra itu sendiri [3] [4]. Namun banyak penelitian sebelumnya hanya

berfokus pada satu peningkatan saja, hanya pada peningkatan kemiripan citra *stego* dengan citra sampulnya atau hanya pada peningkatan kapasitas penyisipan pesan saja.

Salah satu turunan dari metode DE adalah QGDEC. QGDEC merupakan pengembangan atau turunan dari metode DE yang dapat meningkatkan kapasitas dari jumlah pesan rahasia yang dapat disisipkan dan dapat mereduksi selisih agar selisihnya mendekati bahkan sama dengan nilai piksel awal setelah proses penyisipan. Dengan kata lain, metode QGDEC dapat memperkecil hasil selisih dibandingkan dengan metode DE. QGDEC sendiri termasuk ke dalam metode *reversible data hiding*, yang artinya citra *stego* yang dihasilkan dari metode QGDEC ini dapat dikembalikan kembali ke dalam bentuk mulanya *(cover)* dengan melalui proses ekstraksi terlebih dahulu [5].

Metode QGDEC yang diusulkan oleh Rahardjo [5] masih dapat dikembangkan lagi untuk meningkatkan kualitas gambar *stego*, karena metode yang diusulkan masih memiliki kelemahan yaitu cenderung menghasilkan *Peak Signal to Noise Rasio (PSNR)* yang lebih baik hanya bila rata-rata piksel gambar yang dimasukkan tidak lebih dari 150. Hal ini disebabkan karena peneliti sebelumnya hanya menggunakan batas bawah klaster sebagai acuannya. Oleh karena itu, salah satu pengembangan yang penulis usulkan yaitu dengan menambahkan batas atas klaster piksel untuk dijadikan acuan pencarian selisih piksel. PSNR sendiri merupakan metode yang biasa digunakan untuk menghitung dan menganalisis perbandingan antara citra *stego* dan citra sampul. Semakin tinggi nilai PSNR maka semakin baik pula kualitas citra *stego* [6] .

Saat ini pengembangan steganografi sudah banyak dikombinasikan dengan *intelegent algorithm* seperti *Fuzzy Logic (FL), Fuzzy C-Means (FCM), Genetic Algorithms (GA),* dan *Hybrid Neural Networks (HNN).* Tujuan kombinasi ini untuk mencapai hasil yang lebih maksimal dan solusi yang adaptif. Beberapa pengembangan yang telah dilakukan seperti [7] yang mengkombinasikan antara RDE dan *fuzzy* untuk penentuan *embedding level* dan [8] yang mengkombinasikan

antara LSB dan *fuzzy*. Tetapi metode ini masih menggunakan LSB dalam proses memasukkan data, sehingga gambar awal yang digunakan dalam steganografi tidak dapat direkonstruksi. Ashraf dkk. [9] mengusulkan sistem interval berbasis logika *fuzzy* tipe-2 untuk mendeteksi piksel gambar yang kurang sensitif terhadap mata manusia. Proses penyematan menggunakan LSB. Saleema dan Amarunnishad [10] mengusulkan steganografi baru menggunakan Hybrid Neural Network untuk meningkatkan kapasitas penyisipan data rahasia sambil mempertahankan kualitas gambar yang sangat baik.

Untuk mengatasi masalah steganografi yang tidak dapat direkontruksi dan menjaga kualitas citra serta meningkatkan kapasitas pesan rahasia yang dapat disisipkan ke dalam media penyimpanan, penulis mengusulkan kombinasi beberapa metode untuk masalah-masalah tersebut dengan menggabungkan metode logika *Fuzzy* dan modifikasi dari metode QGDEC.

Metode logika *Fuzzy* dalam hal ini digunakan untuk menentukan level penyisipan maksimum agar dapat melakukan penyisipan data secara multilapis. Penentuan level suatu blok diawali dengan mengekstraksi karakteristik citra, kemudian dilakukan proses *fuzzy inference system (FIS)* dan terakhir menentukan estimasi kapasitas yang bisa disisipkan. Karekteristik citra yang akan digunakan adalah nilai rata-rata dan median selisih antar piksel ketetanggan serta kombinasi keduanya. Selisih antar piksel ketetanggaan pernah diusulkan oleh Tsai dkk. [11] namun hanya menghitung nilai piksel ketetanggaan samping kiri dan atasnya. Sedangkan penulis menghitung antara semua piksel ketetanggaan yang ada pada blok 2x2.

Level maksimum penyisipan dari suatu blok diartikan sebagai lapis maksimum yang digunakan untuk menyisipkan suatu *bit* pesan. Misalkan dari hasil penghitungan logika *fuzzy* didapatkan level maksimum penyisipan suatu blok adalah level 4. Maka terdapat 4 lapis yang dapat disisipi oleh pesan *bit* rahasia.

Sedangkan metode modifikasi QGDEC dalam hal ini digunakan untuk proses penyisipan pesan *bit* rahasia sesuai dengan hasil yang diperoleh dari proses *fuzzy*. Tujuan lainnya adalah menghindari nilai selisih yang terlalu besar antara piksel baru gambar *stego* dan gambar sampul yang mengakibatkan penurunan kualitas citra dengan cara merancang suatu klaster piksel.

1. 2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Apakah implementasi Logika *Fuzzy* berpengaruh terhadap *similarity* dan peningkatan kapasitas pada steganografi?
2. Bagaimana cara meningkatkan kapasitas penyisipan *payload* pada citra sampul dengan menggunakan logika *fuzzy* ?
3. Bagaimana merancang klaster piksel dengan menggunakan metode QGDEC untuk menjaga kualitas citra *stego* tetap baik?

1. 3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memaparkan hasil implementasi Logika *Fuzzy* terhadap *similarity* dan kapasitas pada steganografi.
2. Menambah kapasitas penyisipan *payload* pada citra sampul dengan menggunakan logika *fuzzy*.
3. Mengimplementasikan klaster piksel dengan metode QGDEC untuk menjaga kualitas citra *stego* agar tetap baik.

1. 4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan gambar *stego* yang baik dari segi kualitas tanpa ada distorsi yang besar dan dapat memperbesar kapasitas *payload* sehingga dapat meminimalisir bahkan mencegah para *attacker* untuk mengetahui pesan rahasia yang telah disisipkan terhadap suatu gambar. Sehingga

pesan rahasia benar-benar sampai pada penerima tanpa diketahui dan dicurigai oleh para *atttacker*.

1. 5. Kontribusi Penelitian

Kontribusi dari penelitian ini adalah meningkatkan kapasitas *payload* yang dapat disisipkan dengan membuat level penyisipan. Sehingga, dapat dilakukan secara multilapis dengan melihat karakteristik gambar sampul serta dapat meningkatkan kemiripan antara gambar *stego* dengan gambar sampul dengan menggunakan klaster piksel.

1. 6. Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki beberapa batasan antara lain:

1. Masukan dari implementasi adalah *grayscale image* dengan dimensi 512x512 piksel sebanyak 8 citra.
2. Pesan yang akan disisipkan *(payload)* berukuran mulai dari 10kb hingga 70kb.
3. Metode yang digunakan adalah QGDEC dan logika *fuzzy*.
4. Metode dirancang untuk diimpementasikan pada media berupa gambar atau citra.

BAB 2
KAJIAN PUSTAKA

Pada Bab ini akan dijelaskan mengenai referensi terkait penyelesaian masalah dalam penelitian. Beberapa hal yang dijelaskan pada Bab ini yaitu tentang definisi steganografi, logika *fuzzy*, serta penelitian-penelitian lain yang terkait dengan penelitian ini.

2.1 Steganografi

Kata steganografi sendiri berasal dari Bahasa Yunani "*stego*s" yang berarti sampul dan "grafia" yang berarti menulis. Steganografi juga bisa disebut sebagai *covered writing* yaitu suatu seni untuk penyembunyian komunikasi [1]. Dalam arti luas steganografi bisa diartikan suatu teknik penyembunyian pesan rahasia yang disisipkan terhadap suatau media tertentu. Dalam steganografi, penentuan media yang dipakai untuk penyisipan pesan rahasia biasanya dengan memilih media yang tidak terlalu mencolok. Bahkan di masa lalu sudah terdapat teknik steganografi dengan menggunakan tinta yang tak kasat mata atau tato tersembunyi agar pesan yang dikirimkan tidak dapat dilihat oleh orang lain yang tidak berhak [12].

Pada hakikatnya, proses penyembunyian pesan pada teknik steganografi dilakukan dengan cara mengganti *bit-bit* redundan yang ada pada medium steganografi untuk kemudian diganti dengan informasi atau pesan yang akan disembunyikan [3].

Salah satu tujuan penggunaan steganografi adalah agar orang yang tidak memiliki hak akses tidak dapat melihat atau mengetahui keberadaan dari pesan rahasia yang disisipkan terhadap suatu media tertentu [13]. Namun salah satu kelemahan dari steganografi adalah masih meninggalkan jejak perubahan data pada medium yang digunakan. Jejak perubahan data tersebut dapat dilihat dari distorsi dalam sifat statistik dari media steganografi yang digunakan [12]. Oleh karena itu sebisa mungkin membangun teknik steganografi yang baik.

2.2 Logika *Fuzzy*

Logika *fuzzy* pertama kali dikembangkan oleh Zadeh melalui tulisannya pada tahun 1965 tentang teori himpunan fuzzy. Logika *fuzzy* ini banyak diimplementasikan pada masalah-masalah yang mengandung unsur ketidakpastian *(uncertanty)*, ketidaktepatan *(imprecise), noisy* dan sebagainya [9].

Fuzzy secara bahasa dapat diartikan sebagai tidak jelas , buram, samar-samar dan tidak pasti. Namun bukan berarti logika *fuzzy* merupakan logika yang tidak jelas, hanya saja logika *fuzzy* digunakan untuk menggambarkan ketidakjelasan. Jika dibandingkan dengan logika klasik (Crisp Logic) yang hanya memiliki nilai 1 atau 0 (hitam atau putih, ya atau tidak), tidak ada nilai di antara rentang keduanya, maka nilai *fuzzy* memiliki derajat keanggotaannya antara 0 sampai 1. Dalam *fuzzy*, nilai keanggotaannya dapat memiliki dua nilai sekaligus yaitu dapat bernilai salah dan benar secara bersamaan. Namun penentuan kebenaran dan kesalahannya terletak pada bobot keanggotaannya itu sendiri [7].

Selain digunakan untuk menterjemahkan suatu besaran ketidakpastian *(uncertanty)*, ketidaktepatan *(imprecise)* dan *noisy*, logika *fuzzy* digunakan untuk menterjemahkan suatu besaran yang diekspresikan menggunakan bahasa (linguistik), misalkan menghitung tingkat energi yang direpresentasikan dengan lemah, agak lemah, kuat dan sangat kuat. Logika *fuzzy* menunjukan seberapa tingkat kebenaran dan tingkat kesalahan suatu nilai. Tidak seperti logika *crisp*, suatu nilai hanya mempunyai 2 kemungkinan yaitu merupakan suatu anggota himpunan atau tidak.

Ada beberapa alasan dalam penggunaan logika *fuzzy* , di antara beberapa alasan mengapa harus menggunakan logika *fuzzy* adalah :

1) Mudah dimengerti, konsep matematisnya sederhana dan tidak rumit
2) Sangat fleksibel
3) Memiliki toleransi terhadap data-data yang tidak tepat (samar-samar)
4) Mampu memodelkan fungsi non-linear yang sangat kompleks
5) Didasarkan pada bahasa alami.

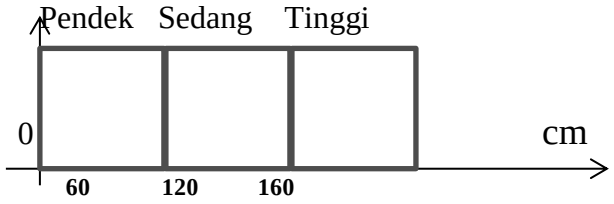
2.2.1 Himpunan *Fuzzy*

Konsep himpunan *fuzzy* merupakan pengembangan dari konsep himpunan tegas (crisp). Himpunan *fuzzy* ini digunakan untuk mengantisipasi suatu keanggotaan *fuzzy* apabila masuk dalam 2 himpunan yang berbeda. Misal, keanggotaan *fuzzy* masuk dalam kategori muda dan paruh baya, atau paruh baya dan tua [7]. Himpunan tegas hanya menerjemahkan derajat keanggotaan yang terbatas seperti '0' atau '1' atau sebuah rentang data dengan derajat keanggotaan yang terbatas. Misal, jika tinggi badan yang didefinisikan sebagai "tinggi" adalah yang memiliki tinggi badan di atas 170 cm , maka tinggi badan 164 cm tidak termasuk di dalamnya. Maka digunakan suatu himpunan *fuzzy* untuk mengatur rentang nilai yang lebih luas untuk mendefinisikan kategori "tinggi". Tidak hanya terbatas jika tinggi badan lebih dari 170 cm maka termasuk "tinggi" jika kurang dari itu maka tidak termasuk "tinggi".

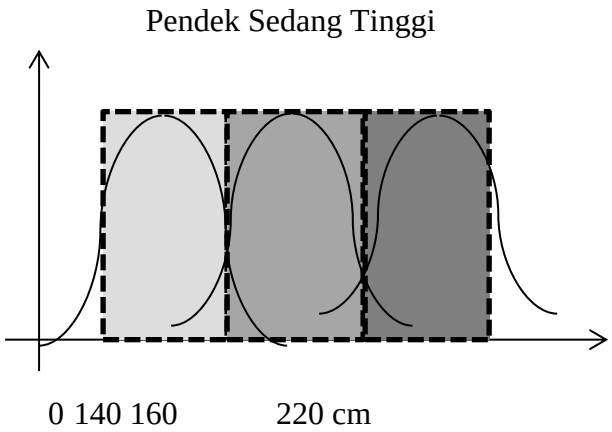
Dibanding dengan himpunan tegas, sebuah himpunan *fuzzy* memiliki batasan yang lebih kabur. Sebuah himpunan *fuzzy* memperbolehkan sebuah anggota himpunannnya termasuk ke dalam sebuah himpunan dengan tingkat derajat tertentu. Sebagai contoh, tinggi badan dapat dibagi menjadi 3 kategori, pendek (20 cm - 140 cm), sedang (141 cm - 160 cm) dan tinggi (161cm - 220 cm). Ketiga kategori tersebut dibagi berdasarkan sudut pandang himpunan tegas, seperti yang terlihat pada Gambar 2.1.

Pada himpunan klasik atau himpunan tegas, suatu nilai dari anggotanya bersifat jelas dan tegas, tidak samar-samar. Nilai dari anggotanya hanya bernilai dalam satu himpunan saja yaitu bernilai pendek, sedang atau tinggi dengan batasan nilai yang jelas. Keanggotaan dari suatu himpunan tegas tidak bisa dikategorikan pada dua atau lebih himpunan sekaligus. Namun pada himpunan *fuzzy* nilai dari anggotanya dapat masuk ke dalam dua himpunan atau tiga himpunan sekalipun secara bersama-sama dengan batas himpunan yang samar-samar atau tidak jelas. Jadi seperti gambar 2.2, dalam suatu himpunan *fuzzy* suatu

nilai anggotanya dapat bernilai pendek dan sedang atau sedang dan tinggi sekaligus.



Gambar 2.1 Himpunan Tegas



Gambar 2.2 Himpunan fuzzy sesuai pada contoh [7]

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dan dipahami ketika menerapkan *fuzzy*, yaitu :

1. Variabel *Fuzzy*

   Variabel *fuzzy* merupakan variable yang akan dibahas dalam suatu *fuzzy*. Contoh dari variable *fuzzi* adalah tinggi badan, Berat badan.

2. Himpunan *Fuzzy*

   Himpunan ini merupakan suatu kumpulan nilai yang mewakili dari suatu variabel *fuzzy*.

3. Semesta Pembicaraan

   Semesta pembicaraan merupakan suatu nilai yang diperkenankan dalam operasi variabel *fuzzy*

4. Domain

Doman merupakan semua nilai yang diperkenankan pada semester pembicaraan dan yang diperbolehkan untuk dioperasikan.

2.2.2 *Fuzzification* dan Fungsi Keanggotaan *Fuzzy*

Himpunan *fuzzy* tidak akan ada artinya jika hanya berupa himpunan saja. Oleh karena itu, diperlukan adanya proses pengambilan keputusan pada himpunan *fuzzy* tersebut. Untuk menerapkan proses pengambilan keputusan pada *fuzzy* diperlukan beberapa tahap yaitu: *fuzzification*, inferensi *fuzzy* yang berisikan atura-aturan *fuzzy* dan *defuzzification* [7].

Langkah pertama dari proses *fuzzy* adalah *Fuzzification*. Variabel di dunia nyata ini kebanyakan merupakan data yang bersifat tegas atau *crisp*. Oleh karena itu, variabel yang bersifat *crisp* tersebut (baik variabel *input* dan *output*) diganti menjadi variabel *fuzzy*. Proses memetakan variabel dari himpunan tegas ke dalam himpunan *fuzzy* inilah yang dinamakan *Fuzzification* [8]. Kemudian, pada akhir proses fuzzification, hasil *fuzzy* harus dikonversi lagi ke dalam variabel *crisp*. Proses fuzzification secara umum melibatkan dua proses: membuat fungsi keanggotaan untuk variabel *input* dan *output*, kemudian mengimplementasikannya dalam bahasa linguistik.

Ada banyak jenis fungsi keanggotaan *fuzzy* untuk implementasinya, seperti kurva segitiga, trapesium, *bellshaped*, *Gaussian*, *S-curve* dan *sigmoidal*. Untuk sistem-sistem yang membutuhkan variasi dinamis untuk periode tertentu, maka dapat menggunakan kurva segitiga ataupun trapesium. Namun bagi sistem yang membutuhkan kontrol akurasi yang sangat tinggi dapat menggunakan kurva *Gaussian* atau *Scurve*.

2.2.3 Aturan Kontrol *Fuzzy*

Sebuah aturan *fuzzy* merepresentasikan sebuah urutan dalam bentuk IF-THEN (jika-maka). Logika penyusunan pengambilan keputusan ini didasarkan pada aturan yang menghubungkan antara masukan dan keluaran sistem *fuzzy*. Aturan ini digambarkan dengan kalimat : ‘jika maka’. Seperti contoh bentuk

aturan “Jika X adalah A dan Y adalah B maka Z adalah C”. Dasar dari sebuah aturan kontrol *fuzzy* adalah sebuah tabel atau grafik *fuzzy* yang menggambarkan hubungan antara masukan dan keluaran.

2.2.4 *Defuzzification*

Proses *defuzzification* merupakan proses pengubahan hasil keluaran-keluaran *fuzzy* untuk mendapatkan kembali bentuk himpunan tegasnya (crisp) [8]. Tiga teknik defuzzification yang sering dipakai antara lain : *Center of Gravity, Mean of Maximum*, dan metode *Height.*

2.3 Difference Expansion (DE)

Difference Expansion (DE) merupakan metode steganografi yang banyak dikembangkan oleh para peneliti. Metode DE sendiri merupakan metode yang berdasarkan pada transformasi *reversible* pada bilangan asli [7]. Adapun langkah-langkap pada metode DE adalah sebagai berikut[14] :

1. Menghitung rata-rata *(m)* dan selisih *(d)* dari sepasang piksel *x* dan *y* menggunakan Persamaan (2.1).

   $$m = [x + y / 2] \text{ , } d = x - y \qquad (2.1)$$

   Sebagai contoh, terdapat sepasang piksel dengan nilai x = 210 dan y = 206. Maka nilai selisih dari pasangan piksel tersebut adalah d = 210-206= 4, dan nilai rata-rata m = (210 + 206) / 2 =208.
2. Menyisipkan *payload (b)* yang bernilai (0 atau 1) dalam bentuk *binary* menggunakan Persamaan (2.2).

   $$d' = 2 \times d + b \qquad (2.2)$$

   Dimisalkan *payload (b)* dalam bentuk *binary* yang akan disisipkan bernilai *b=1* . Maka nilai $d' = 2 \times 4 + 1 = 9$.

3. Mendapatkan sepasang *stego pixel x'* dan *y'* yang baru dengan menggunakan Persamaan (2.3).

$$x' = m + \left[\frac{d'+1}{2}\right], y' = m - \left[\frac{d'}{2}\right] \quad (2.3)$$

Untuk mendapatkan sepasang *stego pixel x'* dan *y'* yang baru sesuai dengan perhitungan sebelum-sebelumnya maka perhitungannya sebagai berikut :

x' = $m + \left[\frac{d'+1}{2}\right]$

= $208 + \left[\frac{9+1}{2}\right]$

= **213**

y' = $m - \left[\frac{d'}{2}\right]$

= $208 - \left[\frac{9}{2}\right]$

= **204**

Sedangkan tahap-tahap yang digunakan untuk mengekstrak *payload* dengan menggunakan DE sebagai berikut :

1. Menghitung *average (m)* dan *difference (d')* dari pasangan piksel x' dan y' menggunakan Persamaan (2.4).

$$m' = \left[\frac{x'+y'}{2}\right], d' = x' - y' \quad (2.4)$$

2. Mengembalikan nilai *payload (b)* menggunakan Persamaan (2.5).

$$b = LSB(d') \quad (2.5)$$

3. Menghitung nilai *d* menggunakan Persamaan (2.6).

$$d = [\frac{d'}{2}] \quad (2.6)$$

4. Mengembalikan pasangan piksel asli x dan y menggunakan Persamaan (2.7).

$$x = m' + \left[\frac{d+1}{2}\right], y = m' - [\frac{d}{2}] \quad (2.7)$$

Dari contoh yang sudah ada di atas, diketahui bahwa nilai pasangan piksel yang baru *x' = 213* dan *y' = 204.* Untuk mengembalikan nilai pasangan piksel baru ke dalam bentuk piksel aslinya maka dilakukan beberapa tahap. Pertama, menghitung rata-rata *m'* dan selisih *d'.*

$m' = \left[\frac{213+204}{2}\right] = 208$

$d' = 213 - 204 = 9$

Kemudian dilakukan ekstrak *bit* tersembunyi *b=1* dan menghitung *d* dengan Persamaan (2.5) dan Persamaan (2.6).

b = LSB (d') =LSB (9) = 1

$d = \left[\frac{d'}{2}\right] = \left[\frac{9}{2}\right] = 4$

Setelah mendapatkan nilai rata-rata *m'* dan nilai selisih *d',* maka langkah selanjutnya kedua nilai tersebut kita gunakan untuk mencari nilai awal piksel *x* dan *y* dengan menggunakan Persamaan (2.7).

$$x = m' + \left[\frac{d+1}{2}\right] = 208 + \left[\frac{4+1}{2}\right] = 210$$

$y = m' - [\frac{d}{2}] = 208 - \left[\frac{4}{2}\right] = 206$

Dari langkah di atas dapat diketahui bahwa setelah proses ekstraksi dilakukan, maka nilai piksel *x'* dan *y'* dapat dikembalikan sama persis dengan nilai piksel sebelum dilakukan penyisipan *bit* data rahasia. Hasil ekstraksi *bit* juga sama persis dengan *bit* yang disisipkan sebelumnya.

2.4 PSNR

MSE adalah *Mean Square Error* yang menunjukkan perbedaan antara citra cover Z dan citra *stego* Z' dengan ukuran citra $P \times L$. MSE dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.8).

$$MSE = \frac{1}{P \times L} \sum_{i=1}^{P} \sum_{j=1}^{L} \left(Z_{ij} - Z'_{ij}\right)^2 \quad (2.8)$$

Sedangkan PSNR adalah metode yang berfungsi untuk membandingkan kualitas dua citra yaitu antara citra asli dengan citra *stego* yang biasanya diukur dalam satuan *decibel (dB)*. Semakin tinggi nilai PSNR yang dihasilkan maka semakin besar pula tingkat kemiripan citra yang dibandingkan [15]. Untuk mengukur nilai PSNR menggunakan Persamaan (2.9).

$$PSNR = 10\, Log_{10} \frac{255^2}{MSE} \quad (2.9)$$

2.5 Penelitian Terkait

Penelitian tentang steganografi telah banyak dikembangkan pada beberapa tahun terakhir. Berbagai teknik telah banyak diusulkan untuk meningkatkan kemiripan gambar. Domain aplikasi menjadi teknik dasar yang sering digunakan untuk mencari kemiripan gambar. Secara luas, teknik ini dapat diklasifikasikan ke dalam domain transformasi (frekuensi) dan domain spasial [15]. Dalam domain spasial, penyisipan pesan rahasia dilakukan dengan cara mengubah nilai piksel dari citra sampul untuk mendapatkan peningkatan yang diinginkan secara langsung. Sementara itu, dalam domain transformasi (frekuensi), media sampul *(carrier)* diubah terlebih dahulu, kemudian data rahasia disembunyikan ke dalam media tersebut.

Banyak penelitian yang menggunakan domain spasial, seperti *Difference Expansion (DE)* [15][16][17][18], *Reduced Difference Expansion (RDE)* [6][19] [20][21], *Histogram Shifting* [22][23], *Pixel to Block* [24], *Prediction Error Expansion* [25], *Pixel Value Grouping* [26] dan lain sebagainya.

Lou dkk. [21] mengusulkan metode RDE untuk mereduksi selisih d yang ada pada pasangan piksel yang berdekatan. Namun metode reduksi yang mereka usulkan hanya memproses ketika nilai selisih piksel lebih dari 2. Artinya ketika selisih piksel kurang dari 2 maka tidak dilakukan proses reduksi, termasuk ketika nilai selisih piksel bernilai negatif. Untuk mengatasi masalah ini, Bawa [7] mengusulkan metode yang dapat memproses nilai selisih piksel, baik yang bernilai positif maupun negatif kecuali pada rentang $-1 \leq d \leq 1$. Pengecualian ini dilakukan sebab jika tetap dilakukan reduksi pada rentang tersebut maka akan terjadi kegagalan rekonstruksi baik pada gambar maupun pesan rahasia yang dihasilkan.

Arham dkk. [17] telah mengusulkan metode *Improved Reduced Difference Expansion (IRDE)* untuk meningkatkan kinerja metode DE yang berfokus pada kualitas visual dengan mengurangi nilai selisih piksel dan meningkatkan kapasitas penyisipan data dengan menerapkan penyisipan multi-lapis. Skema yang dilakukan mereka adalah dengan menggabungkan skema dari Alattar [16] dan skema Yi dkk. [20]. Tujuannya adalah untuk mengurangi nilai perbedaan pasangan piksel yang terlalu besar. Kombinasi ini juga diterapkan untuk menghindari distorsi gambar dan menghindari *overflow* dan *underflow*. *Overflow* adalah kondisi dimana nilai piksel yang baru melebihi nilai piksel 255, dan *underflow* adalah kondisi dimana nilai piksel yang baru kurang dari 0. Hasil dari penelitian Arham dkk. [17] menunjukkan bahwa kombinasi *IRDE* dan *DE* lebih baik daripada kombinasi *DE* dan *RDE*.

Maniriho dan Ahmad [15] juga menerapkan *DE* untuk meningkatkan skema penyembunyian informasi, tetapi mereka menggabungkannya dengan fungsi modulus untuk mencari selisih piksel d. Mereka menggunakan blok piksel

ukuran 2x1. Skema ini dilakukan untuk mencegah penurunan kapasitas penyisipan dengan mempertimbangkan nilai perbedaan positif dan negatif untuk menyembunyikan data rahasia. Namun, mereka hanya memproses pasangan nilai piksel dengan perbedaan dalam rentang $-2 \leq d \leq 2$. Hasil percobaan menunjukkan bahwa skema ini memperoleh kinerja yang lebih baik daripada metode sebelumnya.

Muttaqi dan Ahmad [27] meningkatkan metode yang diusulkan oleh Maniriho dan Ahmad [15] dengan menggabungkan fungsi modulus dan *RDE* dalam hal kapasitas penyisipan data. Untuk meningkatkannya, mereka mengeksploitasi pasangan nilai piksel dimana nilai perbedaannya berada di luar rentang yang ditentukan pada penelitian [15], yaitu $d < -2\, atau\, d > 2$. Mereka juga menggunakan *RDE* untuk mereduksi nilai piksel yang terlalu besar. Hasil percobaan menunjukkan bahwa metode yang mereka usulkan dapat meningkatkan kapasitas penyisipan data, namun mengalami penurunan kualitas dalam hal kemiripan citra.

Secara umum, metode DE dan metode pengembangan lainnya dapat menangani masalah rekonstruksi gambar ke dalam bentuk aslinya. Namun, metode ini masih memiliki beberapa tantangan. Karakteristik metode DE dan RDE adalah menggunakan pasangan piksel untuk mencari nilai selisih piksel. Hal ini akan berdampak pada dua masalah utama yaitu kesamaan antara media asli dan *stego* serta kapasitas data yang dapat dimasukkan ke dalam media sampul. Dengan menggunakan pasangan piksel, maka dalam dua piksel (yang berarti satu pasangan) hanya dapat menyisipkan satu *bit* data saja. Hal ini berpengaruh pada pengurangan kapasitas penyisipan data. Selanjutnya, dengan menggunakan pasangan piksel, memungkinkan hasil selisih yang dihasilkan akan bernilai besar. Karena tidak semua piksel yang berdekatan memiliki perbedaan yang kecil. Hal ini juga akan berdampak pada perbedaan keseluruhan antara media *stego* dengan media aslinya. Perubahan signifikan pada media yang telah disisipi data dapat dengan mudah menarik perhatian pencuri atau orang yang tidak berwenang. Jadi,

masalah meminimalkan jumlah distorsi pada gambar masih menarik untuk dipelajari saat ini [28]. Oleh karena itu, pengembangan lebih lanjut sangat diperlukan. Pengembangan ini bertujuan untuk meminimalkan kecurigaan terhadap pengguna yang tidak sah dengan mengurangi perbedaan antara media sampul dan media *stego*.

BAB 3
METODOLOGI PENELITIAN

Pada Bab ini dipaparkan tentang pengertian metode secara umum, perancangan penyisipan dan ekstraksi data, serta perancangan metode yang diusulkan dari sisi penentuan level penyisipan secara multilapis dengan melihat karakteristik gambar dan penyisipan pesan rahasia dengan menggunakan klaster piksel.

3.1 Deskripsi Umum Metode

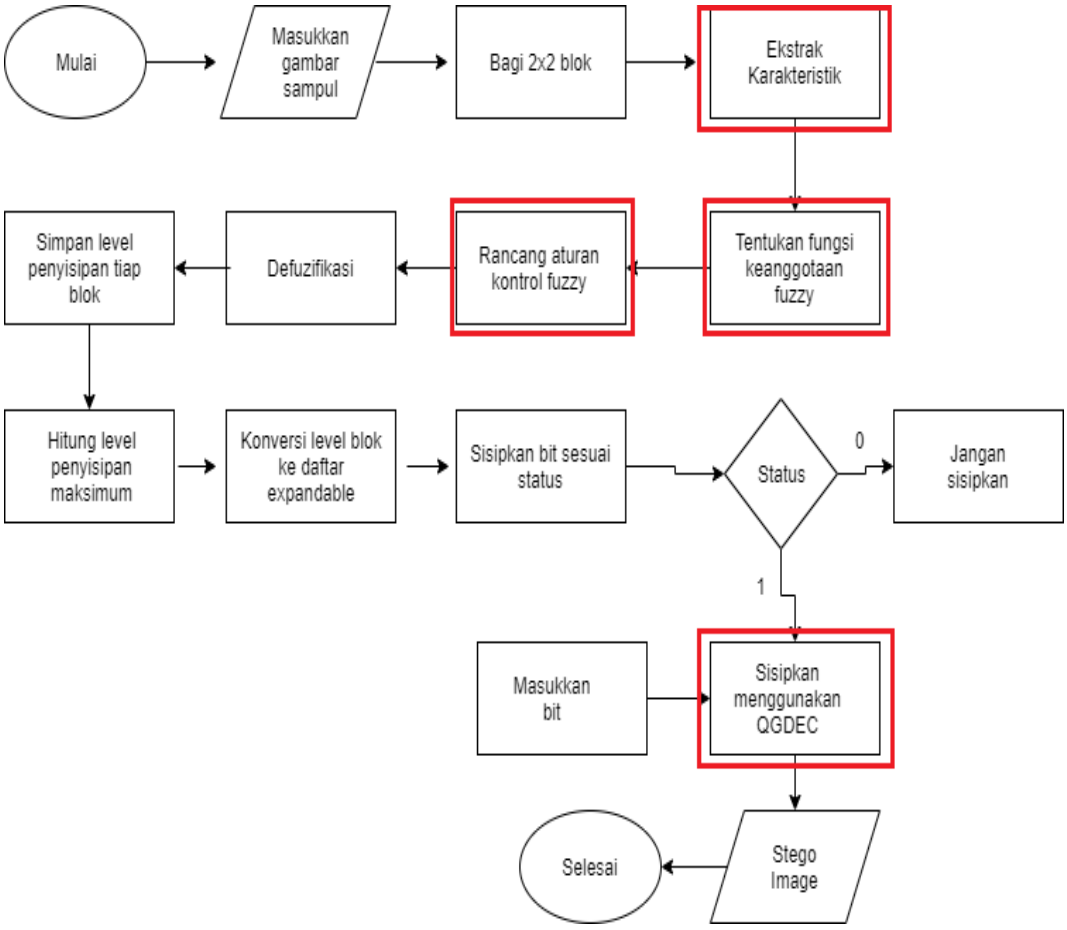
Skema pengembangan yang diusulkan terletak pada mekanisme penentuan level penyisipan dengan melihat karakteristik gambar dan penyisipan pesan rahasia dengan menggunakan klaster piksel. Level penyisipan diterapkan pada pengembangan metode DE yaitu QGDEC secara multilapis. Level penyisipan bertujuan menentukan jumlah lapis maksimal yang boleh disisipkan pada sebuah blok. Blok yang digunakan pada penelitian ini berukuran 2×2 piksel. Masing-masing blok memiliki level penyisipan yang bervariatif sesuai dengan karakteristik gambar pada setiap blok. Karakteristik gambar yang akan menjadi masukan diproses menggunakan logika *fuzzy*. Hasil akhir dari logika *fuzzy* berupa nilai level blok tersebut.

Sedangkan klaster piksel dalam penelitian ini digunakan untuk mencari selisih antara nilai piksel gambar dengan batas bawah atau batas atas klaster dimana nilai piksel gambar tersebut berada. Sehingga dengan adanya klaster piksel diharapkan dapat menghindari selisih yang besar yang dapat mempengaruhi perubahan besar terhadap piksel gambar *stego.*

3.2 Perancangan Metode Keseluruhan

Tahap awal skema yang diusulkan sama dengan tahap awal dalam skema steganografi adaptif berdasarkan *fuzzy inference system* (FIS) yang diusulkan oleh Sajasi dan Masoud [8] serta Bawa [7]. Namun karakteristik gambar yang

digunakan sebagai masukan *fuzzy* tentunya berbeda. Perbedaan dengan [8] disebabkan oleh sifat metode penyisipan LSB dengan metode penyisipan DE yang berbeda. Sehingga tahap awal skema akan menghasilkan sistem inferensi *fuzzy* yang berbeda dengan yang disulkan oleh [8]. Sedangkan perbedaan dengan [7], peneliti sebelumnya menggunakan karakteristik gambar berupa rata-rata nilai standar deviasi, jarak lokal dan entropi dalam satu blok. Penulis menggunakan karaketristik gambar lainnya berupa rata-rata dan median serta kombinasi dari keduanya dari selisih antar piksel ketetanggaan dalam satu blok.



Gambar 3.1 *Flowchart* Penyisipan QGDEC multilapis

Pada bagian penyisipan multilapis, metode ini menggunakan prosedur yang diusulkan oleh Lou dkk.[21] dan Bawa [7], namun berbeda pada metode pemindaian pikselnya. Dalam metode yang diusulkan oleh [21] pemindaian dilakukan untuk mendapatkan pasangan piksel pada ukuran blok 3x3 yang ada pada sebuah citra, sedangkan [7] penyisiran dilakukan dengan cara horizontal vertikal dan dengan penyisiran terdefinisi untuk mendapatkan pasangan piksel yang ada pada sebuah citra pada blok 2x2. Berbeda halnya dengan metode yang penulis usulkan, pemindaian dilakukan dengan menghitung selisih piksel gambar pada blok 2x2 dengan batas bawah atau batas atas klaster dimana piksel gambar tersebut berada. Kemudian penyisipan dilakukan dengan menggunakan metode QGDEC sesuai dengan level penyisipan tiap blok yang didapatkan menggunakan metode logika *fuzzy*. Gambar 3.1 menggambarkan prosedur penyisipan QGDEC multilapis menggunakan logika *fuzzy* yang diusulkan oleh penulis.

3.3 Perancangan Mekanisme Penentuan Level Penyisipan

Pada proses penyisipan multilapis, kualitas citra *stego* akan semakin rendah seiring dengan jumlah lapis yang diterapkan. Tujuan penentual level pada penyisipan multilapis adalah menjaga kualitas citra *stego* agar terhindar dari distorsi yang besar.

3.3.1 Perancangan Variabel *Fuzzy*

Penentuan variabel *fuzzy* berdasarkan karakteristik metode penyisipan. Variabel *fuzzy* yang digunakan pada penelitian ini seperti halnya skema steganografi adaptif yang diusulkan oleh Bawa [7] namun berbeda dalam penentuan karakteristik sebagai masukan *fuzzy*. Bawa [7] menggunakan karakteristik antara lain rata-rata dari standar deviasi, jarak lokal dan entropi lokal pada sebuah blok.

Penulis menggunakan karakteristik rata-rata dan median serta kombinasi keduanya dari selisih piksel ketetanggaan dari nilai piksel setiap blok. Penulis

menentukan sendiri rumus untuk mencari selisih antar piksel ketetanggan dari nilai piksel setiap blok.

A	B
C	D

Gambar 3.2 Contoh piksel dalam satu blok

Gambar 3.2 menunjukkan contoh piksel dalam satu blok. Sesuai contoh piksel pada Gambar 3.2, maka untuk mencari nilai selisih piksel ketetanggaan d_b dalam satu blok digunakan Persamaan (3.1).

$$d_b = |A - B|, |B - C|, |A - C|, |A - D|, |B - D|, |C - D| \quad (3.1)$$

Hasil dari Persamaan (3.1) kemudian dijadikan acuan sebagai masukan terhadap fungsi keanggotaan *fuzzy* dengan mencari rata-rata dan mediannya terlebih dahulu.

3.3.2 Perancangan *Fuzzification* dan Fungsi Keanggotaan *Fuzzy*

Dalam merancang *fuzzification* dan fungsi keanggotaan fuzzy, penulis menentukan semesta pembicaraan dan domain fungsi keanggotaan dari karakteristik gambar yaitu antara 0 hingga 255. Kemudian nilai level penyisipan sebagai *output fuzzy* memiliki semesta pembicaraan dan domain dari 0 sampai dengan 8 mengacu pada eksperimen pada penelitian [7]. Tabel 3.1 menunjukkan fungsi keanggotaan yang akan digunakan. Sedangkan Tabel 3.2 adalah fungsi keanggotaan keluaran dalam bentuk nilai tingkat penyisipan.

Tabel 3.1 Fungsi keanggotaan karakteristik gambar

Titik a	Titik b	Titik c	Titik d	Variabel Lingusitik
-5,00	-1,00	0,00	1,00	Sangat Kecil
0,50	1,00	9,50	10,50	Kecil
9,50	10,50	18,00	22,00	Kecil ke Sedang
18,00	22,00	28,00	32,00	Sedang ke Besar
28,00	32,00	80,00	100,00	Besar
80,00	100,00	255,0	260,0	Sangat Besar

Tabel 3.2 Fungsi Keanggotaan *Output* Level Penyisipan

Titik a	Titik b	Titik c	Titik d	Variabel Lingusitik
-1,00	0	0,25	0,5	Sangat Kecil
0,25	0,5	1,5	1,75	Kecil
1,5	1,75	3	3,5	Kecil ke Sedang
3	3,5	5	5,5	Sedang ke Besar
5	5,5	7	7,5	Besar
7	7,75	8	9	Sangat Besar

Dalam fungsi keanggotaan *fuzzy*, penulis menggunakan kurva trapesium. Kurva trapesium memiliki 4 titik ditunjukkan oleh *a*, *b*, *c* dan *d*. Titik *a* menunjukkan nilai domain terkecil yang

mempunyai derajat keanggotaan nol. Titik *b* menunjukkan nilai domain terkecil yang mempunyai derajat keanggotaan satu. Titik *c* menunjukkan nilai domain terbesar yang mempunyai derajat keanggotaan satu. Titik *d* menunjukkan nilai domain terbesar yang mempunyai derajat keanggotaan nol.

3.3.3 Perancangan Aturan Kontrol Fuzzy

Pada penelitian ini ada aturan kontrol *fuzzy* yang diterapkan. Tabel 3.3 hingga Tabel 3.5 menunjukkan aturan yang diterapkan terhadap variabel *fuzzy* yang ditunjukkan secara linguistik yaitu : sangat kecil (SK) , kecil (K), kecil ke sedang (KKS), sedang ke besar (SKB), besar (B) dan sangat besar (SB).

Tabel 3.3 Aturan kontrol rata-rata selisih piksel ketetanggan

	RATA-RATA SELISIH ANTAR PIKSEL					
	SK	K	KKS	SKB	B	SB
LEVEL PENYISIPAN	SB	B	SKB	KKS	K	SK

Tabel 3.4 Aturan kontrol median selisih piksel ketetanggaan

	MEDIAN SELISIH ANTAR PIKSEL					
	SK	K	KKS	SKB	B	SB
LEVEL PENYISIPAN	SB	B	SKB	KKS	K	SK

Tabel 3.5 Aturan kontrol rata-rata dan median selisih piksel ketetanggan

	RATA-RATA SELISIH ANTAR PIKSEL					
	SK	K	KKS	SKB	B	SB

MEDIAN SELISIH ANTAR PIKSEL	SK	SB	SB	B	B	SKB	SKB
	K	SB	B	B	SKB	SKB	KKS
	KKS	B	B	SKB	SKB	KKS	KKS
	SKB	B	SKB	SKB	KKS	KKS	K
	B	SKB	SKB	KKS	KKS	K	K
	SB	SKB	KKS	KKS	K	K	SK

3.3.4 Perancangan *Defuzzification*

Pada penelitian ini metode defuzzification yang digunakan adalah metode *centroid* atau sering disebut dengan *Center of Gravity (COG)***.** Selain umum digunakan, metode COG memiliki perhitungan yang optimal [29]. Hasil awal dari *fuzzy* memungkinkan bernilai pecahan. Namun nilai dari level penyisipan harus bernilai bilangan bulat. Oleh karena itu perlu adanya proses pembulatan pada nilai *fuzzy* yang bernilai pecahan sebelum digunakan sebagai nilai level penyisipan.

3.4 Perancangan Penyisipan dan Ekstraksi *Bit*

Metode penyisipan yang digunakan adalah QGDEC seperti yang diusulkan oleh Rahardjo [5], namun metode tersebut hanya menggunakan batas bawah klaster dalam proses penyisipan dan eksraksi data serta hanya memproses satu lapis saja. Sehingga kapasitas pesan yang dapat ditampung oleh gambar tidak maksimal.

Sebelumnya, penulis melakukan penelitian awal dengan mengacu pada penelitian Rahardjo [5] untuk menentukan batas klaster yang cocok digunakan untuk proses penyisipan data. Penelitian dilakukan dengan menyisipkan pesan berukuran 20kb ke dalam setiap gambar. Hasil dari penelitian awal dapat dilihat pada Tabel 3.6. Dari Tabel 3.6 dapat disimpulkan bahwa penelitian Rahardjo [5] cenderung menghasilkan nilai PSNR yang lebih baik jika memproses gambar

yang rata-rata nilai pikselnya tidak lebih dari 150. Dengan kata lain, metode tersebut jika memproses gambar yang nilai rata-rata pikselnya lebih dari 150 menghasilkan nilai PSNR yang lebih rendah. Oleh karena itu, penulis menambah metode yang diusulkan Rahardjo [5] dengan batas atas klaster dengan harapan nilai PSNR akan tetap bernilai baik meskipun memproses gambar yang mempunyai rata-rata piksel di atas 150 serta memodifikasi metode yang digunakan oleh Bawa [7] dengan menerapkan multilapis pada proses penyisipan guna menambahkan kapasitas penyisipan pesan.

Tabel 3.6 Penelitian awal metode

Citra Sampul	**Rata-rata Piksel**	**PSNR (dB)**	
		Batas bawah klaster	**Batas atas klaster**
Airplane	179.20	58.9833	59.0230
Sandiego	165.78	58.9536	58.9946
Fruits	173.16	56.7285	60.1175
Car	184.73	58.6889	58.7584
Baboon	129.61	59.0273	58.9502
Boat	129.70	59.2299	59.0277
Peppers	120.21	59.0029	58.9454
Abdominal	101.50	59.7229	59.0522

3.5 Perancangan Mekanisme Penyisipan Multilapis

Pada tahap perancangan mekanisme penyisipan multilapis, dilakukan perancangan terhadap cara penyisiran blok, struktur level map, dan perancangan location map.

Blok yang digunakan berukuran 2 × 2 piksel. Gambar 3.3 menunjukkan sebuah blok yang terdiri dari piksel 1, piksel 2, piksel 3 dan piksel 4.

1	2
3	4

Gambar 3.3 Blok piksel

Data blok diperoleh dengan memindai gambar sampul. Urutan blok pemindaian dalam suatu gambar ditunjukkan pada Gambar 3.4. Pemindaian dilakukan secara horizontal. Angka yang sama menunjukkan bahwa piksel tersebut milik blok yang sama. Angka tersebut menjadi indeks penunjuk blok yang ada.

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

Gambar 3.4 Urutan pemindaian blok

Level *map* adalah peta yang digunakan untuk menyimpan nilai penyisipan setiap blok. Setiap blok memiliki tingkat penyisipan sesuai dengan karakteristik blok. Tingkat penyisipan menentukan jumlah maksimum penyisipan yang dapat dilakukan pada suatu blok sehingga nilai PSNR dapat terjaga kualitasnya. Level *map* dalam bentuk *array*, dimana kolom pada array

menunjukkan indeks dari suatu blok. Total blok dapat dihitung dengan $M \times N / 4$, dimana $M \times N$ adalah ukuran gambar. Gambar 3.5 adalah contoh level *map.*

2	3	1	0

Gambar 3.5 Contoh level map

Dari level *map*, maka dapat dibuat suatu daftar blok *expandable* yang menunjukkan blok mana saja yang mungkin disisipi data dalam lapisan tertentu. Daftar blok *expandable* dalam bentuk array 2 dimensi, dimana kolom pada *array* menunjukkan indeks blok dan baris pada *array* menunjukkan banyaknya lapisan dalam penyisipan multilapis. Nilai baris pada blok *expandable* bernilai 1 jika terjadi penyisipan dan bernilai 0 jika sebaliknya. Jumlah baris yang bernilai 1 diperoleh dari nilai level penyisipan tertinggi, artinya banyaknya jumlah baris yang bernilai 1 sama dengan jumlah level maksimal dari suatu blok. Gambar 3.6 adalah contoh blok *expandable* berdasarkan level *map* pada Gambar 3.5.

1	1	1	0
1	1	0	0
0	1	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0

Gambar 3.6 Contoh blok *expandable*

Seperti halnya metode RDE pada [5] yang menggunakan *location map*, metode yang penulis usulkan juga menggunakan *location map* untuk memastikan data yang diproses benar dan dapat menjamin pengembalian data ke nilai aslinya setelah proses penyisipan bernilai benar. Ketentuan *location map* dapat dilihat pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Location map

Nilai selisih *d*	**Nilai Location Map**
d = 0	00
d = 2	10
d = 1 atau d = 3	11

3.6 Penyisipan dan Ektraksi dengan QGDEC

Metode QGDEC ini merupakan salah satu metode pengembangan dari metode DE. Berbeda dengan metode DE yang menggunakan pasangan piksel untuk mencari selisih piksel, metode ini menggunakan klaster untuk mencari selisih pikselnya. Metode ini bekerja dengan mencari selisih piksel antara nilai piksel gambar asli dengan batas bawah atau batas atas dari klaster dimana nilai piksel asli tersebut berada. Kemudian selisih piksel tersebut direduksi lagi dengan menggunakan Persamaan pada metode *difference expansion cluster* pada penelitian Rahardjo [5].

3.6.1 Proses Penyisipan

Hal yang paling penting dalam penelitian ini adalah merancang klaster piksel. Klaster piksel dibuat dengan menggunakan Persamaan. (3.2), dimana K_n mewakili indeks klaster.

$$K_n = \{[x,y] \mid y = 4n-1\,, x = y-3, n = 1,2,..64\}\ \forall x,y \in [0,255] \quad (3.2)$$

Dari Persamaan (3.2), kita dapat menentukan anggota klaster piksel. Misalnya $n = 1;\ y = 4.1-1 = 3, x = 3-3 = 0$ Jadi, diperoleh anggota $K_1 = [0,3]$. Selanjutnya, $n = 2;\ y = 4.2-1 = 7, x = 7-3 = 4$. Jadi, anggota $K_2 = [4,7]$, dan seterusnya. Untuk lebih jelasnya, klaster piksel dijelaskan dalam Tabel 3.8. Kita juga dapat mengetahui bahwa piksel gambar dibagi menjadi 64 klaster, dimana setiap klaster memiliki rentang nilai 3. Setiap klaster piksel memiliki batas terendah dan batas teratas, yang nantinya akan digunakan sebagai referensi untuk menemukan perbedaan piksel. Tujuan dari klaster ini untuk mengontrol kualitas citra *stego* agar tidak mengalami penurunan kualitas yang siginifikan.

Tabel 3.8 Klaster QGDEC

Klaster	**Rentang Piksel**	
	Batas Bawah	**Batas Atas**
K_1	0	3
K_2	4	7
K_3	8	11
K_4	12	15
K_5	16	19
. . .	. . .	. . .
K_{64}	252	255

Selisih d diperoleh dengan hasil pengurangan nilai piksel gambar dengan batas bawah klasternya atau hasil pengurangan nilai batas atas klasternya dengan nilai piksel gambar seperti pada Persamaan (3.3) dan (3.4), dimana K_b adalah batas bawah klaster dan K_a adalah batas atas klaster, sedangkan u merupakan nilai

piksel gambar. Persamaan (3.3) digunakan ketika nilai rata-rata piksel gambar asli di bawah 150. Sedangkan Persamaan (3.4) digunakan untuk nilai rata-rata piksel gambar asli di atas 150.

$$\left.\begin{aligned} d_1 &= u_1 - K_b \\ d_2 &= u_2 - K_b \\ d_3 &= u_3 - K_b \\ d_4 &= u_4 - K_b \end{aligned}\right\} \quad (3.3)$$

$$\left.\begin{aligned} d_1 &= K_a - u_1 \\ d_2 &= K_a - u_2 \\ d_3 &= K_a - u_3 \\ d_4 &= K_a - u_4 \end{aligned}\right\} \quad (3.4)$$

Tahapan selanjutnya setelah mendapatkan nilai *d* yaitu mereduksi terhadap nilai d menggunakan Persamaan (3.5) sehingga diperoleh nilai d'.

$$d' = \begin{cases} 0\,, jika\ d\ \leq 2 \\ d - 2^{[Log_2 d]}, jika\ d = 3 \end{cases} \quad (3.5)$$

Setelah memperoleh nilai d', maka tahapan selanjutnya yaitu menyisipkan pesan rahasia *(payload)* dengan menggunakan Persamaan (2.2) untuk mendapatkan nilai d''. Proses ini sama dengan proses penyisipan yang dilakukan pada proses RDE.

Setelah nilai d'' didapatkan, maka proses terakhir yaitu mencari nilai piksel yang baru (nilai piksel *stego*) yang telah disisipi data dengan menggunakan Persamaan (3.6) atau (3.7). Seperti halnya kasus di atas, Persamaan (3.6) juga digunakan ketika nilai rata-rata piksel gambar asli di bawah 150. Sedangkan Persamaan (3.7) digunakan untuk nilai rata-rata piksel gambar asli di atas 150.

$$\left.\begin{aligned} u_1' &= d"_1 + K_b \\ u_2' &= d"_2 + K_b \\ u_3' &= d"_3 + K_b \\ u_4' &= d"_4 + K_b \end{aligned}\right\} \quad (3.6)$$

$$\left.\begin{aligned} u_1' &= K_a - d"_1 \\ u_2' &= K_a - d"_2 \\ u_3' &= K_a - d"_3 \\ u_4' &= K_a - d"_4 \end{aligned}\right\} \quad (3.7)$$

Langkah-langkah detail proses penyisipan data rahasia dari awal sampai akhir sebagai berikut :

1. Data seluruh piksel dari gambar sampul.
2. Masukkan nilai piksel gambar sampul ke dalam klaster yang sudah dibuat seperti pada Tabel 3.8.
3. Hitung nilai selisih d menggunakan Persamaan ini (3.3) atau (3.4).
4. Reduksi Selisih untuk mendapatkan nilai d' menggunakan Persamaan (3.5) dan catat *location map* dengan melihat Tabel 3.7.
5. Sisipkan *bit* data rahasia untuk mendapatkan nilai $d"$ sesuai dengan Persamaan (2.2).
6. Mencari nilai piksel baru gambar *stego* dengan menggunakan Persamaan (3.6) atau (3.7).
7. Selesai

230	220
223	200

Gambar 3.7 Contoh nilai piksel blok

Contoh proses penyisipan.

Dari Gambar 3.7 diketahui bahwa piksel pertama dari suatu blok bernilai 230. Rata-rata nilai piksel gambar adalah 218,25. Untuk melakukan proses penyisipan, maka dilakukan tahapan proses sebagai berikut :

1. Data semua piksel yang ada di dalam gambar sampul.

2. Masukkan piksel tersebut sesuai dengan kelompok klasternya. Dalam contoh ini piksel yang bernilai 230 termasuk ke dalam klaster $K_{58} = [228,231]$, dimana piksel 228 merupakan nilai batas bawah dari rentang klaster dan 231 merupakan nilai batas atas dari rentang klaster.
3. Hitung selisih *d* dengan menggunakan Persamaan (3.4) karena rata-rata nilai piksel di atas 150.

   d_1 = 231 – 230 = 1
4. Mereduksi nilai d untuk mendapatkan nilai d' dengan menggunakan Persamaan ini (3.5).

   Karena nilai *d = 1* maka nilai $d' = 0$
5. Memasukkan *bit* data rahasia menggunakan Persamaan (2.2) untuk mendapatkan nilai d''. Dalam contoh ini nilai *bit b=1*.

   d''= 2 × d' + b

   d'' = 2 × 0 + 1 = 1
6. Setelah mendapatkan nilai d'' maka langkah selanjutnya mencari nilai piksel yang baru dengan menggunakan Persamaan (3.7).

   $u_1' = 231 - 1 = 230$

   Maka nilai piksel baru dari piksel pertama adalah **230 dan LM = 11**.

   Contoh kedua, diketahui nilai piksel kedua dari suatu blok adalah 220 yang masuk ke dalam klaster $K_{56} = [220,223]$. Maka untuk mencari nilai piksel baru dengan nilai *bit b=1* yaitu :

   $d2 = 223 - 220 = 3$

   $d' = d - 2^{\lfloor Log_2 d \rfloor}$ karena nilai *d=3*

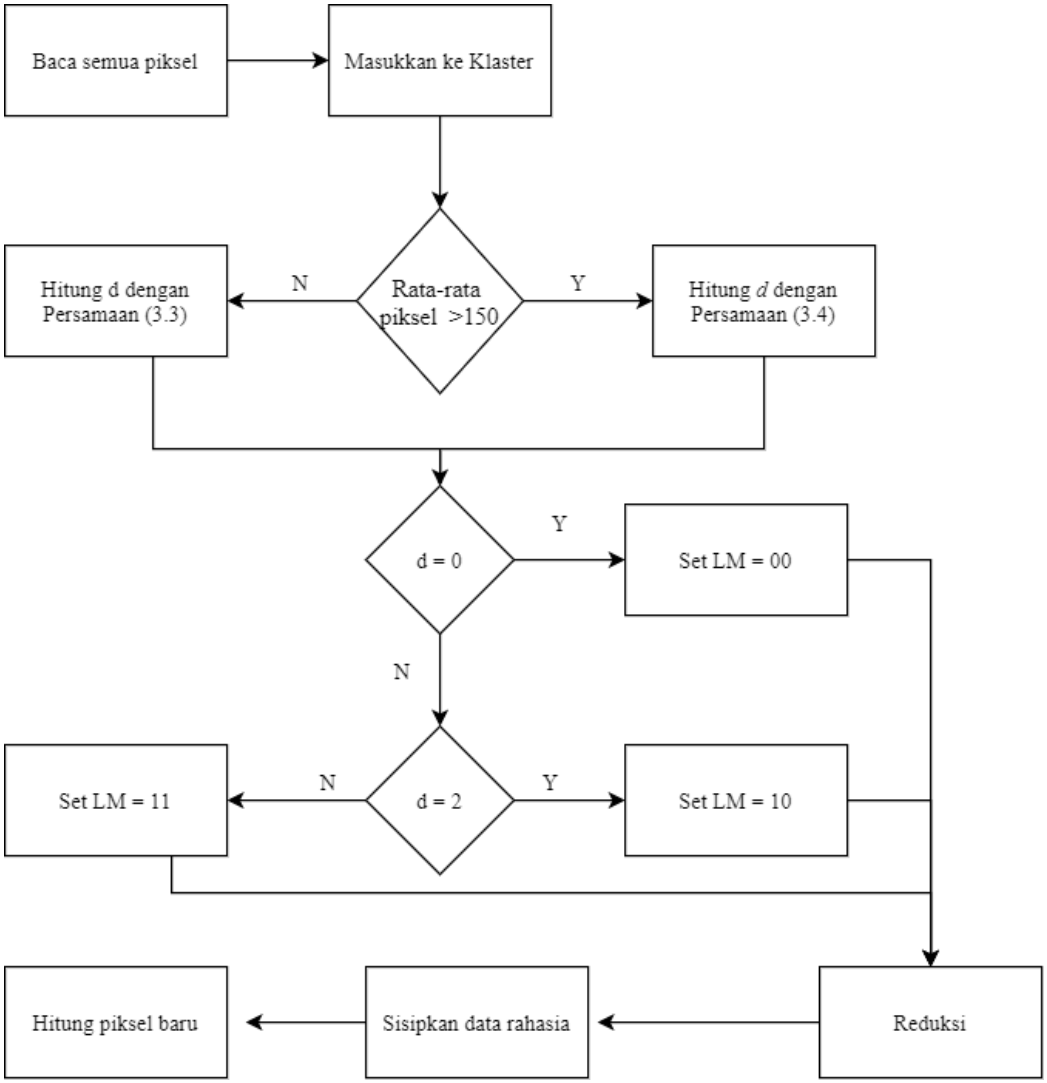
   $d' = 3 - 2^{\lfloor Log_2 3 \rfloor}$ = 3-2 = 1

   $d'' = 2 \times d' + b = 2 \times 1 + 1 = 3$

   $u_2' = 223 - 3 = 220$

   Maka nilai piksel kedua yang baru bernilai **220 dan LM =11.**

Untuk *flowchart* proses penyisipan data rahasia menggunakan metode QGDEC dapat dilihat pada Gambar 3.8



Gambar 3.8 *Flowchart* Proses Penyisipan

.

3.6.2 Proses Ekstraksi

Dalam penyembunyian data, hal penting selain proses penyisipan data adalah proses ektraksi. Karena dengan ekstraksi, penerima pesan akan dapat membaca pesan rahasia yang dikirimkan kepadanya. Proses ekstraksi merupakan

proses dimana data yang sudah disisipi oleh pesan rahasia harus dapat diekstraksi dan citra *stego* harus dapat dikembalikan lagi ke citra aslinya. Adapun proses eksrtaksi secara lengkap pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Data seluruh piksel dari gambar *stego*
2. Masukkan nilai piksel gambar *stego* ke dalam klaster yang sudah dibuat seperti pada Tabel 3.8.
3. Hitung nilai selisih *d* menggunakan Persamaan (3.3) atau Persamaan (3.4) seperti pada proses penyisipan.
4. Ekstrak *bit* data rahasia dengan menggunakan Persamaan (2.5) seperti pada proses DE.
5. Hitung nilai reduksi untuk mendapatkan nilai d' dengan menggunakan Persamaan (3.8).

$$d' = \left\lfloor \frac{d}{2} \right\rfloor \tag{3.8}$$

6. Cari nilai d'' dengan menggunakan Persamaan (3.9) dengan menyesuaikan nilai dari *Location Map.*

$$d'' = \begin{cases} 0\ , jika\ LM = 00 \\ d' + 2^{Log_2 \lfloor (2 \times d' + 1 \rfloor} + 1\ , jika\ LM = 10 \\ d' + 2^{Log_2 \lfloor (2 \times d' + 1 \rfloor}\ , jika\ LM = 11 \end{cases} \tag{3.9}$$

7. Menghitung piksel asli menggunakan Persamaan (3.6) atau Persamaan (3.7).
8. Selesai

Contoh proses ektraksi

Dari contoh sebelumnya diketahui hasil piksel pertama dari gambar *stego* yaitu 230 dan Location Map bernilai 11. Untuk mendapatkan nilai piksel asli dari proses ekstaksi gambar *stego* yaitu :

$d_1 = K_a - u_1$

$d_1 = 231 - 230 = 1$

$b = LSB\ (d) = LSB\ (1) = 1$

$d' = \left\lfloor \frac{d}{2} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{1}{2} \right\rfloor = 0$

$d'' = d' + 2^{Log_2 \lfloor (2 * d') + 1 \rfloor} = 0 + 1 = 1$

$u_1' = 231 - 1 = \mathbf{230}$

Piksel kedua dari gambar *stego* yaitu 220 dan Location Map bernilai 11. Untuk mendapatkan nilai piksel asli yaitu :

$d_2 = K_a - u_2$

$d_2 = 223 - 220 = 3$

$b = LSB\ (d) = LSB\ (3) = 1$

$d' = \left\lfloor \frac{d}{2} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{3}{2} \right\rfloor = 1$

$d'' = d' + 2^{Log_2 \lfloor (2 * d') + 1 \rfloor} = 1 + 2 = 3$

$u_2' = 223 - 3 = \mathbf{220}$

3.7 Skenario dan Data Uji Coba

Untuk menerapkan metode yang telah diusulkan, diperlukan skenario dan data uji coba untuk mengukur sejauh mana keberhasilan metode yang diusulkan. Pada penelitian ini, penulis menggunakan beberapa skenario dan data uji coba.

Skenario uji coba yang akan diterapkan bertujuan untuk mengetahui sejauh mana kualitas citra setelah proses penyisipan. Semakin mirip citra *stego* dengan citra sampulnya maka semakin baik metode yang diusulkan. Untuk mengukur kemiripan dan kualitas citra tersebut menggunakan nilai PSNR (dalam dB) dari citra *stego.*

Terdapat beberapa skenario yang digunakan untuk mengetahui kualitas citra *stego* yang dihasilkan, antara lain skenario penyisipan data rahasia *(payload)* mulai dari 10kb hingga 70kb karena keterbatasan *hardware* yang digunakan.

Skenario penyisipan dilakukan dengan tiga perbandingan. Perbandingan pertama yaitu metode yang diusulkan oleh Ilham dkk. [30] yang menggunakan metode logika *fuzzy* dan RDE, perbandingan kedua yaitu metode yang diusulkan oleh Lou dkk. [21] yang menggunakan RDE dengan penyematan multilapis. Perbandingan terakhir adalah metode yang diusulkan oleh Muttaqi dan Ahmad [27] yang menggunakan kombinasi antara RDE dan fungsi modulus. Kemudian nilai PSNR dari ketiga metode tersebut dibandingkan untuk mengetahui seberapa baik metode yang diusulkan dibanding dengan metode-metode sebelumnya.

Terdapat pula uji coba untuk mengetahui kapasitas maksimal *bit* yang dapat disisipkan dari ketiga metode tersebut. Skenarionya adalah dengan menyisipkan kapasitas pesan yang berukuran 2 mb.

Untuk data uji coba, digunakan beberapa citra sampul sebagai media penyisipan. Citra sampul yang akan digunakan merupakan gambar *grayscale* dengan ukuran 512x512 piksel sebanyak 8 gambar yang diperoleh dari data publik [31][32][33].

[halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 4
UJI COBA DAN EVALUASI

Bab ini membahas tentang hasil uji coba dan evaluasi terhadap implementasi metode pengembangan *data hiding* yang diusulkan sebagaimana yang telah dijelaskan pada Bab 3. Bab ini meliputi tentang lingkungan uji coba yang akan dijelaskan pada sub-bab 4.1. Selanjutnya, analisis Persamaan dijelaskan pada sub-bab 4.2, pelaksanaan uji coba pada sub-bab 4.3 dan terakhir sub-bab 4.4 akan menjelaskan hasil dan evaluasi.

4.1 Lingkungan Uji Coba

Spesifikasi *hardware* yang digunakan untuk implementasi dan uji coba adalah Intel(R) Celeron(R) CPU N3350 @ 1.10GHz, RAM berkapasitas 4 GB, Sistem Operasi Windows 10 64*bit* serta kapasitas harddisk HDD 500 GB, sedangkan *software* yang digunakan untuk implementasi dari metode yang diusulkan adalah Matlab R2018b.

4.2 Analisis Persamaan dan Logika Fuzzy

4.2.1 Analisis Persamaan

Analisis Persamaan merupakan proses untuk menganalisa apakah Persamaan-Persamaan yang digunakan dalam proses penyematan dan ektraksi dilakukan dengan benar sehingga Persamaan-Persamaan yang diusulkan tidak akan membuat nilai-nilai piksel keluar dari rentang klasternya, dan nilai-nilai piksel tersebut dapat dikembalikan ke dalam piksel aslinya.

Dikarenakan setiap klaster piksel memiliki rentang nilai maksimal adalah 3, maka ada 4 analisis yang akan dilakukan. Analisis pertama yaitu analisis untuk nilai piksel dengan selisih $d = 0$. Analisis kedua untuk nilai piksel dengan selisih $d = 1$. Analisis ketiga untuk nilai piksel dengan selisih $d = 2$, dan terakhir analisis keempat untuk nilai piksel dengan selisih $d = 3$. Masing-masing analisis juga akan

menganalisa terhadap penggunaan batas bawah klaster maupun batas atas klaster piksel.

Analisis pertama untuk nilai $d = 0$ dengan menggunakan batas bawah klaster. Dimisalkan terdapat nilai piksel $u = 100$ dan pesan rahasia $b = 1$. Piksel u tersebut akan masuk pada klaster ke-26 dimana rentang nilainya antara 100 – 103, maka :

$d = u - K_b = 100 - 100 = 0$

$d' = 0$ karena $d <= 2$

$d'' = 2 \times 0 + b = 2 \times 0 + 1 = 1$

$u' = d'' + K_b = 1 + 100 = 101$

Dari perhitungan di atas didapatkan nilai piksel *stego* $u' = 101$ dengan LM = 0, sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai dari u' tidak akan keluar dari rentang klasternya yaitu 100 sampai 103.

Kemudian dari nilai piksel *stego* $u' = 101$ dengan $LM = 0$ dilakukan proses ektraksi untuk mendapatkan kembali pesan rahasia dan piksel aslinya, maka :

$d = u' - K_b$

$d = 101 - 100 = 1$

$b = LSB\ (d) = LSB\ (1) = 1$

$d' = \left[\frac{d}{2}\right] = \left[\frac{1}{2}\right] = 0$

$d'' = 0$ karena LM = 0

$u = 100 + 0 = \mathbf{100}$

Analisis pertama untuk nilai $d = 0$ dengan menggunakan batas atas klaster. Dimisalkan terdapat nilai piksel $u = 103$ dan pesan rahasia $b = 1$. Piksel u tersebut akan masuk pada klaster ke-26 dimana rentang nilainya antara 100 – 103, maka :

$d = K_a - u = 103 - 103 = 0$

$d' = 0$

$d'' = 2 \times 0 + b = 2 \times 0 + 1 = 1$

$u' = K_a - d'' = 103 - 1 = 102$

Dari perhitungan di atas didapatkan nilai piksel *stego* $u' = 102$ dengan LM = 0, sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai dari u' tidak akan keluar dari rentang klasternya yaitu 100 sampai 103.

Kemudian dari nilai piksel *stego* $u' = 102$ dengan $LM = 0$ dilakukan proses ektraksi untuk mendapatkan kembali pesan rahasia dan piksel aslinya, maka :

$d = K_a - u'$

$d = 103 - 102 = 1$

$b = LSB\ (d) = LSB\ (1) = 1$

$d' = \left[\frac{d}{2}\right] = \left[\frac{1}{2}\right] = 0$

$d'' =$ 0 karena LM = 0

$u = 100 - 0 = \mathbf{100}$

Dari analisis pertama di atas, dapat disimpulkan bahwa Persamaan yang diusulkan baik dengan menggunakan batas bawah atau batas atas klaster pada proses penyematan dan ektraksi, dapat menghindari nilai piksel *stego* keluar dari klasternya dan dapat mengembalikan piksel *stego* ke piksel aslinya secara benar.

Analisis kedua untuk nilai $d = 1$ dengan menggunakan batas bawah klaster. Dimisalkan terdapat nilai piksel $u = 117$ dan pesan rahasia $b = 0$. Piksel u tersebut akan masuk pada klaster ke-30 dimana rentang nilainya antara 116 – 119, maka :

$d = u - K_b = 117 - 116 = 1$

$d' =$ 0 karena $d <= 2$

$d'' = 2 \times 0 + b = 2 \times 0 + 0 = 0$

$u' = d'' + K_b = 0 + 116 = \mathbf{116}$

Dari perhitungan di atas didapatkan nilai piksel *stego* $u' = 116$ dengan LM = 11, sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai dari u' tidak akan keluar dari rentang klasternya yaitu 116 sampai 119.

Kemudian dari nilai piksel *stego* $u' = 116$ dengan $LM = 11$ dilakukan proses ektraksi untuk mendapatkan kembali pesan rahasia dan piksel aslinya, maka :

$d = u' - K_b$

$d = 116 - 116 = 0$

$b = LSB\ (d) = LSB\ (0) = 0$

$d' = \left[\frac{d}{2}\right] = \left[\frac{0}{2}\right] = 0$

$d'' = d' + 2^{Log_2\lfloor(2 \times d' + 1\rfloor} = 0 + 1 = 1$

$u = 116 + 1 = \mathbf{117}$

Analisis kedua untuk nilai $d = 1$ dengan menggunakan batas atas klaster. Dimisalkan terdapat nilai piksel $u = 102$ dan pesan rahasia $b = 0$. Piksel u tersebut akan masuk pada klaster ke-26 dimana rentang nilainya antara 100 – 103, maka :

$d = K_a - u = 103 - 102 = 1$

$d' = 0$ karena $d <= 2$

$d'' = 2 \times 0 + b = 2 \times 0 + 0 = 0$

$u' = K_a - d'' = 103 - 0 = 103$

Dari perhitungan di atas didapatkan nilai piksel *stego* $u' = 102$ dengan LM = 0, sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai dari u' tidak akan keluar dari rentang klasternya yaitu 100 sampai 103.

Kemudian dari nilai piksel *stego* $u' = 103$ dengan $LM = 11$ dilakukan proses ektraksi untuk mendapatkan kembali pesan rahasia dan piksel aslinya, maka :

$d = K_a - u'$

$d = 103 - 103 = 0$

$b = LSB\ (d) = LSB\ (0) = 0$

$d' = \left[\frac{d}{2}\right] = \left[\frac{0}{2}\right] = 0$

$d'' = d' + 2^{Log_2\lfloor(2 \times d' + 1\rfloor} = 0 + 1 = 1$

$u = 103 - 1 = \mathbf{102}$

Dari analisis kedua di atas, dapat disimpulkan bahwa Persamaan yang diusulkan baik dengan menggunakan batas bawah atau batas atas klaster pada proses penyematan dan ektraksi, juga dapat menghindari nilai piksel *stego* keluar dari klasternya dan dapat mengembalikan piksel *stego* ke piksel aslinya secara benar.

Analisis ketiga untuk nilai $d = 2$ dengan menggunakan batas bawah klaster. Dimisalkan terdapat nilai piksel $u = 102$ dan pesan rahasia $b = 1$. Piksel u tersebut akan masuk pada klaster ke-26 dimana rentang nilainya antara 100 – 103, maka :

$d = u - K_b = 102 - 100 = 2$

$d' = 0$ karena $d <= 2$

$d'' = 2 \times 0 + b = 2 \times 0 + 1 = 1$

$u' = d'' + K_b = 1 + 100 = \mathbf{101}$

Dari perhitungan di atas didapatkan nilai piksel *stego* $u' = 101$ dengan LM = 10, sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai dari u' tidak akan keluar dari rentang klasternya yaitu 100 sampai 103.

Kemudian dari nilai piksel *stego* $u' = 100$ dengan $LM = 10$ dilakukan proses ektraksi untuk mendapatkan kembali pesan rahasia dan piksel aslinya, maka :

$d = u' - K_b$

$d = 101 - 100 = 1$

$b = LSB\ (d) = LSB\ (1) = 1$

$d' = \left[\frac{d}{2}\right] = \left[\frac{1}{2}\right] = 0$

$d'' = d' + 2^{Log_2\lfloor(2 \times d'+1\rfloor} + 1 = 0 + 1 + 1 = 2$

$u = 100 + 2 = \mathbf{102}$

Analisis ketiga untuk nilai $d = 2$ dengan menggunakan batas atas klaster. Dimisalkan terdapat nilai piksel $u = 101$ dan pesan rahasia $b = 1$. Piksel u tersebut akan masuk pada klaster ke-26 dimana rentang nilainya antara 100 – 103, maka :

$d = K_a - u = 103 - 101 = 2$

$d' = 0$ karena $d <= 2$

$d'' = 2 \times 0 + b = 2 \times 0 + 1 = 1$

$u' = K_a - d'' = 103 - 1 = 102$

Dari perhitungan di atas didapatkan nilai piksel *stego* $u' = 102$ dengan LM = 10, sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai dari u' tidak akan keluar dari rentang klasternya yaitu 100 sampai 103.

Kemudian dari nilai piksel *stego* $u' = 102$ dengan $LM = 10$ dilakukan proses ektraksi untuk mendapatkan kembali pesan rahasia dan piksel aslinya, maka :

$d = K_a - u'$

$d = 103 - 102 = 1$

$b = LSB\ (d) = LSB\ (1) = 1$

$d' = \left[\frac{d}{2}\right] = \left[\frac{1}{2}\right] = 0$

$d'' = d' + 2^{Log_2\lfloor(2 \times d')+1\rfloor} + 1 = 0 + 1 + 1 = 2$

$u = 103 - 2 = \mathbf{101}$

Dari analisis ketiga di atas, dapat disimpulkan bahwa Persamaan yang diusulkan baik dengan menggunakan batas bawah atau batas atas klaster pada proses penyematan dan ektraksi, juga dapat menghindari nilai piksel *stego* keluar

dari klasternya dan dapat mengembalikan piksel *stego* ke piksel aslinya secara benar.

Analisis keempat untuk nilai $d = 3$ dengan menggunakan batas bawah klaster. Dimisalkan terdapat nilai piksel $u = 147$ dan pesan rahasia $b = 1$. Piksel u tersebut akan masuk pada klaster ke-37 dimana rentang nilainya antara 144 – 147, maka :

$d = u - K_b = 147 - 144 = 3$

$d' = d - 2^{[Log_2 d]} = 3 - 2 = 1$

$d'' = 2 \times d + b = 2 \times 1 + 1 = 3$

$u' = d'' + K_b = 3 + 144 = \mathbf{147}$

Dari perhitungan di atas didapatkan nilai piksel *stego* $u' = 147$ dengan LM = 11, sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai dari u' tidak akan keluar dari rentang klasternya yaitu 144 sampai 147.

Kemudian dari nilai piksel *stego* $u' = 147$ dengan $LM = 11$ dilakukan proses ektraksi untuk mendapatkan kembali pesan rahasia dan piksel aslinya, maka :

$d = u' - K_b$

$d = 147 - 144 = 3$

$b = LSB\ (d) = LSB\ (3) = 1$

$d' = \left[\frac{d}{2}\right] = \left[\frac{3}{2}\right] = 1$

$d'' = d' + 2^{Log_2 \lfloor (2 \times d' + 1 \rfloor} = 1 + 2 = 3$

$u = 144 + 3 = \mathbf{147}$

Analisis keempat untuk nilai $d = 3$ dengan menggunakan batas atas klaster. Dimisalkan terdapat nilai piksel $u = 220$ dan pesan rahasia $b = 1$. Piksel u tersebut akan masuk pada klaster ke-56 dimana rentang nilainya antara 220 – 223, maka :

$d = K_a - u = 223 - 220 = 3$

$d' = d - 2^{[Log_2 d]} = 3 - 2 = 1$

$d'' = 2 \times d + b = 2 \times 1 + 1 = 3$

$u' = K_a - d'' = 223 - 3 = 220$

Dari perhitungan di atas didapatkan nilai piksel *stego* $u' = 220$ dengan LM = 11, sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai dari u' tidak akan keluar dari rentang klasternya yaitu 220 sampai 223.

Kemudian dari nilai piksel *stego* $u' = 220$ dengan $LM = 11$ dilakukan proses ektraksi untuk mendapatkan kembali pesan rahasia dan piksel aslinya, maka :

$d = K_a - u'$

$d = 223 - 220 = 3$

$b = LSB\ (d) = LSB\ (3) = 1$

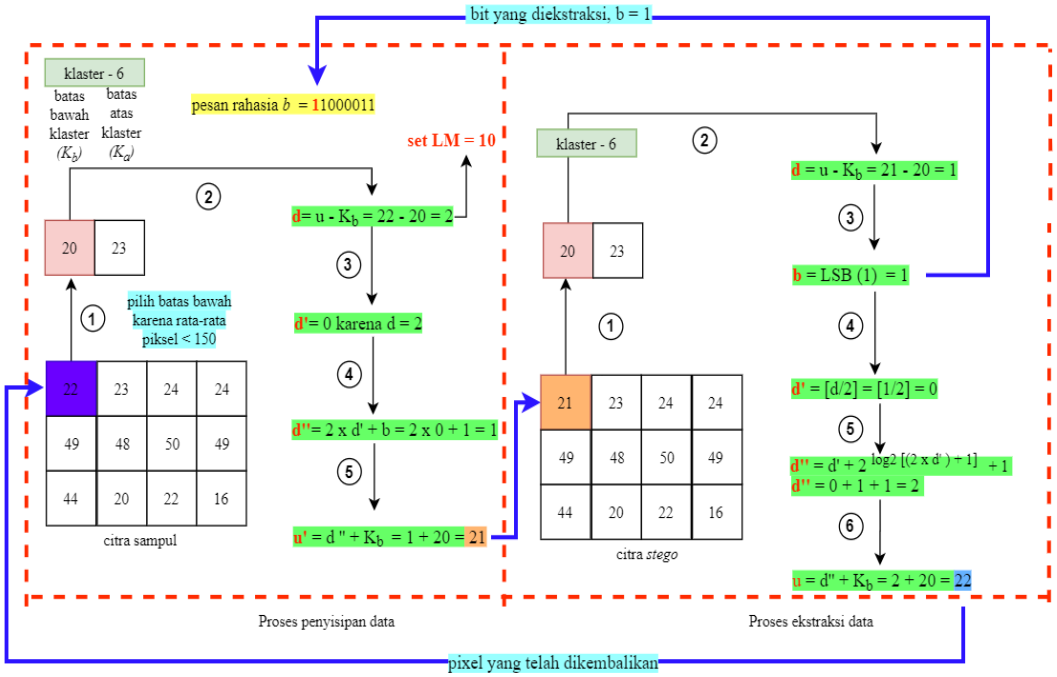
$d' = \left[\frac{d}{2}\right] = \left[\frac{3}{2}\right] = 1$

$d'' = d' + 2^{Log_2\lfloor(2 \times d' + 1\rfloor} = 1 + 2 = 3$

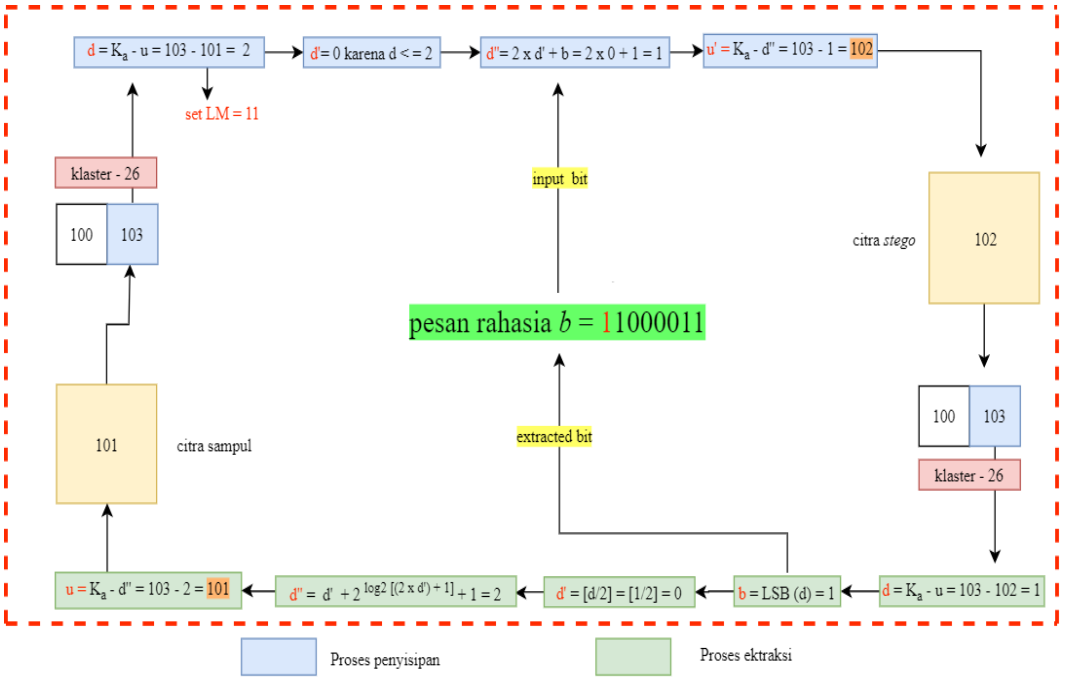
$u = 223 - 3 = \mathbf{220}$

Dari analisis keempat di atas, dapat disimpulkan juga bahwa Persamaan yang diusulkan baik dengan menggunakan batas bawah atau batas atas klaster pada proses penyematan dan ektraksi, dapat menghindari nilai piksel *stego* keluar dari klasternya dan dapat mengembalikan piksel *stego* ke piksel aslinya secara benar.

Untuk memudahkan pemahaman, penulis mengilustrasikan proses penyisipan dan ekstraksi pesan *bit* dengan gambar. Gambar 4.1 mengilustrasikan proses penyisipan dan ektraksi pesan *bit* dengan menggunakan batas bawah klaster, sedangkan Gambar 4.2 mengilustrasikan proses penyisipan dan ektraksi pesan *bit* dengan menggunakan batas atas klaster.



Gambar 4.1 Ilustrasi penyisipan dan ektraksi pesan *bit* dengan batas bawah klaster piksel



Gambar 4.2 Ilustrasi penyisipan dan ekstraksi pesan *bit* rahasia dengan batas atas klaster piksel

4.2.2 Analisis Logika Fuzzy

Analisis logika *fuzzy* digunakan untuk menganalisa apakah implementasi dari logika *fuzzy* mempunyai pengaruh terhadap *similarity* citra stego yang dihasilkan dan peningkatan kapasitas data yang dapat disisipkan. Analisis dilakukan dengan menyajikan data *input* dan *output* dari proses logika *fuzzy*. Data *input* merupakan data yang diperoleh dari proses ekstrak karakteristik gambar, sedangkan data *output* merupakan data keluaran dari proses akhir logika *fuzzy* dalam bentuk level penyisipan.

Dalam melakukan analisis logika *fuzzy*, penulis melakukan sampel data pada 10 blok pertama yang diambil dari gambar 'Car'. Data *input* disajikan pada Tabel 4.1 dimana angka 1 dan 2 pada kolom 'metode' menunjukkan penggunaan rata-rata dan median antar piksel ketetangaan secara berturut-turut. Sedangkan data *output* disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.1 Data *input* logika *fuzzy*

	Blok									
Metode	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
1	129.33	36.50	14.16	49	40	23.83	20.83	19.66	44.33	48.50
2	187	51.50	13.50	69	48	21	20.50	18	62.50	72

Tabel 4.2 Data *output* logika *fuzzy*

	Level Blok									
Metode	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
1	0.17	1.08	4.24	1.08	1.08	2.44	3.09	3.60	1.08	1.08
2	0.17	1.08	4.24	1.08	1.08	3.08	3.24	4.24	1.08	1.08
3	0.17	1.08	4.24	1.08	1.08	3.08	3.24	4.24	1.08	1.08

Tabel 4.3 Level penyisipan dari proses pembulatan *output* logika *fuzzy*

	Level Blok									
Metode	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
1	0	1	4	1	1	2	3	3	1	1
2	0	1	4	1	1	3	3	4	1	1
3	0	1	4	1	1	3	3	4	1	1

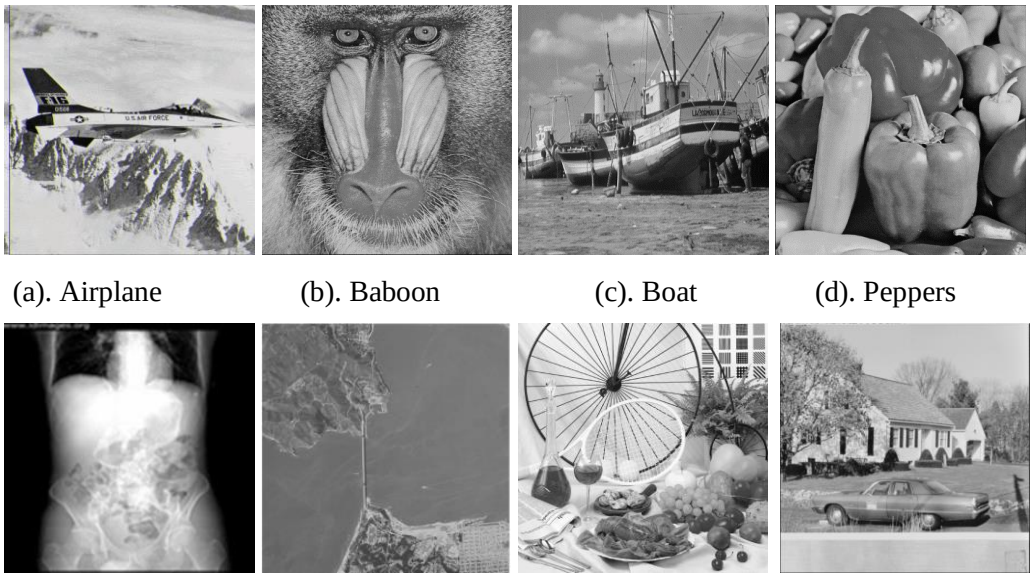
Dari Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa setiap blok memiliki nilai rata-rata dan median yang berbeda-beda tergantung dari nilai piksel yang berdekatan pada setiap blok pikselnya. Data pada Tabel 4.1 selanjutnya digunakan sebagai masukan pada proses logika *fuzzy*. Setelah proses logika *fuzzy* selesai dilakukan maka menghasilkan keluaran sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 4.2. Karena hasil keluaran logika *fuzzy* masih dalam bentuk desimal, maka perlu dilakukan pembulatan ke bawah untuk mendapatkan level penyisipan setiap blok.

Dari Tabel 4.3 dapat disimpulkan bahwa logika *fuzzy* dapat digunakan untuk melakukan skema penyisipan multilapis dengan menggunakan level penyisipan pada setiap blok piksel. Dengan skema multilapis maka penyisipan data dapat dilakukan beberapa kali pada setiap pikselnya. Hal ini dapat meningkatkan kapasitas penyisipan data ke dalam citra sampul. Dari Tabel 4.3 juga dapat dilihat bahwa logika *fuzzy* juga dapat menjaga *similarity* antara citra *stego* dengan citra sampul. Sebagai contoh, pada blok pertama level penyisipan bernilai 0 yang artinya pada blok tersebut tidak akan dilakukan proses penyisipan, karena jika dilakukan penyisipan akan berdampak pada penurunan kualitas citra *stego.* Dengan logika *fuzzy*, blok-blok yang memiliki kemungkinan untuk

menurunkan PSNR secara drastis tidak akan diproses, sehingga kualitas citra *stego* dapat dipertahankan.

4.3 Pelaksanaan Uji Coba

Seperti yang telah dijelaskan di Bab 3, metode yang diusulkan akan dibandingkan dengan tiga metode lainnya untuk mengetahui seberapa baik metode yang diusulkan. Secara detail, gambar yang digunakan sebagai media sampul digambarkan pada Gambar 4.3.



(a). Airplane (b). Baboon (c). Boat (d). Peppers

(e). Abdominal (f). Sandiego (g). Fruits (h). Car

Gambar 4.3 Citra sampul sebagai data uji coba yang diperoleh dari [31] [32][33]

Percobaan yang dilakukan terhadap metode yang diusulkan terdiri dari tiga percobaan. Pertama, rata-rata dari selisih piksel ketetanggaan yang digunakan sebagai masukan logika *fuzzy*. Kedua, median dari selisih piksel ketetanggaan yang digunakan sebagai masukan logika *fuzzy* dan terakhir adalah kombinasi antara rata-rata dan median dari selisih piksel ketetanggaan.Hai ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana perbedaan variabel yang digunakan untuk menghasilkan level penyisipan.

4.4 Hasil dan Evaluasi

Terdapat dua skenario evaluasi yang dilakukan terhadap metode yang diusulkan. Pertama, dari segi kualitas citra *stego* yang dihasilkan. Kedua, dalam hal kapasitas pesan maksimum yang dapat disisipkan ke dalam citra *cover*. Untuk mengukur kualiatas citra *stego* terhadap citra *cover* dilakukan dengan menggunakan PSNR. Jika semakin tinggi nilai PSNR yang dihasilkan, maka akan semakin rendah tingkat distorsi pada gambar *stego*, sehingga kualitas dari gambar *stego* akan semakin baik. Kapasitas pesan diukur dengan banyaknya jumlah *bit* maksimum yang dapat ditampung oleh citra *cover* dengan menyisipkan pesan berukuran 2mb. Kapasitas pesan juga dapat diukur dengan seberapa besar setiap citra piksel dapat disisipkan pesan *bit* dengan menghitung *bit per pixel (bpp)* yaitu dengan cara membagi pesan maksimum yang dapat ditampung dengan ukuran total dari citra *cover*.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	79	199	191	183	175	183	191	187	191	191	199	195	195	199	199	199	195	203	195	203
2	66	197	195	194	195	195	191	195	191	194	195	194	191	191	195	191	191	191	191	187
3	67	198	194	199	194	190	190	190	186	199	190	190	190	186	190	190	190	194	194	190
4	67	187	191	191	186	182	183	183	187	190	186	186	187	190	190	195	195	191	195	187
5	74	183	182	182	182	182	182	187	183	183	182	186	187	191	191	186	190	190	194	194

(a). Piksel *stego*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	77	198	191	181	174	181	188	186	189	190	198	192	195	197	198	199	195	200	195	202
2	65	196	192	195	195	192	191	192	189	194	195	193	191	190	193	191	190	188	191	187
3	65	197	193	197	195	191	191	188	186	197	191	189	189	187	188	188	188	192	193	190
4	66	187	188	188	186	180	180	183	184	188	184	186	186	189	190	193	194	191	192	187
5	74	181	181	181	180	183	183	184	183	182	181	185	185	189	191	187	190	189	193	194

(b). Piksel asli

Gambar 4.4 Perbandingan piksel *stego* dan piksel asli dari metode yang diusulkan dengan ukuran 5x20 piksel.

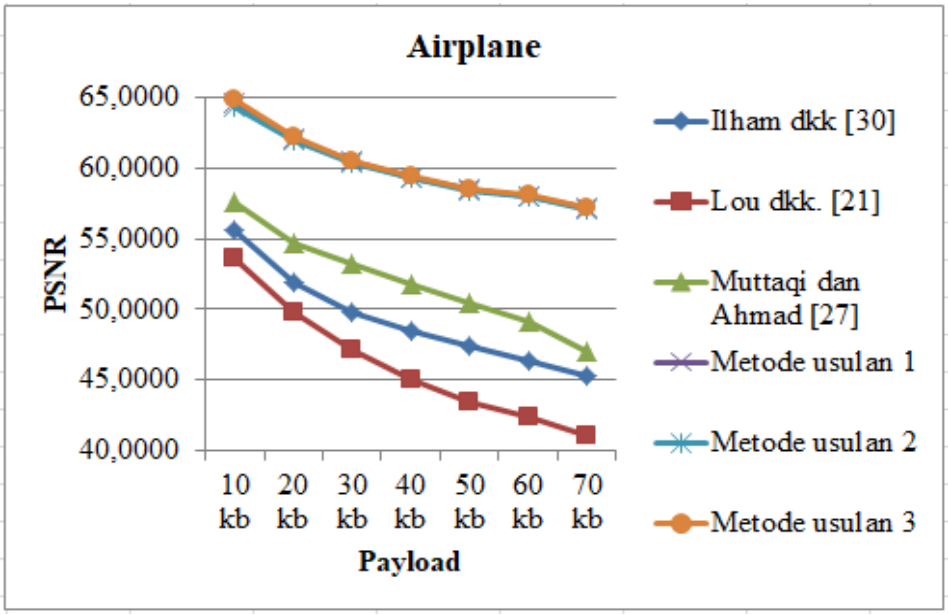
Sebelum membandingkan metode yang diusulkan dengan metode lain, penulis membandingkan terlebih dahulu perbedaan piksel antara piksel *stego* dan piksel asli untuk mengetahui seberapa jauh perbedaan keduanya. Sebagai percobaan, kami menggunakan gambar 'Airplane' [31] untuk disisipkan data sebesar 10kb. Penulis mengambil ukuran 5x20 piksel sebagai contoh, seperti yang digambarkan pada Gambar 4.4. Dari gambar tersebut, dapat diketahui bahwa selisih antara piksel *stego* dan piksel aslinya tidak lebih dari 3. Bahkan beberapa piksel memiliki nilai yang sama seperti yang ditunjukkan oleh kotak merah.

Pemaparan hasil uji coba skenario pertama untuk mengukur kualitas citra dengan PSNR secara berturut-turut adalah penelitian yang dilakukan oleh Ilham dkk. [30], kemudian penelitian yang diusulkan oleh Lou dkk. [21], selanjutnya penelitian oleh Muttaqi dan Ahmad [27] dan yang terakhir penelitian yang diusulkan oleh penulis. Angka 1,2,3 pada kolom "Metode" Pada Tabel 4.1 hingga Tabel 4.8 menunjukkan metode usulan menggunakan rata-rata selisih piksel bertetangga, menggunakan median, dan kombinasi rata-rata dan media secara berurutan.

Tabel 4.4 Perbandingan metode dari segi PSNR pada citra 'Airplane'

Citra sampul	**Metode**	**PSNR (dB)**						
		10 kb	**20 kb**	**30 kb**	**40 kb**	**50 kb**	**60 kb**	**70 kb**
Airplane	Ilham dkk. [30]	55.6637	51.8512	49.7944	48.4576	47.4139	46.3203	45.2644
	Lou dkk. [21]	53.6355	49.8113	47.1154	45.0333	43.4785	42.3975	40.9735
	Muttaqi dan Ahmad [27]	57.5494	54.7143	53.1710	51.7948	50.3765	49.1596	47.0326
	1	64.6365	62.1047	60.4946	59.3340	58.4800	57.9971	57.1428
	2	64.3063	61.9816	60.3597	59.2509	58.3587	57.9699	57.0144
	3	64.8945	62.1752	60.5469	59.4429	58.4820	58.0666	57.2346

Dari Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa metode usulan dengan menggunakan kombinasi antara rata-rata dan median selisih piksel ketetanggaan yang digunakan sebagai masukan logika *fuzzy* menghasilkan nilai PSNR tertinggi dengan nilai rata-rata 60.1204 dB, kemudian diikuti metode usulan dengan menggunakan rata-rata selisih piksel ketetanggaan dengan nilai rata-rata 60.0271 dB dan selanjutnya metode usulan menggunakan median selisih piksel ketetanggaan dengan nilai rata-rata 59.8916 dB. Sedangkan nilai PSNR terkecil didapatkan oleh Lou dkk. [21] dengan nilai rata-rata PSNR 46.0636 dB. Semakin besar kapasitas *bit* data yang disisipkan, maka nilai PSNR akan semakin menurun seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5. Hal ini dikarenakan semakin banyaknya piksel gambar yang mengalami perubahan.



Gambar 4.5 Grafik perbandingan metode pada gambar 'Airplane'

Tabel 4.5 menunjukkan perbandingan kualitas citra antar metode pada gambar ‘Baboon’. Tidak seperti pada gambar ‘Airplane’ sebelumnya, metode usulan dengan menggunakan median memperoleh nilai PSNR tertinggi dengan nilai rata-rata 56.7721 dB, kemudian diikuti kombinasi rata-rata dan median

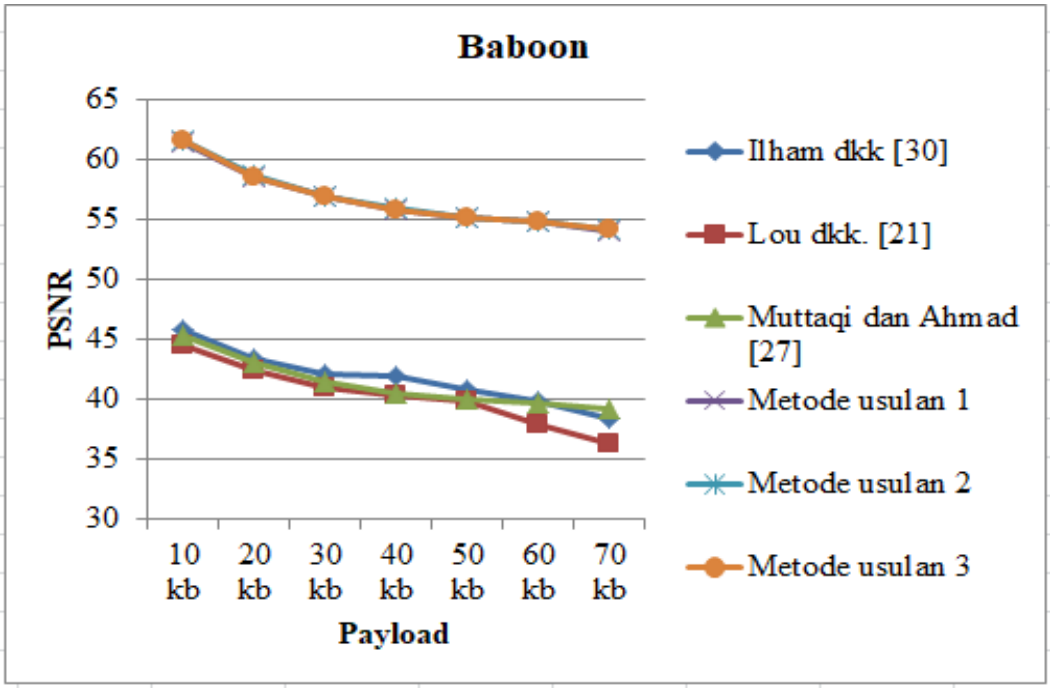
selisih piksel ketetanggaan diurutan kedua dengan nilai rata-rata 56.7614 dB dan rata-rata selisih piksel ketetanggaan diurutan ketiga dengan nilai rata-rata PSNR 56,6919 dB. Sedangkan nilai PSNR terendah dicapai oleh metode usulan Lou dkk.[21] dengan nilai rata-rata 40.2692 dB. Pada gambar 'Baboon' ini juga dapat disimpulkan bahwa metode yang diusulkan menghasilkan nilai PSNR yang stabil dibanding metode-metode lainnya. Pada metode lainnya, nilai PSNR turun secara signifikan dibanding dengan nilai PSNR pada gambar lainnya. Grafik perbandingan dari Tabel 4.5 digambarkan pada Gambar 4.6.

Tabel 4.5 Perbandingan metode dari segi PSNR pada citra 'Baboon'

Citra sampul	**Metode**	**PSNR (dB)**						
		10 kb	**20 kb**	**30 kb**	**40 kb**	**50 kb**	**60 kb**	**70 kb**
Baboon	Ilham dkk. [30]	45.8165	43.4526	42.0295	41.9272	40.8184	39.8455	38.3495
	Lou dkk. [21]	44.4764	42.3576	40.8789	40.2363	39.8343	37.8278	36.2731
	Muttaqi dan Ahmad [27]	45.3832	43.0514	41.3708	40.5126	39.9398	39.6710	39.1188
	1	61.4715	58.5634	56.9417	55.8380	55.1083	54.8284	54.0917
	2	61.6254	58.7148	56.9968	55.8965	55.1928	54.8533	54.1254
	3	61.6559	58.6235	56.9795	55.8837	55.1767	54.8632	54.1475

Selanjutnya untuk perbandingan kualitas citra antar metode pada gambar 'Boat' disajikan pada Tabel 4.6. Pada perbandingan ini, metode usulan dengan menggunakan rata-rata mendapatkan nilai PSNR tertinggi dengan nilai rata-rata 60.3790 dB, kemudian diikuti kombinasi rata-rata dan median selisih piksel ketetanggaan diurutan kedua dengan rata-rata 60.3607 dB dan median selisih piksel ketetanggaan diurutan ketiga dengan nilai rata-rata 60.3321 dB. Metode yang diusulkan Lou dkk.[21] masih mendapatkan nilai PSNR terendah pada

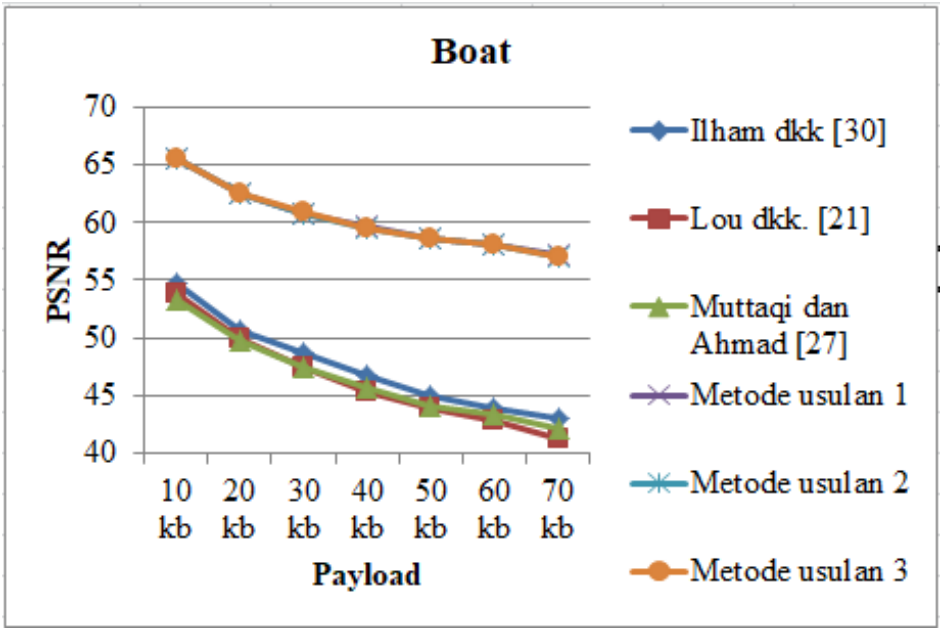
gambar ini dengan nilai 46.3423 dB. Grafik perbandingan dari Tabel 4.6 dapat dilihat pada Gambar 4.7



Gambar 4.6 Grafik perbandingan metode pada gambar 'Baboon'

Tabel 4.7 Perbandingan metode dari segi PSNR pada citra 'Boat'

Citra sampul	**Metode**	**PSNR (dB)**						
		10 kb	**20 kb**	**30 kb**	**40 kb**	**50 kb**	**60 kb**	**70 kb**
Boat	Ilham dkk. [30]	54.7091	50.6478	48.6379	46.6392	44.9372	43.9254	42.9464
	Lou dkk. [21]	53.8298	49.9944	47.3734	45.3444	43.8653	42.7342	41.2543
	Muttaqi dan Ahmad [27]	53.3699	49.8232	47.4537	45.5798	44.0588	43.3713	42.0372
	1	65.5998	62.5720	60.8286	59.6152	58.6897	58.1765	57.1711
	2	65.5156	62.6192	60.8262	59.5454	58.6593	58.1236	57.0356
	3	65.6351	62.6365	60.8677	59.5850	58.6501	58.0741	57.0765



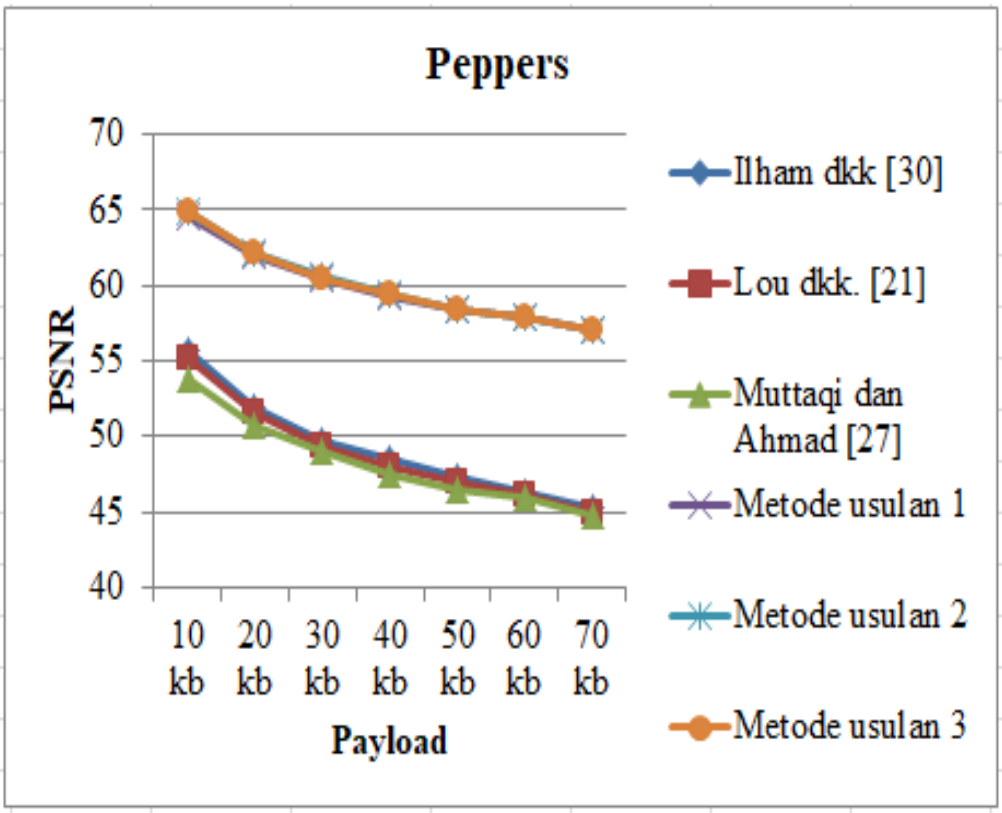
Gambar 4.7 Grafik perbandingan metode pada gambar 'Boat'

Tabel 4.7 Perbandingan metode dari segi PSNR pada citra 'Peppers'

Citra sampul	Metode	PSNR (dB)						
		10 kb	20 kb	30 kb	40 kb	50 kb	60 kb	70 kb
Peppers	Ilham dkk. [30]	55.6788	51.9207	49.7452	48.4366	47.3379	46.3284	45.2277
	Lou dkk. [21]	55.1311	51.6207	49.4292	48.0375	47.0336	46.0364	44.9242
	Muttaqi dan Ahmad [27]	53.7245	50.7385	48.9816	47.4888	46.4565	45.9799	44.7703
	1	64.4943	62.0118	60.3983	59.3240	58.3920	57.9370	56.9898
	2	64.8227	62.1992	60.5501	59.3691	58.4512	57.9460	56.9972
	3	64.8577	62.1647	60.5104	59.3546	58.4270	57.9568	56.9755

Tabel 4.7 menunjukkan perbandingan kualitas citra antar metode pada gambar 'Peppers. Pada gambar ini, metode usulan dengan menggunakan median memperoleh nilai rata-rata PSNR tertinggi 60.0479 dB , kemudian diikuti kombinasi rata-rata dan median selisih piksel ketetanggaan diurutan kedua dengan rata-rata PSNR 60.0352 dB dan rata-rata selisih piksel ketetanggaan diurutan

ketiga dengan rata-rata 59.9353 dB. Pada gambar ini, metode Muttaqi dan Ahmad [27] mendapatkan nilai PSNR terendah dengan rata-rata 48.3057 dB. Grafik perbandingan dari Tabel 4.7 dapat dilihat pada Gambar 4.8

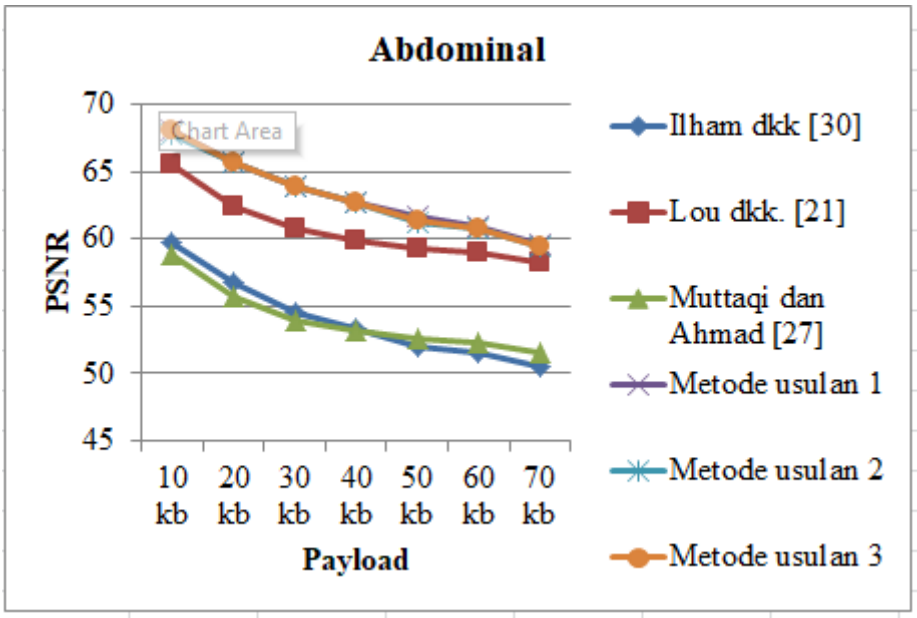


Gambar 4.8 Grafik perbandingan metode pada gambar 'Peppers'

Tabel 4.8 menunjukkan perbandingan kualitas citra antar metode pada gambar 'Abdominal'. Pada gambar ini, metode usulan dengan menggunakan rata-rata selisih piksel memperoleh nilai PSNR tertinggi 63.2391 dB, kemudian diikuti kombinasi rata-rata dan median selisih piksel ketetanggaan diurutan kedua dengan 63.1513 dB dan median selisih piksel ketetanggaan diurutan ketiga dengan 63.0779 dB. Rata-rata PSNR terendah diperoleh Muttaqi dan Ahmad [27] dengan 54.0027 dB. Grafik perbandingan dari Tabel 4.8 dapat dilihat pada Gambar 4.9

Tabel 4.8 Perbandingan metode dari segi PSNR pada citra ‘Abdominal’

Citra sampul	Metode	PSNR (dB)						
		10 kb	20 kb	30 kb	40 kb	50 kb	60 kb	70 kb
Abdominal	Ilham dkk. [30]	59.7632	56.7522	54.5232	53.3232	51.9292	51.4932	50.5362
	Lou dkk. [21]	65.5517	62.4477	60.7542	59.9332	59.3256	58.9812	58.2699
	Muttaqi dan Ahmad [27]	58.8059	55.6994	53.9872	53.1709	52.5954	52.2598	51.5005
	1	68.1282	65.7418	63.9656	62.7507	61.6047	60.9411	59.5419
	2	67.8122	65.6660	63.9214	62.6968	61.2642	60.7967	59.3878
	3	68.0042	65.6886	63.9145	62.7665	61.4157	60.7967	59.4732



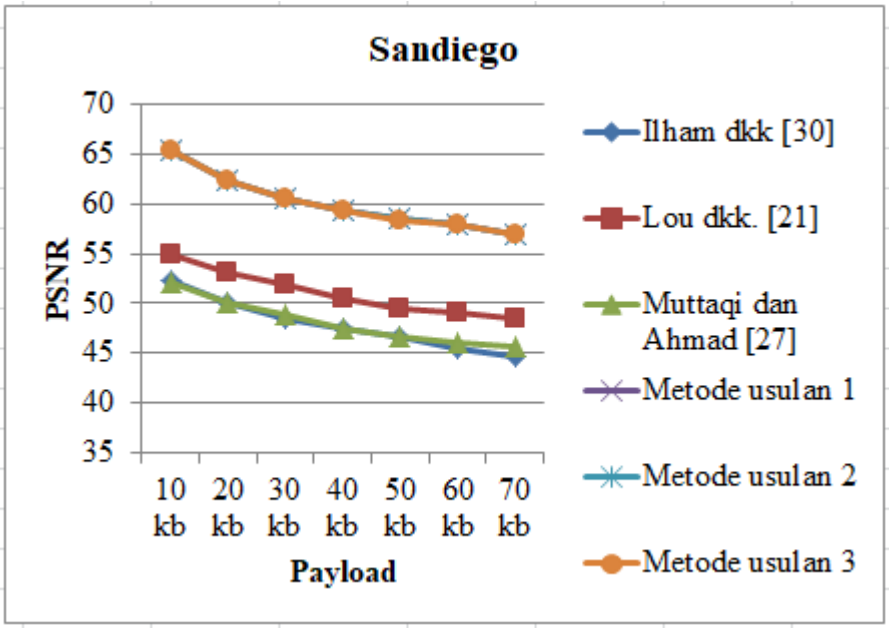
Gambar 4.9 Grafik perbandingan metode pada gambar ‘Abdominal’

Tabel 4.9 menunjukkan perbandingan kualitas citra antar metode pada gambar ‘Sandiego’. Pada gambar ini, metode usulan dengan menggunakan median selisih piksel memperoleh nilai PSNR tertinggi 60.1776 dB, kemudian diikuti rata-rata selisih piksel ketetanggaan diurutan kedua dengan 60.1542 dB

dan kombinasi rata-rata dan median selisih piksel ketetanggaan diurutan ketiga dengan 60.1541 dB. Rata-rata PSNR terendah diperoleh Ilham dkk.[30] dengan 47.8757 dB. Grafik perbandingan dari Tabel 4.9 dapat dilihat pada Gambar 4.10

Tabel 4.9 Perbandingan metode dari segi PSNR pada citra 'Sandiego'

Citra sampul	**Metode**	**PSNR (dB)**						
		10 kb	**20 kb**	**30 kb**	**40 kb**	**50 kb**	**60 kb**	**70 kb**
Sandiego	Ilham dkk. [30]	52.3391	50.0535	48.4093	47.5362	46.6328	45.4263	44.7325
	Lou dkk. [21]	54.9674	53.1458	51.8954	50.4688	49.5145	49.0849	48.5352
	Muttaqi dan Ahmad [27]	52.0441	50.0332	48.8617	47.4261	46.5674	46.1427	45.5653
	1	65.4134	62.3669	60.5753	59.3868	58.4469	57.9328	56.9571
	2	65.4615	62.3951	60.5806	59.3950	58.4591	57.9673	56.9843
	3	65.4409	62.3708	60.5984	59.3572	58.4014	57.9360	56.9743

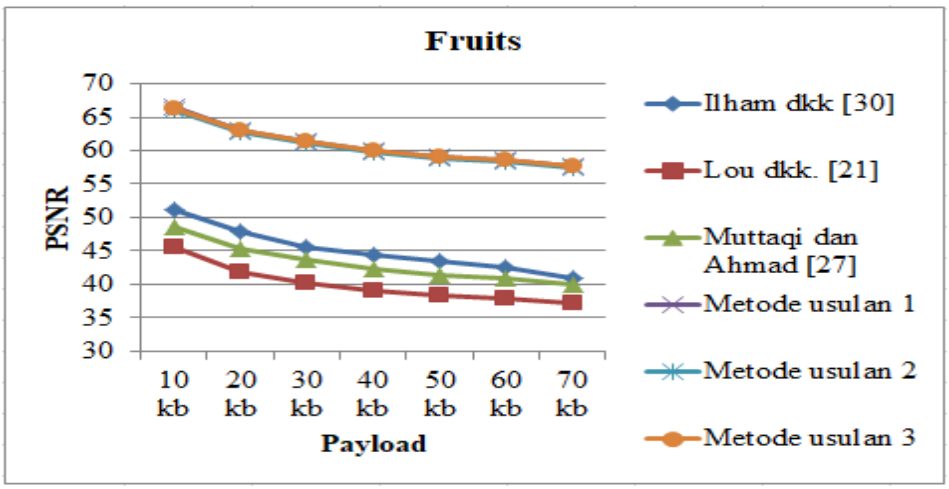


Gambar 4.10 Grafik perbandingan metode pada gambar 'Sandiego'

Tabel 4.10 menunjukkan perbandingan kualitas citra antar metode pada gambar ‘Fruits’. Pada gambar ini, metode usulan dengan menggunakan rata-rata selisih piksel memperoleh nilai PSNR tertinggi 60.8911 dB, kemudian diikuti kombinasi rata-rata dan median selisih piksel ketetanggaan diurutan kedua dengan 60.8470 dB dan median selisih piksel ketetanggaan diurutan ketiga dengan 60.6089 dB. Rata-rata PSNR terendah diperoleh Lou dkk. [21] dengan 39.9952 dB. Grafik perbandingan dari Tabel 4.10 dapat dilihat pada Gambar 4.11

Tabel 4.10 Perbandingan metode dari segi PSNR pada citra ‘Fruits’

Citra sampul	**Metode**	**PSNR (dB)**						
		10 kb	**20 kb**	**30 kb**	**40 kb**	**50 kb**	**60 kb**	**70 kb**
Fruits	Ilham dkk. [30]	51.0667	47.8489	45.6382	44.3820	43.4253	42.5343	40.9826
	Lou dkk. [21]	45.5109	41.8851	40.2241	39.1232	38.2313	37.8316	37.1603
	Muttaqi dan Ahmad [27]	48.6345	45.3335	43.5970	42.2610	41.3149	40.8753	40.0467
	1	66.4212	63.0230	61.3015	60.0919	59.0853	58.6432	57.6718
	2	66.0231	62.7430	61.0839	59.7940	58.8664	58.3843	57.3673
	3	66.3032	63.0281	61.3094	60.0381	59.0131	58.6018	57.6354



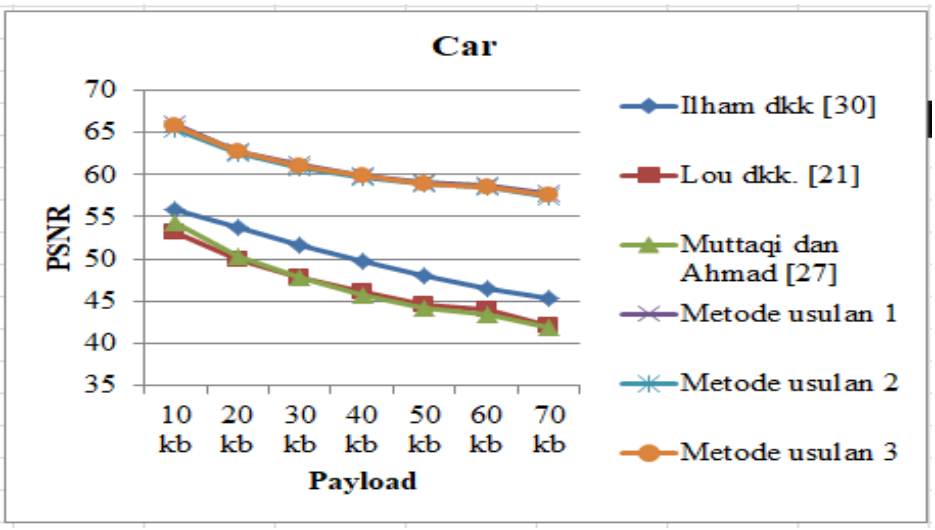
Gambar 4.11 Grafik perbandingan metode pada gambar ‘Fruits’

Tabel 4.11 menunjukkan perbandingan kualitas citra antar metode pada gambar ‘Car’. Pada gambar ini, metode usulan dengan menggunakan rata-rata selisih piksel memperoleh nilai PSNR tertinggi 60.7332 dB, kemudian diikuti kombinasi rata-rata dan median selisih piksel ketetanggaan diurutan kedua dengan 60.6714 dB dan median selisih piksel ketetanggaan diurutan ketiga dengan 60.4575 dB. Sedangkan rata-rata PSNR terendah diperoleh Muttaqi dan Ahmad [27] dengan 46.7815 dB. Grafik perbandingan dari Tabel 4.11 dapat dilihat pada Gambar 4.12

Tabel 4.11 Perbandingan metode dari segi PSNR pada citra ‘Car’

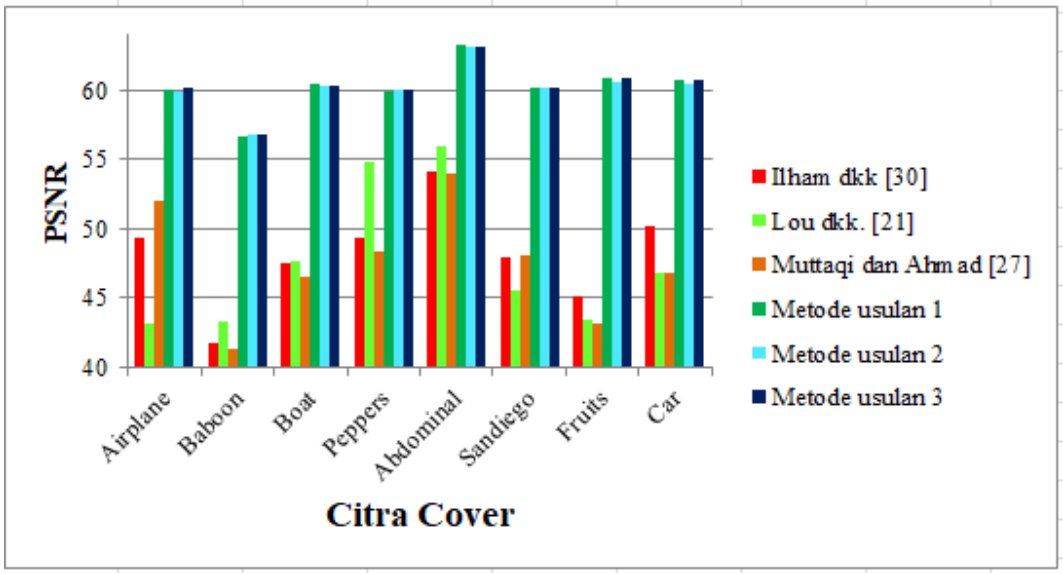
Citra sampul	**Metode**	**PSNR (dB)**						
		10 kb	**20 kb**	**30 kb**	**40 kb**	**50 kb**	**60 kb**	**70 kb**
Car	Ilham dkk. [30]	55.8759	53.7472	51.5368	49.6520	47.9224	46.5321	45.3462
	Lou dkk. [21]	53.2222	49.9878	47.8005	46.0299	44.6333	43.9474	42.1199
	Muttaqi dan Ahmad [27]	54.3403	50.2297	47.7185	45.6154	44.1933	43.4705	41.9029
	1	65.9044	62.7651	61.1263	59.9448	59.0955	58.6279	57.6683
	2	65.3693	62.5725	60.8265	59.7466	58.8493	58.4358	57.4023
	3	65.8287	62.7931	61.0624	59.8811	59.0030	58.5394	57.5923

Dari Tabel 4.4 hingga Tabel 4.11, secara keseluruhan dapat dilihat bahwa metode yang diusulkan baik dari segi penggunaan rata-rata, median maupun kombinasi rata-rata dan median dari selisih piksel ketetanggan mencapai nilai PSNR yang lebih tinggi dibanding 3 metode lainnya.

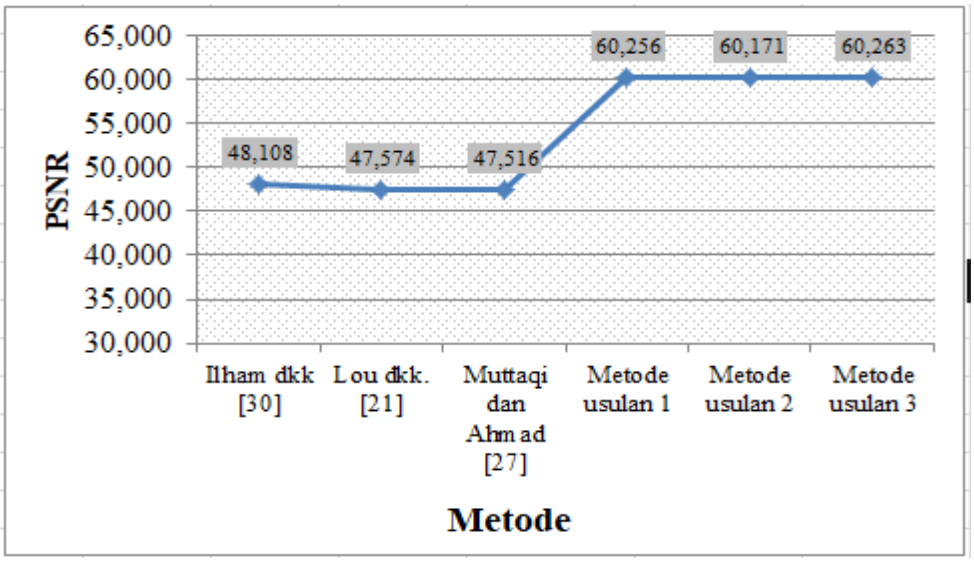


Gambar 4.12 Grafik perbandingan metode pada gambar 'Car'

Gambar 4.13 menunjukkan grafik perbandingan nilai rata-rata PSNR pada setiap gambar. Dari Gambar 4.13 dapat dilihat bahwa rata-rata PSNR setiap gambar dari metode yang diusulkan mencapai nilai lebih dari 56 dB. Rata-rata PSNR tertinggi dicapai oleh metode usulan menggunakan rata-rata selisih piksel ketetanggaan dengan nilai 63.23 dB pada gambar 'Abdominal'.



Gambar 4.13 Grafik perbandingan nilai rata-rata PSNR setiap gambar



Gambar 4.14 Grafik nilai rata-rata PSNR dari seluruh gambar

Sedangkan nilai rata-rata PSNR tertinggi dari seluruh gambar yang disisipkan data uji coba secara berturut-turut adalah kombinasi rata-rata dan median dengan nilai 60.263 dB, rata-rata dengan nilai 60.256 dB dan median dengan nilai 60.171 dB seperti yang disajikan pada Gambar 4.14.

Dari hasil percobaan di atas dapat dianalisis bahwa peningkatan nilai PSNR pada metode yang diusulkan dapat terjadi karena penggunaan klaster piksel untuk mencari selisih piksel yang akan disisipkan data. Dengan penggunaan klaster menyebabkan perbedaan selisih piksel yang dihasilkan akan sangat kecil. Jika perbedaan sangat kecil, maka kualitas citra dapat dipertahankan. Sedangkan tiga metode lainnya kesemuanya menggunakan metode RDE dimana skema RDE ini menggunakan pasangan piksel yang berdekatan. Penggunaan pasangan piksel ini memungkinkan untuk menghasilkan selisih piksel yang besar, karena beberapa piksel yang berdekatan memiliki perbedaan nilai yang besar.

Skenario kedua dilakukan untuk mengetahui kapasitas pesan maksimum yang bisa disisipkan ke dalam citra sampul. Hasil percobaan ditunjukkan pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Perbandingan kapisatas penyisipan pesan maksimum

Citra Sampul	**Kapasitas *(bits)***					
	Ilham dkk. [30]	**Lou dkk.** [21]	**Muttaqi and Ahmad** [27]	**Metode usulan**		
				1	**2**	**3**
Airplane	760.874	1.010.463	131.072	1.493.152	1.475.904	1.483.992
Baboon	777.892	1.028.764	131.061	1.025.648	1.028.980	1.031.296
Boat	712.878	1.010.556	130.808	1.389.104	1.377.120	1.386.632
Peppers	513.586	953.932	130.780	1.475.972	1.474.472	1.475.956
Abdominal	610.960	872.825	129.881	1.777.948	1.754.584	1.759.540
Sandiego	654.843	1.014.259	131.072	1.464.420	1.459.716	1.461.800
Fruits	670.600	1.025.432	128.971	1.296.952	1.252.604	1.294.464
Car	711.924	1.010.920	130.871	1.420.092	1.393.132	1.407.432

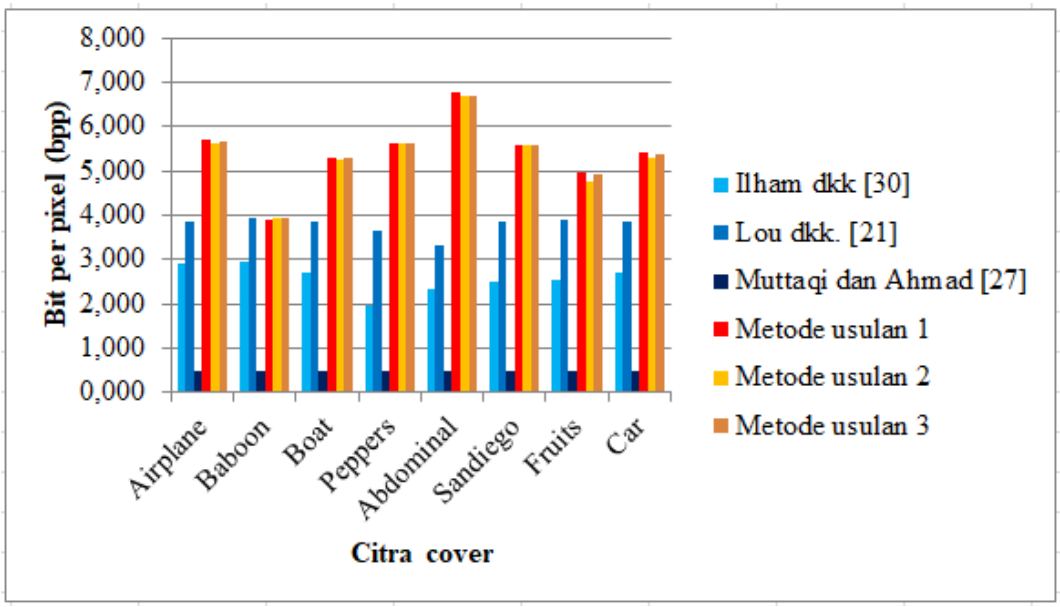
Dari Tabel 4.9 dapat disimpulkan bahwa metode-metode yang diusulkan memiliki kapasitas penyisipan pesan maksimum yang lebih besar dibandingkan dengan tiga metode lainnya. Hal ini dapat terjadi karena setiap piksel gambar dapat disisipkan data sesuai dengan banyaknya level penyisipan hasil *output* logika *fuzzy*. Sedangkan pada metode lainnya, mereka menggunakan metode RDE dalam proses penyisipan. Kekurangan metode RDE yaitu hanya dapat menyisipkan 1 *bit* data pada satu pasangan piksel pada tiap lapisnya. Penelitian Muttaqi dan Ahmad [27] memiliki kapasitas terkecil dikarenakan pada penelitiannya hanya memproses *single layer*, sehingga tidak banyak *bit* data yang dapat disisipkan. Penelitian Ilham dkk [30] memiliki kapasitas lebih besar karena pada penelitiannya menggunakan skema penyisipan multilapis dengan melihat karakteristik gambar. Sedangkan penelitian Lou dkk. [21] menggunakan skema penyisipan multilapis tanpa melihat karakteristik gambar yang menghasilkan kapasitas lebih besar dibanding [27] dan [30].

Kapasitas penyisipan pesan dalam *bit per pixel (bpp)* disajikan pada Tabel 4.13 dan diilustrasikan dalam bentuk grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.15. Dari Gambar 4.15 juga dapat dilihat bahwa metode-metode yang diusulkan memperoleh nilai *bpp* yang lebih besar daripada tiga metode lainnya. Semakin

besar nilai *bpp* menunjukkan semakin besar pula setia citra piksel dapat menampung *bit* data.

Tabel 4.13 Perbandingan kapisatas penyisipan pesan dalam *bit per pixel*.

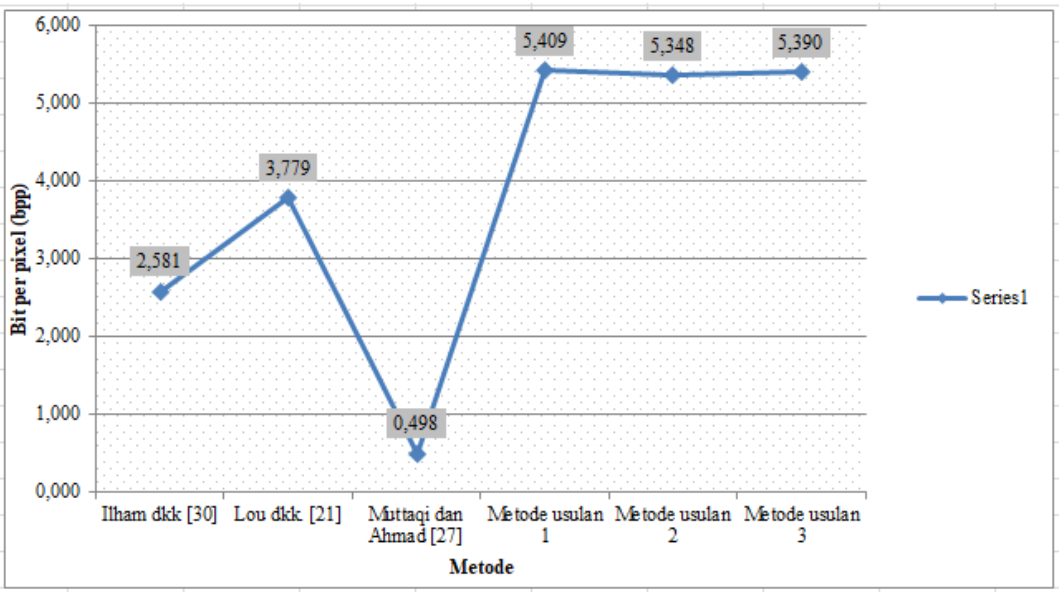
Citra Sampul	**Kapasitas *(bits)***					
	Ilham dkk. [30]	**Lou dkk.** [21]	**Muttaqi and Ahmad** [27]	**Metode usulan**		
				1	**2**	**3**
Airplane	2.902	3.854	0.500	5.696	5.630	5.661
Baboon	2.967	3.924	0.499	3.913	3.925	3.934
Boat	2.719	3.854	0.498	5.299	5.253	5.290
Peppers	1.959	3.638	0.498	5.630	5.625	5.638
Abdominal	2.330	3.329	0.495	6.782	6.693	6.712
Sandiego	2.498	3.869	0.500	5.586	5.568	5.576
Fruits	2.558	3.911	0.491	4.947	4.778	4.938
Car	2.715	3.856	0.499	5.417	5.314	5,369



Gambar 4.15 Grafik perbandingan kapisatas penyisipan pesan dalam *bit per pixel*.

Rata-rata *bpp* dari seluruh citra ujicoba disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.16. Dari grafik tersebut, metode usulan dengan menggunakan rata-rata

selisih piksel ketetanggaan memperoleh nilai *bpp* tertinggi dengan 5.409 bpp, kemudian metode usulan dengan kombinasi rata-rata dan median dari selisih piksel ketetanggaan memperoleh nilai *bpp* tertinggi kedua dengan 5.390 bpp. Selanjutnya metode usulan dengan median selisih piksel ketetanggaan memperoleh nilai 5.348 bpp. Hal ini menunjukkan metode yang diusulkan rata-rata dapat menyisipkan 5 *bit* data pada setiap pikselnya.



Gambar 4.16 Grafik nilai rata-rata *bpp* dari seluruh gambar

BAB 5
KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan dipaparkan mengenai kesimpulan yang dapat diambil dari metode yang diusulkan hingga hasil uji coba dan evaluasi. Penjelasan pada bab ini juga akan menjawab permasalahan yang telah dijabarkan pada Bab 1 sebelumnya. Selain itu disajikan pula saran-saran untuk pengembangan berikutnya di akhir bab ini.

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh setelah melewati proses percobaan dan evaluasi adalah sebagai berikut :

1. Implementasi logika *fuzzy* dapat mempengaruhi dan menentukan level penyisipan pada sebuah blok piksel. Dengan adanya level penyisipan, blok-blok yang memiliki kemungkinan untuk menurunkan PSNR secara drastis tidak akan diproses, sehingga kualitas citra *stego* dapat dipertahankan. Dengan skema penyisipan multilapis, penyisipan pesan dapat dilakukan beberapa kali sehingga berdampak pula pada peningkatan kapasitas penyisipan.

   Variabel fungsi keanggotaan yang diusulkan yaitu rata-rata, median serta kombinasi rata-rata dan median piksel ketetanggaan menghasilkan keluaran level penyisipan yang berbeda. Hal ini berdampak pula pada nilai PSNR yang dihasilkan. Dalam penelitian ini, secara keseluruhan penggunaan variabel dari kombinasi rata-rata dan median selisih piksel ketetanggaan menghasilkan rata-rata PSNR mencapai 60.263 dB, dimana nilai PSNR ini lebih baik dibanding penggunaan variabel rata-rata serta median piksel ketetanggaan serta tiga metode lainnya.
2. Penggunaan klaster piksel pada metode QGDEC yang dikombinasikan dengan logika *fuzzy* dapat meningkatkan kapasitas penyimpanan data secara signifikan. Karakteristik gambar berupa rata-rata, median serta kombinasi

rata-rata dan median dari selisih piksel ketetanggaan yang diproses menggunakan logika *fuzzy* dapat menentukan level penyisipan maksimum pada setiap blok, sehingga penyisipan data dapat diproses secara multilapis. Sesuai dengan hasil uji coba pada bab sebelumnya, metode usulan dari penggunaan logika *fuzzy* dan QGDEC memiliki kapasitas penyisipan terbesar dibanding tiga metode lainnya. Kapasitas terbesar dicapai oleh metode usulan dengan menggunakan rata-rata selisih piksel dengan rata-rata kapasitas maksimum sebesar 1.417.911 *bit*s dan 5.409 bpp.

3. Perancangan klaster piksel dengan cara membagi piksel ke dalam 64 klaster secara efektif dapat mereduksi selisih piksel yang dihasilkan, karena selisih piksel tidak akan lebih dari 3. Dari uji coba yang telah dipaparkan pada bab sebelumnya, metode yang diusulkan menghasilkan PSNR yang stabil dan lebih tinggi daripada tiga metode lainnya.

5.2 Saran

Saran yang dapat dipertimbangkan untuk pengembangan selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Pengembangan dari segi karakteristik gambar yang digunakan sebagai acuan untuk mencari level penyisipan.
2. Diperlukan perancangan *Fuzzy inference system (FIS)* yang bervariatif sehingga benar-benar menghasilkan output yang dapat meningkatkan kapasitas penyisipan dan nilai PSNR.
3. Penggunaan range dinamis, dimana metode yang diusulkan hanya menggunakan range statis.

DAFTAR PUSTAKA

[1] H. I. Dewangkoro, *Modifikasi Algoritma Controlling Expansion untuk Steganografi pada Citra*. Surabaya, Indonesia: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2018.

[2] T. Ahmad, M. Holil, W. Wibisono, and R. M. I, "An Improved Quad and RDE-based Medical Data Hiding Method," *2013 IEEE Int. Conf. Comput. Intell. Cybern.*, pp. 141–145, 2013.

[3] L. Amalia and T. Ahmad, "Pengembangan Metode Pengamanan Data Menggunakan Teknik Interpolasi antar Piksel dan Reduced Difference Expansion," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 13, no. 2, pp. 87–93, 2017.

[4] O. M. Al-qershi and B. E. Khoo, "High capacity data hiding schemes for medical images based on difference expansion," *J. Syst. Softw.*, vol. 84, no. 1, pp. 105–112, 2011.

[5] A. P. Rahardjo, *Penggunaan Klaster Piksel Untuk Meningkatkan Kinerja Reduced Difference Expansion*. Surabaya, Indonesia: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2014.

[6] P. Maniriho and T. Ahmad, "Enhancing the Capability of Data Hiding Method Based on Reduced Difference Expansion," *Eng. Lett. 261, EL_26_1_06*, no. February, 2018.

[7] P. H. Bawa, *Steganografi Menggunakan RDE Dan Fuzzy Logic Untuk Menentukan Embedding Level*. Surabaya, Indonesia: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2015.

[8] S. Sajasi and A. M. E. Moghadam, "A High Quality Image Steganography Scheme Based on Fuzzy Inference System," *13th Iran. Conf. Fuzzy Syst.*, vol. 13, pp. 1–6, 2013.

[9] Z. Ashraf, M. L. Roy, P. K. Muhuri, and Q. M. D. Lohani, "A Novel Image Steganography Approach Based on Interval Type-2 Fuzzy Similarity," *IEEE Int. Conf. Fuzzy Syst.*, vol. 18, pp. 1–8, 2018.

[10] A. Saleema and T. Amarunnishad, "A New Steganography Algorithm Using Hybrid Fuzzy Neural Networks," *Procedia Technol.*, vol. 24, pp. 1566–1574, 2016.

[11] Y. Tsai, D. Tsai, and C. Liu, "Reversible data hiding scheme based on neighboring pixel differences," *Digit. Signal Process.*, vol. 23, no. 3, pp. 919–927, 2013.

[12] N. Provos and P. Honeyman, “Hide and Seek : An Introduction to Steganography,” *IEEE Secur. Priv.*, vol. 3, pp. 32–44, 2003.

[13] D. Artz and L. A. National, “Steganography : Hiding Data within Data,” *IEEE Internet Comput.*, no. June, pp. 75–80, 2001.

[14] J. Tian, “Reversible Data Embedding Using a Difference Expansion,” *IEEE Trans. CIRCUITS Syst. VIDEO Technol.*, vol. 13, no. 8, pp. 890–896, 2003.

[15] P. Maniriho and T. Ahmad, “Information hiding scheme for digital images using difference expansion and modulus function,” *J. King Saud Univ. - Comput. Inf. Sci.*, vol. 31, no. 3, pp. 335–347, 2019.

[16] A. M. Alattar, “Reversible Watermark Using the Difference Expansion of a Generalized Integer Transform,” *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 13, no. 8, pp. 1147–1156, 2004.

[17] A. Arham, H. A. Nugroho, and T. B. Adji, “Multiple layer data hiding scheme based on difference expansion of quad,” *Signal Processing*, vol. 137, pp. 52–62, 2017.

[18] C. Lee, “Reversible Data Hiding Scheme Based on Difference Expansion Using Shiftable Block Strategy for Enhancing Image Fidelity,” *IEEE 10th Int. Conf. Aware. Sci. Technol.*, pp. 1–6, 2019.

[19] P. Maniriho and T. Ahmad, “A Data Hiding Approach Using Enhanced-RDE in Grayscale Images,” *Int. Conf. Adv. Mechatronics, Intell. Manuf. Ind. Autom.*, vol. 17, pp. 35–40, 2017.

[20] H. Yi, S. Wei, and H. Jianjun, “Improved Reduced Difference Expansion Based Reversible Data Hiding Scheme for Digital Images,” *Ninth Int. Conf. Electron. Meas. Instruments*, vol. 9., pp. 315–318, 2009.

[21] D. Lou, M. Hu, and J. Liu, “Multiple layer data hiding scheme for medical images,” *Comput. Stand. Interfaces 31*, vol. 31, pp. 329–335, 2009.

[22] J. Wang, N. Mao, X. Chen, J. Ni, and C. Wang, “Multiple histograms based reversible data hiding by using FCM clustering,” *Signal Processing*, vol. 159, pp. 193–203, 2019.

[23] F. R. Shareef, “A novel crypto technique based ciphertext shifting,” *Egypt. Informatics J.*, vol. 21, no. 2, pp. 83–90, 2020.

[24] S. A. Parah, F. Ahad, J. A. Sheikh, and G. M. Bhat, “Hiding clinical information in medical images : A new high capacity and reversible data hiding technique,” *J. Biomed. Inform.*, vol. 66, pp. 214–230, 2017.

[25] S. Yi, Y. Zhou, and Z. Hua, “Signal Processing : Image Communication Reversible data hiding in encrypted images using adaptive block-level prediction-error expansion,” *Signal Process. Image Commun.*, vol. 64, no. March, pp. 78–88, 2018.

[26] W. He, J. Cai, G. Xiong, and K. Zhou, “Improved reversible data hiding using pixel-based pixel value grouping,” *Opt. - Int. J. Light Electron Opt.*, 2017.

[27] S. R. Muttaqi and T. Ahmad, “A New Data Hiding Method for Protecting Bigger,” *12th Int. Conf. Inf. Commun. Technol. Syst.*, vol. 19, pp. 146–151, 2019.

[28] W. Wang, J. Ye, T. Wang, and W. Wang, “Reversible data hiding scheme based on significant-*bit*-difference expansion,” *IET Image Process.*, vol. 11, pp. 1002–1014, 2017.

[29] X. Yuan, Z. Liu, and E. S. Lee, “Center-of-gravity fuzzy systems based on normal fuzzy implications ☆,” *Comput. Math. with Appl.*, vol. 61, no. 9, pp. 2879–2898, 2011.

[30] A. J. Ilham, P. H. Bawa, and T. Ahmad, “Protecting Secret Data using RDE and Fuzzy Logic to Specify the Embedding Level,” *IEEE Int. Conf. Signal Image Process. Appl.*, vol. 19, pp. 254–258, 2019.

[31] “Dataset of Standard 512x512 Grayscale Test Images.” [Online]. Available: http://decsai.ugr.es/cvg/CG/base.htm. [Accessed: 07-May-2020].

[32] “The USC-SIPI Image Database.” [Online]. Available: http://sipi.usc.edu/database/database.php?volume=misc. [Accessed: 20-Apr-2020].

[33] “Partners Infectious Disease Images.” [Online]. Available: http://www.idimages.org/. [Accessed: 07-May-2020].

[halaman ini sengaja dikosongkan]

BIODATA PENULIS

Ahmad Juniar Ilham merupakan anak kedua dari empat bersaudara yang lahir pada tanggal 1 Januari 1991. Anak dari Drs. Mardawiyono dan Kamariyah. Penulis menempuh pendidikan di TK ABA III Banyuwangi (1996-1997), SDN 8 Kembiritan Banyuwangi (1998-2003), SMP Negeri 1 Genteng Banyuwangi (2003-2006), KMI Pondok Pesantren Darussalam Gontor (2007-2008), TMI Al-Amien Prenduan 2 Sumenep (2009-2010) dan Program Studi S1 Teknik Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang (2011-2015).Sebelum melanjutnya studi pascasarjana, penulis terlebih dahulu bekerja di BPJS Kesehatan cabang Malang. Pada saat studi pascasarjana, penulis memiliki ketertarikan dalam penelitian pada bidang jaringan terutama pada keamanan data (steganografi). Penulis dapat dihubungi via email di ahmadjuniarilham@gmail.com