



## Penyisipan Data Secara *Reversible* Pada Gambar Medis Menggunakan Metode *Difference Expansion of Quad* dan Fungsi Modulus

Aulia Arham<sup>✉1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Sistem Informasi UIN Imam Bonjol Padang  
[auliaarham@uinib.ac.id](mailto:auliaarham@uinib.ac.id)

Received 11 Februari 2024, Accepted 27 Maret 2024, Published 31 Maret 2024

### Abstrak

Pesatnya perkembangan *Internet of Things* (IoT) memberikan kemudahan dalam segala aspek, namun menimbulkan tantangan tersendiri, khususnya terkait keamanan data dan privasi. Kriptografi dan steganografi merupakan dua teknik yang digunakan untuk mengamankan data. Kriptografi melindungi informasi dengan mengenkripsi pesan, steganografi menyembunyikan keberadaan data pada media lain. Penyisipan data pada media sensitif seperti gambar medis membutuhkan metode khusus agar tidak terjadi kerusakan pada media yang dapat menyebabkan kerusakan. Kerusakan pada gambar medis dapat menyebabkan kesalahan diagnosis. Pada penelitian ini kami mengusulkan metode penyisipan data secara *reversible* yang dapat mengembalikan media penampung kedalam bentuk aslinya tanpa terjadi kerusakan menggunakan metode *Difference Expansion of Quad* dan Fungsi Modulus. Metode ini menggunakan blok  $2 \times 2$  piksel untuk menyisipkan 3-bit data. Berdasarkan eksperimen yang kami lakukan pada 6 gambar medis, metode yang diusulkan memiliki kapasitas penyisipan yang besar dengan kualitas visual gambar yang baik. Kapasitas penyisipan dari metode yang diusulkan dapat mencapai 0,4834 bpp dengan PSNR 49,4330 dB. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa metode yang diusulkan memiliki kinerja yang unggul dibandingkan dengan metode sebelumnya.

**Kata Kunci:** Kriptografi; Steganografi; Penyisipan *Reversible*, *Difference Expansion of Quad*, Fungsi Modulus.

### Abstract

The rapid advancement of the *Internet of Things* (IoT) brings convenience across various domains, but raises its own challenges, particularly concerning data security and privacy. Cryptography and steganography are two techniques used to secure data. Cryptography protects information by encrypting messages, while steganography hides the existence of data in other media. The embedding of data into other media like medical images necessitates specialized approaches to prevent potential distortion that may compromise their integrity. Distortion in medical images could lead to erroneous diagnoses. In this study, we introduce a reversible data embedding technique capable of returning storage media to its original state without distortion, utilizing the *Difference Expansion of Quad* and Modulus Function. This approach employs  $2 \times 2$  pixel blocks to embed 3-bits of data. Our experiments on six medical images demonstrate that the proposed method offers substantial embedding capacity while maintaining high visual quality. The embedding capacity can reach 0.4834 bits per pixel (bpp) with a PSNR of 49.4330 dB. Experimental findings indicate that the proposed method outperforms previous techniques.

**Keywords:** *Cryptography; Steganography; Reversible Embedding, Difference Expansion of Quad, Fungsi Modulus.*

---

✉ Corresponding author

## PENDAHULUAN

Pesatnya perkembangan *Internet of Things* (IoT) telah mempengaruhi berbagai bidang secara signifikan, menghadirkan aspek-aspek yang menguntungkan sekaligus memprihatinkan. Sisi positifnya, perkembangan IoT telah memberikan kenyamanan dan efisiensi yang besar di berbagai sektor. Ini telah menyederhanakan proses, meningkatkan otomatisasi, dan meningkatkan konektivitas, sehingga menghasilkan pengalaman yang lebih mudah diakses dan dipersonalisasi bagi pengguna [1], [2]. Dari rumah pintar hingga otomasi industri, layanan kesehatan, transportasi, dan lainnya, IoT telah merevolusi cara kita berinteraksi dengan teknologi dan data [3]. Namun, pertumbuhan pesat ini juga disertai dengan risiko dan tantangan tersendiri, khususnya terkait keamanan data dan privasi [4]. Sifat perangkat IoT yang saling terhubung, yang mengumpulkan, mengirimkan, dan memproses data dalam jumlah besar, menimbulkan kekhawatiran tentang keamanan informasi sensitif. Kerentanan dalam jaringan IoT berpotensi mengekspos data penting terhadap akses tidak sah, manipulasi, atau pencurian. Kelemahan dalam keamanan perangkat, langkah enkripsi yang tidak memadai, dan mekanisme otentikasi pengguna yang tidak memadai dapat membuat sistem rentan terhadap ancaman dan serangan dunia maya. Selain itu, ekosistem perangkat IoT yang beragam sering kali beroperasi dengan standar keamanan yang berbeda-beda, sehingga menimbulkan tantangan interoperabilitas dan meningkatkan potensi pelanggaran keamanan. Dengan semakin banyaknya perangkat yang terhubung ke internet, serangan terhadap penjahat dunia maya semakin meluas, sehingga meningkatkan risiko pelanggaran data, pelanggaran privasi, dan eksploitasi informasi pribadi.

Kriptografi dan steganografi adalah dua teknik yang digunakan untuk mengamankan data dengan cara yang berbeda [5]. Kriptografi adalah ilmu dan seni mengamankan informasi dengan mengubah teks biasa menjadi bentuk yang tidak terbaca atau sulit dipahami, disebut sandi, menggunakan algoritma tertentu. Ini melibatkan penggunaan kunci untuk mengenkripsi dan mendekripsi pesan sehingga hanya pihak yang memiliki kunci yang tepat yang dapat membaca informasi yang diamankan. Kriptografi sering kali digunakan dalam komunikasi online, sistem pembayaran digital, dan berbagai aplikasi keamanan data lainnya. Steganografi adalah praktik penyisipan pesan rahasia dalam data yang tampaknya tidak berbahaya atau tidak berarti, seperti gambar, audio, atau teks. Tujuan utamanya adalah untuk menyembunyikan keberadaan pesan sehingga hanya penerima yang dimaksud yang menyadari adanya pesan tersebut. Metode steganografi melibatkan penyisipan data rahasia ke dalam data yang ada, sering kali dengan cara yang tidak terlihat oleh mata manusia atau perangkat lunak deteksi. Kriptografi melindungi informasi dengan mengenkripsi pesan sehingga hanya penerima yang memiliki kunci yang tepat dapat membaca isinya, namun data terenkripsi menarik perhatian pihak penyerang karena kecurigaan terhadap data tersebut. Di sisi lain, steganografi tidak mengenkripsi pesan, tetapi menyembunyikannya di dalam data yang tampaknya biasa atau tidak mencurigakan [6], [7].

Dalam aplikasi penyisipan data pada gambar medis dibutuhkan suatu metode khusus, karena setiap bit informasi pada gambar merupakan informasi penting. Kerusakan pada gambar medis dapat menyebabkan kesalahan diagnosis [8]–[13]. Penggunaan metode tradisional seperti *Least Significant Bits* (LSB) atau penyisipan data pada domain frekuensi

dapat menyebabkan kerusakan secara permanen pada gambar setelah proses ekstraksi. *Reversible data hiding* (RDH) merupakan teknik yang memungkinkan untuk menyembunyikan data tambahan dalam gambar atau media lainnya tanpa mengorbankan keaslian atau kualitas gambar asli. Metode ini dapat mengembalikan gambar ke dalam bentuk aslinya tanpa terjadi kerusakan setelah proses ekstraksi data. Salah satu metode RDH yang populer beberapa tahun terakhir adalah *Difference Expansion* (DE) yang pertama kali kenalkan oleh Tian [14], [15].

Metode *Difference Expansion* (DE) merupakan salah satu pendekatan yang sederhana dan mudah diimplementasikan dalam penyisipan data pada gambar. Pendekatan ini mengoperasikan penyisipan data pada selisih pasangan piksel, yang mengakibatkan peningkatan nilai selisih tersebut. Meskipun sederhana, metode ini mampu memberikan kapasitas penyisipan yang baik dengan menjaga kualitas visual gambar yang dapat diandalkan. Beberapa penelitian kemudian mencoba untuk mengembangkan metode DE agar lebih efisien. Alattar dalam penelitiannya [16], [17], menggunakan blok piksel dengan ukuran  $1 \times 3$  dan  $2 \times 2$  dengan salah satu piksel sebagai acuan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan ini dapat meningkatkan kapasitas penyisipan data menggunakan metode DE. Penelitian lainnya, seperti yang dilakukan oleh Hsiao dkk. [18], mengusulkan penggunaan blok piksel dengan ukuran  $3 \times 3$ , yang juga terbukti mampu meningkatkan kapasitas penyisipan. Berbeda dengan pendekatan sebelumnya, Liu dkk. [19] dan Yi dkk. [20] mengusulkan metode untuk mengurangi peningkatan nilai selisih yang dihasilkan oleh penyisipan dari metode DE. Metode ini dikenal dengan nama *Reduced Difference Expansion* (RDE) dan *Improved Reduced Difference Expansion* (IRDE). Kedua metode ini berhasil meningkatkan kapasitas penyisipan dan kualitas visual gambar lebih baik dibandingkan metode sebelumnya.

Penelitian selanjutnya, seperti yang dilakukan oleh Ahmad dkk. [21], menggunakan blok  $2 \times 2$  dan mengurangi nilai selisih menggunakan metode RDE. Arham dkk. [8] dan Al Huti dkk. [22] juga melakukan modifikasi terhadap metode RDE dengan menggunakan blok  $2 \times 2$  dan  $4 \times 4$ . Syahlan dan Ahmad [23], menerapkan blok  $2 \times 2$  dan mengubah nilai perbedaan piksel dengan RDE yang dimodifikasi. Sejumlah peneliti juga mempertimbangkan karakteristik gambar dalam pendekatan mereka. Abdullah dan Manaf [24], misalnya, merekomendasikan penyisipan data pada area gambar yang lebih halus menggunakan metode DE. Maniriho dan Ahmad [7] mengusulkan penggunaan metode DE yang dikombinasikan dengan fungsi modulus pada area tersebut. Hossen dkk. [25] memperluas ukuran blok menjadi  $1 \times 3$ , yang berkontribusi pada kualitas gambar yang lebih baik meskipun mengurangi kapasitas penyisipan, dengan tujuan untuk meningkatkan kapasitas keseluruhan. Penelitian ini bertujuan untuk menyempurnakan metode sebelumnya yang diusulkan oleh Maniriho dan Ahmad [7] dan Hossen dkk. [25] menggunakan metode ekspansi perbedaan (DE) berdasarkan fungsi modulus. Tujuan utamanya adalah untuk meningkatkan kinerja dan kapasitas penyisipan sambil mempertahankan kualitas gambar stego yang tinggi.

## METODOLOGI

Beberapa tahun terakhir beberapa peneliti terus mengembangkan metode penyisipan data pada media lain untuk meningkatkan keamanan data. dengan tujuan yang sama, kami mengusulkan sebuah metode baru untuk menyisipkan data secara *reversible* menggunakan metode *Difference Expansion* (DE) dan fungsi modulus. Metode ini memungkinkan 3-bit data dapat disematkan pada blok  $2 \times 2$ . penyisipan data dilakukan pada selisih pasangan piksel dengan rentang nilai antara  $-2$  dan  $2$  ( $-2 \leq h \leq 2$ ), sesuai dengan metode yang telah diusulkan sebelumnya oleh Maniriho dan Ahmad [7]. Penyisipan pada rentang nilai tersebut

bertujuan untuk menjaga kualitas visual gambar setelah penyisipan. Blok dengan ukuran  $2 \times 2$  piksel yang digunakan bertujuan untuk meningkatkan kapasitas penyisipan.

**a) Penyisipan Data**

Pada proses penyisipan data, pertama gambar dibagi menjadi blok dengan ukuran  $2 \times 2$  dan direpresentasikan sebagai blok piksel  $p = (p_0, p_1, p_2, p_3)$ . selanjutnya menghitung nilai selisih pasangan piksel pada setiap blok dan disimpan pada vektor  $d = (d_0, d_1, d_2)$  menggunakan Persamaan. (1).

$$d = \begin{cases} d_0 = p_1 - p_0 \\ d_1 = p_2 - p_0 \\ d_2 = p_3 - p_0 \end{cases} \quad (1)$$

Setelah semua nilai selisih pasangan piksel pada setiap blok dihitung, selanjutnya dilakukan penelusuran nilai  $d$  untuk mengidentifikasi semua nilai yang memenuhi syarat penyisipan yaitu nilai  $d$  antara  $-2$  dan  $2$  ( $-2 \leq d \leq 2$ ). nilai yang memenuhi di klasifikasikan menjadi  $TE = 1$ , sebaliknya, jika  $d$  diluar rentang nilai tersebut diklasifikasikan menjadi  $TE = 0$ .  $TE$  adalah vektor *Table Embedding* yang nantinya digunakan untuk proses ekstraksi data. selanjutnya, bit data  $b$  disematkan menggunakan persamaan (2) hingga menghasilkan sebuah nilai selisih baru  $\tilde{d}$ . Nilai selisih baru  $\tilde{d}$  yang telah ditanamkan data digunakan untuk menghitung nilai piksel baru menggunakan persamaan (3) dan menghasilkan blok piksel baru  $\tilde{p}$ .

$$\tilde{d} = \begin{cases} \tilde{d}_0 = d_0 + b_i \\ \tilde{d}_1 = d_1 + b_{i+1} \\ \tilde{d}_2 = d_2 + b_{i+2} \end{cases} \quad (2)$$

$$\tilde{p} = \begin{cases} \tilde{p}_0 = p_0 \\ \tilde{p}_1 = p_1 + \tilde{d}_0 \\ \tilde{p}_2 = p_2 + \tilde{d}_1 \\ \tilde{p}_3 = p_3 + \tilde{d}_2 \end{cases} \quad (3)$$

**b) Ekstraksi Data**

Proses ekstraksi data hampir sama dengan proses penyisipan. pada proses ini, *Table Embedding* ( $TE$ ) yang didapat dari proses penyisipan digunakan untuk ekstraksi data. Proses pertama pada ekstraksi data adalah membagi gambar menjadi blok  $2 \times 2$ , kemudian masing-masing blok direpresentasikan menjadi vektor  $\tilde{p} = (\tilde{p}_0, \tilde{p}_1, \tilde{p}_2, \tilde{p}_3)$ . kemudian, dihitung nilai selisih antar piksel dalam setiap blok, nilai selisih disimpan pada vektor  $\tilde{d} = (\tilde{d}_0, \tilde{d}_1, \tilde{d}_2)$  menggunakan persamaan (4). Selanjutnya, lakukan ekstraksi data yang tertanam pada nilai selisih  $\tilde{d}$  menggunakan fungsi modulus dan *Table Embedding* ( $TE$ ) seperti yang diuraikan pada persamaan (5). Terakhir, rekonstruksi nilai selisih  $\tilde{d}$  menjadi bentuk aslinya  $d$  menggunakan persamaan (6) dan hitung nilai piksel asli  $p$  menggunakan persamaan (7).

$$\tilde{d} = \begin{cases} \tilde{d}_0 = \tilde{p}_1 - \tilde{p}_0 \\ \tilde{d}_1 = \tilde{p}_2 - \tilde{p}_0 \\ \tilde{d}_2 = \tilde{p}_3 - \tilde{p}_0 \end{cases} \quad (4)$$

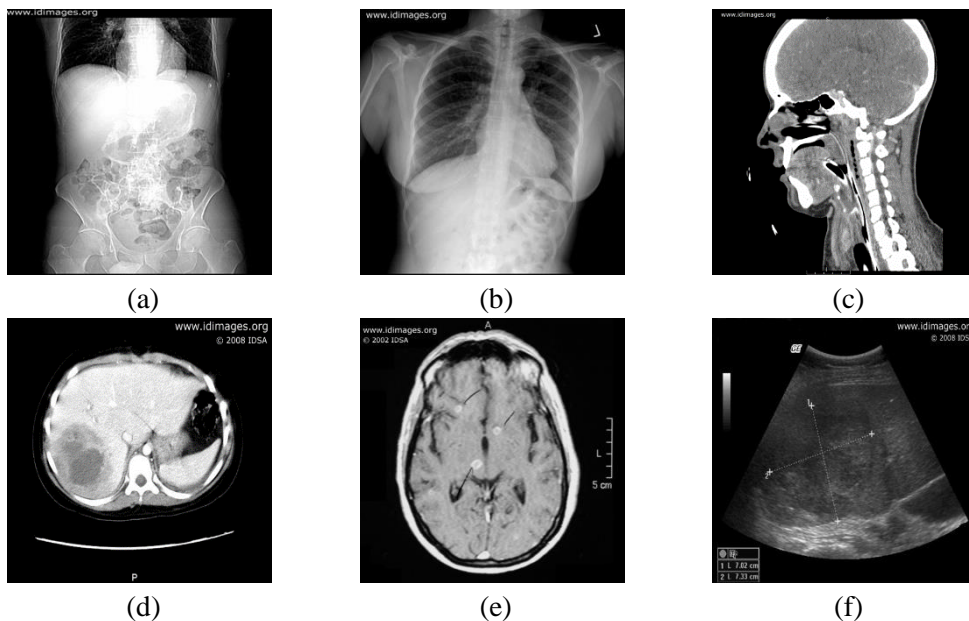
$$b = \begin{cases} b_i = \tilde{d}_0 \text{ mod } 2 & , \text{ if } TE = 1 \\ b_{i+1} = \tilde{d}_1 \text{ mod } 2 & , \text{ if } TE = 1 \\ b_{i+2} = \tilde{d}_2 \text{ mod } 2 & , \text{ if } TE = 1 \end{cases} \quad (5)$$

$$d = \begin{cases} d_0 = \left\lfloor \frac{\tilde{d}_0}{2} \right\rfloor & , \text{if } TE = 1 \\ d_1 = \left\lfloor \frac{\tilde{d}_1}{2} \right\rfloor & , \text{if } Te = 1 \\ d_2 = \left\lfloor \frac{\tilde{d}_2}{2} \right\rfloor & , \text{if } TE = 1 \end{cases} \quad (6)$$

$$p = \begin{cases} p_0 = \tilde{p}_0 \\ p_1 = \tilde{p}_1 - d_0 \\ p_2 = \tilde{p}_2 - d_1 \\ p_3 = \tilde{p}_3 - d_2 \end{cases} \quad (7)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam pengujian metode yang diusulkan, dilakukan penilaian menyeluruh untuk membandingkan kinerja, kapasitas muatan, dan kualitas visual dari teknik yang diusulkan terhadap metode yang ada sebagaimana diuraikan dalam referensi [7] dan [25]. Untuk melakukan evaluasi yang komprehensif, simulasi dilakukan menggunakan enam gambar medis skala abu-abu, yaitu Abdominal, X-Ray, Head, CT-Scan, MRI, dan US. Setiap gambar memiliki dimensi  $512 \times 512$  piksel dan diperoleh dari kumpulan data yang disediakan oleh [26], seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Prosedur eksperimental dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB versi 2022b yang dijalankan pada prosesor Intel Core i5 dengan kecepatan 2,9 GHz dan memori sebesar 8 GB. Penggunaan berbagai gambar medis dengan ukuran yang bervariasi memberikan keragaman dalam evaluasi, memungkinkan untuk menilai kinerja teknik dalam berbagai situasi klinis dan kondisi gambar yang berbeda.



Gambar 1. Empat gambar medis yang digunakan untuk uji coba (a) Abdominal (b) X-Ray (c) Head (d) CT-Scan (e) MRI (f) US

### a) Performa metode

Berdasarkan hasil percobaan yang telah dilakukan menunjukkan efektivitas dari proses penyisipan dan ekstraksi dari metode yang diusulkan. Kualitas gambar setelah penyisipan dapat terjaga dengan baik dan gambar dapat dikembalikan menjadi bentuk aslinya setelah ekstraksi tanpa terjadi kerusakan. Berdasarkan Tabel 1, waktu komputasi dari metode yang diusulkan lebih lambat dibandingkan dengan



Maniriho & Ahmad [7] dan Hossen dkk. [25], karena data yang disisipkan dengan metode yang diusulkan lebih tinggi dibandingkan metode lainnya. Namun, jika kita membandingkan kapasitas penyisipan dengan waktu komputasi masing-masing metode, metode yang diusulkan lebih cepat di seluruh percobaan kecuali pada gambar US. Pada gambar Head, metode yang diusulkan mampu menyisipkan 29.008 bit data per detik, sedangkan metode Maniriho & Ahmad [7] dan Hossen dkk. [25] hanya dapat menyisipkan 21.475 dan 24.642 bit data dalam 1 detik. pada gambar US, metode yang diusulkan mampu menyisipkan 27.793 bit data dan sedikit lebih rendah dibandingkan dengan Hossen dkk. [25] yang dapat menyisipkan 28.340 bit data per detik, namun lebih tinggi dibandingkan dengan Maniriho & Ahmad [7] yang hanya dapat menyisipkan 23.616 bit data per detik.

**Tabel 1. Perbandingan waktu komputasi dengan metode terdahulu**

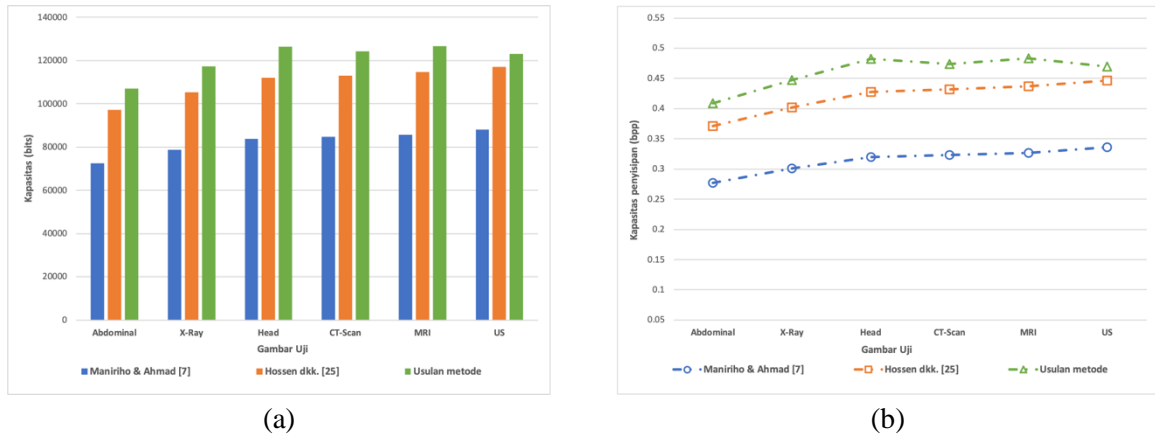
| Gambar    | Kapasitas (bits) |             |               | Waktu komputasi (detik) |             |               | Penyisipan data (1 detik) |             |               |
|-----------|------------------|-------------|---------------|-------------------------|-------------|---------------|---------------------------|-------------|---------------|
|           | Metode [7]       | Metode [25] | Usulan metode | Metode [7]              | Metode [25] | Usulan metode | Metode [7]                | Metode [25] | Usulan metode |
| Abdominal | 72.630           | 97.245      | 107.149       | 3,74                    | 4,12        | 4,35          | 19.430                    | 23.608      | 24.643        |
| X-Ray     | 78.824           | 105.310     | 117.277       | 3,87                    | 4,13        | 4,35          | 20.352                    | 25.492      | 26.954        |
| Head      | 83.839           | 112.097     | 126.361       | 3,90                    | 4,55        | 4,36          | 21.475                    | 24.642      | 29.008        |
| CT-Scan   | 84.668           | 113.135     | 124.217       | 3,73                    | 4,64        | 4,36          | 22.723                    | 24.387      | 28.464        |
| MRI       | 85.647           | 114.678     | 126.706       | 3,74                    | 4,12        | 4,34          | 22.918                    | 27.868      | 29.181        |
| US        | 88.138           | 117.102     | 123.099       | 3,73                    | 4,13        | 4,43          | 23.616                    | 28.340      | 27.793        |

**Tabel 2. Perbandingan kapasitas penyisipan dengan metode terdahulu**

| Gambar    | Kapasitas (bits) |             |               | Kapasitas penyisipan (bpp) |             |               |
|-----------|------------------|-------------|---------------|----------------------------|-------------|---------------|
|           | Metode [7]       | Metode [25] | Usulan metode | Metode [7]                 | Metode [25] | Usulan metode |
| Abdominal | 72.630           | 97.245      | 107.149       | 0,2771                     | 0,3710      | 0,4087        |
| X-Ray     | 78.824           | 105.310     | 117.277       | 0,3007                     | 0,4017      | 0,4474        |
| Head      | 83.839           | 112.097     | 126.361       | 0,3198                     | 0,4276      | 0,4820        |
| CT-Scan   | 84.668           | 113.135     | 124.217       | 0,3230                     | 0,4316      | 0,4739        |
| MRI       | 85.647           | 114.678     | 126.706       | 0,3267                     | 0,4375      | 0,4834        |
| US        | 88.138           | 117.102     | 123.099       | 0,3362                     | 0,4467      | 0,4696        |

### b) Kapasitas Penyisipan

Tabel 2 menyajikan jumlah bit data yang dapat disisipkan pada gambar dari metode yang diusulkan dan beberapa metode terdahulu. kapasitas penyisipan dalam bit per piksel (bpp) dihitung dari jumlah bit yang dapat disisipkan pada gambar dibagi dengan resolusi gambar. sementara itu Gambar 2 menunjukkan perbandingan antara metode yang diusulkan dan metode terdahulu. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, metode yang diusulkan secara konsisten menunjukkan kapasitas penyematan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan metode Maniriho & Ahmad [7] dan Hossen dkk. [25], seperti terlihat pada Tabel 2. Pada setiap pengujian kapasitas penyisipan dari metode yang diusulkan melampaui kedua metode terdahulu, seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Perbandingan metode yang diusulkan dan metode terdahulu (a) Jumlah pasangan piksel halus (b) Kapasitas penyisipan (bpp)

c) Kualitas Visual Gambar

Analisis kualitas visual dilakukan setelah penyisipan data. Evaluasi berfokus pada penilaian fidelitas dan persepsi gambar. Analisis ini bertujuan untuk memastikan penyisipan data tidak secara signifikan mempengaruhi kualitas visual gambar atau menimbulkan distorsi serta memahami hubungan antara kapasitas penyisipan dan kualitas visual dari gambar setelah penyisipan. Pada penelitian ini, Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) digunakan untuk membandingkan kualitas visual gambar menggunakan persamaan (8). Evaluasi dilakukan dengan berbagai ukuran data berkisar antara 1 kb hingga 130 kb dengan interval 10 kb. Terakhir, pengujian dijalankan dengan menyematkan data payload secara maksimal ke dalam gambar

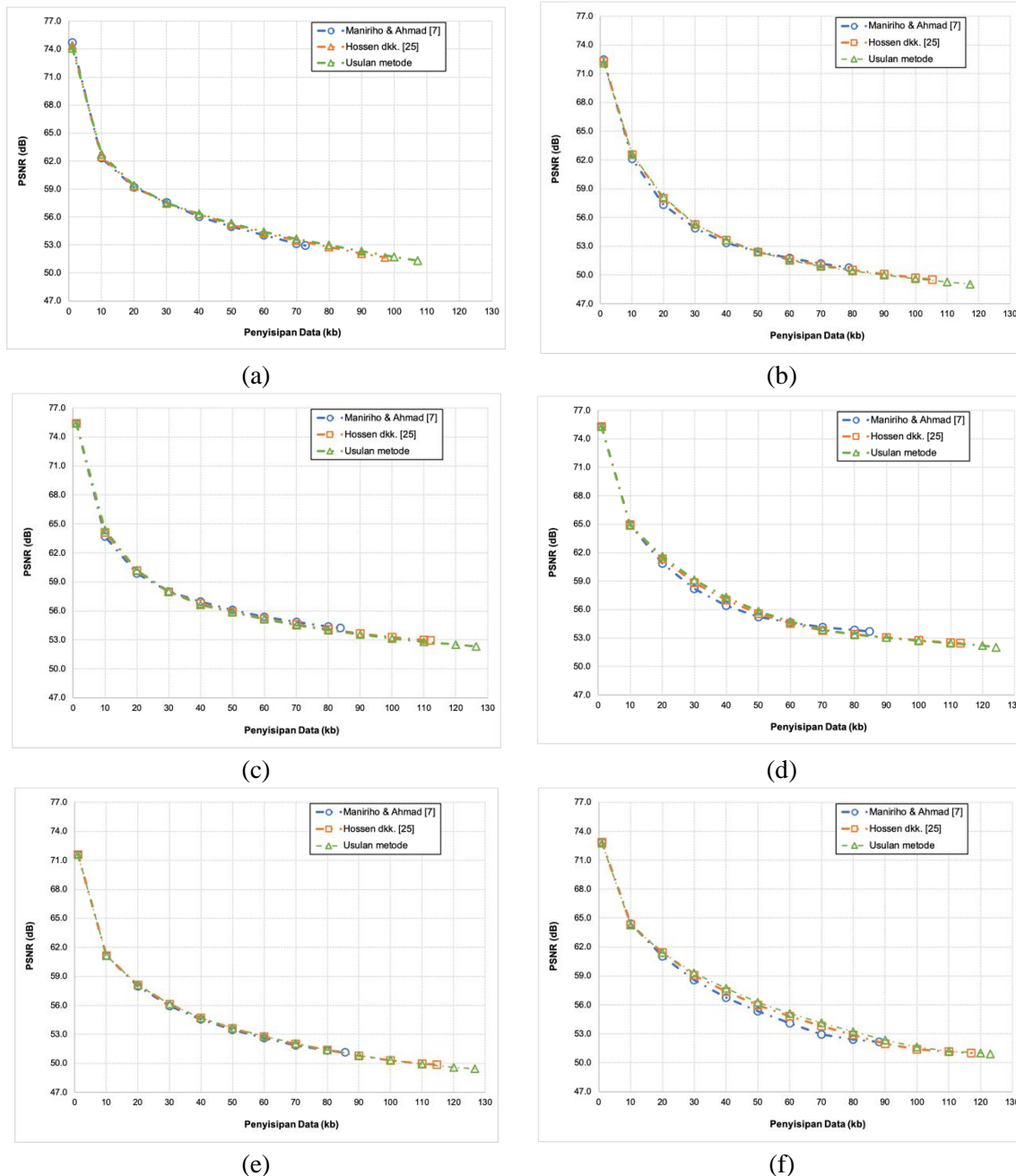
$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{\frac{1}{m \times n} \sum_i^{m-1} \sum_j^{n-1} |I(i,j) - I'(i,j)|^2} \tag{8}$$

Tabel 3. Perbandingan kualitas gambar stego menggunakan PSNR

| Gambar    | Kapasitas penyisipan (bpp) |             |               | PSNR (dB)  |             |               |
|-----------|----------------------------|-------------|---------------|------------|-------------|---------------|
|           | Metode [7]                 | Metode [25] | Usulan metode | Metode [7] | Metode [25] | Usulan metode |
| Abdominal | 0,2771                     | 0,3710      | 0,4087        | 52,9465    | 51,6935     | 51,3357       |
| X-Ray     | 0,3007                     | 0,4017      | 0,4474        | 50,7832    | 49,5361     | 49,0467       |
| Head      | 0,3198                     | 0,4276      | 0,4820        | 54,2163    | 52,9284     | 52,3327       |
| CT-Scan   | 0,3230                     | 0,4316      | 0,4739        | 53,6732    | 52,4583     | 52,0085       |
| MRI       | 0,3267                     | 0,4375      | 0,4834        | 51,1377    | 49,8746     | 49,4330       |
| US        | 0,3362                     | 0,4467      | 0,4696        | 52,1832    | 50,9946     | 50,8912       |

Nilai pengukuran PSNR untuk penyisipan data maksimum dapat dilihat pada Tabel 3 dan nilai pengukuran PSNR untuk berbagai ukuran data dapat dilihat pada Gambar. 3. Berdasarkan hasil yang diperoleh, terlihat bahwa semakin besar data yang disisipkan pada gambar maka kualitas gambar semakin menurun, tren ini terlihat pada Gambar 3. Pada pengujian ini, kami membandingkan metode yang diusulkan dengan pendekatan Maniriho & Ahmad [7] dan Hossen dkk. [25], menggunakan data yang sama untuk setiap tes, yang diilustrasikan pada gambar 3.

Hasil ini menunjukkan bahwa metode yang diusulkan menunjukkan kualitas visual yang setara, dengan perbedaan nilai PSNR pada setiap pengujian hampir sama dibandingkan dengan metode Maniriho & Ahmad [7] dan Hossen dkk. [25].



Gambar 3. Perbandingan metode yang diusulkan dan metode terdahulu dalam hal PSNR dengan ukuran penyisipan yang berbeda (a) Abdominal (b) X-Ray (c) Head (d) CT-Scan (e) MRI (f) US.

## SIMPULAN

Perkembangan *Internet of Things* (IoT) memberikan dampak yang signifikan di berbagai bidang, tidak hanya memberikan dampak positif namun juga menimbulkan risiko dan tantangan tersendiri, khususnya terkait keamanan data dan privasi. Kriptografi dan steganografi merupakan dua metode yang banyak digunakan dalam



keamanan data. Kriptografi mengamankan data dengan mengenkripsi dan steganografi menyembunyikan keberadaan data dengan menyisipkan data pada media lain. Dalam penyisipan data pada media sensitif seperti gambar medis, dibutuhkan sebuah metode khusus yaitu *Reversible Data Hiding* yang mampu mengembalikan data menjadi bentuk aslinya setelah proses ekstraksi data tanpa ada kerusakan. Pada penelitian ini, kami mengusulkan sebuah metode penyisipan pada gambar secara *reversible* menggunakan metode *difference expansion of quad* dan fungsi modulus. Penyisipan 3-bit data dapat dilakukan pada blok  $2 \times 2$ . Hasil percobaan menunjukkan, metode yang kami usulkan memiliki kapasitas yang lebih tinggi dibandingkan metode terdahulu dengan kualitas visual yang tetap terjaga.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. C. Islamy, T. Ahmad, and R. M. Ijtihadie, "Reversible data hiding based on histogram and prediction error for sharing secret data," *Cybersecurity*, vol. 6, no. 1, p. 12, 2023, doi: 10.1186/s42400-023-00147-y.
- [2] M. K. Shambour and A. Gutub, "Progress of IoT Research Technologies and Applications Serving Hajj and Umrah," *Arab. J. Sci. Eng.*, vol. 47, no. 2, pp. 1253–1273, 2022, doi: 10.1007/s13369-021-05838-7.
- [3] S. Namasudra, D. Devi, S. Kadry, R. Sundarasekar, and A. Shanthini, "Towards DNA based data security in the cloud computing environment," *Comput. Commun.*, vol. 151, pp. 539–547, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.comcom.2019.12.041.
- [4] A. A. Abba Ari *et al.*, "Enabling privacy and security in Cloud of Things: Architecture, applications, security & privacy challenges," *Appl. Comput. Informatics*, vol. 20, no. 1/2, pp. 119–141, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.aci.2019.11.005.
- [5] G. K. Murthy and T. Kanimozhi, "Methodologies in Steganography and Cryptography--Review," in *Modern Approaches in Machine Learning and Cognitive Science: A Walkthrough: Volume 4*, V. K. Gunjan, J. M. Zurada, and N. Singh, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2024, pp. 205–214.
- [6] E. Öztürk, A. Ş. Mesut, and Ö. A. Fıdan, "A character based steganography using masked language modeling," *IEEE Access*, p. 1, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3354710.
- [7] P. Maniriho and T. Ahmad, "Information hiding scheme for digital images using difference expansion and modulus function," *J. King Saud Univ. Inf. Sci.*, vol. 31, no. 3, pp. 335–347, 2019, doi: 10.1016/j.jksuci.2018.01.011.
- [8] 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, doi: 10.1016/j.sigpro.2017.02.001.
- [9] A. Arham and O. S. Riza, "Reversible Data Hiding Using Hybrid Method of Difference Expansion on Medical Image," *J. Ilm. Tek. Elektro Komput. dan Inform.*, vol. 6, no. 2, pp. 11–19, 2020, doi: 10.26555/jiteki.v6i2.16965.
- [10] A. Arham, H. A. Nugroho, and T. B. Adji, "Combination schemes Reversible Data Hiding for medical images," in *Proceedings - 2016 2nd International Conference on Science and Technology-Computer, ICST 2016*, 2017, pp. 44–49, doi: 10.1109/ICSTC.2016.7877345.
- [11] A. Arham and N. Lestari, "Secure medical image watermarking based on reversible data hiding with Arnold's cat map," *Int. J. Adv. Intell. Informatics; Vol 9, No 3 Novemb. 2023*, 2023, doi: 10.26555/ijain.v9i3.1029.
- [12] A. Arham and N. Lestari, "Arnold's cat map secure multiple-layer reversible watermarking," *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 33, no. 3, p. 1536, Mar. 2024, doi: 10.11591/ijeecs.v33.i3.pp1536-1545.

- [13] A. Arham, R. Rahmawati, and O. S. Riza, "Reversible Data Hiding pada Audio Digital Berbasis Difference Expansion," *Insearch Inf. Syst. Res. J.*, vol. 2, no. 01, pp. 28–35, 2022, doi: 10.15548/isrj.v2i01.4101.
- [14] J. Tian, "Reversible data embedding using a difference expansion," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 13, no. 8, pp. 890–896, 2003, doi: 10.1109/TCSVT.2003.815962.
- [15] J. Tian, "Wavelet-based reversible watermarking for authentication," in *Security and Watermarking of Multimedia Contents IV*, 2002, vol. 4675, pp. 679–690, doi: 10.1117/12.465329.
- [16] A. M. Alattar, "Reversible watermark using difference expansion of triplets," in *IEEE International Conference on Image Processing, ICIP'2003'*, 2003, vol. 1, pp. I-501–4 vol.1, doi: 10.1109/ICIP.2003.1247008.
- [17] A. M. Alattar, "Reversible watermark using difference expansion of quads," in *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 2004, vol. 3, pp. iii-377–80 vol.3, doi: 10.1109/ICASSP.2004.1326560.
- [18] J.-Y. Hsiao, K.-F. Chan, and J. M. Chang, "Block-based reversible data embedding," *Signal Processing*, vol. 89, no. 4, pp. 556–569, 2009, doi: 10.1016/j.sigpro.2008.10.018.
- [19] C.-L. Liu, D.-C. Lou, and C.-C. Lee, "Reversible Data Embedding Using Reduced Difference Expansion," in *Third International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing*, 2007, vol. 1, pp. 433–436, doi: 10.1109/IIH-MSP.2007.267.
- [20] H. Yi, S. Wei, and H. Jianjun, "Improved reduced difference expansion based reversible data hiding scheme for digital images," in *International Conference on Electronic Measurement & Instruments*, 2009, pp. 4–318, doi: 10.1109/ICEMI.2009.5274054.
- [21] T. Ahmad, M. Holil, W. Wibisono, and I. Royyana Muslim, "An improved Quad and RDE-based medical data hiding method," in *Proceeding - IEEE CYBERNETICSCOM 2013: IEEE International Conference on Computational Intelligence and Cybernetics*, 2013, pp. 141–145, doi: 10.1109/CyberneticsCom.2013.6865798.
- [22] M. H. A. Al Huti, T. Ahmad, and S. Djanali, "Increasing the capacity of the secret data using DEpixels blocks and adjusted RDE-based on grayscale images," in *International Conference on Information & Communication Technology and Systems*, 2015, pp. 225–230, doi: 10.1109/ICTS.2015.7379903.
- [23] Z. Syahlan and T. Ahmad, "Reversible data hiding method by extending reduced difference expansion," *Int. J. Adv. Intell. Informatics*, vol. 5, no. 2, pp. 101–112, 2019, doi: 10.26555/ijain.v5i2.351.
- [24] S. M. Abdullah and A. A. Manaf, "Multiple Layer Reversible Images Watermarking Using Enhancement of Difference Expansion Techniques," in *Networked Digital Technologies: Second International Conference, NDT 2010, Prague, Czech Republic, July 7-9, 2010. Proceedings, Part I 2*, 2010, pp. 333–342, doi: 10.1007/978-3-642-14292-5\_35.
- [25] M. S. Hossen, T. Ahmad, and N. J. D. L. Croix, "Data Hiding Scheme using Difference Expansion and Modulus Function," in *2023 2nd International Conference for Innovation in Technology (INOCON)*, 2023, pp. 1–6, doi: 10.1109/INOCON57975.2023.10100991.
- [26] "Partners Infectious Disease Images, Emicrobes Digital Library." <http://www.idimages.org/images/browse/ImageTechnique/> (accessed Jan. 09, 2024).