**IMPLEMENTASI SISTEM *WATERMARK‎‎‎‎ING* TAK TERLIHAT PADA BAHAN AJAR DIGITAL MENGGUNAKAN KOMBINASI *QR CODE‎* DAN *STEGANOGRAFI* CITRA (METODE LSB)**

**PROPOSAL**

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Mendapatkan

Gelar Sarjana Komputer (S.Kom) Program Studi Informatika



**ARIKAL KHAIRAT**

**105841108421**

**PROGRAM STUDI INFORMATIKA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**

# 2025

# KATA PENGANTAR

***Assalamu’Alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh***

Segala Puji bagi Allah SWT atas limpahan rahmat, kesehatan dan kekuatannya sehingga proposal skripsi dengan judul “IMPLEMENTASI SISTEM *WATERMARK‎‎ING* TAK TERLIHAT PADA BAHAN AJAR DIGITAL MENGGUNAKAN KOMBINASI *QR CODE‎* DAN *STEGANOGRAFI* (METODE LSB)” ini dapat penulis selesaikan sebagaimana salah satu syarat untuk penyusunan Skripsi Program Studi Informatika. Shalawat dan junjungan Nabi Besar Muhammad SAW sebagai uswatun hasanah dan rahmatan lil alamin.

Dengan segala kerendahan hati, penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan doa selama proses penyusunan proposal ini, khususnya kepada:

1. Kedua orang tua serta saudara-saudari tercinta, penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga atas segala doa yang selalu mengiringi setiap langkah, semangat yang tak pernah padam, serta dukungan moral dan material yang tiada henti. Tanpa kasih sayang, pengorbanan, dan ketulusan mereka, penulis tidak akan mampu mencapai titik ini. Setiap pencapaian yang diraih adalah buah dari cinta dan perjuangan mereka yang luar biasa.
2. **Bapak Muhyiddin AM Hayat, S.Kom., M.T.**, selaku Ketua Program Studi Informatika sekaligus Dosen Pembimbing II, penulis menyampaikan penghormatan dan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya atas bimbingan, arahan, serta motivasi yang telah beliau berikan dengan penuh kesabaran dan dedikasi.
3. **Ibu Titin Wahyuni, S.Pd., M.T.**, selaku Dosen Pembimbing I, penulis menghaturkan rasa terima kasih atas kesabaran, ketelitian, dan perhatian beliau dalam membimbing penulis melalui setiap tahapan penyusunan proposal ini.
4. Seluruh Dosen dan Staf Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar atas ilmu dan bantuan yang diberikan selama masa studi penulis.
5. Kepada teman-teman seperjuangan, khususnya rekan-rekan angkatan 2021 Informatika Universitas Muhammadiyah Makassar, penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang tulus atas kebersamaan, dukungan, dan semangat yang telah terjalin selama masa perkuliahan. Tawa, lelah, diskusi hingga larut malam, serta perjuangan bersama dalam menyelesaikan setiap tantangan menjadi kenangan yang tak ternilai. Terima kasih telah menjadi bagian dari perjalanan ini dan saling menguatkan satu sama lain di setiap langkah.

Demikian laporan skripsi ini penulis buat, dan penulis sadar bahwa laporan ini masih memiliki banyak kekurangan di dalamnya olehnya itu saran dan kritik yang sifatnya membangun dari pembaca sangat penulis harapkan untuk kesempurnaan kedepannya.

***Billahi fi sabililhaq, fastabiqul khairat.***

***Wassalamu’Alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.***

Makassar, 07 Mei 2025

Arikal Khairat

# DAFTAR ISI

[HALAMAN SAMPUL i](#_Toc200548834)

[KATA PENGANTAR ii](#_Toc200548835)

[DAFTAR ISI iv](#_Toc200548836)

[DAFTAR TABEL v](#_Toc200548837)

[DAFTAR GAMBAR vi](#_Toc200548838)

[DAFTAR ISTILAH vii](#_Toc200548839)

[BAB I PENDAHULUAN 1](#_Toc200548840)

[A. Latar Belakang 1](#_Toc200548841)

[B. Rumusan Masalah 3](#_Toc200548842)

[C. Tujuan Penelitian 3](#_Toc200548843)

[D. Manfaat Penelitian 3](#_Toc200548844)

[E. Ruang Lingkup Penelitian 4](#_Toc200548845)

[F. Sistematika Penulisan 4](#_Toc200548846)

[BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5](#_Toc200548847)

[A. Landasan Teori 5](#_Toc200548848)

[B. Penelitian Terkait 8](#_Toc200548849)

[C. Kerangka Berpikir 13](#_Toc200548850)

[BAB III METODE PENELITIAN 15](#_Toc200548851)

[A. Tempat dan Waktu Penelitian 15](#_Toc200548852)

[B. Alat dan Bahan 15](#_Toc200548853)

[C. Perancangan Sistem 16](#_Toc200548854)

[D. Teknik Pengujian Sistem 21](#_Toc200548855)

[E. Teknik Analisis Data 21](#_Toc200548856)

[DAFTAR PUSTAKA 24](#_Toc200548857)

# DAFTAR TABEL

[Tabel 1. Penelitian Terkait 8](#_Toc197288207)

[Tabel 2. Jadwal Penelitian 15](#_Toc197288208)

# DAFTAR GAMBAR

[Gambar 1. Kerangka Berpikir 14](#_Toc200549081)

[Gambar 2. Flowchart Proses Penyisipan 17](#_Toc200549082)

[Gambar 3. Flowchart Proses Ekstraksi 19](#_Toc200549083)

# DAFTAR ISTILAH

|  |  |
| --- | --- |
| ***Watermark‎‎ing*** | Teknik penyisipan informasi *(watermark‎‎)* ke dalam data digital untuk proteksi hak cipta, autentikasi, dan pelacakan integritas data. |
| ***Steganografi*** | Ilmu dan seni menyembunyikan pesan rahasia di dalam media lain sehingga keberadaan pesan tersebut tidak terdeteksi. |
| ***Invisible‎‎ Watermark‎‎ing*** | Teknik *watermark‎‎ing* di mana tanda air disembunyikan sehingga tidak mengganggu persepsi visual media asli. |
| ***Least Significant Bit (LSB)*** | Metode *steganografi* yang mengganti bit terakhir dari data piksel citra penampung dengan bit dari pesan rahasia atau *watermark‎‎*. |
| ***QR Code‎*** | Kode batang dua dimensi yang mampu menyimpan berbagai jenis informasi dalam format visual yang dapat dipindai dengan cepat. |
| ***Imperceptibility*** | Ketidakterlihatan; dalam konteks penelitian ini, mengacu pada kualitas *watermark‎‎* yang tidak terlihat oleh mata manusia. |
| ***Cover Image*** | Citra penampung, yaitu media (gambar) yang digunakan untuk menyembunyikan pesan atau *watermark‎‎*. |
| ***Stego Image*** | Citra yang dihasilkan setelah proses penyisipan *watermark‎‎*, yang secara visual identik dengan citra asli namun mengandung data tersembunyi. |
| ***Stego Key*** | Kunci *steganografi*, digunakan untuk menentukan urutan piksel target dalam proses penyisipan atau ekstraksi *watermark‎‎*. |
| ***Payload*** | Muatan; dalam konteks penelitian ini, mengacu pada informasi hak cipta yang akan disembunyikan dalam *QR Code‎*. |
| ***MSE (Mean Squared Error)*** | Metrik untuk mengukur perbedaan kuantitatif antara dua citra. |
| ***PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio)*** | Metrik untuk mengukur kualitas citra setelah penyisipan *watermark‎‎*. Nilai PSNR yang tinggi mengindikasikan kualitas yang baik |

# BAB I PENDAHULUAN

## Latar Belakang

Era digital telah merevolusi cara penyampaian informasi, termasuk dalam dunia pendidikan melalui penggunaan bahan ajar digital yang semakin masif, kemudahan akses dan potensi interaktif yang ditawarkan menjadikan materi pembelajaran digital sebagai pilihan populer, memungkinkan penyajian materi yang lebih menarik (Faisal et al., 2020). Akan tetapi, kemudahan dalam mendistribusikan konten digital ini juga membuka celah terhadap isu keamanan, terutama terkait perlindungan hak kekayaan intelektual. Materi seperti modul elektronik, gambar ilustrasi, atau video pembelajaran menjadi sangat rentan terhadap tindakan penyalinan, perubahan, dan pemanfaatan ilegal tanpa atribusi yang layak kepada pencipta aslinya (Wulandari, 2024). Kondisi ini tidak hanya berpotensi menimbulkan kerugian bagi pengembang konten, tetapi juga dapat membahayakan integritas informasi jika konten tersebut dimanipulasi, misalnya melalui teknik *copy-move*, *splicing*, atau *retouching* (Fadlika Satria et al., 2021).

Menjawab tantangan ini, berbagai metode pengamanan data digital telah ‎dikembangkan. Menurut Yanti & Budayawan (2023), Teknik kriptografi dapat menyandikan data ‎menggunakan algoritma seperti Vigenere Cipher ‎atau AES, namun keberadaan data tersandi itu sendiri bisa terdeteksi. Sebagai ‎alternatif, teknik steganografi dan *Watermark‎ing* bertujuan menyembunyikan ‎informasi autentikasi atau kepemilikan langsung di dalam media digital itu ‎sendiri, termasuk untuk aset budaya seperti batik, *watermark‎ing* secara khusus berfungsi untuk menandai konten digital guna membuktikan keaslian dan kepemilikan (WIDIYONO et al., 2021).

Terdapat dua pendekatan utama dalam *watermark‎‎ing* yaitu *visible‎* dan *invisible‎‎.* Meskipun *visible‎ watermark‎‎* dapat secara jelas menunjukkan kepemilikan, penempatannya sering kali mengurangi nilai estetika, dan kenyamanan pengguna pada bahan ajar. Sebaliknya, *invisible‎‎ watermark‎‎ing ‎* menawarkan solusi dengan menyisipkan data secara tersembunyi tanpa mengubah kualitas visual konten secara kasat mata Gultom & Suhartana (2023), sehingga integritas tampilan bahan ajar tetap terjaga dan keasliannya dapat diverifikasi saat diperlukan.

*Least Significant Bit (LSB)* adalah teknik steganografi yang umum digunakan untuk menyisipkan dan mengekstrak informasi rahasia dalam media digital. Menurut Nur Aqsal Aminullah et al. (2022) Cara kerja metode LSB yaitu mengubah bit terakhir (bit yang paling tidak signifikan) dari data piksel citra penampung *(cover image)* yang tidak berpengaruh signifikan dengan bit dari gambar sebelumnya. Metode ini banyak digunakan dalam *invisible‎‎* *watermark‎ing* karena implementasinya yang relatif mudah dan cepat, kemampuan menyisipkan data dalam jumlah cukup besar, serta efek minim terhadap persepsi visual citra penampung Aditya Permana & Amma (2022). Berbagai studi telah menunjukkan kelayakan LSB untuk penyembunyian informasi pada citra digital, baik untuk pesan teks maupun citra *watermark‎*, (Afsari et al., 2022).

Seiring dengan teknologi, *Quick Response* *(QR)* *Code* telah diadopsi secara luas sebagai cara praktis untuk menyimpan dan mengakses beragam jenis data melalui pemindaian dengan perangkat mobile. Fleksibilitas dan kapasitas penyimpanan *QR Code‎* menjadikannya komponen yang potensial untuk diintegrasikan dalam sistem keamanan data (Ferdiansyah et al., 2021).  Menggabungkan *QR Code‎* dengan *steganografi ‎* LSB membuka peluang baru untuk proteksi bahan ajar digital, di mana *QR Code‎* dapat berfungsi sebagai pembawa informasi yang kemudian disisipkan secara tersembunyi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan sebuah sistem *invisible‎‎‎ watermark‎‎ing ‎* yang dirancang khusus untuk melindungi bahan ajar digital. Sistem ini akan memanfaatkan kombinasi *QR Code‎*, yang berfungsi sebagai pembawa informasi *watermark‎‎* (detail hak cipta atau tautan verifikasi), dengan metode *steganografi* LSB untuk menyembunyikan *QR Code‎* tersebut ke dalam elemen visual (citra) pada bahan ajar. Diharapkan, pendekatan ini mampu menyediakan lapisan keamanan tak terlihat yang efektif untuk melindungi hak cipta para pengembang materi pendidikan digital, terutama dokumen bahan ajar digital dari berbagai jenjang dan bidang pendidikan, tanpa mengorbankan kualitas visual dan kenyamanan belajar pengguna. Fokus utama adalah pada implementasi dan mengetahui kinerja sistem dalam hal penyisipan dan ekstraksi *watermark‎‎‎* secara akurat.

## Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana implementasi sistem *watermark‎‎‎‎ing‎* tak terlihat pada bahan ajar digital menggunakan kombinasi *Quick Response (QR)* code sebagai muatan *watermark‎‎ ‎*dan metode *steganografi Least Significant Bit (LSB)*?
2. Sejauh mana tingkat kinerja metode kombinasi *QR Code‎* dan LSB dalam konteks *watermark‎‎‎‎ing‎* tak terlihat pada bahan ajar digital, khususnya dalam hal *imperceptibility* (ketidakterlihatan)?

## Tujuan Penelitian

1. Untuk mengimplementasikan sistem *watermark‎‎‎ing‎* tak terlihat pada bahan ajar digital dengan menggabungkan *Quick Response (QR) Code* sebagai muatan *watermark‎‎ ‎‎*dan metode *steganografi Least Significant Bit (LSB)* sebagai teknik penyisipan data.
2. Untuk mengetahui tingkat kinerja dari metode kombinasi *QR Code‎* dan LSB dalam konteks *watermark‎‎‎‎ing‎* tak terlihat, khususnya dalam aspek *imperceptibility* (ketidakterlihatan) terhadap kualitas visual bahan ajar digital.

## Manfaat Penelitian

1. Bagi Penulis

Menambah wawasan dan pemahaman penulis mengenai teknik *watermark‎‎ing‎* digital, khususnya yang menggunakan kombinasi *QR Code‎* dan metode *steganografi Least Significant Bit (LSB).*

1. Bagi Pembaca

Menjadi referensi bagi peneliti, akademisi, maupun pengembang sistem dalam mengembangkan teknologi perlindungan hak cipta berbasis *steganografi* dan *QR Code‎.*

## Ruang Lingkup Penelitian

1. Penelitian ini dibatasi pada bahan ajar digital yang mengandung gambar, karena metode steganografi LSB pada penelitian ini diterapkan khusus pada citra digital. Bahan ajar non-gambar, seperti dokumen teks atau PDF tanpa elemen visual, tidak termasuk dalam ruang lingkup penelitian.
2. Fokus penelitian adalah pada perlindungan bahan ajar digital dari tindakan penyalinan secara digital. Penelitian ini tidak mencakup pengamanan terhadap bahan ajar yang telah dicetak atau dipindai, karena *watermark‎* LSB tidak dapat dipertahankan pada media non-digital.

## Sistematika Penulisan

Secara garis besar penulisan laporan tugas akhir ini terbagi menjadi beberapa bab yang tersusun sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menerangkan secara singkat dan jelas mengenai latar belakang penulisan penelitian tugas akhir, rumusan masalah, tujuan dan manfaat, batasan permasalahan, metodologi yang digunakan dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini membahas tentang teori-teori yang melandasi penulis dalam melaksanakan penelitian.

BAB III METODE PENELITIAN

Membahas tentang metode penelitian dan alat yang digunakan untuk pembuatan sistem.

# BAB II TINJAUAN PUSTAKA

## Landasan Teori

1. Bahan Ajar Digital

Bahan ajar merupakan komponen esensial dalam proses pembelajaran, berfungsi sebagai materi atau substansi yang disusun sistematis untuk membantu guru dan siswa mencapai kompetensi pembelajaran. Di era digital, bahan ajar bertransformasi ke dalam format digital, menawarkan keunggulan seperti kemudahan akses, distribusi, dan potensi interaksi melalui multimedia (Antika et al., 2022). Namun, sifat digitalnya juga membawa tantangan terkait kemudahan penggandaan dan modifikasi ilegal, sehingga memerlukan mekanisme perlindungan hak cipta (Fathanudien & Maharani, 2023).

1. *Watermark‎‎ing ‎*

*Watermark‎‎ing* adalah teknik penyisipan informasi (*watermark‎‎‎‎*) ke dalam data digital (citra, audio, atau video) dengan tujuan utama untuk proteksi hak cipta, autentikasi (pembuktian keaslian), dan pelacakan integritas data (WIDIYONO et al., 2021). *Watermark‎‎ ‎‎*dapat berupa teks, logo, atau data biner lainnya yang mengidentifikasi pemilik atau keaslian konten. Berdasarkan visibilitasnya, *watermark‎‎ing* dibagi menjadi *visible‎ ‎‎‎watermark‎‎ing*, di mana tanda air terlihat jelas pada media, dan *invisible‎‎ ‎‎‎watermark‎‎ing* (tak terlihat), di mana tanda air disembunyikan sehingga tidak mengganggu persepsi visual media asli (Gultom & Suhartana, 2023). Penelitian ini berfokus pada **penerapan *invisible‎ watermarking‎* menggunakan metode *Least Significant Bit (LSB)*** dalam upaya perlindungan hak cipta pada bahan ajar digital.

1. Citra Digital

Citra digital adalah gambar dua dimensi yang diubah dari bentuk sinyal analog menjadi bentuk digital melalui proses yang disebut sampling. Proses ini memecah gambar menjadi bagian-bagian kecil yang disebut piksel. Setiap piksel menyimpan angka yang menunjukkan tingkat kecerahan atau warna, sehingga gambar tersebut bisa disimpan dan diolah oleh komputer.

Pengolahan citra digital adalah proses mengubah atau memanipulasi gambar digital agar kualitasnya menjadi lebih baik atau agar informasi di dalamnya lebih mudah dipahami oleh manusia maupun komputer. Proses ini dimulai dari membaca gambar sebagai input, lalu dilakukan serangkaian pengolahan, dan hasil akhirnya berupa gambar yang sudah dimodifikasi atau informasi penting dari gambar tersebut. Teknik ini memiliki banyak kelebihan, seperti pemrosesan yang cepat, mudah diterapkan, dan tidak merusak gambar aslinya (Devi & Rosyid, 2022).

1. *Steganografi ‎*

*Steganografi* berasal dari bahasa Yunani yang berarti "tulisan tersembunyi". Ini adalah ilmu dan seni menyembunyikan keberadaan pesan rahasia di dalam media lain (disebut *cover object* atau media penampung) sedemikian rupa sehingga keberadaan pesan tersebut tidak terdeteksi oleh pihak ketiga. Berbeda dengan kriptografi yang menyandikan pesan tetapi tidak menyembunyikan fakta adanya komunikasi rahasia, *steganografi ‎* bertujuan agar komunikasi rahasia itu sendiri tidak diketahui (Irawan & Pujianto, 2020). Teknik *invisible‎‎ watermark‎‎‎‎ing ‎*sering kali menggunakan prinsip-prinsip *steganografi‎* untuk menyembunyikan data *watermark‎‎*.

1. Metode *Least Significant Bit (LSB)*

*Least Significant Bit (LSB)* adalah salah satu metode *steganografi* domain spasial yang paling umum dan sederhana. Prinsip kerjanya adalah mengganti bit terakhir (bit yang paling tidak signifikan) dari data piksel citra penampung *(cover image)* dengan bit dari pesan rahasia atau *watermark‎‎*. Karena perubahan hanya terjadi pada bit yang memiliki kontribusi paling kecil terhadap nilai total piksel, modifikasi ini umumnya tidak terdeteksi oleh mata manusia *(imperceptible)* (Purbaningrum et al., 2023). Kelebihan LSB adalah kesederhanaan implementasi dan kapasitas penyisipan yang relatif tinggi (Afsari et al., 2022).

1. *Quick Response (QR) Code*

*QR Code‎* adalah jenis kode batang dua dimensi yang mampu menyimpan berbagai jenis informasi (numerik, alfanumerik, biner) dalam format visual yang dapat dipindai dengan cepat menggunakan kamera, biasanya pada perangkat seluler. Strukturnya yang khas, termasuk *finder patterns* dan *alignment patterns*, memungkinkan pemindaian dari berbagai sudut (Ferdiansyah et al., 2021). Kemampuannya untuk mengkodekan data dalam jumlah yang relatif besar dalam ruang visual yang kecil menjadikannya media yang menarik untuk membawa informasi *watermark‎‎* yang kemudian dapat disembunyikan menggunakan *steganografi ‎*.

1. Kombinasi *QR Code‎* dan *Steganografi ‎* LSB

Penggabungan *QR Code‎* dan LSB menghasilkan metode yang memanfaatkan keunggulan *QR Code‎* sebagai wadah informasi yang ringkas dan LSB sebagai metode penyembunyian tak terlihat. Informasi *watermark‎‎ ‎‎*(data hak cipta, URL verifikasi, identitas pembuat) pertama-tama dikodekan ke dalam sebuah *QR Code‎*. Citra *QR Code‎* ini kemudian diperlakukan sebagai data rahasia yang akan disisipkan ke dalam bit-bit LSB dari piksel-piksel citra yang terdapat dalam bahan ajar digital. Sebagaimana dijelaskan oleh Alajmi et al. (2020), *QR Code* memiliki struktur biner yang padat, toleransi tinggi terhadap kerusakan, dan validitas tetap terjaga meskipun membawa pesan tersembunyi, menjadikannya medium yang sangat efektif untuk steganografi dan penyisipan payload tak terlihat.

Dibandingkan dengan penyisipan pesan berbentuk teks biasa, *QR Code‎* menawarkan keunggulan signifikan dalam` konteks steganografi. Struktur dua dimensinya yang padat memungkinkan penyimpanan data kompleks dalam ukuran kecil, serta tahan terhadap kerusakan parsial yang bisa merusak pesan jika menggunakan teks biasa. Selain itu, *QR Code‎* dapat langsung diverifikasi secara visual menggunakan pemindai, mempercepat proses autentikasi informasi setelah diekstraksi. Dengan demikian, penggunaan *QR Code‎* dalam metode LSB tidak hanya meningkatkan efisiensi ruang, tetapi juga memperkuat keamanan dan keandalan dalam sistem *watermark‎ing* tak terlihat (Ferdiansyah et al., 2021).

1. *Python‎*

Tujuan yang ingin dicapai adalah menciptakan perangkat lunak *steganografi* menggunakan *Python‎*. Perangkat lunak ini dirancang untuk menyembunyikan pesan atau informasi di dalam file gambar PNG, dengan harapan file gambar yang dihasilkan tetap mempertahankan kualitas visual yang serupa dengan file aslinya. *Python‎* sendiri merupakan bahasa pemrograman yang banyak digunakan oleh pengembang dan juga mendukung komputasi serta visualisasi gambar (Aditya Permana & Amma, 2022).

## Penelitian Terkait

Penelitian ini disusun dengan merujuk pada berbagai studi terdahulu yang relevan dengan permasalahan yang diangkat, khususnya yang berkaitan dengan latar belakang skripsi ini. Adapun beberapa penelitian yang terkait antara lain sebagai berikut:

Tabel 1. Penelitian Terkait

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Penelitian | Tujuan/Kasus | Metode | Hasil |
| Penyisipan Watermark Menggunakan Metode LSB (Least Significant Bit) untuk Autentikasi Citra Medis, (Alveda et al., 2024) | Menyisipkan *watermark‎‎* pada citra medis digital untuk tujuan autentikasi, tanpa mengganggu informasi penting pada citra tersebut. | Menggunakan metode LSB *steganografi* dan menyisipkan *watermark‎‎* pada Region of Non-Interest (RONI), yaitu area yang tidak mengandung informasi penting atau sensitif. | *Watermark‎‎* berhasil disisipkan dengan baik dan tetap dapat diekstrak setelah citra mengalami gangguan seperti noise, menunjukkan robustness sistem terhadap interferensi eksternal. |
| Penerapan Steganografi dan Visible Watermarking Pada Gambar Digital Untuk Perlindungan Hak Cipta, (Gultom & Suhartana, 2023) | Menganalisis efektivitas kombinasi dua pendekatan *watermark‎‎ing ‎* dalam melindungi citra digital. | Penggabungan metode ***visible‎* *watermark‎‎ing ‎*** (yang terlihat langsung) dan ***invisible‎‎* *watermark‎‎ing* (tak terlihat) dengan LSB** pada satu citra. | Pendekatan ini menghasilkan **perlindungan ganda** satu *watermark‎‎* terlihat sebagai penanda visual, sementara *watermark‎‎* tak terlihat tetap tersembunyi dan aman dari penghapusan atau manipulasi. |
| Implementasi Steganografi Menggunakan Metode Least Significant Bit (Lsb) dalam Pengamanan Informasi Pada Citra Digital, (Yanti & Budayawan, 2023) | Meneliti teknik penyembunyian pesan teks pada citra digital untuk menjaga kerahasiaan informasi. | Menggunakan kombinasi metode ***steganografi* *Least Significant Bit* (LSB)** untuk menyisipkan pesan dalam citra dan **kriptografi *Vigenere Cipher*** untuk mengenkripsi pesan terlebih dahulu sebelum disisipkan. | Penelitian menunjukkan hasil **imperceptibility** (ketidakterlihatan) yang baik dengan nilai **PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio)** di atas **30 dB**, menandakan bahwa pesan yang disisipkan tidak menyebabkan degradasi signifikan pada citra penampung. |
| Proteksi Keamanan Data pada Quick Response (QR) Code,  (Harits M et al., 2021) | Mengevaluasi berbagai metode pengamanan informasi dalam *QR Code‎*, baik dari sisi penyembunyian maupun enkripsi. | Studi literatur dan eksperimen terhadap metode **enkripsi (AES, Speck)** serta teknik ***steganografi*** untuk menyisipkan data ke dalam *QR Code‎* atau menyembunyikan *QR Code‎* ke dalam media digital lain. | Menunjukkan bahwa *QR Code‎* dapat berfungsi ganda sebagai **kontainer informasi dan medium keamanan**, terutama jika digabungkan dengan algoritma enkripsi dan teknik penyembunyian. |
| Analisis Digital Watermarking untuk Otentikasi pada Citra Manipulasi Menggunakan Metode Least Significant Bit, (Fadlika Satria et al., 2021) | Menggunakan *watermark‎‎ing ‎* untuk **autentikasi** citra digital dan deteksi perubahan atau manipulasi. | Menyisipkan *watermark‎‎* dengan metode **LSB** ke dalam citra asli dan membandingkan *watermark‎‎* yang diekstrak setelah citra dimanipulasi. | Penelitian menunjukkan bahwa *watermark‎‎* akan mengalami kerusakan ketika citra dimanipulasi, sehingga dapat digunakan sebagai **indikator integritas data** untuk membedakan citra asli dan hasil rekayasa. |
| Teknik Watermarking Menggunakan Metode Least Significant Bit Pada Citra Untuk Perlindungan Hak Cipta Motif Batik, (WIDIYONO et al., 2021) | Melindungi hak cipta terhadap **motif batik digital**, yang rawan diduplikasi atau dipalsukan. | Penerapan metode ***watermark‎‎ing ‎* menggunakan LSB** pada citra motif batik, dengan menyisipkan *watermark‎‎* hak cipta secara tak terlihat. | Hasil eksperimen menunjukkan *watermark‎‎* dapat disisipkan tanpa merusak tampilan visual citra, sekaligus dapat diekstraksi kembali untuk membuktikan kepemilikan asli. |
| Peningkatan Kompetensi Guru Sekolah Dasar dalam Mengembangkan Bahan Ajar Digital di Kabupaten Gowa,  (Faisal et al., 2020) | Meningkatkan kemampuan guru dalam **mengembangkan bahan ajar digital** secara interaktif. | Pelatihan berbasis penggunaan **platform digital populer** seperti **Canva** untuk desain visual dan **Quizziz** untuk evaluasi interaktif. | Guru dapat membuat bahan ajar yang lebih menarik dan kreatif, meningkatkan partisipasi dan pemahaman siswa dalam pembelajaran daring. |

Penelitian-penelitian yang telah dipaparkan pada Tabel 1 memberikan landasan yang kuat bagi penelitian ini. Secara kolektif, studi-studi tersebut menunjukkan relevansi penting dalam pengembangan metode *watermarking* tak terlihat.

1. Kelayakan Metode LSB

Secara konsisten menunjukkan bahwa metode LSB efektif untuk menyisipkan data secara tak terlihat *(imperceptible)* ke dalam citra digital, yang diukur melalui metrik PSNR dan MSE. Hal ini mendukung pemilihan LSB sebagai teknik *steganografi ‎*dalam penelitian ini untuk menjaga kualitas visual bahan ajar (Alveda et al., 2024).

1. Aplikasi *Watermark‎‎ing ‎* untuk Keamanan

Studi-studi tersebut mengaplikasikan *watermark‎‎ing* untuk berbagai tujuan keamanan, termasuk perlindungan hak cipta, autentikasi dan deteksi manipulasi, serta perlindungan ganda (Gultom & Suhartana, 2023). Ini menggarisbawahi potensi *watermark‎‎ing ‎*sebagai solusi relevan untuk masalah keamanan bahan ajar digital.

1. Potensi *QR Code‎* sebagai Pembawa *Watermark‎‎ ‎‎*

Penelitian oleh Harits M et al. (2021) secara spesifik menyoroti *QR Code‎* sebagai medium yang dapat diamankan dan digunakan untuk membawa informasi, yang sejalan dengan ide penelitian ini untuk menggunakan *QR Code‎* sebagai muatan *(payload)* informasi hak cipta yang akan disembunyikan.

1. Konteks Bahan Ajar Digital

Meskipun tidak secara langsung membahas *watermark‎‎ing‎*, penelitian Faisal et al. (2020) menegaskan pentingnya dan semakin masifnya penggunaan bahan ajar digital, yang memperkuat urgensi untuk mengembangkan metode perlindungannya.

Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk menyintesis temuan-temuan tersebut dengan mengimplementasikan dan mengetahui kombinasi spesifik antara *QR Code‎* (sebagai pembawa informasi hak cipta yang praktis) dan metode *steganografi* LSB (untuk penyisipan tak terlihat) dalam konteks perlindungan bahan ajar digital, dengan fokus utama pada aspek *imperceptibility* dan keberhasilan ekstraksi dasar.

## Kerangka Berpikir

1. Masalah

Dimulai dari identifikasi masalah utama yaitu kerentanan bahan ajar digital terhadap penyalinan dan modifikasi ilegal, yang mengarah pada kebutuhan perlindungan hak cipta.

1. Solusi Potensial

Meninjau berbagai solusi kriptografi dan *watermark‎‎ing‎*, kemudian mengerucut pada *invisible‎‎ ‎‎‎watermark‎‎‎‎ing* sebagai pendekatan yang tidak mengganggu tampilan visual.

1. Teknik yang Dipilih

Memilih metode *Least Significant Bit (LSB)* sebagai teknik *steganografi ‎* karena kelebihannya dalam hal implementasi dan kapasitas, serta *QR Code‎* sebagai media praktis untuk membawa informasi *watermark‎‎*.

1. Solusi

Menggabungkan *QR Code‎* (sebagai pembawa informasi hak cipta) dengan metode LSB untuk menyisipkan *QR Code‎* secara tak terlihat ke dalam citra bahan ajar.

1. Implementasi

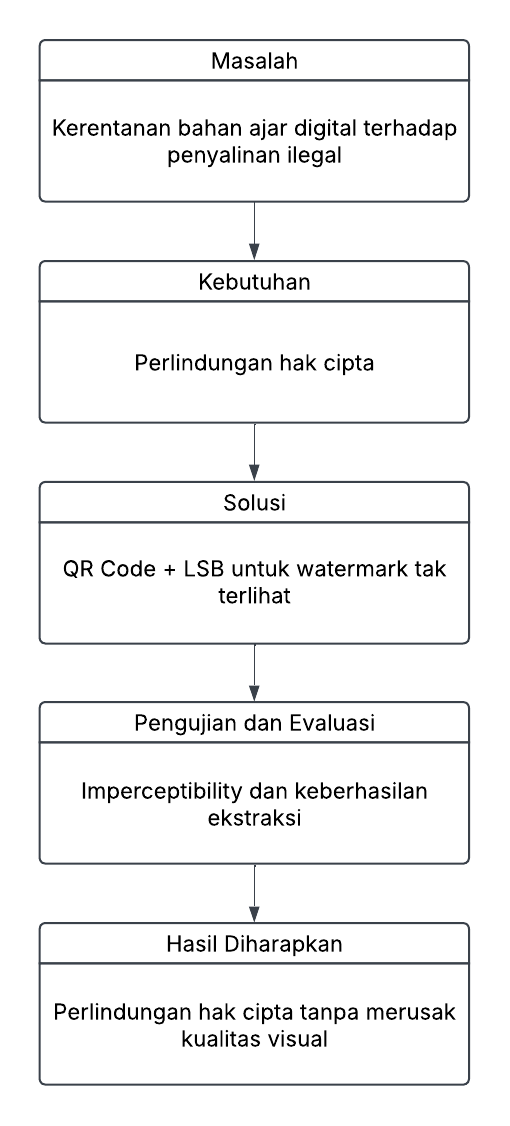
Merancang sistem yang terdiri dari dua proses utama yaitu penyisipan *(embedding) watermark‎‎ ‎‎* *QR Code‎* ke dalam citra dan ekstraksi *(extracting) watermark‎‎ ‎‎* dari citra.

1. Pengujian

Menetapkan metrik dan teknik pengujian untuk mengetahui kinerja sistem, terutama fokus pada *imperceptibility* (apakah *watermark‎‎* benar-benar tak terlihat dan tidak merusak citra) dan keberhasilan ekstraksi (apakah informasi *watermark‎‎ ‎‎*dapat diambil kembali dengan akurat).

1. Hasil yang Diharapkan

Menghasilkan sistem *watermark‎‎ing ‎*tak terlihat untuk melindungi hak cipta bahan ajar digital tanpa mengorbankan kualitas visualnya.



Gambar 1. Kerangka Berpikir

# BAB III METODE PENELITIAN

## Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat Penelitian adalah suatu tempat atau objek yang akan dilakukan suatu penelitian. Penentuan lokasi penelitian merupakan langkah penting dalam proses penelitian karena memudahkan peneliti untuk melakukan penelitian. Lokasi penelitian yang dipilih peneliti adalah di Universitas Muhammadiyah Makassar tepatnya di Laboratorium Informatika Fakultas Teknik.

Waktu penelitian ini akan dilakukan dalam jangka waktu kurang lebih 2 bulan, yaitu dimulai pada bulan Mei 2025 hingga Agustus 2025, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Jadwal Penelitian

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **NO** | **KEGIATAN** | **MEI** | | **JUNI** | | | | **JULI** | | | |
| **III** | **IV** | **I** | **II** | **III** | **IV** | **I** | **II** | **III** | **IV** |
| **1** | Studi Literatur |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **2** | Analisis Sistem |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **3** | Desain Sistem |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **4** | Implementasi Sistem |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **5** | Pengujian Sistem |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **6** | Penulisan Laporan |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

## Alat dan Bahan

Alat penelitian berupa laptop yang akan digunakan untuk mengembangkan sistem cerdas dalam pembuatan *watermark‎‎* tak terlihat pada bahan ajar digital. Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan perangkat keras dan perangkat lunak:

1. Perangkat Keras (Pengembangan)
2. *Processor* Intel(R) Celeron(R)
3. Besar *Memory* *Ram* 4 GB
4. Kapasitas SSD 512GB
5. Perangkat Lunak
6. Linux - Ubuntu
7. *Text editor* *Visual Studio Code*
8. *Python‎* sebagai bahasa *programming*

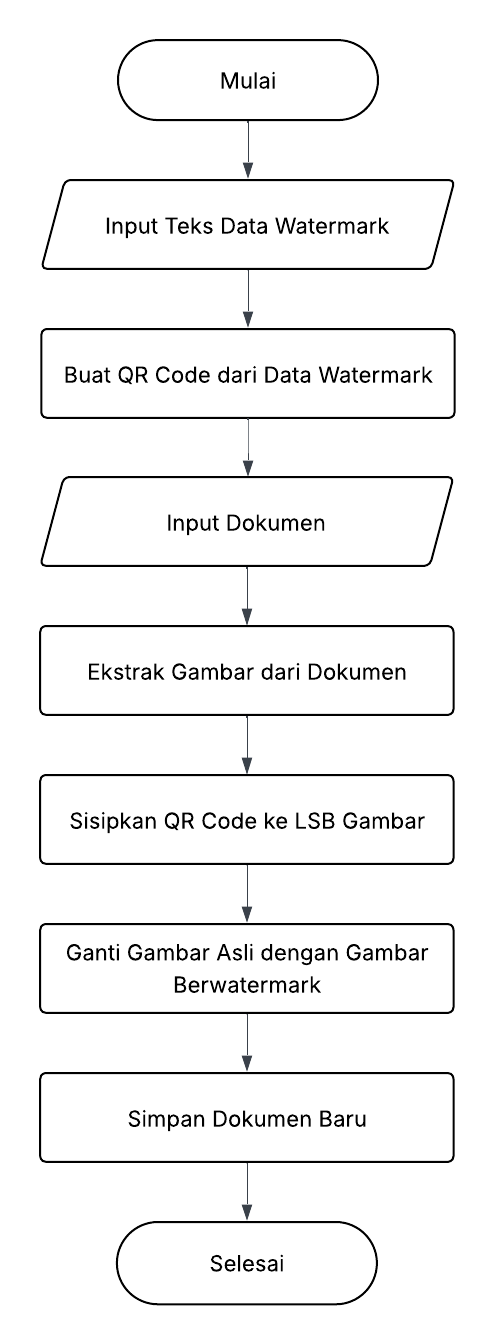
Bahan kajian dalam penelitian ini terdiri dari **bahan ajar digital** yang telah dikumpulkan dari berbagai sumber, khususnya dari guru secara langsung dan dari platform daring. Pengumpulan data dilakukan melalui **teknik dokumentasi,** yaitu dengan mengumpulkan file-file digital (dokumen) yang digunakan sebagai objek uji dalam proses penyisipan *watermark*.

## Perancangan Sistem

Perancangan sistem dalam penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan penyisipan informasi hak cipta dalam bentuk *QR Code‎* ke dalam citra digital pada bahan ajar secara tak terlihat (*invisible‎‎ ‎‎‎ watermark‎‎ing*). Metode *steganografi* yang diterapkan menggunakan algoritma *steganografi Least Significant Bit (LSB).*

Proses ini dibagi menjadi dua tahapan utama, yaitu penyisipan *(embedding)* dan ekstraksi *(extracting)*

1. **Proses Penyisipan *(Embedding)***



Gambar 2. Flowchart Proses Penyisipan

Gambar 2 merupakan ilustrasi proses penyisipan *watermark‎* berupa *QR Code‎* ke dalam gambar yang terdapat pada dokumen digital (DOCX/PDF), menggunakan metode *Least Significant Bit (LSB)*. Setiap Langkah dilakukan secara berurutan dan saling terhubung untuk menghasilkan dokumen baru yang telah mengandung *watermark‎* tersembunyi. Berikut penjelasan setiap langkah:

1. Input Teks Data *Watermark‎*

Sistem menerima input berupa teks yang akan digunakan sebagai data *watermark‎*. Teks ini dapat berupa nama pemilik hak cipta, tautan, atau identitas penting lainnya.

1. *Generate ‎* *QR Code‎*

Data teks *watermark‎* yang diterima akan dikonversi menjadi citra *QR Code‎*. *QR Code‎* digunakan karena dinilai efisien dan praktis dalam menyimpan informasi yang padat serta mudah dibaca secara digital. Selain itu, *QR Code‎* memiliki tingkat ketahanan kesalahan *(error correction)* yang tinggi sehingga cocok untuk keperluan penyisipan informasi pada media visual (Ferdiansyah et al., 2021).

1. Input Dokumen

Menginput dokumen digital berformat DOCX atau PDF yang akan disisipkan *watermark‎*. Dokumen ini akan dianalisis untuk menemukan elemen gambar (seperti cover atau ilustrasi) sebagai media penampung *watermark‎*.

1. Ekstrak Gambar dari Dokumen

Sistem akan mengekstrak gambar dari dokumen. Format citra penampung sebaiknya menggunakan format *lossless* seperti PNG atau BMP untuk menghindari hilangnya bit penting pada LSB (Fadel et al., 2024). Setelah gambar diperoleh, sistem membaca nilai piksel citra dan mengonversinya ke dalam representasi biner.

1. Penyisipan *QR Code‎* ke LSB Gambar

Citra *QR Code‎* yang telah dihasilkan sebelumnya akan dikonversi menjadi aliran bit biner. Bit-bit ini kemudian disisipkan ke dalam posisi ***Least Significant Bit* (LSB)** dari piksel gambar penampung. Proses penyisipan dapat dilakukan secara sekuensial atau secara acak dengan menggunakan kunci *steganografi* (*stego key*) untuk menentukan urutan piksel target (Alveda et al., 2024). Perlu dipastikan bahwa kapasitas citra penampung mencukupi untuk menampung seluruh bit data *watermark‎‎ ‎‎*.

1. Ganti Gambar Asli dengan Gambar Ber-*watermark‎*

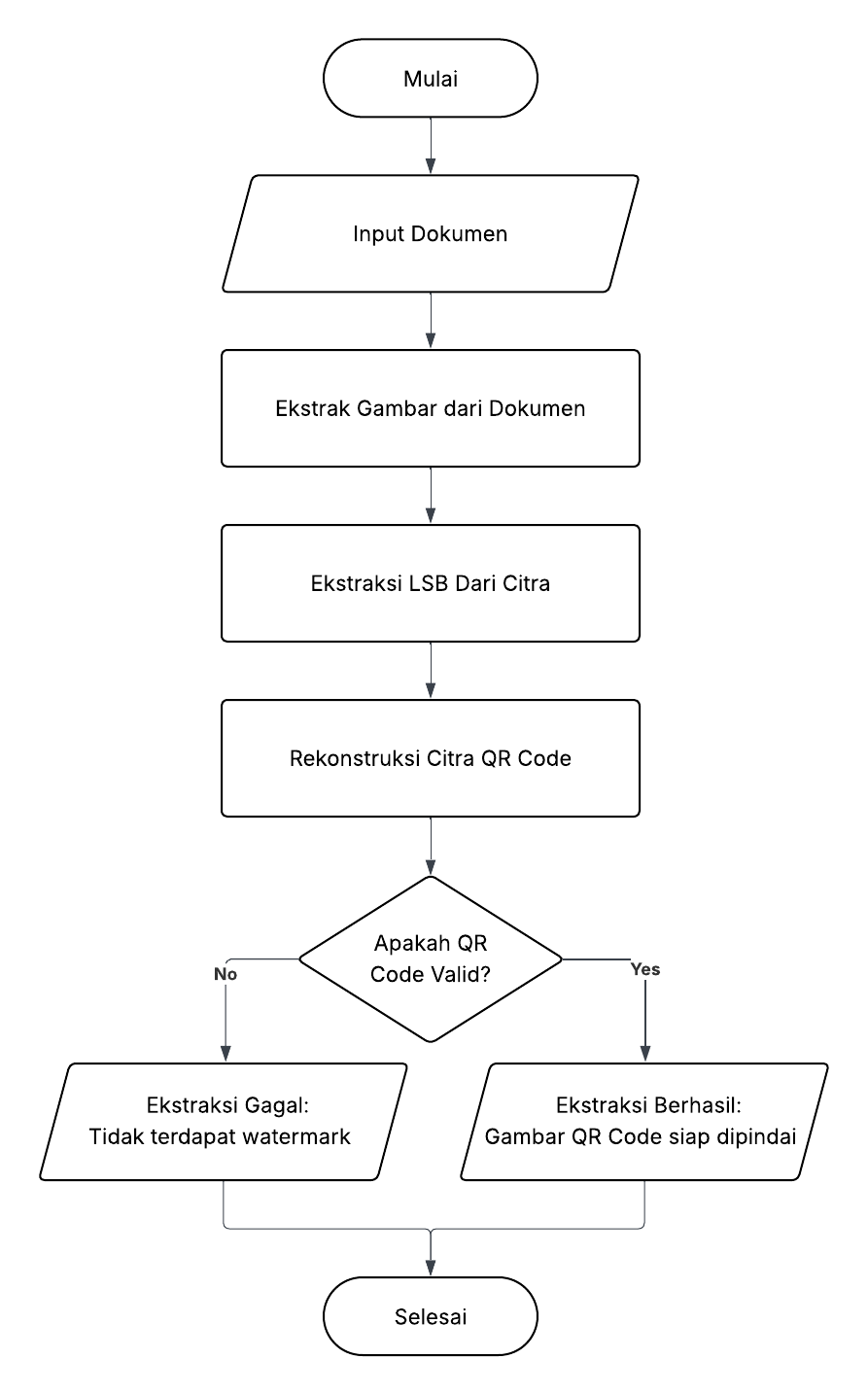
Setelah proses penyisipan selesai, sistem akan menggantikan gambar asli dalam dokumen dengan gambar hasil *steganografi*. Langkah ini diperlukan karena proses penyisipan dilakukan pada file gambar secara terpisah dari dokumen. Dengan mengganti gambar di dokumen, *watermark‎* akan tersimpan secara permanen dalam konteks file aslinya.

1. Simpan Dokumen Baru

Dokumen yang telah berisi gambar ber-*watermark‎* disimpan kembali ke dalam format aslinya (PDF atau DOCX). Format hasil akhir tetap mempertahankan struktur dokumen, namun kini memiliki *watermark‎* tersembunyi yang dapat divalidasi.

1. **Proses Ekstraksi *(Extracting)***

Tahapan ini bertujuan untuk mengekstraksi kembali informasi *watermark‎‎‎* dari *stego image*. Proses ini merupakan invers dari tahap penyisipan dan alur proses ekstraksi ditunjukkan pada Gambar 3:



Gambar 3. Flowchart Proses Ekstraksi

* 1. Input Dokumen

Sistem menerima masukan berupa **dokumen digital** berformat **PDF atau DOCX** yang akan diperiksa. Dokumen tersebut diasumsikan berisi gambar *(stego image)* yang telah disisipkan *watermark‎* *QR Code‎* sebelumnya.

* 1. Ekstrak Gambar dari Dokumen

Sistem mengekstrak citra digital (berupa gambar sampul atau ilustrasi) dari dalam dokumen. Gambar ini akan digunakan sebagai bahan utama untuk proses ekstraksi. Gambar yang berhasil diekstrak akan digunakan sebagai *stego image* untuk proses selanjutnya. Citra *stego* dibaca dan nilai pikselnya dikonversi ke dalam bentuk representasi biner (Yanti & Budayawan, 2023).

* 1. Ekstraksi LSB

Sistem melakukan pembacaan terhadap bit paling tidak signifikan ***(Least Significant Bit)*** dari setiap piksel gambar. Bit-bit ini diekstraksi berdasarkan pola penyisipan sebelumnya, baik secara berurutan maupun menggunakan ***stego key***. Nilai piksel citra dikonversi ke dalam bentuk representasi biner sebagai dasar pembentukan ulang *watermark‎* (Alveda et al., 2024).

* 1. Rekonstruksi *QR Code‎*

Bit-bit hasil ekstraksi LSB disusun kembali menjadi aliran bit yang kemudian direkonstruksi menjadi **citra *QR Code***. Proses ini menentukan apakah informasi *watermark‎* dapat dikenali atau tidak.

* 1. Validasi *QR Code‎*

Validasi *QR Code* merupakan tahap untuk memastikan apakah *watermark* berhasil direkonstruksi dari gambar. Pada tahap ini, sistem akan memeriksa apakah *QR Code* yang terbentuk valid dan dapat dipindai. Jika *QR Code* yang terbentuk **valid dan dapat dipindai**, maka proses ekstraksi berhasil. Artinya, *watermark* tersembunyi berhasil diambil. Sebaliknya, jika *QR Code‎* **tidak valid atau tidak terbaca**, maka proses ekstraksi dianggap gagal, ini menunjukkan bahwa **tidak terdapat *watermark*** atau *watermark* rusak, sehingga sistem menampilkan notifikasi “Ekstraksi gagal: tidak terdapat watermark”*.*

* 1. Keluaran (Output)

Output dari proses ekstraksi adalah ***QR Code* yang berhasil direkonstruksi** dari citra stego. *QR Code* ini dapat **dipindai secara langsung** menggunakan perangkat pemindai (scanner) standar, seperti kamera ponsel, untuk memperoleh informasi *watermark* berupa nama pemilik hak cipta, tautan verifikasi, atau data identitas lainnya. Keberhasilan proses ditandai dengan validitas *QR Code* yang dapat terbaca dan memuat informasi sesuai dengan data *watermark* yang disisipkan.

## Teknik Pengujian Sistem

Pengujian sistem bertujuan untuk memperoleh data guna mengetahui kinerja dari metode *watermark‎‎ing ‎*tak terlihat yang diimplementasikan. Fokus pengujian adalah pada aspek ketidakterlihatan (*imperceptibility*) *watermark‎‎‎* dan keberhasilan ekstraksi. Teknik pengujian yang akan diterapkan meliputi:

1. Uji *Imperceptibility*
2. Perbandingan Visual

Melakukan observasi visual untuk mengidentifikasi perbedaan antara citra asli (*cover image*) dan citra hasil penyisipan (*stego image*) (Fadlika Satria et al., 2021).

1. Pengukuran Kuantitatif (MSE & PSNR)

Melakukan pengukuran kuantitatif perbedaan antara kedua citra menggunakan metrik *Mean Squared Error* (MSE) dan *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR). Nilai MSE yang rendah dan PSNR yang tinggi mengindikasikan tingkat *imperceptibility* yang baik (Alveda et al., 2024).

1. Uji Keberhasilan Ekstraksi *(Recovery)*

Memverifikasi bahwa *QR Code‎* yang diekstraksi dapat dipindai dan menghasilkan informasi yang identik dengan informasi *watermark‎‎‎‎* awal (Putri Pebriani et al., 2025).

1. Perbandingan Ukuran File

Pengujian dilakukan dengan mencatat ukuran file citra (dalam KB atau MB) sebelum dan sesudah penyisipan watermark. Data ini digunakan untuk mengetahui apakah proses penyisipan memengaruhi ukuran file secara langsung*‎‎* (Fadel et al., 2024)*‎‎*.

## Teknik Analisis Data

Analisis dilakukan terhadap data yang dihasilkan dari tahap pengujian, teknik analisis yang digunakan bersifat kuantitatif dan deskriptif dengan menyajikan hasil dalam bentuk angka, persentase, dan perbandingan visual.

Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengevaluasi tingkat keberhasilan dan kualitas hasil penyisipan serta ekstraksi *watermark*, berdasarkan tiga aspek utama berikut:

1. **Analisis Ketidakterlihatan *(Imperceptibility)***

Analisis ini bertujuan untuk menilai sejauh mana proses penyisipan *watermark* memengaruhi kualitas visual citra digsital.

1. Secara Visual

Jika hasil observasi menunjukkan tidak adanya perbedaan mencolok antara gambar asli dan gambar *stego*, maka dapat disimpulkan bahwa *watermark‎* berhasil disisipkan secara tak terlihat (*invisible‎‎*).

1. Secara Kuantitatif (MSE & PSNR)

Analisis dilakukan berdasarkan hasil perhitungan nilai MSE (*Mean Squared Error*) dan PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio). Menurut Yanti & Budayawan (2023), jika nilai PSNR tinggi (umumnya di atas 30 dB) dan nilai MSE rendah, maka kualitas visual citra setelah disisipi *watermark‎* tetap terjaga dengan baik.

**Rumus MSE:**

Keterangan:

*I(i, j*) : piksel citra asli

*K(i, j)* : piksel citra setelah disisipkan *watermark‎*

*m, n* : ukuran gambar

**Rumus PSNR:**

*PSNR* = 10 . log10

Keterangan:

MSE : *Mean Squared Error*

MAX : nilai maksimum piksel (255 untuk gambar 8-bit)

1. **Analisis Keberhasilan Ekstraksi**

Analisis ini dilakukan untuk menilai keberhasilan sistem dalam ‎mengekstraksi kembali *watermark* berupa *QR Code* dari citra hasil ‎penyisipan *(stego image)*. *QR Code* yang diekstrak akan diuji ‎menggunakan pemindai digital untuk memastikan bahwa informasi yang ‎terkandung masih dapat dibaca dengan benar. Mengevaluasi apakah *QR Code*‎ ‎yang diekstrak bisa dibaca dengan benar "berhasil" atau tidak "gagal" pada ‎setiap percobaan. Persentase keberhasilan dihitung dengan rumus:

*Persentase Keberhasilan* = × 100%

1. **Analisis Ukuran File**

Data ukuran file yang diperoleh dari proses pengujian kemudian dianalisis secara deskriptif untuk menentukan apakah metode *watermarking‎*‎ menyebabkan peningkatan ukuran file yang signifikan atau masih dalam batas wajar (Akmal et al., 2023).

# BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

# BAB V PENUTUP

## Kesimpulan

## Saran

# DAFTAR PUSTAKA

Aditya Permana, A., & Amma, H. (2022). IMPLEMENTASI STEGANOGRAFI FILE CITRA DIGITAL MENGGUNAKAN METODE LEAST SIGNIFICANT BIT. *JT Jurnal Teknik*, *11*(1), 62–72.

Afsari, M., Mulyana, D. I., Damaiyanti, A., & Sa’adah, N. (2022). Implementasi Mode Operasi Kombinasi Cipher Block Chaining dan Metode LSB-1 Pada Pengamanan Data text. *Jurnal Pendidikan Sains Dan Komputer*, *2*(1), 70–82. https://doi.org/10.47709/jpsk.v2i1.1381

Akmal, R. A., Furqan, Mhd. F., & Kurniawan R, R. (2023). Implementasi Metode Least Significant Bit Dalam Teknik Steganografi pada Berkas Audio Dengan Stego Citra Digital. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, *7*(2), 543–553. https://doi.org/10.33379/gtech.v7i2.2300

Alajmi, M., Elashry, I., El-Sayed, H. S., & FaragAllah, O. S. (2020). Steganography of Encrypted Messages Inside Valid QR Codes. *IEEE Access*, *8*, 27861–27873. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2971984

Alveda, A., Rakhmawati, L., & Agustin Tjahyaningtijas Agustin, R. H. P. (2024). *Penyisipan Watermark Menggunakan Metode LSB (Least Significant Bit) untuk Autentikasi Citra Medis*.

Antika, T. L., Kusmana, S., & Gloriani, Y. (2022). BAHAN AJAR DIGITAL TEKS CERPEN UNTUK SMP. In *Jurnal Penelitian Pendidikan Bahasa dan Sastra* (Vol. 7, Issue 2).

Devi, P. A. R., & Rosyid, H. (2022). Pemaparan Materi Dasar Pengolahan Citra Digital untuk Upgrade Wawasan Siswa di SMK Dharma Wanita Gresik. *Jurnal Abdi Masyarakat Indonesia*, *2*(4), 1259–1264. https://doi.org/10.54082/jamsi.405

Fadel, A. S., Saputra, R. D., Putra, R. N., & Fatma, Y. (2024). Analisis keamanan steganografi teks dengan metode lsb (least significant bit) pada citra digital. *Jurnal CoSciTech (Computer Science and Information Technology)*, *5*(1), 36–41. https://doi.org/10.37859/coscitech.v5i1.6759

Fadlika Satria, A., Ibnu Adam, R., & carudin. (2021). Analisis Digital *Watermarking‎*‎ untuk Otentikasi pada Citra Manipulasi Menggunakan Metode Least Significant Bit. *Edumatic Jurnal Pendidikan Informatika*, *5*(2), 204–213. https://doi.org/10.29408/edumatic.v5i2.3901

Faisal, M., Hotimah, Nurhaedah, AP, N., & Khaerunnisa. (2020). Peningkatan Kompetensi Guru Sekolah Dasar dalam Mengembangkan Bahan Ajar Digital di Kabupaten Gowa. *Jurnal Publikasi Pendidikan*, *10*(3), 266–270. http://ojs.unm.ac.id/index.php/

Fathanudien, A., & Maharani, V. (2023). Perlindungan Hukum Hak Cipta terhadap Buku Elektronik (E-Book) di Era Globalisasi. In *Jurnal Penelitian Universitas Kuningan* (Vol. 14).

Ferdiansyah, Id Hadiana, A., & Rakhmat Umbara, F. (2021). PENGGUNAAN QR CODE BERBASIS KRIPTOGRAFI ALGORITMA AES ADVANCED ENCRYPTION STANDARD UNTUK ADMINISTRASI REKAM MEDIS. *JOINT (Journal of Information Technology)*, *03*(2), 20–27.

Gultom, C. E., & Suhartana, K. G. (2023). Penerapan Steganografi dan *Visible‎* *Watermarking‎*‎ Pada Gambar Digital Untuk Perlindungan Hak Cipta. *Jurnal Elektronik Ilmu Komputer Udayana*, *12*(2), 377–384.

Harits M, A. R., Ridwan, R., Hafidzin, A. P., & Taufik, M. (2021). Proteksi Keamanan Data pada Quick Response (QR) Code. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Manufaktur*, *3*(2), 99–110. https://doi.org/10.48182/jtrm.v3i2.58

Irawan, D., & Pujianto. (2020). Menyembunyikan File Kedalam File Gambar Menggunakan Metode Steganografi. *JSAI*, *3*(1), 1–6. http://www.jurnal.umb.ac.id/index.php/JSAI

Nur Aqsal Aminullah, M., Yusliana Bakti, R., Hayat, M. A., & Lukman. (2022). *PEMBUATAN VERIFIKASI SERTIFIKAT DIGITAL SEBAGAI BUKTI KEABSAHAN MENGGUNAKAN ALGORITMA STEGANOGRAFI DENGAN METODE LEAST SIGNIFICANT BIT INSERTION (LSB)* (Vol. 4, Issue 1).

Purbaningrum, A., Silvi Amalia, K., & Ady Saputro, I. (2023). *Penerapan Metode Least Significant Bit (LSB) dalam Menyisipkan Pesan Rahasia pada Citra Digital: Sebuah Pendekatan Steganografi*.

Putri Pebriani, D., Marwati, R., & Rachmatin, D. (2025). Implementasi Kombinasi Secret Sharing dan Steganografi Citra Least Significant Bit dengan QR Code. *Original Article Indonesian Journal of Applied Mathematics*, *5*(1), 33–41. https://doi.org/10.35472/indoja

WIDIYONO, WIBOWO, A. P., & DARMAWAN, A. S. (2021). TEKNIK *WATERMARKING‎*‎ MENGGUNAKAN METODE LEAST SIGNIFICANT BIT PADA CITRA UNTUK PERLINDUNGAN HAK CIPTA MOTIF BATIK. *Jurnal Instek Informatika Sains Dan Teknologi*, *6*(1), 37–45.

Wulandari, F. (2024). Problematika Pelanggaran Hak Cipta di Era Digital. *Journal of Contemporary Law Studies*, *2*(2), 99–114. https://doi.org/10.47134/lawstudies.v2i2.2261

Yanti, F., & Budayawan, K. (2023). Implementasi Steganografi Menggunakan Metode Least Significant Bit (Lsb) dalam Pengamanan Informasi Pada Citra Digital. *Jurnal Vocational Teknik Elektronika Dan Informatika*, *11*(1), 63–70. http://ejournal.unp.ac.id/index.php/voteknika/index