

BAB 1

USULAN GAGASAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Perkembangan teknologi digital yang meluas telah mempermudah penyebaran dan pertukaran informasi, termasuk citra digital. Namun, juga menimbulkan serangkaian tantangan baru khususnya dalam hal keamanan. Kemudahan menggandakan, menyalin, mengedit, dan mendistribusikan citra digital telah menciptakan kerentanan yang dapat dieksploitasi oleh individu yang tidak berwenang [1]. Risiko yang ditimbulkan seperti masalah-masalah keamanan, seperti pemalsuan data, akses tidak sah, modifikasi dan penipuan. Ancaman keamanan terhadap perlindungan hak kepemilikan semakin meningkat [2], khususnya dalam konteks kepemilikan citra digital. Oleh karena itu, penting untuk mengembangkan dan menerapkan langkah-langkah keamanan yang kuat untuk melindungi integritas dan privasi data. Salah satu metode yang umum digunakan untuk melindungi karya digital adalah dengan menggunakan teknik watermarking [3]. Watermark ini berfungsi sebagai bukti otentikasi yang sulit dihapus atau dipalsukan, sehingga dapat mencegah penyalinan ilegal dan pelanggaran hak cipta. Teknik ini telah diwujudkan berbagai metode yang menawarkan pendekatan yang berbeda dalam mengolah informasi citra, sehingga menghasilkan hasil yang bervariasi dalam hal kualitas, efisiensi, dan ketahanan terhadap serangan [4]. Teknik *Watermarking* menggambarkan metode dan teknologi yang disisipkan beberapa informasi (watermark) ke dalam objek host [5]. Namun teknologi watermark digital dapat menyebabkan penurunan kualitas pada citra aslinya. Walaupun penurunan kualitas tersebut tidak dapat dirasakan oleh pengguna, namun dalam beberapa bidang seperti digital, penurunan kualitas tersebut tidak dapat ditoleransi [4].

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan aplikasi *Robust Reversible Watermarking* (RRW) citra dengan menerapkan beberapa metode yang diusulkan. Fokus utama pengembangan aplikasi adalah pada kemudahan penggunaan agar dapat diakses oleh berbagai kalangan. Oleh karena itu, diusulkan beberapa teknik RRW sebagai solusinya atas masalah tersebut. Robust mengacu pada kemampuan watermark yang disisipkan untuk bertahan bahkan setelah mengalami berbagai serangan [6], sedangkan Reversible memastikan ekstraksi watermark dan rekonstruksi yang tepat untuk memulihkan citra host kembali seperti asli [7]. Diantaranya adalah skema RRW yang diusulkan. Tang, dkk. mengusulkan skema RRW dua tahap yang menggunakan *Polar Harmonic Transform* (PHT). Skema yang diusulkan

Tang dkk. tersebut menggunakan metode DC-QIM dimana satu bit watermark disisipkan ke dalam satu momen PHT [8]. Oleh karena itu, diusulkan penyisipan Multibit spread spectrum untuk menyisipkan beberapa bit watermark ke dalam beberapa momen PHT untuk dapat meningkatkan ketahanan sistem watermarking yang dirancang. Selain metode tersebut, diusulkan juga metode *Logarithmic Quantization Index Modulation* (LQIM) sebagai pengganti metode DC-QIM karena LQIM menawarkan kualitas persepsi dan ketahanan yang lebih baik. Hal ini dicapai dengan memanfaatkan pendekatan kuantisasi logaritmik yang lebih efektif mempertahankan kualitas gambar sekaligus menahan berbagai jenis distorsi gambar, sehingga lebih unggul dalam menangani ketepatan visual dan keamanan data. Metode usulan Tang, dkk. terbatas karena hanya dapat diimplementasikan pada citra grayscale. Namun, dengan perkembangan teknologi dan meningkatnya kebutuhan akan pengolahan citra berwarna, maka pada penelitian ini juga mengusulkan implementasi metode yang ada pada citra *Red, Green, Blue* (RGB). Penelitian Huang, dkk. mengusulkan skema kerangka dua tahap untuk menyisipkan watermark pada tahap *reversible watermarking* ke dalam citra. Namun terdapat kelemahan yang menyebabkan turunnya nilai ketahanan pada skema sebelumnya [9]. Oleh karena itu, diusulkan penyematan kode *Spread Spectrum* (SS) Adaptif dengan memakai wavelet Discrete Wavelet Transform (DWT) atau Integer wavelet Transform (IWT) pada sub-band low low (LL) untuk meningkatkan ketahanan dan reversibilitas secara bersamaan.

Teknologi watermarking telah banyak dikembangkan menggunakan aplikasi yang memudahkan pengguna dan efisien untuk digunakan secara umum masih terbatas. Penggunaan antarmuka pengguna (*user interface*, UI) yang mudah dipahami dalam aplikasi sangat penting untuk memudahkan pengguna dalam melakukan proses watermarking tanpa memerlukan pengetahuan teknis yang mendalam [10]. Oleh karena itu, *Capstone Design* ini bertujuan untuk merancang sebuah aplikasi watermarking citra yang mengutamakan kemudahan penggunaan melalui antarmuka pengguna yang efektif dan mudah dipahami. Penulisan ini diharapkan memberikan kontribusi penting dalam bidang teknologi informasi, khususnya dalam meningkatkan aksesibilitas dan efektivitas teknologi *watermarking*. Aplikasi ini diharapkan mampu melindungi hak cipta dan keaslian citra digital bagi penggunanya, dengan menyediakan metode yang efisien untuk menyisipkan *watermark* yang tahan terhadap berbagai serangan. Aplikasi ini juga diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan aksesibilitas. Aplikasi ini menawarkan solusi yang mudah diakses dan dioperasikan oleh pengguna dengan latar belakang teknis yang beragam sehingga teknologi *watermarking* dapat lebih luas digunakan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang dipaparkan, berikut merupakan rumusan masalah :

1. Bagaimana pengaruh penggunaan LQIM dalam mengoptimalkan *trade-off* antara *imperceptibility* dan *robustness* pada sistem *watermarking* digital?
2. Bagaimana meningkatkan *Robustness* yang signifikan dengan mengimplementasikan PHT dengan metode MSS terhadap berbagai jenis serangan.
3. Bagaimana peningkatan *imperceptibility* pada kinerja RRW menggunakan citra RGB yang diaplikasikan pada metode RRW PHT?
4. Bagaimana performa *Reversible Watermarking* dengan mengimplementasikan metode SS Adaptif?
5. Bagaimana memastikan bahwa aplikasi yang dikembangkan memiliki performa yang baik, stabil, dan dapat dioperasikan di berbagai *platform* dengan responsivitas yang optimal?

1.3 Tujuan

Kontribusi atau tujuan dari skema *watermarking* yang diusulkan adalah sebagai berikut:

1. Meningkatkan *robustness watermarking* secara signifikan dengan menggunakan teknik LQIM yang dioptimalkan, termasuk pemilihan tingkat kuantisasi logaritmik yang tepat untuk meningkatkan ketahanan terhadap berbagai jenis serangan geometris dan non-geometris.
2. Meningkatkan *robustness* yang signifikan dengan mengimplementasikan PHT dengan metode MSS terhadap berbagai jenis serangan.
3. Meningkatkan kualitas visual dari citra asli meskipun citra telah mengalami proses *watermarking* dengan pengaplikasian citra RGB ke dalam metode RRW PHT.
4. Meningkatkan skema *Reversible Watermarking* dengan mengimplementasikan metode SS Adaptif agar citra tahan terhadap serangan, terutama untuk serangan geometri.
5. Memastikan aplikasi yang dikembangkan dapat digunakan dengan mudah dan nyaman, yang memungkinkan pengguna dari berbagai latar belakang teknis untuk mengoperasikan aplikasi.

1.4 Analisa Masalah

Pada bagian ini dipaparkan beberapa masalah berdasarkan aspek yang terkait.

1.4.1 Aspek Teknis

RRW merupakan metode yang digunakan untuk melindungi citra digital. teknik ini memungkinkan untuk menyisipkan informasi tambahan ke dalam suatu citra digital tanpa mengganggu kualitasnya. RRW bertujuan untuk dapat memberikan performa *Imperceptibility*, *Capacity* dan *Robustness* yang lebih optimal pada citra. *Imperceptibility* mengacu pada kemampuan *watermark* untuk tetap tidak terdeteksi secara visual, memastikan bahwa informasi yang tertanam tidak mengubah tampilan visual citra. Di sisi lain, *Robustness* melibatkan kemampuan *watermark* untuk menahan berbagai serangan, seperti kompresi, serangan geometri dan penambahan *noise*. Selain ketiga aspek tersebut, teknik RRW diharapkan juga memiliki sifat reversibilitas yaitu kemampuan untuk memulihkan citra asli dari citra yang diberi *watermark*. Dalam merancang aplikasi, penting untuk menciptakan antarmuka yang intuitif dan mudah dinavigasi oleh semua pengguna, tanpa memandang tingkat keahlian teknis mereka. Hal ini mencakup penggunaan ikon yang jelas, *tooltip* yang informatif, serta panduan bantuan yang efektif.

1.4.2 Aspek Ekonomi

Metode *watermarking* dalam konteks mengamankan data citra digital adalah topik yang memiliki dampak ekonomi yang signifikan. Salah satu aspek ekonomi utama yang perlu dipertimbangkan adalah biaya implementasi metode *watermark*. Penggunaan *watermark* dalam citra bertujuan untuk mengurangi resiko penyalahgunaan data, hal ini menghindari potensi kerugian finansial yang mungkin terjadi akibat penyalahgunaan data. Dengan mengurangi risiko penyalahgunaan data, mencegah kerugian finansial akibat pelanggaran hak cipta, dan menyediakan sarana pelacakan dan pemantauan penggunaan citra, pemberian *watermark* dapat melindungi kekayaan intelektual dan meningkatkan laba. Seiring dengan terus berkembangnya penggunaan citra digital, pentingnya pemberian *watermark* sebagai sarana pengamanan dan perlindungan aset ini akan terus meningkat.

1.4.3 Aspek Keamanan

Watermarking adalah teknik keamanan yang digunakan untuk melindungi citra digital dari penggunaan yang tidak sah, manipulasi, atau pencurian. Dari perspektif keamanan, *watermarking* melibatkan penyisipan informasi rahasia dalam suatu media. Dalam pengaplikasian digital, data *watermark* dapat disembunyikan dalam citra digital dengan menggunakan sistem *watermarking* sehingga hanya orang yang memiliki *watermark* yang dapat mengakses informasi tersebut. Aspek keamanan menunjukkan bahwa terlepas dari

serangan yang ditargetkan, *watermark* digital yang disisipkan tidak dapat dihapus. Keamanan *watermark* menjelaskan bahwa mengubah atau menghapus *watermark* tanpa merusak sinyal *host* haruslah sulit [11]. Keamanan *watermark* dapat dijelaskan sebagai cara untuk memberikan kerahasiaan, kepemilikan, dan perlindungan data [12]. Aplikasi harus mampu melawan serangan yang bertujuan untuk merusak dan mengubah aplikasi, yang memerlukan pengujian keamanan yang komprehensif [13].

1.4.4 Aspek Keberlanjutan

RRW pada citra digital memiliki potensi untuk tetap relevan dalam jangka panjang. Metode RRW akan membutuhkan pengembangan berkelanjutan, termasuk pembaruan dan perbaikan yang diperlukan seiring berjalannya waktu untuk menjadikannya metode yang andal dan efisien untuk melindungi citra digital. Dalam jangka panjang, RRW dapat menjadi salah satu komponen penting dalam sistem keamanan citra digital yang lebih luas, yang dapat melindungi citra digital dari berbagai ancaman dan risiko. Oleh karena itu, pengembangan RRW harus dilakukan secara berkelanjutan dan terus menerus untuk mewujudkan metode yang lebih andal dan efisien dalam melindungi citra digital.

1.4.5 Aspek Kemudahan dan Kenyamanan Pengguna

Kemudahan dan kenyamanan pengguna merupakan indikator utama dalam menilai keberhasilan sebuah aplikasi. Oleh karena itu, dalam pengembangan aplikasi ini, desain antarmuka yang intuitif, mudah, dan nyaman bagi pengguna menjadi prioritas utama. Antarmuka akan dirancang sedemikian rupa agar dapat diakses dan digunakan oleh berbagai jenis pengguna, terlepas dari tingkat keahlian teknis mereka. Setelah aplikasi selesai dikembangkan, aspek kemudahan dan kenyamanan pengguna akan diuji secara komprehensif menggunakan *System Usability Scale* (SUS). Diharapkan, hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa aplikasi ini berhasil memenuhi standar kemudahan dan kenyamanan yang tinggi bagi penggunanya.

1.5 Solusi Sistem Yang Diusulkan

RRW adalah teknik yang memungkinkan penyisipan dan ekstraksi *watermarking* pada citra digital tanpa menyebabkan kehilangan atau kerusakan permanen pada citra asli [14]. *Watermark* ini berfungsi sebagai tanda yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi pemilik citra, mendeteksi manipulasi atau penggunaan yang tidak sah, dan memastikan keaslian dan integritas citra. Dalam konteks gambar digital, RRW melibatkan penyisipan *watermark* ke dalam data citra, yang kemudian dikirimkan atau disimpan. *Watermark* dirancang agar tidak

terlihat oleh mata manusia, sehingga kualitas visual citra tidak terpengaruh. Namun, *watermark* dapat dideteksi dan diekstraksi menggunakan algoritma yang sesuai, yang memungkinkan pemilik atau pembuat untuk memverifikasi keaslian dan kepemilikan citra. Ketahanan RRW mengacu pada kemampuannya untuk menahan berbagai serangan atau upaya manipulasi, seperti kompresi, pemotongan, rotasi, atau penambahan *noise*, tanpa mengorbankan integritas *watermark*. Perancangan sistem RRW ini dicapai melalui penggunaan algoritma dan teknik *watermarking* yang aman dan andal.

Dengan menganalisis sistem yang diusulkan, kita dapat mengevaluasi efektivitas RRW dalam melindungi citra digital. Analisis ini akan memberikan wawasan berharga tentang kekuatan dan kelemahan RRW serta menginformasikan pengembangan skema *watermarking* yang lebih kuat dan efisien untuk citra digital. Terdapat beberapa skema RRW yang telah diusulkan, yaitu:

Table 1. 1 Keterbatasan Skema RRW yang telah Diusulkan

No.	Judul Penelitian	Fitur - Fitur	Saran untuk penelitian selanjutnya	Referensi
1.	<i>A two-stage robust reversible watermarking using polar harmonic transform for high robustness and capacity</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Tingkat ketahanan yang tinggi terhadap serangan. • Menghasilkan kualitas citra yang tinggi dengan <i>Peak Sinyal Noise Ratio</i> (PSNR) yang tinggi. • Mengembalikan <i>watermark</i> dengan akurasi yang tinggi 	<ul style="list-style-type: none"> • Hanya tahan terhadap global <i>Geometric Deformation</i> (GD), sehingga dapat mengusulkan skema yang tahan terhadap GD lokal. • Menyisipkan satu bit watermark ke dalam satu momen sehingga menggunakan teknik spread spectrum untuk menyisipkan satu bit watermark ke dalam beberapa 	[8]

			momen PHT untuk meningkatkan ketahanan.	
2.	<i>A Logarithmic Quantization Index Modulation for Perceptually Better Data Hiding</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Menggunakan pendekatan logaritmik dalam mengatur level <i>quantizer</i> untuk meningkatkan kualitas perseptual dari citra yang disisipkan data. • Pengurangan <i>noise</i> yang dihasilkan oleh proses penyisipan melalui pemanfaatan standard μ-<i>Law</i> pada kuantisasi. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mengeksplorasi penggunaan teknik LQIM pada domain frekuensi, seperti DCT atau DWT, untuk membandingkan efektivitas dengan domain spatial. 	[15]
3.	<i>Robust Reversible Watermarking using Stationary Wavelet Transform and Multibit Spread Spectrum in Medical Images</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Robust terhadap serangan kompresi, penambahan noise, sharpening, dan peningkatan kualitas citra. • Tingkat imperceptibility yang tinggi, dengan nilai PSNR rata-rata yang tinggi, sehingga tidak mengurangi kualitas visual citra. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mengimplementasikan MSS pada domain <i>wavelet</i>, sehingga dapat menggunakan domain lain sebagai saran untuk penelitian selanjutnya. 	[14]
4.	<i>Two-Stage Framework for Robust</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Dapat menggabungkan teknik <i>Robust Watermarking</i> konvensional dengan 	<ul style="list-style-type: none"> • Melakukan peningkatan ketahanan dengan menggunakan 	[16]

	<i>Reversible Watermarking</i>	teknik <i>Reversible Watermarking</i> dan memiliki ketahanan dalam hal kompresi JPEG, penyaringan <i>noise gaussian</i> , rotasi dan operasi geser.	algoritma <i>watermarking</i> agar dapat memiliki ketahanan dalam semua jenis serangan.	
5.	<i>Robust reversible image watermarking scheme based on spread spectrum</i>	<ul style="list-style-type: none"> Amplitudo SS diatur sesuai dengan sinyal <i>host</i> sinyal sehingga keseimbangan serangan lebih baik pada citra <i>host</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> Meningkatkan ketahanan dengan bantuan keterampilan <i>watermarking</i> konvensional yang kuat. 	[9]

1.5.1 *A Two-Stage Robust Reversible Watermarking Using Polar Harmonic Transform for High Robustness and Capacity*

Metode yang diusulkan Tang, dkk. menyajikan skema RRW dua tahap menggunakan PHT. Pada tahap pertama, ia memilih momen PHT yang cocok untuk *Robust watermarking*, mengembangkan strategi normalisasi adaptif, dan membangun metode penyematian *watermark* yang *robust*. Secara khusus, momen PHT dengan ketahanan tinggi pertama kali dipilih melalui simulasi eksperimental. Strategi normalisasi adaptif kemudian dikembangkan untuk menyesuaikan kekuatan penyisipan *watermark* yang tangguh untuk momen yang dipilih, yang bertujuan untuk mencapai ketahanan yang lebih tinggi [8]. Dengan Metode penyisipan yang digunakan DC-QIM dioptimalkan. Dan DC-QIM yang dioptimalkan untuk penyisipan *watermark* yang tangguh memfasilitasi penurunan jumlah bit representasi kesalahan terkuantisasi dan dengan demikian meningkatkan kapasitas penyisipan. Pada tahap kedua, *watermarking reversibel* dilakukan untuk mencapai reversibilitas tanpa adanya serangan. Yaitu, distorsi yang disebabkan oleh penyisipan *watermark* yang kuat disisipkan oleh teknik *reversible watermarking*. Skema yang diusulkan berkinerja lebih baik daripada yang canggih dalam hal kinerja *Bit Error Rate* (BER), menurut hasil eksperimen yang ekstensif. Metode ini *Robust* terhadap serangan AWGN, JPEG, JPEG2000, *mean filtering*, dan *median filtering* serta GD yang melibatkan rotasi dan penskalaan.

1.5.2 *RRW using Logarithmic Quantization Index Modulation*

Metode yang diusulkan dalam penelitian ini adalah teknik *watermarking* yang mengandalkan LQIM untuk memperbaiki kualitas perseptual dari citra yang telah disisipkan data. LQIM menggunakan skala logaritmik dalam proses kuantisasi, yang merupakan langkah penting dalam menentukan seberapa banyak data yang dapat disisipkan ke dalam citra tanpa mengganggu kualitas visual. Pendekatan ini dimulai dengan melakukan analisis perseptual pada citra yang akan disisipkan data, yaitu dengan mempertimbangkan sensitivitas perseptual manusia terhadap perubahan dalam citra. Melalui analisis ini, skala logaritmik diterapkan untuk mengatur level kuantisasi sedemikian rupa sehingga perubahan yang diakibatkan oleh penyisipan *watermark* tidak terdeteksi oleh penglihatan manusia. Setelah skala logaritmik diterapkan dan tingkat kuantisasi disesuaikan, data *watermark* kemudian disisipkan ke dalam koefisien kuantisasi yang telah diatur berdasarkan sensitivitas perseptual tadi. Proses ini memungkinkan *watermark* untuk disisipkan secara lebih efisien, dengan distorsi yang seminimal mungkin, sehingga kualitas visual citra tetap terjaga. Setelah data *watermark* disematkan, citra yang telah disisipkan *watermark* diintegrasikan kembali. Dengan demikian, metode LQIM tidak hanya bertujuan untuk menjaga kualitas visual dari citra yang di *watermark*, tetapi juga untuk meningkatkan ketahanan *watermark* terhadap serangan, seperti kompresi atau *noise*, yang sering ditemui dalam aplikasi praktis. Hasil akhirnya adalah sebuah metode *watermarking* yang tidak hanya tahan terhadap berbagai jenis serangan, tetapi juga mampu menjaga citra asli dari distorsi yang merusak kualitas visualnya [15][17].

1.5.3 *RRW using SWT and Multibit Spread Spectrum*

Metode yang diusulkan adalah teknik *watermarking* yang menggabungkan *Stationary Wavelet Transform* (SWT) dan MSS untuk menyisipkan *watermark* ke dalam citra *host*. Citra *host* dipecah menjadi beberapa *sub-band* menggunakan SWT. Kemudian, *watermark* tertanam ke dalam koefisien detail diagonal *sub-band* dari citra *host* menggunakan MSS. Teknik ini memberikan *imperceptibility* dan ketahanan yang lebih baik karena bit dalam kode PN didistribusikan secara acak dalam distribusi *Gaussian* di setiap blok yang tidak tumpang tindih. Penggunaan distribusi *Gaussian* memberikan resistansi *watermark* yang lebih baik karena karakteristik titik *Gaussian* adalah bagian yang sulit diserang. Akhirnya, *sub-band* yang diberi *watermark* digabungkan dengan *sub-band* lain menggunakan *Invers SWT* (ISWT) menjadi citra *berwatermark* [14]. *Watermark* tertanam diekstraksi di sisi penerima, dan citra medis asli direkonstruksi secara tepat tanpa melibatkan informasi tambahan. Berdasarkan hasil eksperimen, teknik *watermarking reversible* yang diusulkan dapat memulihkan *watermark* dan

membangun kembali citra medis *host* dengan sempurna tanpa serangan apa pun. Citra ber*watermark* yang dihasilkan oleh teknik penyembunyian data reversibel yang diusulkan memiliki kualitas visual yang lebih baik dengan PSNR di atas 41 dB. Selain itu, skema RRW yang diusulkan kuat terhadap berbagai serangan seperti kompresi, penambahan *noise*, penajaman, dan peningkatan citra [14].

1.5.4 *Two-Stage Framework for Robust Reversible Watermarking*

Metode *two-stage framework for robust reversible watermarking* yang diusulkan oleh Coltuc, dkk. merupakan kerangka dua tahap kerja untuk menyisipkan *watermark* ke dalam citra. Tahap pertama, *watermark* disisipkan menggunakan teknik *robust watermarking* tradisional, sehingga menghasilkan citra perantara. Pada tahap kedua, perbedaan antara citra sampul dan citra perantara dikompresi secara *lossless* dan dimasukkan ke dalam citra perantara menggunakan teknik *watermarking* yang dapat di *reversible*, sehingga menghasilkan citra yang ber*watermark*. Keuntungan dari metode *two-stage framework for robust reversible watermarking* Coltuc, dkk. adalah kemampuannya untuk menggabungkan teknik *Robust Watermarking* tradisional dengan reversibilitas teknik *Reversible Watermarking*. Hal ini memungkinkan ekstraksi dan pemulihan *watermark* meskipun terdapat distorsi.

Salah satu kelemahan metode usulan Coltuc, dkk. adalah ketahanannya terhadap penyisipan tahap pertama berkurang karena distorsi yang ditimbulkan pada tahap penyisipan kedua. Hal ini dapat menyebabkan penurunan efektivitas proses ekstraksi *watermark*. Kelemahan lainnya metode usulan Coltuc, dkk. yang asli menggunakan domain penyisipan yang sama untuk tahap penyisipan yang kuat dan dapat di *reversible*. Hal ini dapat mengakibatkan munculnya *noise* tambahan pada citra perantara, yang nantinya mengurangi efektivitas *watermark* [16].

1.5.5 *Robust reversible image watermarking scheme based on spread spectrum*

Huang, dkk. mengusulkan metode RRW yang baru menggunakan kode SS adaptif untuk mencapai ketahanan dan reversibilitas secara bersamaan. Metode penyisipan, bersama dengan amplitudo SS dirancang sesuai dengan sinyal *host* untuk menangkal sumber gangguan, serta menyeimbangkan ketahanan dan citra ber*watermark* [9]. Selanjutnya, amplitudo dibentuk sehingga nilainya dapat diperkirakan dengan benar pada penerima. Sebuah metode ekstraksi juga disarankan untuk meningkatkan akurasi ekstraksi di bawah serangan yang kuat. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa skema yang diusulkan memberikan ketahanan yang baik

terhadap serangan umum, dan dapat memulihkan citra asli dengan baik setelah citra ber*watermark* diserang.

Skema yang diusulkan menyajikan ketahanan yang baik pada serangan saluran seperti seperti JPEG, JPEG2000, AWGN, dan sebagainya. Skema yang diusulkan dapat memulihkan citra *host* tanpa kehilangan ketika tidak ada serangan. Selanjutnya, citra asli masih dapat dipulihkan sebagian jika citra ber*watermark* telah mengalami serangan. Hal ini dapat memperbesar kemungkinan penerapan *watermark* yang dapat dibalik.

1.6 Kesimpulan dan Ringkasan CD-1

Pertukaran informasi dalam bentuk citra digital semakin mudah, namun menimbulkan masalah keamanan seperti modifikasi dan akses ilegal. Teknik watermarking digunakan untuk melindungi citra digital. Teknik watermarking dapat menurunkan kualitas citra asli, sehingga dikembangkan teknik RRW. RRW merupakan teknik yang menjanjikan untuk melindungi citra digital karena dapat memulihkan citra asli tanpa kehilangan data. RRW bertujuan memberikan performa *imperceptibility*, *capacity* dan *robustness* yang optimal pada citra digital. RRW dapat memulihkan *watermark* dan citra *host* saat citra ber-*watermark* tanpa atau mengalami serangan. Beberapa skema RRW telah diusulkan, seperti oleh Coltuc, Wang, Tang, dll. Skema RRW memiliki kelebihan dalam hal *robustness* dan reversibilitas, namun masih memiliki keterbatasan dalam menghadapi jenis serangan tertentu. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk meningkatkan *robustness* RRW terhadap beragam jenis serangan pada citra digital. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam meningkatkan kualitas *watermarking*, khususnya dalam konteks keamanan citra digital. Langkah selanjutnya adalah menguji lebih lanjut dan implementasi untuk memvalidasi efektivitas kedua solusi di dalam lingkungan nyata industri digital. Pada penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam meningkatkan kualitas watermarking pada citra digital dan melindungi keaslian serta integritas citra digital.