

ABSTRAK

Pesatnya perkembangan teknologi digital telah meningkatkan risiko keamanan dalam penciptaan, distribusi, dan manipulasi citra digital. Teknik *watermarking* menjadi metode penting untuk melindungi hak cipta dan menjaga keaslian citra digital. Namun, teknik *watermarking* yang ada sering menghadapi kendala dalam menjaga kualitas citra dan ketahanan terhadap serangan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang lebih efektif menggunakan teknik *Robust Reversible Watermarking* (RRW). *Robust* merujuk pada kemampuan watermark untuk bertahan terhadap serangan, sementara *reversible* mengacu pada kemampuan sistem untuk mengembalikan citra ke kondisi aslinya.

Penelitian ini bertujuan mengembangkan aplikasi RRW pada citra digital bernama Wmarks. Metode pertama yang diusulkan adalah RRW berbasis *Polar Harmonic Transform* (PHT) dengan *Logarithmic Quantization Index Modulation* (LQIM), yang menggunakan kuantisasi berbasis logaritmik untuk menyisipkan *watermark* ke dalam citra. Metode kedua adalah RRW berbasis PHT dengan *Multibit Spread Spectrum* (MSS), yang menyisipkan beberapa *watermark* secara simultan melalui kode PN. Usulan ketiga adalah penerapan RRW berbasis PHT pada citra berwarna RGB, dengan memanfaatkan kanal RGB untuk menyisipkan *watermark*. Usulan keempat adalah RRW dengan metode *reversible Spread Spectrum* (SS) adaptif, yang memanfaatkan amplitudo SS menggunakan *Integer Wavelet Transform* (IWT) atau *Discrete Wavelet Transform* (DWT).

Metode PHT dengan LQIM menunjukkan ketahanan terhadap serangan seperti JPEG *Quality Factor*, AWGN, *Gaussian attack*, serta *Median Filter*, *Wiener Filter*, dan *Average Filter*, dengan PSNR rata-rata 33.44 dB dan BER 0. Metode PHT dengan MSS menunjukkan ketahanan terhadap JPEG *Quality Factor*, *noise* (AWGN, *Salt and Pepper*, *Speckle Noise*), *scaling*, dan *filtering*, dengan PSNR rata-rata 36.18 dB dan BER 0. Pada citra RGB, metode PHT menghasilkan PSNR sebesar 46.32 dB dengan BER 0 dan ketahanan terhadap serangan JPEG *Quality Factor*, *Gaussian Filter*, serta *Speckle Noise*. Metode *Spread Spectrum* (SS) adaptif menghasilkan PSNR tertinggi, yaitu 59.71 dB, dengan BER 0, serta ketahanan terhadap JPEG *Quality Factor* dan AWGN. Selain itu, aplikasi Wmarks menunjukkan performa responsif dengan *latency* rendah, penggunaan CPU yang efisien, serta mendapatkan skor SUS sebesar 80.35, yang menunjukkan bahwa sistem ini sangat layak digunakan. Dengan demikian, sistem ini memberikan solusi efektif untuk melindungi hak cipta dan keaslian citra digital.

Kata kunci : *Watermarking*, Citra digital, *Reversible*, *Robust*, *Polar Harmonic Transform*.