

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan penelitian dan pengujian yang telah dilakukan mengenai **“Pengembangan Aplikasi Proteksi Dokumen Digital Menggunakan Base64 dan Huffman dengan Steganografi Gambar Berbasis Web”** diperoleh simpulan sebagai berikut.

1. Aplikasi proteksi dokumen digital berhasil dikonstruksi di atas kerangka Flask *backend* dengan antarmuka HTML, PHP, CSS dan JavaScript *frontend*. Tiga teknik utama konversi *Base64*, kompresi *Huffman* termasuk hashing pohon *huffman* sebagai validasi kepemilikan, penyembunyian *Least significant bit* (LSB). Uji *black-box* pada skenario sesuai dengan rancangan yang diharapkan.
2. Pengujian terhadap 20 dokumen *multiformat* (.docx, .xlsx, .pptx, .pdf, .txt) yang disisipkan ke dalam 15 citra PNG menghasilkan temuan utama berikut:
 - a) Hasil pengujian membuktikan bahwa setiap komponen *Base64* untuk pengubahan representasi teks, Huffman coding beserta hashing pohon *Huffman* untuk kompresi dan validasi integritas, serta steganografi *least significant bit* untuk penyisipan berjalan sesuai rancangan, sehingga kinerja keseluruhan sistem terbukti konsisten dengan spesifikasi yang ditetapkan.
 - b) Kinerja kompresi *Huffman* dalam mereduksi panjang biner dokumen telah sesuai, dibuktikan dengan adanya penurunan nilai binary yang dihasilkan sehingga menekan kebutuhan ruang *payload* tanpa menghilangkan informasi. Selain itu, integritas dokumen tetap terjaga yang ditunjukkan oleh kencocokan nilai *Hashing SHA 256* yang diterapkan pada pohon *huffman* sebelum dan sesudah ekstraksi.

- c) Kualitas *cover image* tetap prima ditunjukkan dengan nilai MSE yang rendah serta *PSNR* rata-rata 48 *dB*, sehingga perubahan citra tidak terdeteksi secara visual.

Simpulan di atas menegaskan bahwa sistem ini dapat menghasilkan skema proteksi dokumen digital yang aman, kinerja sesuai, serta dapat diimplementasikan pada lingkungan yang dibutuhkan.

5.2 Saran

Untuk pengembangan lebih lanjut, disarankan agar sistem mendukung berbagai format gambar seperti *JPEG* dan *WebP* dengan mempertimbangkan algoritma steganografi lain yang lebih adaptif terhadap kompresi *lossy*. Selain itu, pengembangan fitur keamanan tambahan seperti autentikasi dua faktor dan digital signature dapat meningkatkan proteksi data secara *end-to-end*. Penggunaan basis data untuk log penyimpanan dan validasi *hash* historis juga dapat memperkuat aspek forensik dan jejak audit dalam pengelolaan dokumen digital. Penelitian selanjutnya juga dapat mempertimbangkan penggunaan algoritma kompresi lain untuk membandingkan performa terhadap *Huffman coding*, serta mengoptimalkan performa sistem untuk pemrosesan file berukuran besar.