

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil evaluasi kuantitatif dan visual yang telah dilakukan pada Bab 4, dapat disimpulkan bahwa metode steganografi menggunakan Hybrid Adaptive LSB + Pixel Value Differencing (PVD) yang diimplementasikan pada kanal RGB citra digital, serta digabungkan dengan algoritma ChaCha20 sebagai enkripsi pesan, memberikan hasil yang efektif dari aspek imperseptibilitas dan kapasitas. Menurut hasil pengujian, semua nilai Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) dari semua pengujian berada di atas 60 dB, yang biasanya lebih tinggi daripada ambang batas 40 dB yang sering digunakan untuk mengindikasikan bahwa perubahan dalam penglihatan tidak terlihat oleh mata manusia. Penyisipan 26 karakter ke dalam gambar 256x256 piksel menghasilkan nilai PSNR maksimum 76,17 dB, sedangkan penyisipan 237 karakter menghasilkan nilai terendah 63,33 dB. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun kuantitas pesan ditingkatkan, teknik ini mempertahankan kualitas visual gambar.

Selain itu, meningkatkan jumlah karakter yang disisipkan (hingga 446 karakter) masih menghasilkan nilai PSNR yang baik ( $\geq 68,79$  dB) pada gambar berkualitas lebih besar seperti  $512 \times 512$  dan  $1366 \times 768$  piksel, menunjukkan bahwa pendekatan ini dapat diskalakan ke ukuran gambar yang berbeda.

Ukuran file stego cenderung bervariasi, terkadang meningkat secara signifikan, terutama dalam format gambar yang tidak terkompresi. Sebagai contoh, setelah 232 karakter ditambahkan, ukuran gambar pada Gambar 4 bertambah dari 80 KB menjadi 183 KB. Hal ini menunjukkan bahwa sifat penyimpanan format file, dan bukannya kerusakan visual, yang menjadi penyebab pertumbuhan ukuran file.

Histogram RGB juga menunjukkan bahwa injeksi data tidak menghasilkan pola distribusi yang dapat dilihat secara kasat mata, yang menunjukkan bahwa metode ini juga berhasil dalam menjaga keamanan berdasarkan analisis statistik dasar.

Secara umum, metode steganografi ini:

- 1) Secara efektif dan adaptif menyisipkan pesan rahasia sesuai dengan sensitivitas bit terhadap perubahan dan perbedaan intensitas piksel.

- 2) Mempertahankan kualitas visual PSNR yang tinggi dari gambar stego.
- 3) Bekerja dengan baik dengan foto digital dengan resolusi yang berbeda, mulai dari yang rendah hingga yang tinggi.

Oleh karena itu, berdasarkan hasil percobaan, dapat disimpulkan bahwa pendekatan Hybrid LSB + PVD yang dapat beradaptasi bersama dengan enkripsi ChaCha20 efektif dalam memperkenalkan pesan tersembunyi dengan cara yang aman, mudah beradaptasi, dan tidak terdeteksi.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian pada penelitian ini, beberapa saran dapat diberikan untuk pengembangan dan penyempurnaan sistem di masa mendatang, antara lain:

### a) Pengujian pada Format Gambar Lain

Penelitian ini hanya fokus pada format RGB 24-bit. Untuk memperluas cakupan, perlu dilakukan pengujian pada format lain seperti grayscale dan RGBA.

### b) Optimalisasi Format Penyimpanan

Karena penyisipan data dapat menyebabkan ukuran file meningkat drastis (terutama pada format seperti PNG atau BMP), disarankan untuk mengimplementasikan **algoritma kompresi lossless tambahan** setelah proses embedding untuk menjaga ukuran file tetap efisien tanpa mengurangi kualitas gambar.