

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kombinasi metode *Pixel Value Differencing* (PVD) dan *Generative Adversarial Network* (GAN) mampu menghasilkan citra stego dengan kualitas visual yang cukup baik pada berbagai kapasitas *payload*. Pada *payload* 1 BPP, hasil terbaik tercatat dengan PSNR sebesar 41,2460 dB, SSIM 0,9774, dan BER setelah voting 0,015131. Untuk *payload* 2 BPP, nilai terbaiknya adalah PSNR 36,3713 dB, SSIM 0,9520, dan BER 0,004101. Sedangkan pada *payload* 3 BPP, hasil optimal diperoleh dengan PSNR 29,1660 dB, SSIM 0,7877, dan BER 0,01006. Secara umum, semakin besar *payload* yang disisipkan, kualitas visual (PSNR dan SSIM) cenderung menurun dan risiko kesalahan bit meningkat, sehingga peluang keberhasilan ekstraksi pesan menjadi lebih rendah.

Metode yang diusulkan terbukti cukup tangguh terhadap gangguan noise berintensitas rendah, namun kinerjanya menurun signifikan pada intensitas tinggi dan kompresi *lossy*. Pada *payload* 1 BPP, pesan masih dapat diekstrak dengan baik pada *Gaussian noise* hingga $\sigma = 0,02$, *Speckle noise* hingga $\sigma = 0,03$, dan *Salt & Pepper noise* hingga $\sigma = 0,02$. Untuk *payload* 2 BPP, batas ketahanan turun menjadi *Gaussian noise* $\sigma = 0,06$, *Speckle noise* $\sigma = 0,03$, dan *Salt & Pepper noise* $\sigma = 0,01$. Pada *payload* 3 BPP, hanya sedikit yang berhasil, seperti *Gaussian noise* $\sigma = 0,001$ dan *Speckle noise* $\sigma = 0,03$. Kompresi *lossy*, bahkan pada kualitas $q = 100\%$, selalu berujung pada kegagalan ekstraksi pesan karena proses *chroma subsampling* dan transformasi DCT menghilangkan sebagian informasi penting. Upaya menambahkan proses *denoising* sebelum ekstraksi pun tidak membawa hasil positif, bahkan terkadang meningkatkan nilai BER karena mengubah pola piksel yang menyimpan data tersembunyi.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, pengembangan metode PVD dan GAN di masa mendatang sebaiknya difokuskan pada peningkatan ketahanan terhadap kompresi *lossy* dan gangguan *noise* dengan intensitas tinggi. Peningkatan ini dapat dilakukan dengan menambahkan mekanisme *error correction code* atau menerapkan teknik *robust embedding* yang mampu menjaga integritas pesan meskipun citra mengalami degradasi. Selain itu, penerapan skema adaptif yang menyesuaikan pola penyisipan dengan karakteristik lokal citra berpotensi membantu mempertahankan kualitas visual, terutama pada kapasitas *payload* yang tinggi. Penelitian lanjutan juga disarankan untuk menguji metode ini pada berbagai format dan resolusi citra, sehingga performanya dapat dievaluasi dalam skenario yang lebih beragam dan mendekati kondisi penggunaan di dunia nyata.