

## BAB V SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Penelitian ini telah berhasil menganalisis performansi steganografi pada *Parametric Stereo* dengan menggunakan metode *Improved Spread Spectrum* (ISS) untuk pengiriman data rahasia. Evaluasi dilakukan berdasarkan lima variasi penyisipan data, yaitu data beda, data sama, data di kanal kiri saja, data di kanal kanan saja dan data beda dengan *frame size* 2X, serta dengan pengujian pada berbagai *frame size* dan *bit rate*. Berdasarkan hasil yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada sistem steganografi audio dengan metode *Improved Spread Spectrum* (ISS) yang diterapkan pada *Parametric Stereo*, terdapat empat variasi proses *embedding* yang diuji, yaitu: (1) penyisipan data berbeda pada masing-masing kanal (data beda), (2) penyisipan data yang sama pada kedua kanal (data sama), (3) penyisipan data hanya pada kanal kiri (kiri saja), dan (4) penyisipan data hanya pada kanal kanan (kanan saja). Keempat variasi ini dibandingkan untuk menganalisis pengaruh distribusi data terhadap kualitas sinyal *stego* dan kemampuan ekstraksi data setelah proses pengkodean *Parametric Stereo*.
2. Berdasarkan hasil pengujian hubungan antara *Watermark Energy* (WE) dan *Error Probability* (EP), seluruh variasi penyisipan data menunjukkan bahwa peningkatan energi *watermark* berbanding terbalik dengan nilai *Error Probability*. Namun, variasi data yang sama pada kedua kanal memberikan hasil paling optimal karena mampu mencapai nilai *Error Probability* terendah dengan peningkatan energi *watermark* yang relatif kecil. Kondisi ini menunjukkan bahwa proses *embedding* pada variasi data sama menghasilkan sinyal *stego* yang lebih stabil dan memiliki tingkat keberhasilan deteksi data yang tinggi tanpa menyebabkan distorsi signifikan pada sinyal audio.
3. Hasil pengujian *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) menunjukkan bahwa variasi data yang sama pada kedua kanal memiliki nilai SNR tertinggi pada setiap bit rate yang diuji. Nilai SNR yang tinggi menandakan bahwa sinyal *stego* memiliki tingkat kesamaan yang tinggi dengan sinyal cover audio, sehingga distorsi yang dihasilkan akibat penyisipan data sangat kecil. Hal ini disebabkan oleh keseimbangan distribusi energi *watermark* pada kedua kanal yang membuat proses *downmix* dan rekonstruksi *Parametric Stereo* berlangsung tanpa menimbulkan perbedaan amplitudo atau fase yang signifikan. Sementara itu, variasi dengan data berbeda atau penyisipan hanya pada salah satu kanal menunjukkan nilai SNR yang lebih rendah akibat adanya ketidakseimbangan energi antar kanal yang meningkatkan derau total pada hasil rekonstruksi stereo.

4. Pengujian *Objective Difference Grade* (ODG) juga memperlihatkan bahwa variasi data sama pada kedua kanal menghasilkan nilai ODG yang paling mendekati nol dibandingkan variasi lainnya. Nilai ODG yang mendekati nol menunjukkan bahwa perbedaan antara sinyal *stego* dan *cover* audio hampir tidak terdengar oleh pendengaran manusia. Dengan demikian, *embedding* data yang identik di kedua kanal tidak menurunkan kualitas persepsi audio secara signifikan, sehingga dapat dikatakan bahwa variasi data sama memberikan hasil terbaik dari sisi kualitas persepsi subjektif.
5. Pengujian nilai *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) setelah proses kompresi menggunakan format AAC dilakukan untuk memvalidasi alasan mengapa variasi penyisipan data yang sama pada kedua kanal memberikan performa terbaik dibandingkan variasi lainnya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi data sama tetap memiliki nilai SNR tertinggi meskipun telah melalui proses kompresi *Parametric Stereo*. Dengan kata lain, *embedding* data identik pada kedua kanal menghasilkan keseimbangan energi *watermark* yang membuat perubahan terhadap sinyal asli menjadi sangat kecil, sehingga tidak menimbulkan perbedaan signifikan saat proses *downmix* dan rekonstruksi stereo. Oleh karena itu, nilai SNR yang tinggi setelah kompresi menjadi bukti bahwa variasi data sama lebih tahan terhadap distorsi dan merupakan metode penyisipan yang paling efisien secara kompresi.

## 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk pengembangan lebih lanjut:

1. Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan menguji sistem ISS menggunakan metode *closed-loop* atau *error feedback* agar bit yang diekstrak memiliki tingkat error lebih rendah, terutama setelah proses kompresi.
2. Untuk meningkatkan kapasitas penyisipan tanpa mengorbankan kualitas audio, penelitian selanjutnya dapat mengembangkan sistem *adaptive* ISS yang mampu menyesuaikan parameter *embedding* berdasarkan karakteristik lokal sinyal audio.
3. Disarankan untuk mengevaluasi performa metode ISS pada format audio lain seperti multichannel audio atau codec audio lain seperti OPUS untuk mengetahui ketahanan sistem terhadap jenis kompresi yang berbeda.
4. Penelitian lebih lanjut juga dapat menambahkan skema enkripsi atau otentikasi data sebelum *embedding* agar sistem lebih aman dan dapat diterapkan pada skenario komunikasi rahasia yang lebih kompleks.