

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan eksperimen yang telah dilakukan dalam penelitian ini mengenai penyisipan *watermark* pada audio menggunakan metode *Spread spectrum* dan kompresi AAC, dapat disimpulkan beberapa poin penting sebagai berikut.

#### 1. Pengaruh Panjang Frame terhadap Ketahanan Sinyal

Panjang frame berpengaruh signifikan terhadap perubahan antara sinyal audio asli dan sinyal audio yang disisipi *watermark*. Semakin pendek panjang frame, semakin besar perbedaan yang terjadi, sehingga ketahanan sinyal terhadap distorsi cenderung rendah. Nilai SNR tertinggi tercatat pada *bitrate* 128 *kbps* dengan Panjang Frame 67.584, yaitu 29,20 dB, sedangkan nilai terendah terjadi pada *bitrate* 32 *kbps* dengan Panjang Frame 1024 sebesar 5,06 dB. Dari sisi persepsi audio (ODG), kualitas terbaik diperoleh pada *bitrate* 128 *kbps* dengan Panjang Frame 139.264 (ODG = -0,93), sedangkan kualitas terburuk terjadi pada *bitrate* 32 *kbps* dengan Panjang Frame 1024 (ODG = -3,89).

#### 2. Pengaruh Panjang Frame terhadap *Watermark Energy* dan *Error probability*

Panjang frame juga memengaruhi besarnya energi *watermark* (*Watermark Energy*) yang tertanam pada sinyal audio. Semakin panjang frame, semakin banyak sampel yang digunakan untuk menyebarkan satu bit *watermark*, sehingga energi *watermark* lebih besar dan ketahanan terhadap gangguan meningkat. Secara umum, nilai WE yang lebih besar akan menurunkan *Error probability* (EP), namun pengaruhnya sangat dipengaruhi oleh *bitrate*. Hasil pengujian menunjukkan:

- a) *Bitrate* rendah (32 *kbps*): EP terendah sebesar -2,6561 dicapai pada WE=105,12, sedangkan EP tertinggi sebesar -0,2707 terjadi pada WE=59,12.
- b) *Bitrate* menengah (64 *kbps*): EP terendah sebesar -2,6117 dicapai pada WE=36,64, sedangkan EP tertinggi sebesar -0,2899 terjadi pada WE=0,0139.
- c) *Bitrate* tinggi (128 *kbps*): EP terendah sebesar -2,6561 dicapai pada WE=20,76, sedangkan EP tertinggi sebesar -0,2369 terjadi pada WE=0,0130.

Hal ini menunjukkan bahwa *bitrate* tinggi dapat mencapai EP yang rendah dengan WE yang lebih kecil, sedangkan pada *bitrate* rendah dibutuhkan WE sangat besar untuk hasil yang sama.

#### 3. Kapasitas Penyisipan

Kapasitas *embedding* (*bps*) memiliki hubungan terbalik terhadap panjang frame. Kapasitas terbesar diperoleh pada  $N = 1024$  dan *bitrate* 128 *kbps*, sedangkan kapasitas terkecil terjadi pada  $N = 10240$  dan *bitrate* 32 *kbps*. Meskipun frame yang lebih panjang menghasilkan *bps* yang lebih rendah, tetapi mampu menyebarkan *watermark* ke lebih banyak sampel sehingga meningkatkan ketahanan dan imperseptibilitas.

#### 4. Konfigurasi Optimal Sistem

Kombinasi panjang frame 58638, *bitrate* 128 *kbps*, dan *Watermark Energy* 20-30 dipilih sebagai konfigurasi paling optimal karena pada kondisi tersebut sistem mampu mempertahankan nilai SNR di atas 20 dB (perbedaan sinyal sangat kecil), memperoleh nilai ODG lebih baik dari -1,5 (*watermark* hampir tidak terdengar), dan mencapai *Error Probability* terendah di -2,6561 tanpa memerlukan energi *watermark* yang terlalu besar. Dengan demikian, konfigurasi ini memberikan keseimbangan terbaik antara kapasitas penyisipan, ketahanan *watermark*, dan kualitas persepsi audio.

#### 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya dapat mengoptimalkan kombinasi panjang frame dan nilai WE untuk menyeimbangkan antara kapasitas penyisipan, kualitas audio, dan tingkat keberhasilan deteksi *watermark*.
2. Analisis lanjutan dapat dilakukan menggunakan metode *psychoacoustic modeling* untuk meningkatkan kualitas persepsi audio (ODG), tanpa mengorbankan tingkat deteksi *watermark*.

