

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Penelitian ini membahas evaluasi kinerja metode *Improved Spread Spectrum Steganography* pada *Audio Coding* dengan *noise feedback*. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh sejumlah kesimpulan sebagai berikut:

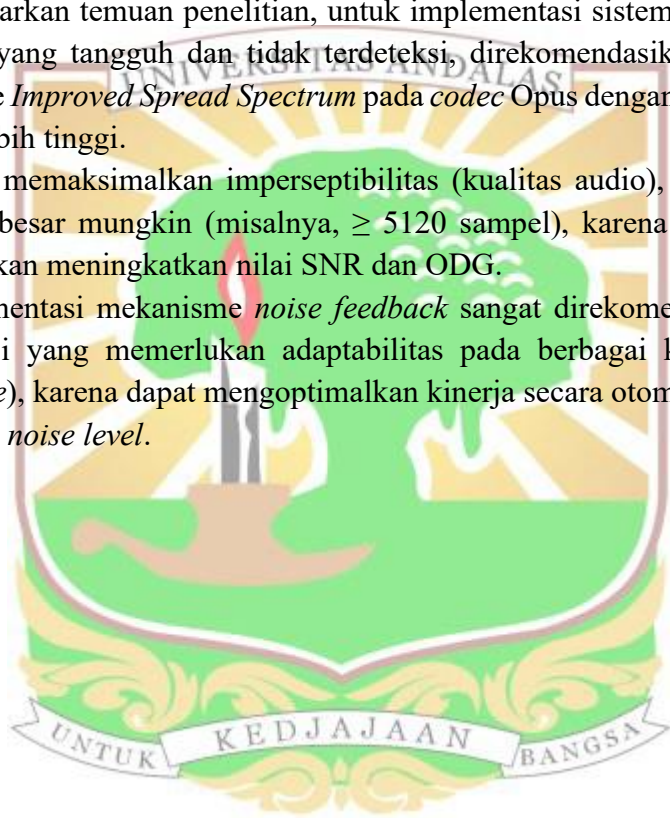
1. Kinerja ISS dapat dioptimalkan lebih lanjut melalui penerapan mekanisme *noise feedback*, yang terbukti efektif dalam meningkatkan keandalan sistem. Mekanisme ini bekerja dengan cara mengestimasi *noise* aktual yang dihasilkan oleh proses kompresi *codec*, yang kemudian digunakan untuk menyesuaikan parameter *embedding* (λ) secara dinamis demi mencapai performa terbaik.
2. Pada *bitrate* rendah (misalnya 32 kbps), distorsi yang parah akibat kompresi merupakan faktor yang begitu dominan sehingga menutupi perbedaan halus antar variasi masukan *noise level*. Akibatnya, kinerja seluruh varian ISS, termasuk yang menggunakan *noise feedback*, cenderung seragam dan hampir identik.
3. Sebaliknya, saat *bitrate* dinaikkan (64 kbps ke atas), distorsi kompresi akan berkurang. Pada kondisi ini, keunggulan mekanisme *noise feedback* terlihat lebih nyata, terbukti dari kemampuannya untuk secara dinamis memastikan sistem selalu mencapai kinerja yang optimal dibandingkan dengan masukan *noise* statis.
4. Selain itu, penelitian ini juga mengamati bahwa pengaruh mekanisme *noise feedback* tidak lagi signifikan ketika *frame size* (N) yang digunakan sangat besar. Fenomena ini dapat dijelaskan secara teoretis melalui Persamaan (4.9), yang menunjukkan bahwa varians dari proyeksi sinyal $\tilde{x}$ berbanding terbalik dengan nilai N . Ketika N sangat besar, nilai $\tilde{x}$ sangat kecil. Akibatnya, kontribusi dari suku $\lambda\tilde{x}$ pada proses *embedding* dapat diabaikan, terlepas dari apakah nilai λ dioptimalkan melalui *noise feedback* atau menggunakan asumsi *noise* statis. Dalam kondisi ini, kinerja sistem lebih ditentukan oleh parameter *embedding* lainnya pada *frame size* yang besar daripada pengoptimalan parameter λ .
5. Berdasarkan hasil pengujian, implementasi *noise feedback* pada codec Opus memperlihatkan adanya pengaruh meskipun dalam skala yang relatif kecil terhadap kinerja sistem, sedangkan pada codec AAC penerapan *noise feedback* tidak menimbulkan perubahan yang signifikan.
6. *Noise feedback* terbukti mampu mengoptimalkan kinerja ISS *Steganography*, memastikan proses *embedding* dapat menyesuaikan secara adaptif terhadap variasi tingkat gangguan yang disebabkan oleh kompresi audio. Dengan mekanisme ini, sistem mampu mempertahankan keandalan

ekstraksi data rahasia meskipun beroperasi dalam kondisi kompresi yang bervariasi dan kompleks. Penelitian ini menegaskan bahwa penerapan ISS *Steganography* dengan *noise feedback* merupakan solusi efektif untuk menjaga keamanan informasi dalam berbagai skenario transmisi digital modern.

5.2. Saran

Berdasarkan temuan yang diperoleh, beberapa rekomendasi yang dapat diajukan adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan temuan penelitian, untuk implementasi sistem *steganography* audio yang tangguh dan tidak terdeteksi, direkomendasikan penggunaan metode *Improved Spread Spectrum* pada *codec* Opus dengan *bitrate* 80 kbps atau lebih tinggi.
2. Untuk memaksimalkan imperseptibilitas (kualitas audio), gunakan *frame size* sebesar mungkin (misalnya, ≥ 5120 sampel), karena terbukti secara signifikan meningkatkan nilai SNR dan ODG.
3. Implementasi mekanisme *noise feedback* sangat direkomendasikan untuk aplikasi yang memerlukan adaptabilitas pada berbagai kualitas saluran (*bitrate*), karena dapat mengoptimalkan kinerja secara otomatis tanpa perlu asumsi *noise level*.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Grantham-Philips, "T-Mobile hacked: 37 million customers' data stolen in November breach," USA TODAY. [Online]. Available: <https://www.usatoday.com/story/tech/2023/01/20/tmobile-data-hack-37-million-customers/11088603002/>
- [2] N. Provos and P. Honeyman, "Hide and seek: An introduction to steganography," *IEEE Secur. Priv.*, vol. 1, no. 3, pp. 32–44, 2003, doi: 10.1109/MSECP.2003.1203220.
- [3] A. Arshad, N. Siddiqui, and S. Islam, "Advancement on Steganography: A Review," in *Lecture Notes in Networks and Systems*, S. J. Nanda, R. P. Yadav, A. H. Gandomi, and M. Saraswat, Eds., Singapore: Springer Nature Singapore, 2024, pp. 51–65. doi: 10.1007/978-981-99-7820-5_5.
- [4] B. Datta, P. Pal, and S. K. Bandyopadhyay, "Robust multi layer audio steganography," in *12th IEEE International Conference Electronics, Energy, Environment, Communication, Computer, Control: (E3-C3), INDICON 2015*, 2016, pp. 1–6. doi: 10.1109/INDICON.2015.7443342.
- [5] C. Hao, X. Yang, Q. Ma, D. Qu, R. Wang, and T. Zhang, "Quantum audio LSB steganography with entanglement-assisted modulation," *Quantum Inf. Process.*, vol. 23, no. 3, p. 106, 2024, doi: 10.1007/s11128-024-04312-1.
- [6] I. Elfitri, D. Nursyam, R. Kurnia, and Baharuddin, "MPEG surround encoder with steganography feature for data hiding based on LSB method," *AES 146th Int. Conv.*, no. 493, Mar. 2019.
- [7] M. H. Sayed and T. M. Wahbi, "Information Security for Audio Steganography Using a Phase Coding Method," *Eur. J. Theor. Appl. Sci.*, vol. 2, no. 1, pp. 634–647, 2024, doi: 10.59324/ejtas.2024.2(1).55.
- [8] A. A. Alsabhany, F. Ridzuan, and A. H. Azni, "The Adaptive Multi-Level Phase Coding Method in Audio Steganography," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 129291–129306, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2940640.
- [9] S. Lahiri, "Audio Steganography using Echo Hiding in Wavelet Domain with Pseudorandom Sequence," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 140, no. 2, pp. 16–22, 2016, doi: 10.5120/ijca2016909223.
- [10] M. Mahajan and S. Kour Bali, "Combination of Steganography Using Parity Encoding and Spread Spectrum Technique," *Int. J. Res. Electron. Comput. Eng.*, vol. 2, pp. 57–59, 2014.
- [11] A. Kuznetsov, A. Onikiychuk, O. Peshkova, T. Gancarczyk, K. Warwas, and R. Ziubina, "Direct Spread Spectrum Technology for Data Hiding in Audio,"

Sensors, vol. 22, no. 9, Apr. 2022, doi: 10.3390/s22093115.

- [12] A. Anjana Krishnan, C. Satheesh Chandran, S. Kamal, and M. H. Supriya, "Spread spectrum based encrypted audio steganographic system with improved security," *2nd Int. Conf. Circuits, Control. Commun. CCUBE 2017 - Proc.*, pp. 109–114, 2018, doi: 10.1109/CCUBE.2017.8394128.
- [13] H. S. Malvar and D. A. F. Florêncio, "Improved spread spectrum: A new modulation technique for robust watermarking," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 51, no. 4, pp. 898–905, 2003, doi: 10.1109/TSP.2003.809385.
- [14] A. Luthfi and N. Jamarun, "Evaluasi Kinerja Improved Spread Spectrum Steganography pada Advanced Audio Coding," *J. Nas. Teknol. dan Sist. Inf.*, vol. 10, no. 3, pp. 223–230, Jan. 2025, doi: 10.25077/TEKNOSI.v10i3.2024.223-230.
- [15] H. S. Malvar and D. A. Florêncio, "An improved spread spectrum technique for robust watermarking," in *ICASSP, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing - Proceedings*, 2002, pp. IV-3301–IV-3304. doi: 10.1109/icassp.2002.5745359.
- [16] A. Vigo, "Optimalisasi Spread Spectrum Steganography Menggunakan Improved Closed-loop untuk Menyembunyikan Informasi secara Aman," 2025, Padang, Indonesia. [Online]. Available: <http://scholar.unand.ac.id/id/eprint/489512>
- [17] X. Kang, J. Huang, Y. Q. Shi, and Y. Lin, "A DWT-DFT Composite Watermarking Scheme Robust to Both Affine Transform and JPEG Compression," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 13, no. 8, pp. 776–786, 2003, doi: 10.1109/TCSVT.2003.815957.
- [18] F. Hemeida, W. Alexan, and S. Mamdouh, "A comparative study of audio steganography schemes," *Int. J. Comput. Digit. Syst.*, vol. 10, no. 1, pp. 555–562, Apr. 2021, doi: 10.12785/IJCDS/100153.
- [19] W. Bender, D. Gruhl, N. Morimoto, and A. Lu, "Techniques for data hiding," *IBM Syst. J.*, vol. 35, no. 3–4, pp. 313–335, 1996, doi: 10.1147/sj.353.0313.
- [20] J. M. Valin, G. Maxwell, T. B. Terriberry, and K. Vos, "High-quality, low-delay music coding in the opus codec," in *135th Audio Engineering Society Convention 2013*, Audio Engineering Society, Feb. 2013, pp. 73–82. Accessed: Mar. 06, 2025. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1602.04845v1>
- [21] J. M. Valin, K. Vos, and T. Terriberry, "RFC 6716: Definition of the Opus Audio Codec," 2012, *RFC Editor, USA*.
- [22] J.-M. Valin, T. B. Terriberry, C. Montgomery, and G. Maxwell, "A High-Quality Speech and Audio Codec With Less Than 10-ms Delay," *IEEE Trans. Audio. Speech. Lang. Processing*, vol. 18, no. 1, pp. 58–67, 2010, doi:

10.1109/TASL.2009.2023186.

- [23] M. Schroeder and B. Atal, "Code-excited linear prediction (CELP): High-quality speech at very low bit rates," in *ICASSP '85. IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 1985, pp. 937–940. doi: 10.1109/ICASSP.1985.1168147.
- [24] Z. GUO, "Objective Audio Quality Assessment Based on Spectro-Temporal Modulation Analysis," 2011, p. 48. [Online]. Available: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:511367/FULLTEXT01.pdf>
- [25] B. Y. Yong Xiang, Guang Hua, "Digital Audio Watermarking," in *Information Security and Ethics*, in SpringerBriefs in Electrical and Computer Engineering, Singapore: IGI Global, 2011. doi:10.4018/9781599049373.ch008.
- [26] P. Kabal, "An Examination and Interpretation of ITU-R BS. 1387: Perceptual Evaluation of Audio Quality," *McGill Univ.*, pp. 1–96, 2003.
- [27] D. Palomar, R. Skehill, I. Rice, D. Picovici, and S. McGrath, "Objective assessment of audio quality," in *IET Conference Publications*, 2008, pp. 37–42. doi: 10.1049/cp:20080635.
- [28] L. Amirul, "Perancangan dan Analisis Kinerja Closed-loop R-TTT Module untuk Spatial Audio Coding," 2015. [Online]. Available: <http://scholar.unand.ac.id/id/eprint/13492>
- [29] Xiph.Org Foundation, "Opus Interactive Audio Codec - Downloads," 2025.
- [30] Nero AG, "Nero AAC Codec," 2010.

