STEGANALISIS AUDIO DIGITAL DENGAN *DISCRETE WAVELET TRANSFORM* MENGGUNAKAN *METODE RANDOM FOREST CLASSIFIER*

1st Mochammad Azkal Azkiya'
Program Studi S1 Informatika,
Universitas Telkom
Surabaya,Indonesia
azkalazkiya@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Rizky Fenaldo Maulana
Fakultas Informatika
Universitas Telkom
Surabaya, Indonesia
rizkyfenaldo@telkomuniversity.ac.id

3rd Fandisya Rahman
Fakultas Informatika
Universitas Telkom
Surabaya, Indonesia
fandisyarahman@telkomuniversity.ac.id

***Abstrak* — Perkembangan teknologi digital telah memudahkan pertukaran informasi namun juga membuka celah bagi penyalahgunaan, salah satunya melalui penyisipan pesan tersembunyi atau steganografi dalam audio digital. Untuk mengatasi potensi ancaman ini, penelitian ini mengusulkan sistem steganalisis audio digital menggunakan metode Discrete Wavelet Transform (DWT) dan algoritma klasifikasi Random Forest. Penelitian ini difokuskan pada deteksi keberadaan pesan tersembunyi pada file audio WAV. Dataset terdiri dari 900 file audio berdurasi 10 detik, meliputi data non-stego, stego dengan metode Echo Hiding, dan LSB. Ekstraksi fitur dilakukan hingga level 3 dekomposisi DWT dengan empat fitur statistik: mean, standar deviasi, entropi, dan energi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kombinasi DWT level 3 dan Echo Hiding memberikan performa terbaik dengan akurasi 91,11% dan AUC 0,99. Sebaliknya, metode LSB menunjukkan indikasi overfitting. Hasil ini menegaskan bahwa pendekatan berbasis domain frekuensi seperti DWT lebih efektif dibandingkan pendekatan domain biner seperti LSB.**

***Kata kunci* — steganalisis, discrete wavelet transform, echo hiding, least significant bit, random forest, audio digital**

I. PENDAHULUAN

Pertukaran informasi digital semakin marak di era modern. Informasi dapat disebarkan melalui media seperti teks, gambar, dan audio secara cepat. Namun, kemudahan ini juga membuka peluang penyalahgunaan, salah satunya melalui steganografi, yaitu teknik menyembunyikan informasi ke dalam media digital tanpa terdeteksi[1]. Salah satu media yang rentan adalah audio digital. Teknik steganografi seperti Echo Hiding dan Least Significant Bit (LSB) sering digunakan, namun juga dapat dimanfaatkan untuk komunikasi illegal seperti perencanaan serangan 11 September 2001[2]

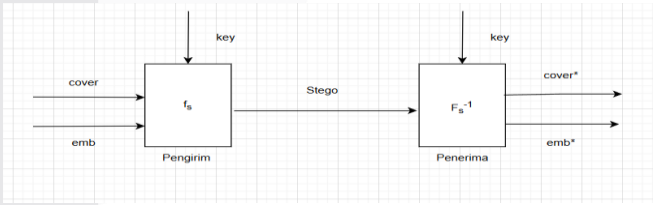
Untuk mengatasi tantangan tersebut, dikembangkan teknik steganalisis, yaitu deteksi keberadaan pesan tersembunyi dalam file audio. Penelitian ini mengusulkan metode steganalisis yang menggabungkan Discrete Wavelet Transform (DWT) untuk ekstraksi fitur sinyal. *DWT* dikenal sebagai teknik efisien untuk menyisipkan data di *LSB* koefisien *wavelet*, yang meningkatkan kehalusan pesan tersembunyi. Namun, metode ini memiliki kelemahan, yaitu risiko kesalahan ekstraksi akibat distorsi selama transmisi [3] utnuk mengatasi kelamhan tersebut Random Forest Classifier digunakan untuk klasifikasi data stego dan non-stego. Berdasarkan penelitian[4] algoritma ini menunjukkan akurasi sebesar 91,5% pada 1205 data uji, lebih tinggi dibandingkan model lainnya. Algoritma ini menggabungkan banyak pohon keputusan untuk meningkatkan akurasi dan stabilitas prediksi, sehingga cocok untuk mendeteksi pola-pola halus pada sinyal audio digital. Penelitian ini juga membandingkan efektivitas metode Echo Hiding dan LSB dalam penyisipan pesan serta mengevaluasi performa deteksi dari sisi akurasi dan metrik lainnya.

II. KAJIAN TEORI

menyajikan dan menjelaskan teori-teori yang berkaitan dengan variabel-variabel penelitian. Poin subjudul ditulis dalam abjad.

A. Steganografi

Steganografi adalah proses menyembunyikan informasi rahasia ke dalam media digital. Pada audio, teknik ini menyisipkan pesan ke dalam sinyal suara tanpa mengubah persepsi suara secara signifikan. steganografi menawarkan metode komunikasi yang lebih aman dan andal dengan menyembunyikan lokasi dan cara penyisipan informasi rahasia, sehingga mengurangi risiko terdeteksi[5]

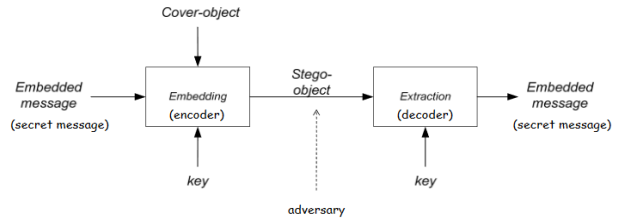


Gambar 1 Steganografi

B. Steganalisis

Steganalisis adalah teknik untuk mendeteksi keberadaan pesan tersembunyi dalam media. Pada penelitian ini, steganalisis diterapkan untuk mengklasifikasi file audio stego dan non-stego dan untuk mengetahui seberapa cocok atau lemah Teknik steganografi yang di lakuakan dan dapat mengevaluasi Tingkat keamnan dan kontribusi pada

pengembangan Teknik penyembunyian informasi[5] .



Gambar 2 Steganalisis

C. Audio Format WAV

WAV adalah singkatan dari istilah dalam bahasa Inggris waveform audio format. WAV merupakan format file audio yang dikembangkan oleh *Microsoft* dan *IBM* sebagai standar untuk menyimpan file audio pada PC, dengan menggunakan *coding PCM- (Pulse Code Modulation).* File WAV adalah file audio yang tidak terkompres sehingga seluruh sampel audio disimpan semuanya di media penyimpanan dalam bentuk digital.[6]

D. Normalisaasi Fitur

Normalisasi Min-Max merupakan metode normalisasi dengan melakukan transformasi linear terhadap data asli sehingga menghasilkan keseimbangan perbandingan nilai antara data sebelum dan sesudah proses Metode ini dapat menggunakan rumus berikut :

$$Xnew = \frac{X - min(X)}{max(X) - min(X)}$$

$Xnew$ = Nilai baru dari hasil normalisasi
X = Nilai lama
$Max\ (X)$ = Nilai maksimum dalam dataset
$Min\ (X)$ = Nilai minimum dalam dataset[7]

E. Discrete Wavelet Transform

DWT adalah metode yang digunakan untuk mengubah sinyal audio dari bentuk asli ke bentuk yang lebih mudah dianalisis berdasarkan frekuensinya. Selain itu *DWT* lebih sensitif dalam mendeteksi perubahan bentuk sinyal pada rentang frekuensi tertentu serta mampu mengidentifikasi tren dan kemiripan antar sinyal yang diproses [8] Prinsip utama *DWT* adalah menghasilkan representasi waktu dan skala dari sebuah sinyal menggunakan teknik pemfilteran digital dan operasi sub-sampling. Dalam proses ini, sinyal dilewatkan melalui *high-pass filter* dan *low-pass filter* dapat dilihat dari rumus sebagai berikut :

$$Yhigh\ [k] = \sum x[n]h[2k\ -\ n]$$

Keterangan :

$Yhigh\ [k]$ = hasil dari high-pass filter

$Ylow\ [k]$ = hasil dari low-pass filter

F. Analisis Stastisk

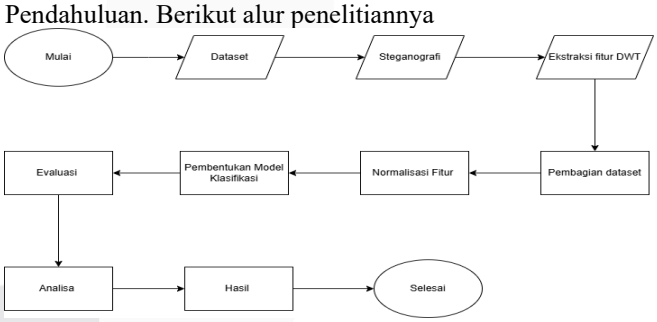
Analisis statistik adalah metode yang digunakan untuk menggambarkan suatu kejadian dalam bentuk sederhana, seperti angka atau grafik, di mana keberhasilannya bergantung pada penerapannya. Penelitian ini menggunakan analisis deskriptif, yang merupakan bagian dari statistik untuk mengolah dan menyajikan data tanpa menarik kesimpulan untuk seluruh populasi. Dengan kata lain, analisis ini hanya memberikan gambaran umum dari data yang diperoleh [9] Dalam penelitian ini, empat parameter statistik, yaitu mean, standar deviasi, energi, dan entropi Keempat parameter ini dirangkum dalam bentuk summary statistics menjadi input utama bagi algoritma *Random Forest* untuk mengenali pola unik antara data stego dan non-stego.

G. Random Forest Classifier

Dalam penelitian tugas akhir ini, fitur statistik dari dekomposisi metode DWT akan dihitung, meliputi empat fitur utama: Mean, Standar Deviasi, Energi, dan Entropi. Fitur-fitur ini akan digunakan untuk mengklasifikasikan apakah suatu audio termasuk ke dalam kategori stego atau bukan, dengan memanfaatkan metode Random Forest Classifier. Random Forest merupakan metode yang didasarkan pada kombinasi beberapa decision tree untuk mengoptimalkan proses klasifikasi. Metode ini bekerja dengan membangun banyak pohon keputusan secara bersamaan menggunakan teknik bagging (bootstrap aggregating), yang menghasilkan subset data acak dari data latih. Setiap pohon keputusan dalam Random Forest menggunakan kriteria pemisahan seperti Gini Index untuk memilih fitur terbaik dalam memisahkan data. Gini Index dihitung untuk mengukur homogenitas data pada setiap node, sehingga fitur yang memberikan pemisahan terbaik akan dipilih pada setiap langkah pembentukan tree.

III. METODE

Bab ini berisi rancangan apa yang dibuat atas dasar teori dari bab sebelumnya, perancangan sistem ini bertujuan untuk mengatasi permasalahan yang telah dipaparkan pada Pendahuluan. Berikut alur penelitiannya



Gambar 3 Alur Penelitian

A. Rancangan Penelitian

Penelitian ini merancang sistem steganalisis audio digital menggunakan kombinasi metode Discrete Wavelet Transform (DWT) dan Random Forest. Dataset terdiri dari 900 file audio WAV berdurasi 10 detik, dibagi menjadi 300 file non-stego, 300 stego menggunakan Echo Hiding, dan 300 stego menggunakan LSB. Proses diawali dengan penyisipan pesan menggunakan metode steganografi, lalu dilakukan ekstraksi fitur statistik dari hasil dekomposisi DWT level 1 sampai level 3 pada sub-band Approxmation dan Detail. Fitur yang diambil mencakup mean, standar deviasi, energi, dan entropi. Fitur dinormalisasi menggunakan Min-Max Scaling dan digunakan sebagai input untuk membentuk model Random Forest. Berikut flow chart alur system

B. Dataset

Tahap awal dalam penelitian ini adalah pengumpulan dataset audio digital yang akan digunakan sebagai input dalam penelitian ini. Dataset Di dapatkan dari Website IEEE dataport yang telah di jelaskan di tabel penelitian terdahulu yang berformat WAV dan berdurasi 10 detik. Berjumlah 900 File audio yang nantinya akan di sisipkan pesan dengan pembagian 300 file audio non stego, 300 file audio stego menggunakan *Echo Hiding* dan 300 file audio mengguanakan *LSB*

C. Steganografi

a) LSB

LSB adalah metode steganografi sederhana yang menyisipkan informasi rahasia ke dalam bit paling tidak signifikan dari sampel audio

b) Echo Hiding

Echo Hiding menyisipkan pesan rahasia dengan cara menambahkan gema (echo) ke dalam sinyal audio. Echo hanya ditambahkan pada bagian tertentu dari sinyal, tergantung pada bit pesan yang ingin disisipkan (biasanya hanya ditambahkan jika bit adalah 1).

D. Ekstraksi Fitur DWT

Setiap file audio diproses menggunakan Discrete Wavelet Transform (DWT) hingga tiga level dekomposisi untuk memperoleh representasi multiresolusi dari sinyal.

1. DWT Level 1 menghasilkan dua sub-band utama: Approximation (cA1) dan Detail (cD1), dari mana dihitung 4 fitur statistik (mean, standar deviasi, energi, dan entropi) per sub-band, total 8 fitur.
2. DWT Level 2 menghasilkan tiga sub-band: cA2, cD2, dan cD1, sehingga diperoleh 12 fitur.
3. DWT Level 3 menghasilkan empat sub-band: cA3, cD3, cD2, dan cD1, total 16 fitur statistik.

Keempat fitur ini menggambarkan sifat sinyal dari berbagai aspek: mean mencerminkan rata-rata amplitudo, standar deviasi menunjukkan sebaran sinyal, energi mewakili kekuatan total sinyal, dan entropi mengukur tingkat keacakan. Kombinasi fitur-fitur tersebut digunakan sebagai input utama dalam proses klasifikasi audio stego dan non-stego.

E. Normalisasi Fitur

Proses normalisasi fitur dilakukan untuk menyamakan skala nilai dari masing-masing fitur statistik yang dihasilkan dari ekstraksi menggunakan Discrete Wavelet Transform (DWT). Hasil ekstraksi fitur dari tiap sub-band (Approxmation,dan Detail) memiliki rentang nilai yang berbeda-beda, tergantung pada jenis statistiknya (seperti mean, standar deviasi, entropy, dan energy), serta karakteristik sinyal audio sumbernya. Dalam penelitian ini, normalisasi fitur dilakukan menggunakan metode Min-Max Scaling, yaitu teknik yang mengubah nilai setiap fitur agar berada dalam rentang [0, 1]. Tujuan dari normalisasi ini adalah untuk menjaga stabilitas proses pelatihan model dan memastikan bahwa fitur dengan skala besar tidak mendominasi fitur lain dalam proses pembelajaran mesin

F. Pembagian Dataset

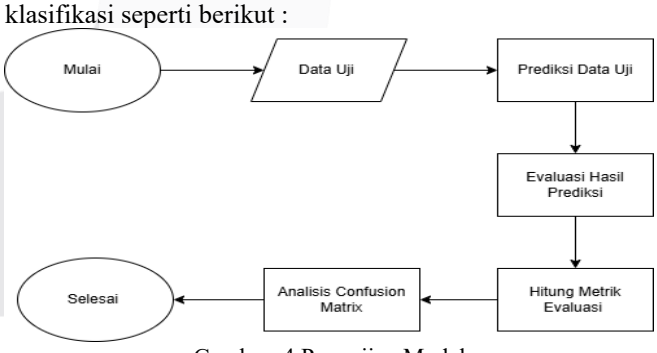
Pada proses ini dataset yang sudah di ekstraksi fitur stastiknya di lakukan pembagian dataset yang nantinya akan digunakan untuk pembentukan model. Data di bagi menjadi dua yaitu data test dan data train yang proporsi pembagiannya data train 70 dan data tes 30

G. Pembentukan Model

Penelitian ini membangun model klasifikasi untuk membedakan antara audio stego dan non-stego menggunakan algoritma Random Forest. Sebelum proses klasifikasi, fitur audio diekstraksi menggunakan Discrete Wavelet Transform (DWT) hingga level 3. Proses DWT memecah sinyal audio menjadi beberapa sub-band berdasarkan frekuensi.

1. Level 1 menghasilkan 2 sub-band: Approximation (cA1) dan Detail (cD1), masing-masing diekstraksi menjadi 4 fitur statistik (mean, standar deviasi, energi, dan entropi), sehingga total 8 fitur.
2. Level 2 menghasilkan 3 sub-band: cA2, cD2, dan cD1, dengan total 12 fitur.
3. Level 3 menghasilkan 4 sub-band: cA3, cD3, cD2, dan cD1, dengan total 16 fitur statistik untuk setiap file audio.

Fitur-fitur ini merepresentasikan karakteristik sinyal dari berbagai frekuensi dan digunakan sebagai input untuk model Random Forest. Model dilatih menggunakan 70% data latih (420 file audio) dan diuji dengan 30% data uji (180 file).
Model menggunakan hyperparameter n_estimators = 100, yang berarti membentuk 100 pohon keputusan. Teknik bagging diterapkan untuk meningkatkan akurasi dan mengurangi overfitting, di mana setiap pohon dilatih dengan subset data acak. Hasil dari seluruh pohon digabungkan melalui voting mayoritas untuk menghasilkan prediksi akhir.berikut adalah flow data uji pada pembentukan model klasifikasi seperti berikut :



Gambar 4 Pengujian Model

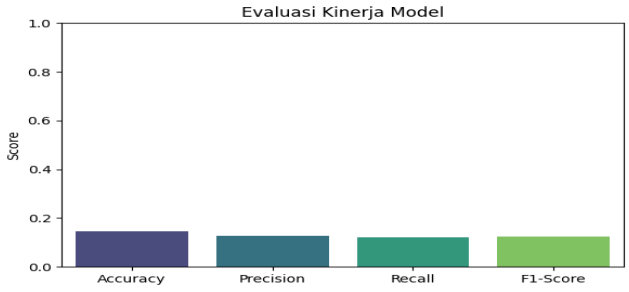
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada subbab ini akan dijelaskan secara rinci mengenai hasil-hasil pengujian dari sistem steganalisis audio digital yang telah dibangun dan dikembangkan. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas dan akurasi sistem dalam mendeteksi keberadaan pesan tersembunyi pada file audio digital. Beberapa kombinasi metode digunakan, yaitu dua teknik penyisipan pesan (LSB dan Echo Hiding) dan dua level dekomposisi DWT (level 1 dan level 3), sehingga

menghasilkan empat konfigurasi eksperimen yang diuji. Evaluasi performa sistem dilakukan dengan menggunakan berbagai metrik evaluasi, termasuk confusion matrix, ROC Curve, barplot evaluasi (yang mencakup akurasi, precision, recall, dan F1-score), serta keluaran hasil di terminal. Fokus utama dari pengujian ini adalah untuk melihat konfigurasi mana yang memberikan hasil terbaik dan seberapa efektif sistem mampu membedakan antara file audio stego dan non-stego. Berikut adalah hasil eksperimen setiap level DWT dari level 1 sampai 3 dan dari dua Teknik penyisipan LSB dan Echo Hiding

A. Eksperimen Sistem LSB dan DWT level 1

Eksperimen ini menggabungkan metode penyisipan pesan menggunakan LSB dengan ekstraksi fitur berbasis DWT level 1. Hasil pengujian menunjukkan bahwa model gagal mengenali pola dari sinyal stego maupun non-stego dengan baik. Dari 180 data uji, sebagian besar diklasifikasikan salah, menghasilkan nilai akurasi sangat rendah yaitu 14.44%. Confusion matrix dan ROC Curve mengindikasikan performa model di bawah prediksi acak, dengan nilai AUC hanya 0.04.
Evaluasi metrik menunjukkan precision 0.13, recall 0.16, dan F1-score 0.17. Selain itu, akurasi pelatihan mencapai 100% sedangkan pengujian hanya 14.44%, menandakan overfitting. Kombinasi LSB dan DWT level 1 tidak mampu menghasilkan fitur yang representatif, sehingga model tidak dapat digunakan untuk deteksi steganografi audio secara efektif. Berikut adalah gambar evaluasi metrik pada eksperimen system dapat dilihat di gamabr di bawah ini

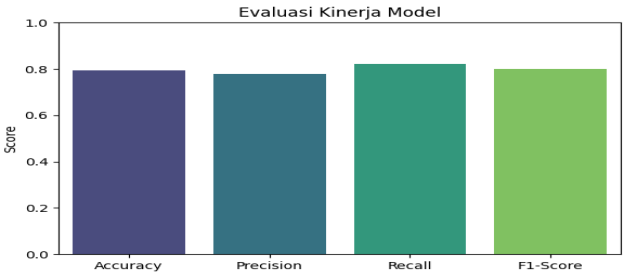


Gambar 5 evaluasi metrik LSB dan DWT level 1

B. Eksperimen Sistem Echo Hiding dan DWT level 1

Eksperimen ini menggunakan metode penyisipan Echo Hiding dan ekstraksi fitur DWT level 1. Hasil pengujian menunjukkan peningkatan signifikan dibanding metode LSB sebelumnya. Dari 180 data uji, model berhasil mengklasifikasikan 74 data stego dan 69 data non-stego dengan benar. Confusion matrix dan ROC Curve dengan nilai AUC sebesar 0.89 menunjukkan bahwa model mampu membedakan sinyal stego dan non-stego secara cukup baik.

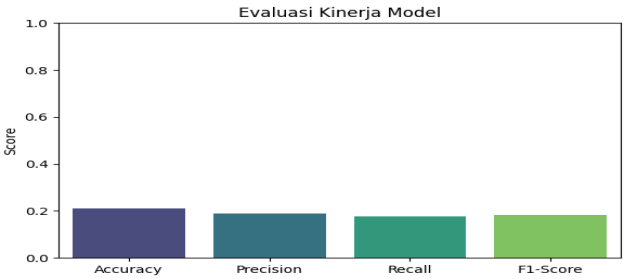
Evaluasi metrik menghasilkan akurasi 75.56%, precision 0.76, recall 0.74, dan F1-score 0.75. Meskipun terdapat sedikit overfitting (akurasi pelatihan 100%), performa pengujian menunjukkan bahwa kombinasi Echo Hiding dan DWT level 1 cukup efektif untuk sistem steganalisis audio, dengan keseimbangan metrik yang menunjukkan kestabilan model terhadap kedua kelas. Berikut adalah gambar evaluasi metrik pada eksperimen system dapat dilihat di gamabr di bawah ini



Gambar 6 evaluasi metrik Echo Hiding dan DWT level 1

C. Eksperimen Sistem LSB dan DWT level 2

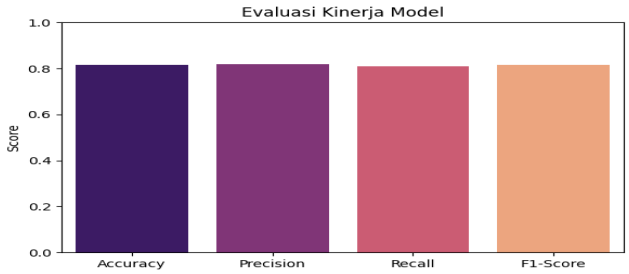
Eksperimen ini menggunakan metode penyisipan LSB dengan ekstraksi fitur melalui DWT hingga level 2. Hasil menunjukkan adanya sedikit peningkatan dibandingkan DWT level 1, di mana model mampu mengenali 22 sampel non-stego dan 16 sampel stego dengan benar. Meskipun demikian, nilai AUC yang diperoleh hanya sebesar 0.12, yang masih tergolong sangat rendah dan mengindikasikan kemampuan klasifikasi yang lemah.
Evaluasi metrik menunjukkan akurasi 21.11%, precision 0.19, recall 0.18, dan F1-score 0.18. Model masih mengalami overfitting, meskipun tidak separah eksperimen sebelumnya. Kombinasi LSB dan DWT level 2 memberikan representasi fitur yang sedikit lebih baik, namun belum cukup untuk membentuk model yang akurat dan andal dalam mendeteksi pesan tersembunyi pada audio digital. Berikut adalah gambar evaluasi metrik pada eksperimen system dapat dilihat di gamabr di bawah ini



Gambar 7 evaluasi metrik LSB dan DWT level 2

D. Eksperimen Sistem Echo Hiding dan DWT level 2

Eksperimen ini menggunakan kombinasi metode penyisipan Echo Hiding dan ekstraksi fitur dengan DWT level 2. Hasil confusion matrix menunjukkan model berhasil mengklasifikasikan 74 data non-stego dan 73 data stego dengan benar dari total 180 data uji. Nilai AUC sebesar 0.86 menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan klasifikasi yang cukup baik dan konsisten dalam membedakan antara audio stego dan non-stego.
Evaluasi metrik menghasilkan akurasi 81.67%, precision 0.82, recall 0.81, dan F1-score 0.82. Meskipun akurasi pelatihan mencapai 100%, hasil pengujian tetap tinggi, yang menandakan model cukup stabil tanpa overfitting berlebihan. Kombinasi Echo Hiding dan DWT level 2 terbukti efektif dan seimbang dalam mendeteksi pesan tersembunyi pada audio digital. Berikut adalah gambar evaluasi metrik pada eksperimen system dapat dilihat di gamabr di bawah ini

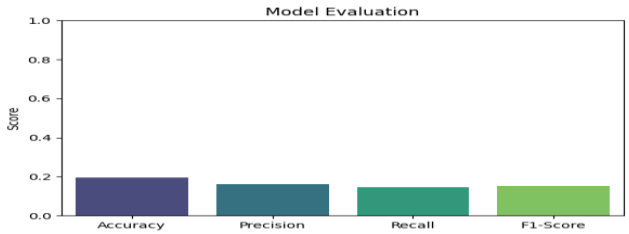


Gambar 8 evaluasi metrik Echo Hiding dan DWT level 2

E. Eksperimen Sistem LSB dan DWT level 3

Eksperimen ini menggabungkan metode penyisipan LSB dengan ekstraksi fitur menggunakan DWT level 3. Hasil confusion matrix menunjukkan bahwa dari 180 data uji, hanya 13 data stego dan 22 data non-stego yang diklasifikasikan dengan benar. ROC Curve menghasilkan nilai AUC sangat rendah, yakni 0.04, menunjukkan bahwa model gagal membedakan antara data stego dan non-stego, bahkan lebih buruk dari tebakan acak.

Evaluasi metrik menghasilkan akurasi 21.67%, precision 0.22, recall 0.21, dan F1-score 0.21. Performa yang sangat rendah ini menandakan bahwa meskipun fitur diekstraksi hingga level 3, metode LSB tidak mampu menghasilkan perubahan sinyal yang cukup kuat untuk dikenali oleh model. Selain itu, selisih besar antara akurasi latih (100%) dan uji mengindikasikan overfitting yang signifikan, menjadikan konfigurasi ini tidak efektif untuk deteksi steganografi audio. Berikut adalah gambar evaluasi metrik pada eksperimen system dapat dilihat di gamabr di bawah ini

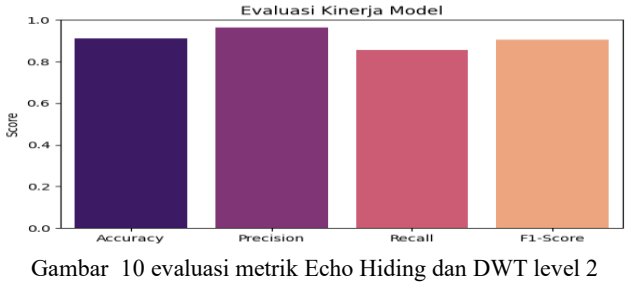


Gambar 9 evaluasi metrik LSB dan DWT level 3

F. Eksperimen Sistem Echo Hiding dan DWT level 3

Eksperimen ini menggunakan metode penyisipan Echo Hiding dan ekstraksi fitur melalui DWT level 3, yang menghasilkan performa terbaik dibandingkan seluruh konfigurasi lainnya. Confusion matrix menunjukkan hasil klasifikasi yang akurat, dengan hanya sedikit kesalahan dari 180 data uji. Model mampu mengenali pola-pola stego dan non-stego dengan sangat baik, menghasilkan akurasi uji 91.11% dan nilai AUC ROC sebesar 0.99—mendekati klasifikasi sempurna.

Evaluasi metrik lainnya juga menunjukkan hasil seimbang dan tinggi: precision 0.91, recall 0.91, dan F1-score 0.91. Selain itu, perbedaan kecil antara akurasi pelatihan (100%) dan pengujian menunjukkan bahwa model tidak mengalami overfitting. Hasil ini mengonfirmasi bahwa kombinasi Echo Hiding dan DWT level 3 sangat efektif dan stabil untuk sistem deteksi pesan tersembunyi dalam steganalisis audio digital. Berikut adalah gambar evaluasi metrik pada eksperimen system dapat dilihat di gamabr di bawah ini



Gambar 10 evaluasi metrik Echo Hiding dan DWT level 2

Dari hasil eksperimen yang telah dilakukan untuk membandingkan kombinasi metode penyisipan pesan (Echo Hiding dan LSB) dengan level dekomposisi DWT (Level 1 hingga 3). Hasil terbaik diperoleh dari kombinasi Echo Hiding dan DWT Level 3 dengan akurasi 91,11%, AUC 0,99, precision 0,93, dan recall 0,90. Sebaliknya, metode LSB menunjukkan akurasi rendah dan model overfitting, dengan performa berbeda signifikan antara data latih dan data uji .Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa metode Echo Hiding yang bekerja di domain frekuensi lebih efektif bila dikombinasikan dengan transformasi DWT, dibandingkan LSB yang bekerja di domain biner. Model Random Forest juga terbukti handal dalam mengklasifikasi sinyal audio berdasarkan fitur statistik hasil dekomposisi DWT.

V. KESIMPULAN

Sistem steganalisis audio digital berbasis DWT dan Random Forest berhasil diimplementasikan dengan baik menggunakan dua metode penyisipan (Echo Hiding dan LSB), serta ekstraksi fitur statistik hingga level 3 DWT. Random Forest terbukti efektif dalam mendeteksi perbedaan antara audio stego dan non-stego tanpa mengetahui isi pesan.

Kombinasi Echo Hiding dan DWT level 3 memberikan performa terbaik (akurasi 91.11%, AUC 0.99), sementara LSB menghasilkan performa rendah dan overfitting. Hal ini menunjukkan bahwa keberhasilan klasifikasi sangat dipengaruhi oleh kecocokan antara metode penyisipan, ekstraksi fitur, dan model yang digunakan.

REFERENSI

[1] A. W. Prastomo, R. W. Ciptasari, and F. Sthevanie, “Steganalisis Audio Berbasis Derivative Spectral pada Domain Fourier Audio Steganalysis Based on Derivative Spectral in Fourier Domain.”

[2] R. Din and A. J. Qasim, “Steganography analysis techniques applied to audio and image files,” *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, vol. 8, no. 4, pp. 1297–1302, Dec. 2019, doi: 10.11591/eei.v8i4.1626.

[3] E. W. Abood, Z. A. Abduljabbar, M. A. Al Sibahee, M. A. Hussain, and Z. A. Hussien, “Securing audio transmission based on encoding and steganography,” *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 22, no. 3, pp. 1777–1786, Jun. 2021, doi: 10.11591/ijeecs.v22.i3.pp1777-1786.

[4] I. Adriansyah, M. D. Mahendra, E. Rasywir, and Y. Pratama, “Perbandingan Metode Random Forest Classifier dan SVM Pada Klasifikasi Kemampuan Level Beradaptasi Pembelajaran Jarak Jauh Siswa,” *Bulletin of Informatics and Data Science*, vol. 1, no.

2, 2022, [Online]. Available: https://ejurnal.pdsi.or.id/index.php/bids/index

[5] Z. Wu, J. Guo, C. Zhang, and C. Li, "Steganography and steganalysis in voice over ip: A review," Feb. 02, 2021, *MDPI AG*. doi: 10.3390/s21041032.

[6] F. Chikita Venna, F. Sains, and D. Teknologi, "IMPLEMENTASI STEGANOGRAFI AUDIO PADA FILE WAV DENGAN METODE REDUNDANT PATTERN ENCODING (RPE) BERBASIS ANDROID SKRIPSI Oleh : PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA."

[7] H. 1, T. Wahyuningsih , and E. Rahwanto, "Comparison of Min-Max normalization and Z-Score Normalization in the K-nearest neighbor (kNN) Algorithm to Test the Accuracy of Types of Breast Cancer." [Online]. Available: http://archive.ics.uci.edu/ml.

[8] F. Adhanadi, L. Novamizanti, and G. Budiman, "DWT-SMM-based audio steganography with RSA encryption and compressive sampling," *Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, vol. 18, no. 2, pp. 1095–1104, Apr. 2020, doi: 10.12928/TELKOMNIKA.v18i2.14833.

[9] N. A. Setyawan, D. B. Hidayat, and S. Sa'idah, "STEGANALISIS AUDIO DIGITAL DENGAN DISCRETE WAVELET TRANSFORM MENGGUNAKAN METODE SUPPORT VECTOR MACHINE CLASSIFIER AUDIO DIGITAL STEGANALYSIS WITH DISCRETE WAVELET TRANSFORM USING SUPPORT VECTOR MACHINE CLASSIFIER."