



VISUALISASI DAN ANALISIS FREKUENSI SUARA MUSIK DENGAN METODE FAST FOURIER DAN HAMMING WINDOW

Zahra Agustina ^{1*}, Putri Nafidhotun Nisa ², Lina Silfia Laoli ³

^{1,2,3}Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Negeri Semarang, Jawa Tengah

E-mail: zaahraaaaanaa@students.unnes.ac.id^{1*}, nafinisa20@students.unnes.ac.id^{2*},
linalaoli240@students.unnes.ac.id^{3*}

ABSTRACT

Spectral analysis is an important method in audio signal processing, especially in understanding the frequency characteristics of musical sounds. This research aims to visualize and analyze the frequency of music sound signals using Hamming window and Fourier Transform (Fast Fourier Transform or FFT). The process begins with capturing the sound signal, and then segmentation is performed using windowing techniques to minimize spectral leakage. The Fourier Transform results are presented in the form of a magnitude spectrum for each segment. This research shows that applying the Hamming window combined with the FFT can provide accurate frequency representation and is useful in music pattern recognition, feature extraction, and various other spectral analysis purposes.

Keywords: *Spektral Analysis; FFT; Hamming Window; Sound signal*

ABSTRAK

Analisis spektral merupakan metode yang penting dalam pengolahan sinyal audio, khususnya dalam memahami karakteristik frekuensi dari suara musik. Penelitian ini bertujuan untuk memvisualisasikan dan menganalisis frekuensi dari sinyal suara musik dengan menggunakan jendela Hamming window dan Transformasi Fourier (Fast Fourier Transform atau FFT). Proses dimulai dengan pengambilan sinyal suara, kemudian dilakukan segmentasi dengan menggunakan teknik windowing untuk meminimalisir kebocoran spektral. Hasil Transformasi Fourier disajikan dalam bentuk spektrum magnitudo untuk setiap segmen. Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan jendela Hamming window yang dikombinasikan dengan FFT mampu memberikan representasi frekuensi yang akurat dan berguna dalam pengenalan pola musik, ekstraksi fitur, serta berbagai keperluan analisis spektral lainnya.

Kata Kunci: *Analisis Spektral; FFT; Hamming Window; Sinyal Suara*

Article History

Received: Mei 2025

Reviewed: Mei 2025

Published: Mei 2025

Plagiarism Checker No
235

Prefix DOI :

[10.8734/Kohesi.v1i2.365](https://doi.org/10.8734/Kohesi.v1i2.365)

Copyright : Author

Publish by : Kohesi



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

1. PENDAHULUAN

Visualisasi menjadi alat penting dalam pemrosesan sinyal digital untuk memahami perilaku sinyal secara intuitif. Khususnya dalam konteks musik digital, visualisasi sinyal dapat menyatakan informasi tersembunyi mengenai pola frekuensi dan dinamika temporal,



yang sering kali sulit diamati hanya melalui pendengaran atau tampilan gelombang waktu. Salah satu bentuk visualisasi yang digunakan dalam analisis sinyal adalah spectrogram, yaitu penggambaran dua dimensi dari intensitas frekuensi terhadap waktu, yang berguna dalam aplikasi analisis suara dan musik (Smith III, 2002).

Analisis frekuensi merupakan teknik yang dimanfaatkan untuk mengetahui kandungan spektral dalam sinyal, yaitu frekuensi-frekuensi apa saja yang menyusun sinyal tersebut. Dalam konteks musik, analisis frekuensi dapat digunakan untuk mengungkap instrumen dominan, harmoni, serta pola ritme melalui struktur spektral. Teknik ini menjadi dasar bagi berbagai aplikasi masa kini, seperti sistem rekomendasi musik, pengenalan genre secara otomatis, hingga ekstraksi fitur dalam pembelajaran mesin (Tzanetakis, 2002).

Objek yang dianalisis pada penelitian ini yakni suara musik, yang secara alami memiliki struktur yang lebih kompleks dibandingkan sinyal suara biasa. Musik terdiri dari gabungan nada, harmoni, dan ritme, yang semuanya tercermin dalam domain frekuensi. Karakteristik sinyal musik yang non-stasioner dan cenderung berubah-ubah membuat analisis frekuensi yang tepat menjadi krusial dalam mengungkapkan ciri-ciri audionya secara menyeluruh (Oppenheim, 2010).

Dalam menganalisis sinyal, diperlukan metode tambahan seperti Hamming window, yaitu fungsi jendela yang digunakan untuk membatasi sinyal dalam segmen-segmen pendek dan mengurangi efek spectral leakage ketika sinyal diubah ke domain frekuensi. Fungsi ini menciptakan transisi yang lebih halus di bagian tepi sinyal, sehingga hasil transformasi menjadi lebih stabil dan akurat. Dibandingkan dengan jendela persegi biasa, Hamming window lebih efektif dalam mengurangi kebocoran spektral tanpa mengorbankan resolusi frekuensi secara signifikan (Lyons, 2011).

Proses transformasi dilakukan dengan Transformasi Fourier, khususnya Fast Fourier Transform (FFT), yang memungkinkan perubahan sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi secara efisien. FFT sering dimanfaatkan dalam pemrosesan audio karena kemampuannya mengolah data berukuran besar dengan cepat serta menghasilkan spektrum frekuensi yang detail dan informatif. Ketika dipadukan dengan teknik windowing seperti Hamming, FFT menjadi alat analisis yang sangat efektif untuk mengkaji struktur spektral musik (Smith III, 2002).

Berdasarkan pemaparan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan metode Hamming window dan Transformasi Fourier dalam memvisualisasikan dan menganalisis frekuensi dari suara musik. Melalui pendekatan spektral ini, diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai struktur akustik dalam musik.

2. LANDASAN TEORI

2.1. Sinyal Musik Digital

Sinyal musik digital merupakan representasi numerik dari suara analog yang telah melalui proses sampling (pengambilan nilai amplitudo pada waktu-waktu tertentu) dan kuantisasi (pengubahan nilai tersebut menjadi tingkat diskrit). Melalui pendekatan ini, data suara dapat disimpan, diproses, dan dianalisis secara efisien oleh komputer. Analisis terhadap sinyal musik digital berperan penting untuk memahami pola frekuensi, harmonik, dan temporal yang membentuk struktur musik, yang menjadi dasar dalam berbagai aplikasi



seperti pengenalan genre musik, identifikasi instrumen, dan sistem pencarian berbasis audio (Sumarno, 2019).

2.2. Fast Fourier Transform

Fast Fourier Transform (FFT) merupakan bentuk efisien dari Discrete Fourier Transform (DFT) yang berfungsi untuk mengubah sinyal dari domain waktu menjadi domain frekuensi. Proses ini memungkinkan analisis yang lebih detail terhadap komponen frekuensi dalam sinyal audio. FFT sangat berguna dalam bidang seperti musik digital, pengolahan suara, dan sistem audio-visual, karena kemampuannya dalam mengidentifikasi komponen-komponen sinyal berdasarkan spektrum frekuensinya. Dalam pengolahan sinyal audio, FFT dimanfaatkan untuk keperluan klasifikasi genre musik, menunjukkan efektivitasnya dalam mengekstraksi fitur frekuensi (Widnyana, 2024).

2.3. Hamming Window

Penggunaan fungsi jendela dalam FFT bertujuan untuk mengurangi efek spectral leakage, yaitu kondisi di mana energi dari satu komponen frekuensi menyebar ke komponen frekuensi lainnya akibat ketidakteraturan pada batas sinyal. Fungsi jendela Hamming mengatasi hal ini dengan memberikan bobot yang lebih kecil pada data di ujung segmen dan lebih besar di tengah, sehingga peralihan antar segmen lebih halus dan hasil transformasi menjadi lebih akurat. Fungsi ini sering digunakan karena memiliki keseimbangan yang baik antara lebar pita utama dan amplitudo sidelobe, sehingga menjadikannya sesuai untuk pemrosesan sinyal audio (Widnyana, 2024).

2.4. Analisis Spektral dalam Musik

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui kandungan frekuensi dalam sinyal suara atau musik. Dengan menggunakan FFT, sinyal dapat diuraikan ke dalam spektrum frekuensi sehingga memungkinkan untuk melihat intensitas relatif dari setiap komponen frekuensinya. Teknik ini menjadi dasar dalam pengenalan instrumen, pemisahan suara, analisis akustik, hingga identifikasi genre musik. Menurut (Sumarno, 2019), analisis spektral sangat efektif dalam mengidentifikasi karakteristik instrumen musik melalui pola spektralnya.

2.5. Visualisasi Frekuensi Musik

Visualisasi frekuensi musik merupakan metode untuk menggambarkan perubahan intensitas frekuensi seiring berjalannya waktu. Bentuk representasinya dapat berupa spektrogram (peta waktu-frekuensi) atau grafik spektrum (distribusi amplitudo terhadap frekuensi pada satu waktu tertentu). Visualisasi memudahkan dalam mengenali struktur musik, pola ritme, serta dinamika suara. Metode ini sangat bermanfaat dalam perangkat lunak pengeditan audio maupun aplikasi edukatif karena menyajikan pemahaman spektrum suara secara visual (Widnyana, 2024).

3. METODOLOGI

Penelitian dilaksanakan dalam beberapa tahap utama yang dijelaskan secara sistematis sebagai berikut:

3.1. Pembacaan Data Sinyal Suara

Tahap awal penelitian ini dimulai dengan membaca file suara berformat .wav menggunakan fungsi wavread. Fungsi ini menghasilkan dua keluaran (output) utama, yaitu vektor data amplitudo sinyal (soundData) dan nilai frekuensi sampling (sampleRate). Sinyal suara kemudian diubah menjadi vektor satu dimensi untuk memudahkan tahapan pemrosesan berikutnya.

Langkah ini bertujuan untuk memastikan bahwa data yang diproses memiliki format standar yang sesuai untuk pengolahan sinyal digital. Selain itu, informasi frekuensi sampling diperlukan untuk menghubungkan data sinyal dalam domain waktu dan domain frekuensi.

3.2. Pre-emphasis

Pre-emphasis merupakan teknik penyaringan high-pass sederhana yang berguna untuk memperkuat komponen frekuensi tinggi dari sinyal suara, karena frekuensi ini cenderung mengalami redaman selama proses perekaman atau transmisi. Proses ini dilakukan dengan menerapkan operasi:

$$y[n] = x[n] - \alpha x[n - 1]$$

dengan $\alpha = 0.97$. Hasil dari proses ini adalah sinyal dengan peningkatan komponen frekuensi tinggi dan transisi yang lebih tajam, yang penting untuk proses ekstraksi fitur seperti spektrum frekuensi.

3.3. Windowing (Hamming window)

Sinyal hasil pre-emphasis kemudian dibagi ke dalam segmen-segmen menggunakan teknik windowing dengan jendela Hamming. Setiap segmen terdiri dari 256 sampel. Fungsi jendela Hamming dirancang untuk meminimalkan efek kebocoran spektral (spectral leakage) yang muncul ketika menerapkan transformasi Fourier pada data yang terputus. Setiap segmen sinyal dikalikan secara elemen-per-elemen dengan fungsi jendela ini untuk mendapatkan sinyal yang lebih halus di tepinya.

3.4. Transformasi Fourier (FFT)

Setelah proses windowing, setiap segmen sinyal dikonversi dari domain waktu ke domain frekuensi menggunakan algoritma Fast Fourier Transform (FFT). Hasilnya berupa berupa spektrum magnitudo untuk setiap segmen.

Transformasi ini mempermudah analisis konten frekuensi dalam sinyal suara dan memiliki peranan penting dalam berbagai aplikasi pengenalan suara, pemrosesan ucapan, dan identifikasi pola akustik. Karena sifat simetri dari FFT untuk sinyal input bersifat real, hanya setengah dari spektrum (frekuensi positif) yang digunakan.

3.5. Visualisasi

Hasil dari setiap tahap pengolahan sinyal divisualisasikan dalam dua jenis grafik utama:

- Plot Domain Waktu yang menampilkan bentuk gelombang asli sinyal suara sebelum diproses, memberikan gambaran tentang variasi amplitudo terhadap waktu.
- Plot Spektrum Frekuensi yang menampilkan distribusi frekuensi setelah proses FFT, yang membantu dalam identifikasi terhadap frekuensi-frekuensi dominan dalam sinyal.

Visualisasi ini dilakukan untuk menilai efektivitas proses pre-emphasis dan windowing dalam mempengaruhi distribusi spektrum.

3.6. Penyimpanan Hasil

Sinyal suara yang telah melewati proses windowing disimpan kembali dalam format .wav menggunakan fungsi wavwrite. File ini dapat digunakan untuk analisis lanjutan, pengujian, atau pemrosesan berikutnya. Penyimpanan dalam format 16-bit digunakan untuk menjaga kualitas suara dengan ukuran file yang efisien.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil Penelitian

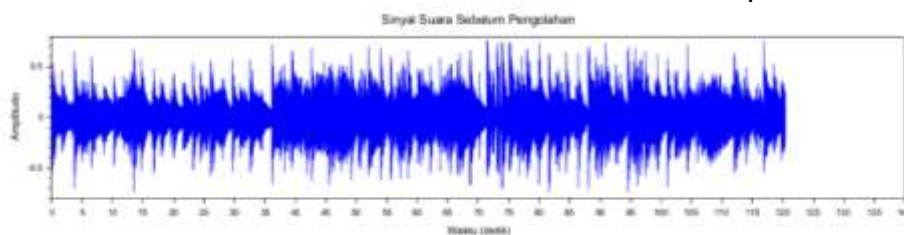
Setelah seluruh tahapan pengolahan sinyal dijalankan menggunakan perangkat lunak Scilab, diperoleh beberapa hasil utama yang dikelompokkan dalam tiga bagian utama, yaitu:

4.1.1. Visualisasi Sinyal Awal

Tahapan awal mencakup visualisasi sinyal suara mentah yang diperoleh dari file music dengan format .wav dalam domain waktu. Gelombang suara menunjukkan variasi amplitudo terhadap waktu.

Berdasarkan perhitungan program untuk musik jazz:

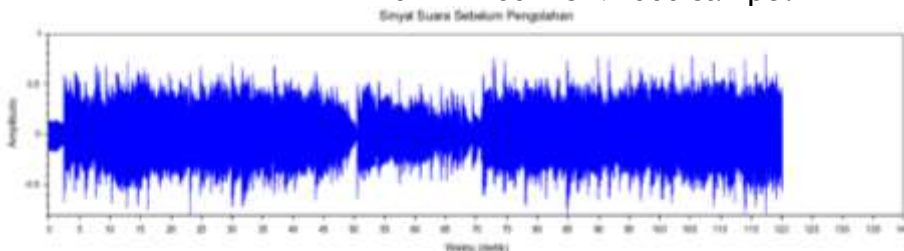
- Durasi music = 120 detik
- Frekuensi sampling (sampleRate) adalah 48000 Hz
- Jumlah sampel sinyal (N) = Durasi music x frekuensi sampling
= $120 \times 48000 = 5760000$ sampel



Gambar 1.1. Gelombang Sinyal Awal Music Jazz

Berdasarkan perhitungan program untuk musik pop:

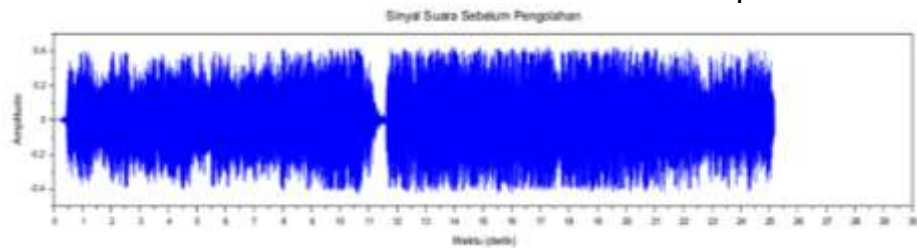
- Durasi music = 120 detik
- Frekuensi sampling (sampleRate) adalah 44100 Hz
- Jumlah sampel sinyal (N) = Durasi music x frekuensi sampling
= $120 \times 44100 = 5292000$ sampel



Gambar 1.2. Gelombang Sinyal Awal Music Pop

Berdasarkan perhitungan program untuk musik Rock:

- Durasi music = 25 detik
- Frekuensi sampling (sampleRate) adalah 48000 Hz
- Jumlah sampel sinyal (N) = Durasi music x frekuensi sampling
= 25 x 48000 = 1200000 sampel



Gambar 1.3. Gelombang Sinyal Awal Music Rock

Bentuk sinyal tampak padat dengan amplitudo yang tajam, menunjukkan dinamika intensitas dan frekuensi dari sumber audio aslinya.

4.1.2. Hasil Pre-Emphasis

Setelah menerapkan filter pre-emphasis dengan koefisien $\alpha = 0.97$, diperoleh sinyal baru yang menggambarkan penekanan terhadap komponen frekuensi tinggi. Tahap ini bertujuan untuk mengurangi pengaruh gangguan dari komponen frekuensi rendah (noise low-frequency) serta memperkuat kejelasan formant atau karakteristik suara yang diperlukan dalam aplikasi seperti pengenalan suara (speech recognition).

Visualisasi sinyal hasil pre-emphasis menunjukkan peningkatan yang signifikan pada transisi amplitudo antar sampel, yang mengindikasikan bahwa variasi dalam sinyal menjadi lebih jelas.

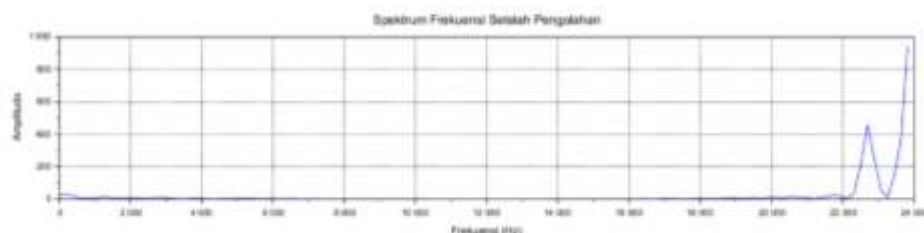
4.1.3. Hasil Windowing dan FFT

Sinyal kemudian dibagi menjadi beberapa segmen (window) berdurasi 256 sampel per jendela. Proses ini dibantu dengan fungsi jendela Hamming untuk mengurangi efek kebocoran spektral saat proses transformasi Fourier diterapkan.

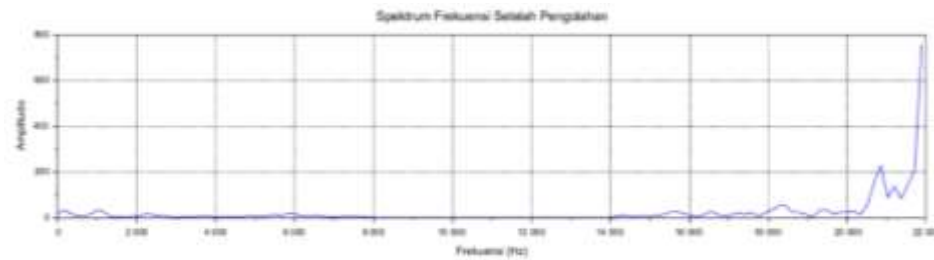
Berdasarkan panjang sinyal dan ukuran jendela tersebut, diperoleh:

- Jumlah segmen (window) music jazz = $\frac{5760000}{256} = 22500$ segment
- Jumlah segmen (window) music pop = $\frac{5292000}{256} = 20671$ segment
- Jumlah segmen (window) music rock = $\frac{1200000}{256} = 4687$ segment

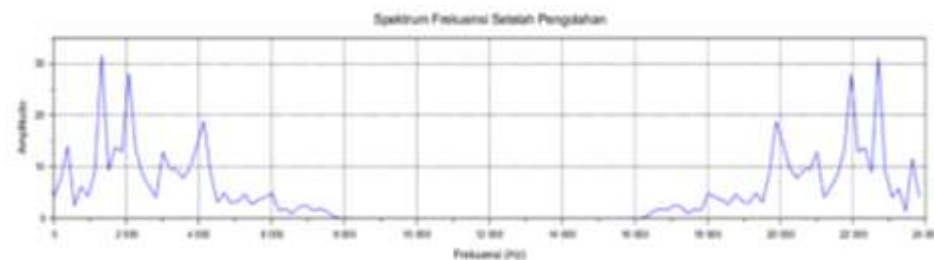
Setiap segmen kemudian ditransformasi dengan algoritma Fast Fourier Transform (FFT) untuk mengubahnya ke domain frekuensi. Hasilnya berupa matriks spektrum magnitudo yang menggambarkan distribusi energi frekuensi dalam setiap jendela waktu.



Gambar 1.4. Spektrum Frekuensi dari music jazz



Gambar 1.5. Spektrum Frekuensi dari music pop



Gambar 1.6. Spektrum Frekuensi dari music rock

Plot spektrum memperlihatkan adanya puncak energi pada beberapa frekuensi dominan. Ini menunjukkan bahwa sinyal memiliki struktur harmonik yang kompleks, sesuai dengan suara instrumen maupun karakteristik suara manusia.

4.2. Pembahasan

4.2.1. Analisis Perubahan Spektrum Frekuensi

Transformasi sinyal ke domain frekuensi memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai komposisi harmonik dan karakteristik akustik dari sinyal. Tanpa proses pre-emphasis dan windowing, spektrum cenderung menunjukkan penyebaran energi yang tidak merata akibat efek kebocoran spektral.

Penerapan jendela Hamming terbukti efektif dalam mengurangi spectral leakage, yang ditunjukkan dengan bentuk spektrum yang lebih tajam, memiliki puncak utama (main lobe) yang dominan, serta penurunan energi pada lobus samping (side lobe). Hal ini sangat penting dalam aplikasi yang memerlukan ketajaman resolusi frekuensi tinggi, seperti pengenalan pola suara atau analisis instrumen musik.

4.2.2. Efektivitas Pre-Emphasis dalam Menyorot Frekuensi Tinggi

Koefisien pre-emphasis dengan $\alpha = 0.97$ menunjukkan hasil yang optimal dalam mempertegas perubahan cepat pada sinyal. Komponen frekuensi tinggi yang sebelumnya kurang terlihat menjadi lebih menonjol dalam representasi spektrum frekuensi setelah proses FFT. Hal ini sangat mendukung pengembangan aplikasi seperti:

- Deteksi formant dalam sinyal ucapan
- Ekstraksi fitur audio seperti MFCC (Mel-Frequency Cepstral Coefficients)
- Sistem pengenalan suara berbasis kecerdasan mesin

4.2.3. Analisis Kinerja dan Efisiensi

Proses FFT dilakukan sebanyak 344 kali sebanding dengan jumlah jendela yang terbentuk. Pengujian menggunakan Scilab menunjukkan bahwa proses ini dapat diselesaikan dalam waktu yang cukup efisien pada perangkat keras standar. Hal ini



menunjukkan bahwa metode yang digunakan tidak hanya akurat, tetapi juga berpotensi diterapkan secara real-time dengan optimasi tertentu.

4.2.4. Kelebihan dan Keterbatasan Penelitian

Kelebihan:

- Proses digital sepenuhnya memungkinkan hasil yang dapat direproduksi.
- Penggunaan Scilab sebagai perangkat lunak open-source menjadikan penelitian ini ekonomis.
- Memberikan visualisasi yang informatik dan data numerik yang mendukung tentang analisis struktur sinyal.

Keterbatasan:

- Tidak dilakukan segmentasi atau analisis lebih lanjut terhadap hasil spektrum seperti klasifikasi atau labeling frekuensi.
- Analisis hanya dilakukan pada sinyal satu saluran (mono), sehingga file audio stereo membutuhkan penanganan berbeda.
- Tidak mempertimbangkan efek noise eksternal atau efek kompresi audio.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis terhadap sinyal suara melalui tahapan pre-processing digital menggunakan Scilab, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Pengolahan awal (Pre-processing) sinyal suara secara digital terbukti mampu meningkatkan kualitas representasi sinyal, khususnya dalam domain frekuensi. Penerapan filter pre-emphasis dengan koefisien 0.97 berhasil memperkuat komponen frekuensi tinggi yang memiliki peran penting dalam analisis akustik, seperti deteksi formant dan fitur suara.
- 2) Penggunaan jendela Hamming pada proses segmentasi sinyal terbukti efektif dalam mengurangi kebocoran spektral (spectral leakage). Hal ini menghasilkan spektrum frekuensi yang lebih tajam dan informatif, serta memudahkan identifikasi komponen harmonik dalam sinyal suara.
- 3) Transformasi Fourier (FFT) dari sinyal yang telah diproses menunjukkan distribusi spektral yang mencerminkan karakteristik akustik dari sumber suara. Komponen dominan dalam spektrum ini dapat digunakan sebagai dasar untuk berbagai aplikasi, seperti pengenalan suara, analisis musik, maupun sistem deteksi otomatis.
- 4) Implementasi seluruh proses dalam lingkungan Scilab menunjukkan efisiensi dan kestabilan komputasi yang memadai. Dengan memanfaatkan perangkat lunak open-source, penelitian ini menunjukkan bahwa pengolahan sinyal digital dapat dilakukan secara hemat biaya tanpa mengurangi ketelitian analisis.

Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa tahapan dasar dalam pengolahan sinyal seperti pre-emphasis, windowing, dan FFT sangat krusial dalam mengekstraksi informasi penting dari sinyal suara. Proses ini juga menjadi landasan dalam pengembangan sistem berbasis kecerdasan buatan (AI) di bidang seperti akustik, telekomunikasi, dan audio digital.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Lyons, R. G. (2011). *Understanding Digital Signal Processing Third Edition*.
- Oppenheim, A. V. ., & Schafer, R. W. . (2010). *Discrete-time signal processing*. Pearson.
- Smith III, J. O. (2002). *Mathematics of the Discrete Fourier Transform (DFT)*. <http://www-ccrma.stanford.edu/~jos/mdft/>.
- Sumarno, L., & Adi, K. (2019). The influence of sampling frequency on tone recognition of musical instruments. *Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 17(1), 253-260. <https://doi.org/10.12928/TELKOMNIKA.v17i1.11608>
- Tzanetakis, G., & Cook, P. (2002). Musical genre classification of audio signals. *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, 10(5), 293-302. <https://doi.org/10.1109/TSA.2002.800560>
- Widnyana, I. B. M. S. A. S. N. E. P. G. H. S. I. A. A. R. P. L. (2024). Pengaruh Metode MFCC Dan KNN Pada Music Information Retrieval Terhadap Klasifikasi Genre Musik. *Jurnal Elektronik Ilmu Komputer Udayana*, 13.