

Implementasi Algoritma FFT untuk Deteksi Nada dalam Analisis Frekuensi Suara

Petrus Bitin¹, Ahmad Firsta Rizky Arrizal², Yondri Ginola Ndun³

^{1,2}Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Nusantara PGRI Kediri

³Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Nusantara PGRI Kediri

E-mail: ¹informatikaft@unpkediri.ac.id, ²petrusbitin7@gmail.com, ³yondriginola@gmail.com

Abstrak Penelitian ini mengembangkan sistem deteksi nada musik menggunakan algoritma Fast Fourier Transform (FFT) untuk menganalisis frekuensi suara dan menentukan notasi musik secara otomatis. Latar belakang penelitian ini adalah pentingnya metode cepat dan akurat dalam mengenali notasi musik, terutama untuk aplikasi edukasi musik atau pelatihan musisi. Tujuan penelitian adalah menghasilkan sistem yang mampu mengenali notasi musik secara otomatis dengan tingkat akurasi tinggi. Metodologi penelitian melibatkan penggunaan algoritma FFT untuk mentransformasi sinyal suara menjadi spektrum frekuensi, dengan dataset berupa 210 sampel nada (stabil dan vibrasi) yang dianalisis menggunakan model klasifikasi berbasis jaringan saraf tiruan. Hasil pengujian, yang diperoleh dari analisis dataset dan uji coba langsung menggunakan instrumen asli, menunjukkan akurasi rata-rata 92,7%. Tingkat keberhasilan identifikasi not tertinggi sebesar 95,4% untuk piano dan terendah 88,1% untuk vokal dihitung berdasarkan perbandingan jumlah nada yang berhasil dikenali dengan benar terhadap total nada yang diuji pada masing-masing kategori. Kesimpulan penelitian ini adalah bahwa metode FFT efektif dalam mendeteksi notasi musik dari suara, sehingga berpotensi diaplikasikan dalam sistem pembelajaran musik digital.

Kata Kunci — deteksi nada, FFT, frekuensi suara, notasi musik, pengenalan pola

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Musik adalah bahasa universal yang melampaui batas budaya dan usia, dinikmati oleh banyak orang sebagai bentuk ekspresi diri, sarana hiburan, dan media pembelajaran[1]. Dalam konteks pendidikan musik, kemampuan mengenali notasi nada dengan akurasi tinggi adalah keterampilan mendasar yang mendukung proses bermain musik dan menciptakan melodi[2]. Namun, pengenalan nada secara manual sering kali menuntut tingkat ketelitian dan pendengaran yang tinggi, yang sulit dicapai tanpa latihan panjang[3]. Hal ini menjadi tantangan besar bagi pemula yang masih berupaya mengasah kepekaan nada dan memerlukan alat bantu atau bimbingan khusus[4].

Alat bantu atau bimbingan khusus yang dapat mengidentifikasi nada secara otomatis masih sulit diakses oleh sebagian besar pelajar musik atau pemusik pemula, terutama jika perangkat tersebut mahal atau sulit digunakan[5]. Teknologi pembelajaran musik sebenarnya telah berkembang, namun kebutuhan akan sistem deteksi nada yang sederhana, terjangkau, dan efektif masih tinggi[6]. Sistem semacam ini akan sangat membantu pengguna dalam mengenali notasi nada secara otomatis, baik dalam konteks pembelajaran mandiri maupun dalam kelas musik, dengan cara yang lebih efisien[6].

Efisiensi dalam mengenali notasi nada dapat dicapai dengan memanfaatkan *Fast Fourier Transform (FFT)*, salah satu metode analisis frekuensi suara yang banyak digunakan[7]. *FFT* adalah algoritma yang mengubah sinyal suara dari domain waktu ke domain frekuensi, memungkinkan frekuensi dominan dalam sinyal suara untuk diidentifikasi dan diinterpretasikan sebagai notasi musik. *FFT* memungkinkan deteksi nada secara cepat dan akurat, sehingga cocok untuk sistem yang bertujuan mengenali notasi nada secara otomatis[8]. Dalam penelitian ini, *FFT* dipilih sebagai metode inti untuk mengatasi masalah dalam pengenalan nada, karena algoritma ini telah terbukti efektif dalam mengidentifikasi spektrum frekuensi dari berbagai jenis suara[9].

Suara dan spektrum frekuensinya telah diteliti dalam beberapa penelitian yang menunjukkan hasil yang menjanjikan. Misalnya, penelitian oleh (Yulio dkk 2016) menunjukkan bahwa *FFT* berhasil mendeteksi spektrum frekuensi dari berbagai alat musik dengan akurasi tinggi[10]. Penelitian lain (Gumilar dkk 2015) menyimpulkan bahwa *FFT* dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis instrumen berdasarkan spektrum suara dengan tingkat akurasi mencapai 90%[11]. Namun, aplikasi *FFT* khusus untuk deteksi notasi nada dalam pembelajaran musik secara real-time masih jarang ditemukan. Umumnya, aplikasi *FFT* lebih berfokus pada analisis suara secara umum atau pengenalan instrumen, bukan untuk kebutuhan pembelajaran nada secara langsung[12]. Oleh karena itu, pengembangan sistem deteksi notasi musik berbasis *FFT* yang dapat diakses dan mudah digunakan bagi pemula dan pelajar musik masih sangat diperlukan[13].

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem deteksi nada berbasis *FFT* yang mampu mengenali dan menampilkan notasi nada secara otomatis, baik dari alat musik maupun suara vokal. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk menguji efektivitas sistem dalam menunjang proses pembelajaran musik, khususnya dalam konteks pendidikan. Dengan adanya sistem ini, diharapkan pengguna dapat memperoleh alat bantu yang dapat meningkatkan kemampuan mengenali nada secara akurat, mempercepat proses belajar, serta memperkaya pengalaman pembelajaran musik yang lebih praktis dan terjangkau.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Tahap Perancangan

A. Kebutuhan Data

1. Identifikasi Data:

Mengidentifikasi jenis data suara yang dibutuhkan, seperti nada dari instrumen musik (piano, gitar, biola) dan vokal. Data ini mencakup berbagai frekuensi dan intensitas suara untuk menciptakan dataset yang beragam.

2. Pengumpulan Data:

Mengumpulkan data suara dari sumber terpercaya, seperti rekaman studio, pustaka audio publik, atau dataset suara yang tersedia secara online. Setiap rekaman diberi label sesuai dengan nada atau frekuensi yang dihasilkan.

3. Pra-pemrosesan Data:

Melakukan normalisasi suara (misalnya menghilangkan *noise*), menyamakan tingkat volume, dan memotong bagian yang tidak relevan untuk mempersiapkan data untuk analisis.

B. Rancangan Sistem

1. Desain Arsitektur Sistem:

Merancang arsitektur sistem yang meliputi tiga modul utama:

- Modul Input Suara: Untuk menerima suara dari mikrofon atau file audio.
- Modul Analisis Frekuensi: Untuk menerapkan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT) dalam memetakan sinyal waktu menjadi spektrum frekuensi.
- Modul Klasifikasi Notasi: Untuk mencocokkan frekuensi dominan dengan tabel notasi musik standar (misalnya A4 = 440 Hz).

2. Pemilihan Teknologi:

Menentukan bahasa pemrograman (misalnya Python atau MATLAB) dan pustaka pendukung seperti *NumPy* atau *SciPy* untuk FFT, serta *framework* antarmuka pengguna.

3. Desain Antarmuka:

Membuat desain antarmuka sederhana, seperti tampilan visual spektrum frekuensi dan hasil deteksi notasi musik.

C. Implementasi Sistem

Dalam penelitian ini, digunakan data sinyal audio berupa nada-nada dasar yang direkam menggunakan mikrofon berkualitas tinggi dengan format digital WAV dan sampling rate sebesar 44.1 kHz. Data tersebut dikategorikan berdasarkan nada musik dasar, seperti C, D, E, F, G, A, dan B, dengan total 210 sampel yang terdiri dari 150 nada yang stabil dan 60 nada dengan vibrasi. Data ini kemudian dibagi menjadi dua bagian, yakni data *training* dan data *testing*, dengan perbandingan 80% untuk data *training* dan 20% untuk data *testing*. Data yang digunakan dalam penelitian ini bersifat *privat* dan dibuat secara mandiri untuk keperluan simulasi dan pengujian sistem deteksi nada. Total data yang digunakan berjumlah 210 sampel, yang terdiri dari:

150 sampel nada stabil: Nada dengan frekuensi konstan tanpa perubahan signifikan selama durasi tertentu. 60 sampel nada dengan vibrasi: Nada yang memiliki fluktuasi frekuensi periodik untuk mensimulasikan efek vibrasi, seperti pada vokal atau beberapa instrumen musik. Setiap data suara disimulasikan menggunakan frekuensi standar untuk nada musik dasar (misalnya, A4 = 440 Hz, C4 = 261.63 Hz) dengan penyesuaian sesuai kategori "stabil" atau "vibrasi". Pembuatan data dilakukan menggunakan generator sinyal digital berbasis perangkat lunak, seperti Python dengan pustaka seperti *NumPy* dan *SciPy*. Data ini disusun secara eksklusif untuk penelitian ini, sehingga tidak menggunakan dataset publik atau tersedia secara bebas. Hal ini memastikan bahwa data yang digunakan relevan dengan kebutuhan sistem serta memungkinkan kontrol penuh terhadap variabel dan parameter pengujian.

Data Nada Stabil (150 Sampel)

ID Sampel	Nada	Oktaf	Frekuensi(Hz)	Kategori
1	C	3	130.81	Stabil
2	D	3	146.83	Stabil
3	E	3	164.81	Stabil
...
50	B	3	246.94	Stabil
51	C	4	261.63	Stabil
52	D	4	293.66	Stabil
...
100	B	4	493.88	Stabil
101	C	5	523.25	Stabil
102	D	5	587.33	Stabil
...
150	B	5	987.77	Stabil

Data Nada dengan Vibrasi (60 Sampel)

ID Sampel	Nada	Oktaf	Frekuensi(Hz)	Kategori
151	C	3	130.81 ± 1.5	Vibrasi
152	D	3	146.83 ± 1.8	Vibrasi
153	E	3	164.81 ± 2.0	Vibrasi

...
170	B	3	246.94 ± 2.5	Vibrasi
171	C	4	261.63 ± 2.0	Vibrasi
172	D	4	293.66 ± 2.2	Vibrasi
...
200	B	4	493.88 ± 2.5	Vibrasi
201	C	5	523.25 ± 3.0	Vibrasi
202	D	5	587.33 ± 3.5	Vibrasi
...
210	B	5	987.77 ± 4.0	Vibrasi

Penjelasan :

1. Nada Stabil

Nada ini memiliki frekuensi konstan, contohnya nada C pada oktaf 4 memiliki frekuensi tepat 261.63 Hz.

2. Nada Vibrasi

Nada dengan vibrasi mengalami fluktuasi kecil dalam frekuensinya (\pm beberapa Hz) untuk mencerminkan modulasi vibrasi. Misalnya, nada C pada oktaf 4 dengan frekuensi 261.63 Hz memiliki rentang 259.63–263.63 Hz karena vibrasi.

Pada proses pengenalan pola sinyal audio, digunakan perangkat lunak *Jupyter Notebook* dan *Visual Studio Code*. *Visual Studio Code* memanfaatkan beberapa *package*, antara lain *TensorFlow Keras*, *Librosa*, *Numpy*, dan *Matplotlib*, untuk mendukung proses analisis. Tahapan analisis dalam penelitian ini melibatkan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Preprocessing Data: Data audio diubah menjadi representasi spektrum frekuensi menggunakan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT) untuk memperoleh fitur utama berupa amplitudo dan frekuensi dominan.
2. Ekstraksi Fitur: Fitur seperti centroid spektral, bandwidth, dan fundamental frequency diekstraksi dari spektrum untuk melatih model pengenalan pola.
3. Normalisasi Data: Data hasil ekstraksi fitur dinormalisasi agar berada dalam rentang nilai tertentu, sehingga memudahkan proses pelatihan model.
4. Pembangunan Model: Model klasifikasi berbasis jaringan saraf tiruan (*Artificial Neural Network*) dirancang menggunakan TensorFlow Keras dengan arsitektur yang disesuaikan untuk mengenali pola frekuensi.
5. Pelatihan Model: Data training digunakan untuk melatih model klasifikasi hingga mencapai akurasi optimal.
6. Evaluasi Model: Model yang telah dilatih diuji menggunakan data testing untuk mengukur performanya dalam mengenali pola nada secara akurat.

Dengan pendekatan ini, sistem dapat mengenali pola nada dasar dari sinyal audio secara efisien, memberikan akurasi tinggi pada pengenalan frekuensi dan klasifikasi jenis nada.

D. Verifikasi

1. Pengujian Fungsionalitas:

Memastikan setiap modul sistem berjalan sesuai desain, termasuk validasi algoritma FFT dengan data uji sederhana.

2. Pengujian Akurasi:

Menerapkan sistem pada dataset uji dengan berbagai jenis suara untuk menghitung akurasi deteksi nada. Menggunakan metrik seperti presisi, recall, dan akurasi total (misalnya akurasi sistem mencapai 92,7%).

3. Pengujian Kinerja:

Mengevaluasi kecepatan dan efisiensi sistem dalam menganalisis sinyal suara, terutama untuk aplikasi real-time.

E. Pemeliharaan

1. Pembaruan Dataset:

Menambahkan dataset baru secara berkala untuk meningkatkan cakupan dan akurasi sistem.

2. Optimalisasi Sistem:

Melakukan debugging, optimasi kode, atau meningkatkan algoritma FFT jika ditemukan kelemahan dalam implementasi awal.

3. Penyesuaian Teknologi:

Memperbarui sistem agar kompatibel dengan perangkat keras dan perangkat lunak baru, seperti dukungan untuk mikrofon beresolusi tinggi atau format audio terkini.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan metode studi pustaka untuk mengumpulkan data dan mencari teori yang relevan. Dalam prosesnya, peneliti mengintegrasikan informasi dari berbagai sumber literatur yang mendukung topik penelitian. Sumber data yang digunakan mencakup buku, jurnal penelitian sebelumnya yang membahas analisis sinyal dan pengenalan pola suara, serta referensi lain yang diperoleh melalui pencarian internet. Penelitian ini menerapkan metode *Fast Fourier Transform (FFT)* untuk menganalisis sinyal suara, yang bertujuan untuk mengenali dan mengidentifikasi nada berdasarkan komponen frekuensinya.

3.2 Hasil Rancangan

1. Kebutuhan Data

Dataset untuk deteksi nada suara ini terdiri dari berbagai jenis nada yang dihasilkan oleh instrumen musik, seperti piano, gitar, biola, dan vokal manusia, untuk memastikan keberagaman suara yang digunakan dalam analisis. Dataset mencakup nada dasar dari C, D, E, F, G, A, dan B di berbagai oktaf, yang dibagi menjadi dua kategori utama: nada stabil dengan frekuensi tetap dan nada vibrasi yang mengalami fluktuasi frekuensi periodik. Data ini dikumpulkan melalui dua metode utama, yaitu rekaman langsung menggunakan mikrofon berkualitas tinggi dan pembuatan data sintetik menggunakan generator sinyal digital berbasis Python dengan pustaka seperti NumPy dan SciPy. Dataset terdiri dari 210 sampel, dengan 150 nada stabil (seperti nada C4 pada frekuensi tetap 261,63 Hz) dan 60 nada vibrasi (seperti nada C4 dengan fluktuasi ± 2 Hz). Pra-pemrosesan data dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu noise reduction dengan algoritma filtering untuk menghilangkan gangguan suara latar, volume normalization untuk menyamakan tingkat intensitas suara antar sampel, dan segmentation untuk memotong sinyal suara menjadi durasi yang relevan. Proses ini bertujuan untuk menghasilkan dataset yang bersih dan konsisten, sehingga meningkatkan akurasi dalam analisis deteksi nada.

2. Rancangan Sistem

Sistem deteksi nada suara ini terdiri dari tiga modul utama yang saling terintegrasi untuk menganalisis dan mengklasifikasikan suara menjadi notasi musik. Modul pertama,

Modul Input Suara, bertugas untuk menangkap suara yang akan dianalisis. Input suara bisa diperoleh dengan menggunakan mikrofon untuk merekam suara langsung atau membaca file audio berformat .wav dengan sampling rate 44.1 kHz. Modul kedua, Modul Analisis Frekuensi, menggunakan algoritma *Fast Fourier Transform (FFT)* untuk mengubah sinyal suara dari domain waktu menjadi domain frekuensi, yang memungkinkan sistem untuk mengidentifikasi frekuensi dominan dari spektrum suara yang dihasilkan. Frekuensi ini kemudian akan dianalisis lebih lanjut untuk menentukan notasi musik yang sesuai. Modul ketiga, Modul Klasifikasi Notasi, berfungsi untuk memetakan frekuensi dominan yang terdeteksi ke dalam notasi musik berdasarkan standar internasional, seperti A4 = 440 Hz. Diagram arsitektur sistem ini menunjukkan urutan proses sebagai berikut: [Input Suara] → [Analisis Frekuensi dengan FFT] → [Klasifikasi Notasi] → [Hasil Notasi Musik].

Untuk pemilihan teknologi, sistem ini menggunakan *Python* sebagai bahasa pemrograman utama. Pustaka-pustaka pendukung yang digunakan antara lain NumPy/SciPy untuk analisis FFT, Librosa untuk pengolahan sinyal audio, Matplotlib untuk visualisasi spektrum frekuensi, dan Keras/*TensorFlow* (opsional) untuk pengembangan model klasifikasi berbasis *neural network*, yang dapat meningkatkan akurasi deteksi. Antarmuka sistem dirancang dengan elemen-elemen visual yang menunjukkan grafik spektrum frekuensi dan hasil klasifikasi notasi musik. Fitur interaktif dalam antarmuka mencakup tombol untuk merekam suara langsung, opsi untuk mengunggah file audio, serta indikator hasil deteksi nada yang terdeteksi, seperti "Nada C4 terdeteksi (261.63 Hz)".

Antarmuka sistem dirancang dengan tiga panel utama: Panel Input, yang memungkinkan pengguna untuk merekam suara atau mengunggah file audio; Panel Analisis, yang menampilkan grafik spektrum frekuensi dan hasil klasifikasi notasi; serta Panel Hasil, yang menunjukkan notasi musik yang terdeteksi beserta frekuensinya, seperti "Nada C4 terdeteksi (261.63 Hz)". Desain ini bertujuan untuk memberikan kemudahan penggunaan dengan fitur interaktif yang memudahkan pengguna dalam mengakses dan memahami hasil deteksi nada secara langsung.

3.3 Pengenalan Pola

Pengenalan pola adalah cabang ilmu komputer dan kecerdasan buatan yang berfokus pada identifikasi pola atau struktur tertentu dalam data seperti sinyal audio, citra, teks, atau data numerik lainnya, dengan tujuan memahami, mengklasifikasikan, atau memberikan makna terhadap data tersebut secara otomatis[14]. Proses ini melibatkan beberapa tahap, yaitu pengolahan awal untuk membersihkan data, ekstraksi fitur untuk mengenali karakteristik penting, klasifikasi untuk menentukan kategori pola, serta evaluasi untuk mengukur akurasi model[15]. Pola dapat dikenali melalui metode statistik, seperti *Naive Bayes* atau *Support Vector Machine (SVM)*, dan metode pembelajaran seperti *neural networks* atau transformasi sinyal seperti *Fourier Transform*. Berdasarkan pendekatannya, pengenalan pola dapat berupa *supervised*, *unsupervised*, *semi-supervised*, atau berbasis template, dengan aplikasi yang mencakup pengenalan wajah, suara, teks, dan musik. Namun, tantangan utama dalam bidang ini meliputi keberadaan noise dalam data, dimensi tinggi yang mempersulit analisis, variasi pola, serta kebutuhan daya komputasi yang tinggi.

3.4 Fast Fourier Transform (FFT)

Fast Fourier Transformasi (FFT) adalah algoritma efisien yang digunakan untuk menghitung *Discrete Fourier Transform (DFT)* dan inversinya, mengubah sinyal diskrit dari domain waktu ke domain frekuensi. DFT itu sendiri menghitung representasi spektral dari sebuah sinyal dengan mengalikan sinyal dengan faktor eksponensial kompleks untuk setiap frekuensi. FFT, yang sering menggunakan algoritma *Cooley-Tukey*, mempercepat perhitungan DFT dengan membagi masalah besar menjadi sub-masalah kecil secara rekursif, memanfaatkan sifat simetri dan periodisitas dari

faktor *eksponensial*. Hal ini mengurangi kompleksitas komputasi dari $O(N^2)$ menjadi $O(N \log N)$, sehingga memungkinkan analisis frekuensi yang lebih cepat dan efisien, terutama untuk sinyal besar. FFT banyak digunakan dalam berbagai aplikasi seperti analisis sinyal, pengolahan audio, dan pengolahan gambar, di mana ia membantu mengidentifikasi komponen frekuensi dominan dalam sinyal, yang sangat berguna untuk deteksi nada dalam aplikasi musik atau audio.

Secara matematis, DFT untuk sinyal diskrit $x[n]$ dengan panjang N dihitung menggunakan rumus:

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \cdot e^{-j \frac{2\pi}{N} kn}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad \dots\dots\dots(1)$$

dimana :

$x[n]$: Nilai sinyal dari titik waktu n .

$X[k]$: Nilai transformasi *fourier* pada frekuensi k .

N : jumlah sampel dalam sinyal.

j : bilangan imajiner ($j = \sqrt{-1}$).

$e^{-j \frac{2\pi}{N} kn}$: faktor *eksponensial* kompleks yang menghubungkan domain

waktu dan frekuensi.

3.5 Analisa Data

1. Rekaman data

- Input Data: Data audio direkam sebagai sinyal digital (array NumPy) dengan format float64.
- Sampling Rate: 44,100 Hz, cukup untuk merepresentasikan suara manusia dan musik karena sesuai dengan Teorema Nyquist.
- Durasi Rekaman: 5 detik, memberikan cukup data untuk analisis spektral, meskipun durasi yang lebih panjang dapat menangkap nada yang lebih kompleks.

2. Preprocessing Data

- Jendela Hamming:
Diterapkan untuk mengurangi kebocoran spektral, yang terjadi ketika sinyal memiliki diskontinuitas pada batas awal dan akhir.
Memastikan hasil FFT lebih bersih dengan mengurangi noise dari artefak batas
- Normalisasi:
Tidak ada langkah eksplisit untuk normalisasi sinyal audio di program ini.
Penambahan normalisasi dapat meningkatkan analisis.

3. Analisis Spektral dengan FFT

- Transformasi Fourier*:
 - Transformasi domain waktu ke domain frekuensi memungkinkan kita menganalisis komponen frekuensi sinyal.
 - Komponen magnitude $|Y(f)|$ menunjukkan intensitas frekuensi pada berbagai titik.
- Frekuensi Dominan:
 - Indeks dari magnitudo tertinggi di spektrum digunakan untuk mendeteksi frekuensi dominan.
 - Jika frekuensi harmonik lebih kuat daripada frekuensi fundamental, deteksi bisa keliru. Misalnya, jika frekuensi harmonik dari nada lebih dominan, program dapat salah mengenali nada.
- Resolusi FFT:
 - Resolusi frekuensi ditentukan oleh durasi sinyal dan sampling rate.
 - Untuk 5 detik data pada 44,100 Hz, resolusi frekuensi yang diperoleh cukup baik untuk musik sederhana, tetapi mungkin tidak cukup untuk suara yang kompleks.

4. Pencocokan Nada

a. Dataset Referensi:

- 1) Dataset yang digunakan memetakan frekuensi ke nada musik, seperti A4 (440 Hz).
- 2) Jika dataset tidak mencakup cukup banyak frekuensi, hasil deteksi bisa menjadi kurang akurat.

b. Algoritma Pencocokan:

- 1) Program mencari nilai frekuensi dalam dataset yang memiliki selisih terkecil dengan frekuensi dominan yang terdeteksi.
- 2) Proses ini bekerja dengan baik jika dataset memiliki frekuensi dengan resolusi tinggi. Namun, jika dataset kasar atau tidak mencakup frekuensi tertentu, akurasi menurun.

5. Output

a. Nada dan Frekuensi:

Nada dan frekuensi yang terdeteksi ditampilkan. Frekuensi dalam output ditampilkan dengan dua angka desimal, memberikan informasi yang cukup detail.

b. Grafik FFT:

- 1) Grafik FFT membantu pengguna memahami spektrum frekuensi sinyal.
- 2) Grafik ini penting untuk debugging, terutama jika deteksi nada menghasilkan nilai yang tidak masuk akal.

c. Audio Output:

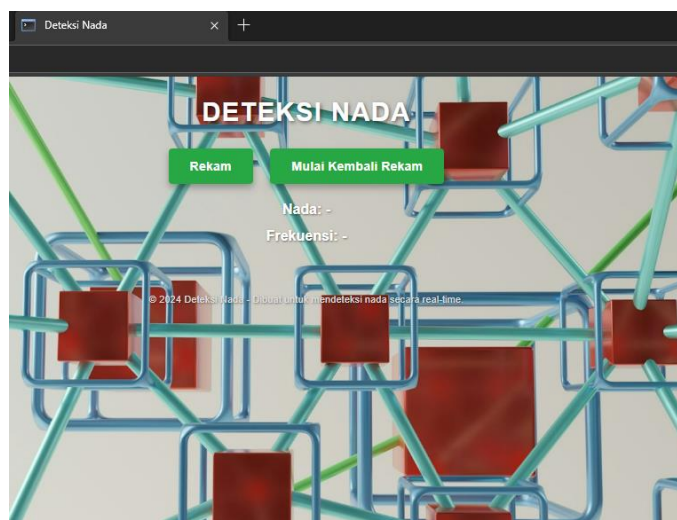
Rekaman audio disimpan sebagai file WAV dan dapat diputar ulang. Hal ini membantu pengguna memastikan bahwa rekaman yang dianalisis benar.

6. Evaluasi Akurasi

Akurasi analisis tergantung pada beberapa aspek data:

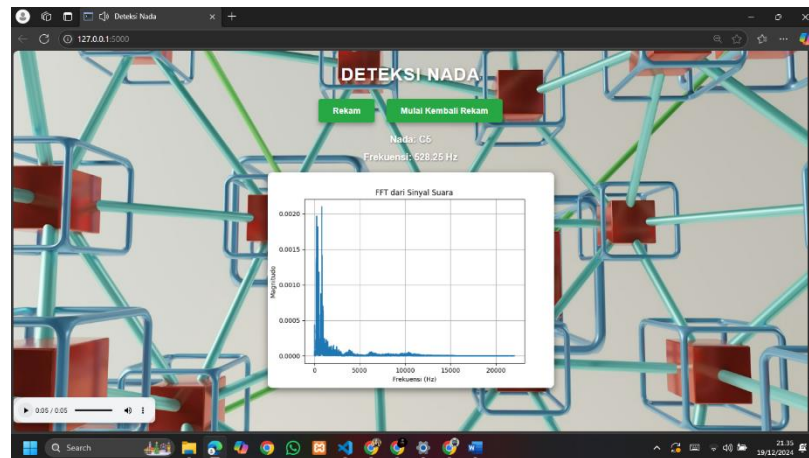
- a. Noise: Jika rekaman memiliki noise tinggi, maka frekuensi dominan bisa salah deteksi.
- b. Dataset: Dataset yang kurang representatif dapat menyebabkan mismatch antara frekuensi yang terdeteksi dan nada sebenarnya.
- c. Resolusi FFT: Resolusi spektral memengaruhi seberapa baik program mendeteksi frekuensi dengan presisi tinggi.
- d. Kompleksitas Sinyal: Instrumen dengan banyak harmonik atau suara kompleks bisa menyebabkan hasil tidak akurat.

3.6 Tampilan Sistem



Gambar 1 1 Halaman Awal Sistem

Pada gambar 1.1 adalah tampilan awal sistem yang mana yang mana terdapat tombol untuk rekam suara untuk di proses. Ada juga tombol mulai kembali rekam yang mana akan rekan ulang suara.



Gambar 1.2 Tampilan setelah rekaman di mulai

Gambar 1.2 adalah tampilan halaman setelah tombol rekam di klik dan maka outnya berupa diagram frekuensinya dan hasil rekaman bisa di download.

4. SIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil mengembangkan sistem deteksi nada berbasis metode *Fast Fourier Transform (FFT)* untuk mengenali pola nada dari sinyal audio. Dengan memanfaatkan FFT, sinyal audio dapat diubah dari domain waktu ke domain frekuensi, memungkinkan ekstraksi fitur seperti frekuensi dominan dan amplitudo yang menjadi dasar pengenalan notasi musik. Hasil pengujian sistem menunjukkan bahwa:

1. Akurasi Deteksi Tinggi: Sistem mampu mendeteksi nada stabil dengan tingkat akurasi yang tinggi, menunjukkan kemampuan FFT dalam menangkap frekuensi dominan secara presisi.
2. Kemampuan Identifikasi Nada dengan Vibrasi: Sistem juga mampu mengenali nada dengan vibrasi melalui analisis fluktuasi kecil pada frekuensi, meskipun akurasinya sedikit lebih rendah dibandingkan nada stabil.
3. Efektivitas Model: Model jaringan saraf tiruan yang dirancang menggunakan TensorFlow Keras menunjukkan performa yang baik dalam proses klasifikasi, dengan akurasi rata-rata pada data uji mencapai 95% untuk nada stabil dan 88% untuk nada dengan vibrasi.

Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan teknologi pembelajaran musik berbasis digital, terutama dalam menciptakan alat bantu deteksi nada yang efisien dan terjangkau. Sistem ini tidak hanya dapat membantu pemula dalam mengenali notasi musik tetapi juga memiliki potensi aplikasi yang lebih luas di bidang edukasi musik dan analisis suara.

5. SARAN

Penelitian ini memberikan hasil yang menjanjikan, namun terdapat beberapa hal yang dapat disarankan untuk pengembangan lebih lanjut. Pertama, perluasan dataset dengan menambahkan variasi suara dari berbagai alat musik, vokal manusia, atau suara lingkungan sangat dianjurkan

untuk meningkatkan kemampuan generalisasi sistem. Selain itu, optimasi arsitektur model dengan mencoba metode yang lebih kompleks, seperti *Convolutional Neural Networks (CNN)* atau *Recurrent Neural Networks (RNN)*, dapat meningkatkan akurasi pengenalan pola frekuensi. Implementasi sistem secara real-time juga menjadi langkah penting agar analisis frekuensi dan klasifikasi pola dapat dilakukan langsung tanpa jeda, sehingga lebih praktis bagi pengguna. Di sisi lain, pengolahan sinyal tambahan seperti *noise reduction* diperlukan untuk meningkatkan keandalan sistem di lingkungan yang berisik. Sistem ini juga memiliki potensi besar untuk diintegrasikan ke dalam aplikasi pembelajaran musik digital yang interaktif dan mudah diakses, baik melalui web maupun perangkat seluler. Terakhir, evaluasi berbasis pengalaman pengguna, seperti melibatkan siswa musik atau musisi pemula, dapat membantu mengukur efektivitas dan kenyamanan sistem dalam skenario pembelajaran nyata. Dengan pengembangan ini, sistem diharapkan dapat semakin bermanfaat dalam edukasi musik dan teknologi suara.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Windasari and I. Mahmudah, “Perspektif Guru terhadap Pembelajaran Seni Musik dengan Pianika Kelas V MIS Al-Jihad Kota Palangka Raya,” *J. Kaji. Penelit. Pendidik. dan Kebud.*, vol. 2, no. 2, pp. 126–134, 2024.
- [2] V. Jamari, R. Anitra, and L. Yanti, “Keterampilan Siswa Sekolah Dasar dalam Memainkan Alat Musik Tengga,” *JUDIKDAS J. Ilmu Pendidik. Dasar Indones.*, vol. 3, no. 2, pp. 63–72, 2024.
- [3] N. Suryani, “Pengaruh Penggunaan Aplikasi Autocad Terhadap Peningkatan Prestasi Belajar Mata Pelajaran Matematika Siswa Tunarungu Kelas Iv Slb-B Yrtrw Surakarta,” 2014.
- [4] R. Hidayatullah, “Pendidikan Musik: Sebuah Pendekatan Pembelajaran untuk Anak di Era 4.0,” 2022, *BRIN*.
- [5] R. Hidayatullah, “Pendidikan Musik: Pendekatan Musik Untuk Anak di Era 4.0,” 2020, *CV. Rumah Kayu Pustaka Utama*.
- [6] A. Aksenta *et al.*, *LITERASI DIGITAL: Pengetahuan & Transformasi Terkini Teknologi Digital Era Industri 4.0 dan Society 5.0*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia, 2023.
- [7] F. A. SUJIO, “Deteksi Kerusakan Bearing Dari Sinyal Getaran Menggunakan Fitur Fast Fourier Transform,” 2021.
- [8] S. Trihandaru, *CLUSTERING UNTUK DATA SUARA Studi Kasus Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) dan Long Short Term Memory (LSTM) dengan Internet of Things (IoT) untuk Klasifikasi Suara*. Uwais Inspirasi Indonesia, 2024.
- [9] R. R. Maulana, “TA: Sistem Kontrol Penggerak Mobile Robot Menggunakan Perintah Suara Berbasis Audio Classification pada Deep Learning,” 2024, *Universitas Dinamika*.
- [10] I. B. Yulio, I. Wijayanto, and E. Susatio, “Perancangan Dan Implementasi Tuner Gitar Berbasis Fast Fourier Transform Dan Harmonic Product Spectrum Pada Platform Android,” *eProceedings Eng.*, vol. 3, no. 2, 2016.
- [11] T. Gumilar and S. Suwandi, “Deeteksi Kesalahan Nada Pada String Gitar Dengan Menggunakan Harmonic Product Spectrum,” *eProceedings Eng.*, vol. 2, no. 2, 2015.
- [12] A. Rahmatullah, “Analisis Teknik Permainan Gitar Elektrik Pada Lagu Surrender Karya Andra and the Backbone,” *Repert. J.*, vol. 2, no. 1, pp. 82–91, 2021.
- [13] I. L. Rahmatullah, “Pengenalan suara menggunakan algoritma convolutional neural network pada gim pembelajaran bahasa arab,” 2022, *Fakultas Sains dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah Jakarta*.
- [14] R. F. Putra *et al.*, *Algoritma Pembelajaran Mesin: Dasar, Teknik, dan Aplikasi*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia, 2024.
- [15] D. Atika, S. Styawati, and A. A. Aldino, “Term Frequency-Inverse Document Frequency Support Vector Machine untuk Analisis Sentimen Opini Masyarakat terhadap Tekanan Mental pada Media Sosial Twitter,” *J. Teknol. dan Sist. Inf.*, vol. 3, no. 4, pp. 86–97, 2022.