

REKONSTRUKSI SUARA GENDER PADA GAMELAN KIAI HARJO MULYO

SOUND RECONSTRUCTION OF GENDER OF GAMELAN KIAI HARJO MULYO

M. Ainun Shihab^{1,*}, Departemen Pendidikan Fisika, Universitas Negeri Yogyakarta,
Indonesia

Agus Purwanto², Departemen Pendidikan Fisika, Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia

*e-mail: mainun.2020@student.uny.ac.id ; mainunshihab18@gmail.com

(corresponding author)

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengetahui karakteristik suara alat musik gender pada gamelan Kiai Harjo Mulyo; (2) menghasilkan suara rekonstruksi yang mirip dengan suara asli. Adapun maksud lain dari penelitian ini yaitu untuk melestarikan budaya tradisional di bidang seni musik, khususnya alat musik gender pada gamelan Kiai Harjo Mulyo. Penelitian ini menggunakan rekaman suara gender Kiai Harjo Mulyo hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan di Kraton. Dari rekaman tersebut dilakukan analisis dengan metode DFT yang diterapkan pada algoritma pemrograman MATLAB. Kemudian, data bagian *real a* dan *imaginer b* hasil DFT, dianalisis untuk memperoleh koefisien redaman *k*. Setelah itu, dilakukan proses rekonstruksi dengan menggabungkan variabel-variabel yang telah diperoleh. Dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan variabel-variabel penyusun karakteristik suara gender. Beberapa variabel yang dimaksud antara lain, frekuensi, amplitudo, koefisien Fourier kompleks (diurai menjadi bagian *real* dan *imaginer*), serta koefisien redamannya. Selain itu, telah diperoleh suara hasil rekonstruksi yang mendekati suara aslinya. Meskipun begitu, masih terdapat bagian suara yang tidak mirip dengan rekaman asli.

Kata Kunci: Analisis dan Rekonstruksi Suara, Gender, Gamelan

Abstract. This research aims to: (1) identify the characteristics of the sound produced by the gender instrument of the Kiai Harjo Mulyo gamelan; and (2) generate a reconstructed sound that closely resembles the original sound. An additional purpose of this study is to preserve traditional culture in the field of music, particularly the gender instrument within the Kiai Harjo Mulyo gamelan. The study utilizes recorded sound of the Kiai Harjo Mulyo gender, obtained from previous research conducted at the Kraton. From these recordings, an analysis was performed using the Discrete Fourier Transform (DFT) method implemented in MATLAB programming. The real part *a* and imaginary part *b* data obtained from the DFT were analyzed to derive the damping coefficient *k*. Subsequently, a reconstruction process was carried out by combining the obtained variables. The research yielded variables that constitute the sound characteristics of the gender instrument. These variables include frequency, amplitude, complex Fourier coefficients (decomposed into real and imaginary parts), as well as the damping coefficients. Furthermore, a reconstructed sound that closely approximates the original one was achieved. However, certain aspects of the sound still do not perfectly match the original recording.

Keywords: Analysis and Reconstruction of Sound, Gender, Gamelan

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dan informasi yang semakin pesat, disertai dengan inovasi yang terus terjadi, menuntut setiap negara untuk meningkatkan berbagai aspek kehidupan, termasuk aspek kebudayaan tradisional. Alat musik tradisional merupakan salah satu bentuk warisan budaya yang perlu dijaga, karena beberapa di antaranya mulai tergeser oleh alat musik modern. Salah satu faktor penyebabnya adalah kecenderungan generasi muda yang lebih memilih mengekspresikan diri melalui musik modern (Mukti & Fathurrahman, 2023). Gamelan, salah satu alat musik tradisional yang cukup dikenal di Indonesia, merupakan warisan budaya yang penting dan memiliki pusat persebaran di Yogyakarta dan Surakarta. Mengingat tekanan dari musik modern yang dapat mengikis keberadaan musik tradisional, penelitian ini dilakukan untuk mendokumentasikan suara gamelan di Kraton sebagai bagian dari upaya pelestarian, terutama terhadap berbagai jenis gamelan seperti gamelan Kiai Harjo Mulyo. Upaya pelestarian ini diperlukan agar nilai-nilai kearifan lokal tetap terjaga. Salah satu instrumen dalam gamelan yang menonjol adalah gender, yang dalam konteks gamelan berfungsi serupa dengan peran piano dalam orkestra modern. Penerapan teknik pengolahan sinyal pada instrumen gender diharapkan mampu mendukung pemahaman yang lebih mendalam terhadap karakteristik akustik instrumen tersebut. Dalam konteks ini, istilah “timbre,” yang berasal dari bahasa Prancis, sering digunakan untuk menyebut kualitas suara atau warna nada. *American National Standards Institute* (1960) mendefinisikan timbre sebagai “atribut sensasi pendengaran yang memungkinkan seorang pendengar membedakan dua suara yang dihasilkan dengan cara yang sama dan memiliki tingkat kenyaringan serta nada yang sama sebagai suara yang berbeda.” Definisi ini menekankan bahwa penilaian terhadap timbre perlu dilakukan dalam kondisi di mana kenyaringan dan nada adalah sama, serta dalam beberapa kasus, dengan durasi yang sama (Rossing et al., 2014). Timbre dikenal sebagai atribut suara yang multidimensional (Plomp, 1976), yang berbeda dari kenyaringan (dinyatakan dalam sones) dan nada (dinyatakan dalam mels), sehingga tidak memungkinkan penyusunan skala subjektif tunggal untuk timbre.

Analisis terkait timbre dilakukan melalui pengolahan sinyal menggunakan Transformasi Fourier Diskrit (DFT), yang diformulasikan dan diimplementasikan dalam pemrograman MATLAB. Proses ini bertujuan untuk mengekstraksi informasi seperti amplitudo dan frekuensi dari sinyal suara yang merupakan bagian dari kualitas suara alat musik gender. Analisis sinyal dalam domain waktu dan frekuensi memiliki nilai penting karena memungkinkan transformasi dari satu bentuk representasi sinyal ke bentuk lainnya, yang kemudian mengungkapkan karakteristik khas dari sinyal yang tidak terlihat sebelumnya. Transformasi Fourier diterapkan pada sinyal analog yang kontinu, sedangkan untuk sinyal digital digunakan Transformasi Fourier Diskrit (DFT) guna memahami komponen frekuensi dari sinyal digital dengan lebih baik (Rossing et al., 2014).

Dengan memanfaatkan koefisien Fourier kompleks hasil DFT yang dipisahkan menjadi bagian real dan imajiner, proses analisis kemudian berlanjut untuk menentukan nilai koefisien redaman dari setiap file rekaman suara gender. Langkah berikutnya adalah rekonstruksi atau sintesis suara menggunakan kombinasi eksponensial dan sinusoidal yang relevan dengan transformasi Fourier. Melalui pemrograman MATLAB, hasil rekonstruksi dibandingkan dengan suara asli yang divisualisasikan melalui grafik, sementara tingkat kemiripan dapat dievaluasi menggunakan nilai *Mean Squared Error* (MSE) serta uji validasi terhadap file audio. Hasil akhir dari proses ini diharapkan menjadi referensi untuk menjaga keaslian suara alat musik gender, sekaligus memberikan dasar dalam rekonstruksi perangkat keras instrumen di masa depan.

METODE

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta, yang berlangsung dari bulan April hingga Oktober 2024.

Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa perangkat keras dan perangkat lunak yang mendukung proses analisis data secara komputasional. Perangkat keras pertama adalah komputer laptop merek Lenovo Ideapad Slim 3 yang dilengkapi dengan prosesor Intel Core i3 generasi ke-10, chip grafis NVIDIA GeForce MX130, serta RAM sebesar 20 GB. Perangkat kedua adalah komputer desktop dengan spesifikasi tinggi, yaitu motherboard ASRock A530M-HDV, CPU Ryzen 5 5600G, GPU GIGABYTE RTX 3060 dengan kapasitas 12 GB, RAM 16 GB DDR4-2666, dan penyimpanan SSD NVMe berkapasitas 1 TB dengan kecepatan baca 1946 MB/s dan tulis 1643 MB/s.

Untuk perangkat lunak, Microsoft Excel digunakan sebagai media penyimpanan seluruh data hasil perhitungan DFT (Discrete Fourier Transform) dan nilai koefisien redaman. Selain itu, MATLAB versi R2017b dimanfaatkan untuk menganalisis rekaman suara gender dengan metode DFT dalam rangka memperoleh nilai frekuensi dan amplitudo. MATLAB juga digunakan untuk membuat grafik yang menunjukkan nilai k (koefisien redaman) serta untuk menggabungkan seluruh data hasil analisis sehingga diperoleh hasil rekonstruksi suara secara menyeluruh.

Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan tiga tahapan yaitu, pemrosesan data dengan metode DFT, perolehan nilai k (koefisien redaman), dan rekonstruksi suara.

1. Analisis Data dengan Metode *Discrete Fourier Transform*

Metode DFT (Discrete Fourier Transform) dilakukan untuk memperoleh beberapa variabel yang menyusun timbre, yaitu frekuensi dan amplitudo. Tahapan-tahapan yang dilakukan untuk mendapatkan nilai tersebut diawali dengan membuka software MATLAB dan menyesuaikan algoritma program. Langkah pertama dalam algoritma adalah memberikan perintah kepada program untuk membaca rekaman suara. Setelah itu, hasil atau output dari total durasi rekaman suara ditampilkan, dan peneliti menentukan bagian dari durasi rekaman yang akan dianalisis lebih lanjut. Pada tahap ini, digunakan sampling rate sebesar 44.100 Hz. Total panjang rekaman suara yang telah ditentukan kemudian dipotong lagi menjadi bagian-bagian kecil untuk proses DFT, dengan menggunakan jumlah sampel tertentu untuk setiap potongannya.

Analisis data dilakukan dengan menggunakan persamaan DFT untuk setiap potongan dalam satu rekaman suara. Proses ini mencakup pembuatan operator untuk transformasi Fourier, perhitungan nilai frekuensi, serta penghitungan koefisien Fourier kompleks, yang kemudian dipisahkan menjadi bagian real dan imajiner. Dari hasil perhitungan ini, diperoleh tiga nilai frekuensi utama, yaitu frekuensi fundamental, frekuensi harmonik pertama, dan frekuensi harmonik kedua. Masing-masing frekuensi tersebut juga memiliki nilai koefisien real dan imajiner. Selanjutnya, ditampilkan grafik hasil DFT yang menunjukkan nilai frekuensi dan amplitudo dari rekaman suara.

Seluruh data hasil perhitungan kemudian disimpan ke dalam file Excel dengan penamaan yang disesuaikan dengan nama file rekaman suara. Langkah-langkah ini dilakukan secara berulang untuk seluruh file rekaman suara gender dari gamelan Kiai

Harjo Mulyo. Setelah itu, semua file Excel yang berisi hasil perhitungan disimpan ke dalam folder sesuai dengan kategorinya masing-masing.

2. Menghitung Nilai k (Koefisien Redaman)

Penentuan nilai k untuk setiap bagian real dan imajiner dari ketiga frekuensi dilakukan secara terpisah dari proses pengolahan data dengan DFT. Pemisahan proses ini dimaksudkan untuk mempermudah penyesuaian program MATLAB apabila terjadi error selama proses analisis. Tahap awal dilakukan dengan membuka software MATLAB dan melakukan penyesuaian algoritma program. Langkah pertama dalam algoritma ini adalah memberikan perintah kepada program untuk membaca file Excel yang berisi hasil analisis dari proses DFT sebelumnya. Setelah itu, diberikan perintah secara spesifik untuk membaca setiap data yang tersimpan dalam file tersebut, termasuk variabel-variabel seperti bagian real dan imajiner dari frekuensi fundamental, frekuensi harmonik pertama, dan frekuensi harmonik kedua.

Langkah berikutnya adalah memberikan perintah untuk mencari nilai k dari masing-masing variabel yang telah diubah ke dalam bentuk nilai absolut. Proses ini dilakukan melalui looping, yaitu pengulangan perhitungan untuk memperoleh nilai k terbaik berdasarkan Mean Squared Error (MSE) terkecil. Program akan secara otomatis mendeteksi nilai k terbaik dengan membandingkan hasil analisis dan data teoritis, dan memilih nilai yang menghasilkan MSE paling kecil.

Setelah nilai k terbaik diperoleh, program akan menampilkan grafik yang menunjukkan hubungan antara waktu (dimulai dari nol dengan acuan frekuensi masing-masing) dan amplitudo dari setiap variabel yang telah diubah menjadi nilai absolut, yaitu bagian real dan imajiner dari ketiga frekuensi. Seluruh data yang telah dihasilkan kemudian disimpan dalam file Excel yang diberi nama sesuai dengan nama file rekaman suara yang dianalisis.

Proses ini dilakukan secara berulang untuk setiap file rekaman suara gender dari gamelan Kiai Harjo Mulyo. Setelah seluruh file diproses, file Excel hasil analisis kemudian disimpan ke dalam folder yang telah dikelompokkan berdasarkan kategorinya masing-masing.

3. Rekonstruksi Suara

Setelah memperoleh nilai frekuensi, serta bagian real dan imajiner dari hasil analisis menggunakan DFT, serta nilai koefisien redaman (k), tahap selanjutnya adalah menggabungkan seluruh komponen tersebut untuk melakukan rekonstruksi suara. Tahapan rekonstruksi suara dilakukan secara sistematis dengan langkah-langkah berikut.

Langkah pertama adalah mempersiapkan data batas bawah dan batas atas dari setiap sampel sinyal rekaman suara, dengan panjang total yang sama seperti yang digunakan saat proses DFT dilakukan. Data ini kemudian disimpan dalam bentuk file Excel untuk mempermudah pengolahan lebih lanjut.

Selanjutnya, software MATLAB digunakan untuk memproses data tersebut dengan penyesuaian algoritma program yang tepat. Program pertama-tama diberi perintah untuk membaca file Excel yang berisi data panjang total dari sampel sinyal rekaman suara, serta file Excel lainnya yang memuat variabel hasil analisis DFT yang telah digabungkan dengan nilai koefisien redaman (k). Selain itu, program juga diberi perintah untuk membaca rekaman suara asli, dengan memastikan bahwa batasan durasi pada rekaman asli tersebut sama dengan durasi yang digunakan pada proses rekonstruksi, sehingga durasinya seragam.

Kemudian, program MATLAB diperintahkan untuk membaca secara spesifik setiap data yang tersimpan pada kedua file tersebut, baik yang berisi informasi tentang sampel sinyal rekaman suara maupun hasil analisis DFT. Pada tahap ini, nilai dari bagian real dan imajiner hasil DFT yang digunakan adalah nilai asli, bukan nilai absolut, karena nilai asli diperlukan untuk proses rekonstruksi yang akurat.

Terakhir, program MATLAB akan melakukan penggabungan sinyal berdasarkan konsep dan persamaan kombinasi eksponensial sinusoidal. Proses ini bertujuan untuk merekonstruksi sinyal suara asli dari data frekuensi yang telah dianalisis, sehingga suara yang dihasilkan dapat mendekati suara asli dengan akurasi yang tinggi. Adapun persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$recons(t) = \sum_{n=1}^{n_{total}} a_n \cdot e^{(-k_{a_n} t)} \cdot \cos(2\pi f_n t) + b_n \cdot e^{(-k_{b_n} t)} \cdot \sin(2\pi f_n t)$$

Setelah melakukan penggabungan sinyal berdasarkan frekuensi dan koefisien redaman, tahapan selanjutnya dalam proses rekonstruksi suara adalah sebagai berikut. Program MATLAB diberi perintah untuk membandingkan sinyal hasil rekonstruksi dengan potongan sinyal asli. Pada tahap ini, persamaan Mean Squared Error (MSE) diterapkan untuk menghitung perbedaan antara data hasil rekonstruksi dengan data dari sinyal suara asli. MSE digunakan sebagai metrik untuk menilai seberapa baik sinyal yang telah direkonstruksi mendekati sinyal asli. Semakin kecil nilai MSE, semakin baik kemiripan antara rekonstruksi dan sinyal asli.

Setelah itu, grafik output hasil rekonstruksi dan sinyal asli dibandingkan secara visual. Jika ada perbedaan yang terlihat, penyesuaian tambahan dilakukan terhadap nilai input, yakni data dari file Excel yang memuat hasil analisis DFT. Penting untuk dicatat bahwa nilai ketiga frekuensi (fundamental, harmonik pertama, dan harmonik kedua) tidak diubah selama proses ini. Penyesuaian dilakukan untuk meningkatkan akurasi rekonstruksi tanpa mengubah karakteristik frekuensi yang telah dianalisis sebelumnya.

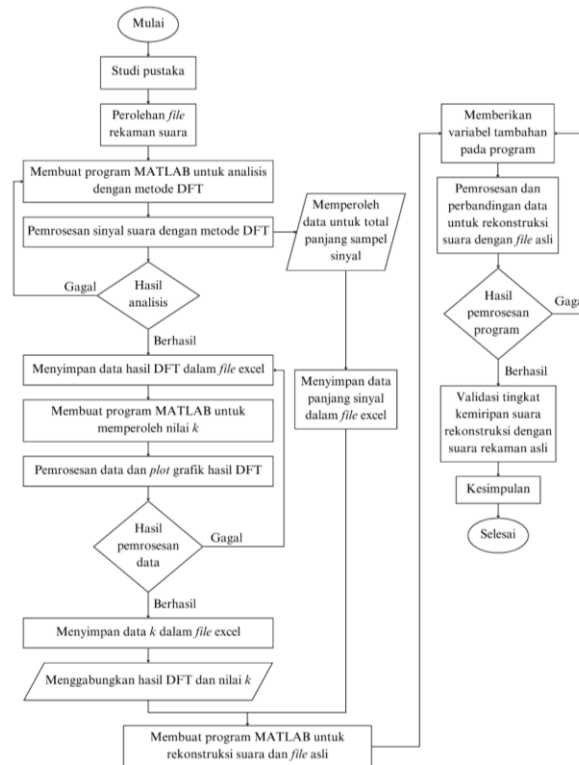
Setelah sinyal hasil rekonstruksi mirip dengan sinyal asli secara visual, MSE tetap diperhatikan. Nilai MSE digunakan untuk memastikan bahwa rekonstruksi suara tidak hanya akurat secara visual, tetapi juga dalam hal numerik. Jika MSE sudah cukup rendah, maka rekonstruksi dianggap berhasil.

Selanjutnya, program MATLAB akan diberi perintah untuk menghasilkan dan menyimpan file suara rekonstruksi dalam format yang sesuai, sehingga dapat digunakan untuk pengujian lebih lanjut. Langkah kedua ini dilakukan secara berulang untuk seluruh file rekaman suara gender dari gamelan Kiai Harjo Mulyo. Setiap file suara rekonstruksi disimpan dalam folder berdasarkan kategorinya untuk memudahkan pengelolaan dan identifikasi.

Akhirnya, pengujian suara rekaman asli dengan hasil rekonstruksi dilakukan menggunakan headphone untuk memperoleh validasi dari tingkat kemiripan suaranya. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa suara yang telah direkonstruksi memiliki kesamaan dengan suara asli, baik dalam aspek timbre maupun dalam kualitas audionya secara keseluruhan.

Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini sesuai dengan alur yang ditunjukkan pada Gambar 1 di bawah ini,



Gambar 1. Diagram Alir Teknik Analisis dan Rekonstruksi Suara Gender

HASIL DAN PEMBAHASAN

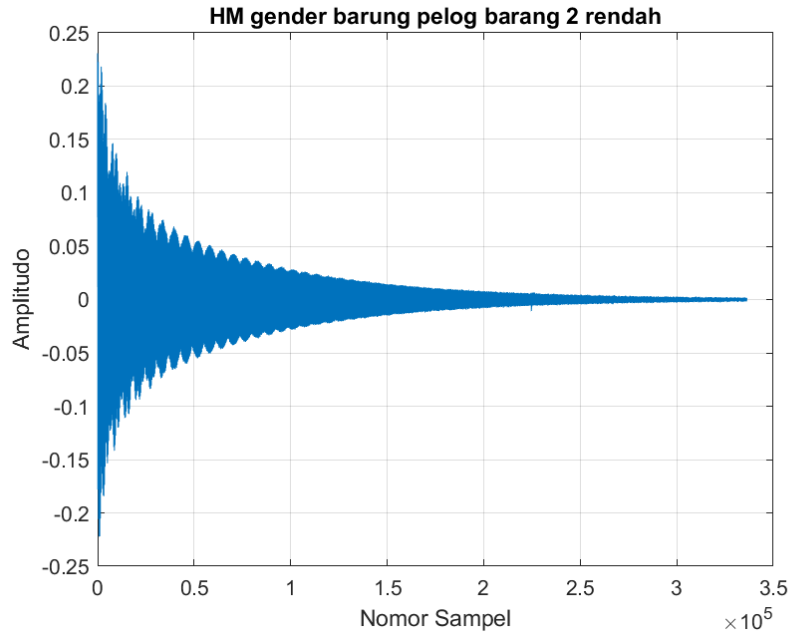
1. Analisis Dengan Metode DFT

Proses awal yang mendasari penelitian ini yaitu analisis sinyal dengan metode DFT. DFT didefinisikan sebagai kumpulan N bilangan kompleks, dengan j sebagai satuan imajiner (yaitu akar kuadrat dari -1), dan $e^{j\theta} = \cos \theta + j \sin \theta$, yang dikenal sebagai identitas Euler (Rossing et al., 2014).

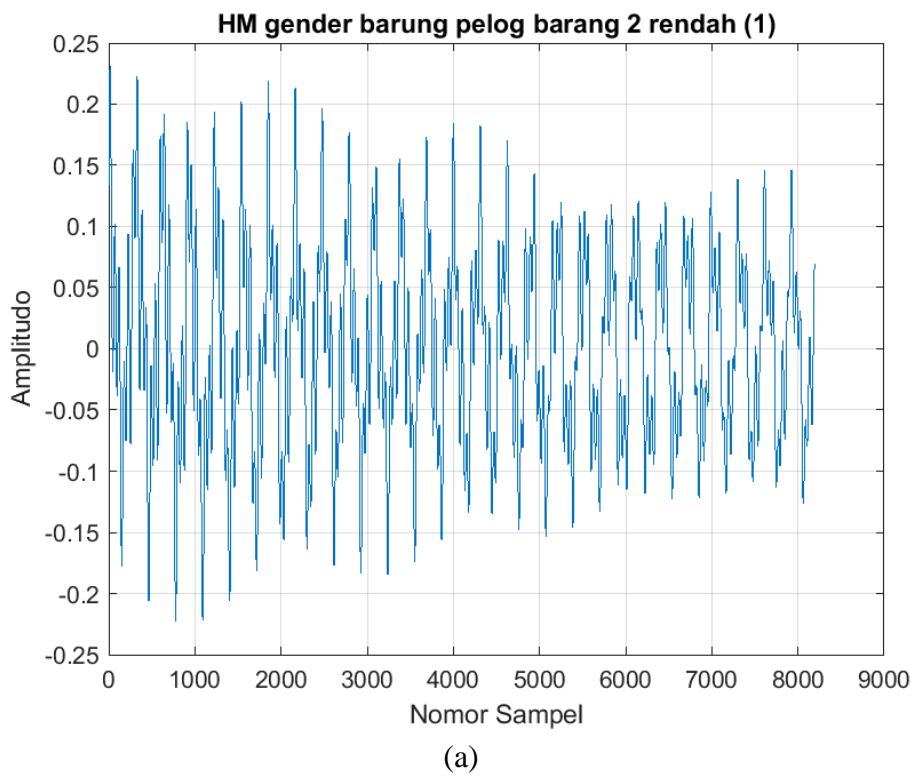
$$F(k) = \sum_{n=1}^N f(n) \cdot e^{-\frac{j2\pi kn}{N}}$$

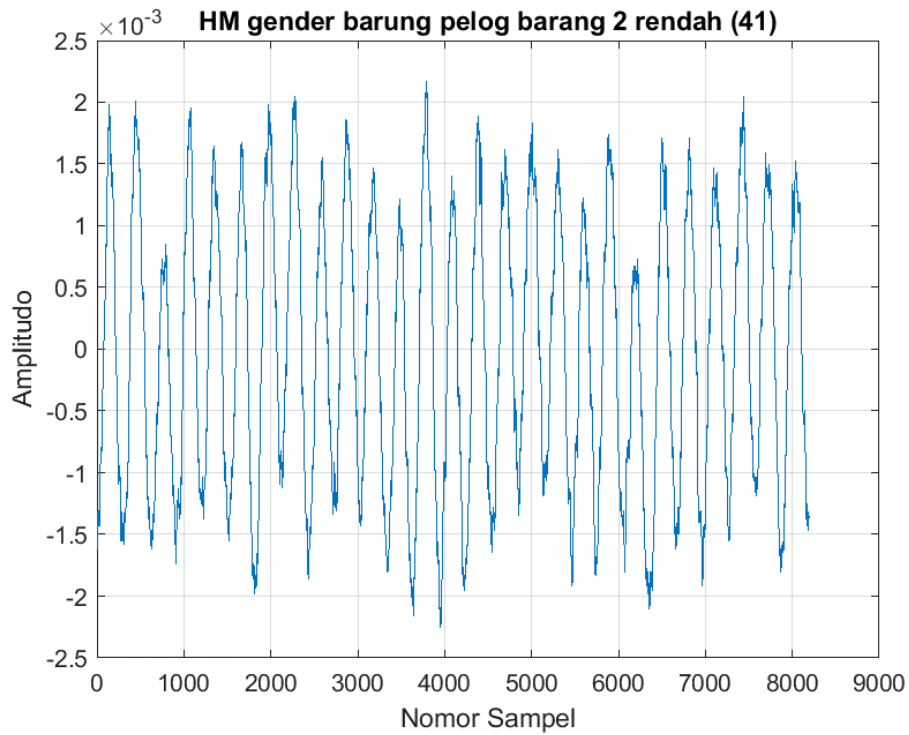
Dengan mengacu pada persamaan di atas, program pada *software* MATLAB didesain untuk menghasilkan nilai frekuensi dan amplitudo dari data rekaman suara gender. Beberapa data frekuensi yang dituju yaitu frekuensi fundamental, frekuensi harmonik pertama dan harmonik kedua. Adapun acuan untuk memperoleh nilai frekuensi harmonik pertama yaitu kelipatan dua dari nilai frekuensi fundamental dan harmonik keduanya yaitu kelipatan tiga dari nilai frekuensi fundamentalnya.

Pada proses analisis dengan program MATLAB, dilakukan pemotongan sinyal berdasarkan jumlah sampel data yang akan diambil. Nilai yang ditentukan N yaitu sebanyak 2^{13} sampel; angka ini kemudian digunakan untuk proses perhitungan DFT. Sehingga sampel pada Gambar 2 akan terbagi menjadi beberapa potongan sesuai jumlah keseluruhannya dibagi dengan N . Contoh grafik dari hasil potongan sinyal sebanyak 2^{13} sampel dan spektrum hasil DFT-nya masing-masing dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



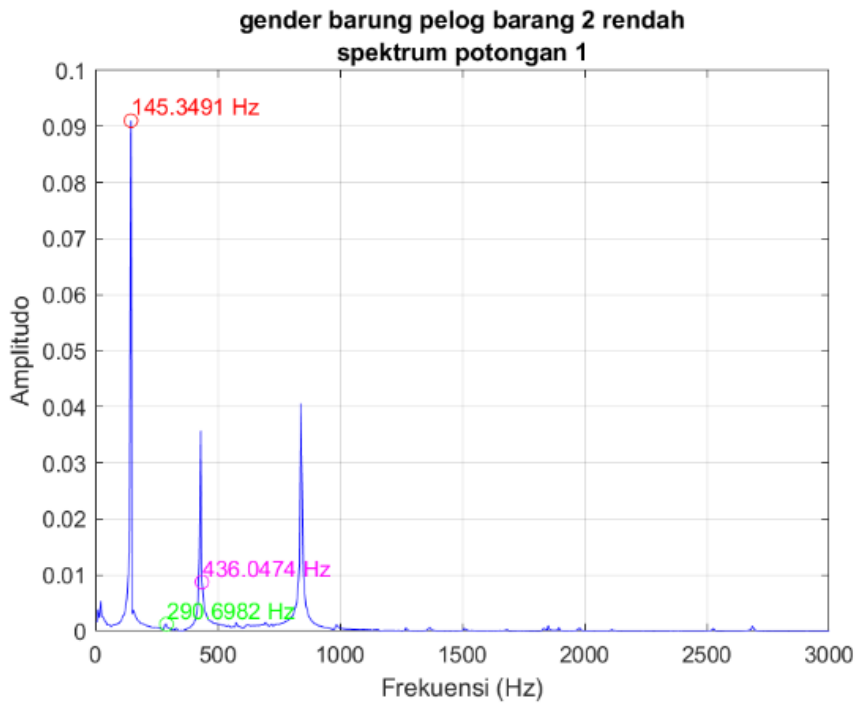
Gambar 1. Sampel sinyal total wilah barung pelog barang 2 rendah yang dianalisis



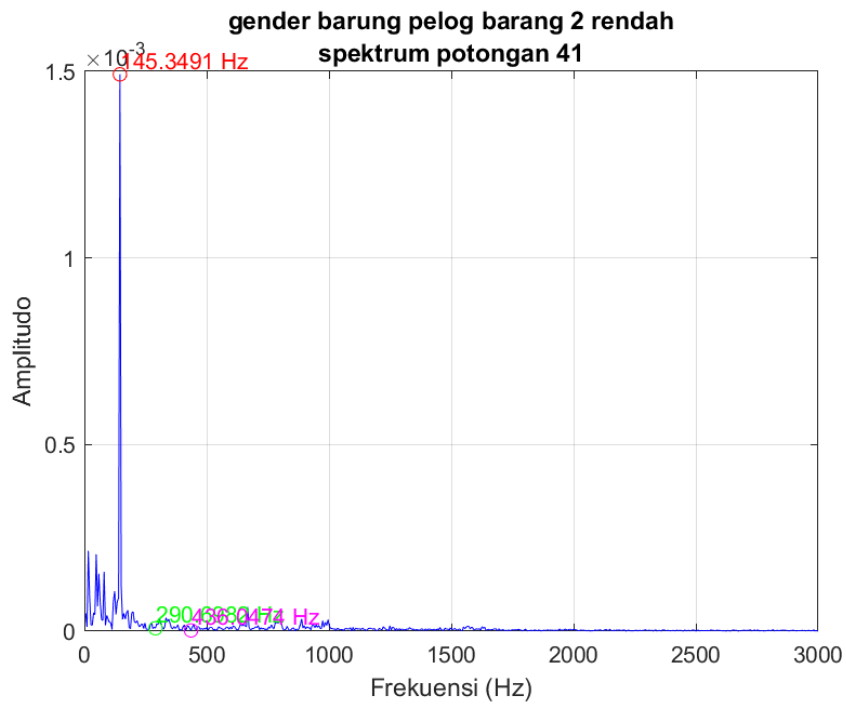


(b)

Gambar 3. Grafik sinyal potongan sebanyak 2^{13} sampel untuk proses analisis DFT (a) Potongan pertama dan (b) Potongan terakhir wilah barung pelog barang 2 rendah.



(a)



Gambar 4. Spektrum hasil analisis DFT (a) Spektrum potongan pertama dan (b) Spektrum potongan terakhir wilah barung pelog barang 2 rendah.

Selain hasil berupa grafik, didapatkan juga nilai frekuensi dari wilah gender barung pelog barang yang dapat dilihat pada Tabel 1 dan koefisien Fourier kompleks pada wilah gender barung belog barang 2 rendah yang diuraikan menjadi bagian *real a* dan *imajiner b* pada Tabel 2.

Tabel 1. Frekuensi Gender Barung Pelog Barang Gamelan Kiai Harjo Mulyo

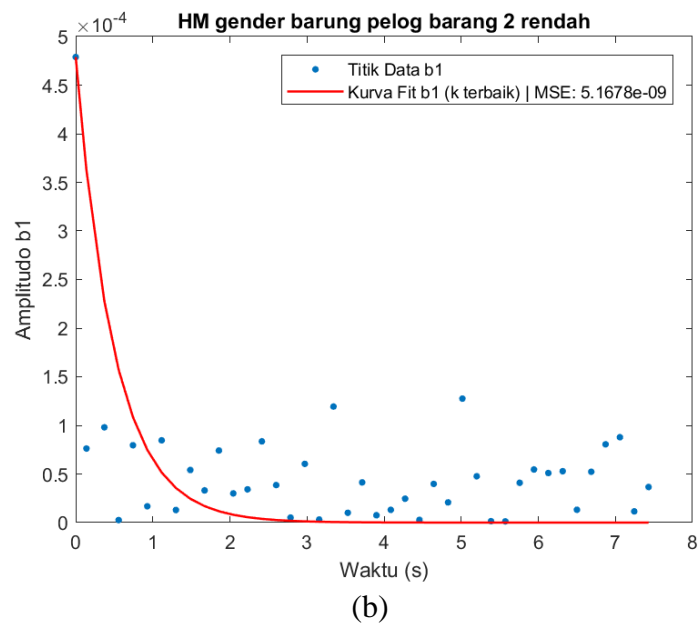
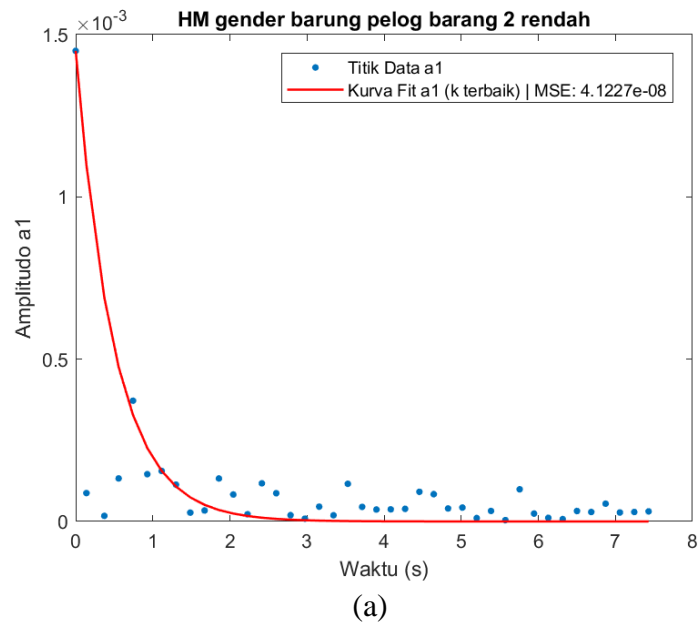
Wilah	Frekuensi Fundamental (Hz)	Harmonik 1 (Hz)	Harmonik 2 (Hz)	Harmonik 3 (Hz)
2 rendah	145.35	290.70	436.05	581.40
2 sedang	290.70	581.40	872.09	1162.79
2 tinggi	592.16	1184.33	1776.49	2368.65
3 rendah	872.09	1744.19	2616.28	3488.38
3 sedang	312.23	624.46	936.69	1248.93
3 tinggi	640.61	1281.23	1921.84	2562.45
5 rendah	204.57	409.13	613.70	818.26
5 sedang	403.75	807.50	1211.24	1614.99
6 rendah	209.95	419.90	629.85	839.79
6 sedang	468.35	936.69	1405.04	1873.39
7 rendah	705.21	1410.42	2115.64	2820.85
7 sedang	430.66	861.33	1291.99	1722.66

Tabel 2. Bagian real a dan imajiner b Gender Barung Pelog Barang

Wilah	$a1$	$b1$	$a2$	$b2$	$a3$	$b3$
2 rendah	0.00145	-0.00048	0.00344	-0.00179	0.00219	0.00072
2 sedang	0.00005	-0.00023	0.00077	-0.00005	-0.00084	0.00036
2 tinggi	-0.00020	0.00003	-0.00064	-0.00057	0.00003	0.00010
3 rendah	0.00116	-0.00032	0.00267	-0.00127	0.00194	0.00061
3 sedang	0.00033	0.00012	-0.00007	-0.00005	0.00036	-0.00001
3 tinggi	-0.00013	-0.00029	0.00042	-0.00033	0.00035	0.00000
5 rendah	-0.00045	0.00014	0.00005	0.00051	-0.00013	-0.00005
5 sedang	-0.00079	-0.00008	-0.00091	-0.00084	-0.00045	-0.00062
6 rendah	0.00167	-0.00015	0.00152	-0.00041	0.00238	0.00026
6 sedang	0.00095	-0.00011	0.00088	-0.00007	0.00161	-0.00046
7 rendah	-0.00020	0.00010	-0.00055	0.00013	-0.00091	-0.00014
7 sedang	0.00044	-0.00005	0.00043	-0.00021	0.00047	0.00025

2. Analisis Bagian *Real* dan *Imajiner* Hasil DFT untuk Menentukan Nilai Koefisien Redaman

Dari data bagian *real* a dan *imajiner* b yang dimutlakkan dan di-plot pada proses analisis di MATLAB, didapatkan nilai koefisien redaman k yang bervariasi untuk masing-masing frekuensi pada setiap data rekaman suara. Koefisien tersebut diperoleh dengan mempertimbangkan panjang total sinyal sampel yang telah dipotong, sesuai dengan langkah-langkah pada bagian metode penelitian. Berikut ini grafik hasil analisis koefisien redaman untuk salah satu *file* suara gender, yang terdiri dari grafik untuk bagian *real* dan *imajiner*,



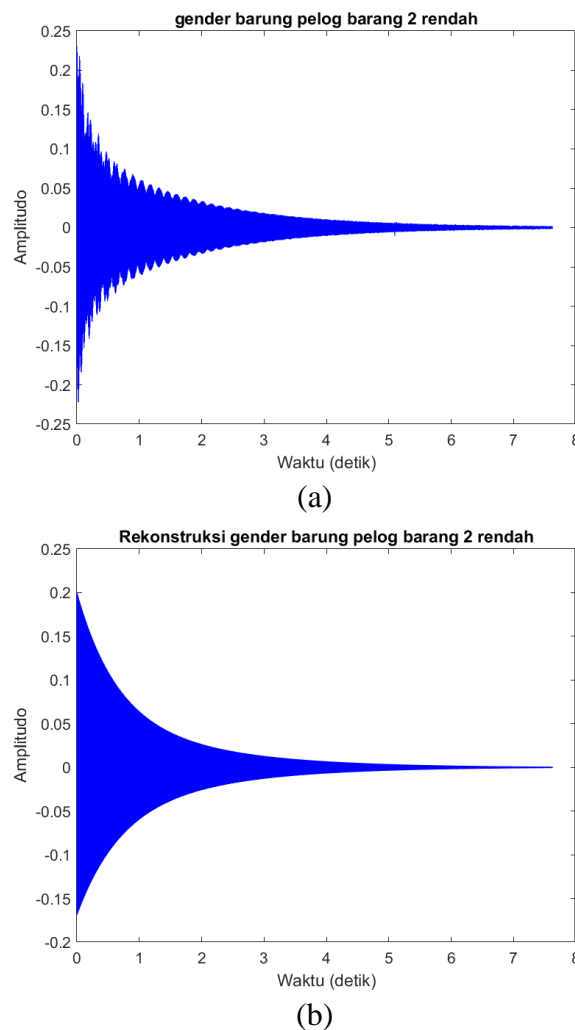
Gambar 5. Analisis koefisien redaman k untuk bagian imajiner pada gender barung pelog barang 2 rendah (a) Bagian $a1$ dan (b) Bagian $b1$.

3. Rekonstruksi

Berdasarkan data dari hasil analisis DFT dan perolehan nilai koefisien redaman k , dapat dilakukan proses rekonstruksi suara. Proses rekonstruksi ini didasarkan pada persamaan berikut,

$$recons(t) = \sum_{n=1}^{n_{total}} a_n \cdot e^{-k_{a_n} t} \cdot \cos(2\pi f_n t) + b_n \cdot e^{-k_{b_n} t} \cdot \sin(2\pi f_n t)$$

Kemudian, persamaan tersebut didesain dalam bahasa pemrograman di MATLAB. Pada proses ini digunakan tiga sampel yaitu frekuensi fundamental, harmonik pertama, dan harmonik keduanya, serta masing-masing bagian *real* dan *imaginer*-nya. Selain itu, pada program MATLAB dilakukan modifikasi untuk memperoleh hasil tiruan yang mirip dengan suara asli. Berikut ini hasil rekonstruksi suara untuk sampel yang sama dengan Gambar 2.



Gambar 6. Grafik Rekaman Asli dan Hasil Rekonstruksi Wilah Gender Barung Pelog Barang 2 Rendah (a) Potongan Sinyal Suara Asli (b) Hasil Rekonstruksi

Dari keseluruhan proses analisis dan rekonstruksi yang telah dilakukan, serta dari beberapa fenomena yang teridentifikasi selama uji coba, terdapat komponen penting yang harus menjadi perhatian utama dalam upaya rekonstruksi suara yang akurat. Salah satu komponen krusial yang dimaksud adalah jumlah sampel frekuensi yang digunakan dalam proses rekonstruksi suara tersebut. Berdasarkan uji coba yang dilakukan, ketika rekonstruksi suara hanya mengandalkan satu jenis frekuensi—contohnya, frekuensi fundamental saja—hasilnya

menyerupai suara yang dihasilkan oleh garpu tala. Oleh karena itu, untuk mendapatkan rekonstruksi suara yang lebih mendekati karakteristik asli alat musik gender, diputuskan untuk menambahkan komponen frekuensi lainnya, yakni frekuensi harmonik pertama dan frekuensi harmonik kedua.

Dengan adanya tambahan komponen-komponen frekuensi ini, suara yang dihasilkan dalam proses rekonstruksi menjadi lebih mirip dengan suara asli gender. Berdasarkan pengamatan ini, dapat disimpulkan bahwa semakin banyak jumlah sampel frekuensi yang digunakan dalam proses rekonstruksi, maka semakin mendekati pula kualitas suara yang dihasilkan terhadap suara asli alat musik tersebut. Selain itu, persamaan-persamaan yang digunakan untuk menganalisis koefisien redaman dan proses rekonstruksi sinyal masih membutuhkan penyesuaian yang lebih kompleks. Kebutuhan ini terlihat dari hasil-hasil yang diperoleh pada tahap-tahap sebelumnya. Penyesuaian ini bertujuan untuk mencapai kualitas rekonstruksi suara yang lebih baik, sehingga hasil rekonstruksi tidak hanya lebih menyerupai suara asli tetapi juga mempertahankan detail karakteristik akustik yang autentik dari alat musik gender.

SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dan hasil yang didapatkan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut,

1. Pada langkah awal penelitian dilakukan analisis suara dengan metode DFT (*Discrete Fourier Transform*) untuk memperoleh komponen frekuensi dan amplitudo dari setiap *file* suara gender. Adapun amplitudo yang diperoleh berupa koefisien Fourier kompleks yang diuraikan menjadi bagian *real* dan *imaginer*. Kemudian, bagian *real* dan *imaginer* di-*absolute*-kan, lalu dianalisis sebagai fungsi waktu untuk memperoleh koefisien redaman k . Dari langkah-langkah yang telah dilakukan, diperoleh beberapa variabel sebagai karakteristik suara gender seperti frekuensi, amplitudo dan koefisien redamannya.
2. Variabel-variabel yang telah diperoleh dari proses analisis sebelumnya, kemudian digabungkan dengan persamaan kombinasi eksponensial dan sinusoidal yang disesuaikan dengan program MATLAB untuk memperoleh hasil rekonstruksi suaranya. Adapun untuk hasil yang lebih mendekati dengan suara aslinya, dilakukan beberapa penyesuaian pada pemrograman MATLAB. Dari hasil rekonstruksi yang diperoleh, dilakukan validasi berdasarkan grafik perbandingan, nilai MSE dan pengujian suaranya. Berdasarkan proses yang telah dilakukan, diperoleh beberapa suara yang mirip dengan *file* rekaman aslinya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan penelitian dan penulisan ini. Penghargaan khusus disampaikan kepada Bapak Agus Purwanto, M.Sc., selaku dosen pembimbing, atas ilmu, arahan, dan motivasi yang diberikan selama proses ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada berbagai pihak lainnya yang turut berkontribusi namun tidak dapat disebutkan satu per satu.

DAFTAR PUSTAKA

Mukti, Ringgar, Wahyu. T., & Fathurrahman, Moh. F. (2023). Pengembangan Media Pembelajaran *Artsteps* untuk Meningkatkan Hasil Belajar Seni Musik: Materi Alat

Musik Tradisional Siswa Kelas IV SD. *Jurnal Pendidikan Teknologi Informasi (JUKANTI)*, 6(2), 329–341. <https://doi.org/10.37792/jukanti.v6i2.1049>

Plomp, Reinier. (1976). *Aspects of Tone Sensation: A Psychophysical Study*. London: Academic Press.

Rossing, Thomas. D., Moore, Richard. F., & Wheeler, Paul. A. (2014). *The Science of Sounds, Third Edition*. Harlow, Essex : Pearson Education Limited.