

Implementasi *Double Frequency Modulation* dan FFT dalam Sintesis Suara Rindik

I Komang Kumara Saduadnyana^{a1}, I Ketut Gede Suhartana^{a2}, Luh Arida Ayu Rahning Putri^{a3}, I Gusti Ngurah Anom Cahyadi Putra^{a4}, I Komang Ari Mogi^{a5}, Ida Bagus Made Mahendra^{a6}

^aProgram Studi Informatika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Udayana
Bali, Indonesia

¹saduadnyanakumara@gmail.com

²ikg.suhartana@unud.ac.id

³rahningputri@unud.ac.id

⁴anom.cp@unud.ac.id

⁵arimogi@unud.ac.id

⁶ibm.mahendra@unud.ac.id

Abstract

The modern era has changed a lot of people's lives, for example traditional culture is slowly being abandoned which is being replaced by the ease of technology which is growing to affect people's lifestyles. One of them is gamelan culture in the Bali area, namely gamelan rindik. In the past, the rindik gamelan was usually used as an entertainment musical instrument played by village farmers, then for the joged roof performance and later adapted as a welcome musical instrument in hotels. However, along with the development of technology, making this gamelan less desirable because people, especially the younger generation, are more interested in modern musical instruments which are more attractive than traditional gamelan such as the rindik. Because of this, the author is interested in making a digital form of gamelan rindik by synthesizing the sound of gamelan rindik and then presenting it through a media website that can be accessed on any platform. This can be an introduction to the younger generation about gamelan rindik with a more attractive visual. Synthesizing requires a sound processing technique with a certain method commonly used, namely Double Frequency Modulation. However, before doing the synthesis, another method is needed to obtain the features that will be used during the synthesis, one of which is the frequency feature of the sound produced by the rindik gamelan. To get the frequency using the Fast Fourier Transform method. The research was conducted by analyzing 11 blades on the rindik and then the synthesis process was carried out. From the test results, it was found that the method used was successful in synthesizing using three datasets with each accuracy for dataset 1 having an accuracy of 36%, for dataset 2 having an accuracy of 100% and dataset 3 having an accuracy of 45%. This result was obtained by recording the sound of the rindik gamelan on its 11 blades.

Keywords: DFM, Time Domain, Frequency Domain, Rindik, Fundamental Frequency

1. Pendahuluan

Musik tradisional adalah musik yang hadir dan hidup di lingkungan masyarakat secara turun temurun dan kemudian dipertahankan sebagai sarana hiburan. Namun seiring berkembangnya zaman, musik tradisional sulit mendapatkan tempatnya di hati para pendengarnya serta jarang dinikmati generasi muda yang dipengaruhi oleh pengaruh asing[1]. Selain zaman dan teknologi yang mempengaruhi turunnya minat dengan musik tradisional juga disebabkan karena kurangnya informasi mengenai budaya seni musik tradisional yang kita miliki dan menganggap musik tradisional sudah ketinggalan zaman[1]. Generasi muda yang seharusnya melestarikan musik tradisional sangat jarang memiliki ketertarikan jika dibandingkan dengan musik barat dengan tampilan yang lebih menarik dari

segi komposisi dan penvaiiannya. Beberapa penelitian yang membahas mengenai pelestarian musik tradisional. Salah satu gamelan yang termasuk dalam musik tradisional yakni gamelan rindik. Gamelan rindik merupakan gamelan yang berasal dari Bali yang populer. Gamelan rindik terbuat dari bambu dengan jumlah bilah yang dimiliki gamelan rindik sebanyak 11 bilah. Namun generasi muda tidak memiliki minat untuk sekedar memainkan atau mempelajari gamelan rindik yang dikarenakan gaya hidup yang memberikan dampak signifikan. Untuk meningkatkan minat dengan gamelan tradisional Bali khususnya rindik, diperlukan sebuah digitalisasi gamelan rindik yang dituangkan dalam media elektronik[2].

Beberapa penelitian yang pernah dilakukan terkait penggunaan teknik digitalisasi suara gamelan yaitu dengan menggunakan sintesis suara serta menggunakannya sebagai kajian guna menjadi sebuah acuan dalam melakukan penelitian ini. Dalam kajian yang dilakukan ditemukan beberapa artikel yang memiliki keterkaitan dengan penelitian ini. Salah satu penelitian yang dilakukan tahun 2021 terkait sintesis suara gamelan gerantang dengan memanfaatkan metode DFM (*Double Frequency Modulation*). Penelitian ini didasarkan pada pengukuran suara pada saat pembuatan gamelan masih menggunakan cara konvensional dengan menggunakan indera pendengaran. Untuk memudahkan hal itu, maka dilakukan sintesis suara yang nantinya frekuensi yang dihasilkan dapat digunakan sebagai acuan dalam pembuatan gamelan gerantang kedepannya[3]. Penelitian lainnya yang dilakukan pada tahun 2016, di mana sintesis suara dilakukan pada gamelan rindik dengan metode Mod FM yaitu metode yang merupakan pembaharuan dari metode FM (*Frequency Modulation*). Penelitian ini dilakukan untuk mendigitalkan kebudayaan Bali yang salah satunya menjadi sebuah ikon yaitu gamelan rindik[2]. Penggunaan metode FM untuk melakukan sintesis pernah dilakukan pada gamelan Terompong dengan latar belakang dilakukannya penelitian di mana objek yang diteliti memiliki dimensi yang cukup besar sehingga untuk memainkannya harus berada di suatu tempat. Sehingga dibuatkan sebuah bentuk digitalisasi agar mudah memainkannya[4]. Selain itu, beberapa penelitian yang menggunakan DFM mengenai MIMO Radar dengan usulan sebuah frekuensi yang termodulasi ganda dengan bentuk gelombang modulasi untuk radar *multiple-input multiple-output*[5]. Penerapan metode DFM juga pernah dilakukan dengan mengangkat permasalahan *reflectometry* domain dikorelasikan dengan optik Brillouin menggunakan DFM dan modulasi fase[6].

Dalam melakukan digitalisasi gamelan rindik diperlukan ekstraksi fitur dari audio untuk mendapatkan frekuensi yang akan memudahkan dalam tahap analisis sebelum memasuki proses sintesis. Untuk ekstraksi fitur pada sebuah audio menggunakan metode Fast Fourier Transform (FFT) dengan melakukan sebuah transformasi sinyal menjadi sinyal frekuensi[7]. Proses transformasi dilakukan untuk mengubah sinyal analog pada audio menjadi sinyal digital untuk memudahkan proses analisis. Proses ekstraksi fitur pada sebuah audio menghasilkan sebuah bilangan kompleks yang kemudian dari bilangan kompleks tersebut akan didapatkan frekuensi yang digunakan dalam proses sintesis suara gamelan rindik. Untuk meninjau keselarasan daripada hasil sintesis dengan audio original dengan membandingkan frekuensi yang dihasilkan dari proses sintesis. Hasil akhir dari penelitian ini berupa sistem yang dikembangkan dengan metode prototype. Dengan menggunakan metode ini akan mempercepat proses daripada pengembangan sistem[8].

2. Metode Penelitian

2.1. Dataset

Pengumpulan data yang digunakan untuk penelitian ini menggunakan software Audacity sebagai alat perekam untuk merekam suara gamelan rindik. Suara rindik yang diambil sebanyak 1 ketuk di setiap bilahnya dengan durasi ± 1 detik dengan format audio yang digunakan adalah .wav. Pada penelitian ini, digunakan 3 dataset untuk mencari frekuensi minimum dan maksimum dari masing – masing bilah. Tiga dataset tersebut didapatkan dari 3 alat yang berbeda dengan dua daerah yang berbeda. Untuk dataset 1 dan 2 didapatkan di daerah desa Pemogan, Denpasar Selatan dan dataset 3 didapatkan di daerah Bangli, desa Abuan. Sehingga jumlah keseluruhan data berjumlah 33 audio. Data tersebut akan diproses dengan metode FFT untuk mendapatkan fitur berupa frekuensi dengan mengambil nilai absolut dari bilangan imajiner yang dihasilkan.

2.2. Analisis Suara

FFT (*Fast Fourier Transform*) merupakan sebuah metode yang biasanya digunakan dalam pemrosesan suara dengan mengubah bentuk domain dari domain waktu (*time domain*) menjadi domain frekuensi (*frequency domain*)[9]. Perubahan domain diperlukan untuk memudahkan peneliti dalam menganalisis

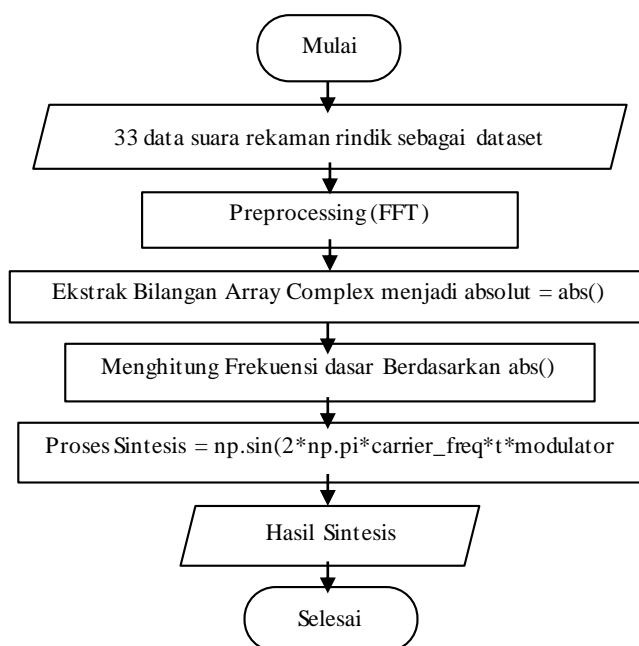
frekuensi dasar yang terdapat pada gamelan rindik berdasarkan amplitude yang tertinggi. Pencarian frekuensi dasar dengan FFT berdasarkan persamaan (1) sebagai berikut:

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (1)$$

Keterangan:

$S(f)$ = Sinyal dalam domain frekuensi
 $s(t)$ = Sinyal dalam domain waktu
 $s(t)e^{-j2\pi ft}$ = konstanta sinyal
 f = frekuensi
 t = waktu

Setelah mendapatkan fitur audio dengan FFT, kemudian dilakukan proses sintesis. Sebelum memasuki proses sintesis ini, yang menjadi input daripada sistem yakni frekuensi dasar, bungkus sinyal (*envelope*) dan penghalusan sinyal. Selain itu juga terdapat perbandingan ratio untuk frekuensi pemodulasi[10] sebagai inputan dengan susunan fm1:fm2:fc di mana fm1 merupakan frekuensi pemodulasi pertama, pemodulasi kedua dan frekuensi pembawa. Setelah semua proses dilakukan, maka dapat dilakukan pengujian sistem untuk proses sintesis yang dihasilkan. Untuk proses sintesis dengan DFM dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Proses Sintesis dengan DFM

Pada gambar 1, proses sintesis dimulai dengan menginputkan 33 dataset suara rindik. Kemudian proses selanjutnya adalah mencari fitur dari audio input menggunakan FFT. Dari hasil FFT dilakukan ekstrak bilangan array dengan mengambil nilai absolutnya dan bilangan tersebut diproses kembali untuk mendapatkan frekuensi dasar dari setiap bilah. Setelah mendapatkan fitur audio berupa frekuensi dasar, kemudian dilakukan proses sintesis menggunakan formula pada metode DFM. Dari proses tersebut kemudian menghasilkan hasil suara sintesis setiap bilah pada rindik.

3. Hasil dan Diskusi

Hasil dari penelitian ini adalah nilai frekuensi dari setiap bilah pada rindik. Penelitian ini menggunakan tiga dataset yang kemudian hasil dari sintesis sistem akan dibandingkan dengan frekuensi sebelum sintesis apakah frekuensi yang dihasilkan dari proses sintesis berada dalam rentang nilai minimal atau maksimal dari nilai frekuensi setiap bilah.

3.1. Hasil Analisis Suara

Tahap proses analisis suara dilakukan untuk mendapatkan fitur dari sebuah audio. Proses analisis suara dilakukan sebelum melakukan pengembangan sistem yang nantinya akan menggunakan fitur suara dalam menguji keselarasan. Proses ini melibatkan FFT yang menghasilkan bilangan kompleks yang kemudian diambil nilai absolutnya untuk mendapatkan nilai *real* dari frekuensi. Karena hasil dari FFT adalah bilangan array yang terdiri dari bilangan absolut dan imajiner. Sehingga bilangan absolut ini diperlukan untuk mendapatkan nilai frekuensi yang sebenarnya. Berikut tabel hasil ekstraksi fitur dari setiap bilah.

Tabel 1. Hasil Ekstraksi Fitur

Dataset	Frekuensi Bilah										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	151,4	171	210,7	237,1	265,2	315,7	342,7	418	467,8	525,9	628,7
2	165,8	190,9	219,8	251,5	286,7	336,2	367,5	439,7	501,7	554,1	665
3	180,8	204,5	241,5	217,5	309,9	365,6	406,7	487,2	540,7	606,6	725,9
Max	180,8	204,5	241,5	251,5	309,9	365,5	406,7	487,2	540,7	606,6	725,9
Min	151,4	171	210,7	217,5	265,2	315,7	342,7	418	467,8	525,9	628,7

Pada tabel 1, merupakan hasil proses ekstraksi fitur setiap bilangannya berdasarkan bilangan kompleks yang diekstrak untuk mendapatkan nilai absolut. Berdasarkan tabel untuk masing – masing bilah terdapat frekuensi minimal dan maksimal yang menjadi acuan untuk menguji keselarasan hasil dari sintesis. Jika hasil dari sintesis per bilah berada pada nilai minimum dan maksimum maka hasil sintesis dapat dikatakan selaras dan jika tidak berada dalam rentang tersebut maka dapat dikatakan tidak selaras.

3.2. Sintesis Suara dengan DFM

Pada tahap ini merupakan tahapan yang dilakukan untuk menyintesis suara gamelan rindik dengan metode DFM. Untuk input dari metode ini terdapat 3 buah inputan yakni frekuensi dasar, sinyal pembungkus dan perbandingan sinyal pemodulasi antara fm1:fm2:fc. Proses sintesis ini dilakukan menggunakan sistem yang dikembangkan dengan menggunakan bahasa pemrograman python dengan framework Streamlit. Berikut beberapa fitur yang terdapat pada sistem yang dibangun.

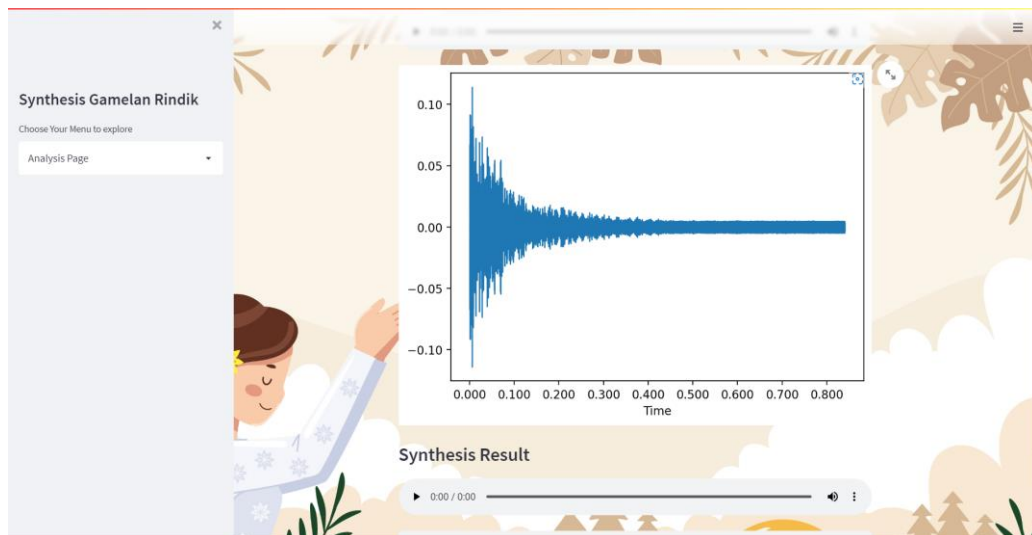
1. Menu Home



Gambar 2. Menu Home Page

Pada gambar 2, menampilkan tampilan awal dari menu home pada sistem di mana menu home memiliki tampilan berupa pengenalan mengenai gamelan rindik dan informasi seputar gamelan rindik. Bagaimana sejarahnya, bentuk dari gamelan rindik dan tampilan daripada gamelan rindik itu sendiri. Pada menu ini terdapat sebuah gambar dan deskripsi terkait gamelan rindik serta pada sebelah kiri terdapat sidebar untuk memilih menu. Terdapat 3 pilihan menu yakni home page, menu analysis page dan play sound rindik. Menu home akan muncul ketika sistem pertama kali diakses dengan alamat localhost:8501. Sistem ini masih bersifat prototype dengan mengakses sistem secara lokal.

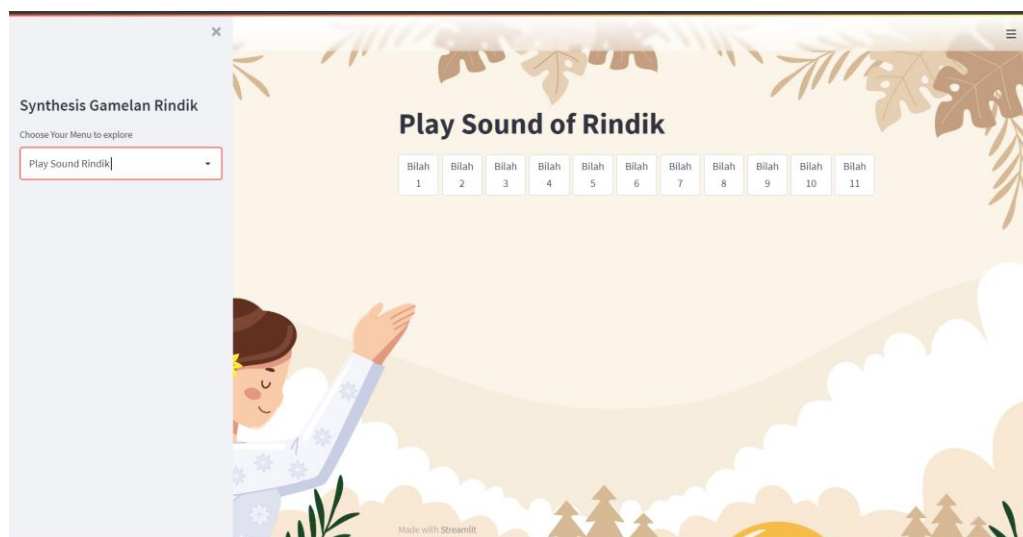
2. Menu Analysis



Gambar 3. Menu Analysis

Pada gambar 3, merupakan tampilan dari Menu Analysis yang menampilkan hasil analisis dan hasil plot domain waktu dari hasil sintesis maupun audio original yang diinputkan dan dapat memutar suara audio original dengan suara yang telah disintesis serta menampilkan apakah hasil dari sintesis selaras atau tidak.

3. Menu Play Rindik Sound



Gambar 4. Menu Play Sound Rindik

Menu akan menampilkan representasi dari gamelan rindik melalui sebuah tombol yang memiliki label 1 – 11. Jika tombol ditekan akan mengeluarkan suara gamelan rindik namun suara yang telah dilakukan sintesis.

3.3. Hasil dan Pengujian

Pada bab ini membahas hasil akhir dan pengujian yang dilakukan oleh sistem. Sintesis suara gamelan rindik dengan metode DFM dapat dilakukan berdasarkan hasil analisis frekuensi, semakin tinggi suara yang dihasilkan, maka frekuensi yang dihasilkan juga semakin tinggi sesuai dengan bentuk dan ukuran daripada gamelan rindik. Pengujian dilakukan dengan menguji frekuensi hasil sintesis apakah terdapat dalam rentang maksimum dan minimum di setiap masing – masing bilah. Berikut tabel untuk hasil pengujian yang dilakukan.

Tabel 2. Hasil Pengujian Dataset 1

Hasil Frekuensi Sebelum dan Sesudah Sintesis pada Dataset 1			
Bilah	Sebelum Sintesis	Setelah Sintesis	Keterangan
1	Frequency: 151 Hz	Frequency: 151 Hz	Tidak Selaras
2	Frequency: 170 Hz	Frequency: 169 Hz	Tidak Selaras
3	Frequency: 209 Hz	Frequency: 208 Hz	Tidak Selaras
4	Frequency: 238 Hz	Frequency: 237 Hz	Selaras
5	Frequency: 264 Hz	Frequency: 262 Hz	Tidak Selaras
6	Frequency: 313 Hz	Frequency: 319 Hz	Selaras
7	Frequency: 341 Hz	Frequency: 337 Hz	Tidak Selaras
8	Frequency: 416 Hz	Frequency: 419 Hz	Selaras
9	Frequency: 461 Hz	Frequency: 469 Hz	Selaras
10	Frequency: 517 Hz	Frequency: 517 Hz	Tidak Selaras
11	Frequency: 637 Hz	Frequency: 628 Hz	Tidak Selaras
Akurasi			4/11 * 100% = 36%

Berdasarkan hasil tabel 2, dapat dilihat bahwa untuk dataset 1, memiliki akurasi 36%. Hal ini dipengaruhi oleh kualitas dari objek rindik yang diteliti. Di mana hal ini berlaku suara yang mati pada bilah. Artinya, tali pengait antar bilah perlu diperbaiki untuk menghasilkan suara kembali dan hal ini mempengaruhi proses pengujian yang dilakukan. Selain karena pengaruh dari objek yang diteliti juga hasil akurasi dapat dipengaruhi dengan tempat/lokasi dilakukannya perekaman suara bilah rindik. Jika dilakukan di tempat terbuka maka kecenderungan untuk mendapatkan *noise* baik dari suara sekitar, suara kendaraan maupun suara lainnya dapat mempengaruhi proses daripada perekaman untuk mendapatkan suara rindik serta hal lain yang dapat mempengaruhi yakni device yang digunakan untuk melakukan perekaman. Dalam hal ini, peneliti menggunakan device dalam keadaan baik dan hanya saja hasil akurasi dipengaruhi oleh keadaan objek yang sudah harus dibenahi kembali.

Tabel 3. Hasil Pengujian Dataset 2

Hasil Frekuensi Sebelum dan Sesudah Sintesis pada Dataset 1			
Bilah	Sebelum Sintesis	Setelah Sintesis	Keterangan
1	Frequency: 165 Hz	Frequency: 163 Hz	Selaras
2	Frequency: 190 Hz	Frequency: 188 Hz	Selaras
3	Frequency: 223 Hz	Frequency: 216 Hz	Selaras
4	Frequency: 251 Hz	Frequency: 251 Hz	Selaras
5	Frequency: 286 Hz	Frequency: 283 Hz	Selaras
6	Frequency: 337 Hz	Frequency: 336 Hz	Selaras
7	Frequency: 368 Hz	Frequency: 373 Hz	Selaras
8	Frequency: 442 Hz	Frequency: 437 Hz	Selaras
9	Frequency: 502 Hz	Frequency: 500 Hz	Selaras
10	Frequency: 558 Hz	Frequency: 551 Hz	Selaras
11	Frequency: 669 Hz	Frequency: 669 Hz	Selaras
Akurasi			11/11 * 100% = 100%

Berdasarkan tabel 3, hasil sintesis yang dilakukan pada setiap bilah dengan hasil selaras pada hasil setelah sintesis berada pada nilai minimum dan maksimum dari nilai frekuensi setiap bilahnya. Sehingga akurasi menjadi 100% untuk dataset 2. Hasil ini baik dikarenakan rindik yang digunakan memiliki kondisi yang baik, di mana tidak ada tali pengait yang tidak kencang dan memiliki suara dan bungkus sinyal yang baik sehingga mendapatkan akurasi 100%.

Tabel 4. Hasil Pengujian Dataset 3

Hasil Frekuensi Sebelum dan Sesudah Sintesis pada Dataset 1			
Bilah	Sebelum Sintesis	Setelah Sintesis	Keterangan
1	Frequency: 180 Hz	Frequency: 180 Hz	Selaras
2	Frequency: 206 Hz	Frequency: 206 Hz	Selaras
3	Frequency: 242 Hz	Frequency: 240 Hz	Selaras
4	Frequency: 274 Hz	Frequency: 272 Hz	Tidak Selaras
5	Frequency: 309 Hz	Frequency: 311 Hz	Tidak Selaras
6	Frequency: 365 Hz	Frequency: 367 Hz	Selaras
7	Frequency: 408 Hz	Frequency: 409 Hz	Tidak Selaras
8	Frequency: 486 Hz	Frequency: 490 Hz	Tidak Selaras
9	Frequency: 543 Hz	Frequency: 546 Hz	Selaras
10	Frequency: 608 Hz	Frequency: 608 Hz	Tidak Selaras
11	Frequency: 727 Hz	Frequency: 730 Hz	Tidak Selaras
Akurasi			$5/11 * 100\% = 45\%$

Berdasarkan tabel 4, untuk dataset 3 memiliki akurasi 45%. Hal ini dikarenakan keadaan seperti pada rindik untuk dataset 1. Terdapat beberapa bilah rindik yang tidak memiliki suara yang baik serta beberapa bilah menyatu dengan bilah lainnya. Sehingga mempengaruhi akurasi yang dihasilkan. Untuk kasus yang tidak menyatu dikarenakan tali pengait yang sudah tidak bagus dalam menyangga bilah sehingga menghasilkan suara yang berbeda dan juga suara yang dihasilkan tidak baik. Sehingga berpengaruh terhadap hasil sintesis. Selain itu juga terdapat beberapa bilah pada saat diketuk menghasilkan suara mati seperti halnya pada dataset 1. Suara mati ini mengeluarkan suara yang tidak baik, dalam artian bahwa gema yang dihasilkan tidak bagus dan menghasilkan frekuensi dibawah dari nilai minimum. Hal tersebut dapat diatasi dengan mengganti dengan bilah yang baru dan dilakukan penyetulan ulang untuk didapatkan suara gamelan rindik dengan hasil yang terbaik. Dengan begitu maka frekuensi yang dihasilkan akan sesuai dengan nilai maksimum dan minimum berdasarkan proses analisis yang dilakukan dengan metode FFT.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat diambil sebuah kesimpulan sebagai berikut:

- Proses sintesis suara gamelan rindik dengan menggunakan metode DFM telah berhasil dilakukan dengan menggunakan input frekuensi pembawa, frekuensi pemodulasi pertama dan sinyal pembungkus.
- Sistem sintesis suara yang dibangun berhasil dikembangkan dengan input berupa audio file dari salah satu bilah yang ingin disintesis.
- Akurasi yang dihasilkan dalam sintesis suara gamelan rindik berdasarkan nilai frekuensi minimum dan maksimum pada proses preprocessing. Akurasi yang didapatkan berdasarkan tiga dataset yang digunakan yaitu dataset 1 memiliki akurasi 36%, dataset 2 memiliki akurasi 100% dan dataset 3 memiliki akurasi 45% dan hasil tersebut berdasarkan suara audio dari objek yang diteliti.

References

- [1] Mas'ud Abid, "Menumbuhkan Minat Generasi Muda Untuk Mempelajari Musik Tradisional," *Pros. Semin. Nas. Pendidik. Progr. Pascasarj. Univ. PGRI Palembang*, vol. 2, 2019.
- [2] I. M. Widiartha, "Rindik Voice Synthesis Using Modified Frequency Modulation As Bali Cultural Preservation Efforts," *Kursor*, vol. 8, no. 3, p. 151, 2017, doi: 10.28961/kursor.v8i3.90.
- [3] M. A. Raharja and I. D. M. B. A. Darmawan, "Sintesis Suara Gamelan Gerantang Bali Menggunakan Metode Double Frequency Modulation (Dfm)," *J. Resist. (Rekayasa Sist. Komputer)*, vol. 4, no. 2, pp. 119–126, 2021, doi: 10.31598/jurnalresistor.v4i2.760.
- [4] I. G. E. W. Pratama and L. A. A. R. Putri, "Terompong Basic Tone Synthesis with Frequency

- Modulation Method,” *JELIKU (Jurnal Elektron. Ilmu Komput. Udayana)*, vol. 9, no. 3, p. 429, 2021, doi: 10.24843/jlk.2021.v09.i03.p14.
- [5] C. Gao, K. C. Teh, and A. Liu, “Double-Modulated Frequency Modulation Waveforms for MIMO Radar,” *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, vol. 13, no. 12, pp. 2024–2028, 2016, doi: 10.1109/LGRS.2016.2621740.
- [6] O. Matsuoka, M. Kishi, and K. Hotate, “Brillouin optical correlation domain reflectometry with double frequency modulation and phase modulation,” *23rd Int. Conf. Opt. Fibre Sensors*, vol. 9157, p. 91576G, 2014, doi: 10.1117/12.2059432.
- [7] D. Tiara, “Fast Fourier Transform (FFT) Dalam Transformasi Sinyal Frekuensi Suara Sebagai Upaya Perolehan Average Energy (AE) Musik,” *J. Pengkaj. dan Penerapan Tek. Inform.*, vol. 14, no. 1, pp. 28–35, 2014.
- [8] P. Yoko, R. Adwiya, and W. Nugraha, “Penerapan Metode Prototype dalam Perancangan Aplikasi SIPINJAM Berbasis Website pada Credit Union Canaga Antutn,” *J. Merpati*, vol. 7, no. 3, pp. 212–223, 2019, [Online]. Available: <http://jurnal.univbinainsan.ac.id/index.php/jusim/article/download/331/228>.
- [9] G. A. Ambaye, “Time and Frequency Domain Analysis of Signals: A Review,” *Int. J. Eng. Res. Technol.*, vol. 9, no. 12, pp. 271–276, 2020, [Online]. Available: www.ijert.org.
- [10] D. Pamungkas, S. R. Kurniawan, and B. F. Simamora, “Perbandingan Antara Domain Waktu dan Frekuensi untuk Pengenalan Sinyal EMG,” *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 17, no. 1, pp. 36–41, 2021, doi: 10.17529/jre.v17i1.16844.