



# TELNECT



Journal homepage: <http://ejournal.upi.edu/index.php/TELNECT/>

## Optimasi Frekuensi Sampling pada Lagu 'Happy Birthday' untuk Mengurangi Aliasing: Pendekatan Teoretis dan Praktis

ABSTRACTS	ARTICLE INFO
<p>Kemajuan teknologi analog ke digital mengalami transformasi yang membawa revolusi besar di berbagai aspek kehidupan modern, khususnya di bidang industri musik. Transformasi tersebut memungkinkan reproduksi suara yang lebih baik dari segi kualitas, penyimpanan data yang efisien dan distribusi yang lebih mudah. Dibalik keunggulan dari transformasi juga terdapat tantangan teknis yang harus dihadapi untuk mendapatkan kualitas suara yang tinggi dan akurat. Salah satu kendala yang harus dihadapi yaitu fenomena aliasing. Penelitian ini berfokus pada optimasi frekuensi sampling untuk mengurangi efek aliasing dalam rekaman digital lagu "Happy Birthday" dengan menggunakan metode eksperimen dan membandingkan dua jenis file audio pada <i>software</i> MATLAB R2024a, yaitu notasi lagu dalam format .wav dan lagu dalam format .mp3, menggunakan frekuensi sampling 4000 Hz serta 8000 Hz yang menunjukkan kualitas audio yang lebih baik dibandingkan dengan 4000 Hz, hasil amplitudo sinyal yang lebih padat dan bentuk gelombang yang lebih stabil. Frekuensi sampling lebih tinggi dapat mengurangi distorsi dan aliasing, serta representasi sinyal audio yang lebih akurat. Penelitian ini memberikan wawasan dalam bidang digitalisasi sinyal audio serta menekankan pentingnya pemilihan frekuensi sampling yang tepat untuk mencapai kualitas audio digital yang optimal.</p> <p>© 2021 TELNECT</p>	<p><b>Article History:</b> Received 30 April 2025 Revised 10 Mei 2025 Accepted 20 Mei 2025 Available online 1 Juni 2025</p> <hr/> <p><b>Keyword:</b> Frekuensi Sampling, Aliasing, Digitalisasi Audio, Kualitas Audio, Rekaman Lagu, MATLAB</p>

## 1. INTRODUCTION

Kemajuan teknologi, setiap aspek harus mampu beralih dari dunia analog ke dunia komputerisasi digital [1]. Teknologi analog ke digital mengalami transformasi yang membawa revolusi besar di berbagai aspek kehidupan modern, termasuk juga dalam bidang industri musik. Transformasi tersebut memungkinkan reproduksi suara yang lebih baik dari segi kualitas, penyimpanan data yang efisien dan distribusi yang lebih mudah. Namun, dibalik keunggulan dari transformasi juga terdapat tantangan teknis yang harus dihadapi untuk mendapatkan kualitas suara yang tinggi dan akurat. Salah satu kendala yang harus dihadapi yaitu fenomena aliasing.

Aliasing terjadi ketika sinyal analog dikonversi menjadi sinyal digital dengan frekuensi sampling yang tidak memadai, menyebabkan distorsi yang tidak diinginkan. Hal ini dapat merusak kualitas asli dari rekaman dan mengurangi pengalaman pendengar. Oleh karena itu, diperlukan optimasi dalam menentukan nilai frekuensi sampling yang tepat sangat penting untuk menghindari aliasing dan memastikan bahwa rekaman audio digital tetap setia pada sumber aslinya. Frekuensi sampling dikatakan sudah tepat/sesuai jika kita dapat merekonstruksi kembali sinyal semula dari deretan sampelnya.

Faktor paling penting pada saat pemrosesan sampling sinyal digital adalah pemilihan frekuensi sampling, terutama dalam perekaman dan pemutaran audio. Audio diartikan sebagai suara atau reproduksi suara yang dihasilkan oleh getaran benda yang menciptakan gelombang suara. Gelombang suara ini memiliki lembah dan bukit yang membentuk satu siklus yang disebut periode. Periode ini berlangsung secara berulang dan menghasilkan frekuensi [2]. Frekuensi pengambilan sampel diukur menggunakan satuan Hertz (Hz), yang mengacu pada jumlah sampel per detik [3]. Dalam konteks ini, pemilihan frekuensi sampling yang tepat sangat penting untuk memastikan kualitas audio digital setara dengan sinyal aslinya. Frekuensi sampling paling kecil adalah dua kali sinyal yang di-sampling, jika frekuensi sampling lebih kecil dari dua kali frekuensi sinyal maka titik-titik sampling tersebut akan merepresentasikan sinyal lain [4]. Teorema sampling menyatakan bahwa: setiap sinyal bandlimited dengan bandwidth  $W$  yang diambil sampelnya menggunakan frekuensi sampling lebih dari  $2W$  dapat direkonstruksi kembali menjadi sinyal semula. Kecepatan sampling sebesar  $2W$  disebut sebagai frekuensi Nyquist.

Melodi familiar dan struktur sederhana seperti pada lagu "Happy Birthday" menjadikan objek yang ideal untuk mengeksplorasi konsep-konsep dasar dalam digitalisasi audio, gelombang audio mengalami dua tahap utama yaitu sampling dan kuantisasi. Sampling adalah proses pengumpulan data pada interval waktu yang telah ditentukan [5]. Selain itu, terdapat tantangan yang dihadapi dalam menghindari aliasing. Dalam konteks ini, optimasi frekuensi sampling pada rekaman "Happy Birthday" menjadi topik yang menarik dan relevan untuk dibahas. Sesuai dengan penelitian ini berfokus pada pendekatan teoretis dan praktis untuk mengoptimalkan frekuensi sampling dalam rekaman digital lagu "Happy Birthday". Melalui analisis mendalam dan eksperimen, kami bertujuan untuk menemukan frekuensi sampling yang optimal yang dapat mengurangi aliasing secara signifikan.

Penelitian mengenai frekuensi sampling telah banyak dilakukan oleh peneliti lain, namun topik ini masih belum banyak dibahas secara spesifik. Sebagian besar peneliti lebih berfokus pada aspek digitalisasi audio secara umum ataupun pada telepon dan rekaman audio. Penelitian ini berbeda dan memiliki unsur keterbaruan yang terletak pada analisis dan eksperimen secara spesifik terhadap lagu yang memiliki melodi sederhana dan familiar yaitu "Happy Birthday". Studi ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang berharga bagi insinyur audio dan peneliti dalam bidang digitalisasi sinyal audio, serta berkontribusi pada peningkatan kualitas rekaman audio digital. Untuk mencegah hal tersebut maka tingkat pengambilan sampel harus memenuhi syarat Nyquist rate [6].

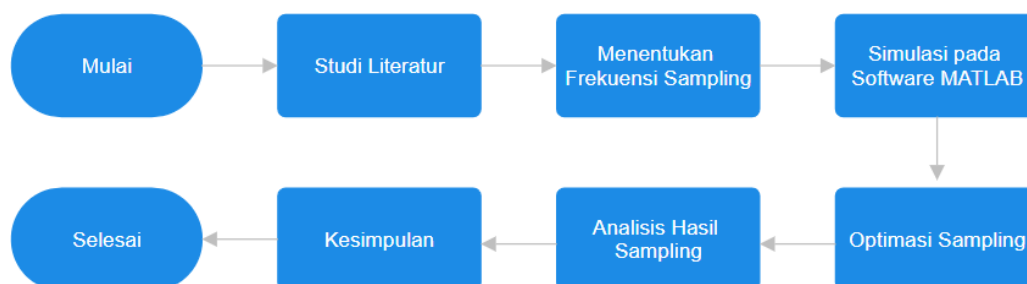
## 2. MATERIALS AND METHODS

Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah metode eksperimen dengan membandingkan frekuensi sampling dalam pemrosesan sinyal audio digital. Penelitian ini memanfaatkan *software* MATLAB R2024a untuk eksperimen dalam menguji dan membuktikan berapa nilai frekuensi sampling yang tepat untuk lagu "Happy Birthday" yang memiliki notasinya dibuat secara manual (.wav), dengan lagu yang sudah dalam format sampel musik (.mp3) untuk menghasilkan output yang sempurna agar mencegah dan mengurangi efek aliasing yang terjadi pada pengamatan efek aliasing pada audio.

Matlab merupakan *software* yang memiliki kemampuan yang tinggi dalam pemrosesan sinyal digital dan fleksibilitasnya dalam penerapan berbagai algoritma. Oleh karena itu, *software* Matlab dipilih untuk melakukan eksperimen pada penelitian ini. Alur penelitian ini disajikan pada Gambar 1.

Pada percobaan ini, peneliti melakukan analisis untuk mengetahui perbandingan pada nilai frekuensi sampling berapa keduanya memiliki output audio dengan kualitas sempurna, analisis output grafik sinyal yang dihasilkan, serta membandingkan kedua output yang dihasilkannya. Dengan demikian kita dapat melihat perubahan frekuensi sampling terhadap kualitas audio yang dihasilkan

secara langsung agar lebih memahami pentingnya pemilihan frekuensi sampling untuk dapat menghasilkan audio yang memiliki kualitas yang baik.



**Gambar 1. Alur Penelitian**

Alur Penelitian di atas menjelaskan terkait langkah-langkah untuk membandingkan output antara versi lagu 'Happy Birthday' menggunakan notasi lagu yang dibuat secara manual dalam bentuk sampel (.wav) dengan lagu asli 'Happy Birthday' yang sudah dalam bentuk sampel musik (.mp3).

## 2.1 Studi Literatur

Langkah awal yaitu melakukan studi literatur, lalu melakukan akuisisi data yang melibatkan pengambilan sampel audio lagu 'Happy Birthday'. Proses perekaman bunyi dilakukan dan hasilnya disimpan dalam format (.mp3). Selanjutnya tahap pemrosesan data yang bertujuan untuk meratakan sinyal suara input agar dapat diproses dengan lebih mudah. Topik yang diambil masih belum banyak dibahas oleh peneliti lain. Langkah selanjutnya, menentukan frekuensi sampling dengan tujuan untuk memastikan bahwa sinyal audio yang direkam dan direproduksi dengan akurasi yang baik dan mendapatkan hasil output audio yang memiliki kualitas yang baik dan bunyi sempurna.

Studi Literatur dilakukan untuk membantu dalam pengumpulan informasi dan referensi terkait dengan digitalisasi audio, frekuensi sampling, fenomena aliasing. Sumber-sumber yang digunakan termasuk pada artikel jurnal, buku, dan publikasi ilmiah lainnya yang diakses melalui *website* Google Scholar.

## 2.2 Menentukan Frekuensi Sampling

Berdasarkan studi literatur, peneliti menentukan frekuensi sampling yang optimal untuk audio "Happy Birthday". Menentukan frekuensi sampling menjadi langkah krusial dalam pemrosesan sinyal digital untuk memastikan bahwa sinyal asli dapat direpresentasikan dan direkonstruksi dengan akurasi tinggi tanpa kehilangan informasi penting. Hal ini melibatkan penerapan Teorema Nyquist-Shannon untuk memastikan bahwa frekuensi sampling cukup tinggi untuk menangkap semua detail penting dari sinyal audio tanpa menyebabkan aliasing. Frekuensi sampling yang telah ditentukan diuji melalui simulasi menggunakan *software* MATLAB versi R2024a. MATLAB dipilih karena kemampuannya yang kuat dalam pemrosesan sinyal dan analisis data. Simulasi ini membantu memvisualisasikan efek dari berbagai frekuensi sampling dan mengidentifikasi potensi aliasing.

## 2.3 Simulasi pada *Software* MATLAB

Frekuensi sampling yang telah ditentukan diuji melalui simulasi menggunakan *software* MATLAB versi R2024a. MATLAB dipilih karena kemampuannya yang kuat dalam pemrosesan sinyal dan analisis data. Simulasi ini membantu memvisualisasikan efek dari berbagai frekuensi sampling dan mengidentifikasi potensi aliasing.

## 2.4 Optimasi Sampling

Berdasarkan hasil simulasi, peneliti melakukan optimasi pada parameter sampling untuk mengurangi aliasing. Ini mungkin melibatkan penyesuaian frekuensi sampling atau metode lain yang ditemukan selama studi literatur. Untuk lebih mengurangi aliasing, filter anti-aliasing diterapkan sebelum proses sampling. Filter ini berfungsi untuk menghilangkan frekuensi tinggi yang berada di atas setengah dari frekuensi sampling, yang jika tidak dihapus, akan menyebabkan aliasing.

## 2.5 Analisis Hasil Sampling

Setelah menerapkan optimasi dan filter anti-aliasing, hasil dari proses sampling dianalisis. Analisis ini mencakup evaluasi kualitas audio, perbandingan dengan audio asli, dan pemeriksaan adanya sisa aliasing. Berdasarkan analisis hasil sampling, peneliti menarik kesimpulan mengenai efektivitas teknik yang digunakan untuk mengurangi aliasing. Setelah melakukan analisis, dilanjutkan dengan membuat kesimpulan dari hasil analisis maupun percobaan yang dilakukan. Dalam kesimpulan berisi tentang temuan utama, keberhasilan metode, dan rekomendasi untuk penelitian atau aplikasi lebih lanjut.

## 2.6 Kesimpulan

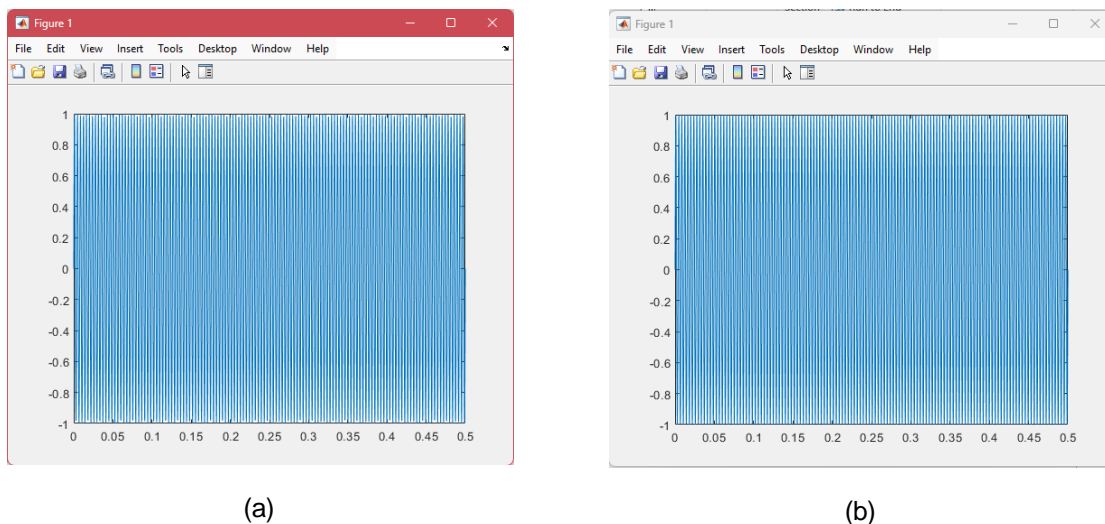
Setelah analisis selesai, hasil dimanfaatkan untuk menyusun kesimpulan yang komprehensif. Kesimpulan ini berguna untuk menampilkan hasil serta implikasi yang berkaitan dengan perbedaan antara output lagu yang dihasilkan dalam format WAV dan MP3.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

### 3.1 Results

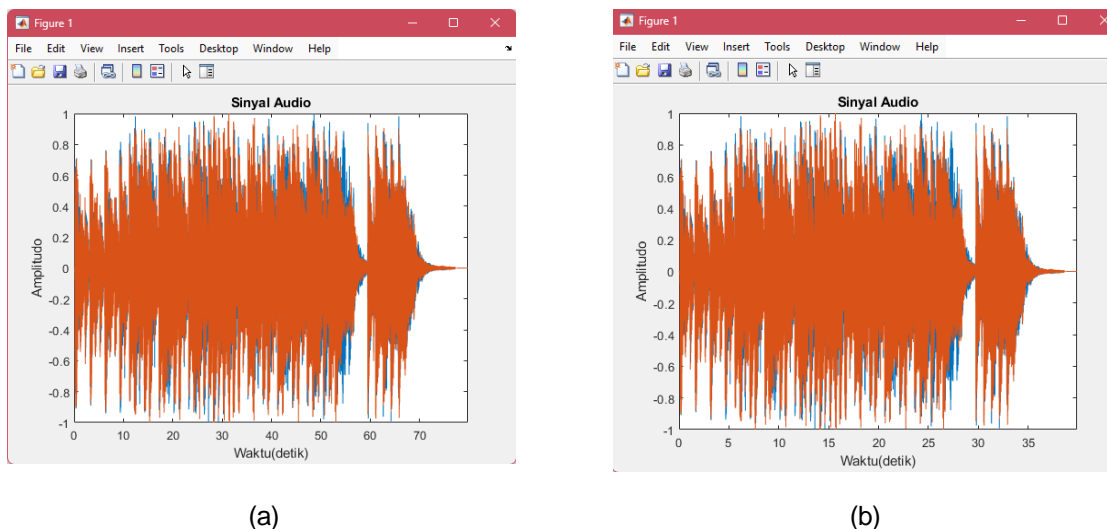
Audio memiliki bermacam bentuk seperti rekaman suara, ataupun lagu terdengar sama dengan rekaman suara namun berbeda ketika didengarkan. Dalam lagu terdapat instrumen musik dan suara penyanyi. Seperti lagu "Happy Birthday" menjadi salah lagu yang paling terkenal dan sering dinyanyikan di seluruh dunia. Lagu ini tersedia dalam berbagai format audio digital seperti WAV dan MP3. WAV (Waveform Audio File Format) adalah format audio tanpa kompresi sehingga menghasilkan kualitas suara sangat tinggi, walaupun ukuran file yang dihasilkan sangat besar. Di sisi lain, MP3 (MPEG-1 Audio Layer 3) adalah format audio terkompresi yang menghasilkan ukuran file lebih kecil dengan kualitas suara yang cukup baik, meskipun mengalami kehilangan kualitas suara akibat kompresi. File MP3 memiliki ukuran lebih kecil dan kualitas audio yang lebih rendah, sedangkan file WAV biasanya berukuran lebih besar dan kualitas audio yang lebih tinggi [7].

Lagu dengan format WAV atau MP3 bisa saja mengalami aliasing. Misalnya dalam aplikasi audio, dapat menyebabkan terjadinya distorsi seperti munculnya ketukan yang tidak diinginkan, nada yang tidak harmonis, mengurangi kejernihan, dan efek heterodyning yang dapat merusak kualitas audio [8], [9]. Aliasing dapat diatasi dengan melakukan sampling pada audio dan mengoptimalkan nilai frekuensi sampling. Frekuensi sampling merupakan jumlah sampel audio yang diambil per detik untuk merepresentasikan sinyal suara dalam format digital. Pada penelitian digunakan frekuensi sampling sekitar 4000 HZ dan 8000 HZ dalam dua percobaan yang berbeda. Hasil audio dari kedua frekuensi sampling tersebut memiliki perbedaan signifikan dipresentasikan dengan hasil sinyal suara pada Gambar 2 berikut.



**Gambar 2. Percobaan 1 Visualisasi Output Audio dalam format .wav (a)  $F_s$  4000 Hz dan (b)  $F_s$  8000 Hz**

Percobaan pertama pada frekuensi sampling 8000 Hz, kualitas suara tidak terlalu kritis dan sedikit noise. Sebaliknya, pada frekuensi sampling 4000 Hz, frekuensi sampling ini sangat rendah, tidak cukup untuk menangkap semua detail dari suara manusia, sehingga menyebabkan aliasing yang signifikan dan hasil suara yang sangat terdistorsi. Semakin tinggi nilai frekuensi sampling, maka bentuk sinyal analog yang direpresentasikannya semakin akurat, namun hal ini menyebabkan jumlah data yang disimpan dalam sinyal digital semakin banyak. Hasil visualisasi audio dalam bentuk .mp3 dari kedua frekuensi sampling tersebut ditunjukkan pada gambar 3 berikut.



**Gambar 3. Percobaan 2 Visualisasi Output Audio dalam format .mp3 (a) Fs 4000 Hz dan (b) Fs 8000 Hz**

Gambar 2 merupakan grafik sinyal sinusoidal yang dihasilkan pada percobaan 1 yaitu audio dengan notasi lagu “Happy Birthday” yang dibuat secara manual dalam format .wav, analisis dilakukan menggunakan dua nilai Fs yaitu 4000 Hz dan 8000 Hz. Grafik menunjukkan bahwa amplitudo sinyal yang dihasilkan tampak padat terutama saat nilai Fs yang digunakan sangat tinggi. Pada percobaan ini menggunakan nilai frekuensi sampling (Fs) untuk menggambarkan sinyal audio yang dihasilkan. Ketika domain waktu, sinyal suara digambarkan dalam bentuk tegangan atau arus dalam fungsi waktu [10]. Frekuensi sampling dengan nilai yang tinggi menghasilkan lebih banyak titik sampel per detiknya dan memungkinkan representasi sinyal output lebih detail. Sebaliknya, jika frekuensi sampling dengan nilai yang lebih rendah maka akan menghasilkan lebih sedikit titik sampel per detiknya dan menyebabkan sinyal output audio tidak dapat direpresentasikan dengan baik dapat memunculkan efek aliasing seperti nada yang tidak harmonis dan kejernihan audio berkurang. Grafik sinyal sinusoidal yang ditunjukkan pada gambar 2(a) Fs 4000 Hz, memiliki jumlah sampel yang sedikit sehingga waktu yang diambil dalam waktu tertentu berkurang dan menyebabkan output audio yang dihasilkan tidak direpresentasikan dengan baik, kurang akurat hingga munculnya distorsi atau aliasing. Seperti yang ditunjukkan pada gambar, ketika komponen frekuensi input lebih besar dari setengah frekuensi sampling, masalah aliasing dapat muncul [11]. Amplitudo yang dihasilkan lebih sedikit renggang dibandingkan dengan saat nilai Fs 8000 Hz. Sebaliknya, pada gambar 2(b) Fs 8000 Hz, memiliki jumlah sampel yang lebih banyak dikarenakan nilai frekuensi yang tinggi dan menghasilkan lebih banyak titik sampel yang membuat sinyal audio yang keluar terdengar lebih detail dan akurat. Amplitudo yang dihasilkan terlihat stabil dan padat yang menandakan bahwa proses sampling mereproduksi audio dengan baik.

Gambar 3 merupakan grafik sinyal Audio yang dihasilkan pada percobaan 2 yaitu audio dengan lagu “Happy Birthday” dalam format (.mp3). Analisis dilakukan menggunakan dua nilai Fs yaitu 4000 Hz dan 8000 Hz. Meskipun keduanya memiliki Fs sampling yang berbeda, hanya output yang berubah hanya pada laju audio yang dihasilkan atau periode waktunya saja, sedangkan amplitudo yang dihasilkannya tetap sama dikarenakan menggunakan sampel lagu yang sama. Hal ini dapat dilihat pada gambar 3(a) Fs 4000 Hz dan 3(b) Fs 8000 Hz, amplitudo keduanya tetap konsisten namun kecepatan laju pemutarannya berbeda dimana saat Fs 4000 Hz memiliki laju kecepatan melewati 70 detik dan membuat audio terdengar lebih lambat dan terdistorsi yang menyebabkan lagu terdengar tidak jelas, sedangkan Fs 8000 Hz memiliki laju kecepatan melewati 35s dan menghasilkan output audio yang lebih jernih dan detail. Hal ini berarti bahwa saat Fs 8000 Hz memiliki kecepatan 2 kali lebih cepat dibandingkan saat Fs 4000 Hz.

Pada penelitian ini, analisis dilakukan terhadap dua jenis file audio, yaitu notasi lagu "Happy Birthday" yang dibuat secara manual dalam format .wav dan lagu "Happy Birthday" dalam format .mp3. Perbandingan tersebut menggunakan dua frekuensi sampling yang berbeda, yaitu 4000 Hz dan 8000 Hz, yang mencakup analisis amplitudo, frekuensi, dan bentuk gelombang dari sinyal yang dihasilkan.

Perbandingan grafik sinyal sinusoidal pada format .wav dalam frekuensi sampling 4000 Hz menghasilkan amplitudo yang renggang dan tidak padat serta bentuk gelombang tidak dapat merepresentasikan sinyal asli dengan baik, menyebabkan distorsi yang signifikan. Banyak penelitian menentukan dampak aliasing pada data yang berkaitan dengan rentang waktu (pendek), dan beberapa menunjukkan bagaimana variasi sinyal tertentu dapat terjadi pada rentang waktu [12]. Sedangkan

dalam frekuensi sampling 8000 Hz, menghasilkan amplitudo sinyal yang terlihat lebih padat dan stabil serta bentuk gelombang lebih mendekati sinyal asli, menunjukkan representasi sinyal asli yang lebih akurat. Hal ini karena tingginya frekuensi sampling dapat mengurangi aliasing, sehingga menghasilkan kualitas audio yang lebih baik.

Adapun perbandingan grafik pada sinyal audio pada format .mp3 dalam frekuensi sampling 4000 Hz menghasilkan amplitudo yang tetap konsisten dan kecepatan pemutaran audio lebih lambat, dimana mencapai sekitar 70 detik, yang menyebabkan suara terdengar terdistorsi dan tidak jelas. Hal ini menunjukkan bahwa frekuensi sampling yang rendah tidak cukup untuk memutar audio dengan kecepatan yang sesuai. Sedangkan dalam frekuensi sampling 8000 Hz menghasilkan kecepatan pemutaran audio yang lebih cepat, dimana hanya mencapai sekitar 35 detik, yang membuat audio terdengar lebih jernih dan detail. Hal ini terjadi akibat frekuensi sampling yang lebih tinggi memungkinkan representasi sinyal audio yang lebih akurat, dapat mengurangi distorsi, dan juga dapat meningkatkan kualitas suara.

### 3.2 Discussion

Dari hasil perbandingan yang dianalisis menunjukkan bahwa frekuensi sampling yang lebih tinggi sebesar 8000 Hz secara signifikan meningkatkan kualitas audio dibandingkan dengan frekuensi sampling yang lebih rendah sebesar 4000 Hz, dimana dalam frekuensi sampling 8000 Hz, memiliki amplitudo sinyal lebih padat dan bentuk gelombang lebih stabil, yang menunjukkan representasi sinyal yang lebih akurat. Sedangkan, dalam frekuensi sampling 4000 Hz menghasilkan amplitudo yang renggang dan bentuk gelombang yang tidak stabil, menunjukkan adanya distorsi dan aliasing yang menyebabkan kejernihan pada audio mengurang. Hal ini mengindikasikan bahwa penggunaan frekuensi sampling yang lebih rendah tidak cukup untuk menangkap detail-detail penting dari sinyal audio yang direproduksi.

Temuan ini memiliki implikasi penting dalam bidang digitalisasi audio, terutama dalam konteks rekaman musik. Optimasi frekuensi sampling dapat meningkatkan kualitas rekaman audio digital yang membuat lebih setia pada sumber aslinya, selain itu mengurangi distorsi yang disebabkan oleh aliasing. Untuk memiliki kualitas audio yang direkam dan direproduksi optimal, sangat penting untuk memastikan bahwa pemilihan frekuensi sampling sudah tepat. Studi ini juga memberikan wawasan yang berharga tentang bagaimana berbagai frekuensi sampling dapat mempengaruhi kualitas audio dan dapat menjadi panduan dalam pengembangan teknologi perekaman dan pemrosesan audio di masa yang akan datang.

Meskipun pada penelitian ini menunjukkan bahwa frekuensi sampling yang lebih tinggi dapat mengurangi aliasing, namun ada beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Pertama, pada penelitian ini hanya menggunakan satu jenis lagu, yaitu "Happy Birthday" yang memiliki melodi sederhana. Hasil penelitian mungkin berbeda jika ditetapkan pada lagu dengan kompleksitas yang lebih tinggi atau dengan instrumen music yang beragam. Kedua, studi ini hanya membandingkan dua frekuensi sampling yaitu 4000 Hz dan 8000 Hz. Untuk mendapatkan hasil yang lebih komprehensif, diperlukan penelitian lebih lanjut yang melibatkan berbagai frekuensi sampling lainnya. Selain itu, simulasi pada penelitian ini menggunakan *software* MATLAB R2024a, sehingga hasilnya mungkin berbeda jika menggunakan *software* atau metode lain.

Oleh karena itu, dengan keterbatasan ini diperlukan studi lanjutan untuk menguji berbagai jenis music serta frekuensi lainnya untuk pemahaman yang lebih komprehensif.

### 4. CONCLUSION

Penelitian ini menunjukkan bahwa pemilihan frekuensi sampling yang tepat sangat penting dalam proses digitalisasi sinyal audio untuk menghindari aliasing dan distorsi. Melalui eksperimen yang sudah dilakukan pada lagu "Happy Birthday" dalam format .wav dan .mp3 dengan frekuensi sampling 4000 Hz dan 8000 Hz, terbukti bahwa frekuensi sampling yang lebih tinggi (8000 Hz) menghasilkan kualitas audio yang lebih baik. Amplitudo sinyal yang lebih padat dan bentuk gelombang yang lebih stabil, dimana dalam frekuensi sampling 8000 Hz menunjukkan representasi sinyal yang lebih akurat dan mengurangi aliasing secara signifikan. Namun, dalam frekuensi sampling 4000 Hz menghasilkan amplitudo yang lebih renggang dan bentuk gelombang yang tidak stabil, dimana menyebabkan distorsi dan kualitas audio yang menurun. Oleh sebab itu, untuk dapat memastikan kualitas audio digital yang optimal, disarankan untuk menggunakan frekuensi sampling yang lebih tinggi. Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan wawasan penting bagi insinyur audio dan peneliti dalam bidang digitalisasi sinyal audio, serta menyarankan agar frekuensi sampling yang lebih tinggi digunakan untuk aplikasi audio lainnya demi mencapai kualitas suara yang optimal.

## 5. REFERENCES

- [1] Z. Bonok, S. Abdussamad, Y. Mohamad, and A. P. P. Junus, "Transformasi Digital Media Pembelajaran Pada Jurusan Teknik Elektro dan Komputer," *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 6, no. 1, pp. 98–102, doi: <https://doi.org/10.37905/jjee.v6i1.23898>.
- [2] Y. Syarif, "Rancangan Power Amplifier Untuk Alat Pengukur Transmission Loss Material Akustik Dengan Metode Impedance Tube," *JESCE*, vol. 1, no. 2, Feb. 2018, doi: [10.31289/jesce.v1i2.1909](https://doi.org/10.31289/jesce.v1i2.1909).
- [3] R. Andersson, M. Nyström, and K. Holmqvist, "Sampling frequency and eye-tracking measures: how speed affects durations, latencies, and more," *JEMR*, vol. 3, no. 3, pp. 1–12, Sep. 2010, doi: [10.16910/jemr.3.3.6](https://doi.org/10.16910/jemr.3.3.6).
- [4] N. D. Pah, *Pemrosesan Sinyal Digital*. Malang: Media Nusa Creative, 2018.
- [5] S. Gunawan and E. S. Rahman, "Metode Penentuan Perbaikan Noise Pada Data Musik Menggunakan Algoritma Least Mean Square," *Journal of Digital Technology and Computer Science*, vol. 1, no. 1, pp. 48–56, 2023, doi: [10.61220/digitech.v1i1](https://doi.org/10.61220/digitech.v1i1).
- [6] Z. Setiawan, I. P. Gunawan, I. K. Setiawan, H. H. Lukmana, Y. Angkawijaya, and I. N. A. Arsana, *BUKU AJAR MULTIMEDIA*. Jambi: PT. Sonpedia Publishing Indonesia, 2023.
- [7] M. C. Ghane, M. D. Uribarri, R. Djemai, D. Dunsin, and I. I. Araujo, "A Novel Hybrid Method for Effective Identification and Extraction of Digital Evidence Masked by Steganographic Techniques in WAV and MP3 Files," *JISCR*, vol. 6, no. 2, pp. 89–104, Dec. 2023, doi: [10.26735/IZBK9372](https://doi.org/10.26735/IZBK9372).
- [8] V. Valimaki and A. Huovilainen, "Antialiasing Oscillators in Subtractive Synthesis," *IEEE Signal Process. Mag.*, vol. 24, no. 2, pp. 116–125, Mar. 2007, doi: [10.1109/MSP.2007.323276](https://doi.org/10.1109/MSP.2007.323276).
- [9] F. Esqueda, S. Bilbao, and V. Valimaki, "Aliasing Reduction in Clipped Signals," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 64, no. 20, pp. 5255–5267, Oct. 2016, doi: [10.1109/TSP.2016.2585091](https://doi.org/10.1109/TSP.2016.2585091).
- [10] A. A. Havis and L. Fitria, "Filtering Sinyal Menggunakan Band Pass Filter," *Jurnal SIFO Mikroskil*, vol. 19, no. 2, pp. 37–48, 2018, doi: [10.55601/jsm.v19i2.594](https://doi.org/10.55601/jsm.v19i2.594).
- [11] E. Zamiri, A. Sanchez, M. S. Martínez-García, and A. De Castro, "Analysis of the aliasing effect caused in hardware-in-the-loop when reading PWM inputs of power converters," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 136, p. 107678, Mar. 2022, doi: [10.1016/j.ijepes.2021.107678](https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.107678).
- [12] R. A. Madden and R. H. Jones, "A Quantitative Estimate of the Effect of Aliasing in Climatological Time Series," *J. Climate*, vol. 14, no. 19, pp. 3987–3993, Oct. 2001, doi: [10.1175/1520-0442\(2001\)014<3987:AQEOTE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014<3987:AQEOTE>2.0.CO;2).