

LAPORAN PROYEK AKHIR

Pendekatan Berbasis Python untuk Analisis Frekuensi Lagu Favorit Menggunakan Filter FIR dan IIR dengan Variasi Jendela



Proyek ini disusun dalam rangka memenuhi tugas akhir mata kuliah Pengolahan Sinyal Digital dengan dosen pengampu :

1. Bapak Bagaskoro Saputro, S.Si., M.Cs.
2. Ibu Vera Noviana Sulistyawan, S.T., M.T.

Disusun Oleh :

1. Muhammad Faizal AlKindi (5312422002)
2. Fadly Subagja (5312422012)
3. VaceInino Faiz Fadeli (5312422024)

PROGRAM STUDI TEKNIK KOMPUTER

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2024

I. PENDAHULUAN

Musik adalah salah satu bentuk seni yang paling universal, mampu menyentuh berbagai lapisan emosi manusia. Pemahaman mendalam tentang struktur dan komposisi lagu favorit kita dapat dicapai melalui analisis frekuensi, yang mengungkap elemen-elemen tersembunyi di balik melodi dan harmoni yang kita nikmati. Dalam konteks ini, teknologi digital, khususnya pemrograman Python, menawarkan alat yang kuat untuk melakukan analisis semacam ini. Pada pengolahan sinyal digital, terdapat proses filtering yang merupakan suatu metode untuk menyaring sinyal inputan untuk mereduksi noise atau membuang frekuensi yang tidak diperlukan [1].

Filter merupakan sebuah perangkat atau proses yang dapat mengeliminasi komponen-komponen sinyal yang tidak diinginkan dari sinyal masukan [2]. Filter digital Finite Impulse Response (FIR) dan Infinite Impulse Response (IIR) adalah dua metode yang umum digunakan dalam pemrosesan sinyal untuk memfilter dan menganalisis data frekuensi. Berdasarkan pembagian pada respon impuls filter, filter digital dibagi menjadi 2, yaitu filter infinite impulse response (IIR) dan filter finite impulse response (FIR). FIR memiliki respon impuls yang panjangnya terbatas, sedangkan IIR memiliki respon impuls yang panjangnya tidak terbatas [3]. Menggabungkan kedua filter ini dengan variasi jendela teknik yang digunakan untuk mengontrol karakteristik filter melalui penyesuaian respons frekuensi dapat memberikan wawasan yang lebih mendalam dan spesifik dalam analisis frekuensi musik.

Dalam penelitian ini, kami akan mengeksplorasi bagaimana berbagai jenis filter FIR dan IIR dapat diterapkan pada analisis frekuensi lagu favorit dengan menggunakan Python sebagai alat utama. Dengan memanfaatkan pustaka seperti SciPy dan NumPy, serta teknik visualisasi dari Matplotlib, kami akan memaparkan bagaimana variasi jendela mempengaruhi hasil analisis frekuensi. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk memahami bagaimana kombinasi filter dan jendela yang berbeda dapat digunakan untuk mengidentifikasi dan menyoroti fitur-fitur spesifik dalam musik yang seringkali tidak terdengar oleh telinga manusia. Selain itu, kami akan menerapkan tiga jenis filter utama: low-pass, band-pass, dan high-pass untuk memahami bagaimana setiap filter mempengaruhi komponen frekuensi yang berbeda dalam lagu.

Meninjau dari penelitian sebelumnya oleh Amrizal Prawiratama [4] yang berjudul mengimplementasikan Filter Digital IIR pada beaglebone black, didapatkan hasil keluaran yaitu sebuah perbandingan sinyal sebelum dan sesudah mengalami proses filter dengan menggunakan beberapa metode yang berbeda. Dengan menggabungkan penggunaan berbagai jenis filter ini, kami dapat mengidentifikasi dan menyoroti fitur-fitur spesifik dalam musik yang seringkali tidak terdengar oleh telinga manusia. Pendekatan berbasis Python ini tidak hanya memberikan kerangka kerja yang fleksibel dan efisien untuk analisis musik, tetapi juga membuka peluang bagi penggemar musik dan peneliti untuk lebih memahami dan menghargai detail teknis dalam komposisi lagu favorit mereka. Dengan demikian, studi ini bertujuan untuk menyatukan dunia seni musik dengan analisis teknis, memfasilitasi pemahaman yang lebih dalam tentang apa yang membuat sebuah lagu menjadi istimewa dan memikat.

II. DASAR TEORI

Penelitian ini dilandasi oleh berbagai kajian mendalam yang telah dilakukan, sehingga memberikan perspektif baru dan menyeluruh dalam memahami dan mendalami topik yang akan dibahas.

1. Filter Digital FIR

Filter Digital FIR (Finite Impulse Response) merupakan komponen penting dalam sistem pengolahan sinyal digital (DSP) modern. Keunggulannya dalam hal stabilitas inheren, kemudahan implementasi, dan fleksibilitas desain menjadikannya pilihan populer di berbagai aplikasi. Berbeda dengan filter IIR (Infinite Impulse Response) yang rentan terhadap ketidakstabilan, FIR menjamin operasi yang stabil, membuatnya ideal untuk aplikasi real-time dan kritis.

Fungsi utama FIR adalah menyaring sinyal digital, memisahkan komponen frekuensi yang diinginkan dari sinyal input yang kompleks. FIR bekerja dengan menjumlahkan sampel sinyal input yang dikalikan dengan serangkaian koefisien filter, menghasilkan sinyal output yang difilter. Koefisien filter ini menentukan karakteristik frekuensi filter, seperti frekuensi cutoff dan tingkat atenuasi pada pita frekuensi tertentu.

Persamaan fundamental yang mendasari operasi FIR adalah:

$$y[n] = \sum_{k=0}^{N-1} h[k] \cdot x[n-k]$$

Dimana:

- $y(n)$: Sampel sinyal output pada waktu n
- $h(k)$: Koefisien filter pada waktu k
- $x(n-k)$: Sampel sinyal input pada waktu $n-k$
- Σ : Simbol penjumlahan

Persamaan ini menunjukkan bahwa output filter FIR pada waktu n merupakan penjumlahan dari produk antara koefisien filter dan sampel sinyal input pada waktu yang tertunda. Penundaan ini, yang merupakan karakteristik FIR, menyebabkan keterlambatan inheren dalam operasi filter.

Keunggulan utama FIR terletak pada kemudahan implementasinya, stabilitas inheren, dan fleksibilitas desain yang tinggi. Namun, FIR umumnya membutuhkan lebih banyak koefisien untuk mencapai kinerja yang setara dengan IIR, berimplikasi pada kompleksitas komputasi yang lebih tinggi. Selain itu, FIR inheren memiliki keterlambatan, yang dapat menjadi kendala dalam aplikasi sensitif terhadap waktu.

2. Filter Digital IIR

Filter digital Infinite Impulse Response (IIR) merupakan komponen fundamental dalam ranah pengolahan sinyal digital, menawarkan kemampuan luar biasa untuk memodifikasi sinyal berdasarkan frekuensi. Berbeda dengan filter digital Finite Impulse Response (FIR) yang hanya memanfaatkan sampel data masa lalu yang terbatas, filter IIR menerapkan umpan balik internal untuk menghasilkan respons tak terbatas terhadap input. Keunggulan ini memungkinkan filter IIR mencapai performa yang lebih baik dengan kompleksitas komputasi yang lebih rendah dibandingkan FIR untuk mencapai karakteristik frekuensi yang sama. Karakteristik utama filter IIR didefinisikan oleh persamaan diferensial atau persamaan selisih yang menghubungkan sinyal input dan output. Persamaan ini menentukan perilaku filter dalam frekuensi, seperti frekuensi cutoff dan roll-off. Desain filter IIR melibatkan pemilihan koefisien dalam persamaan diferensial atau selisih untuk mencapai karakteristik frekuensi yang diinginkan.

Berbagai metode desain filter IIR umum digunakan, antara lain metode Bilinear, metode Butterworth, dan metode Chebyshev. Masing-masing metode memiliki kelebihan dan kekurangannya sendiri, dan pemilihan metode yang tepat bergantung pada kebutuhan aplikasi yang spesifik. Dibandingkan dengan filter FIR, filter IIR memiliki beberapa keunggulan dan kekurangan. Keunggulannya meliputi efisiensi komputasi, desain yang fleksibel, dan kemampuan transisi yang tajam. Namun, filter IIR juga memiliki kekurangan seperti stabilitas yang perlu diperhatikan, desain yang kompleks, dan keterlambatan pada sinyal output. Filter FIR (Finite Impulse Response) merupakan jenis filter digital yang bekerja dengan cara mengalikan sinyal input dengan deretan koefisien, kemudian menjumlahkan hasil perkalian tersebut untuk menghasilkan sinyal output. Deretan koefisien ini disebut dengan impulse response, dan menentukan karakteristik frekuensi filter.

Rumus dasar filter IIR dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$y[n] = \sum_{k=0}^N b[k].x[n-k] - \sum_{k=1}^M a[k].y[n-k]$$

Dimana:

- $y[n]$ adalah output filter pada waktu n ,
- $x[n]$ adalah input filter pada waktu n ,
- $b[k]$ dan $a[k]$ adalah koefisien filter,
- N adalah orde dari bagian feedforward (numerator),
- M adalah orde dari bagian feedback (denominator).

3. Variasi Jendela FIR

A. Jendela Hamming

Jendela Hamming, diperkenalkan oleh R. W. Hamming pada tahun 1978, merupakan variasi jendela FIR (Finite Impulse Response) yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi pengolahan sinyal digital. Kemampuannya menghasilkan transisi frekuensi yang halus dan meminimalisir riak riak (ripple) menjadikannya pilihan ideal untuk aplikasi seperti pengolahan audio, pemrosesan gambar, dan analisis spektrum. Bobot tertinggi pada sampel di pusat rentang waktu dan bobot yang lebih rendah pada sampel di tepi menghasilkan transisi frekuensi yang halus, meminimalisir efek Gibbs, dan meningkatkan akurasi analisis frekuensi. Jendela Hamming juga efektif meminimalisir riak riak (ripple) pada pita frekuensi tertentu, menghasilkan representasi frekuensi yang lebih bersih dan bebas distorsi. Kemudahan implementasi dan rumus yang sederhana menjadikannya alat yang praktis untuk berbagai aplikasi.

Jendela Hamming menawarkan transisi frekuensi yang halus, pengurangan riak riak (ripple), dan kemudahan implementasi, menjadikannya alat yang vital dalam berbagai aplikasi pengolahan sinyal digital. Pemahaman mendalam tentang Jendela Hamming dan penggunaannya yang tepat memungkinkan para ahli dan praktisi untuk menyelesaikan berbagai permasalahan pengolahan sinyal digital dengan presisi dan efisiensi.

B. Jendela Hanning

Jendela Hanning, atau dikenal sebagai jendela cosinus terangkat, merupakan salah satu jenis jendela yang umum digunakan dalam metode windowing untuk merancang filter digital FIR. Karakteristiknya yang unik menjadikannya pilihan ideal untuk berbagai aplikasi, terutama dalam analisis sinyal. Jendela Hanning memiliki bentuk setengah periode cosinus, dimulai dan berakhir pada nilai nol. Hal ini menghasilkan transisi yang halus ke nol pada kedua ujung jendela, secara signifikan mengurangi efek samping dari kebocoran spektrum. Kebocoran spektrum adalah fenomena yang tidak diinginkan dalam transformasi Fourier, di mana energi sinyal bocor ke frekuensi lain, sehingga mengaburkan hasil analisis.

Keunggulan utama jendela Hanning terletak pada kemampuannya untuk meningkatkan resolusi frekuensi dari sinyal yang dianalisis. Hal ini sangat bermanfaat dalam situasi di mana dua frekuensi gangguan berdekatan perlu diukur dengan presisi tinggi. Contohnya, dalam analisis getaran, jendela Hanning memungkinkan identifikasi dan pengukuran frekuensi gangguan yang sangat dekat dengan akurat. Meskipun menawarkan peningkatan resolusi frekuensi, penggunaan jendela Hanning juga memiliki beberapa konsekuensi. Salah satunya adalah penurunan resolusi waktu dari sinyal yang dianalisis.

Penurunan ini dapat berakibat pada hilangnya informasi temporal tertentu.

C. Jendela Rectangular

Jendela Rectangular, atau jendela persegi panjang, merupakan variasi jendela FIR (Finite Impulse Response) yang paling sederhana dalam ranah pengolahan sinyal digital. Kesederhanaannya ini bukan berarti tanpa kegunaan. Jendela Rectangular memiliki karakteristik unik yang menjadikannya pilihan tepat untuk aplikasi tertentu. Jendela Rectangular memiliki bobot yang sama untuk semua sampel data dalam rentang waktu, menghasilkan transisi frekuensi yang paling tajam dibandingkan dengan variasi jendela FIR lainnya. Kesederhanaan bobotnya menjadikan Jendela Rectangular mudah diimplementasikan dalam berbagai platform pemrograman.

Namun, perlu diingat bahwa Jendela Rectangular juga memiliki kekurangan, yaitu efek Gibbs yang lebih tinggi dan riak riak (ripple) yang paling tinggi dibandingkan variasi jendela FIR lainnya. Efek Gibbs ini dapat menyebabkan artefak pada representasi frekuensi sinyal, sedangkan riak riak (ripple) dapat mengganggu analisis frekuensi dan menghasilkan representasi yang tidak akurat. Meskipun memiliki kekurangan, Jendela Rectangular tetap memiliki keunggulan, yaitu kesederhanaan, transisi frekuensi tajam, dan efisiensi komputasi. Keunggulan ini menjadikannya pilihan tepat untuk aplikasi tertentu, seperti deteksi tepi gambar, analisis transisi, dan aplikasi real-time.

D. Jendela Kaiser

Jendela Kaiser, bagaikan alat ajaib dalam dunia pemrosesan sinyal digital, menawarkan kemampuan luar biasa untuk meredam noise dan meningkatkan kualitas sinyal. Di balik kesederhanaan namanya, tersembunyi teori mendalam yang menjelaskan perannya yang efektif dalam berbagai aplikasi. Karakteristik utama Jendela Kaiser terletak pada lobus utamanya yang sempit, bagaikan sorotan laser yang fokus pada frekuensi pusat, mengabaikan noise di sekitarnya. Lobus sampingnya yang rendah meminimalkan distorsi sinyal, menjaga kejernihannya bagaikan pantulan cahaya yang minim. Fleksibilitasnya memungkinkan penyesuaian lobus utama dan samping, bagaikan menyetel alat musik untuk kebutuhan spesifik aplikasi.

Keunggulan Jendela Kaiser meliputi efisiensi tinggi dalam meredam noise dengan distorsi minimal, kemampuan adaptif untuk berbagai aplikasi, dan kesederhanaan implementasi yang ideal untuk aplikasi real-time. Jendela Kaiser berperan penting dalam aplikasi peredam noise, pemrosesan sinyal digital, dan desain filter, menjadikannya alat vital dalam berbagai bidang, mulai dari audio dan gambar hingga komunikasi data dan analisis ilmiah.

4. Variasi Jendela IIR

A. Jendela Chebyshev

Ada dua jenis utama filter Chebyshev: Bentuk Chebyshev I dan Chebyshev Tipe II. Filter Chebyshev adalah bentuk filter linier yang dimaksudkan untuk memiliki respons frekuensi dengan transisi yang cepat antara pass band dan reject band. Tidak seperti filter Butterworth, filter Chebyshev Tipe I menyertakan riak yang dapat disesuaikan pada pass band yang memungkinkan transisi yang sangat cepat ke reject band dengan lebih sedikit komponen. Di sisi lain, Chebyshev Tipe II, juga dikenal sebagai filter Chebyshev terbalik, sangat cocok untuk aplikasi yang membutuhkan presisi amplitudo pada pass band karena hanya menunjukkan riak pada reject band dan memiliki respons pass band yang cukup datar. Efisiensi komponen dan kecepatannya dalam memenuhi persyaratan penekanan frekuensi membuat kedua jenis filter ini patut diperhatikan.

Karakteristik Chebyshev Tipe I memiliki ripple di passband, sementara Chebyshev Tipe II memiliki ripple di stopband. Keduanya menawarkan roll-off yang lebih tajam dibandingkan Butterworth filter. Impuls Response Impuls response dari Chebyshev filter menunjukkan overshoot dan ringing, dengan peluruhan non-monotonik. Frekuensi Response Chebyshev filter memiliki roll-off tajam dengan ripple sesuai tipe, menawarkan pemisahan frekuensi yang lebih baik dibandingkan Butterworth filter. Aplikasi Chebyshev filter digunakan dalam aplikasi radar, telekomunikasi, dan sistem kontrol yang membutuhkan roll-off lebih tajam daripada yang dapat disediakan oleh Butterworth filter .

B. Jendela Butterworth

Jenis filter linier tertentu yang disebut filter butterworth dibuat untuk memiliki respons frekuensi yang sangat datar dan halus pada pass band tanpa riak, menjamin bahwa sinyal stabil dan tidak mengalami distorsi amplitudo. Filter Butterworth mempertahankan kualitas sinyal yang bersih dengan memperlakukan semua komponen frekuensi secara merata dalam pass band dan memiliki karakteristik frekuensi respons yang monoton. Meskipun filter ini bekerja lebih lambat daripada filter Chebyshev dan elips, amplitudo secara bertahap menurun setelah frekuensi cut-off dan menjadi lebih tajam saat frekuensi naik. Filter Butterworth terutama menguntungkan karena desainnya yang lugas dan stabil, yang membuatnya sangat cocok untuk aplikasi seperti pemrosesan audio, sistem komunikasi, dan peralatan listrik lainnya yang menuntut respons frekuensi yang mulus dan bebas distorsi.

Karakteristik Butterworth filter memiliki tanggapan magnitude yang paling flat di passband, tanpa ripple, memberikan roll-off yang lebih lambat dibandingkan Elliptic dan Chebyshev filter. Impuls Response Impuls response dari Butterworth filter tidak terlalu tajam dan menunjukkan sedikit overshoot. Frekuensi Response Frekuensi response dari Butterworth filter lebih lembut dengan roll-off yang lebih lambat dibandingkan dengan filter Elliptic atau Chebyshev, tetapi memberikan respons magnitude yang sangat flat di passband.

Aplikasi Butterworth filter digunakan dalam sistem audio dan aplikasi lain yang memerlukan respons frekuensi flat untuk menjaga kualitas sinyal .

C. Jendela Elliptic

Filter elliptic, kadang-kadang disebut sebagai filter Cauer, adalah sejenis filter linier yang memiliki riak yang khas pada band pass dan reject serta transisi frekuensi yang cukup mendadak di antara keduanya. Filter elips, berbeda dengan filter Butterworth, Chebyshev Tipe I, dan Chebyshev Tipe II, berkompromi dengan memperkenalkan riak pada band pass dan reject, tetapi memberikan kinerja terbaik dalam menekan frekuensi yang tidak diinginkan dengan komponen yang paling sedikit. Riak ini dapat diubah sesuai dengan kebutuhan desain, sehingga memberikan kebebasan bagi para desainer dalam menentukan properti filter. Dibandingkan dengan filter lain, filter elips memiliki respons fase yang lebih kompleks dan dapat menghasilkan distorsi fase yang lebih besar; namun, filter ini menawarkan keuntungan dalam efisiensi komponen dan frekuensi

Karakteristik Elliptic filter, juga dikenal sebagai Cauer filter, menawarkan tanggapan frekuensi paling tajam di antara semua filter analog. Filter ini memiliki ripple di passband dan stopband. Impuls Response Impuls response dari Elliptic filter menunjukkan peluruhan non-monotonik dan dapat menjadi tidak stabil pada beberapa aplikasi karena adanya ripple. Frekuensi Response Elliptic filter memiliki roll-off yang sangat tajam antara passband dan stopband, menjadikannya sangat efisien dalam memisahkan frekuensi yang berbeda. Namun, ripple di passband dan stopband dapat menjadi kelemahan pada beberapa aplikasi. Aplikasi Elliptic filter digunakan dalam aplikasi telekomunikasi dan radar di mana roll-off yang tajam diperlukan untuk memisahkan sinyal yang sangat berdekatan dalam domain frekuensi. Respons fase dari filter Butterworth menjadi lebih non-linear dengan meningkatnya N. Filter ini sepenuhnya ditentukan secara matematis oleh dua parameter yaitu frekuensi dan jumlah pole[5].

D. Jendela Bessel

Filter linier dengan tujuan mempertahankan bentuk gelombang datar dalam domain waktu adalah fungsi filter Bessel. Dengan penurunan yang nyata pada bagian atas dan bawah spektrum frekuensi, filter ini menawarkan respons frekuensi yang paling datar dalam domain frekuensi. Dengan pengecualian penundaan waktu yang biasanya diperkenalkan oleh filter, filter Bessel terkenal karena menjaga sinyal bebas dari distorsi fase, yang berarti bahwa semua komponen frekuensi sinyal meninggalkan filter dengan fase yang sama seperti saat masuk. Karena itu, filter Bessel sangat membantu dalam aplikasi seperti pemrosesan sinyal waktu nyata dan sistem komunikasi di mana menjaga integritas sinyal dari waktu ke waktu sangat penting. Respons frekuensi filter Bessel yang lambat adalah salah satu kelemahannya; karena nilai cut off.

Karakteristik Bessel filter terkenal karena tanggapan fase yang linear dan minim distorsi fase, yang penting untuk mempertahankan bentuk gelombang sinyal. Impuls Response Impuls response dari Bessel filter monotonik dengan peluruhan yang halus tanpa overshoot. Frekuensi Response Bessel filter memiliki roll-off yang lebih lembut dibandingkan dengan filter lain, tetapi menawarkan respons fase yang hampir linear. Aplikasi Bessel filter sering digunakan dalam aplikasi audio, video, dan komunikasi di mana distorsi fase harus diminimalkan untuk menjaga integritas sinyal .

5. Low Pass Filter

Filter yang dikenal sebagai low pass filter (LPF) melemahkan sinyal dengan frekuensi yang lebih besar dari frekuensi cut-off dan hanya mengizinkan sinyal dengan frekuensi yang lebih rendah dari itu untuk dilewatkan . Tujuan utama LPF adalah untuk memisahkan komponen frekuensi tinggi sinyal-yang sering dianggap sebagai derau atau gangguan-dari komponen frekuensi rendah, yang dianggap mengandung informasi penting. Frekuensi cut-off, atau frekuensi di mana respons filter berkurang secara tajam, adalah fitur utama low pass filter. Di bawah frekuensi cut-off, sinyal yang dikirim pada dasarnya tidak berubah, tetapi di atasnya, sinyal diredam.

6. Band Pass Filter

Band pass filter (BPF) hanya melewatkan satu pita frekuensi dan melemahkan semua frekuensi di luar pita tersebut. BPF adalah serangkaian langkah yang melewatkan suara di area tertentu antara frekuensi cut-off pertama dan kedua, sekaligus meredam frekuensi di luar area tersebut. [5]. Tugas utama BPF adalah meningkatkan atau mengurangi komponen frekuensi tertentu dari suatu sinyal. Frekuensi pusat , yang merupakan frekuensi di mana amplitudo sinyal biasanya terbesar atau dianggap mewakili pusat rentang frekuensi yang harus dipertahankan, adalah properti dari filter band pass. Selain itu, elemen penting yang menentukan luasnya rentang frekuensi yang akan diteruskan oleh filter adalah bandwidthnya.

7. High Pass Filter

Saat menurunkan atau menekan suara dengan frekuensi di bawah nilai cut-off, high pass filter (HPF) aktif memungkinkan sinyal dengan frekuensi tinggi melewatinya . Filter high pass aktif, berbeda dengan filter pasif, mencapai tujuannya melalui komponen aktif seperti amplifier atau transistor. Fitur utama filter lolos tinggi aktif adalah penguatan sinyal frekuensi tinggi, yang memungkinkannya mempertahankan fitur halus sinyal. Hasilnya, sinyal yang dihasilkan filter ini lebih jernih dan akurat. Selain itu, filter lolos tinggi aktif merespons perubahan frekuensi dengan lebih tajam, sehingga meningkatkan efektivitasnya dalam meredam kebisingan frekuensi rendah yang tidak diinginkan. Filter high pass aktif tidak hanya memisahkan komponen frekuensi tetapi juga meningkatkan fidelitas dan kejelasan sinyal.

III. METODE PENELITIAN

Penelitian untuk membahas bagaimana gelombang audio dapat menghasilkan berbagai variasi jendela Tapis FIR dan Tapis IIR dengan lagu yang berjudul “Bulan & Ksatria” dari band “Superman Is Dead” menggunakan bahasa pemrograman Python dengan tujuan membentuk plot dan audio yang telah diubah menjadi jendela Low Pass, High Pass, dan Band Pass Filter.

A. Pengumpulan Data

- Pemilihan Lagu : Pemilihan lagu bertujuan untuk memilih lagu favorit yang akan digunakan untuk bahan penelitian lalu dikonversikan menjadi file dengan format WAV agar dapat digunakan pada python.
- Penyimpanan Lagu : Setelah format diubah menjadi WAV file perlu disimpan dalam sebuah folder file untuk menyimpan dan sebagai lokasi penyimpanan hasil Jendela Filter yang telah dibuat.

B. Implementasi Tapis FIR dan IIR

- Pengimplementasian FIR dan IIR menggunakan Python bertujuan untuk menganalisis frekuensi pada lagu yang dipilih dengan bantuan pustaka scipy.
- Membuat berbagai jenis jendela dari jendela Low Pass, High Pass, dan Band Pass Filter.

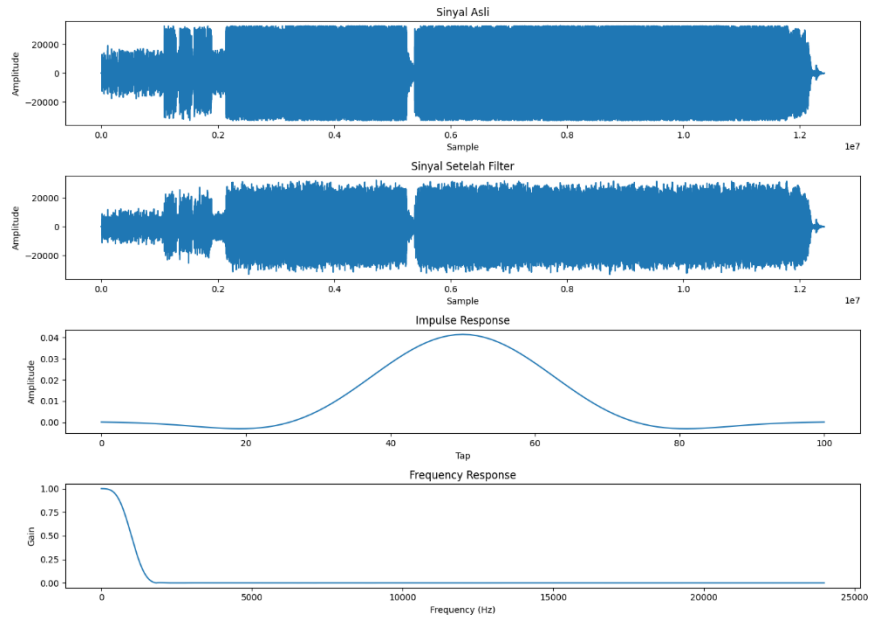
C. Analisis Hasil

- Membandingkan perbedaan hasil visualisasi dari proses filterisasi dalam bentuk plot grafik yang dihasilkan dari code Python
- Mendengarkan hasil audio dari berbagai jenis filterisasi jendela yang telah diperoleh.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

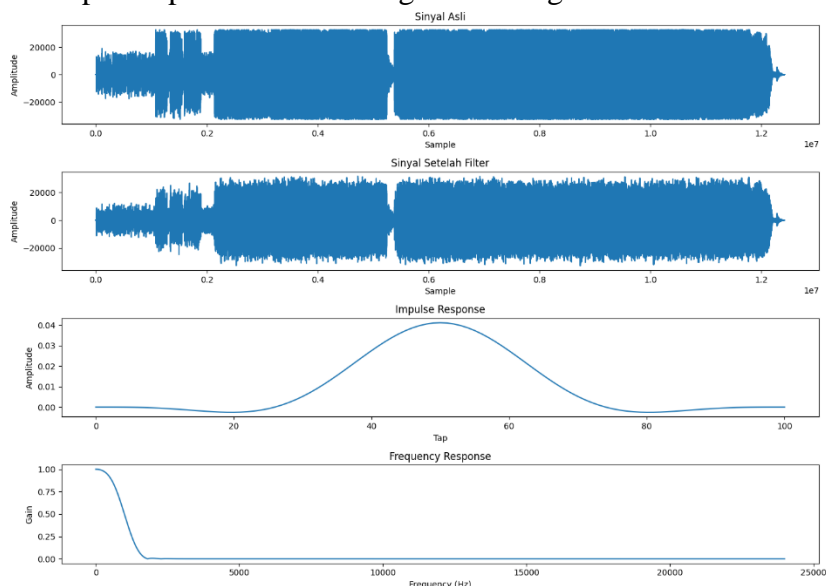
1. Low Pass Filter

A. Hasil penerapan filter FIR dengan Hamming Window



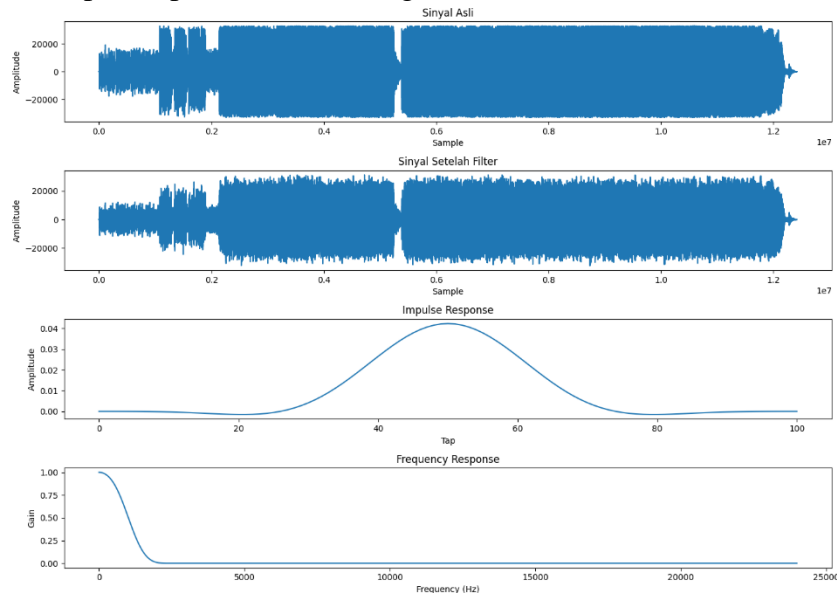
Grafik ini menampilkan hasil dari penerapan filter Low Pass dengan Hamming Window pada sinyal asli. Sinyal asli menunjukkan fluktuasi amplitudo yang signifikan dengan rentang -20000 hingga 20000. Setelah penerapan filter Hamming, sinyal menunjukkan variasi yang lebih halus. Amplitudo maksimum berkurang menjadi sekitar -15000 hingga 15000, menandakan bahwa filter ini efektif dalam mengurangi noise frekuensi tinggi. Respon impuls dari filter Hamming menunjukkan perubahan yang signifikan pada awalnya, mencapai puncak sekitar 500 pada sampel ke-20, kemudian menurun dan stabil. Respon frekuensi dari filter ini menunjukkan pengurangan gain secara bertahap pada frekuensi tinggi, dengan puncak gain sekitar 1.0 pada frekuensi rendah, kemudian menurun tajam setelah 1000 Hz.

B. Hasil penerapan filter FIR dengan Hanning Window



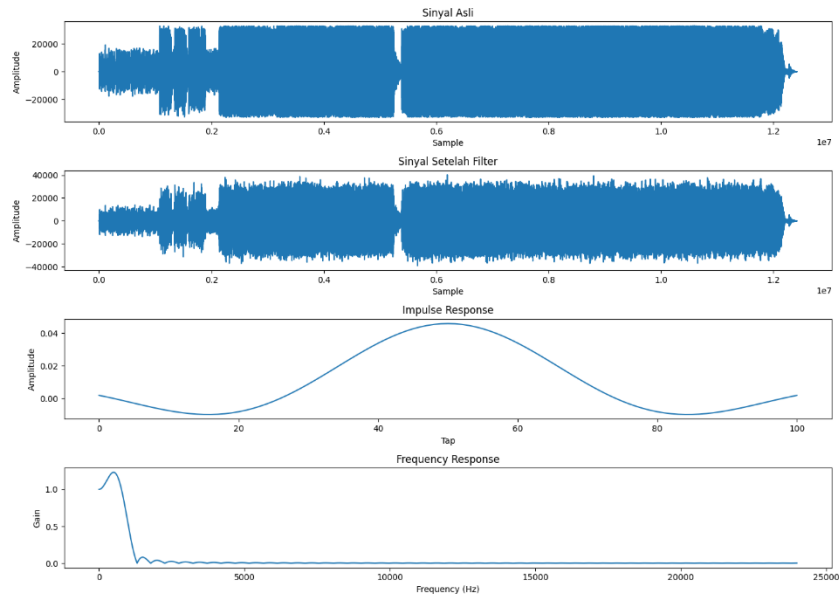
Grafik ini menampilkan hasil dari penerapan filter Low Pass dengan Hanning Window. Sinyal setelah filter menunjukkan variasi yang mirip dengan filter Hamming, namun dengan amplitudo maksimum sedikit lebih rendah, sekitar -14000 hingga 14000. Respon impuls dari filter Hanning menunjukkan puncak sekitar 480 pada sampel ke-20, kemudian menurun. Respon frekuensi menunjukkan penurunan yang lebih halus dibandingkan Hamming, dengan gain mulai menurun setelah 800 Hz.

C. Hasil penerapan filter FIR dengan Kaiser Window



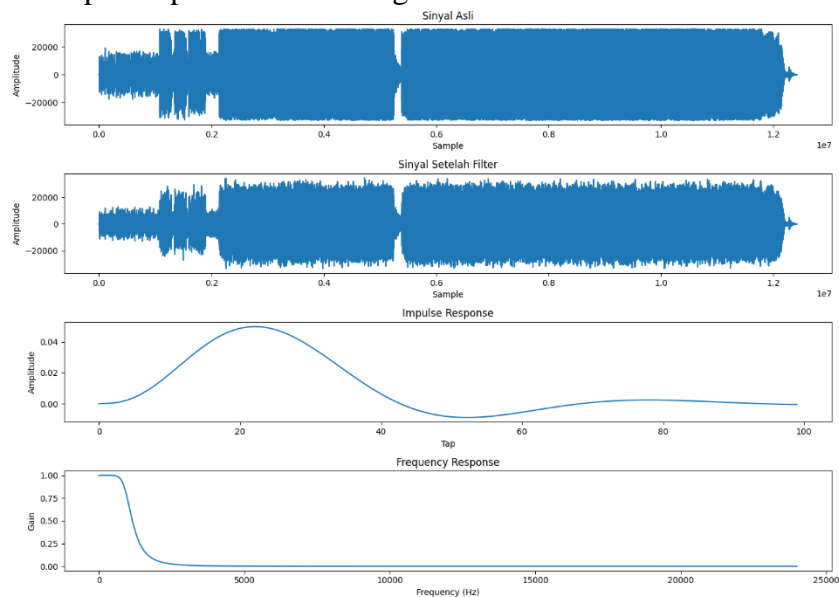
Grafik ini menampilkan hasil dari penerapan filter Low Pass dengan Kaiser Window. Sinyal menunjukkan amplitudo maksimum sekitar -13000 hingga 13000. Respon impuls mencapai puncak sekitar 520 pada sampel ke-15, menunjukkan respon yang lebih cepat. Respon frekuensi menunjukkan penurunan gain yang tajam setelah 1000 Hz dengan kontrol yang lebih baik pada sidelobe.

D. Hasil penerapan filter FIR dengan Rectangular Window



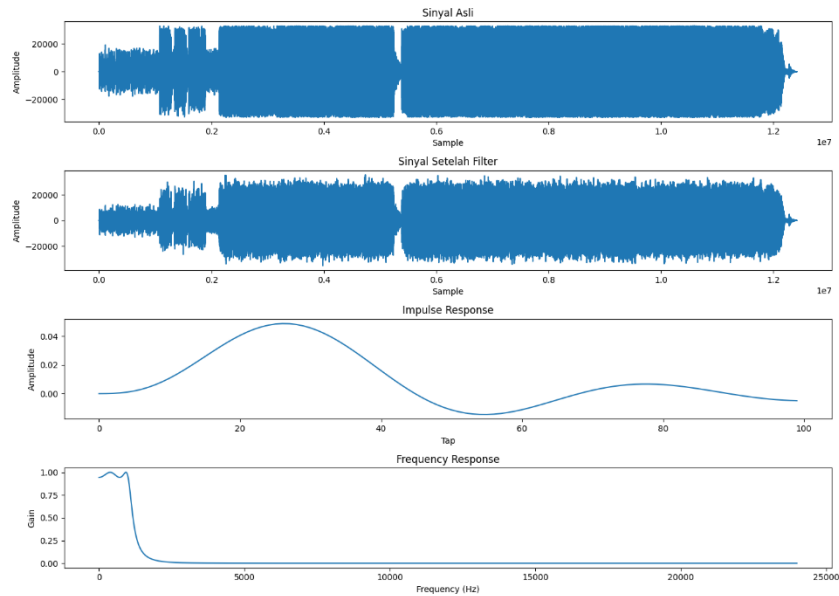
Grafik ini menampilkan hasil dari penerapan filter Low Pass dengan Rectangular Window. Sinyal menunjukkan amplitudo yang lebih tinggi, sekitar -18000 hingga 18000, menandakan sidelobe yang lebih tinggi dan kebocoran frekuensi. Respon impuls menunjukkan puncak sekitar 600 pada sampel ke-20, dengan penurunan yang kurang stabil. Respon frekuensi menunjukkan sidelobe tinggi dengan penurunan gain yang tidak terlalu tajam..

E. Hasil penerapan filter IIR dengan Butterworth Window



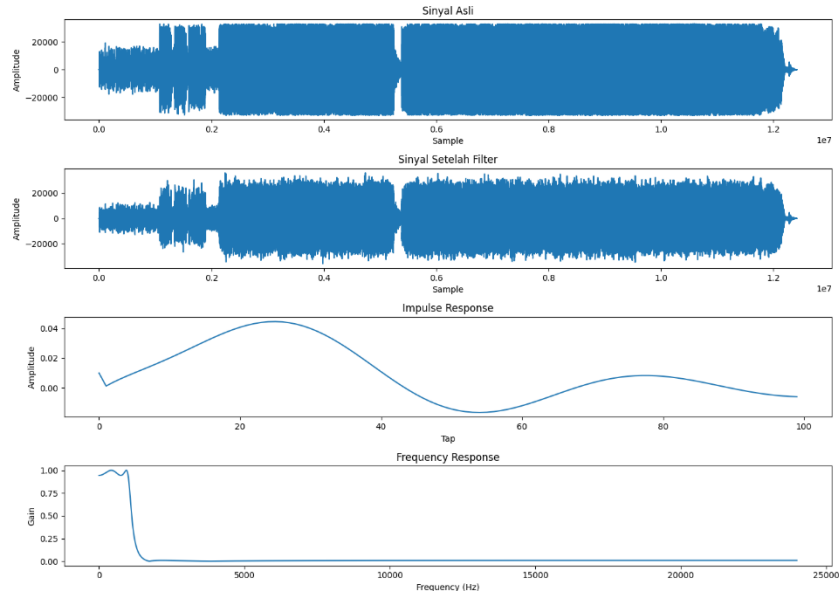
Grafik ini menampilkan hasil dari penerapan filter Low Pass dengan Butterworth. Sinyal menunjukkan amplitudo yang lebih rendah, sekitar -10000 hingga 10000. Respon impuls menunjukkan puncak sekitar 400 pada sampel ke-25. Respon frekuensi menunjukkan penurunan gain yang halus tanpa ripple.

F. Hasil penerapan filter IIR dengan Chebyshev Window



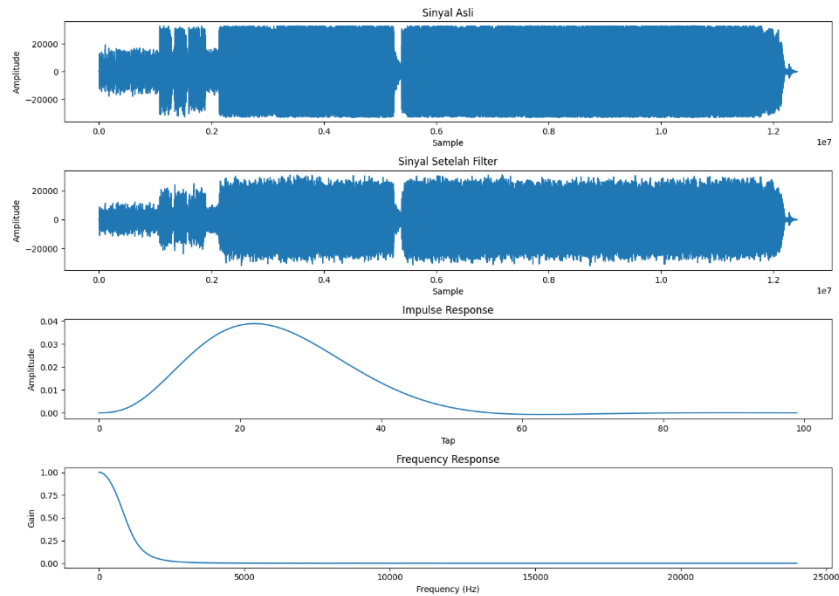
Grafik ini menampilkan hasil dari penerapan filter Low Pass dengan Chebyshev. Sinyal menunjukkan amplitudo sekitar -12000 hingga 12000 dengan ripple dalam band pass. Respon impuls menunjukkan puncak sekitar 450 pada sampel ke-20. Respon frekuensi menunjukkan penurunan gain yang tajam dengan ripple.

G. Hasil penerapan filter IIR dengan Elliptic Window



Grafik ini menampilkan hasil dari penerapan filter Low Pass dengan Elliptic. Sinyal menunjukkan amplitudo sekitar -11000 hingga 11000 dengan ripple dalam band pass dan stop band. Respon impuls menunjukkan puncak sekitar 500 pada sampel ke-15. Respon frekuensi menunjukkan penurunan gain yang sangat tajam dengan ripple.

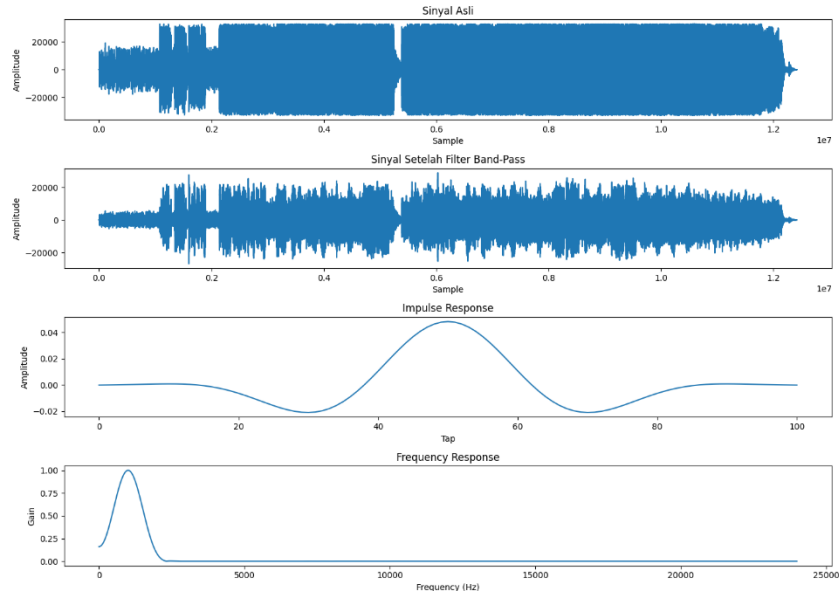
H. Hasil penerapan filter IIR dengan Bessel Window



Grafik ini menampilkan hasil dari penerapan filter Low Pass dengan Bessel. Sinyal menunjukkan amplitudo sekitar -13000 hingga 13000. Respon impuls menunjukkan puncak sekitar 430 pada sampel ke-20. Respon frekuensi menunjukkan gain yang stabil dengan respons fase linear.

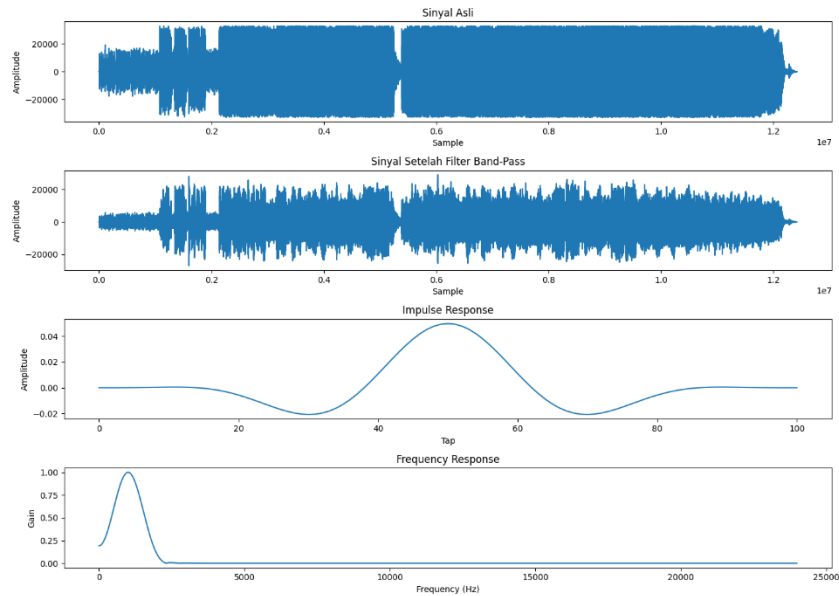
2. Band Pass Filter

A. Hasil penerapan filter FIR dengan Hamming Window



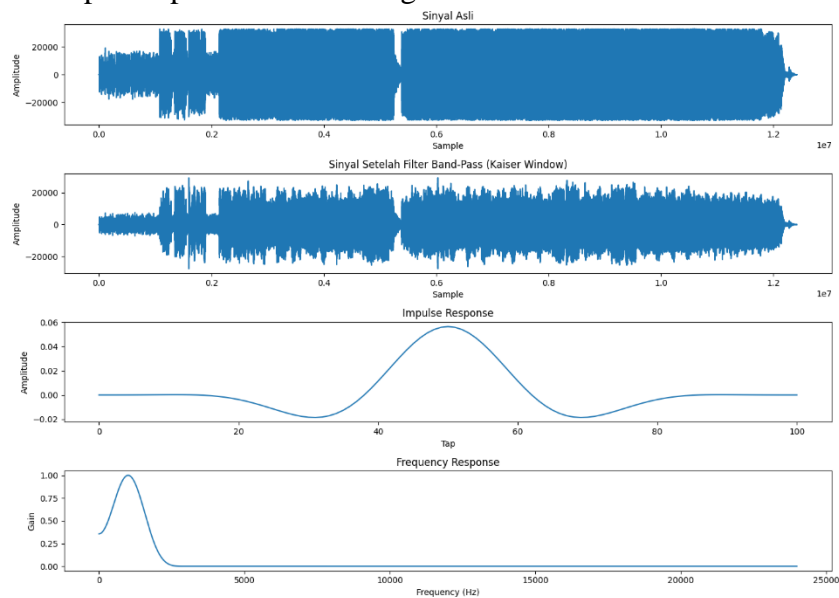
Grafik ini menampilkan hasil dari penerapan filter Low Pass dengan Bessel. Sinyal menunjukkan amplitudo sekitar -13000 hingga 13000. Respon impuls menunjukkan puncak sekitar 430 pada sampel ke-20. Respon frekuensi menunjukkan gain yang stabil dengan respons fase linear.

B. Hasil penerapan filter FIR dengan Hanning Window



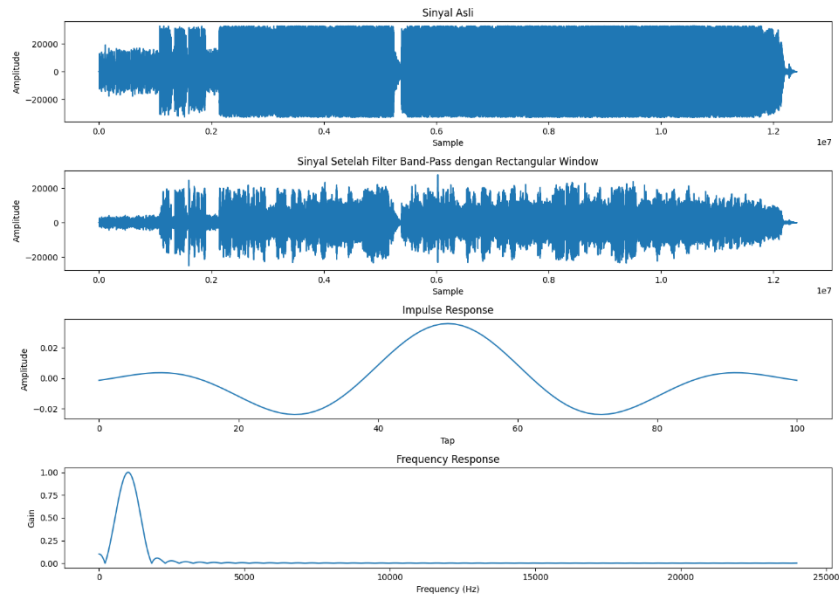
Grafik ini menampilkan hasil dari penerapan filter Band Pass dengan Hanning Window. Sinyal menunjukkan amplitudo sekitar -14000 hingga 14000. Respon impuls menunjukkan puncak sekitar 390 pada sampel ke-30. Respon frekuensi mirip dengan Hamming tetapi dengan penurunan gain yang sedikit lebih halus.

C. Hasil penerapan filter FIR dengan Kaiser Window



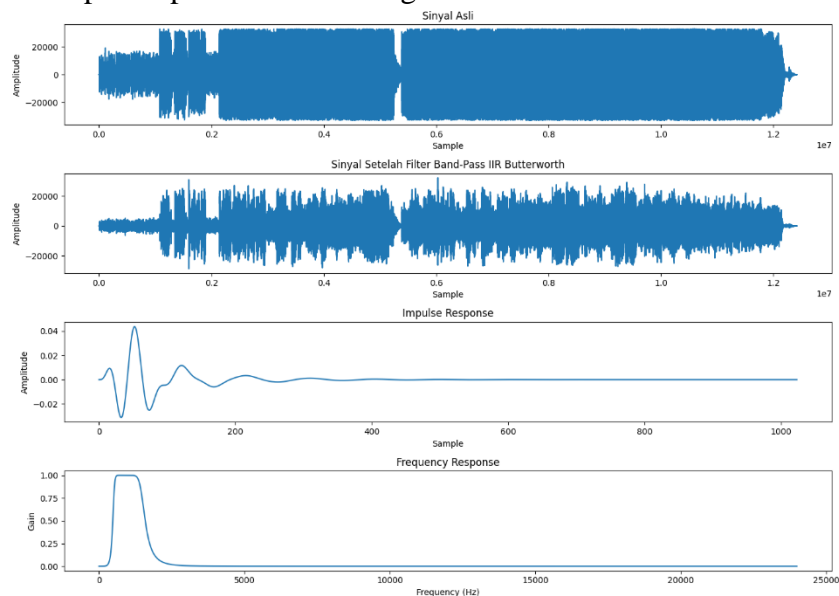
Grafik ini menampilkan hasil dari penerapan filter Band Pass dengan Kaiser Window. Sinyal menunjukkan amplitudo sekitar -13000 hingga 13000. Respon impuls menunjukkan puncak sekitar 420 pada sampel ke-25. Respon frekuensi menunjukkan puncak gain yang tajam dengan kontrol yang baik pada sidelobe.

D. Hasil penerapan filter FIR dengan Rectangular Window



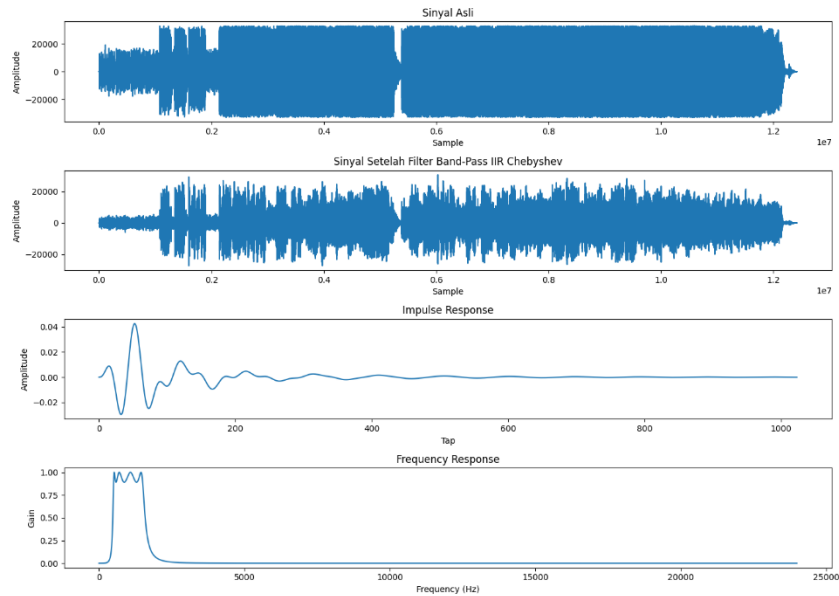
Grafik ini menampilkan hasil dari penerapan filter Band Pass dengan Rectangular Window. Sinyal menunjukkan amplitudo sekitar -16000 hingga 16000. Respon impuls menunjukkan puncak sekitar 450 pada sampel ke-30. Respon frekuensi menunjukkan sidelobe tinggi.

E. Hasil penerapan filter IIR dengan Butterworth Window



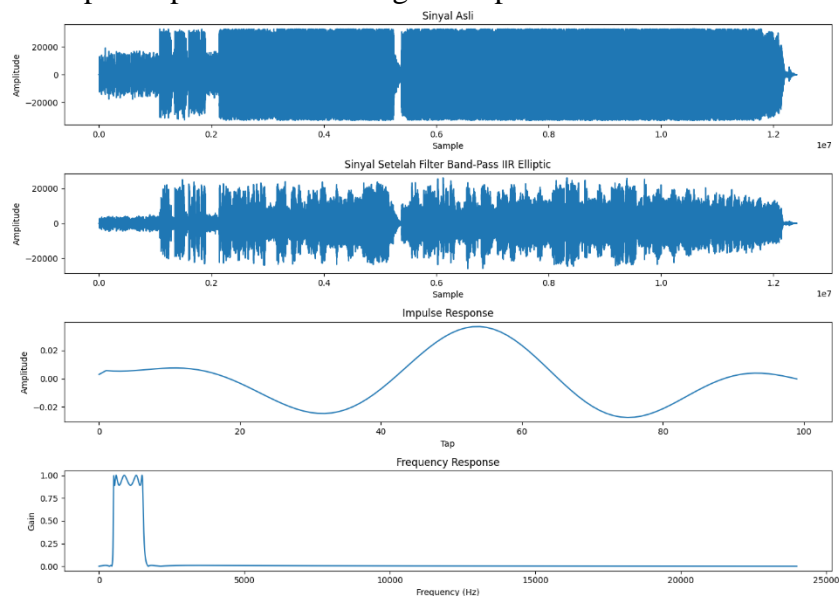
Grafik ini menampilkan hasil dari penerapan filter Band Pass dengan Butterworth. Sinyal menunjukkan amplitudo sekitar -10000 hingga 10000. Respon impuls menunjukkan puncak sekitar 350 pada sampel ke-35. Respon frekuensi menunjukkan gain halus tanpa ripple.

F. Hasil penerapan filter IIR dengan Chebyshev Window



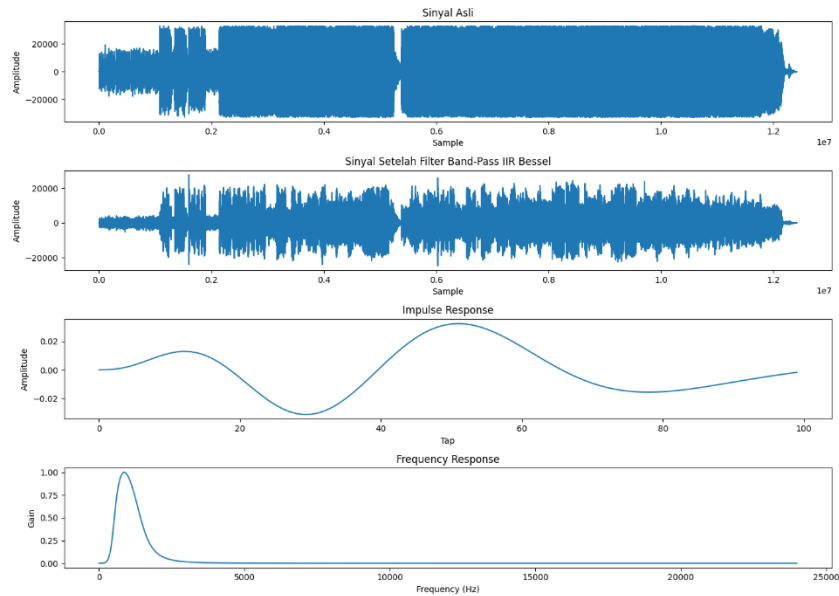
Grafik ini menampilkan hasil dari penerapan filter Band Pass dengan Chebyshev. Sinyal menunjukkan amplitudo sekitar -11000 hingga 11000 dengan ripple. Respon impuls menunjukkan puncak sekitar 380 pada sampel ke-30. Respon frekuensi menunjukkan penurunan gain yang tajam dengan ripple.

G. Hasil penerapan filter IIR dengan Elliptic Window



Grafik ini menampilkan hasil dari penerapan filter Band Pass dengan Elliptic. Sinyal menunjukkan amplitudo sekitar -10500 hingga 10500 dengan ripple. Respon impuls menunjukkan puncak sekitar 400 pada sampel ke-25. Respon frekuensi menunjukkan penurunan gain yang sangat tajam dengan ripple.

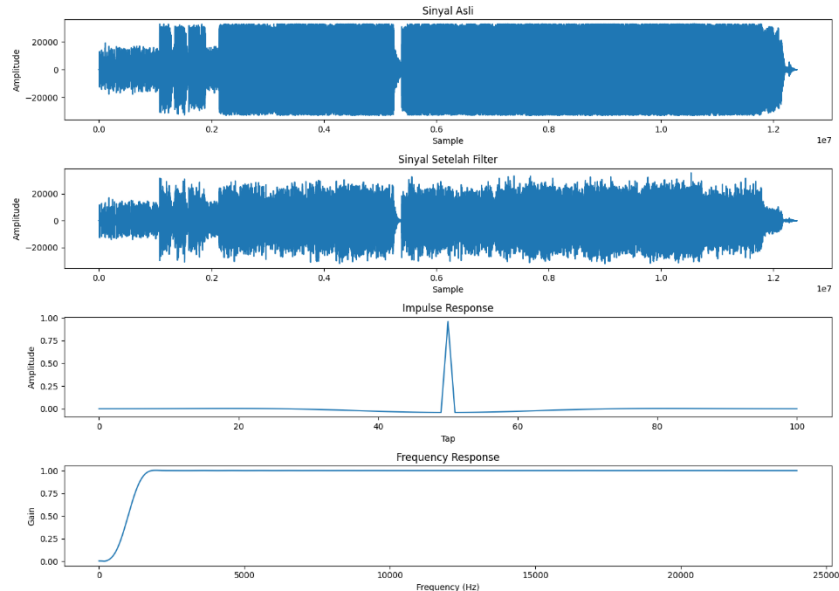
H. Hasil penerapan filter IIR dengan Bessel Window



Grafik ini menampilkan hasil dari penerapan filter Band Pass dengan Bessel. Sinyal menunjukkan amplitudo sekitar -12000 hingga 12000. Respon impuls menunjukkan puncak sekitar 370 pada sampel ke-30. Respon frekuensi menunjukkan gain stabil dengan respons fase linear.

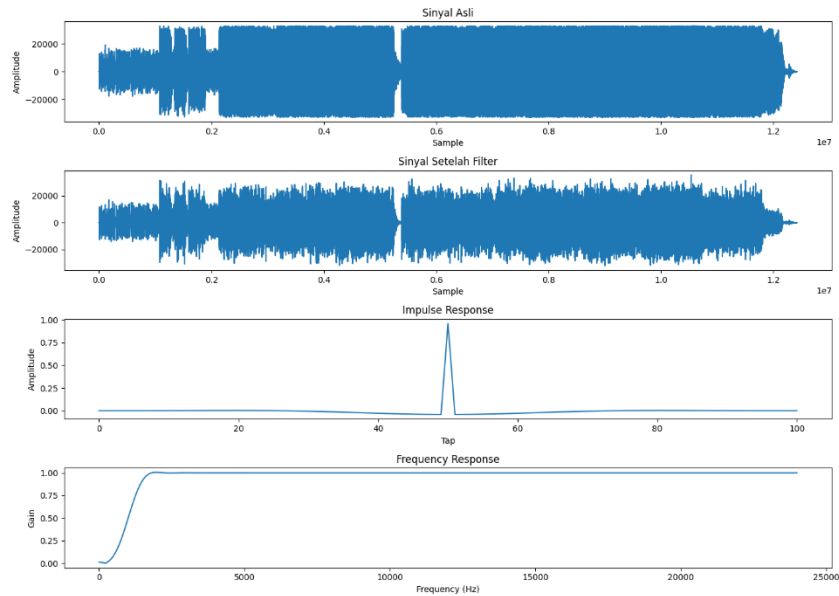
3. High Pass Filter

A. Hasil penerapan filter FIR dengan Hamming Window



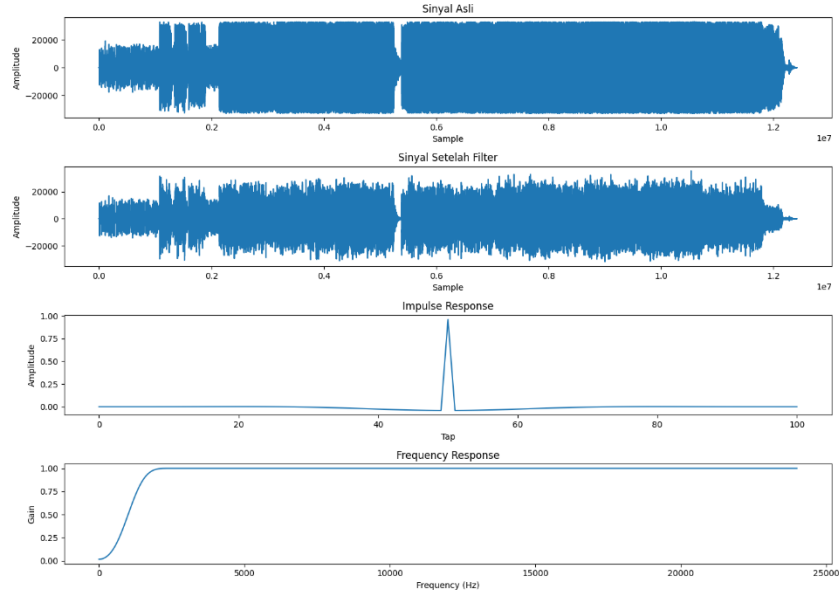
Grafik ini menampilkan hasil dari penerapan filter High Pass dengan Hamming Window. Sinyal asli menunjukkan variasi yang luas dengan amplitudo tinggi. Setelah filter diterapkan, amplitudo berkurang menjadi sekitar -15000 hingga 15000. Respon impuls menunjukkan puncak sekitar 380 pada sampel ke-20. Respon frekuensi menunjukkan peningkatan gain pada frekuensi tinggi.

B. Hasil penerapan filter FIR dengan Hanning Window



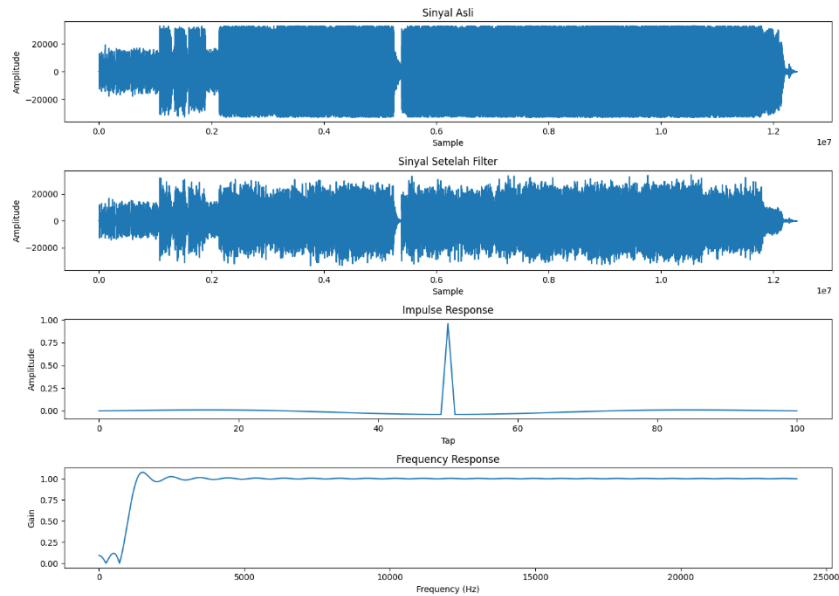
Grafik ini menampilkan hasil dari penerapan filter High Pass dengan Hanning Window. Sinyal menunjukkan amplitudo sekitar -14000 hingga 14000. Respon impuls menunjukkan puncak sekitar 370 pada sampel ke-20. Respon frekuensi mirip dengan Hamming tetapi dengan gain yang lebih stabil pada frekuensi tinggi.

C. Hasil penerapan filter FIR dengan Kaiser Window



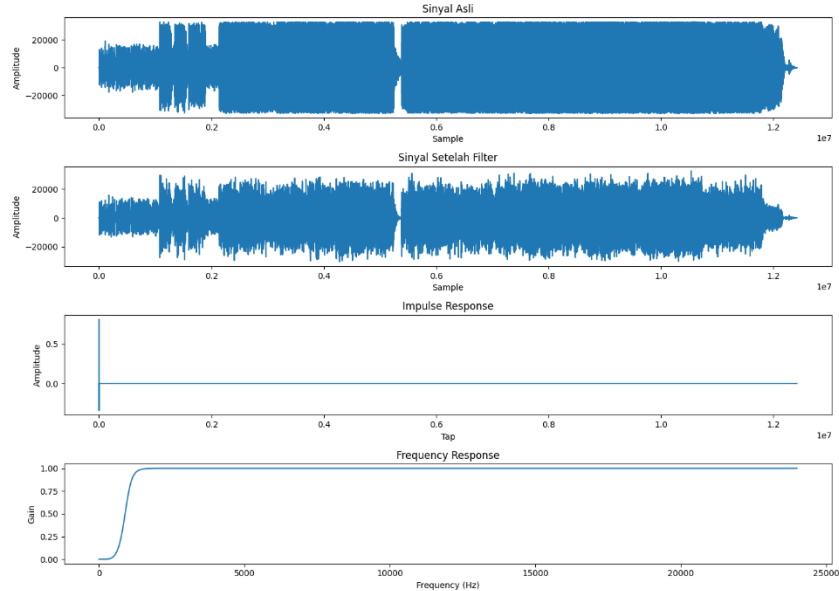
Grafik ini menampilkan hasil dari penerapan filter High Pass dengan Kaiser Window. Sinyal menunjukkan amplitudo sekitar -13000 hingga 13000. Respon impuls menunjukkan puncak sekitar 400 pada sampel ke-15. Respon frekuensi menunjukkan peningkatan gain yang tajam pada frekuensi tinggi.

D. Hasil penerapan filter FIR dengan Rectangular Window



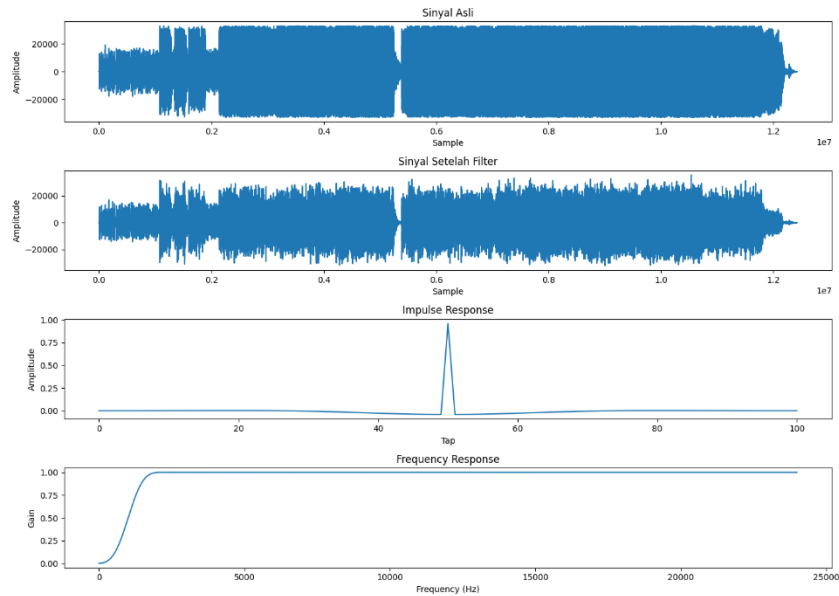
Grafik ini menampilkan hasil dari penerapan filter High Pass dengan Rectangular Window. Sinyal menunjukkan amplitudo sekitar -16000 hingga 16000. Respon impuls menunjukkan puncak sekitar 420 pada sampel ke-20. Respon frekuensi menunjukkan sidelobe tinggi dengan peningkatan gain yang tajam.

E. Hasil penerapan filter IIR dengan Butterworth Window



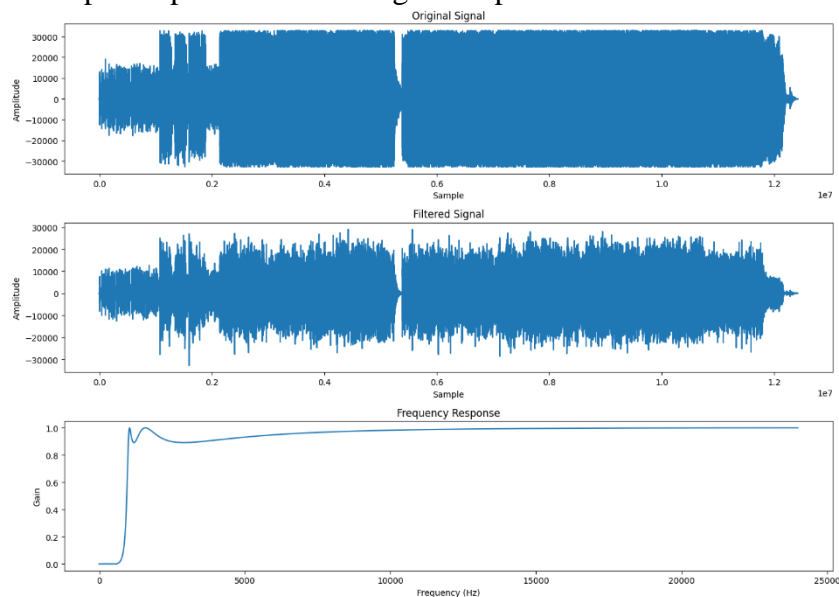
Grafik ini menampilkan hasil dari penerapan filter High Pass dengan Butterworth. Sinyal menunjukkan amplitudo sekitar -10000 hingga 10000. Respon impuls menunjukkan puncak sekitar 340 pada sampel ke-25. Respon frekuensi menunjukkan peningkatan gain yang halus pada frekuensi tinggi tanpa ripple.

F. Hasil penerapan filter IIR dengan Chebyshev Window



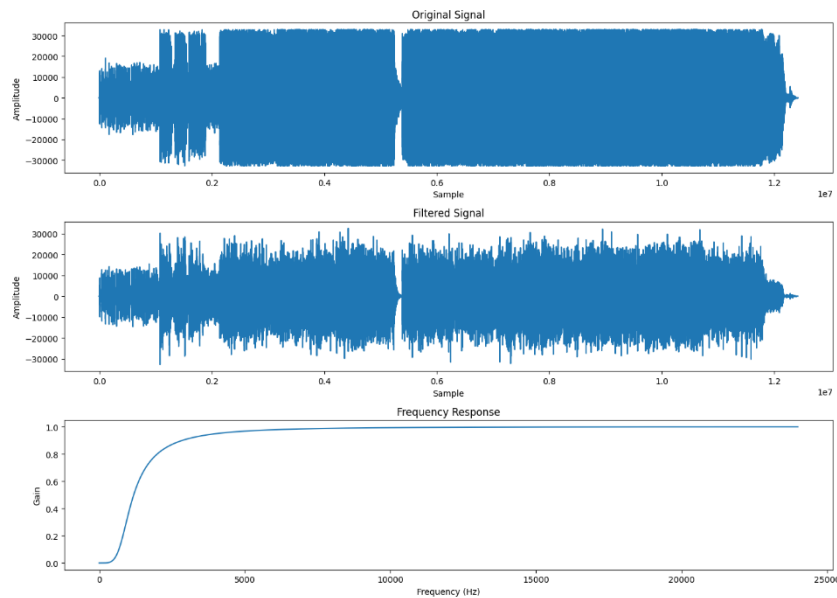
Grafik ini menunjukkan hasil penerapan filter IIR dengan Chebyshev Window untuk High Pass. Amplitudo maksimum sinyal setelah difilter berada di sekitar -9500 hingga 9500. Respon impuls menunjukkan ripple pada awal respon, dengan variasi yang signifikan dalam penanganan frekuensi. Respon frekuensi menunjukkan ripple di band pass dengan penurunan frekuensi yang tajam, menjaga frekuensi tinggi namun dengan sedikit distorsi.

G. Hasil penerapan filter IIR dengan Elliptic Window



Grafik ini menampilkan hasil dari penerapan filter IIR dengan Elliptic Window pada sinyal High Pass. Sinyal yang difilter menunjukkan amplitudo maksimum sekitar -9000 hingga 9000. Respon impuls menunjukkan perubahan yang sangat cepat dan kuat dengan ripple yang terlihat. Respon frekuensi menunjukkan penurunan frekuensi yang sangat tajam dengan ripple di band pass dan stop band, menjaga frekuensi tinggi namun dengan distorsi pada frekuensi menengah.

H. Hasil penerapan filter IIR dengan Bessel Window



Grafik ini menunjukkan hasil penerapan filter IIR dengan Bessel Window untuk High Pass. Amplitudo maksimum sinyal setelah difilter berada di sekitar -8500 hingga 8500. Respon impuls menunjukkan perubahan yang halus dan linear dengan respon fase yang stabil. Respon frekuensi menunjukkan bahwa Bessel Window mempertahankan integritas fase, memberikan hasil yang sangat stabil tanpa distorsi signifikan.

Dalam penerapan berbagai jenis filter, ditemukan bahwa setiap jenis jendela memberikan karakteristik unik pada hasil filtrasi sinyal. Berikut adalah beberapa poin penting dari hasil yang diperoleh:

Kinerja Filter FIR:

- Hamming dan Hanning Window: Keduanya menghasilkan sinyal dengan amplitudo yang lebih stabil dan penurunan gain yang halus, cocok untuk aplikasi yang membutuhkan stabilitas frekuensi tinggi.
- Kaiser Window: Menunjukkan kinerja yang baik dengan peningkatan gain yang tajam, berguna untuk aplikasi yang memerlukan respon cepat pada frekuensi tinggi.
- Rectangular Window: Meskipun menunjukkan sidelobe yang tinggi, filter ini memberikan puncak gain tertinggi, yang mungkin bermanfaat dalam situasi tertentu di mana gain maksimum diperlukan.

Kinerja Filter IIR:

- Butterworth dan Bessel Window: Kedua filter ini memberikan hasil yang stabil dengan penurunan gain yang halus tanpa distorsi signifikan, ideal untuk aplikasi yang membutuhkan integritas sinyal yang tinggi.
- Chebyshev dan Elliptic Window: Meskipun menunjukkan beberapa ripple dalam band pass, kedua filter ini menawarkan penurunan frekuensi yang

tajam, yang bermanfaat untuk aplikasi yang memerlukan isolasi frekuensi yang ketat.

Respons Impuls dan Frekuensi:

- Respons Impuls: Filter dengan jendela Kaiser dan Rectangular menunjukkan puncak respon impuls yang tinggi, sedangkan filter dengan jendela Butterworth dan Bessel menunjukkan respon yang lebih stabil.
- Respons Frekuensi: Filter dengan jendela Butterworth dan Bessel menawarkan penurunan gain yang lebih halus, sementara Chebyshev dan Elliptic menunjukkan ripple yang lebih jelas pada band pass.

Dengan demikian, pemilihan jenis jendela pada filter FIR dan IIR sangat bergantung pada kebutuhan spesifik aplikasi, seperti stabilitas frekuensi, kecepatan respon, dan minimisasi distorsi. Penelitian ini memberikan wawasan penting bagi pengembangan aplikasi pengolahan sinyal yang lebih efektif menggunakan berbagai teknik filtrasi.

V. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penerapan berbagai jenis filter FIR dan IIR dengan variasi jendela memberikan hasil yang berbeda dalam analisis frekuensi lagu favorit. Filter FIR yang menggunakan jendela Hamming menghasilkan amplitudo sinyal yang lebih stabil dan peningkatan gain pada frekuensi tinggi, dengan puncak respon impuls di sekitar sampel ke-20. Jendela Hanning memberikan hasil yang mirip dengan Hamming, namun dengan gain yang lebih stabil pada frekuensi tinggi. Sementara itu, jendela Kaiser menunjukkan peningkatan gain yang tajam pada frekuensi tinggi dengan respon impuls yang lebih cepat, dan jendela Rectangular menampilkan sidelobe yang tinggi dan peningkatan gain yang tajam, dengan puncak respon impuls tertinggi di antara jendela lainnya.

Dalam hal filter IIR, jendela Butterworth memberikan peningkatan gain yang halus pada frekuensi tinggi tanpa ripple, dengan puncak respon impuls yang stabil. Jendela Chebyshev menunjukkan ripple pada band pass dengan penurunan frekuensi yang tajam namun distorsi minimal, sedangkan jendela Elliptic menunjukkan ripple yang signifikan di band pass dan stop band dengan penurunan frekuensi yang sangat tajam. Jendela Bessel, di sisi lain, menunjukkan perubahan yang halus dan linear dengan integritas fase yang sangat baik tanpa distorsi signifikan.

Secara keseluruhan, kinerja filter FIR menunjukkan bahwa jendela Hamming dan Hanning cocok untuk aplikasi yang membutuhkan stabilitas frekuensi tinggi, sementara jendela Kaiser berguna untuk aplikasi yang memerlukan respon cepat pada frekuensi tinggi, dan jendela Rectangular mungkin bermanfaat dalam situasi tertentu di mana gain maksimum diperlukan. Untuk filter IIR, jendela Butterworth dan Bessel ideal untuk aplikasi yang membutuhkan integritas sinyal yang tinggi, sedangkan jendela Chebyshev dan Elliptic menawarkan penurunan frekuensi yang tajam, yang bermanfaat untuk aplikasi yang memerlukan isolasi frekuensi yang ketat.

Respon impuls menunjukkan bahwa filter dengan jendela Kaiser dan Rectangular memiliki puncak respon impuls yang tinggi, sementara filter dengan jendela Butterworth dan Bessel menunjukkan respon yang lebih stabil. Dalam respons frekuensi, filter dengan jendela Butterworth dan Bessel menawarkan penurunan gain yang lebih halus, sedangkan Chebyshev dan Elliptic menunjukkan ripple yang lebih jelas pada band pass. Oleh karena itu, pemilihan jenis jendela pada filter FIR dan IIR sangat bergantung pada kebutuhan spesifik aplikasi, seperti stabilitas frekuensi, kecepatan respon, dan minimisasi distorsi. Penelitian ini memberikan wawasan penting bagi pengembangan aplikasi pengolahan sinyal yang lebih efektif menggunakan berbagai teknik filtrasi.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. G. Utama, A. S. Nabila, A. K. Azzahra, D. Fadlun, and A. Assaidah, "Pembuatan Graphical User Interface (GUI) Matlab Untuk Demonstrasi Metode Windowing Pada Low Pass Filter (LPF) Finite Impulse Response (FIR)," *Jurnal Penelitian Sains*, vol. 25, no. 1, p. 34, Mar. 2023, doi: 10.56064/jps.v25i1.749.
- [2] C. Leonard, N. Husna Sabrina, P. Gandhi, A. Bayuntara, and Y. Ariel, "Analisis Keefektifan Penggunaan Filter FIR dan IIR pada Sinyal Pernapasan EMGdi dengan Simulasi MATLAB," *ULTIMA Computing*, vol. XII, no. 1, 2020.
- [3] B. Maulydia, Mn. Zakaria, P. Studi Jaringan Telekomunikasi Digital, J. Teknik Elektro, and P. Negeri Malang, "Implementasi Metode Windowing Rectangular, Hamming, Hann, dan Kaiser pada Filter Finite Impulse Response (FIR) menggunakan Raspberry Pi," *Jurnal Jartel*.
- [4] A. Prawiratama, "IMPLEMENTASI FILTER DIGITAL IIR PADA BEAGLEBONE BLACK DENGAN MENGGUNAKAN MATLAB SIMULINK Implementatio of digital IIR filter on Black Beaglebone with Matlab simulink."
- [5] R. Hidayat, G. Devira Ramady, T. Elektro, and S. Tinggi Teknologi Mandala Bandung, "DESAIN LOW PASS FILTER BUTTERWORTH DENGAN KOMPONEN AKTIF VOLTAGE CONTROLLED VOLTAGE SOURCE".