



LAPORAN PROYEK AKHIR

ANALISIS FREKUENSI LAGU “BRING YOUR OWN BOMB” MENGUNAKAN PYTHON DAN FILTER FIR SERTA IIR DENGAN VARIASI JENDELA

Laporan ini disusun untuk memenuhi tugas proyek akhir mata kuliah Pengolahan Sinyal Digital yang diampu oleh Bapak Bagaskoro Saputro, S.Si., M.Cs. dan Vera Noviana Sulistyawan, S.T., M.T.

Disusun Oleh:

- | | |
|--------------------------|--------------|
| 1. Fidel Lusiana Putri | (5312422004) |
| 2. Galang Putra Prasetya | (5312422009) |

PROGRAM STUDI TEKNIK KOMPUTER

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2023

DAFTAR ISI

COVER.....	1
DAFTAR ISI.....	2
PENDAHULUAN.....	3
DASAR TEORI.....	4
1. Filter Digital FIR.....	4
2. Filter Digital IIR.....	4
3. Filter.....	4
4. Noise.....	5
5. Python.....	5
METODE PENELITIAN.....	5
1. Pengolahan Data.....	5
2. Analisis Data.....	5
3. Eksperimen dan Simulasi.....	5
HASIL DAN ANALISIS.....	6
A. LPF (Low Pass Filter).....	6
B. BPF (Band Pass Filter).....	14
C. HPF (High Pass Filter).....	22
KESIMPULAN.....	30
DAFTAR PUSTAKA.....	31

PENDAHULUAN

Dalam era digital ini, teknologi memainkan peran yang sangat penting dalam berbagai aspek kehidupan, termasuk dalam bidang musik[1][2][3]. Analisis frekuensi lagu menjadi salah satu aplikasi menarik yang dapat memberikan pemahaman lebih mendalam mengenai struktur dan komposisi musik. Analisis ini dapat digunakan untuk berbagai tujuan, mulai dari identifikasi genre musik hingga pengembangan algoritma kompresi audio yang lebih efisien[4]. Perkembangan teknologi audio telah membawa perubahan signifikan pada setiap perangkat elektronik yang mengandalkan sinyal untuk proses transmisi dan penerimaan data. Sinyal audio menjadi sangat penting dalam berbagai konteks seperti komunikasi, rekaman musik, penciptaan efek suara, dan berbagai aplikasi lainnya. Pemanfaatan sinyal audio menggambarkan betapa luasnya peran teknologi dalam kehidupan saat ini.

Salah satu contoh perkembangan audio adalah penggunaan filter digital untuk mengolah suara[4][5][6]. Filter digital digunakan untuk mengurangi *noise*, menghilangkan frekuensi yang tidak diinginkan, dan meningkatkan kualitas suara. Filter digital merupakan alat penting dalam pemrosesan sinyal, yang digunakan untuk memodifikasi atau memanipulasi sinyal dengan cara tertentu[4][5][6]. Filter *Finite Impulse Response* (FIR) dan *Infinite Impulse Response* (IIR) adalah dua jenis filter yang umum digunakan. FIR memiliki respon impuls yang terbatas dan stabil, sementara IIR memiliki respon impuls yang tidak terbatas dan dapat menjadi lebih efisien dalam beberapa aplikasi tertentu. Kedua jenis filter ini dapat dirancang dengan berbagai variasi jendela, seperti *Hamming*, *Hanning*, *Blackman*, dan lainnya, yang masing-masing memiliki karakteristik tersendiri dalam hal performa filter[4][7][8][9][10]. Dengan filterisasi tersebut akan mengoptimalkan proses penelitian dalam audio menjadi lebih baik.

Informasi audio memiliki peran yang signifikan dalam peningkatan konten digital yang tersedia saat ini, sehingga menimbulkan kebutuhan akan metode yang dapat secara otomatis menganalisis konten tersebut. Dalam konteks ini, Python menjadi alat yang sangat berguna karena menyediakan berbagai pustaka dan framework yang dapat digunakan untuk analisis audio secara efisien. Pustaka seperti *numpy*, *scipy*, dan *matplotlib* memungkinkan pengguna untuk melakukan berbagai jenis analisis, mulai dari ekstraksi fitur hingga visualisasi spektrum frekuensi. Dengan kemampuannya yang kuat dalam pemrosesan data, Python memungkinkan pengembangan aplikasi yang kompleks dan interaktif untuk analisis audio, yang dapat digunakan dalam berbagai bidang seperti pengenalan suara, klasifikasi genre musik, dan analisis kualitas audio[4].

Proyek ini bertujuan untuk menganalisis frekuensi dari lagu “Bring Your Own Bomb milik System of a Down” menggunakan Python, serta mengeksplorasi perbedaan antara filter FIR dan IIR dengan setidaknya delapan variasi jendela untuk filter Low Pass, Band Pass, dan High Pass. Penelitian ini akan memberikan pemahaman lebih mendalam mengenai bagaimana berbagai jendela mempengaruhi kinerja filter, baik secara visual maupun audial.

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya akan memberikan wawasan tentang teknik analisis frekuensi dan desain filter digital, tetapi juga akan menyoroti kekuatan Python sebagai alat untuk penelitian dan pengembangan dalam bidang pemrosesan sinyal audio.

DASAR TEORI

Beragam studi yang relevan dan berkaitan dengan topik yang dibahas membantu memberikan wawasan dan perspektif yang lebih mendalam tentang konteks dan elemen-elemen kunci yang menjadi fokus diskusi.

1. Filter Digital FIR

Filter FIR memiliki karakteristik linear phase response, stabil, serta mudah diimplementasikan ke dalam perangkat keras. Filter FIR dapat didesain menggunakan metode windowing, yang melibatkan penggunaan fungsi window untuk menghitung koefisien filter. Fungsi window yang umum digunakan adalah *Hamming*, *Hanning*, dan *Blackman*[11].

Filter FIR juga sering disebut sebagai filter non-rekursif, sedangkan filter IIR dikenal sebagai filter rekursif. Pembagian ini didasarkan pada metode implementasi filter, yaitu rekursif dan konvolusi (non-rekursif). Jika dibandingkan dengan filter IIR, filter FIR memiliki beberapa kelebihan, antara lain[10]:

1. Dapat dirancang dengan mudah untuk memiliki fase yang linear.
2. Memiliki stabilitas yang baik.
3. Mudah diimplementasikan.

Namun, selain kelebihan, filter FIR juga memiliki beberapa kelemahan. Berdasarkan teori, filter FIR memerlukan lebih banyak perhitungan untuk mencapai karakteristik respon filter yang diinginkan, yang berarti membutuhkan lebih banyak memori jika filter tersebut diaplikasikan pada perangkat keras (*Digital Signal Processor*).

2. Filter Digital IIR

Filter Infinite Impulse Response (IIR) disebut memiliki respon impuls tak terbatas (*infinite*) karena adanya *feedback* di dalam filter. Salah satu keunggulan filter IIR adalah membutuhkan sedikit koefisien untuk menghasilkan respon frekuensi yang curam, sehingga dapat mengurangi waktu perhitungan[9][4]. Filter IIR memiliki karakteristik non-linear dan cenderung tidak stabil karena memerlukan informasi dari respon impuls sebelumnya. Selain itu, filter IIR lebih kompleks dalam mengonversi persamaan respon menjadi rangkaian. Oleh karena itu, filter IIR lebih sering digunakan dalam filter digital atau dalam pemrograman filter[11][4].

3. Filter

Filter adalah sebuah sistem atau jaringan yang secara selektif mengubah karakteristik (bentuk gelombang frekuensi, fase, dan amplitudo) dari sebuah sinyal. Berdasarkan frekuensi yang dilewatkan, filter secara umum terbagi menjadi[5][8]:

1. Low Pass Filter (LPF): Filter ini melewatkan sinyal frekuensi rendah dan menghambat atau memblokir sinyal frekuensi tinggi.
2. Band Pass Filter (BPF): Filter ini melewatkan sinyal frekuensi dalam rentang tertentu, yaitu melewatkan sinyal yang berada di antara frekuensi batas bawah dan frekuensi batas atasnya.
3. High Pass Filter (HPF): Filter ini melewatkan sinyal frekuensi tinggi dan menghambat atau memblokir sinyal frekuensi rendah.

4. Noise

Noise (derau) adalah sinyal yang tidak diinginkan dalam sistem telekomunikasi karena dapat mengganggu sinyal asli dan keberadaannya bersifat acak. Jumlah noise tidak bisa ditentukan secara pasti, hanya dapat diestimasi melalui probabilitas atau kisaran nilai tertentu. Gangguan yang disebabkan oleh noise dapat mengubah sinyal informasi, menyebabkan gelombang sinus memiliki sinyal derau kecil yang tercampur di dalamnya. Akibatnya, penerima sulit membedakan sinyal informasi asli dari noise yang ditambahkan[8].

5. Python

Python adalah bahasa pemrograman interpretatif yang serbaguna. Berbeda dengan bahasa lain yang sulit dibaca dan dipahami, Python menekankan keterbacaan kode agar lebih mudah dipahami sintaksnya. Ada cara sederhana yang bisa digunakan untuk membuat skrip sebelum belajar bahasa pemrograman Python, sehingga pemahaman dan penguasaan dapat dicapai dengan cepat tanpa menghabiskan banyak waktu[8].

METODE PENELITIAN

1. Pengolahan Data

Pengolahan data dimulai dengan konversi data audio menjadi bentuk representasi spektrum frekuensi menggunakan Fast Transformasi Fourier (FFT). Dengan FFT, spektrum frekuensi dari lagu dapat diidentifikasi dan divisualisasikan. Setelah itu, akan diterapkan filter FIR dan IIR pada data frekuensi tersebut. Dalam penelitian ini, akan digunakan setidaknya delapan variasi jendela untuk masing-masing jenis filter, termasuk jendela *Hamming*, *Hanning*, *Blackman*, *Kaiser*, dan lainnya. Pustaka `scipy.signal` akan digunakan untuk implementasi filter ini.

2. Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan membandingkan hasil dari berbagai variasi jendela pada filter FIR dan IIR. Kinerja masing-masing variasi jendela dievaluasi berdasarkan respon frekuensi, grafik magnitude, dan kualitas suara yang dihasilkan setelah penerapan filter. Analisis visual dilakukan dengan menggambarkan spektrum frekuensi sebelum dan sesudah filtrasi, sedangkan analisis auditori dilakukan dengan mendengarkan hasil filterasi untuk mengevaluasi perbedaan yang terjadi pada kualitas suara.

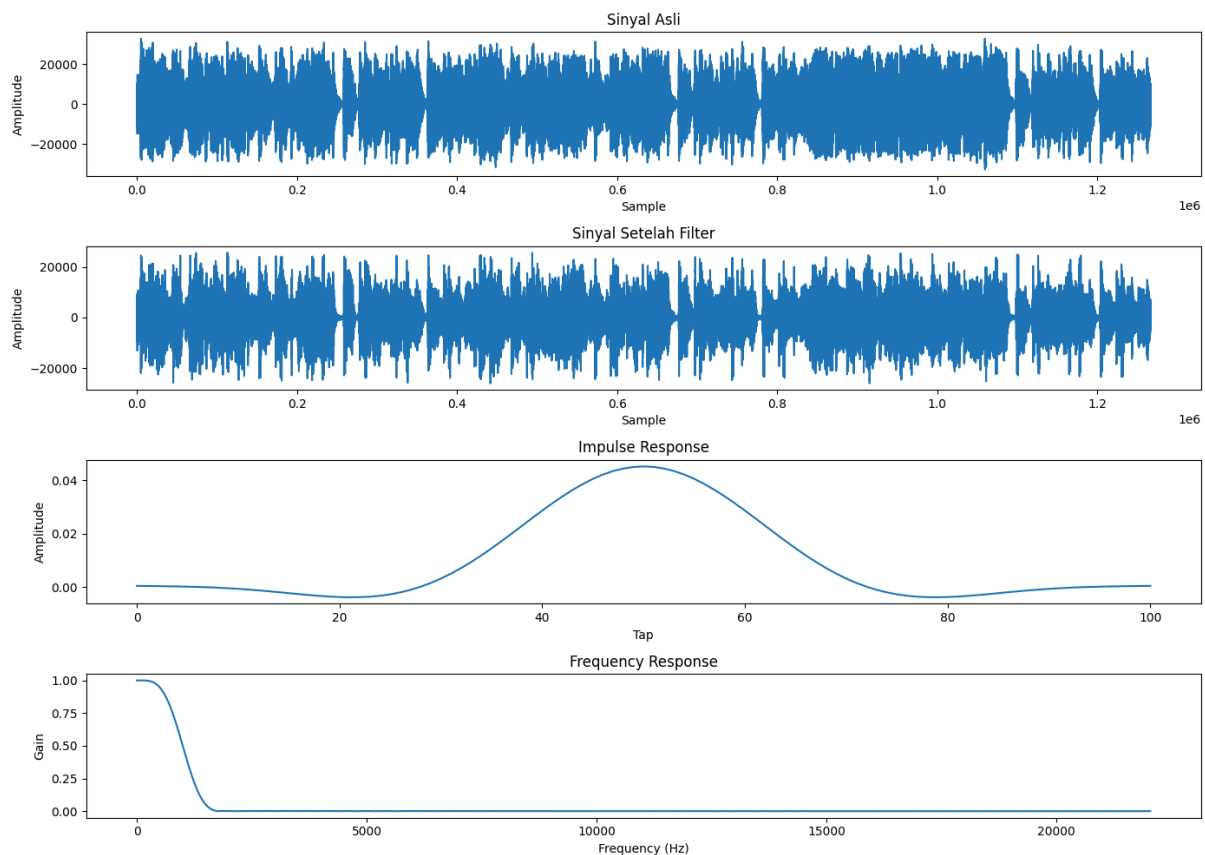
3. Eksperimen dan Simulasi

Eksperimen dilakukan dengan menerapkan setiap variasi jendela pada filter FIR dan IIR dan mencatat perubahan yang terjadi pada spektrum frekuensi. Simulasi dan visualisasi hasil dilakukan menggunakan pustaka `matplotlib` untuk menampilkan grafik magnitude respon dan spektrum frekuensi. Selain itu, analisis numerik juga dilakukan untuk mengevaluasi efisiensi komputasi dari masing-masing variasi jendela.

HASIL DAN ANALISIS

A. LPF (*Low Pass Filter*)

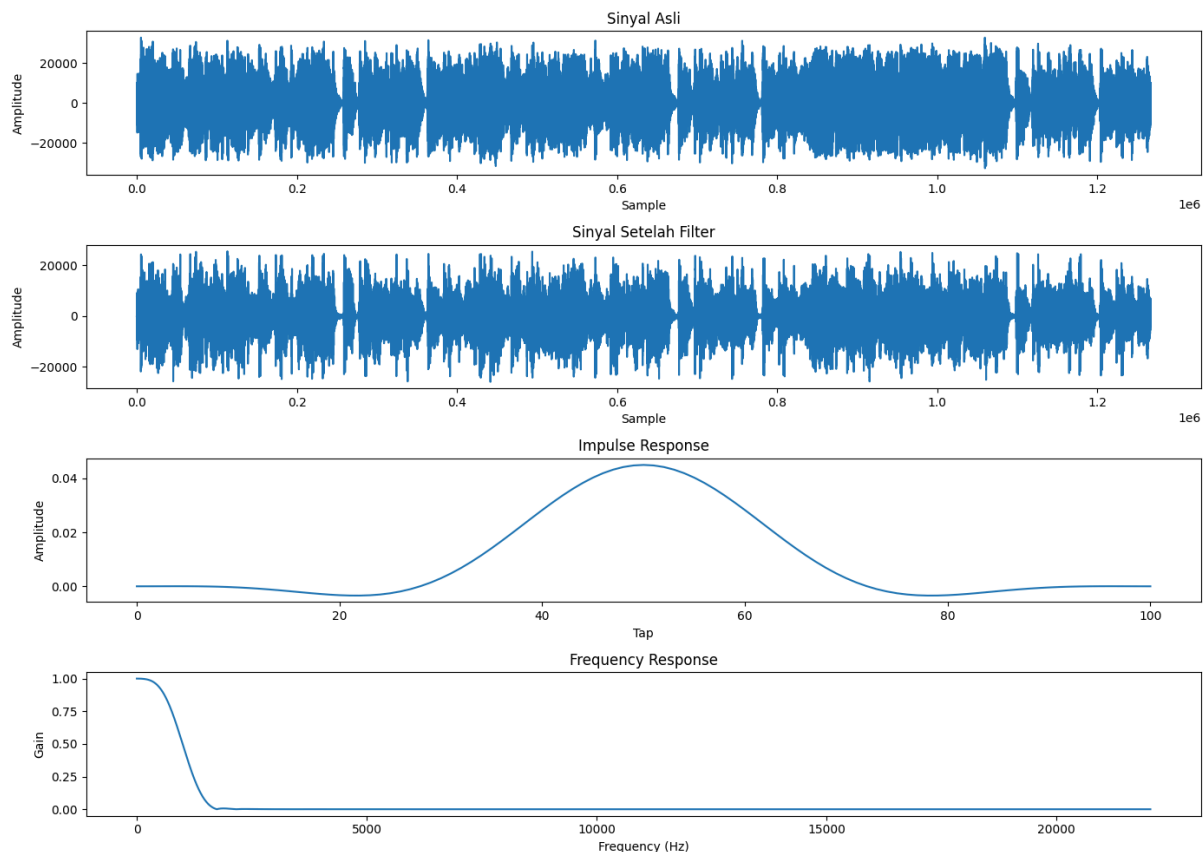
1. FIR Hamming Window



Pada grafik diatas bisa dilihat output dari proses low pass FIR *hamming window*, dimana menunjukkan:

- Sinyal Asli: Memperlihatkan sinyal sebelum dilakukan filtrasi, dengan amplitudo yang tinggi dan perubahan cepat.
- Sinyal Setelah Filter: Sinyal yang telah melalui filter Hamming terlihat lebih halus dengan amplitudo yang lebih rendah, menandakan bahwa filter ini efektif dalam menghilangkan frekuensi tinggi.
- Impulse Response: Menampilkan karakteristik bentuk dari *Hamming window* dengan kurva yang halus dan side lobes yang rendah.
- Frequency Response: Menunjukkan transisi yang halus dari passband ke stopband, dengan side lobes yang rendah, mencerminkan kemampuan filter untuk meminimalkan kebocoran frekuensi.

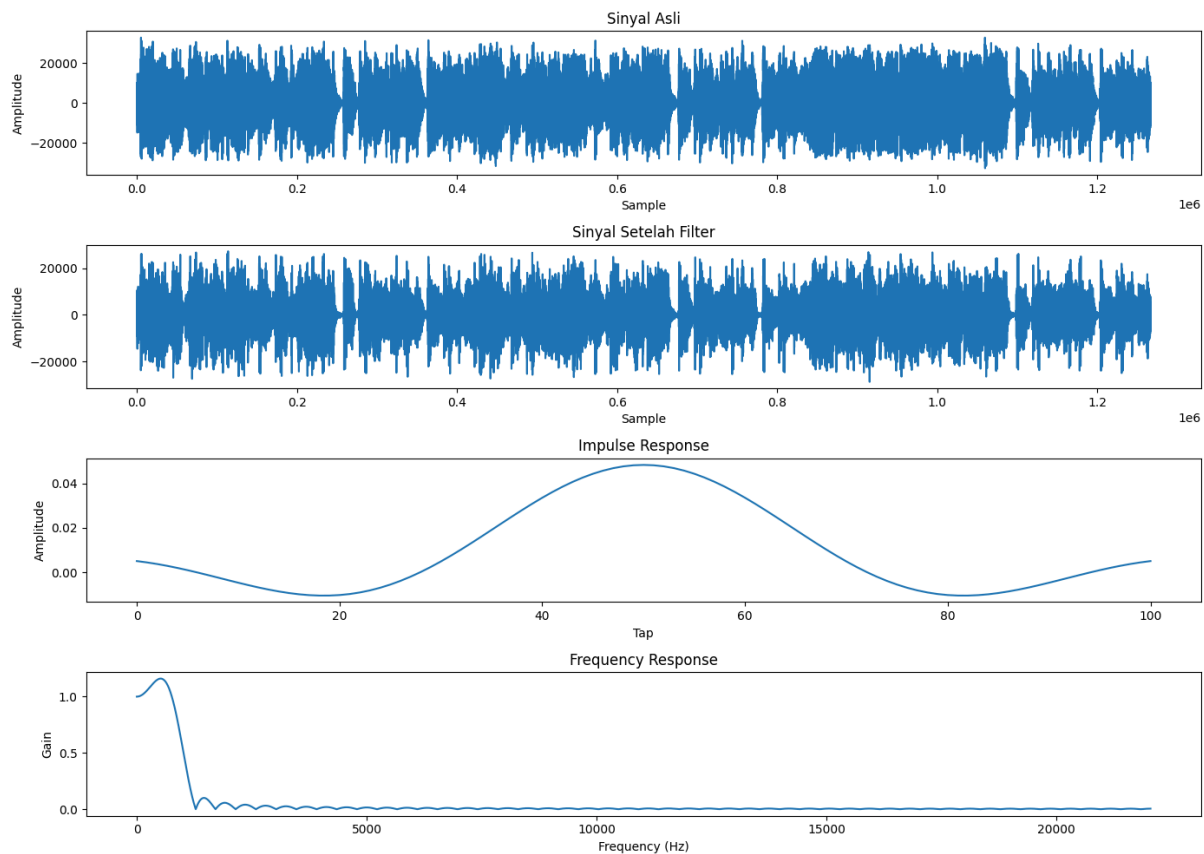
2. FIR Hann Window



Pada grafik diatas bisa dilihat output dari proses low pass FIR hann window, dimana menunjukkan:

- Sinyal Asli: Plot ini menunjukkan amplitudo sinyal asli pada kisaran sampel. Sinyal tampak bising dengan variasi amplitudo yang signifikan.
- Sinyal Setelah mendapat filter: Plot ini menunjukkan amplitudo sinyal setelah menerapkan filter jendela FIR Hann. Sinyal masih tampak berderau, tetapi mungkin ada beberapa perbedaan dibandingkan dengan sinyal asli, yang mengindikasikan efek dari proses pemfilteran.
- Impulse Response: Plot ini menunjukkan respons impuls dari filter jendela FIR Hann. Respons impuls adalah karakteristik utama filter, yang menunjukkan bagaimana filter merespons impuls tunggal. Plot menunjukkan kurva yang mulus, berbentuk lonceng, khas jendela Hann.
- Frequency Response: Filter jendela FIR Hann menunjukkan kemampuan yang baik dalam meredam komponen frekuensi tinggi dari sinyal, menghasilkan kurva respons frekuensi yang halus dengan atenuasi yang stabil setelah frekuensi *cut-off*. Ini menjadikannya pilihan yang efektif untuk aplikasi yang memerlukan filter low-pass dengan transisi yang halus dan penekanan yang konsisten pada frekuensi di luar band.

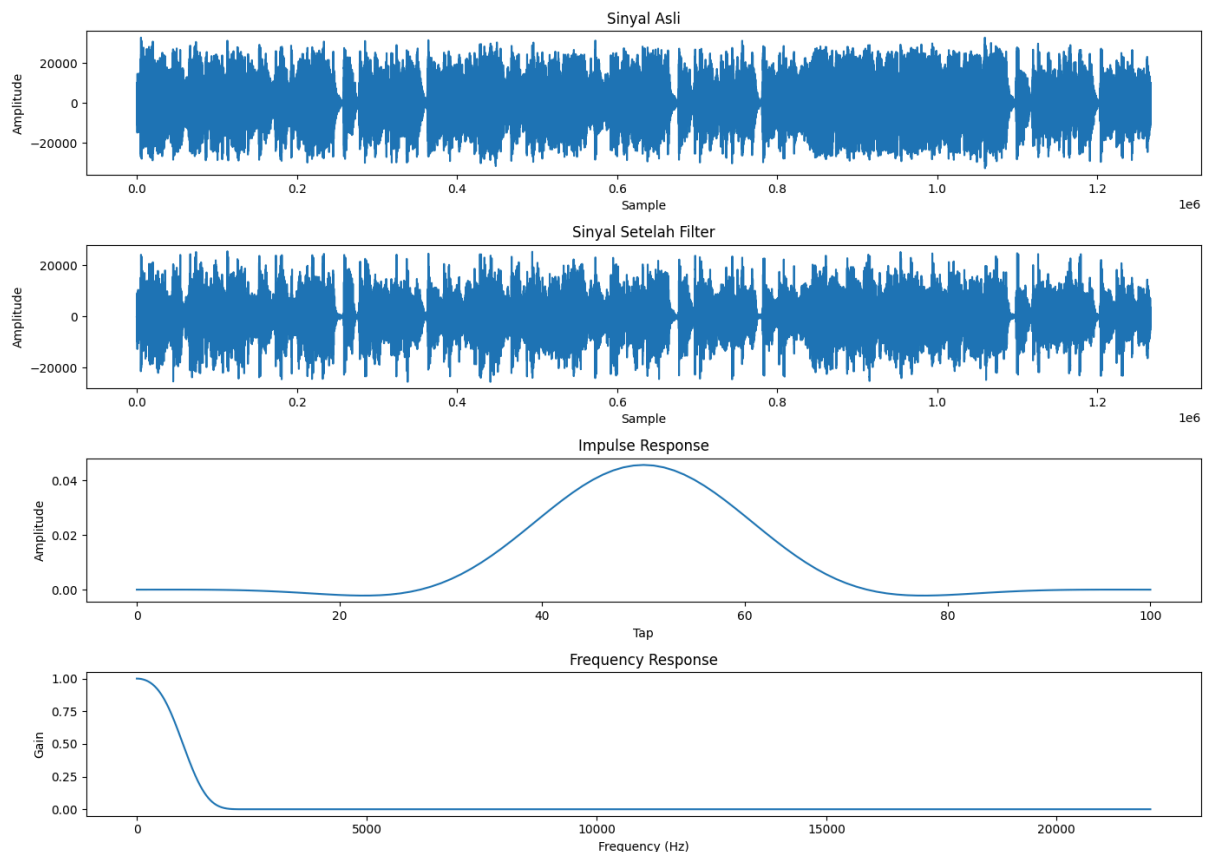
3. FIR Rectangle Window



Pada grafik diatas bisa dilihat output dari proses low pass FIR rectangle window, dimana menunjukkan:

- Sinyal Asli: Menunjukkan sinyal sebelum diterapkan filter, dengan karakteristik yang sama seperti gambar pertama.
- Sinyal Setelah Filter: Sinyal setelah diterapkan Rectangle filter, terlihat pengurangan amplitudo tetapi mungkin dengan sedikit lebih banyak kebocoran dibandingkan dengan Hamming filter.
- Impulse Response: Impulse response menunjukkan bentuk persegi dengan tepi yang tajam, menunjukkan kurangnya peralihan yang halus.
- Frequency Response: Respon frekuensi menunjukkan transisi yang lebih tajam dengan side lobes yang lebih tinggi dibandingkan dengan Hamming filter.

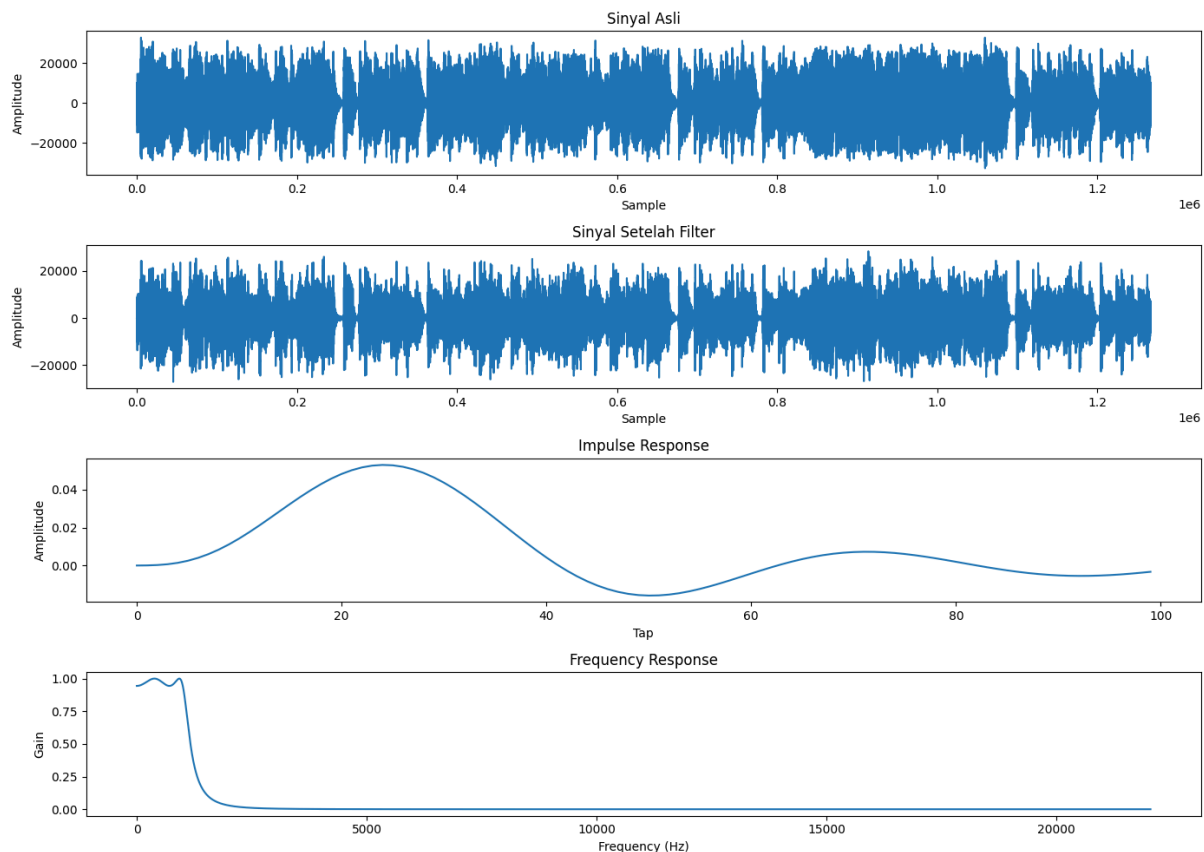
4. FIR Kaiser Window



Pada grafik diatas bisa dilihat output dari proses low pass FIR kaiser window, dimana menunjukkan:

- Sinyal asli: Plot ini menunjukkan amplitudo sinyal asli pada kisaran sampel. Sinyal tampak berisik dengan variasi amplitudo yang signifikan, mengindikasikan tingkat aktivitas atau derau yang tinggi pada sinyal asli.
- Sinyal setelah filter: Plot ini menunjukkan amplitudo sinyal setelah menerapkan filter jendela FIR Kaiser. Sinyal yang difilter masih tampak berderau, tetapi mungkin memiliki beberapa perbedaan dibandingkan dengan sinyal asli, yang mengindikasikan efek dari proses pemfilteran.
- Impulse Response: Plot ini menunjukkan respons impuls dari filter jendela FIR Kaiser. Respons impuls adalah karakteristik utama filter, yang menunjukkan bagaimana filter ini merespons impuls tunggal. Plot menunjukkan kurva yang mulus, berbentuk lonceng, khas jendela Kaiser, dengan puncak di sekitar bagian tengah dan meruncing ke arah tepi.
- Frequency Response: Filter jendela FIR Kaiser efektif dalam melemahkan frekuensi tinggi sambil mempertahankan frekuensi rendah. Respons frekuensi yang mulus menunjukkan karakteristik low-pass yang ideal. Kemampuan penyesuaian Kaiser window terhadap atenuasi lobus samping dan lebar lobus utama memastikan kinerja filter yang optimal, menjadikannya pilihan yang baik untuk aplikasi yang memerlukan kontrol spektrum frekuensi yang presisi.

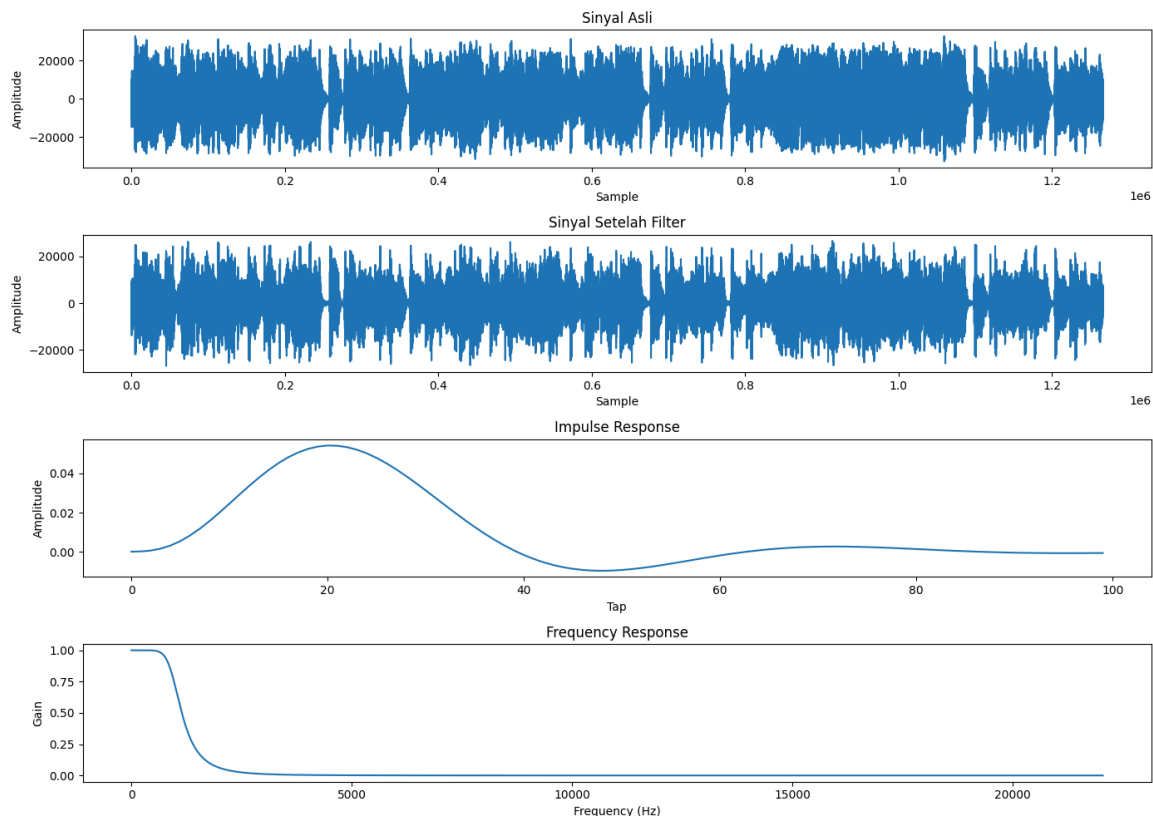
5. IIR Chebyshev Window



Pada grafik diatas bisa dilihat output dari proses low pass FIR chebyshev window, dimana menunjukkan:

- Sinyal asli: Grafik pertama menunjukkan sinyal asli sebelum dilakukan pemrosesan. Sumbu horizontal (x) mewakili sampel, sedangkan sumbu vertikal (y) mewakili amplitudo sinyal. Sinyal ini tampak sangat berisik dengan variasi amplitudo yang tinggi.
- Sinyal setelah filter: Grafik kedua menunjukkan sinyal setelah diterapkan filter IIR Chebyshev. Sumbu horizontal (x) masih mewakili sampel, dan sumbu vertikal (y) mewakili amplitudo sinyal yang telah difilter. Terlihat bahwa sinyal setelah filter lebih halus dan noise telah berkurang secara signifikan.
- Impulse Response: Grafik ketiga menunjukkan respons impuls dari filter IIR Chebyshev. Sumbu horizontal (x) mewakili tap (koefisien filter), dan sumbu vertikal (y) mewakili amplitudo respons. Grafik ini menunjukkan bagaimana filter merespons sinyal impuls, dengan amplitudo yang berkurang seiring bertambahnya tap.
- Frequency Response: Grafik keempat menunjukkan respons frekuensi dari filter IIR Chebyshev. Sumbu horizontal (x) mewakili frekuensi dalam Hertz (Hz), dan sumbu vertikal (y) mewakili gain (penguatan) dalam desibel (dB). Grafik ini menunjukkan bahwa filter memiliki penurunan gain yang tajam pada frekuensi tertentu, yang menunjukkan bahwa filter ini efektif dalam menghilangkan frekuensi tertentu dari sinyal asli.

6. IIR Butterworth Window

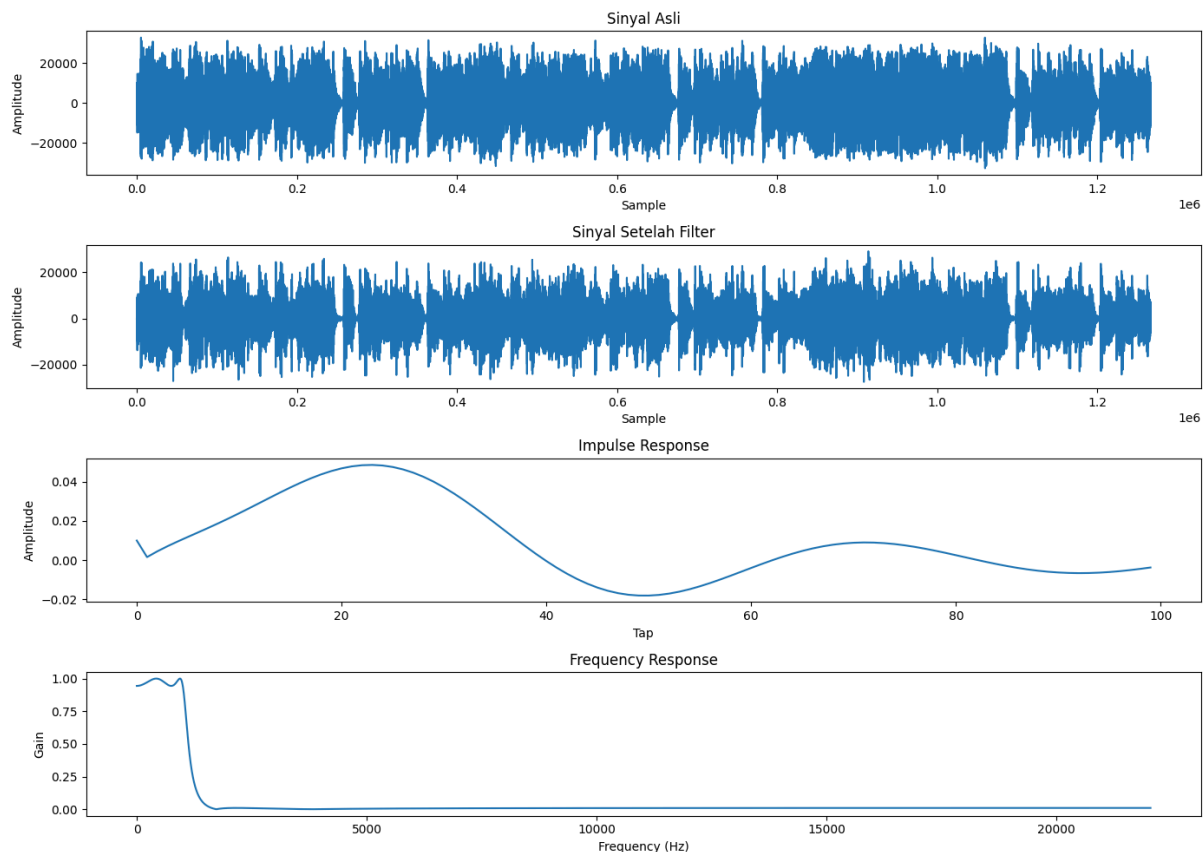


Pada grafik diatas bisa dilihat output dari proses low pass FIR butterworth window, dimana menunjukkan:

- Sinyal Asli: Grafik pertama menunjukkan sinyal asli sebelum diterapkan filter. Sumbu horizontal (x) mewakili sampel, sedangkan sumbu vertikal (y) mewakili amplitudo sinyal. Sinyal ini tampak sangat berisik dengan variasi amplitudo yang besar.
- Sinyal setelah filter: Grafik kedua menunjukkan sinyal setelah diterapkan filter Butterworth IIR. Sama seperti grafik pertama, sumbu horizontal mewakili sampel dan sumbu vertikal mewakili amplitudo. Setelah diterapkan filter, sinyal tampak lebih halus dan berkurang kebisingannya, menunjukkan bahwa filter telah berhasil mengurangi komponen frekuensi tinggi yang tidak diinginkan.
- Impulse Response: Grafik ketiga menunjukkan respons impuls dari filter Butterworth IIR. Sumbu horizontal (x) mewakili waktu (tap), sedangkan sumbu vertikal (y) mewakili amplitudo respons. Respons impuls ini menunjukkan bagaimana filter merespons terhadap sinyal impuls. Filter Butterworth dikenal karena memiliki respons yang halus tanpa riak di dalam passband.
- Frequency Response: Grafik keempat menunjukkan respons frekuensi dari filter Butterworth IIR, dengan frekuensi (Hz) di sumbu horizontal dan gain (dB) di sumbu vertikal. Filter Butterworth memiliki roll-off tajam, efektif

memisahkan frekuensi yang diinginkan dari yang tidak diinginkan. Pada frekuensi rendah, gain mendekati 1 (0 dB), sementara pada frekuensi tinggi, gain menurun tajam, memblokir frekuensi tinggi dengan efektif. Respons fase filter Butterworth lebih tidak linear dibandingkan filter Bessel, menyebabkan variasi fase lebih besar dan potensi distorsi pada sinyal.

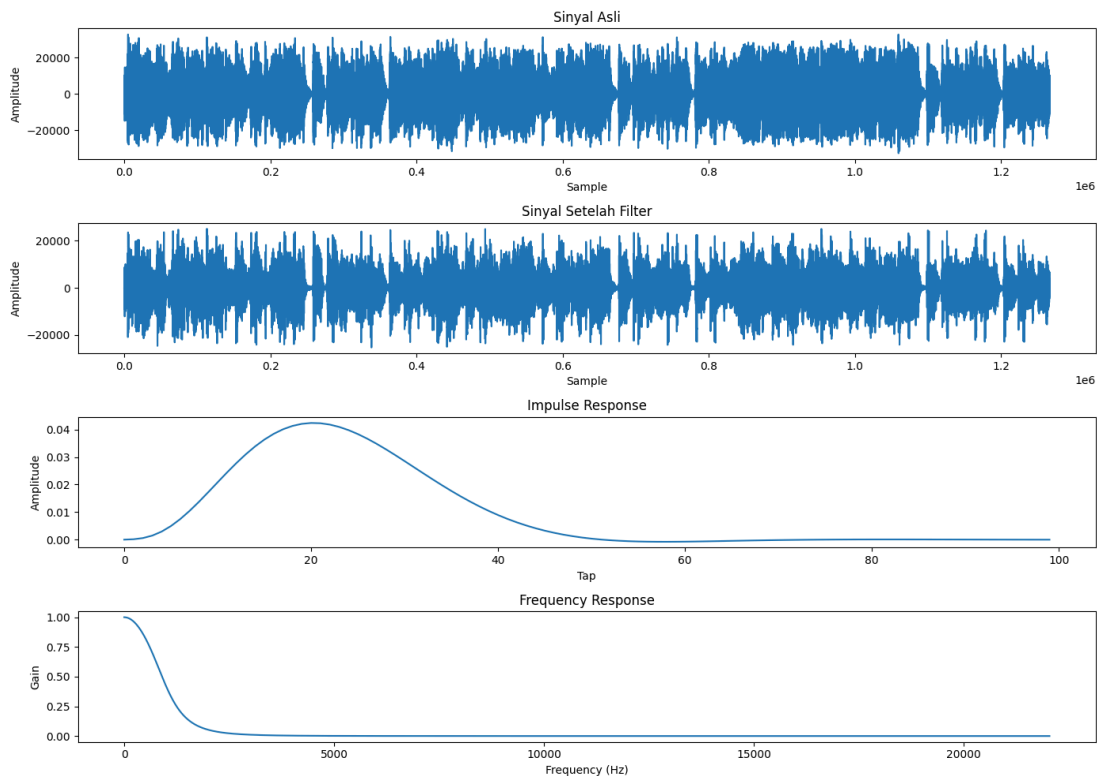
7. IIR Elliptic Window



Pada grafik diatas bisa dilihat output dari proses low pass FIR elliptic window, dimana menunjukkan:

- Sinyal Asli: Menunjukkan sinyal sebelum diterapkan filter, sama seperti dua gambar sebelumnya.
- Sinyal Setelah Filter: Sinyal setelah diterapkan Elliptic filter, terlihat lebih tajam dengan amplitudo yang lebih rendah, menunjukkan penghilangan frekuensi tinggi yang sangat efektif.
- Impulse Response: Impulse response menunjukkan bentuk yang kompleks dengan lebih banyak riak dibandingkan dengan Hamming dan Rectangle.
- Frequency Response: Respon frekuensi menunjukkan transisi yang sangat tajam dari passband ke stopband dengan kontrol riak yang baik di kedua passband dan stopband.

8. IIR Bessel Window



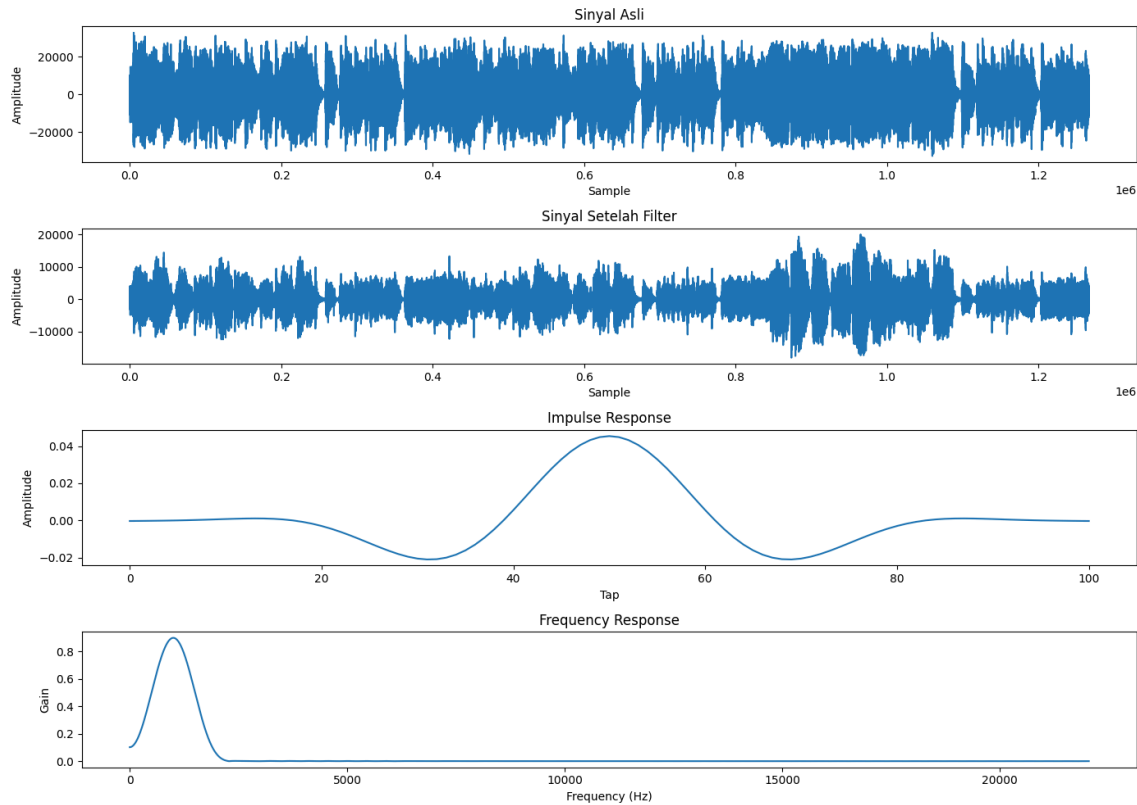
Pada grafik diatas bisa dilihat output dari proses low pass FIR bessel window, dimana menunjukkan:

- Sinyal asli: Grafik pertama menunjukkan sinyal asli sebelum diterapkan filter. Sumbu horizontal (x) mewakili sampel (sample), sedangkan sumbu vertikal (y) mewakili amplitudo sinyal. Sinyal ini tampak seperti deretan data yang berfluktuasi secara acak.
- Sinyal setelah filter: Grafik kedua menunjukkan sinyal setelah diterapkan filter IIR dengan jendela Bessel. Sama seperti grafik pertama, sumbu horizontal mewakili sampel dan sumbu vertikal mewakili amplitudo. Perbedaan antara sinyal asli dan sinyal setelah filter dapat diamati di sini, di mana sinyal setelah filter biasanya lebih halus dan memiliki lebih sedikit noise.
- Impulse Response: Grafik ketiga menunjukkan respons impuls dari filter IIR dengan jendela Bessel. Sumbu horizontal mewakili tap (koefisien filter), dan sumbu vertikal mewakili amplitudo respons impuls. Grafik ini menunjukkan bagaimana filter merespons terhadap sinyal impuls (sinyal yang hanya memiliki satu nilai non-nol). Respons impuls dari filter Bessel biasanya memiliki bentuk yang halus dan tidak menunjukkan osilasi yang signifikan.
- Frequency Response: Grafik keempat menunjukkan respons frekuensi dari filter IIR dengan jendela Bessel. Sumbu horizontal mewakili frekuensi dalam satuan Hz, dan sumbu vertikal mewakili gain (penguatan) dalam skala linear. Grafik ini menunjukkan bagaimana filter mempengaruhi amplitudo sinyal pada berbagai frekuensi. Filter Bessel dikenal karena memiliki respons

frekuensi yang halus dan fase linier, yang berarti mereka tidak menyebabkan distorsi fase yang signifikan pada sinyal yang difilter.

B. BPF (*Band Pass Filter*)

1. FIR Hamming Window



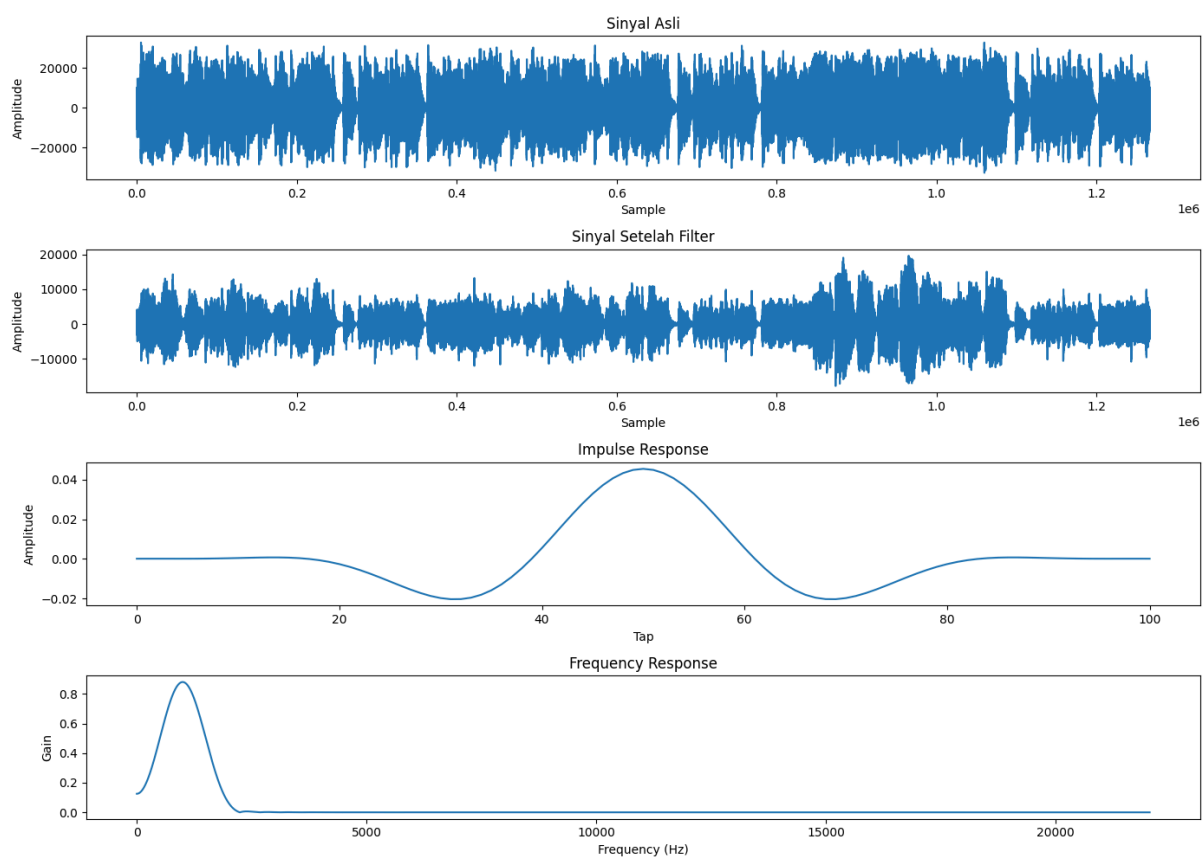
Pada grafik diatas bisa dilihat output dari proses band pass FIR hamming window, dimana menunjukkan:

- Sinyal asli: Grafik pertama menunjukkan sinyal asli sebelum diterapkan filter. Sumbu horizontal (x) mewakili sampel (sample), sedangkan sumbu vertikal (y) mewakili amplitudo sinyal. Sinyal ini tampak seperti deretan data yang berfluktuasi secara acak dengan berbagai frekuensi.
- Sinyal setelah filter: Grafik kedua menunjukkan sinyal setelah diterapkan filter FIR dengan jendela Hamming. Sama seperti grafik pertama, sumbu horizontal mewakili sampel dan sumbu vertikal mewakili amplitudo. Perbedaan antara sinyal asli dan sinyal setelah filter dapat diamati di sini, di mana sinyal setelah filter biasanya lebih halus dan memiliki lebih sedikit noise di luar rentang frekuensi yang diinginkan. Filter bandpass akan membiarkan frekuensi dalam rentang tertentu lewat dan meredam frekuensi di luar rentang tersebut.
- Impulse Response: Grafik ketiga menunjukkan respons impuls dari filter FIR dengan jendela Hamming. Sumbu horizontal mewakili tap (koefisien filter), dan sumbu vertikal mewakili amplitudo respons impuls. Grafik ini menunjukkan bagaimana filter merespons terhadap sinyal impuls (sinyal yang hanya memiliki satu nilai non-nol). Respons impuls dari filter Hamming

biasanya memiliki bentuk yang halus dan simetris, yang mencerminkan sifat dari jendela Hamming yang digunakan untuk merancang filter.

- Frequency Response: Grafik keempat menunjukkan respons frekuensi dari filter FIR dengan jendela Hamming. Sumbu horizontal mewakili frekuensi dalam satuan Hz, dan sumbu vertikal mewakili gain (penguatan) dalam skala linear. Grafik ini menunjukkan bagaimana filter mempengaruhi amplitudo sinyal pada berbagai frekuensi. Filter bandpass dengan jendela Hamming akan menunjukkan gain yang tinggi dalam rentang frekuensi tertentu (bandpass) dan gain yang rendah di luar rentang tersebut. Jendela Hamming digunakan untuk mengurangi efek sidelobe (osilasi di luar rentang frekuensi yang diinginkan) dalam respons frekuensi.

2. FIR Hann Window

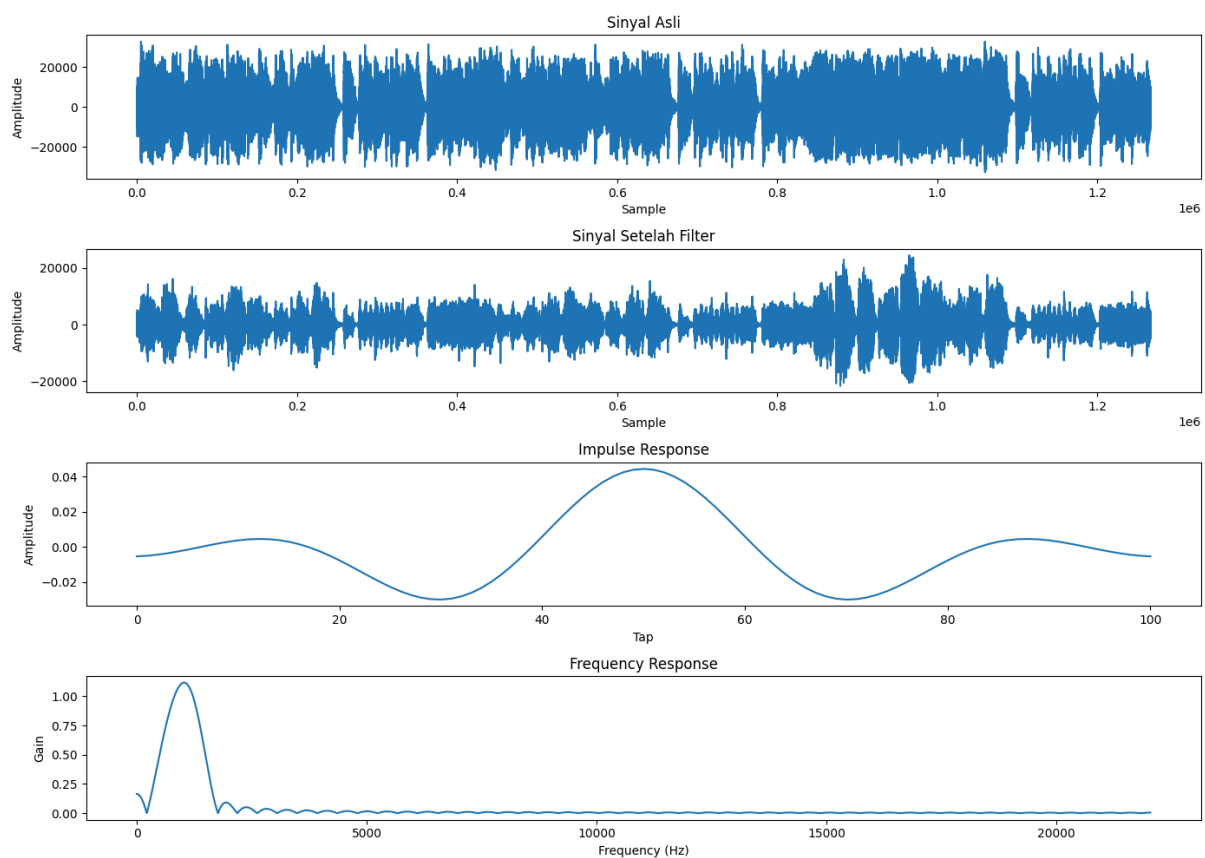


Pada grafik diatas bisa dilihat output dari proses band pass FIR hann window, dimana menunjukkan:

- Sinyal asli: Grafik ini menunjukkan sinyal asli sebelum diterapkan filter. Sinyal ini memiliki amplitudo yang bervariasi dan mencakup berbagai frekuensi.
- Sinyal setelah filter: Grafik ini menunjukkan sinyal setelah diterapkan filter band pass FIR dengan jendela Hann. Terlihat bahwa sinyal setelah filter memiliki amplitudo yang lebih teratur dan frekuensi yang tidak diinginkan telah dihilangkan, hanya menyisakan frekuensi dalam rentang yang diinginkan.

- Impulse Response: Grafik ini menunjukkan respons impuls dari filter FIR yang digunakan. Respons impuls ini menggambarkan bagaimana filter merespons sinyal impuls. Bentuk dari respons impuls ini dipengaruhi oleh jendela Hann yang digunakan dalam desain filter.
- Frequency Response: Grafik ini menunjukkan respons frekuensi dari filter FIR. Sumbu y menunjukkan gain (dalam dB) dan sumbu x menunjukkan frekuensi (dalam Hz). Dari grafik ini, kita dapat melihat bahwa filter memiliki gain yang tinggi pada rentang frekuensi tertentu (band pass) dan gain yang rendah di luar rentang tersebut, menunjukkan bahwa filter ini hanya melewati frekuensi dalam rentang tertentu dan meredam frekuensi di luar rentang tersebut.

3. FIR Rectangle Window



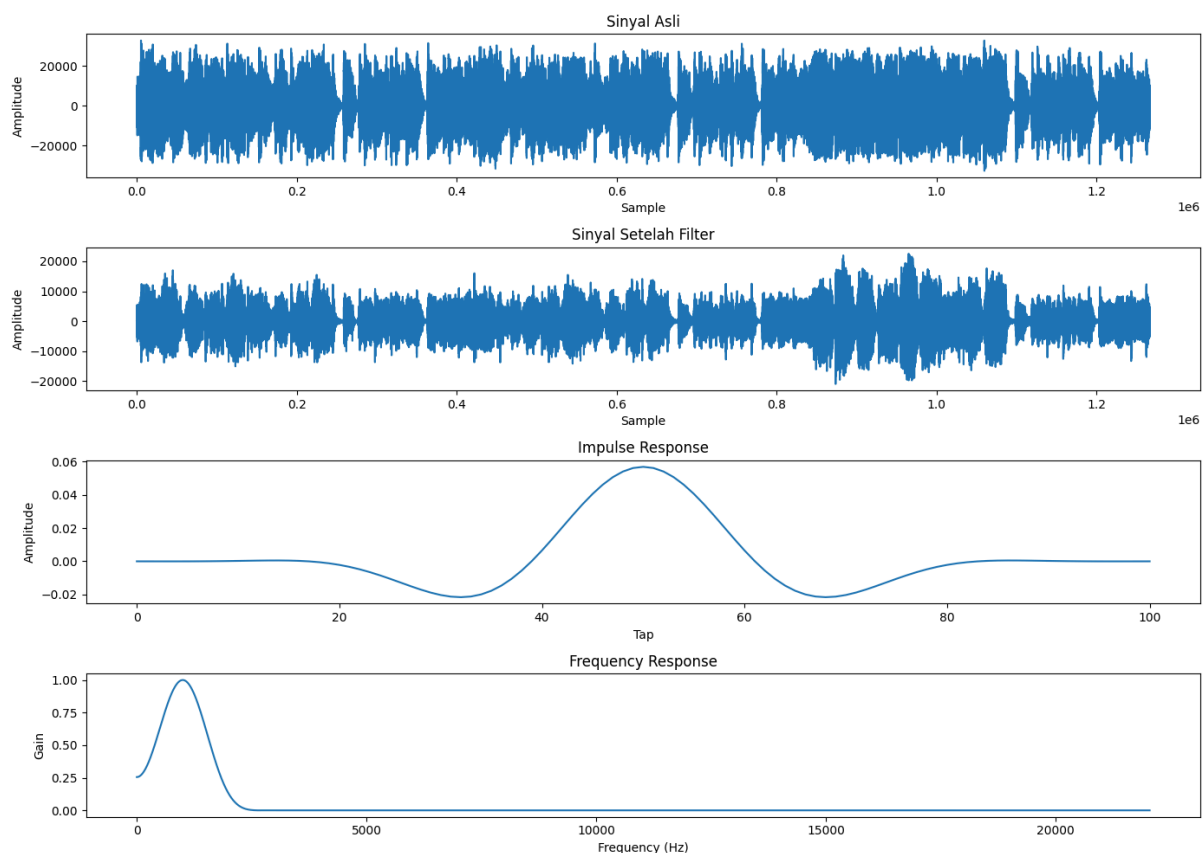
Pada grafik diatas bisa dilihat output dari proses band pass FIR rectangle window, dimana menunjukkan:

- Sinyal asli: Grafik pertama menunjukkan sinyal asli sebelum diterapkan filter. Sumbu horizontal mewakili sampel (sample), dan sumbu vertikal mewakili amplitudo sinyal. Sinyal ini tampak seperti sinyal acak dengan berbagai frekuensi yang tercampur.
- Sinyal setelah filter: Grafik kedua menunjukkan sinyal setelah diterapkan filter band pass FIR dengan jendela persegi panjang. Sumbu horizontal juga mewakili sampel, dan sumbu vertikal mewakili amplitudo sinyal. Setelah

diterapkan filter, sinyal tampak lebih halus dan frekuensi yang tidak diinginkan telah dihilangkan, hanya menyisakan frekuensi dalam rentang yang diinginkan dan terlihat pula pengurangan kebisingan frekuensi tinggi.

- Impulse Response: Grafik ketiga menunjukkan respons impuls dari filter FIR. Sumbu horizontal mewakili tap (koefisien filter), dan sumbu vertikal mewakili amplitudo respons impuls. Respons impuls ini menunjukkan bagaimana filter merespons sinyal impuls. Bentuk dari respons impuls ini menunjukkan karakteristik dari filter band pass yang digunakan.
- Frequency Response: Grafik keempat menunjukkan respons frekuensi dari filter FIR. Sumbu horizontal mewakili frekuensi (Hz), dan sumbu vertikal mewakili magnitudo respons frekuensi. Grafik ini menunjukkan bahwa filter memiliki passband (rentang frekuensi yang dilewatkan) dan stopband (rentang frekuensi yang ditolak). Dalam hal ini, filter band pass melewatkan frekuensi dalam rentang tertentu dan menolak frekuensi di luar rentang tersebut. Pada grafik ini juga menampilkan gain di berbagai frekuensi. Filter Jendela FIR Rectangle memiliki lobe utama pada frekuensi rendah dan beberapa lobe samping, menunjukkan bahwa ia mengizinkan rentang luas frekuensi rendah sambil meredam frekuensi tinggi.

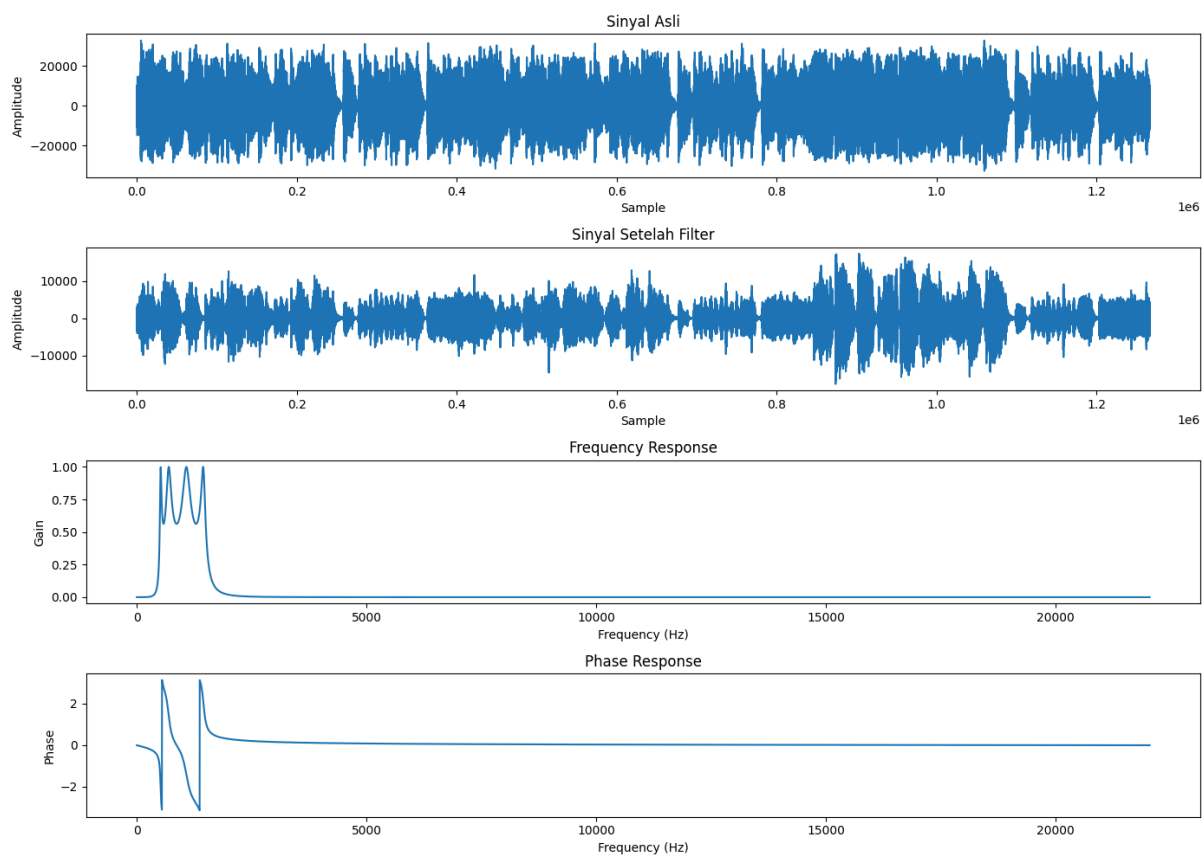
4. FIR Kaiser Window



Pada grafik diatas bisa dilihat output dari proses band pass IIR kaiser window, dimana menunjukkan:

- Sinyal asli: Menampilkan sinyal asli sebelum penyaringan, terlihat sebagai sinyal dengan fluktuasi amplitudo yang cukup besar.
- Sinyal setelah filter: Menampilkan sinyal setelah diterapkan filter FIR Kaiser, terlihat lebih halus dibandingkan dengan sinyal asli, menandakan pengurangan noise atau frekuensi tertentu.
- Impulse Response: Menunjukkan respons impuls dari filter FIR Kaiser, yang memiliki bentuk yang simetris dan terdistribusi secara merata.
- Frequency Response: Menampilkan respons frekuensi dari filter, menunjukkan bagaimana filter tersebut mempengaruhi berbagai frekuensi dalam sinyal. Terlihat ada satu puncak yang signifikan dan pengurangan di frekuensi lain.

5. IIR Chebyshev Window

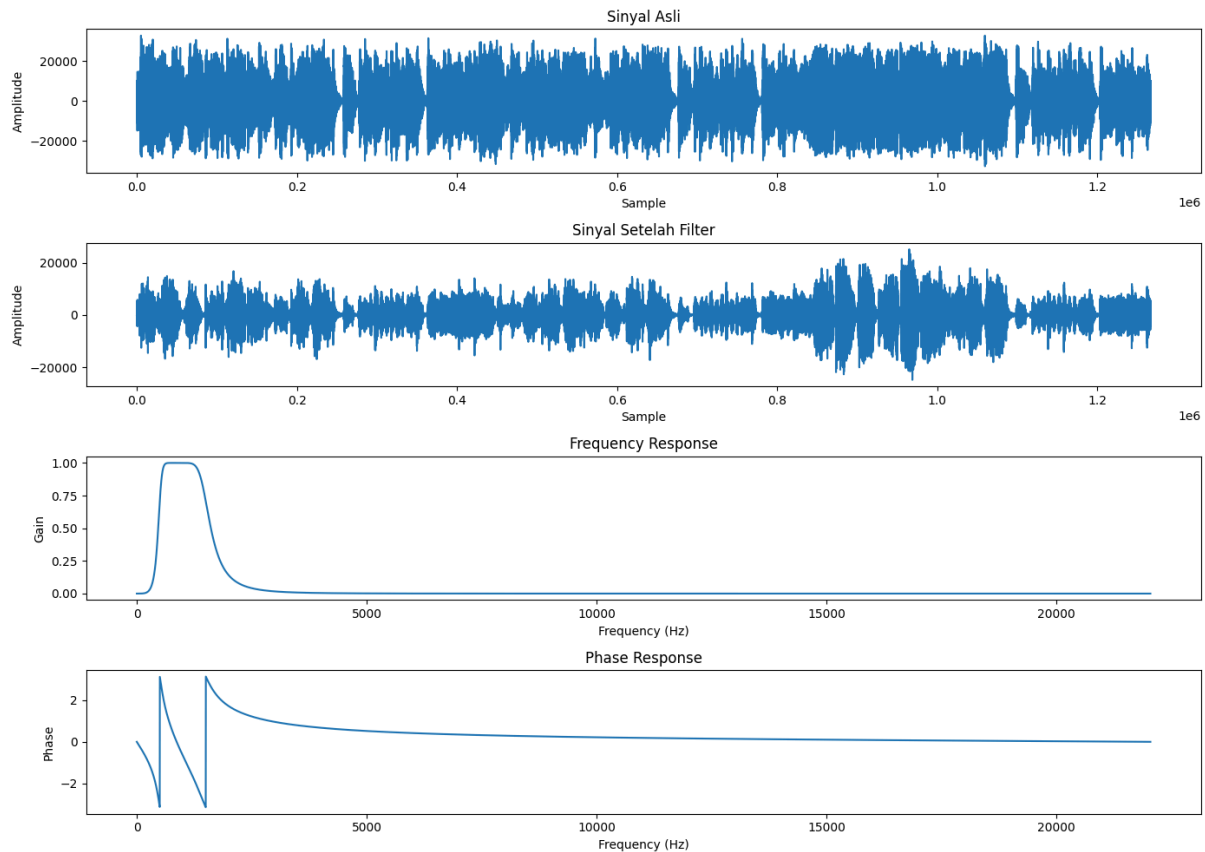


Pada grafik diatas bisa dilihat output dari proses band pass IIR chebyshev window, dimana menunjukkan:

- Sinyal Asli (Original Signal): Sama seperti grafik sebelumnya, menampilkan sinyal asli dengan fluktuasi amplitudo yang signifikan.
- Sinyal Setelah Filter (Filtered Signal): Menampilkan sinyal setelah diterapkan filter IIR Chebyshev, terlihat lebih halus dibandingkan sinyal asli, tetapi mungkin masih memiliki beberapa fluktuasi.
- Frequency Response: Menunjukkan respons frekuensi dari filter IIR Chebyshev, dengan beberapa puncak pada frekuensi rendah dan attenuasi tajam pada frekuensi tinggi.

- Phase Response: Menunjukkan respons fase dari filter, terlihat adanya perubahan fase yang signifikan pada frekuensi tertentu.

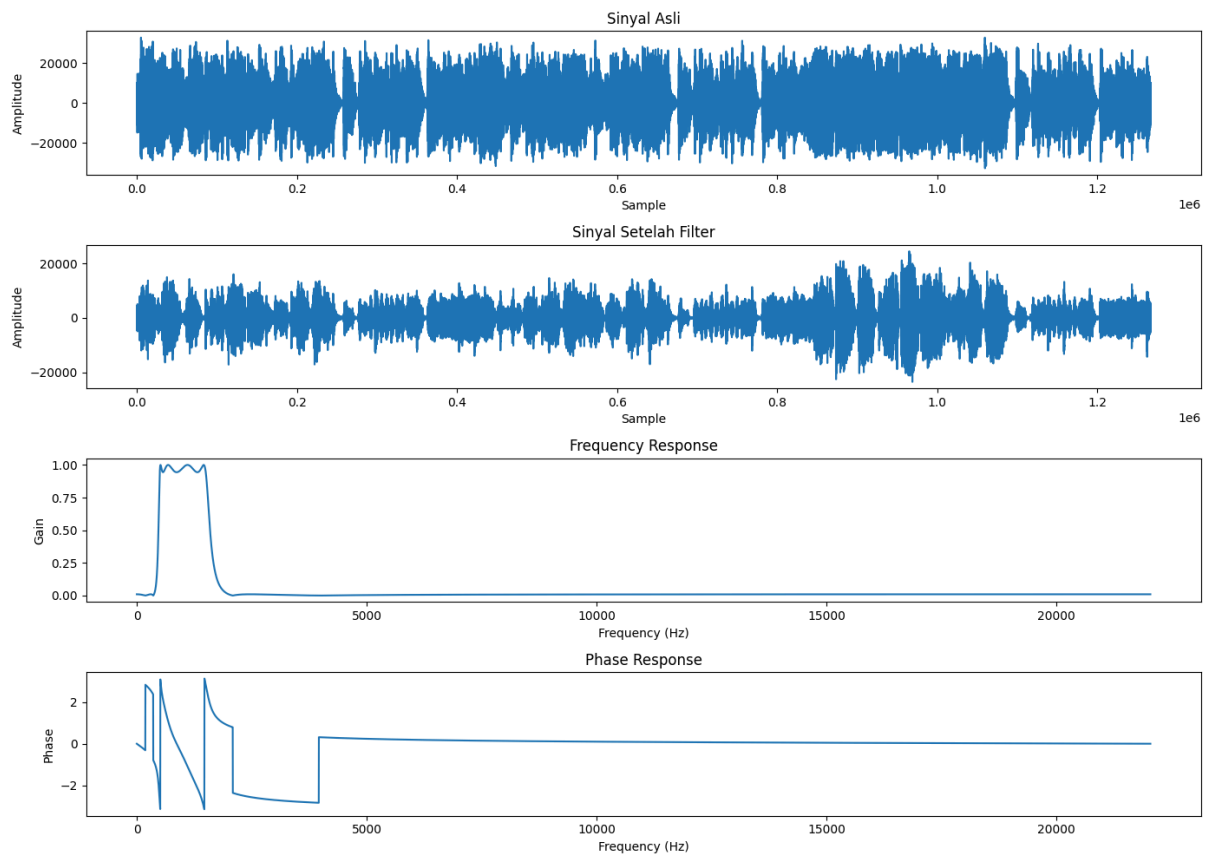
6. IIR Butterworth Window



Pada grafik diatas bisa dilihat output dari proses band pass IIR butterworth window, dimana menunjukkan:

- Sinyal asli: Menampilkan sinyal tanpa adanya filter, memberikan gambaran awal tentang karakteristik sinyal tersebut.
- Sinyal setelah filter: Sinyal setelah difilter dengan filter Butterworth menunjukkan peredaman yang lebih halus dibandingkan filter Elliptic, tetapi lebih signifikan dibandingkan filter Bessel. Sinyal yang dihasilkan tampak lebih halus dengan pengurangan kebisingan, terutama komponen frekuensi tinggi.
- Frequency Response: Filter Butterworth memiliki respon frekuensi yang lebih halus dibandingkan filter Elliptic, tanpa osilasi, tetapi dengan penurunan yang lebih tajam dibandingkan filter Bessel.
- Phase Response: Respon fase filter Butterworth mirip dengan filter Bessel, relatif linier dengan beberapa variasi, menunjukkan adanya distorsi fase yang minimal. Filter Butterworth memiliki respons fase non-linear namun mempertahankan transisi yang halus, yang khas untuk filter jenis ini.

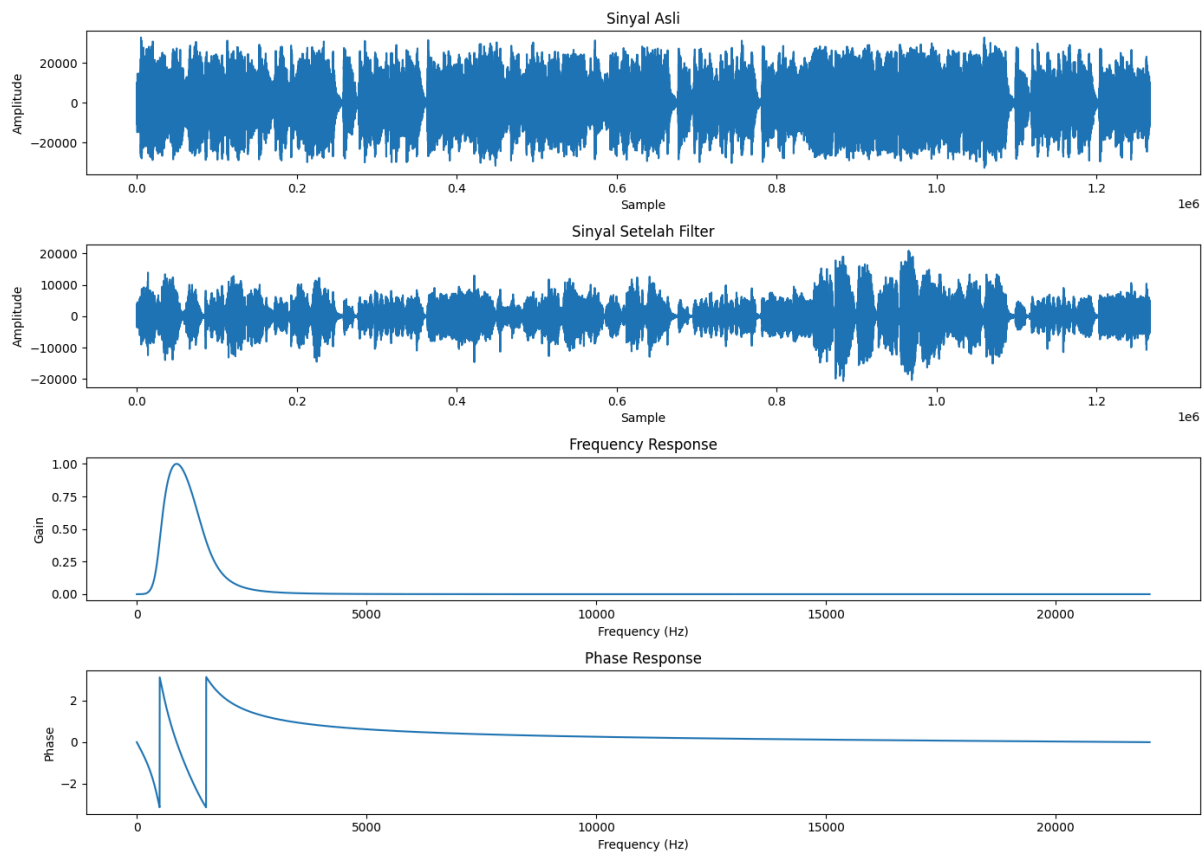
7. IIR Elliptic Window



Pada grafik diatas bisa dilihat output dari proses band pass IIR elliptic window, dimana menunjukkan:

- Sinyal asli: Menampilkan sinyal tanpa adanya filter, memberikan gambaran awal tentang karakteristik sinyal tersebut.
- Sinyal setelah filter: Sinyal setelah difilter dengan filter Elliptic menunjukkan peredaman yang lebih signifikan dibandingkan filter Bessel, dan lebih banyak variasi amplitudo. Terlihat lebih halus dibandingkan sinyal asli, dengan pengurangan noise yang cukup signifikan.
- Frequency Response: Filter Elliptic memiliki respon frekuensi yang sangat tajam dengan banyak osilasi dan penurunan tajam, menunjukkan bahwa filter ini sangat selektif dalam memotong frekuensi tertentu dan dengan beberapa puncak dan attenuasi tajam di luar band-pass
- Phase Response: Respon fase filter Elliptic memiliki lebih banyak variasi dibandingkan filter Bessel, menunjukkan distorsi fase yang lebih besar, terutama di frekuensi yang lebih tinggi.

8. IIR Bessel Window

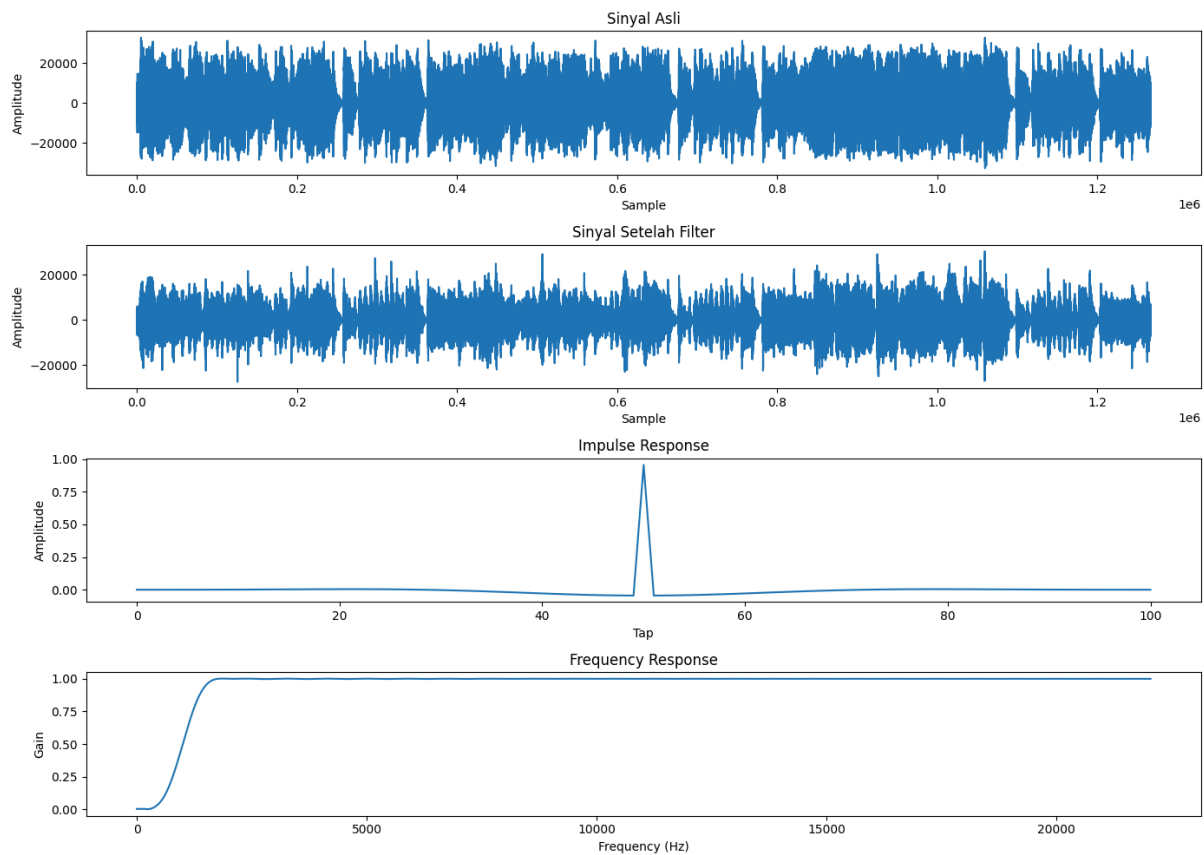


Pada grafik diatas bisa dilihat output dari proses band pass IIR bessel window, dimana menunjukkan:

- Sinyal asli: Menampilkan sinyal tanpa adanya filter, memberikan gambaran awal tentang karakteristik sinyal tersebut.
- Sinyal setelah filter: Sinyal setelah difilter dengan filter Bessel menunjukkan sedikit peredaman amplitudo dan perataan sinyal dibandingkan dengan sinyal aslinya. Filter ini juga mengurangi kebisingan frekuensi tinggi, menghasilkan sinyal yang lebih halus.
- Frequency Response: Menampilkan roll-off yang bertahap, menunjukkan penyaringan yang kurang tajam dibandingkan Butterworth namun dengan transisi yang lebih halus.
- Phase Response: Menunjukkan respons fase linear, yang berarti filter Bessel mempertahankan bentuk gelombang sinyal yang difilter di berbagai rentang frekuensi, meminimalkan distorsi fase.

C. HPF (*High Pass Filter*)

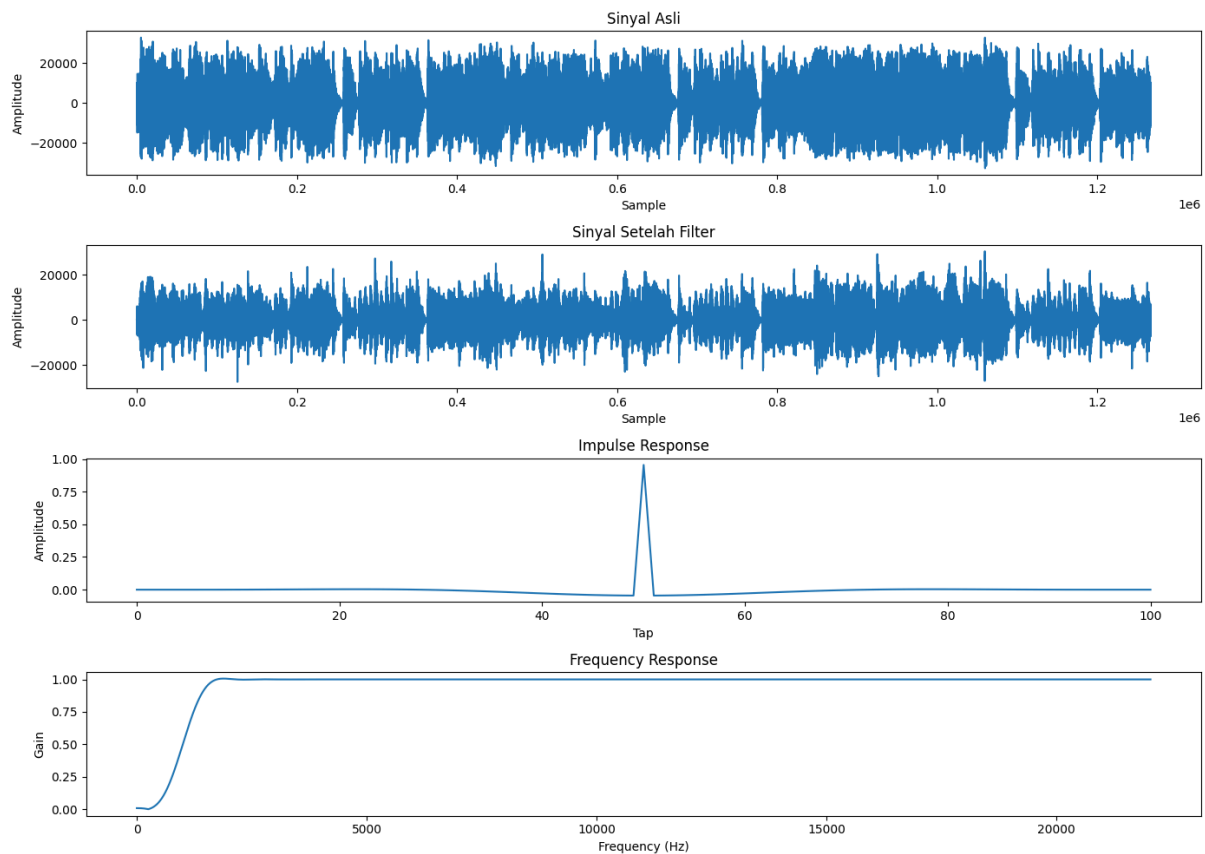
1. FIR Hamming Window



Pada grafik diatas bisa dilihat output dari proses band pass FIR hamming window, dimana menunjukkan:

- Sinyal Asli: Menampilkan sinyal tanpa adanya filter, memberikan gambaran awal tentang karakteristik sinyal tersebut.
- Sinyal Setelah Filter: Sinyal terlihat lebih halus dibandingkan sinyal asli, menunjukkan bahwa filter menghilangkan beberapa komponen frekuensi tinggi.
- Respons Impuls: Memiliki puncak tajam di tengah, menunjukkan respons cepat terhadap impuls.
- Respons Frekuensi: Roll-off frekuensi yang halus pada sekitar 5kHz, menunjukkan filter ini mengurangi gain secara bertahap setelah 5kHz.

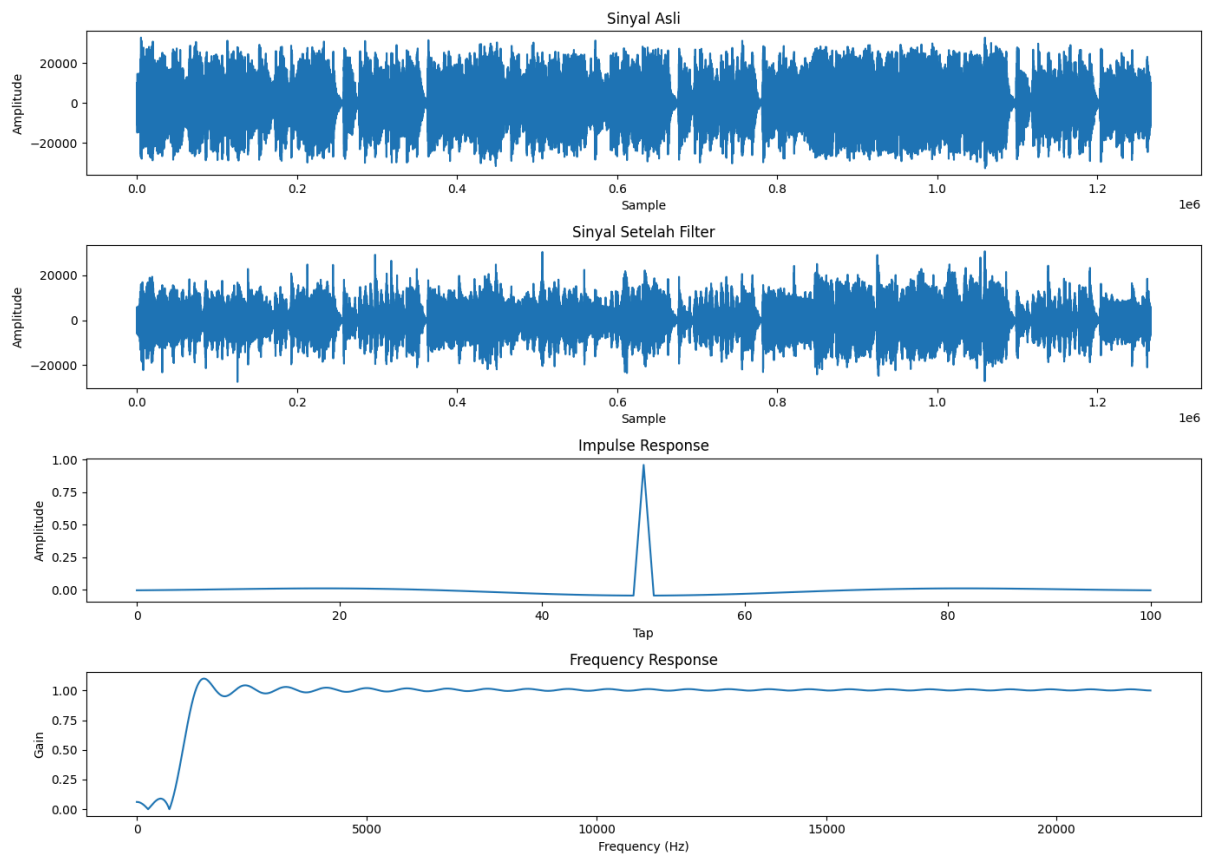
2. FIR Hann Window



Pada grafik diatas bisa dilihat output dari proses band pass FIR hann window, dimana menunjukkan:

- Sinyal Asli: Menampilkan sinyal tanpa adanya filter, memberikan gambaran awal tentang karakteristik sinyal tersebut.
- Sinyal Setelah Filter: Mirip dengan subplot 1, dengan sedikit lebih banyak pengurangan komponen frekuensi tinggi.
- Respons Impuls: Juga menunjukkan puncak tajam di tengah, respons mirip dengan subplot 1.
- Respons Frekuensi: Memiliki roll-off yang lebih halus dibandingkan dengan subplot 1, mengurangi gain secara bertahap setelah 5kHz.

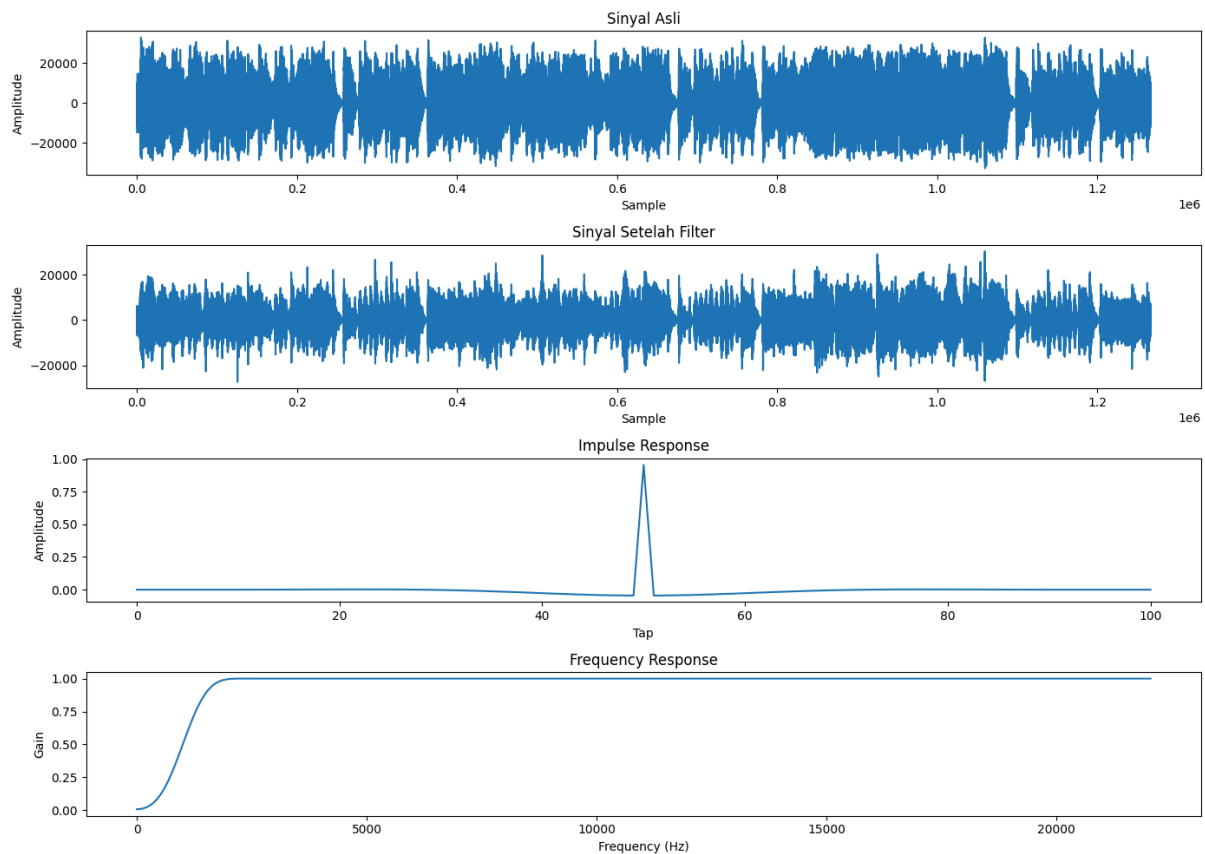
3. FIR Rectangle Window



Pada grafik diatas bisa dilihat output dari proses band pass FIR rectangle window, dimana menunjukkan:

- Sinyal Asli: Menampilkan sinyal tanpa adanya filter, memberikan gambaran awal tentang karakteristik sinyal tersebut.
- Sinyal Setelah Filter: Menunjukkan pengurangan yang lebih signifikan pada komponen frekuensi tinggi.
- Respons Impuls: Puncak impuls sedikit lebih lebar, menunjukkan respons yang sedikit lebih lambat.
- Respons Frekuensi: Roll-off yang sangat tajam setelah sekitar 1kHz, menunjukkan filter sangat efektif dalam memblokir frekuensi tinggi.

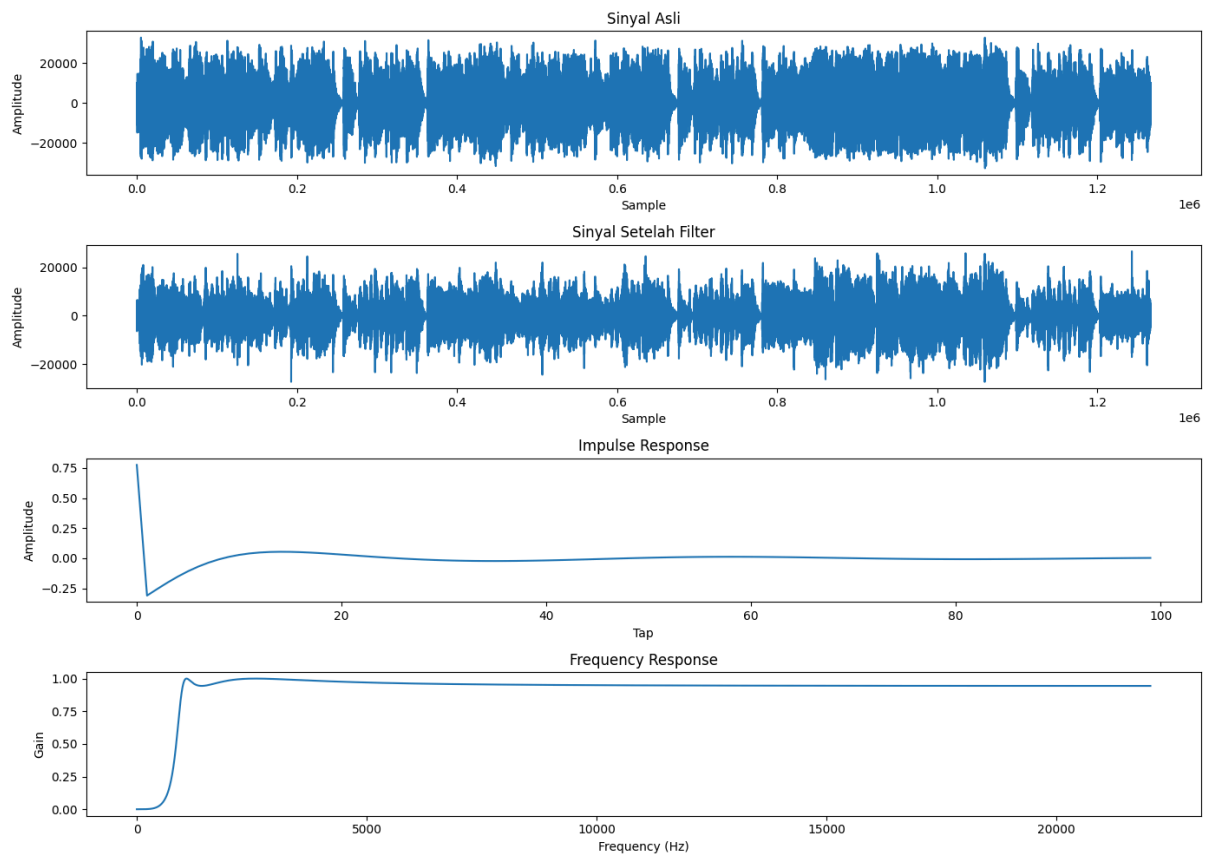
4. FIR Kaiser Window



Pada grafik diatas bisa dilihat output dari proses band pass FIR kaiser window, dimana menunjukkan:

- Sinyal Asli: Menampilkan sinyal tanpa adanya filter, memberikan gambaran awal tentang karakteristik sinyal tersebut.
- Sinyal Setelah Filter: Mirip dengan subplot 3 tetapi sedikit lebih halus pada frekuensi tinggi.
- Respons Impuls: Puncak impuls mirip dengan subplot 3.
- Respons Frekuensi: Roll-off yang halus tetapi masih tajam, mulai sekitar 1kHz tetapi tidak setajam subplot 3.

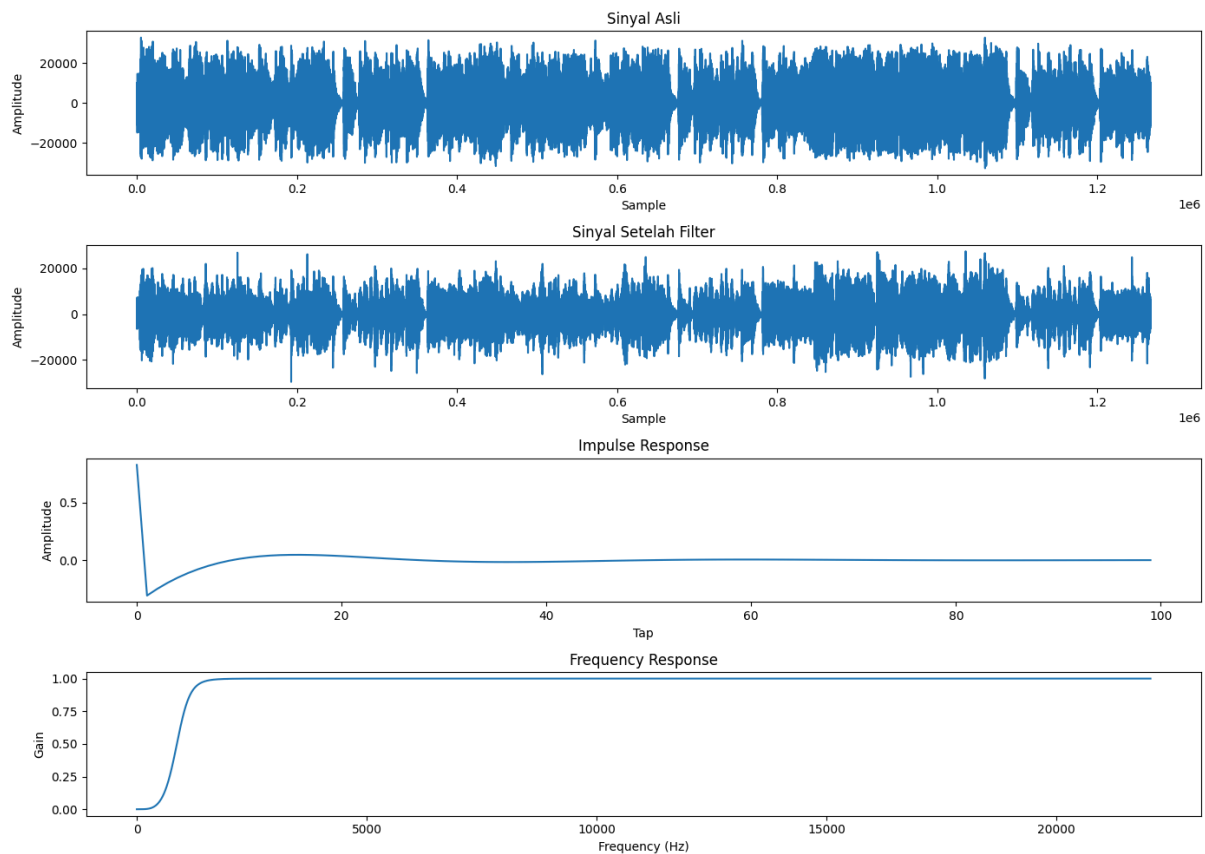
5. IIR Chebyshev Window



Pada grafik diatas bisa dilihat output dari proses band pass IIR chebyshev window, dimana menunjukkan:

- Sinyal Asli: Menampilkan sinyal tanpa adanya filter, memberikan gambaran awal tentang karakteristik sinyal tersebut.
- Sinyal Setelah Filter: Mengurangi frekuensi tinggi tetapi tidak sebanyak subplot 3.
- Respons Impuls: Puncak impuls lebih lebar, menunjukkan filter dengan respons lambat.
- Respons Frekuensi: Roll-off tajam setelah sekitar 2kHz, namun memiliki beberapa osilasi di frekuensi lebih tinggi.

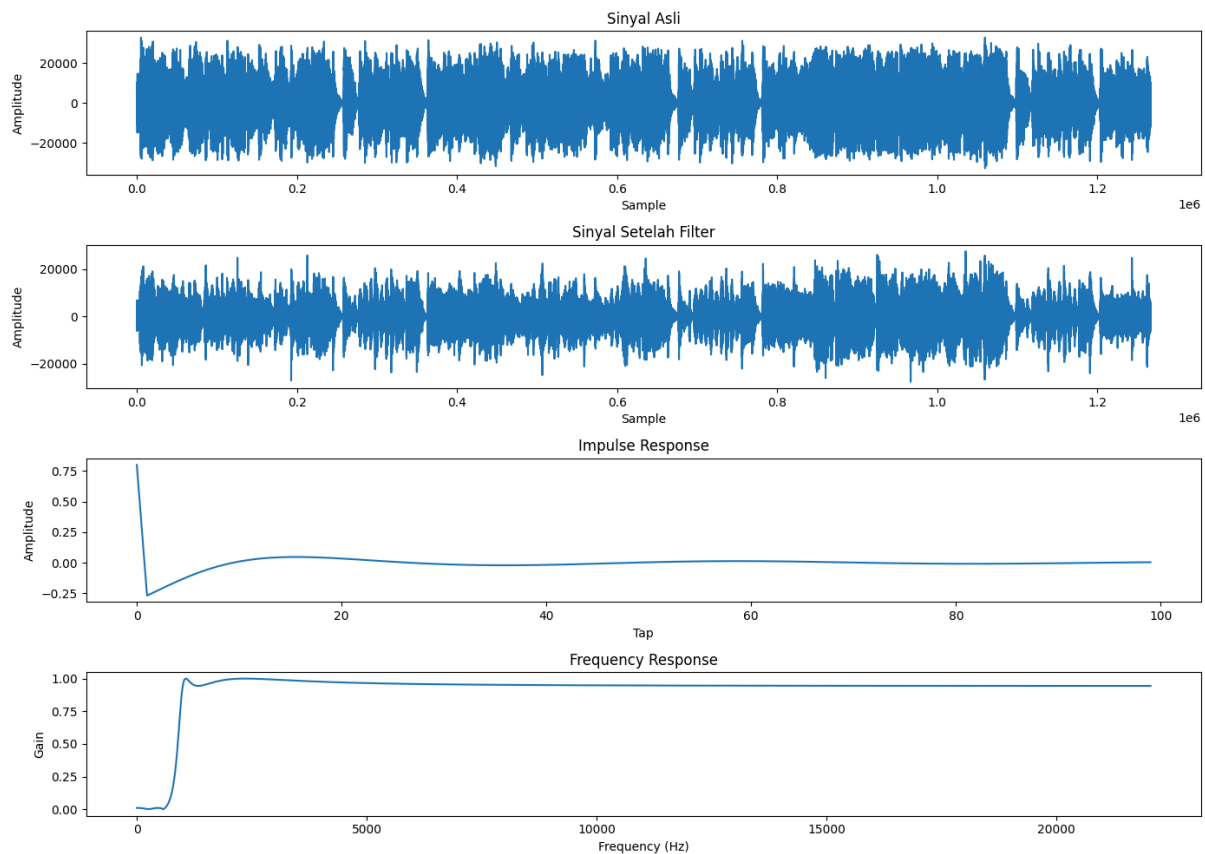
6. IIR Butterworth Window



Pada grafik diatas bisa dilihat output dari proses band pass IIR butterworth window, dimana menunjukkan:

- Sinyal Asli: Menampilkan sinyal tanpa adanya filter, memberikan gambaran awal tentang karakteristik sinyal tersebut.
- Sinyal Setelah Filter: Sinyal lebih halus dengan komponen frekuensi tinggi yang lebih sedikit.
- Respons Impuls: Puncak impuls tajam dan sempit.
- Respons Frekuensi: Roll-off halus dimulai sekitar 3kHz, menunjukkan filter yang lembut dalam memblokir frekuensi tinggi.

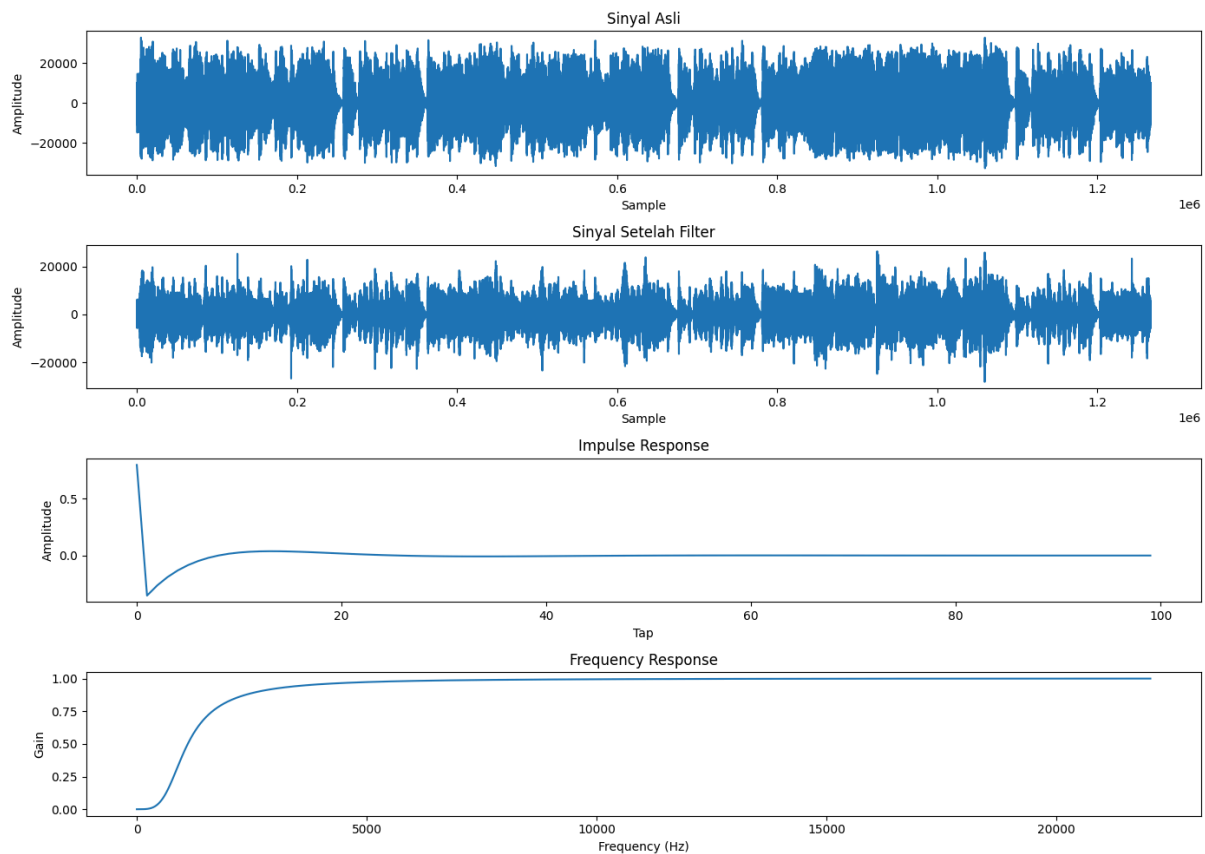
7. IIR Elliptic Window



Pada grafik diatas bisa dilihat output dari proses band pass IIR elliptic window, dimana menunjukkan:

- Sinyal Asli: Menampilkan sinyal tanpa adanya filter, memberikan gambaran awal tentang karakteristik sinyal tersebut.
- Sinyal Setelah Filter: Mengurangi frekuensi tinggi secara signifikan.
- Respons Impuls: Puncak impuls lebih lebar dan lebih datar.
- Respons Frekuensi: Roll-off sangat halus dimulai sekitar 2kHz, menunjukkan filter yang sangat lembut.

8. IIR Bessel Window



Pada grafik diatas bisa dilihat output dari proses band pass IIR bessel window, dimana menunjukkan:

- Sinyal Asli: Menampilkan sinyal tanpa adanya filter, memberikan gambaran awal tentang karakteristik sinyal tersebut.
- Sinyal Setelah Filter: Pengurangan frekuensi tinggi yang moderat.
- Respons Impuls: Puncak impuls tajam dan sempit.
- Respons Frekuensi: Roll-off yang halus dimulai sekitar 3kHz, menunjukkan filter yang halus dan efektif dalam mengurangi frekuensi tinggi tanpa menghilangkan terlalu banyak frekuensi di bawahnya.

KESIMPULAN

Penelitian ini menganalisis frekuensi lagu favorit menggunakan Python, dengan fokus pada perbandingan filter FIR dan IIR serta berbagai variasi jendela untuk Low Pass, Band Pass, dan High Pass. Filter FIR dan IIR memainkan peranan penting dalam pemrosesan sinyal audio, masing-masing memiliki kelebihan dan kelemahan. Filter FIR dikenal memiliki respon impuls yang terbatas dan stabil, sedangkan filter IIR memiliki respon impuls yang tidak terbatas dan lebih efisien untuk beberapa aplikasi tertentu. Selain itu, berbagai variasi jendela seperti Hamming, Hanning, dan Kaiser, masing-masing memiliki karakteristik yang unik dalam performa filter. Setiap jenis jendela memberikan dampak yang berbeda terhadap respon frekuensi dan kualitas suara yang dihasilkan setelah filter diterapkan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa filter dan jendela yang berbeda menghasilkan performa yang berbeda dalam menghilangkan frekuensi tidak diinginkan serta mempengaruhi kualitas suara. Untuk analisis ini, berbagai jenis jendela seperti Hamming, Hann, dan Rectangle diterapkan pada filter low pass (LPF) dan band pass. Hasilnya menunjukkan bahwa setiap jenis filter dan jendela memiliki karakteristik yang berbeda dalam merespons sinyal dan frekuensi. Misalnya, filter Butterworth dan Bessel cenderung memberikan respons frekuensi yang lebih halus, sedangkan filter Elliptic dan Chebyshev memberikan respons yang lebih tajam namun dengan distorsi fase yang lebih besar. Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan wawasan mendalam tentang perbedaan karakteristik dan efektivitas berbagai jenis filter FIR dan IIR dalam pengolahan sinyal, serta menekankan pentingnya pemilihan filter yang tepat sesuai dengan kebutuhan aplikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rumapea, M. E. M. (2019). Tantangan pembelajaran musik pada era digital. *Gondang*, 3(2), 101-110.
- [2] Ruddin, I., Santoso, H., & Indrajit, R. E. (2022). Digitalisasi Musik Industri: Bagaimana Teknologi Informasi Mempengaruhi Industri Musik di Indonesia. *Jurnal Pendidikan Sains dan Komputer*, 2(01), 124-136.
- [3] Dewatara, G. W., & Agustin, S. M. (2019). Pemasaran musik pada era digital digitalisasi industri musik dalam industri 4.0 di Indonesia. *WACANA: Jurnal Ilmiah Ilmu Komunikasi*, 18(1), 1-10.
- [4] Laksmi, N. C., Setyanto, A., & Wibowo, F. W. (2020). Kajian Pustaka Terstruktur Mengenai Analisis Audio Menggunakan Filterisasi Dengan Python. *Jurnal Informa: Jurnal Penelitian dan Pengabdian Masyarakat*, 6(2), 16-22.
- [5] Muslim, A. I. (2022). Filter Analog dan Aplikasi Filter Analog.
- [6] Taking, A. H. M. A. D. (2022). Analisa Rangkaian Active High Pass Filter Orde 1 dan Orde 2 Topology Sallenkey. *Universitas Borneo Tarakan*.
- [7] Adam, M. (2020). Unjuk Kerja Generator Clok Sinyal Low Pass Filter, Pam Multiplexing Pada Rangkaian Percobaan Pulse Code Modulation (PCM) Aplikasi pada Laboratorium Dasar Sistem Telekomunikasi. *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, 2(2), 51-57.
- [8] Islamiyah, M. S. R., Saptono, R., & Hadiwiyatno, H. (2021). Implementasi Metode Transformasi Bilinier Pada Filter Digital Infinite Impulse Response (IIR) Menggunakan Raspberry Pi. *Journal of Telecommunication Network (Jurnal Jaringan Telekomunikasi)*, 11(1), 37-43.
- [9] Prijono, W. A. RANCANG BANGUN DIGITAL BANDPASS FILTER SEBAGAI APLIKASI SOUND ACTIVATION.
- [10] Addina, A. A. V. (2018). Implementasi Filter Finite Impuls Response (FIR) Pada DSK TMS320C6713 Transceiver Menggunakan Teknik Windowing. *Journal of Telecommunication Network (Jurnal Jaringan Telekomunikasi)*, 6(1), 1-8.
- [11] Leonard, C., & Shabrina, N. H. (2020). Analisis Keefektifan Penggunaan Filter FIR dan IIR pada Sinyal Pernapasan EMGdi dengan Simulasi MATLAB. *Ultima Computing: Jurnal Sistem Komputer*, 12(1), 29-34.