

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA & DASAR TEORI

2.1 kajian Pustaka

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penelitian dilakukan dengan cara membandingkan beberapa jurnal terdahulu untuk mengetahui isi atau metode apa yang digunakan dalam topik yang diambil yaitu Filter *Noise* Suara. Berikut adalah jurnal terdahulu yang berkaitan dengan topik tersebut:

Pada penelitian [6] yang dilakukan pada tahun 2019 ini menjelaskan mengenai pengurangan noise audio dengan *Low Pass Filter* menggunakan metode *Chebyshev Type II* dalam proses simulasi filter *noise* suara ini menggunakan *software GNU Octave*. Sehingga Filter *lowpass* filter yang dirancang diharapkan mampu meredam *passband* pada frekuensi 200 Hz dengan 10 dB dan *stopband* pada frekuensi 250 Hz, 275 Hz, dan 300 Hz dengan 40 dB.

Penelitian selanjutnya[7] dapat ditemukan dalam jurnal yang dilakukan pada Mei 2020 menjelaskan mengenai metode yang digunakan yaitu *Fourier Transform*. Pada penelitian ini Kebisingan sinyal *audio* dapat dikurangi dengan menggunakan metode penyaringan dan dalam sistem ini filter *high-pass* dan *low-pass* yang dirancang di Matlab dengan frekuensi sampling 8000 Hz. Proses transformasi *fourier* memiliki dua parameter utama, yang pertama adalah mencari sampling rate atau frekuensi sampling f_s , yaitu jumlah rata-rata sampel dalam satu detik. Yang terakhir adalah memilih jumlah sampel dan selalu berupa bilangan bulat.

Kemudian untuk penelitian [8] yang dilakukan pada tahun 2019 dapat dijumpai bahwa penelitian ini menggunakan metode *Mel Frequency Ceptral Coefficient* (MFCC) dan *Gaussian Mixture Model* (GMM). Pada penelitian ini, filter *low-pass* hanya dapat meredupkan sedikit suara frekuensi tinggi, masih banyak fitur atau fungsi lain yang sejenis untuk pengurangan *noise*. Kinerja model yang diusulkan tidak cukup tinggi. Masalahnya bisa jadi karena tingginya *noise* saat menambahkan *noise* di program karena data sudah mengandung *noise* alami, bukan *noise* sintetis yang dihasilkan oleh program computer.

Pada penelitian yang dilakukan pada tahun 2019 [9], dilakukan perbandingan kinerja filter *Butterworth* berdasarkan spesifikasi frekuensi untuk pengolahan

sinyal suara. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah filter Butterworth dengan menggunakan beberapa jenis filter untuk perbandingan, yaitu *Low Pass Filter*, *Band Pass Filter*, dan *High Pass Filter*. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan preprocessing sinyal suara dengan membandingkan kinerja filter *Infinite Impulse Response* (IIR) pada desain filter *Butterworth* berdasarkan frekuensi yang dilewatkan. Hasil penelitian membuktikan bahwa Filter IIR dengan desain *Butterworth* efektif dan dapat diaplikasikan dalam pengolahan sinyal suara.

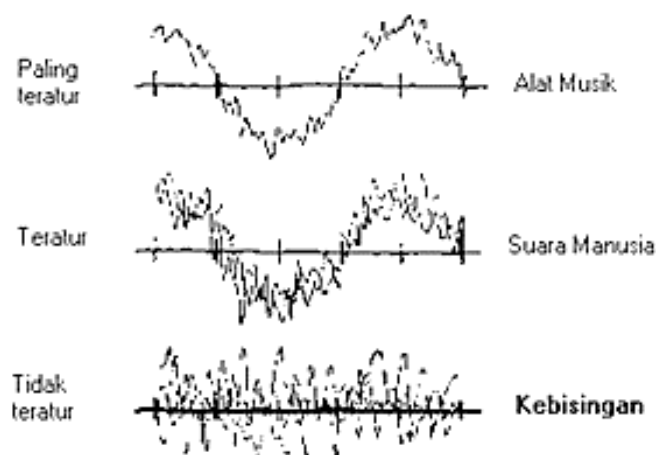
Untuk penelitian [10] yang dilakukan pada Mei 2020, menjelaskan tentang metode yang digunakan yaitu filter *Notch* dan *Elliptic*. *Notch filter* sangat efisien dalam menghilangkan sinyal noise pada frekuensi tertentu. Sebagai peningkatan di masa mendatang, teknik dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas sinyal ucapan *audio* keluaran untuk kejernihan dan efek yang lebih baik. Karena menggunakan filter berbeda dengan frekuensi *cut-off* berbeda untuk menghilangkan *noise* dari sinyal *audio*, sinyal yang difilter mendekati sinyal *audio* asli. Filter takik dan *elliptic* sangat efektif dalam menghilangkan sinyal *noise*. Dalam penelitian ini fokus pada sinyal kereta api sebagai sinyal kebisingan.

Penelitian [18] yang dilakukan pada Mei tahun 2018, berfokus pada evaluasi Sistem Digital Audio (SDA) menggunakan metode *Signal-to-Distortion Ratio* (SDR). Hasil optimasi yang diperoleh menunjukkan rata-rata BER (*Bit Error Rate*) sebesar 0,113, ODG (*Objective Difference Grade*) sebesar -0,6, SNR (*Signal-to-Noise Ratio*) sebesar 31,290, dan SDG (*Signal-to-Distortion Grade*) sebesar 4,6. Pada penelitian ini terjadi peningkatan BER sebesar 45% dibandingkan sebelum dilakukan optimasi. Namun, berdasarkan kriteria imperceptibility, disimpulkan bahwa noise terdengar, namun tidak mengganggu audio secara signifikan.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Kebisingan (*Noise*)

Kebisingan dapat didefinisikan sebagai suara yang tidak diinginkan dan dapat menyebabkan ketidaknyamanan bagi pendengarnya. Bising sendiri bisa diartikan sebagai bunyi yang tidak dikehendaki yang berasal dari berbagai aktivitas, baik dari alam maupun aktivitas buatan manusia, seperti suara mesin. Menurut *World Health Organization* (WHO), tidak ada perbedaan antara suara dan kebisingan. Suara adalah sebuah persepsi sensorik, sementara kebisingan merupakan suara yang tidak dikehendaki. Lebih lanjut, kebisingan seringkali mengacu pada gangguan yang tidak memiliki pola atau alasan tertentu dalam pita frekuensi yang digunakan. Kebisingan dapat ditandai oleh getaran-getaran yang tidak teratur dan memiliki bentuk yang tidak biasa. Faktor-faktor yang mempengaruhi kebisingan antara lain pola intensitas, frekuensi, dan sumber bunyi yang dihasilkan [11].



Gambar 2. 1 Macam-Macam Pola Frekuensi Suara [12].

Pada Gambar 2.1 merupakan gambar macam-macam pola frekuensi dari yang paling teratur sampai tidak teratur. Dapat dilihat bahwa pola paling teratur itu untuk alat musik, teratur untuk suara manusia, dan pola frekuensi yang tidak teratur untuk kebisingan [12]. Pola bunyi atau suara biasanya berada di antara dua ujung ini. Sumber-sumber kebisingan dapat berasal dari dua jenis:

1. Bising *Interior* (dalam): Bising *interior* atau bising dalam merupakan sumber kebisingan yang berasal dari aktivitas manusia, alat-alat rumah tangga, atau mesin-mesin yang ada di dalam gedung atau ruangan.

2. Bising *Outdoor* (luar): Bising *outdoor* atau bising luar adalah sumber kebisingan yang berasal dari aktivitas di luar gedung atau ruangan, seperti lalu lintas, transportasi, industri, alat-alat mekanis yang terlihat di gedung, konstruksi gedung, perbaikan jalan, kegiatan olahraga, dan lain-lain yang terjadi di luar ruangan atau gedung [13].

Kedua jenis kebisingan ini dapat mempengaruhi kualitas lingkungan dan kesehatan manusia, oleh karena itu, penting untuk mengelolanya dengan baik. Berdasarkan jenis noise sendiri dapat dibedakan menjadi 2 yaitu:

1. Internal Noise (Derau Internal)

Internal Noise adalah noise yang dibangkitkan oleh komponen-komponen dalam sistem komunikasi itu sendiri. Internal Noise ini terdiri dari Thermal Noise, Shot Noise, Flicker Noise dan Transit Time Noise.

- a. Thermal Noise atau disebut juga dengan Johnson Noise ini adalah noise yang dibangkitkan oleh gerakan thermal acak pembawa muatan (biasanya elektron) dalam sebuah konduktor. Amplitudo pada Thermal Noise tidak terikat pada frekuensi tertentu sehingga noise ini dapat terjadi pada seluruh jangkauan frekuensi. Thermal Noise merupakan noise yang sulit untuk dihindari.
- b. Shot Noise (Derau Tembakan) ini terjadi karena adanya penghalang potensial atau Potential Barrier. Shot Noise umumnya muncul di perangkat atau komponen elektronika aktif seperti Dioda dan Transistor karena pada komponen-komponen aktif tersebut memiliki persimpangan Positif dan Negatif atau PN Junction. Ketika Elektron dan Holes melintasi penghalang, maka akan menimbulkan noise yang disebut dengan Shot Noise atau Derau Tembakan.
- c. Flicker Noise yang juga dikenal dengan nama $1/f$ Noise ini adalah Jenis noise yang terjadi pada rentang frekuensi dibawah beberapa kiloHertz (kHz). Densitas daya spektral noise jenis ini akan semakin meningkat seiring dengan penurunan frekuensi. Oleh karena itu, Flicker Noise ini juga disebut dengan Low Frequency Noise atau Derau Frekuensi Rendah. Flicker Noise ini juga sering disebut dengan Contact Noise atau Pink Noise.
- d. Transit Time adalah waktu yang dibutuhkan untuk pembawa muatan untuk berpindah dari input ke output. Jadi yang dimaksud dengan Transit Time Noise adalah noise yang timbul pada saat transit time pembawa muatan semikonduktor

yaitu pada saat pembawa muatan melintasi persimpangan yang dibandingkan dengan jangka waktu sinyal tersebut. Transit Time Noise ini sering disebut juga dengan High Frequency Noise.

2. Eksternal Noise (Derau Eksternal)

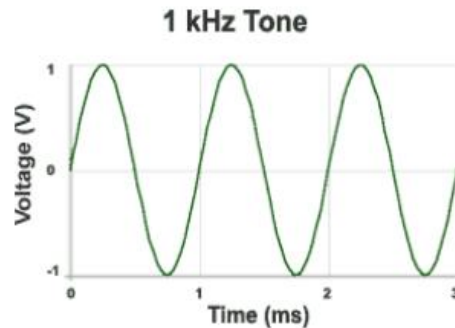
Eksternal Noise atau derau eksternal adalah gangguan yang timbul dari luar sistem elektronik itu sendiri. Gangguan ini tidak dihasilkan oleh komponen internal rangkaian atau perangkat elektronik. Derau Eksternal ini mencakup Atmospheric Noise, Industrial Noise, dan Extraterrestrial Noise.

- a. Derau Atmosfer, juga dikenal sebagai Derau Statis, merupakan sumber gangguan listrik yang terjadi secara alami dan terkait dengan atmosfer bumi. Sumber Derau Atmosfer dapat berasal dari petir, kilat, badai, dan peristiwa alam lainnya yang berhubungan dengan atmosfer.
- b. Derau Industri adalah gangguan yang dihasilkan oleh aktivitas manusia, seperti operasi motor listrik, perubahan gigi mesin, sakelar lampu, serta fluktuasi tiba-tiba tegangan dan arus listrik tinggi. Derau Industri juga dikenal sebagai Derau Buatan Manusia karena berasal dari kegiatan manusia.
- c. Derau Luar Angkasa adalah sinyal listrik yang berasal dari luar atmosfer bumi. Terbagi menjadi dua jenis berdasarkan asalnya, Solar Noise yang berasal dari panas matahari, dan Cosmic Noise yang merambat sepanjang galaksi. Derau Luar Angkasa dapat memengaruhi sistem komunikasi dan elektronik di Bumi [24].

2.2.2 Gelombang Suara

Gelombang suara merupakan gelombang yang dihasilkan oleh benda yang bergetar. Misalnya, ketika senar gitar dipetik, gitar bergetar dan getaran ini merambat melalui udara, air, atau material lainnya. Suara tidak dapat merambat di ruang hampa udara, karena memerlukan medium untuk merambat. Gelombang suara memiliki lembah dan puncak yang membentuk siklus atau periode. Frekuensi adalah jumlah siklus yang terjadi dalam satu detik dan diukur dalam *Hertz* (Hz). Telinga manusia mampu mendengar bunyi dengan frekuensi antara 20 Hz hingga 20 KHz (20.000 Hz), yang sesuai dengan batas sinyal *audio*. Sinyal *audio* adalah sinyal yang dapat diterima oleh telinga manusia. Frekuensi 20 Hz merupakan

frekuensi suara terendah yang dapat didengar, sementara 20 KHz adalah frekuensi tertinggi yang dapat didengar oleh manusia. Batas frekuensi ini mempengaruhi kemampuan kita dalam mendengarkan dan memproses berbagai sinyal suara [19].



Gambar 2. 2 Gelombang pada nada konstan frekuensi tertentu [20].

Gelombang suara dapat direpresentasikan dalam grafik x versus y seperti pada Gambar 1-5. Ini memudahkan dalam pemvisualisasian gelombang dengan sudut pandang matematis, menghasilkan bentuk gelombang. Bentuk gelombang ini menunjukkan gelombang pada frekuensi konstan [20].

2.2.3 Filter Frekuensi

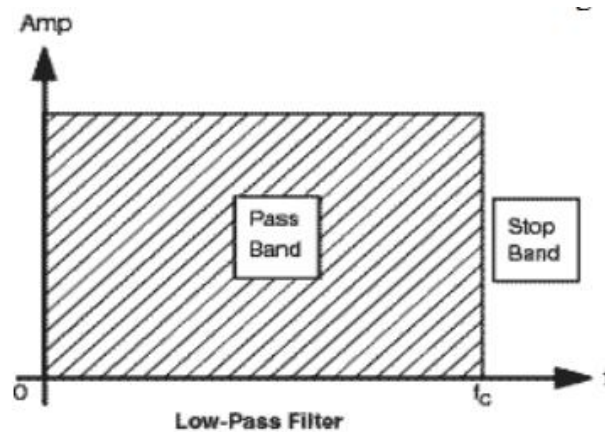
Filter frekuensi dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu filter aktif dan filter pasif. Filter aktif menggunakan komponen elektronik pasif dan aktif seperti *operational amplifier (OP-AMP)*, *transistor*, dan komponen lainnya. Filter ini memerlukan sumber daya tambahan agar dapat berfungsi (misalnya, op-amp dan *transistor* memerlukan sumber daya untuk beroperasi). Sementara itu, filter pasif adalah rangkaian filter yang hanya menggunakan komponen pasif, seperti *resistor*, *kapasitor*, dan *induktor*. Filter ini tidak memerlukan sumber daya tambahan untuk berfungsi, karena komponen pasif tidak memerlukan sumber daya eksternal. Perbedaan utama antara filter aktif dan pasif terletak pada kebutuhan sumber daya tambahan untuk komponen aktif. Filter aktif memerlukan sumber daya eksternal agar komponen aktif dapat beroperasi, sementara filter pasif tidak memerlukan sumber daya tambahan untuk digunakan atau bekerja [14].

Filter pasif memiliki beberapa jenis, yaitu *Low Pass Filter (LPF)* Filter ini hanya melewatkan frekuensi rendah dan menghambat frekuensi tinggi. *High Pass Filter (HPF)* Filter ini hanya melewatkan frekuensi tinggi dan menghambat

frekuensi rendah. *Band Stop Filter* (BSF) Filter ini memblokir atau menghambat frekuensi tertentu, sementara frekuensi lainnya dibiarkan melewati filter. *Band Pass Filter* (BPF) Filter ini melewatkan frekuensi tertentu dan menghambat frekuensi di luar rentang tersebut. Ini merupakan kebalikan dari *Band Stop Filter*. Keempat jenis filter ini memberikan kemampuan pengolahan sinyal audio yang berbeda tergantung pada kebutuhan aplikasi. Filter pasif dapat digunakan secara efektif untuk menghilangkan atau memperkuat komponen frekuensi tertentu dalam sinyal suara tanpa menggunakan komponen elektronik aktif seperti op-amp atau *transistor*. Berikut penjelasan lebih dari keempat filter tersebut:

1. *Low Pass Filter* (LPF)

Filter jenis ini adalah filter *low-pass*. Filter *low-pass* memiliki respon yang memungkinkan sinyal dengan frekuensi di bawah frekuensi *cut-off* (F_c) untuk dilewatkan atau melewati filter, sementara sinyal dengan frekuensi di atas frekuensi *cut-off* akan diredam atau dihambat oleh filter. Dengan demikian, filter *low-pass* digunakan untuk melewatkan komponen frekuensi rendah dari sinyal dan meredam komponen frekuensi tinggi. Atau lebih jelasnya *low pass filter* sendiri merupakan jenis filter yang memungkinkan sinyal pada frekuensi rendah untuk melewati filter, sementara sinyal pada frekuensi tinggi akan diblokir. Filter ini biasanya digunakan dalam pengolahan sinyal untuk menghilangkan *noise* atau gangguan pada sinyal *audio*.



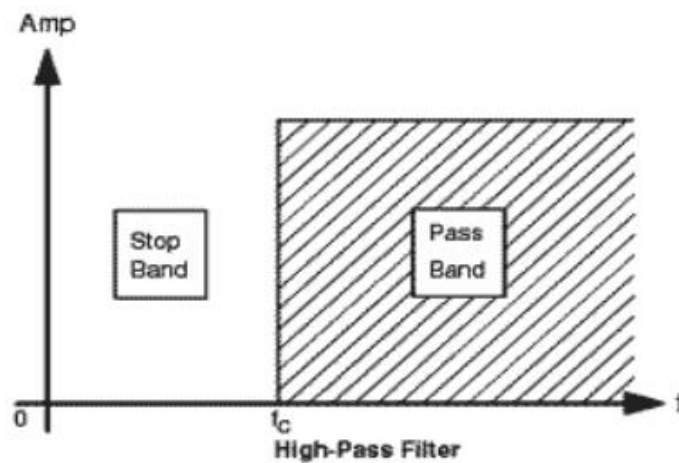
Gambar 2. 3 Grafik *Low Pass Filter* [14].

Pada Gambar 2.3 menunjukkan grafik *low pass filter*, grafik tersebut menjelaskan bahwa frekuensi dibawah *cut-off* merupakan *pass band* sedangkan

diatas frekuensi *cut-off* merupakan *stopband*. Filter yang diloloskan yaitu *pass band*.

2. High Pass Filter (HPF)

Filter jenis ini adalah filter *high-pass*. Filter high-pass memiliki respon yang memungkinkan sinyal dengan frekuensi di atas frekuensi *cut-off* (F_c) untuk dilewatkan atau melewati filter, sementara sinyal dengan frekuensi di bawah frekuensi *cut-off* akan diredam atau dihambat oleh filter. Dengan demikian, filter *high-pass* digunakan untuk melewatkan komponen frekuensi tinggi dari sinyal dan meredam komponen frekuensi rendah.



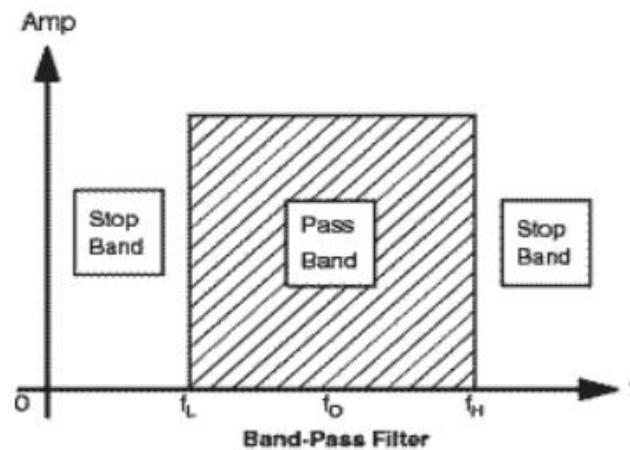
Gambar 2. 4 Grafik High Pass Filter [14].

Pada Gambar 2.4 menunjukkan grafik *high pass filter* yang menjelaskan bahwa respon yang diloloskan merupakan filter *pass band*. *High pass filter* adalah jenis filter yang memungkinkan sinyal pada frekuensi tinggi untuk melewati filter, sementara sinyal pada frekuensi rendah akan diblokir. Filter ini biasanya digunakan dalam pengolahan sinyal untuk memperkuat sinyal pada frekuensi tinggi dan menghilangkan sinyal pada frekuensi rendah.

3. Band Pass Filter (BPF)

Band Pass filter adalah jenis filter yang memungkinkan sinyal dalam rentang frekuensi tertentu untuk melewati filter, sementara sinyal di luar rentang frekuensi tersebut akan diblokir atau dihambat. Filter ini biasanya digunakan dalam pengolahan sinyal untuk memisahkan komponen frekuensi yang diinginkan dari *noise* atau gangguan pada sinyal audio dalam rentang frekuensi tertentu. Dengan

menggunakan *Band Pass filter*, kita dapat fokus pada komponen frekuensi yang penting sambil mengurangi gangguan di frekuensi lainnya, sehingga meningkatkan kualitas sinyal *audio* yang dihasilkan.

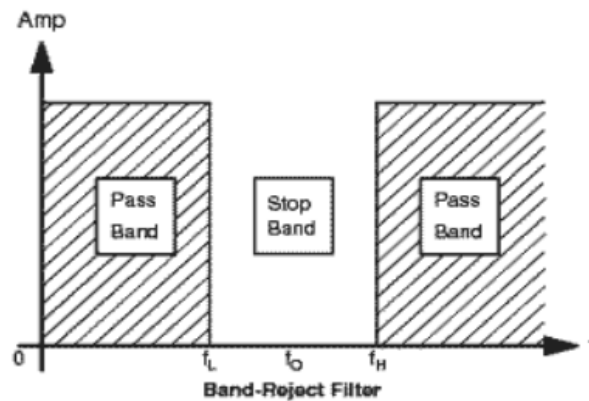


Gambar 2. 5 Grafik *Band Pass Filter* [14].

Pada Gambar 2.5 menunjukkan grafik band pass filter. filter jenis ini merupakan gabungan dari filter *high-pass* (HPF) dan *low-pass* (LPF), sehingga memiliki respon yang memungkinkan sinyal dengan frekuensi di antara dua frekuensi *cut-off* (F_{c1} dan F_{c2}) untuk dilewatkan atau melewati filter. Sementara itu, sinyal dengan frekuensi di luar rentang frekuensi *cut-off* akan diredam atau dihambat oleh filter. Dengan demikian, filter *band pass* digunakan untuk memperkuat komponen frekuensi di antara F_{c1} dan F_{c2} , sementara meredam komponen frekuensi di luar rentang tersebut.

4. *Band Stop Filter* (BSF)

Band Stop filter adalah jenis filter yang memungkinkan sinyal dalam rentang frekuensi tertentu untuk diblokir atau dihambat, sementara sinyal di luar rentang frekuensi tersebut akan melewati filter. Filter ini biasanya digunakan dalam pengolahan sinyal untuk memisahkan komponen frekuensi yang diinginkan dari noise atau gangguan pada sinyal *audio* dalam rentang frekuensi tertentu. Dengan menggunakan *Band Stop filter*, kita dapat menghilangkan atau mengurangi gangguan pada frekuensi tertentu, sehingga meningkatkan kualitas sinyal *audio* yang dihasilkan.



Gambar 2. 6 Grafik *Band Stop Filter* [14].

Pada Gambar 2.6 menunjukkan grafik band stop filter berkebalikan dengan *Band Pass Filter* (BPF). Filter BSF merupakan gabungan dari filter *low-pass* (LPF) dan *high-pass* (HPF), sehingga memiliki respon yang memungkinkan sinyal dengan frekuensi di luar rentang dua frekuensi *cut-off* (F_{c1} dan F_{c2}) untuk melewati filter. Sementara itu, sinyal dengan frekuensi di antara dua frekuensi *cut-off* akan dihambat atau diblokir oleh filter. Dengan demikian, filter BSF digunakan untuk menghilangkan atau mengurangi komponen frekuensi di antara F_{c1} dan F_{c2} , sementara membiarkan sinyal di luar rentang tersebut untuk melewati filter tanpa gangguan. Penggunaan *Band Stop filter* penting dalam pengolahan sinyal untuk menghilangkan noise atau gangguan pada sinyal audio dalam rentang frekuensi tertentu.

Filter analog seringkali didesain melalui pendekatan prototipe filter. Pendekatan ini melibatkan merancang filter analog yang memiliki karakteristik yang diinginkan dalam domain frekuensi dan kemudian mengubah filter tersebut menjadi filter digital menggunakan teknik transformasi.

Tabel 2.1 Filter Analog Didesain Melalui Prototipe Filter [22].

LPF	HPF	BPF	BSF
$\delta_p, \delta_s,$	$\delta_p, \delta_s,$	$\delta_p, \delta_s,$	$\delta_p, \delta_s,$
$\Omega_c = 1$	$\Omega_c = 1$	$\Omega_c = 1$	$\Omega_c = 1$
$\Omega_{stop} = \frac{\omega_{stop}}{\omega_c}$	$\Omega_{stop} = \frac{\omega_c}{\omega_{stop}}$	$\Omega_{stop} = \frac{\omega_4 - \omega_3}{\omega_2 - \omega_1}$	$\Omega_{stop} = \frac{\omega_4 - \omega_3}{\omega_2 - \omega_1}$

Persamaan filter analog prototype filter dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Dimana:

1. δ_p adalah parameter yang mengacu pada frekuensi "*passband*" yang telah dinormalisasi.
2. δ_s adalah parameter yang mengacu pada frekuensi "*stopband*" yang telah dinormalisasi.
3. Ω_c adalah frekuensi cutoff yang dinormalisasi dari prototype filter $\Omega_c = 1$ dapat diartikan sebagai frekuensi cutoff prototype filter yang telah dinormalisasi menjadi 1.
4. Ω_{stop} Ini adalah frekuensi stopband yang dinormalisasi dari prototype filter. ω_c adalah frekuensi *cutoff* dalam satuan radian dari filter LPF.
5. ω_{stop} adalah frekuensi stopband dalam satuan radian.

Spesifikasi filter digital dalam bentuk rad (radian) mengacu pada cara mengungkapkan karakteristik frekuensi dari suatu filter digital dalam domain frekuensi. Radian adalah unit pengukuran sudut dalam sistem matematika, dan dalam konteks filter digital, digunakan untuk menyatakan frekuensi dalam domain frekuensi.

Tabel 2.2 Spesifikasi Filter Digital dalam Radian [22].

LPF	HPF	BPF	BSF
$\delta_p, \delta_s,$ $\omega_c = 2\pi (f_c)$ $\omega_{stop} = 2\pi (f_{stop})$	$\delta_p, \delta_s,$ $\omega_c = 2\pi (f_c)$ $\omega_{stop} = 2\pi (f_{stop})$	$\delta_p, \delta_s,$ $\omega_1 = 2\pi (f_1)$ $\omega_2 = 2\pi (f_2)$ $\omega_3 = 2\pi (f_3)$ $\omega_4 = 2\pi (f_4)$ $B = \omega_2 - \omega_1$ $\omega_0 = \sqrt{\omega_1 \omega_2}$	$\delta_p, \delta_s,$ $\omega_1 = 2\pi (f_1)$ $\omega_2 = 2\pi (f_2)$ $\omega_3 = 2\pi (f_3)$ $\omega_4 = 2\pi (f_4)$ $B = \omega_2 - \omega_1$ $\omega_0 = \sqrt{\omega_1 \omega_2}$

Untuk spesifikasi filter digital dalam rad dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Dimana

1. δ_p adalah parameter yang mengacu pada frekuensi "*passband*" yang telah dinormalisasi.

2. ε_s adalah parameter yang mengacu pada frekuensi "stopband" yang telah dinormalisasi.
3. Ω_c adalah frekuensi cutoff yang dinormalisasi dari prototype filter $\Omega_c = 1$ dapat diartikan sebagai frekuensi cutoff prototype filter yang telah dinormalisasi menjadi 1.
4. Ω_{stop} Ini adalah frekuensi stopband yang dinormalisasi dari prototype filter. ω_c adalah frekuensi *cutoff* dalam satuan radian dari filter LPF.
5. ω_{stop} adalah frekuensi stopband dalam satuan radian [22].

2.2.4 Respon Frekuensi

Respon frekuensi adalah respon keadaan *steady state* suatu sistem terhadap masukan sinyal *sinusoida*. Proses mendapatkan respon frekuensi adalah dengan mengolah respon sinyal impuls dari suatu sistem. Respon frekuensi dari sinyal impuls dari $x(n)$, $h(n)$ atau $y(n)$ haruslah diperoleh dengan persamaan 2.1 dibawah.

$$H(e^{j\omega}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h(n)e^{-j\omega n} \quad (2.1)$$

Dimana:

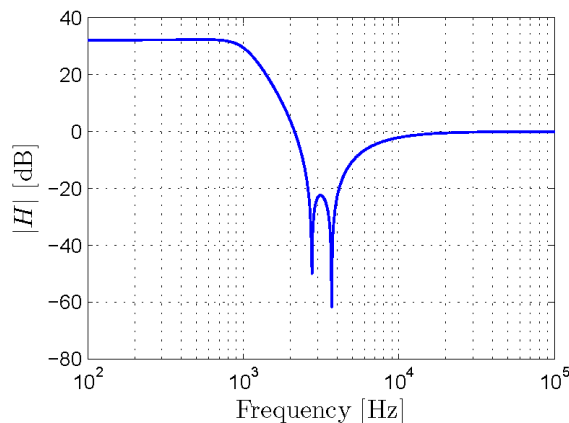
1. $h(n)$ adalah sinyal impuls.
2. $e^{-j\omega n}$ adalah sinyal eksponensial yang dibentuk dari *sinus* dan *cosinus*.
3. $H(e^{j\omega})$ adalah respon frekuensi yang dihasilkan, dan harus diolah sedemikian rupa sampai diperoleh $|H(e^{j\omega})|$ [23].

2.2.5 Metode Elliptic

Filter *elliptic* (juga dikenal sebagai Filter kauer, dinamai dari Wilhelm Cauer, atau sebagai Filter *Zolotarev*, setelah Yegor Zolotarev) adalah filter pemrosesan sinyal dengan perilaku *ripple* yang disamakan (*equiripple*) di keduanya *passband* dan *stopband*. Jumlah *ripple* di setiap pita dapat disesuaikan secara independen, dan tidak ada filter lain dengan urutan yang sama yang dapat memiliki transisi masuk yang lebih cepat memperoleh diantara *passband* dan *stopband*, untuk nilai *ripple* yang diberikan (apakah *ripple* disamakan atau tidak). Alternatifnya, seseorang dapat melepaskan kemampuan untuk menyesuaikan *ripple passband* dan

stopband secara independen, dan sebagai gantinya merancang filter yang secara maksimal tidak sensitif terhadap variasi komponen [15].

Karakteristik dari filter eliptik dapat bervariasi tergantung pada nilai *ripple* pada *stopband* dan *passband*. Ketika nilai *ripple* pada *stopband* mendekati nol, filter akan berperilaku seperti filter *Chebyshev* tipe I. Ketika nilai *ripple* pada *passband* mendekati nol, filter akan berperilaku seperti filter *Chebyshev* tipe II. Dan ketika keduanya, nilai *ripple* pada *stopband* dan *passband* mendekati nol, filter akan berperilaku seperti filter *Butterworth*. Karakteristik dari filter eliptik juga dapat dikontrol dengan mengubah parameter lainnya, seperti derajat kurva atau lebar bandpassnya, sehingga memungkinkan fleksibilitas yang tinggi dalam merancang filter sesuai dengan kebutuhan aplikasi tertentu.



Gambar 2. 7 Kurva Filter *Elliptic* [16].

Gambar 2.7 merupakan contoh kurva pada filter *Elliptic*. Filter *eliptic* (juga dikenal sebagai filter *Cauer*) adalah jenis filter elektronik yang memiliki karakteristik *ripple* yang diratakan pada *passband* dan *stopband*-nya. Filter ini memungkinkan pengaturan nilai *ripple* pada setiap *band* secara tersendiri, dan dengan ini, filter eliptik dapat mencapai transisi gain yang lebih cepat dibandingkan dengan filter lain dengan orde yang sama, dengan diberikan nilai *ripple* yang telah ditentukan (baik diratakan maupun tidak).

Karakteristik dari filter eliptik dapat bervariasi tergantung pada nilai *ripple* pada *stopband* dan *passband*. Ketika nilai *ripple* pada *stopband* mendekati nol, filter akan berperilaku seperti filter *Chebyshev* tipe I. Ketika nilai *ripple* pada *passband* mendekati nol, filter akan berperilaku seperti filter *Chebyshev* tipe II. Dan

ketika keduanya, nilai *ripple* pada *stopband* dan *passband* mendekati nol, filter akan berperilaku seperti filter *Butterworth*.

Nilai dari faktor *ripple* akan mempengaruhi nilai *ripple* pada *passband*, sedangkan kombinasi antara faktor *ripple* dan faktor selektifitas akan mempengaruhi nilai *ripple* pada *stopband*. Dengan demikian, pengaturan nilai *ripple* pada filter eliptik mempengaruhi performa filter dalam meredam frekuensi yang tidak diinginkan dan melewatkan frekuensi yang diinginkan pada sinyal *audio* [16].

Persamaan *laplace* dibawah $H(z)$ adalah transfer function filter dalam domain *Laplace*. Formula tersebut dapat dilihat pada persamaan 2.2.

$$H(z) = \frac{B(z)}{A(z)} = \frac{b(1) + b(2)z^{-1} + \dots + b(n+1)z^{-n}}{a(1) + a(2)z^{-1} + \dots + a(n+1)z^{-n}} \quad (2.2)$$

Dimana:

1. Koefisien fungsi Transfer dari filter, kembali sebagai vektor baris panjang $(n + 1)$ untuk filter rendah dan highpass dan $(2n + 1)$ untuk bandpass dan filter bandstop.
2. B dan A merupakan koefisien dalam design filter.
3. z merupakan filter digital [17].

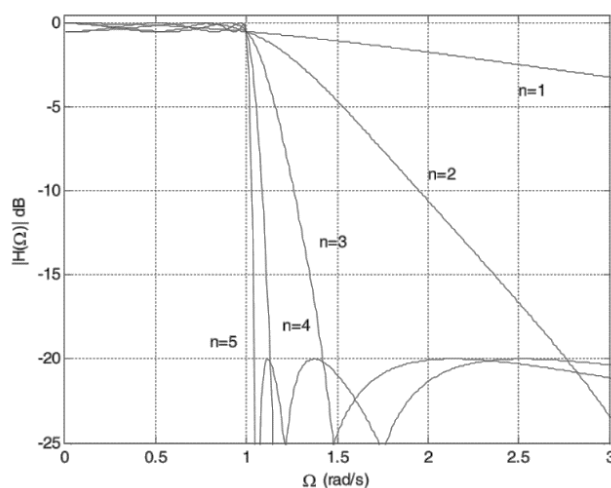
Orde filter adalah parameter yang menentukan kompleksitas filter dan seberapa tajam roll-offnya dalam respons frekuensi. Orde filter dalam konteks filter *elliptic* mengacu pada jumlah kutub (akar persamaan denominasi) atau nol (akar persamaan numerasi) dalam fungsi transfer filter. Setiap orde memiliki karakteristik respons frekuensi yang berbeda.

Tabel 2.3 Orde Filter *Elliptic Prototype* [22].

N	H(s)
1	$\frac{2.8628}{s + 2.8628}$
2	$\frac{s^2 + 1.4742}{s^2 + 1.3430s^2 + 1.5616}$
3	$\frac{0.3642s^2 + 0.9094}{s^3 + 1.2197s^2 + 1.4870s + 0.9094}$
4	$\frac{s^4 + 0.6336s^2 + 0.6837}{s^4 + 1.1351s^3 + 1.8831s^2 + 1.1387s + 0.7242}$

N	H(s)
5	$\frac{0.3099s^4 + 0.8813s^2 + 0.5893}{s^5 + 1.1527s^4 + 2.2236s^3 + 1.7673s^2 + 1.2003s + 0.5983}$

Dapat dilihat pada Tabel 2.3 merupakan orde filter *elliptic prototype*. Dimana n merupakan orde sedangkan s merupakan fungsi transfer filter analog dalam domain waktu kontinu. Pemilihan orde filter akan tergantung pada kebutuhan spesifik aplikasi dan sejauh mana akurasi dan ketajaman karakteristik frekuensi diperlukan. Semakin tinggi orde filter, semakin tajam respons frekuensinya, tetapi juga semakin kompleks implementasinya. Dalam praktiknya, desainer filter perlu mempertimbangkan keseimbangan antara akurasi, kompleksitas, dan sumber daya yang tersedia. Untuk memudahkan penentuan orde dari filter *elliptic* proses tersebut maka menggunakan metode grafik.



Gambar 2.8 Respon Frekuensi Prototipe Elliptic [22].

Pada Gambar 2.8. orde sendiri dapat dilambangkan dalam bentuk n . Penentuan orde filter dilakukan dengan menggambarkan titik $(\omega_{stop}, \delta_s)$. Dalam penelitian ini orde filter yang digunakan yaitu orde ke-4. Karena dapat dilihat pada Gambar 2.8 bahwa semakin tinggi nilai orde yang digunakan hasil grafik respon frekuensi semakin curam, hal tersebut merupakan karakteristik dari filter *elliptic* bahwa hasil respon frekuensi semakin curam maka hasil pemfilteran audio semakin bagus. Karena hasil dari orde 4 merupakan grafik yang hampir memenuhi karakteristik filter *elliptic* jadi orde filter yang digunakan yaitu 4.

2.2.7 Filter Digital

Filter digital merupakan suatu program (algoritma) yang dirancang sedemikian rupa sehingga karakteristiknya menyerupai filter analog yang sesuai. Filter digital lebih banyak digunakan dibandingkan filter analog karena beberapa alasan berikut:

1. Filter digital dapat dirancang dengan fleksibilitas yang lebih besar daripada filter analog. Desain filter digital memungkinkan pengaturan yang lebih tepat terhadap karakteristik frekuensi, seperti frekuensi *cut-off*, lebar pita, dan respons frekuensi lainnya.
2. Filter digital dapat direplikasi dengan akurasi yang tinggi. Setiap filter digital yang sama akan memberikan respons frekuensi yang identik, sementara dalam filter analog, variasi dalam komponen elektronik dan faktor lingkungan dapat menyebabkan perbedaan respons yang lebih besar.
3. Respons frekuensi filter digital dapat dengan mudah disesuaikan (hanya mengganti program atau membuat program untuk filter adaptif).
4. Beberapa sinyal masukan dapat diproses hanya dengan menggunakan satu filter digital.

Namun demikian, terdapat juga beberapa kelemahan filter digital adalah sebagai berikut:

1. Kecepatan dari filter digital (waktu proses) tergantung dari prosesor yang digunakan dan juga kompleksitas algoritma yang digunakan.
2. Perancangan filter membutuhkan waktu yang cukup lama, karena memerlukan beberapa pengetahuan khusus lain, seperti pemrograman dan perangkat keras yang digunakan [19].

2.2.8 Subjective Difference Grade (SDG)

Subjective Differences Grade (SDG) adalah metode penilaian kualitas *audio* yang dilakukan dengan cara membandingkan kualitas dua sumber *audio* yang berbeda, misalnya sumber *audio* asli dan hasil rekaman. Tujuannya adalah untuk menentukan apakah perbedaan antara dua sumber *audio* tersebut dapat didengar oleh pendengar. Penilaian SDG pada *audio* adalah proses untuk mengevaluasi kualitas *audio* dengan mempertimbangkan parameter yang berkaitan dengan

kinerja sinyal, seperti distorsi, kebisingan, dan respons frekuensi. Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa kualitas audio yang dihasilkan sesuai dengan standar tertentu. Penilaian hasil rata-rata nilai SDG dapat dihitung dengan rumus persamaan 2.1 sebagai berikut.

$$\bar{X} = \frac{\Sigma \text{Nilai Skala}}{\Sigma \text{Responden}} \quad (2.1)$$

Keterangan :

1. \bar{X} adalah simbol yang digunakan dalam statistik untuk menunjukkan rata-rata dari sekumpulan data.
2. $\Sigma \text{Nilai Skala}$ adalah sigma atau jumlah dari seluruh nilai skala dari perhitungan SDG
3. $\Sigma \text{Responden}$ adalah sigma atau jumlah dari seluruh responden atau penilai [18].

SDG diperoleh dari beberapa responden, dengan membandingkan perubahan yang terjadi pada audio sebelum dan sesudah disisipi *noise*, kemudian diberi nilai 1 hingga 5. Pada Tabel 2.4 dapat dilihat bahwa semakin besar skala SDG, maka semakin bagus [18].

Tabel 2. 4 Penilaian Rentang Kualitas Suara SDG.

Skala SDG	Kualitas	Deskripsi
1	Sangat Buruk	Noise Sangat Mengganggu
2	Buruk	Noise Mengganggu
3	Cukup	Noise Sedikit Mengganggu
4	Baik	Noise Terdengar, Tetapi Tidak mengganggu
5	Sangat Baik	Noise Tidak Terdengar

Dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai skala maka semakin bagus hasil audio yang dihasilkan dan *noise* tidak terdengar.