

NOISE CANCELLING DENGAN LOW PASS FILTER MENGUNAKAN METODE ELLIPTIC

Oleh: Risma Khanaya Putri¹, Muhammad Panji Kusuma Praja², Reni Dyah Wahyuningrum³, Raditya Artha Rochmanto⁴

^{1,2} Teknik Telekomunikasi, Telkom University

Jl. DI Panjaitan No.128, Purwokerto, Indonesia

^{3,4}Teknik Elektronika, Politeknik Negeri Semarang

Jl. Prof. Soedarto, Tembalang, Kec. Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 50275

Email: ¹19101046@ittelkom-pwt.ac.id, ⁴raditya.artha@polines.ac.id

Abstrak

Pada penelitian ini, dilakukan perancangan dan simulasi filter low pass elliptic untuk meredam noise pada sinyal audio. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja filter elliptic dalam meredam noise dengan menggunakan tiga nilai frekuensi cut-off yaitu 4 KHz, 10 KHz, dan 20 KHz. Simulasi dilakukan menggunakan software Matlab, dan hasilnya dianalisis berdasarkan grafik respon frekuensi, grafik waveform audio sebelum dan sesudah difilter, serta nilai rata-rata Subjective Differences Grade (SDG). Hasil penelitian menunjukkan bahwa filter dengan frekuensi cut-off 4 KHz memberikan hasil terbaik dalam meredam noise, dengan nilai SDG yang mendekati sempurna, dibandingkan dengan frekuensi cut-off 10 KHz dan 20 KHz.

Kata kunci : *Elliptic Filter, low pass filter, noise cancelling, subjective differences grade (DGS).*

1. Pendahuluan

Kebisingan (*noise*) adalah suara yang tidak diinginkan dan sering kali mengganggu konsentrasi serta kenyamanan manusia. Kebisingan dapat berasal dari berbagai sumber, baik alami seperti deru ombak dan angin, maupun buatan seperti suara mesin dan kendaraan bermotor. Kehadiran noise tidak hanya mengganggu ketenangan, tetapi juga dapat berdampak negatif pada kesehatan, terutama dalam lingkungan kerja dan aktivitas sehari-hari (Fathiyyah Zahrany et al., 2022).

Dalam sistem komunikasi, noise merupakan salah satu tantangan utama yang harus diatasi untuk memastikan kualitas transmisi yang optimal. Noise pada perekaman suara, seperti derau ombak di pantai, derau angin, dan kebisingan suara motor, dapat merusak kualitas audio yang dihasilkan, membuatnya menjadi kurang jelas dan tidak nyaman untuk didengarkan. Oleh karena itu, teknik peredaman noise sangat

diperlukan untuk meningkatkan kualitas suara yang dihasilkan oleh perangkat audio seperti speaker aktif atau amplifier (Basuki et al., 2021).

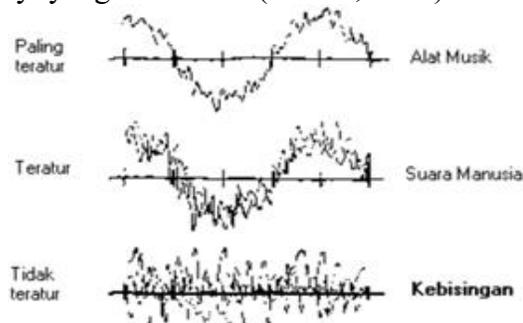
Salah satu metode yang efektif untuk mengurangi noise adalah dengan menggunakan filter (Sulanjari, 2016). Filter Low Pass (LPF) adalah salah satu jenis filter yang digunakan untuk mengurangi noise dengan melewati frekuensi rendah dan meredam frekuensi tinggi yang mengandung noise. Dalam penelitian ini, filter elliptic low pass dipilih karena kemampuannya untuk memberikan respon frekuensi yang tajam dan memiliki rentang frekuensi yang luas. Filter elliptic dikenal memiliki ripple yang disamakan (*equal ripple*) di kedua *passband* dan *stopband*, yang membuatnya sangat efisien dalam pemrosesan sinyal audio.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja filter elliptic low pass dalam meredam noise pada sinyal audio. Simulasi dilakukan dengan menggunakan software Matlab, dan nilai

frekuensi cut-off yang digunakan adalah 4 KHz, 10 KHz, dan 20 KHz. Hasil dari simulasi akan dianalisis berdasarkan grafik respon frekuensi, grafik audio waveform sebelum dan sesudah difilter, serta nilai rata-rata *Subjective Differences Grade* (SDG) (Ledya Novamizanti, 2018).

2. Dasar Teori

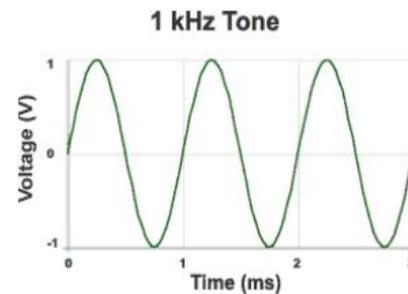
Kebisingan dapat didefinisikan sebagai suara yang tidak diinginkan dan dapat menyebabkan ketidaknyamanan bagi pendengarnya. Bising sendiri bisa diartikan sebagai bunyi yang tidak dikehendaki yang berasal dari berbagai aktivitas, baik dari alam maupun aktivitas buatan manusia, seperti suara mesin. Kebisingan 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 (Hanafi, 2013).



Gambar 1. Macam-Macam Pola Frekuensi Suara

Pada Gambar 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. 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.



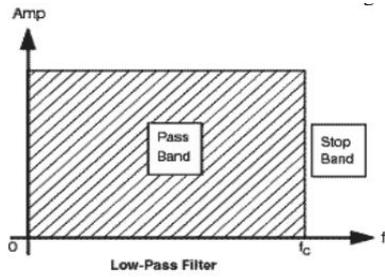
Gambar 2. Gelombang pada nada konstan frekuensi tertentu (Sakdiah et al., 2017)

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 atau disebut dengan filter aktif. Sementara itu, filter pasif adalah rangkaian filter yang hanya menggunakan komponen pasif, seperti resistor, kapasitor, dan induktor (Sakdiah et al., 2017).

Filter adalah alat yang digunakan untuk memproses sinyal dengan cara melewatkan frekuensi tertentu dan meredam frekuensi lainnya. Jenis-jenis filter yang umum digunakan dalam pengolahan sinyal audio antara lain Low Pass Filter (LPF), High Pass Filter (HPF), Band Pass Filter (BPF), dan Band Stop Filter (BSF) (John G. Proakis et al., 2007). Masing-masing filter memiliki karakteristik dan aplikasi tersendiri dalam pengolahan sinyal.

2.1 Low Pass Filter (LPF)

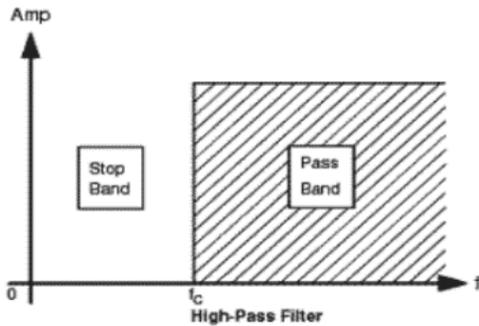
Filter low-pass memiliki respon yang memungkinkan sinyal dengan frekuensi di bawah frekuensi cut-off (F_c) untuk dilewatkan atau melewati filter, sementara sinyal dengan frekuensi di atas frekuensi cut-off akan diredam atau dihambat oleh filter.



Gambar 3. Grafik Low Pass Filter

2.2 High Pass Filter (HPF)

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.

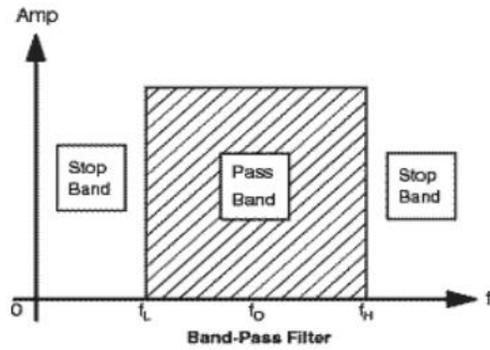


Gambar 4. Grafik High Pass Filter

Pada Gambar 4 menunjukkan grafik *high pass filter* yang menjelaskan bahwa respon yang diloloskan merupakan filter pass band. HPF adalah jenis filter yang memungkinkan sinyal pada frekuensi tinggi untuk melewati filter, sementara sinyal pada frekuensi rendah akan diblokir.

2.3 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.

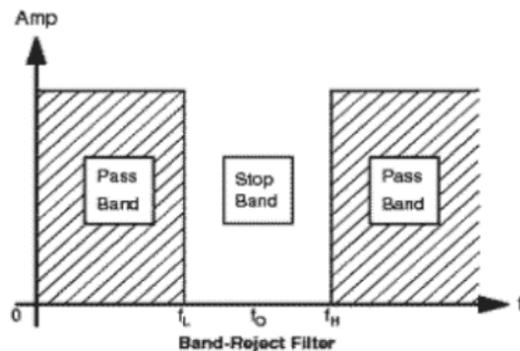


Gambar 5. Grafik Band Pass Filter

Pada Gambar 5. menunjukkan grafik band pass filter. Filter jenis ini merupakan gabungan dari *high pass filter* (HPF) dan *low pass filter* (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.

2.4 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.



Gambar 6. Grafik Band Stop Filter

Pada Gambar 6. menunjukkan grafik band stop filter berkebalikan dengan *Band Pass Filter* (BPF). Filter BSF merupakan gabungan dari *low pass filter* (LPF) dan *high pass filter* (HPF), sehingga memiliki respon yang memungkinkan sinyal dengan frekuensi di luar rentang dua frekuensi *cut-off* (F_{c1} dan F_{c2}) untuk melewati filter.

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 1. Filter Analog Didesain Melalui Prototype Filter (Nemuel Daniel Pah, 2018)

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

Spesifikasi filter digital dalam bentuk rad (radian) mengacu pada cara mengungkapkan karakteristik frekuensi dari suatu filter digital dalam domain frekuensi.

Tabel 2 Spesifikasi Filter Digital dalam Radian (Nemuel Daniel Pah, 2018).

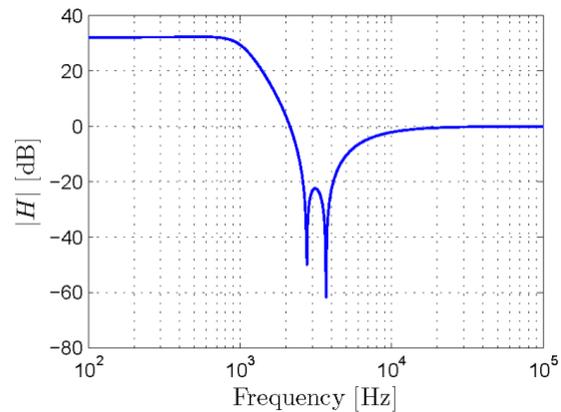
LPF	HPF	BPF	BSF
$\delta_p, \delta_s,$	$\delta_p, \delta_s,$	$\delta_p, \delta_s,$	$\delta_p, \delta_s,$
$\omega_c = 2\pi (f_c)$	$\omega_c = 2\pi (f_c)$	$\omega_1 = 2\pi (f_1)$	$\omega_1 = 2\pi (f_1)$
$\omega_{stop} = 2\pi (f_{stop})$	$\omega_{stop} = 2\pi (f_{stop})$	$\omega_2 = 2\pi (f_2)$	$\omega_2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

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 $y(n)$ diperoleh dengan persamaan sebagai berikut :

$$H(e^{j\omega}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h(n)e^{-j\omega n} \quad (1)$$

Filter elliptic adalah filter pemrosesan sinyal dengan perilaku ripple yang disamakan (*equal ripple*) 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 (Prajoy Podder et al., 2014).



Gambar 7. Kurva Filter Elliptic (John G. Proakis et al., 2007)

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

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

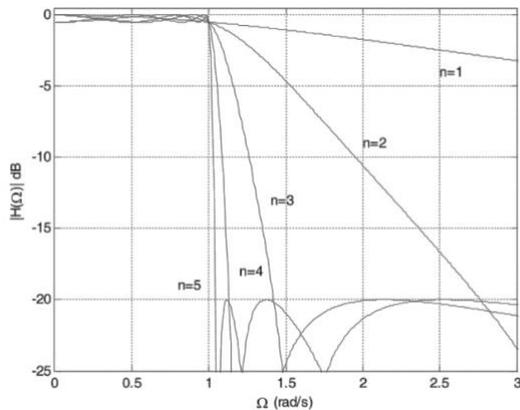
Orde filter adalah parameter yang menentukan kompleksitas filter dan

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 3 Orde Filter Elliptic Prototype (Nemuel Daniel Pah, 2018).

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	$\frac{s^4 + 0.6336s^2 + 0.6837}{s^4 + 1.1351s^3 + 1.8831s^2 + 1.1387}$
5	$\frac{0.3099s^4 + 0.8813s^2 + 0.5893}{s^5 + 1.1527s^4 + 2.2236s^3 + 1.7677s^2 + 1.2003s + 0.5983}$

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.



Gambar 8. Respon Frekuensi Prototipe Elliptic (Yuce et al., 2024). 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 (Ledya Novamizanti, 2018). Penilaian ini dilakukan oleh panelis yang terdiri dari orang-orang yang ahli di bidang audio dan musik. 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 persamaan sebagai berikut (Ledya Novamizanti, 2018):

$$\bar{X} = \frac{\sum \text{Nilai Skala}}{\sum \text{Responden}} \tag{3}$$

Keterangan :

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

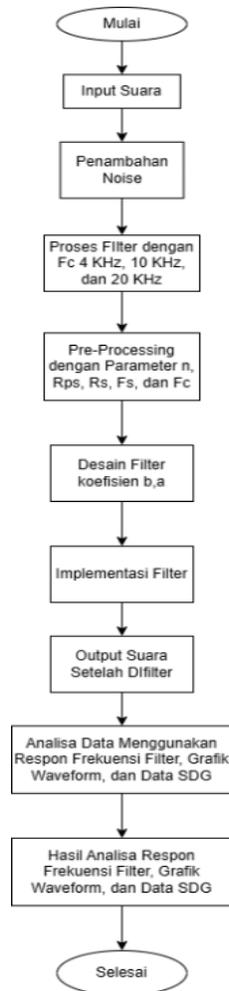
Tabel 4 Nilai Skala SDG (Ledya Novamizanti, 2018)

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.

3. Metode Penelitian

Untuk tahapan pengolahan data pada penelitian ini terdapat diagram alir sebagai berikut :



Gambar 9. Diagram Alir Pengolahan Data

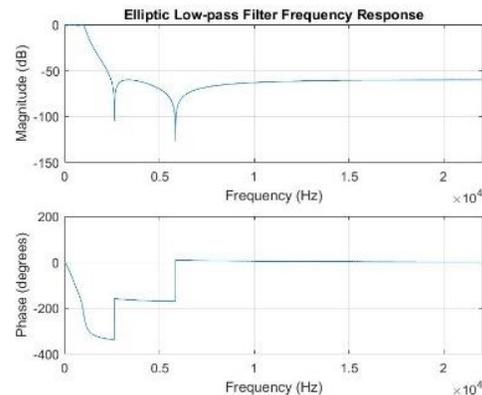
Pada Gambar 9. merupakan alur dalam pengolahan data atau proses dalam melakukan pemfilteran. Pengolahan data pada filter suara digital ini merupakan proses di mana mencari hasil luaran yang diinginkan dengan cara manipulasi atau transformasi data suara dalam domain

digital. Filter suara digital ini juga dikatakan dapat mengubah karakteristik suara, seperti memperkuat atau melemahkan frekuensi tertentu, menghilangkan derau atau gangguan, serta menghasilkan efek khusus pada suara.

4. Hasil dan Analisa

Hasil dari pengujian untuk mengevaluasi kinerja filter audio *low pass filter* menggunakan metode elliptic untuk mendapatkan hasil grafik respon frekuensi, grafik *waveform*, dan rata-rata skala nilai SDG.

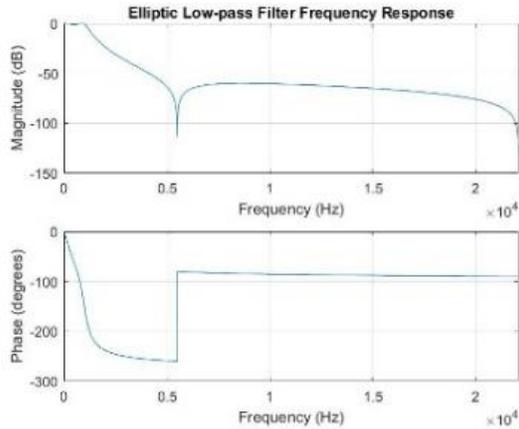
Respon frekuensi elliptic *low pass filter* dapat digambarkan dalam bentuk grafik, yang menunjukkan bagaimana filter merespons sinyal pada berbagai frekuensi. Perbandingan respon frekuensi dengan nilai F_c (Frekuensi Cut-off) 4 KHz, 10 KHz, dan 20 KHz sebagai berikut :



Gambar 10. Grafik Respon Frekuensi (F_c 4 KHz)

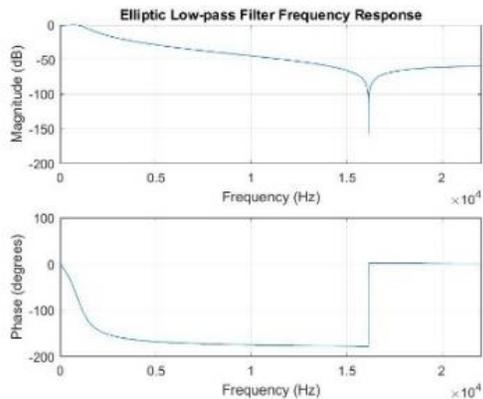
Dapat dilihat dari hasil grafik magnitude dan grafik phase memiliki pergeseran dengan nilai yang sama. Sesuai standar spesifikasi filter frekuensi elliptic low pass filter identik dengan hasil respon frekuensi yang curam kebawah menghasilkan audio yang baik sesuai dengan nilai frekuensi cut-offnya. Nilai frekuensi cut-off semakin kecil hasil respon frekuensi semakin curam kebawah, karena dalam simulasi ini nilai frekuensi cut-off terkecil adalah 4 KHz jadi hasil audio hampir sempurna tidak ada noise sesuai dengan hasil audio original

sebelumnya dan grafik respon frekuensinya curam kebawah.



Gambar 11. Grafik Respon Frekuensi (Fc 10 KHz)

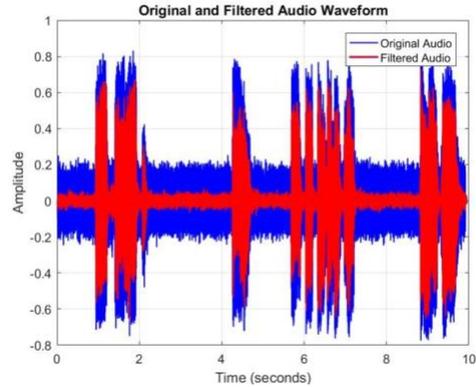
Nilai frekuensi cut-off semakin kecil hasil respon frekuensi semakin curam, karena dalam simulasi ini nilai frekuensi cut-off yang digunakan adalah 10 KHz jadi hasil audio kurang maksimal masih yerdapat sedikit noise dan grafik respon frekuensi sedikit landai kurang curam kebawah. Dapat dilihat dari hasil grafik magnitude dan grafik phase memiliki pergeseran dengan nilai yang sama.



Gambar 12. Grafik Respon frekuensi (Fc 20 KHz)

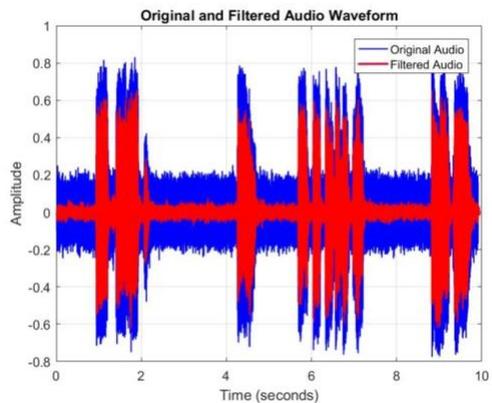
Nilai frekuensi cut-off semakin kecil hasil respon frekuensi semakin curam, karena dalam simulasi ini nilai frekuensi cut-off yang digunakan adalah 20 KHz jadi hasil audio masih terdapat banyak *noise* karena frekuensi tinggi yang diblokir lebih sedikit dan grafik respon frekuensi landai kurang curam kebawah.

Dapat disimpulkan bahwa semakin kecil nilai frekuensi cut-off hasil magnitude respon frekuensi semakin curam dan semai kn besar nilai frekuensi cut-off semakin landai hasil magnitude respon frekuensinya.



Tabel 13. Grafik Audio Waveform Frekuensi Cut-off 4 KHz

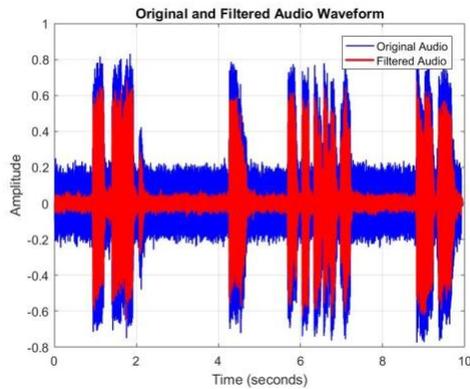
Dapat dikatakan bahwa dengan menggunakan frekuensi cut-off ini hasil audio lebih jernih daripada hasil audio yang menggunakan frekuensi cut-off lebih dari 4 KHz. Untuk grafik sumbu x yaitu menunjukkan nilai dari waktu audio, dapat dilihat tidak ada perubahan dari nilai audio sebelum dan sesudah difilter. Sehingga dengan adanya perbedaan tersebut membuktikan bahwa audio terfilter dengan baik.



Gambar 14. Grafik Audio Waveform Frekuensi Cut-off 10 KHz

Dapat dikatakan bahwa dengan menggunakan frekuensi cut-off ini hasil audio sedang masih ada *noise* sedikit daripada hasil audio yang menggunakan

frekuensi cut-off 4 KHz.



Gambar 15. Grafik Audio Waveform Frekuensi Cut-off 20 KHz

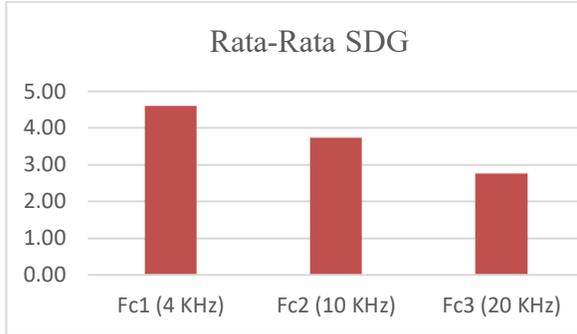
Dapat dikatakan bahwa dengan menggunakan frekuensi cut-off ini hasil audio terdapat lebih banyak noise daripada hasil audio yang menggunakan frekuensi cut-off 4 KHz dan 10 KHz. Untuk grafik sumbu x yaitu menunjukkan nilai dari waktu audio, dapat dilihat tidak ada perubahan dari nilai audio sebelum dan sesudah difilter. Walaupun pada hasil grafik hanya beda tipis perubahannya dari pemfilteran yang menggunakan frekuensi cut-off (F_c) 4 KHz dan 10 KHz tapi hasil audio lebih terlihat bahwa hasil audio yang menggunakan 20 KHz lebih banyak terdengar noisenya.

Penilaian SDG pada audio ini 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. Dapat dilihat dari Tabel 1. Penilaian SDG dari 30 responden. Dari tabel tersebut akan diambil nilai rata-rata. Rata-rata dari nilai SDG dapat menggunakan (3).

Tabel 5 Penilaian SDG Responden

No	Nama	Nilai SDG	Nilai SDG F_c2 10 KHz	Nilai SDG F_c3 20 KHz
----	------	-----------	-------------------------	-------------------------

		F_{c1} 4 KHz		
1	Sufiana	4	3	1
2	Syifareona	4	1	2
3	Soulenia R	4	2	1
4	Angger	5	3	3
5	Wildan M	5	5	3
6	Mahewara L	4	3	2
7	Ganif	5	5	3
8	Riyana	5	4	2
9	Rikko	5	4	4
10	Hanuf S	5	4	3
11	Ukhti	5	4	3
12	Nadhia	5	4	3
13	Desi	5	4	4
14	Milla	4	3	3
15	Rania	5	5	5
16	Usi Fajri	3	4	2
17	M Rendi	5	4	3
18	Aditya W	4	3	3
19	Indra S	4	4	3
20	Nur Ayu	5	4	3
21	Indra B	4	3	2
22	Yurisni	4	4	3
23	Vieri Muflih	4	3	2
24	Amelia Ayu	5	4	3
25	Salsabila	5	4	3
26	Sabda	5	4	2
27	Fina Fauniza	5	4	3
28	Nedta Febry	5	4	3
29	Sandry	5	4	3
30	Nauval Hilmi	5	4	3
Jumlah		138	112	83



Gambar 16. Rata- Rata SDG

Dari Gambar 15 dapat dilihat bahwa sumbu y menyatakan hasil dari rata-rata nilai SDG yang didapatkan dari jumlah nilai skala yang telah diambil sebelumnya dengan jumlah dari responden yaitu 30 orang. Untuk sumbu x menunjukkan Fc_1 (4 KHz), Fc_2 (10 KHz), dan Fc_3 (20 KHz) yaitu nilai frekuensi *cut-off* yang digunakan dalam pengambilan data SDG dan simulasi pemfilteran. Dapat dilihat bahwa nilai frekuensi cut-off dengan nilai 4 KHz (Fc_1 4 KHz), frekuensi cut-off dengan nilai 10 KHz (Fc_2 10 KHz), dan frekuensi cut-off dengan nilai 20 KHz (Fc_3 20 KHz). Dapat disimpulkan bahwa dari ketiga frekuensi cut off, nilai rata rata yang paling banyak pada pemfilteran suara lowpass yaitu saat menggunakan 4 KHz, sedangkan nilai rata-rata yang paling sedikit yaitu pada saat menggunakan frekuensi cut-off 20 KHz. Ini menunjukkan bahwa kualitas suara setelah difilter paling baik menggunakan frekuensi cut-off 4 KHz.

5. Kesimpulan

Dari simulasi filter audio elliptic low pass filter dengan menggunakan frekuensi cut-off (f_c) 4 KHz, 10 KHz, dan 20 KHz, dapat disimpulkan bahwa filter dengan f_c 4 KHz memberikan hasil terbaik dalam mempertahankan detail audio, meskipun memiliki tingkat distorsi yang lebih tinggi dibandingkan dengan filter f_c 10 KHz dan 20 KHz. Karakteristik filter elliptic low pass filter menunjukkan respon frekuensi yang tajam sesuai dengan nilai frekuensi cut-off-nya, di mana frekuensi cut-off

yang lebih kecil menghasilkan grafik respon frekuensi yang lebih tajam. Dalam simulasi ini, grafik respon frekuensi terbaik diperoleh pada f_c 4 KHz. Grafik waveform menunjukkan perbedaan yang jelas antara audio yang mengandung noise dan audio yang telah difilter, dengan filter audio pada f_c 20 KHz tidak sebaik filter pada f_c 4 KHz dan 10 KHz. Penilaian SDG menunjukkan bahwa filter dengan f_c 4 KHz memiliki nilai rata-rata 4.6, mendekati sempurna, sehingga hasil pemfilteran dengan f_c 4 KHz dianggap yang terbaik.

REFERENSI

- Basuki, A., Widyastuti, D. S., & Driyo, C. (2021). IMPLEMENTASI LOW PASS FILTER PADA PEMBATA BIDANG KOMUNIKASI SUARA UNTUK MENINGKATKAN KAPASITAS KANAL KOMUNIKASI. *KURVATEK*, 6(2), 237–246. doi: 10.33579/krvtk.v6i2.2743
- Fathiyyah Zahrany, Luthfiah Rahma Sekar Kinasih, Uswatun Rina Pamungkas, & Arka Yanitama. (2022). Analisis kebisingan pada ruang kuliah dan lingkungan kampus Universitas Negeri Semarang. *Proceeding Seminar Nasional IPA XII*, 254–261.
- Hanafi. (2013). Simulasi Hasil Perancangan LPF (Low Pass Filter) Digital Menggunakan Prototip Filter Analog Butterworth. *Jurnal Litek*, 10, 15–20.
- John G. Proakis, & Dimitris G. Manolakis. (2007). *Digital Signal Processing : Principles, Algorithms and Applications* (4th ed.). New Delhi: Pearson Education.
- Ledy Novamizanti. (2018). Optimasi Sistem Penyembunyian Data pada Audio Menggunakan Sub-band Stasioner dan Manipulasi Rata-rata Statistik. *ELKOMIKA*, 6, 165–179.
- Nemuel Daniel Pah. (2018). *Pemrosesan Sinyal Digital* (1st ed.). Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Prajoy Podder, Md. Mehedi Hasan, Md.

- Rafiqul Islam, & Mursalin Sayeed. (2014). Design and Implementation of Butterworth, Chebysev-I and Elliptic Filter for Speech Signal Analysis. *International Journal of Computer Applications*, 98(7), 12–18.
- Sakdiah, & Sunomo. (2017). Pengembangan Media Pembelajaran Tapis Sinyal Audio untuk Mata Pelajaran Sifat Dasar Sinyal Audio. *Jurnal Pendidikan Teknik Elektro*, 7(1), 20–27.
- Sulanjari. (2016). NOISE CANCELLATION PADA GELOMBANG BUNYI SEBAGAI UPAYA PEREDAMAN NOISE TANPA BAHAN PEREDAM. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi 2016*, 18–23.
- Yuce, E., & Minaei, S. (2024). Signals, Systems, and Filters. In *Passive and Active Circuits by Example* (pp. 11–34). Cham: Springer Nature Switzerland. doi: 10.1007/978-3-031-44966-6_2