

ANALISIS TEGANGAN *OUTPUT* PADA PERANGKAT AUDIO *AMPLIFIER* SEDERHANA BERBASIS MOSFET IRFZ44N MENGGUNAKAN ALGORITMA *KALMAN FILTER*

Fidela Citra Imanda¹, Husin Almahdi¹, M. Reynaldo Mepa Prawira¹, Melia Sari¹, Iwan Pahendra¹, Desi Windisari¹, Abdul Haris Dalimunthe¹, Puspa kurniasari¹

¹ Teknik Elektro, Universitas Sriwijaya, Indralaya
Corresponding author: reynaldomepa19@gmail.com

ABSTRAK: Audio *Amplifier* merupakan suatu jenis penguat elektronik yang dirancang untuk meningkatkan atau memperkuat daya sinyal masukan. Pada penelitian ini, dilakukan analisis terhadap tegangan *output* pada perangkat audio *amplifier* sederhana berbasis transistor MOSFET IRFZ44N. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari kinerja *amplifier* dalam meningkatkan sinyal audio yang lemah dengan tetap mempertahankan karakteristik frekuensi aslinya serta melakukan analisis mengenai konsumsi tegangan yang digunakan oleh rangkaian audio *amplifier* sederhana. Sistem audio *amplifier* yang digunakan dalam eksperimen ini mengintegrasikan algoritma *Kalman Filter* untuk meminimalkan gangguan dan kebisingan pada sinyal *output*, sehingga meningkatkan kualitas suara yang dihasilkan. Metode yang digunakan mencakup desain, implementasi, dan pengujian rangkaian *amplifier* serta analisis kinerja dengan dan tanpa penerapan *Kalman Filter*.

Kata Kunci: Audio, *Amplifier*, Analisis, Algoritma

ABSTRACT: An audio amplifier is a type of electronic amplifier designed to increase or boost the power of input signals. In this research, an analysis is conducted on the output voltage of a simple audio amplifier device based on the MOSFET IRFZ44N transistor. The research aims to study the amplifier's performance in enhancing weak audio signals while maintaining the original frequency characteristics, as well as to analyze the voltage consumption used by the simple audio amplifier circuit. The audio amplifier system used in this experiment integrates the Kalman Filter algorithm to minimize disturbances and noise in the output signal, thereby improving the quality of the produced sound. The methods used include the design, implementation, and testing of the amplifier circuit, as well as performance analysis with and without the application of the Kalman Filter.

Keywords: Audio, *Amplifier*, Analysis, Algorithm

]]PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi audio yang semakin pesat telah membuat teknologi audio *amplifier* menjadi semakin canggih dan sempurna. Perkembangan ini mengarah pada kesempurnaan suara yang dihasilkan dan penggunaan di berbagai peralatan elektronik [1].

Audio *amplifier* banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk sistem suara rumah, perangkat audio portable, dan komunikasi radio. Pada dasarnya, sebuah audio *amplifier* berfungsi untuk meningkatkan amplitudo sinyal audio tanpa mengubah karakteristik frekuensi aslinya. Hal ini memungkinkan sinyal suara yang lemah, seperti keluaran dari mikrofon atau sinyal radio, dapat diperkuat sehingga cukup kuat untuk menggerakkan speaker atau headphone [2].

Transistor MOSFET IRFZ44N menjadi salah satu pilihan untuk perangkat audio *amplifier* sederhana karena kemampuannya dalam meningkatkan sinyal dengan efisiensi daya yang lebih tinggi. Namun, *amplifier* sederhana menggunakan MOSFET sering mengalami masalah ketidakstabilan tegangan *output* yang mempengaruhi kualitas suara dan fluktuasi daya yang tidak terduga. Maka dari itu diperlukan metode untuk menganalisis dan meningkatkan stabilitas tegangan *output* pada audio *amplifier* sederhana berbasis MOSFET.

Kalman Filter merupakan algoritma untuk memperkirakan kondisi sistem dinamis dan menyaring *noise* dari sinyal. *Kalman Filter* bekerja dengan memprediksi dan mengestimasi sinyal tegangan *output* berdasarkan pengukuran sebelumnya. *Kalman Filter* mampu menghasilkan sinyal audio yang lebih stabil dan

berkualitas dengan mengurangi fluktuasi tegangan *output* akibat ketidakstabilan daya.

TINJAUAN PUSTAKA

Konsep Dasar Audio *Amplifier*

Audio *Amplifier* merupakan suatu jenis penguat elektronik yang dirancang untuk meningkatkan atau memperkuat daya sinyal masukan. Rangkaian audio *amplifier* biasanya digunakan sebagai blok terakhir dalam rantai penguat audio sehingga mampu meningkatkan sinyal input ke tingkat yang cukup tinggi [1].

Prinsip Kerja Audio *Amplifier*

Audio *Amplifier* bekerja dengan mengambil sinyal audio berdaya rendah dan meningkatkan besarnya ke level yang cukup tinggi untuk menggerakkan speaker atau perangkat *output* lainnya yang didukung melalui kombinasi komponen elektronik dan rangkaian amplifikasi dan pemrosesan sinyal. Sinyal audio yang umumnya dalam bentuk gelombang tegangan akan melalui tahap input *amplifier* yang mencakup *preamplifier* dimana bertanggung jawab dalam memperkuat sinyal audio lemah dari sumber (mikrofon atau input lainnya) ke tingkat yang sesuai untuk amplifikasi lanjutan. Kemudian sinyal yang diperkuat akan diteruskan ke tahap amplifikasi utama sebagai tempat penguatan sinyal yang sesungguhnya. Pada tahap ini dilakukan implementasi menggunakan berbagai konfigurasi *amplifier* (Kelas A, Kelas B, Kelas AB, atau Kelas D). Sinyal diperkuat pada tahap amplifikasi utama akan diteruskan ke tahap *output* yang bertanggung jawab untuk menggerakkan speaker atau perangkat *output* lainnya. Tahap *output* terdiri dari power *amplifier* yang menyalurkan daya yang cukup ke beban atau *output* (speaker dan lain-lain) sehingga *output* sesuai keinginan [3], [4].

Transistor Mosfet IRFZ44N

Mosfet IRFZ44N merupakan transistor mosfet tipe *N-Channel* dengan daya tinggi dan dapat berperan sebagai penguat daya audio (*power amplifier*). Mosfet ini umumnya digunakan pada berbagai aplikasi pengelola daya karena mampu menangani arus dan tegangan tinggi dengan optimal dan efisien [5].

Resistor

Resistor adalah komponen elektronik pasif yang membatasi dan menghambat arus listrik dalam sebuah sirkuit rangkaian listrik. Nilai resistansi yang diberikan oleh resistor menentukan seberapa besar arus yang dapat melewati sirkuit tersebut [6].

Potensiometer

Potensiometer adalah resistor variabel yang dapat digunakan untuk mengatur level sinyal, tegangan, atau arus dalam sebuah sirkuit. Potensiometer mengatur nilai resistansi yang dapat mengalir dalam rangkaian listrik. Potensiometer sering digunakan dalam kontrol volume pada perangkat audio [7].

Elco

Elco adalah singkatan dari *electrolytic capacitor*, jenis kapasitor yang memiliki kapasitansi besar dan digunakan untuk menyimpan arus listrik sementara dan melepaskan energi dalam sirkuit elektronik. Kapasitor ini sering digunakan dalam catu daya untuk penyaring, pengaman, dan penstabil tegangan [8].

Baterai

Baterai adalah sumber daya listrik portabel yang mengubah energi kimia menjadi energi listrik melalui reaksi kimia. Baterai digunakan untuk menyediakan daya listrik ke berbagai perangkat elektronik ketika tidak ada sumber listrik tetap [9].

Speaker

Speaker adalah transduser elektroakustik yang mengubah sinyal listrik menjadi gelombang suara. Speaker digunakan dalam berbagai perangkat audio untuk menghasilkan suara yang dapat didengar oleh manusia [10].

Kalman Filter

Kalman Filter merupakan algoritma untuk memperkirakan kondisi sistem dinamis dan menyaring *noise* dari sinyal. *Kalman Filter* bekerja dengan memprediksi dan mengestimasi sinyal tegangan *output* berdasarkan pengukuran sebelumnya. Persamaan *Kalman Filter* dibagi menjadi dua yaitu persamaan pembaruan waktu atau *time update* dan pembaruan pengukuran atau *measurement update*. Pembaruan waktu atau *time update* dilakukan untuk menghitung kuantitas apriori untuk waktu $k + 1$. Pada *time update*, memprediksi kondisi sistem pada waktu berikutnya berdasarkan data atau kondisi sebelumnya. Persamaan *time update* dapat dilihat pada persamaan 1 dan 2 [11].

$$\hat{x}_{k+1|k} = A_k \hat{x}_{k|k} + B_k u_k \tag{1}$$

$$P_{k+1|k} = A_k P_{k|k} A_k^T + Q_k \tag{2}$$

Measurement update memperbarui prediksi berdasarkan pengukuran yang terjadi. *Kalman Filter* menerima data pengukuran dan melakukan koreksi terhadap hasil prediksi. Pada *measurement update*

dilakukan pengukuran *Kalman Gain* menggunakan persamaan 3, nilai proses aktual \hat{x}_k dan nilai pasca-estimasi state pada persamaan 4 serta nilai pasca-estimasi kovarian error menggunakan persamaan 5 [11].

$$\hat{x}_k = \hat{x}_{k-1} + K_k (y_k - \hat{y}_{k-1}) \quad (3)$$

$$\hat{y}_k = C \hat{x}_k + D \quad (4)$$

$$P_k = (I - K_k C) P_{k-1} \quad (5)$$

Untuk mengukur efektivitas *Kalman Filter* dalam menstabilkan tegangan *output*, kita dapat menghitung persentase perubahan pada persamaan 6 dengan membandingkan deviasi tegangan sebelum dan setelah penerapan filter [12].

$$P_b = (F_b - F_a) / F_b \times 100\% \quad (6)$$

Dimana:

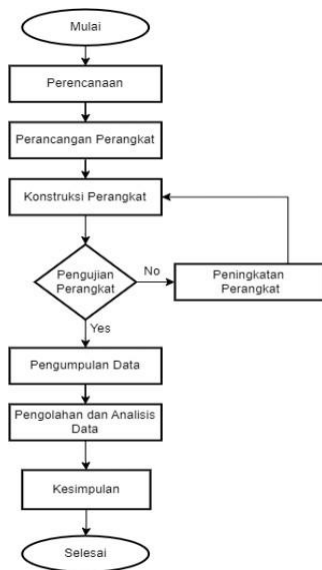
P_b = Persentase Perubahan

F_b = Fluktuasi Sebelum

F_a = Fluktuasi Setelah

METODE

Dalam penelitian melalui beberapa tahapan dimulai dari perencanaan hingga kesimpulan yang direpresentasikan pada diagram alur penelitian yang ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

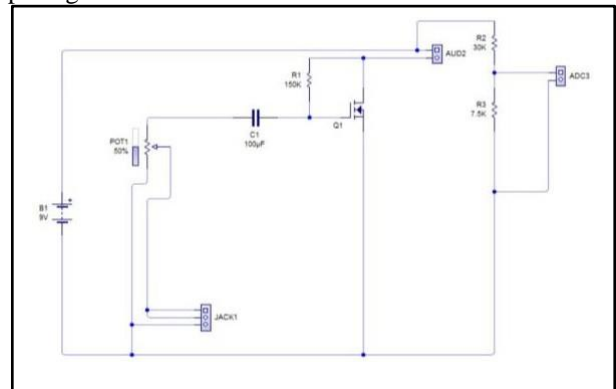
1. Perencanaan (Planning)

Pada tahap ini, tim penulis melakukan identifikasi kebutuhan dan tujuan dari penelitian ini, termasuk pemilihan komponen utama seperti MOSFET IRFZ44N sebagai elemen penguat utama dalam perangkat audio *amplifier*. Pada tahap ini juga dilakukan kajian literatur untuk memahami karakteristik MOSFET IRFZ44N dan

penggunaan Algoritma *Kalman Filter* untuk memproses sinyal keluaran dari *amplifier*.

2. Perancangan Perangkat (Designing the Device)

Pada tahap ini, tim penulis melakukan perancangan skematik perangkat *amplifier* berbasis MOSFET IRFZ44N. Perancangan ini mencakup penentuan konfigurasi rangkaian, penempatan komponen, dan pengaturan jalur sinyal yang dapat dilihat pada Gambar 2. Selain itu, tim penulis juga membuat rancangan kode algoritma *Kalman Filter* untuk diintegrasikan ke sistem audio *amplifier* yang berguna untuk memproses sinyal keluaran agar dapat mengurangi *noise* dan konsumsi daya perangkat.



Gambar 2. Rangkaian Skematik Livewire Audio Amplifier Sederhana

3. Konstruksi Perangkat (Constructing the Device)

Pada tahap ini, tim penulis merakit perangkat berdasarkan rancangan yang telah dibuat pada tahap perancangan perangkat. Komponen-komponen seperti MOSFET, resistor, kapasitor, dan lain-lain disusun dan disolder sesuai dengan skema rangkaian. Setelah perangkat selesai dirakit, dilakukan pemeriksaan awal untuk memastikan bahwa semua komponen berfungsi dengan baik.

4. Pengujian Perangkat (Testing the Device)

Pada tahap ini, setelah perangkat selesai dikonstruksi, tim penulis melakukan pengujian awal perangkat untuk memverifikasi fungsionalitas perangkat. Pada tahap ini, perangkat diuji dengan mengukur tegangan keluaran menggunakan multimeter digital pada berbagai kondisi input untuk memastikan bahwa *amplifier* berfungsi sesuai dengan spesifikasi desain.

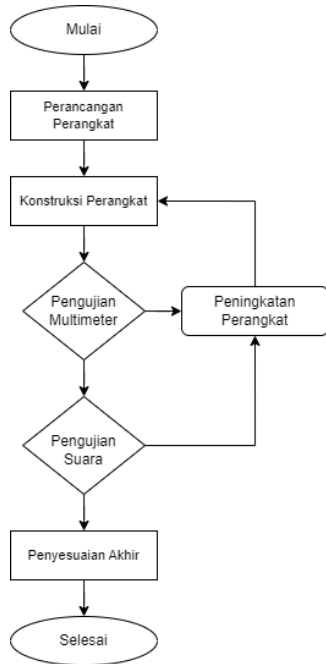
5. Peningkatan Perangkat (Making an Upgrade to the Device)

Pada tahap ini, berdasarkan hasil pengujian awal, tim penulis melakukan modifikasi pada perangkat untuk meningkatkan kualitas sinyal dan performa perangkat. Peningkatan ini mungkin mencakup penyesuaian nilai komponen, perbaikan tata letak rangkaian, dan peninjauan

ulang algoritma *Kalman Filter* untuk meningkatkan akurasi pemrosesan sinyal.

6. Pengujian Ulang Perangkat (*Re-testing the Device*)

Pada tahap ini, setelah perangkat ditingkatkan, dilakukan pengujian ulang untuk memastikan bahwa modifikasi yang dilakukan telah memperbaiki performa perangkat. Proses pengujian ini serupa dengan tahap pengujian awal, di mana tegangan keluaran diukur kembali menggunakan multimeter digital pada berbagai kondisi input yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Proses Pengujian Perangkat

7. Pengumpulan Data (*Collecting the Data*)

Pada tahap ini, setelah perangkat berfungsi dengan baik, dapat dilihat pada Gambar 4 dilakukan pengumpulan data dengan merekam tegangan keluaran dari input yang berbeda pada perangkat *amplifier* melalui aplikasi Arduino. Data yang dikumpulkan mencakup tegangan keluaran sebelum dan sesudah penerapan *Kalman Filter*, sehingga memungkinkan untuk melakukan analisis perbandingan efektivitas filter.



Gambar 4. Pengambilan Data Perangkat Audio *Amplifier* Sederhana

8. Pengolahan Data (*Processing the Data*)

Pada tahap ini, data yang telah dikumpulkan kemudian diolah dan dianalisis menggunakan metode statistik untuk mengevaluasi performa *amplifier* dan efektivitas *Kalman Filter* dalam mengurangi *noise* dan meningkatkan kualitas sinyanya. Pengolahan data menggunakan *google spreadsheet* kemudian hasil analisis disajikan dalam bentuk grafik dan tabel, serta diinterpretasikan untuk menjawab tujuan penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada tahap awal, dilakukan pengujian terhadap tegangan *output* perangkat audio *amplifier* sederhana berbasis MOSFET IRFZ44N tanpa menggunakan *Kalman Filter*. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui fluktuasi tegangan pada sinyal audio. Input yang digunakan adalah lagu *Believer* oleh *Imagine Dragons*. Data yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 5 yang menunjukkan bahwa tegangan *output* bervariasi cukup besar yang menyebabkan kualitas audio menjadi tidak optimal. Fluktuasi ini juga menunjukkan bahwa sinyal audio tidak stabil terutama pada frekuensi tertentu.

BEFORE					
TIME (s)	Vout Vol 0% (Volt)	Vout Vol 25% (Volt)	Vout Vol 50% (Volt)	Vout Vol 75% (Volt)	Vout Vol 100% (Volt)
1	0,81	0,81	0,39	0,81	0,81
2	0,83	0,78	1,93	0,24	0,83
3	0,81	0,63	1,07	0,32	0,66
4	0,81	1,27	0,88	0,90	0,49
5	0,83	0,95	0,78	0,98	0,63
6	0,81	0,90	0,93	0,83	0,95
7	0,81	0,76	1,03	2,10	0,83
8	0,78	0,73	1,88	0,88	0,71
9	0,85	0,90	1,46	0,88	0,71
10	0,83	0,88	0,68	0,39	0,71
AVERAGE	0,817	0,861	1,103	0,833	0,733

Gambar 5. Data Pengujian Sebelum Menggunakan *Kalman Filter*

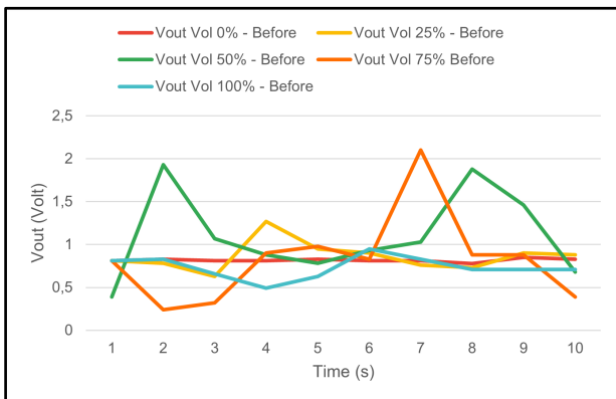
Setelah diterapkan *Kalman Filter*, dilakukan pengujian ulang untuk melihat pengaruh *Kalman Filter* terhadap stabilitas tegangan *output*. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 6 yang menunjukkan adanya peningkatan signifikan terhadap kestabilan tegangan *output*. Fluktuasi yang berlebihan berhasil di optimasi kan

sehingga hasil tegangan *output* menjadi lebih stabil. Tegangan *output* mengikuti perubahan dinamis dari lagu secara lebih teratur dengan lonjakan yang lebih rendah dibandingkan pengujian sebelum diterapkan *Kalman Filter*.

AFTER					
TIME (s)	Vout Vol 0% (Volt)	Vout Vol 25% (Volt)	Vout Vol 50% (Volt)	Vout Vol 75% (Volt)	Vout Vol 100% (Volt)
1	0,35	0,33	0,37	0,37	0,87
2	0,58	0,58	0,43	0,84	0,90
3	0,66	0,63	0,66	0,76	0,82
4	0,70	0,67	0,71	1,03	0,70
5	0,73	0,67	0,65	0,62	0,48
6	0,73	0,68	0,65	0,88	0,49
7	0,73	0,68	0,64	0,73	0,35
8	0,75	0,75	0,49	0,66	0,33
9	0,77	0,69	0,58	0,62	0,48
10	0,76	0,71	0,57	0,56	0,32
AVERAGE	0,676	0,639	0,575	0,707	0,574

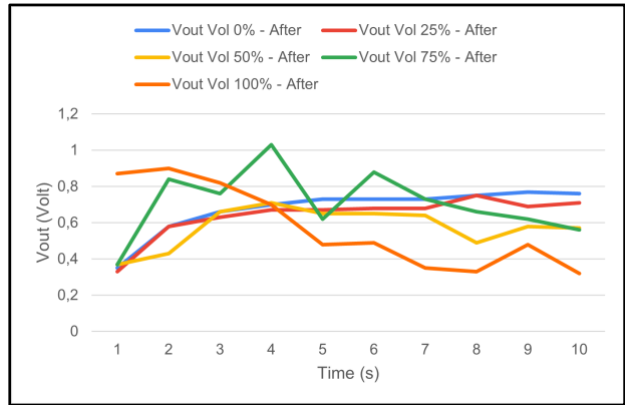
Gambar 6. Data Pengujian Setelah Menggunakan *Kalman Filter*

Gambar 7 menampilkan grafik tegangan *output* sebelum menggunakan *Kalman Filter* yang menunjukkan adanya fluktuasi tegangan yang tidak stabil sepanjang durasi pengujian. Adanya perubahan yang tajam pada grafik mengindikasikan ketidakstabilan daya dalam sistem *amplifier*.



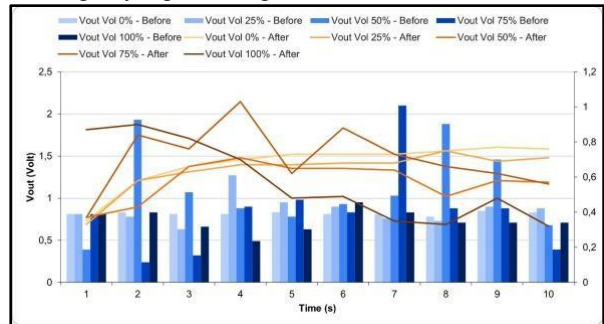
Gambar 7. Grafik Data Sebelum Menggunakan *Kalman Filter*

Gambar 8 menunjukkan grafik tegangan *output* yang lebih stabil dengan fluktuasi yang lebih terkendali. Lonjakan tegangan pada pengujian sebelum digunakan *Kalman Filter* telah berkurang secara signifikan dan sinyal menjadi lebih halus. Stabilitas tegangan *output* menghasilkan peningkatan kualitas suara.



Gambar 8. Grafik Data Setelah Menggunakan *Kalman Filter*

Gambar 9 menunjukkan grafik data gabungan sebelum dan setelah penggunaan *Kalman Filter* dengan memvisualisasi kan kedua grafik sebelumnya dalam bentuk yang berbeda guna menunjukkan hasil perbandingan yang lebih signifikan.



Gambar 9. Grafik Data Gabungan Sebelum dan Setelah Penggunaan *Kalman Filter*

Setelah mendapatkan hasil data dalam bentuk grafik, langkah selanjutnya adalah menghitung persentase perubahan guna mengukur efektivitas *Kalman Filter* dalam menstabilkan tegangan *output* dari perangkat dengan menggunakan rumus persentase perubahan.

$$Pb = (Fb - Fa) / Fb \times 100\%$$

Dimana:

Pb = Persentase Perubahan

Fb = Fluktuasi Sebelum

Fa = Fluktuasi Setelah

Persentase perubahan dihitung menggunakan data yang telah dikumpulkan dan disajikan pada gambar 2 dan 3. Pada Gambar 10 dapat dilihat data perhitungan persentase perubahan tegangan *output* di setiap tingkat persentase volume.

Waktu (s)	% Perubahan Vout Vol 0%	% Perubahan Vout Vol 25%	% Perubahan Vout Vol 50%	% Perubahan Vout Vol 75%	% Perubahan Vout Vol 100%
1	56,79%	59,26%	5,13%	54,32%	-7,41%
2	30,12%	25,64%	77,72%	-250,00%	-8,43%
3	18,52%	0,00%	38,32%	-137,50%	-24,24%
4	13,58%	47,24%	19,32%	-14,44%	-42,86%
5	12,05%	29,47%	16,67%	36,73%	23,81%
6	9,88%	24,44%	30,11%	-6,02%	48,42%
7	9,88%	10,53%	37,86%	65,24%	57,83%
8	3,85%	-2,74%	73,94%	25,00%	53,52%
9	9,41%	23,33%	60,27%	29,55%	32,39%
10	8,43%	19,32%	16,18%	-43,59%	54,93%
Rata-rata	17,26%	23,68%	37,65%	-24,07%	18,80%

Gambar 10. Data Persentase Perubahan Tegangan Output Pada Perangkat Audio *Amplifier* Sederhana

Rumus Total Pb Avg:

$$\begin{aligned}
 & \frac{17,26\% + 25,78\% + 47,87\% + 15,12\% + 21,70\%}{5} \\
 & = 25,546\%
 \end{aligned}$$

KESIMPULAN

Berdasarkan data pengujian dan grafik sebelum dan setelah menggunakan *Kalman Filter* dapat dilihat dengan jelas bahwa *Kalman Filter* berhasil memberikan perubahan yang signifikan, dan dengan melakukan perhitungan persentase perubahan di tiap tingkatan persentase volume dan total persentase perubahan, kita dapat menghitung rata-rata persentase perubahan sebesar 25,546% terhadap stabilitas tegangan *output* pada perangkat audio *amplifier* sederhana berbasis MOSFET IRFZ44N. Dapat disimpulkan bahwa *Kalman Filter* mampu mengelola serta mengoptimasi tegangan *output* dan sinyal input yang dinamis terutama ketika terdapat lonjakan-lonjakan pada lagu yang diakibatkan oleh variasi frekuensi dan intensitas suara.

DAFTAR PUSTAKA

[1] B. R. Pratama and I. G. A. Darmawan, "Penerapan Rangkaian *Amplifier* Pada Sound System Sebagai Peredam dan Pengeras Suara," *Repoteknologi.Id*, vol. 2, no. 8, pp. 1–14, 2021.

[2] R. Fadli, "Implementasi Rangkaian Operational *Amplifier* Pada Tune Control," vol. 2, no. 17, pp. 1–10, 2021.

[3] R. O. Renaldy, "Analisis Perbandingan Frekuensi Dan Amplitudo Driver Audio *Amplifier* Antara Menggunakan Transistor C828 Dengan Yang Menggunakan IC LM741," Universitas Islam Lamongan, 2021. [Online]. Available: <http://eprints.unisla.ac.id/295/>

[4] S. Mei, Y. Hu, H. Xu, and H. Wen, "The Class D Audio Power *Amplifier*: A Review," *Electron.*, vol. 11, no. 19, 2022, doi: 10.3390/electronics11193244.

[5] G. Febriyani Pratiwi and S. Ilman, "Prototipe

Inverter 12VDC To 220VAC 200W Untuk Menghidupkan Beban (Lampu Atau Kipas Angin) Saat Terjadi Pemadaman Listrik PLN," *J. Tera*, vol. 2, no. 2, pp. 63–72, 2022, [Online]. Available: <http://jurnal.undira.ac.id/index.php/jurnalera/>

[6] W. Wahyuddin and A. N. S. Ayu, "Aplikasi Pembaca Nilai Resistor Berbasis Android," *J. Sintaks Log.*, vol. 3, no. 1, pp. 17–22, 2023, doi: 10.31850/jsilog.v3i1.2089.

[7] S. Ariyani, D. Irawan, and M. A. Wafi, "Perancangan dan Implementasi Perbaikan Kualitas dari Sinyal Audio Menggunakan IC TDA7439," *J. Tek. Elektro dan Komputasi*, vol. 3, no. 2, pp. 122–134, 2021, doi: 10.32528/elkom.v3i2.4906.

[8] A. Setiawan and S. D. Ramdan, "Penerapan Dan Memahami Pada Rangkaian *Amplifier*," vol. 2, no. 1, pp. 1–9, 2022, [Online]. Available: <http://repoteknologi.id/index.php/repoteknologi/article/view/69>.

[9] Z. Noer and I. Dayana, *Dasar-Dasar Baterai*. Indonesia: Guepedia, 2021. [Online]. Available: https://books.google.co.id/books?hl=id&lr=&id=ziBLEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA7&dq=fungsi+baterai&ots=8aJGiCWYU4&sig=E_Coc2zmeImsieVIE445ar4V_ag&redir_esc=y#v=onepage&q=fungsi+baterai&f=false.

[10] A. Setiawan and I. G. A. Darmawan, "Implementasi *Amplifier* Pada Rangkaian Elektronika Tune Control," *Repoteknologi.Id*, vol. 2, no. 1, pp. 1–12, 2021, [Online]. Available: <http://repoteknologi.id/index.php/repoteknologi/article/view/21/43>.

[11] M. Rezaee, "Kalman Filter based sensor fault detection and identification in an electro-pump system," no. September, 2020, doi: 10.1109/ICCIAutom.2017.8258645.

[12] S. Wicen, "Calculating Percentage Change in Changing Times," *Library Research Service*, 2023. <https://www.lrs.org/2023/05/12/calculating-percentage-change-in-changing-times/>