

**STUDI TEORETIS DAN EKSPERIMENTAL FILTER AKTIF LOLOS RENDAH
DENGAN IC LM741**

***THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDY OF ACTIVE LOW-PASS FILTER
WITH IC LM741***

Riza Ariyani Nur Khasanah*, Departemen Pendidikan Fisika, Universitas Negeri
Yogyakarta, Indonesia

Usman Hidayah, Departemen Pendidikan Fisika, Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia

Erlangga Satrya As Syahrastani Cahyana, Departemen Pendidikan Fisika, Universitas
Negeri Yogyakarta, Indonesia

Rayyan Rahmatullah, Departemen Pendidikan Fisika, Universitas Negeri Yogyakarta,
Indonesia

Achmad Abdulhaq Arrofi'i, Departemen Pendidikan Fisika, Universitas Negeri
Yogyakarta, Indonesia

*e-mail: rizaariyani@uny.ac.id (corresponding author)

Abstrak. Filter aktif lolos rendah (*low-pass active filter*) merupakan salah satu komponen penting dalam pemrosesan sinyal elektronik, digunakan untuk meredam frekuensi tinggi dan melewatkan frekuensi rendah sesuai dengan kebutuhan sistem. Penelitian ini membahas karakteristik frekuensi *cut-off* pada filter aktif lolos rendah berbasis IC LM741 melalui analisis teoritis dan eksperimen. Perhitungan teoritis menunjukkan bahwa frekuensi *cut-off* berada di sekitar 7200 Hz, sementara hasil eksperimen menunjukkan bahwa frekuensi *cut-off* berada di kisaran 10 kHz dengan penurunan gain sekitar -3 dB. Meskipun terdapat perbedaan antara hasil teoritis dan eksperimen, pola penurunan gain yang diamati sesuai dengan prinsip kerja filter aktif lolos rendah, yaitu semakin tinggi frekuensi sinyal masukan, semakin besar redaman yang terjadi. Penyimpangan antara hasil teoritis dan eksperimen terutama disebabkan oleh toleransi komponen, ketidakakuratan alat ukur, serta efek impedansi parasit dalam rangkaian. Hasil penelitian ini membuktikan bahwa filter aktif lolos rendah berbasis IC LM741 dapat berfungsi dengan baik dalam meredam sinyal dengan frekuensi tinggi di atas frekuensi *cut-off*, sehingga sesuai dengan prediksi teoritis dan dapat digunakan dalam berbagai aplikasi pemrosesan sinyal.

Kata Kunci: *Filter aktif lolos rendah, IC LM741, analisis teoretis, eksperimen, frekuensi cut-off*

Abstract. *Low-pass active filter is one of the important components in electronic signal processing, used to attenuate high frequencies and pass low frequencies according to system requirements. This study discusses the characteristics of the cut-off frequency in a low-pass active filter based on the IC LM741 through theoretical and experimental analysis. Theoretical calculations show that the cut-off frequency is around 7200 Hz, while experimental results show that the cut-off frequency is in the range of 10 kHz with a gain reduction of around -3 dB. Although there are differences between theoretical and experimental results, the observed gain reduction pattern is in accordance with the working principle of a low-pass active filter, namely the higher the input signal frequency, the greater the attenuation that occurs. The deviation*

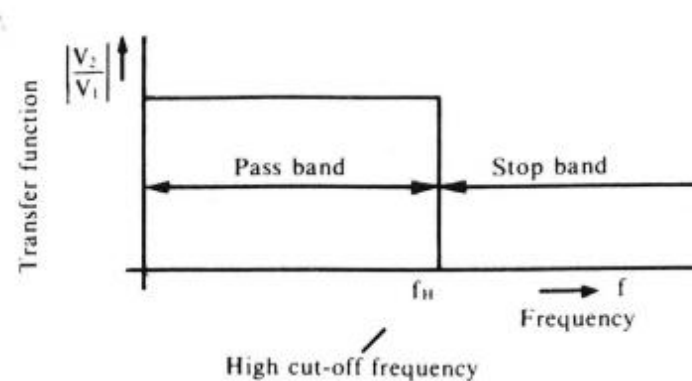
between theoretical and experimental results is mainly due to component tolerance, inaccuracy of measuring instruments, and parasitic impedance effects in the circuit. The results of this study prove that a low-pass active filter based on the IC LM741 can function well in attenuating signals with high frequencies above the cut-off frequency, so that it is in accordance with theoretical predictions and can be used in various signal processing applications.

Keywords: Low pass active filter, IC LM741, theoretical analysis, experiment, cut-off frequency

PENDAHULUAN

Filter merupakan komponen penting dalam sistem elektronika, terutama dalam pemrosesan sinyal. Filter ini digunakan untuk menyaring frekuensi tertentu, baik dengan melewatkan maupun meredamnya, sehingga menghasilkan sinyal yang lebih bersih dan sesuai dengan kebutuhan aplikasi tertentu (Nugraha, Solli & Amir, 2019). Pada filter pasif umumnya hanya menggunakan resistor dan kapasitor atau induktor, sehingga kualitas filter pasif kurang baik, atau bahkan masih mengandung noise, sehingga penguatan (*gain*) untuk filter jenis ini ≤ 1 . Pada filter aktif umumnya menggunakan komponen resistor, kapasitor, dan operational amplifier (Op-Amp), sehingga hasil filter lebih baik dikarenakan pada filter ini terdapat suatu komponen yang digunakan sebagai penguat sinyal dengan penguatan (*gain*) ≥ 1 . Namun, kebutuhan catu daya eksternal, lebih sensitif terhadap perubahan lingkungan, dan frekuensi kerja yang sangat dipengaruhi oleh karakteristik komponen aktifnya (Waters, 1991).

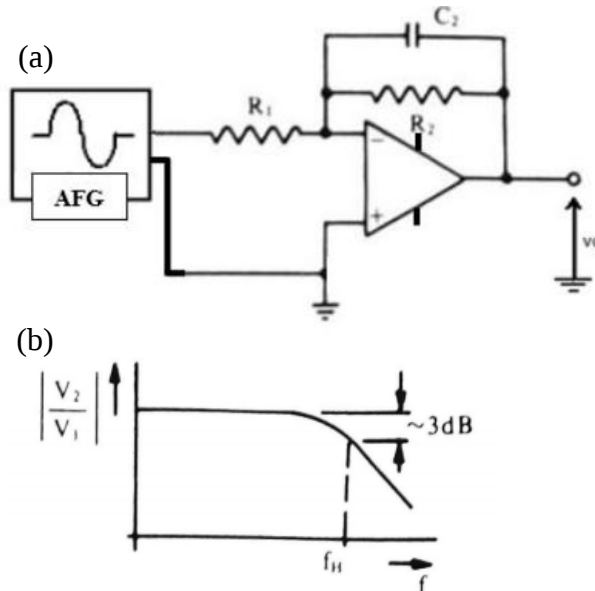
Dalam perancangan filter aktif, pemilihan komponen op-Amp sangat berpengaruh terhadap kinerja filter. Salah satu op-amp yang sering digunakan dalam implementasi filter aktif adalah IC LM741, yang memiliki karakteristik linearitas tinggi dan kestabilan yang baik dalam berbagai kondisi operasional (Fuada et al., 2023). Dengan menggunakan IC LM741, filter aktif dapat dirancang dengan konfigurasi sederhana namun tetap memberikan performa yang optimal (Meiksin, 1990).



Gambar 1. Transfer fungsi filter ideal lolos rendah

Salah satu jenis filter aktif yang umum digunakan adalah filter lolos rendah (*low-pass filter*), yang berfungsi untuk melewatkan frekuensi di bawah frekuensi *cut-off* dan meredam frekuensi di atasnya (Ibadillah et al., 2024). Karakteristik transfer ideal filter lolos rendah ditunjukkan pada Gambar 1. Idealnya, sinyal tidak dilemahkan sama sekali pada pita lolos (*pass band*), dan dilemahkan sepenuhnya pada daerah yang dihalangi (*stop band*) (Meiksin, 1990). Selain itu, idealnya, pergeseran fasa sinyal linier dengan frekuensi pada pita lolos. Pergeseran fasa pada pita stop tidak mempunyai arti penting, karena sinyal tidak ditransmisikan pada pita ini. Dalam kondisi ideal ini, sinyal ditransmisikan tanpa distorsi apa pun dalam

rentang frekuensi pita lolos, dan tidak ditransmisikan sama sekali di luar rentang frekuensi ini. Dalam praktiknya, filter ideal hanya dapat didekati pada berbagai tingkatan, bergantung pada kompleksitas filter. Filter paling sederhana berisi satu kapasitor untuk setiap frekuensi *cut-off*. Tipe ini disebut filter orde pertama. Diagram rangkaian filter lolos rendah orde pertama dan karakteristik frekuensi *cut-off* 3-dB ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. (a) Diagram rangkaian dan (b) karakteristik frekuensi filter lolos rendah:

Penelitian mengenai filter aktif lolos rendah terus berkembang, terutama dalam optimalisasi desain dan implementasi praktisnya. Kajian terdahulu menunjukkan bahwa konfigurasi filter berbasis op-amp memberikan fleksibilitas dalam menyesuaikan respons frekuensi sesuai dengan kebutuhan aplikasi (Karris, 2008). Beberapa penelitian juga menyoroti pemanfaatan filter aktif dalam pemrosesan sinyal audio (Riyanto, Arifa & Salim, 2019) dan pengolahan citra digital (Ndraha & Sinurat, 2018). Selain itu, pendekatan simulasi dan eksperimen telah banyak digunakan untuk mengevaluasi performa filter aktif dalam berbagai kondisi operasional (Fuada et al., 2023; Bao, Wu & Bao, 2017).

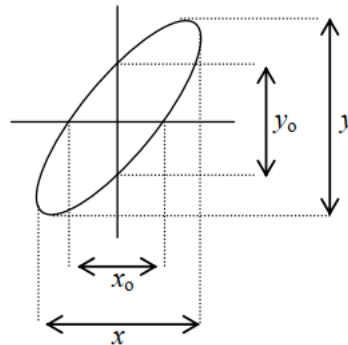
Penelitian ini bertujuan untuk melakukan studi teoritis dan eksperimental terhadap filter aktif lolos rendah yang menggunakan IC LM741. Studi teoritis akan mencakup analisis matematis terhadap karakteristik filter, sedangkan studi eksperimental akan melibatkan realisasi rangkaian dan pengukuran respons frekuensi untuk memverifikasi hasil analisis teoritis. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang lebih mendalam mengenai desain dan implementasi filter aktif berbasis IC LM741.

METODE

Dalam eksperimen ini, berbagai alat dan bahan digunakan untuk merancang serta menguji filter aktif lolos rendah berbasis IC LM741. Komponen utama yang digunakan adalah IC LM741 sebagai penguat operasional yang membentuk karakteristik filter. Selain itu, resistor dengan nilai 1 k Ω (R_1) dan 2,2 k Ω (R_2) serta kapasitor 10 nF (C_2) digunakan untuk menentukan frekuensi *cut-off* filter. Sumber daya dalam rangkaian ini disuplai oleh dua baterai 9V, yaitu sebagai sumber *ground*, -VCC, dan +VCC. *Ground* diperoleh dengan menyambungkan kutub positif dan kutub negatif baterai. Untuk keperluan pengujian, digunakan osiloskop beserta probe guna menganalisis respons frekuensi sinyal keluaran, serta Audio Frequency Generator (AFG) sebagai sumber sinyal input dengan frekuensi yang bervariasi (500 Hz hingga 1MHz). Penyusunan rangkaian dilakukan pada protoboard, dengan bantuan kabel jumper dan kabel

jepit buaya untuk memastikan koneksi yang stabil antar komponen.

Setelah rangkaian penguat filter aktif lolos rendah tersusun sesuai dengan Gambar 2(a), dilakukan tahap pengujian. Sinyal masukan dari AFG diatur berupa sinyal sinusoidal 1,05 Vpp dengan frekuensi tertentu, misal 500 Hz, lalu dihubungkan ke rangkaian filter yang telah disusun. Osiloskop dihubungkan dengan rangkaian untuk mengamati sinyal masukan dan keluaran. Untuk menampilkan kedua sinyal secara bersamaan, tombol DUAL pada osiloskop ditekan sehingga sinyal masukan (V_i) terlihat pada Ch1 dan sinyal keluaran (V_o) pada Ch2. Selanjutnya, dilakukan pengamatan terhadap kedua sinyal tersebut, termasuk pengambilan foto sinyal dari kedua channel serta pencatatan hasil pengamatan.



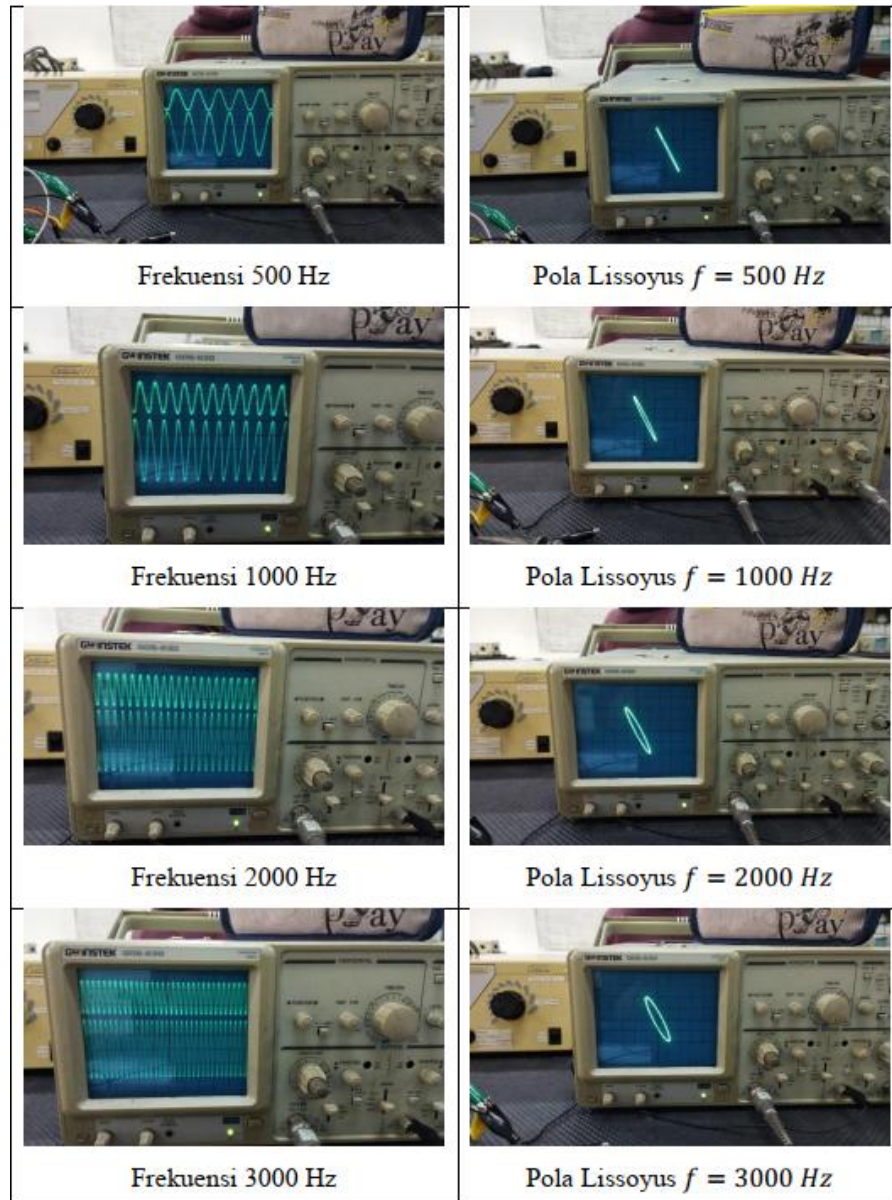
Gambar 3. Pola lissajous untuk menentukan beda fasa

Pengukuran tanggapan fasa pada rangkaian filter aktif dilakukan dengan memanfaatkan osiloskop dalam mode DUAL, yang menampilkan sinyal masukan pada kanal 1 (Ch 1) dan sinyal keluaran pada kanal 2 (Ch 2). Setelah itu, mode XY diaktifkan, sehingga Ch 1 berfungsi sebagai sinyal fasor dan Ch 2 menampilkan pola *Lissajous*. Untuk memastikan akurasi pengukuran, skala *voltage/div* pada kedua kanal diatur pada posisi yang sama. Selanjutnya, mode osiloskop digeser ke posisi Ch 2 agar hanya tampilan sinyal *Lissajous* yang terlihat, seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Sinyal ini kemudian disesuaikan agar berada di tengah layar atau pada posisi simetris terhadap sumbu koordinat osiloskop. Analisis pola *Lissajous* memungkinkan perhitungan besar beda fasa antara sinyal masukan dan keluaran. Dengan menentukan posisi pusat tampilan pada layar osiloskop, besar beda fasa dapat dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$\sin \Delta\varphi = \frac{y_0}{y} = \frac{x_0}{x} \quad (1)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Filter aktif lolos rendah dengan konfigurasi $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 2,2 \text{ k}\Omega$, dan $C_2 = 10 \text{ nF}$ dengan menggunakan rangkaian pada Gambar 2(a) yang diukur pada variasi frekuensi dari 500 Hz sampai dengan 1 MHz menghasilkan sinyal keluaran V_o yang mengalami pembalikan fasa sebesar 180° , sesuai dengan sinyal keluaran *inverting amplifier*. Gambar 4 sisi kiri menunjukkan sinyal masukan (sinyal atas) dan keluaran (sinyal bawah) pada frekuensi 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, dan 3000 Hz. Penguatan (*gain*) diperoleh dengan menghitung rasio antara V_o dan V_i dengan satuan “kali” dan dikonversi ke satuan decibel (dB). Sementara itu, pada sisi kanan terlihat pola *Lissajous* dari masing-masing pengukuran. Pola *Lissajous* dianalisis menggunakan Persamaan (1) untuk memperoleh beda fasa $\Delta\varphi$.



Gambar 4. Foto sinyal masukan dan sinyal keluaran serta pola *Lissajous* yang diukur dari rangkaian filter lolos rendah dengan konfigurasi $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 2,2 \text{ k}\Omega$, dan $C_2 = 10 \text{ nF}$ pada frekuensi 500–3000 Hz

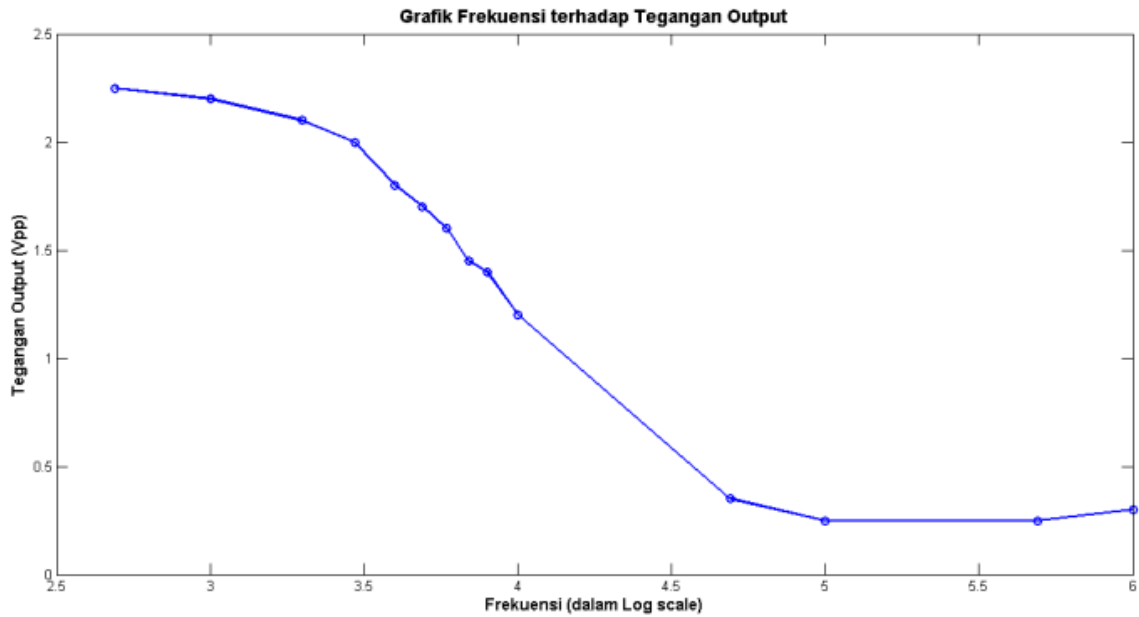
Hasil V_o , $\Delta\phi$, dan gain rangkaian filter aktif lolos rendah yang diukur dari frekuensi 500 Hz sampai dengan 1 MHz disajikan dalam Tabel 1. Data ini mencakup pengukuran respons frekuensi dari rangkaian filter aktif lolos rendah yang telah dirancang dan diuji. Melalui tabel ini, dapat diamati bagaimana V_o berubah terhadap variasi frekuensi sinyal masukan V_i , serta bagaimana filter meredam komponen frekuensi tinggi sesuai dengan prinsip kerjanya. Pengukuran dilakukan menggunakan osiloskop untuk melihat bentuk sinyal sebelum dan sesudah melewati filter, serta mencatat perbedaan amplitudo dan fase antara sinyal masukan dan keluaran. Berdasarkan hasil eksperimen, filter aktif lolos rendah yang dirancang menggunakan IC LM741 menunjukkan karakteristik yang sesuai dengan teori (Meiksin, 1990). Pada frekuensi rendah, V_o relatif tinggi dibandingkan V_i , menunjukkan bahwa sinyal frekuensi rendah dilewatkan dengan baik. Namun, seiring meningkatnya frekuensi, V_o mengalami

penurunan secara bertahap, yang menunjukkan bahwa sinyal frekuensi tinggi mulai diredam oleh filter.

Tabel 1. V_o , $\Delta\phi$, dan gain yang diukur dari rangkaian filter lolos rendah dengan konfigurasi $R_1 = 1\text{ k}\Omega$, $R_2 = 2,2\text{ k}\Omega$, dan $C_2 = 10\text{ nF}$ pada frekuensi 500 Hz – 1 MHz

No	$f\text{ (Hz)}$	$\text{Log } f$	$V_i\text{ (Vpp)}$	$V_o\text{ (Vpp)}$	$\Delta\phi$	Gain	
						Kali	dB
1	500	2,70	1,05	2,25	-3,95	2,14	6,62
2	1000	3,00	1,05	2,2	-7,87	2,10	6,42
3	2000	3,30	1,05	2,1	-15,45	2,00	6,02
4	3000	3,48	1,05	2	-22,51	1,90	5,60
5	4000	3,60	1,05	1,8	-28,93	1,71	4,68
6	5000	3,70	1,05	1,7	-34,64	1,62	4,19
7	6000	3,78	1,05	1,6	-39,66	1,52	3,66
8	7000	3,85	1,05	1,45	-44,04	1,38	2,80
9	8000	3,90	1,05	1,4	-47,86	1,33	2,50
10	10K	4,00	1,05	1,2	-54,10	1,14	1,16
11	50K	4,70	1,05	0,35	-81,76	0,33	-9,54
12	100K	5,00	1,05	0,25	-85,86	0,24	-12,46
13	500K	5,70	1,05	0,25	-89,17	0,24	-12,46
14	1M	6,00	1,05	0,3	-89,59	0,29	-10,88

Gambar 5 menunjukkan respons frekuensi dari sebuah filter lolos rendah, di mana tegangan output V_o diplot terhadap frekuensi dalam skala logaritmik. Dari grafik, terlihat bahwa pada frekuensi rendah, tegangan output relatif tinggi dan stabil. Namun, seiring dengan meningkatnya frekuensi, tegangan output mulai menurun secara bertahap hingga mencapai titik *cut-off*, yang tampak sekitar $\log(f) = 4$. Setelah titik ini, terjadi penurunan drastis pada tegangan output, yang menunjukkan bahwa filter mulai secara efektif meredam komponen frekuensi tinggi. Pada frekuensi yang lebih tinggi lagi, tegangan output mencapai nilai minimum yang relatif konstan, menunjukkan bahwa sinyal frekuensi tinggi telah teredam secara signifikan (Meiksin, 1990). Hasil ini sesuai dengan karakteristik filter lolos rendah yang memungkinkan sinyal frekuensi rendah untuk melewati, sementara sinyal frekuensi tinggi diredam.



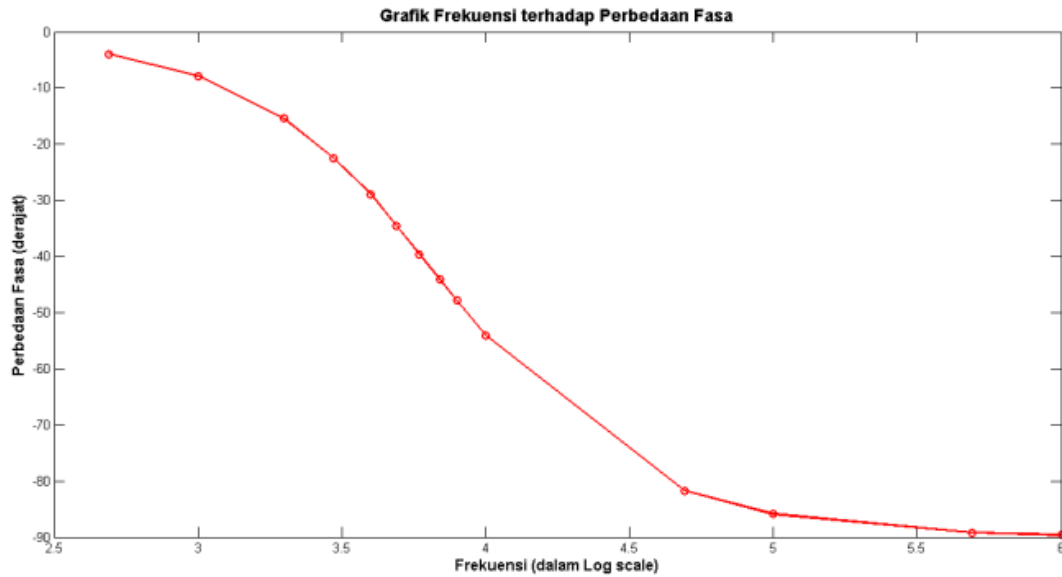
Gambar 5. Grafik respons frekuensi filter lolos rendah yang menunjukkan hubungan antara tegangan output (Vpp) dengan frekuensi (dalam skala logaritmik)

Dari tabel data percobaan, diketahui bahwa nilai gain maksimum berada di kisaran 6,62 dB pada frekuensi 500 Hz dan menurun seiring bertambahnya frekuensi. Frekuensi *cut-off* (f_H) dapat dihitung secara teori maupun secara praktik. Secara teori, frekuensi *cut-off* diperoleh dengan Persamaan (2).

$$f_H = \frac{1}{2\pi R_2 C_2} \quad (2)$$

Dengan memasukkan nilai $R_2 = 2,2 \text{ k}\Omega$ dan $C_2 = 10 \text{ nF}$, diperoleh $f_H = 7238 \text{ Hz} \approx 7200 \text{ Hz}$, yang mana frekuensi *cut-off* adalah frekuensi di mana amplitudo sinyal output turun menjadi sekitar 70,7% (atau mengalami penurunan sebesar -3 dB) dari amplitudo sinyal input (Waters, 1991 & Ibadillah et al., 2024).). Sementara itu, secara praktik, frekuensi *cut-off* diukur menggunakan osiloskop dan generator sinyal. Berdasarkan data percobaan, frekuensi *cut-off* diperkirakan terjadi di frekuensi 10 kHz, yaitu sekitar $\log(f) = 4$, karena penurunan amplitudo sebesar -3 dB terletak di antara kedua frekuensi tersebut. Hasil ini sedikit berbeda dengan hasil secara teori. Perbedaan kecil antara hasil teoritis dan eksperimen dapat disebabkan oleh toleransi komponen, kualitas rangkaian, atau faktor eksternal seperti noise dari alat ukur. Namun, hasil ini tetap menunjukkan bahwa filter aktif lolos rendah berbasis IC LM741 dapat digunakan secara efektif untuk membatasi sinyal frekuensi tinggi dan mempertahankan sinyal frekuensi rendah.

Selain itu, hubungan antara $\Delta\phi$ dan logaritmik frekuensi menunjukkan karakteristik yang sesuai dengan filter lolos rendah, disajikan pada Gambar 6. Nilai $\Delta\phi$ antara sinyal masukan dan keluaran juga menunjukkan peningkatan negatif seiring kenaikan frekuensi, yang mengindikasikan perubahan karakteristik respons filter terhadap sinyal input. Pada frekuensi tinggi seperti 100 kHz hingga 1 MHz, sinyal output menjadi sangat kecil dengan gain negatif, menandakan bahwa filter berhasil meredam sinyal pada frekuensi tersebut.



Gambar 6. Grafik respons frekuensi filter lolos rendah yang menunjukkan hubungan antara perbedaan fasa (derajat) dengan frekuensi (dalam skala logaritmik)

Tabel 2 menyajikan penguatan (*gain*) secara eksperimen dan secara teori. Amplitude fungsi alih $G(\omega)$ pada filter lolos rendah dapat diperoleh menggunakan Persamaan (3).

$$\bar{G}(\omega) = \frac{\omega_p}{j\omega + \omega_p},$$

$$\omega_p = \frac{1}{R_2 C_2}, \quad \omega_p = 2\pi f_p,$$

$$G(\omega) = \frac{\omega_p}{\sqrt{\omega^2 + \omega_p^2}}. \quad (3)$$

Berdasarkan hasil perhitungan teoritis dan hasil eksperimen, terlihat bahwa nilai *gain* memiliki tren penurunan seiring dengan meningkatnya frekuensi. Pada frekuensi rendah, hasil eksperimen menunjukkan kesesuaian yang cukup baik dengan hasil perhitungan teoritis, dengan selisih kecil antara keduanya. Sebagai contoh, pada frekuensi 500 Hz, nilai *gain* teoritis adalah 2,19 kali, sedangkan hasil eksperimen menunjukkan 2,14 kali, yang hanya berbeda sebesar 0,05. Seiring bertambahnya frekuensi, perbedaan antara hasil teoritis dan eksperimen mulai lebih terlihat. Pada frekuensi 4000 Hz, hasil teori menunjukkan *gain* sebesar 1,93 kali, sementara hasil eksperimen lebih rendah, yaitu 1,71 kali. Perbedaan ini semakin signifikan pada frekuensi tinggi. Misalnya, pada 500 kHz dan 1 MHz, nilai teoritis menunjukkan *gain* yang sangat kecil, masing-masing 0,03 kali dan 0,02 kali, sedangkan hasil eksperimen menunjukkan nilai yang lebih tinggi, yaitu 0,24 kali dan 0,29 kali.

Tabel 2. Perbandingan *Gain* hasil perhitungan secara teori dan hasil eksperimen dari rangkaian filter lolos rendah dengan konfigurasi $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 2,2 \text{ k}\Omega$, dan $C_2 = 10 \text{ nF}$ pada frekuensi 500 Hz – 1 MHz

No	$f \text{ (Hz)}$	G_{teori}	$G_{\text{eksperimen}}$
1	500	2,19	2,14
2	1000	2,18	2,10
3	2000	2,12	2,00
4	3000	2,03	1,90
5	4000	1,93	1,71
6	5000	1,81	1,62
7	6000	1,69	1,52
8	7000	1,58	1,38
9	8000	1,48	1,33
10	10K	1,29	1,14
11	50K	0,32	0,33
12	100K	0,16	0,24
13	500K	0,03	0,24
14	1M	0,02	0,29

Perbedaan antara hasil teoritis dan eksperimen dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti toleransi komponen yang digunakan dalam rangkaian, ketidakidealannya op-amp dalam merespons frekuensi tinggi, serta faktor eksternal seperti *noise* dan keterbatasan alat ukur. Meskipun demikian, secara keseluruhan, tren hasil eksperimen masih mengikuti pola teoritis, yang mengonfirmasi bahwa filter lolos rendah ini bekerja sesuai dengan prinsip dasarnya.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis teoritis dan eksperimen pada filter aktif lolos rendah menggunakan IC LM741, dapat disimpulkan bahwa karakteristik frekuensi *cut-off* filter sesuai dengan perhitungan teoritis, meskipun terdapat sedikit perbedaan akibat faktor eksperimental seperti toleransi komponen dan ketidakakuratan alat ukur. Frekuensi *cut-off* teoritis dihitung sekitar 7200 Hz, sementara hasil eksperimen menunjukkan bahwa frekuensi *cut-off* berada di kisaran frekuensi 10.000 Hz, di mana terjadi penurunan gain sekitar -3 dB. Hasil eksperimen menunjukkan pola yang sesuai dengan teori, yaitu penurunan gain seiring meningkatnya frekuensi sinyal masukan. Selain itu, perbandingan antara gain teoritis dan eksperimen menunjukkan bahwa pada frekuensi rendah, nilai gain mendekati hasil perhitungan, namun pada frekuensi tinggi terjadi sedikit penyimpangan. Penyimpangan ini dapat disebabkan oleh faktor seperti impedansi parasit pada rangkaian atau respons dinamis dari IC LM741. Secara keseluruhan, eksperimen ini berhasil membuktikan prinsip kerja filter aktif lolos rendah berbasis IC LM741, dengan hasil yang mendekati prediksi teoritis serta menunjukkan bahwa filter ini efektif dalam meredam sinyal dengan frekuensi tinggi di atas frekuensi *cut-off*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Sumarna, M.Si., M.Eng dari Department of Physics Education, Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia yang telah memfasilitasi penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bao, H., Wu, P. & Bao, B. (2017). Sallen-Key Low-Pass Filter Based Inductor-Free Simplified Chua's Circuit. *Journal of Engineering*, 2017(12), 7–11.
- Fuada, S., Liu, C., Anggraeni, S., Yasmin, M., Balad, F., Halizzah, V., Anassafila, D., Wijaya, T.H., Tuti, W. & Heong, Y.M. (2023). Simulation of Active Sallen Key Notch Filter Circuit Using Circuit Wizard and Its Real Testing. *Journal of Informatics and Telecommunication Engineering*, 7(1), 43–56.
- Ibadillah, A.F., Erari, Y., Rahmawati, D., Saputro, A.K., Fahmi, M.F., Alfita, R. & Ulum, M. (2024). Rancang Bangun Modul Pemrosesan Sinyal Digital Low Pass Filter dan High Pass Filter. *SinarFe7*, 6(1), 81–88.
- Karris, S. T. (2008). *Electronic Devices and Amplifier Circuits Second Edition*. USA: Orchard Publications.
- Meiksin, H. (1990). *Complete Guide to Active Filter Design, Op Amps, & Passive Component*. USA: Prentice-Hall, Inc.
- Ndraha, A. Y. & Sinurat, S. (2018). Penerapan Metode Optimum Notch Filter untuk Mereduksi Noise pada Citra Digital. *Jurnal Pelita Informatika*, 6.
- Nugraha, W. R., Solli, T. S. & Amir, A. (2019). Rancang Bangun Modul Praktikum Aplikasi Op-Amp Berbasis IC 741 dan IC 301. *Foristek*, 9(1).
- Riyanto, A., Arifa, W. & Salim, S. A. (2019). Rancang Bangun Sistem Audio (Sound System) Menggunakan Rangkaian Crossover Aktif dengan Tiga Jalur Frekuensi. *Jurnal Teknologi*, 1, 8.
- Waters, A. (1991). *Active Filter Design*. London: Macmillan Education Ltd.