

IMPLEMENTASI OPERATIONAL AMPLIFIER PADA TAPIS AUDIO AKTIF TOPOLOGY SALLEKEY TIGA KANAL PADA PENGUAT AUDIO

Putri Nofi Liana Nugroho

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tidar;

Email: putri.nofi.liana.nugroho@students.untidar.ac.id

Ibrahim Nawawi, dan Dwi Novianto

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tidar;

Email: Ibrahim_nw@untidar.ac.id, nopi_jte@untidar.ac.id

Abstrak

Roll off pada Filter aktif 2 orde masih terlalu besar sekitar -40 dB/decade sehingga diperlukan Filter aktif 4 orde agar *roll off* menjadi lebih tajam yaitu mendekati -80 dB/decade. Penelitian ini bertujuan untuk merancang Filter aktif 4 orde dan diimplementasikan secara nyata pada *speaker* aktif 3 way. Filter aktif yang dirancang adalah *Active low pass Filter*, *Active Band Pass Filter* dan *Active High Pass Filter* orde 4 dengan *topology sallenkey*. Rangkaian Filter aktif orde 4 dibuat dengan *cascading* rangkaian Filter aktif 2 orde *topology sallenkey*. Pengukuran respon Filter aktif dilakukan dengan menggunakan *soundcard* dan analisis respon frekuensi menggunakan *software smartlive*. Membandingkan *roll off* Filter aktif secara teori, simulasi dan implementasi pada *speaker* aktif 3 way. Hasil *roll off* pada simulasi menggunakan *software* Octave yaitu pada LPF menghasilkan *roll off* sebesar -76,99 dB/decade, BPF bagian HPF menghasilkan *roll off* sebesar -76.6 dB/decade dan BPF bagian LPF menghasilkan *roll off* sebesar -77.83 dB/decade, HPF menghasilkan *roll off* sebesar -77,06 dB/decade. Sedangkan *roll off* implementasi pada *speaker* aktif yaitu pada LPF sebesar -14.29 dB/decade, respon BPF bagian HPF menghasilkan *roll off* sebesar -40.14 dB/decade dan BPF bagian LPF menghasilkan *roll off* sebesar -44.78, sedangkan HPF menghasilkan *roll off* sebesar -16.82 dB/decade.

Kata kunci : Filter Aktif, Sallenkey, Roll Off, Op Amp NE5532, Speaker aktif 3 way.

Abstrack

The roll off on the 2nd order active filteris still too large around -40 dB/decade so that a 4th order active filteris needed so that the roll off becomes sharper, which is close to -80 dB/decade. This study aims to design a 4th order active filterand implement it in real life on a 3-way active speaker. The active filters designed are Active low pass filter, Active Band Pass filterand Active High Pass filterof order 4 with Sallenkey topology. The 4th order active filtercircuit is made by cascading the 2nd order active filtercircuit of Sallenkey topology. The active filterresponse measurement is carried out using a soundcard and frequency response analysis using smartlive software. Comparing the roll off of the active filterin theory, simulation and implementation on a 3-way active speaker. The roll off results in the simulation using Octave software are that the LPF produces a roll off of -76.99 dB/decade, the BPF of the HPF section produces a roll off of -76.6 dB/decade and the BPF of the LPF section produces a roll off of -77.83 dB/decade, the HPF produces a roll off of -77.06 dB/decade. While the roll off implementation on active speakers is that the LPF is -14.29 dB/decade, the BPF response of the HPF section produces a roll off of -40.14 dB/decade and the BPF of the LPF section produces a roll off of -44.78, while the HPF produces a roll off of -16.82 dB/decade.

Keywords : Active Filter, Sallenkey, Roll Off, Op Amp NE5532, 3-way Active speaker.

PENDAHULUAN

Dalam sistem audio terdapat beberapa kategori, yaitu *full range*, 2-way, 3-way dan 4-way. Sistem audio *full range* dapat menghasilkan suara tinggi dan rendah secara bersamaan namun menghasilkan suara yang kurang jernih. Sistem audio 2-way dapat menangani frekuensi tinggi dan rendah namun terbatas dalam menangani frekuensi menengah. Sistem audio 3 way menghasilkan suara yang lebih akurat dan seimbang karena dapat menangani frekuensi tinggi (2 KHz – 20 KHz), menengah (250 Hz – 2 KHz) dan rendah (20 Hz – 250 Hz)

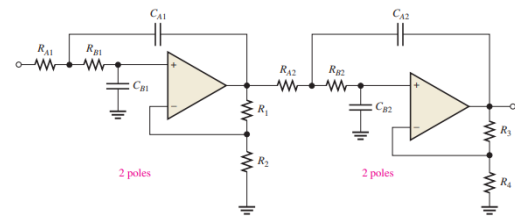
(Riyanto, Arifa, and Salim 2019). Sistem audio 4-way dapat menangani frekuensi ultra tinggi namun mengeluarkan biaya yang cukup tinggi. Perancangan sistem audio dengan 3 way cocok untuk studio karena dapat menghasilkan suara yang akurat dan seimbang. Pada sistem audio 3 way terdapat *pre amp*, filter, *amplifier*, dan *speaker* (Gintings, Yuniantoro, and Harlan 2019).

Salah satu bagian penting dalam sistem audio 3-way adalah filter yang dapat melewatkan frekuensi tertentu dan meredam frekuensi yang tidak diinginkan (Thomas L. Floyd 2018). Terdapat 2 tipe filter, filter pasif

dan filter aktif. Filter pasif merupakan rangkaian filter yang menggunakan kombinasi komponen elektronika yaitu resistor, kapasitor, dan induktor (Thomas L. Floyd and David.M Buchla 2020). Filter aktif merupakan pengembangan dari filter pasif yaitu ditambah dengan *operational amplifier* yang dapat memberikan penguatan pada *signal* (Basuki, Widyastuti, and Driyo 2021). Terdapat dua jenis filter yang secara umum digunakan dalam pemrosesan sinyal, yaitu *chebyshev* dan *butterworth*. Pada penelitian ini menggunakan jenis filter *butterworth* karena respon *passband* yang datar, tidak ada *ripple*, mudah dalam perancangan dan cocok untuk audio yang membutuhkan respons yang halus (Li 2023; Nguyen 2022; Wang et al. 2024).

Berdasarkan jenis frekuensi yang diredam dan diloloskan, filter aktif dibagi menjadi *Low Pass filter* (LPF), *High Pass Filter* (HPF), *Band Pass Filter* (BPF) dan *Band Stop Filter* (BSF) (Fu, Li, and Zhuo 2023). Filter dengan *topology sallenkey* bekerja berdasarkan pembagi tegangan yang cukup sederhana untuk perancangan filter aktif serta mudah dalam implementasi (Taking 2022). Pada filter aktif, *topology sallenkey* biasa digunakan untuk filter aktif orde 2 karena fleksibilitas dan tidak membutuhkan banyak komponen (Wardhana, Aliim, and Mubyarto 2022). Filter aktif *sallenkey* orde 1 memiliki *roll off* sebesar -20 dB/decade, sehingga kurang ideal untuk memisahkan frekuensi. Filter aktif *sallenkey* orde 2 memiliki *roll off* sebesar -40 dB/decade yang sudah lebih baik dalam pemisahan frekuensi (Taking 2022). Filter aktif *sallenkey* orde 4 dirancang dengan *cascade* orde 2 untuk memaksimalkan *roll off* menjadi -80 dB/decade sehingga lebih ideal untuk memisahkan frekuensi. Penelitian ini difokuskan pada perancangan filter aktif untuk sistem audio 3 way dengan rentang *bandwidth* dari *subwoofer* berkisar 50 Hz – 2 KHz dengan maksimum *power* 100 W, *bandwidth midrange* berkisar 121 Hz – 18 KHz dengan maksimum *power* 40 W, dan *bandwidth* dari *tweeter* adalah 1.5 KHz – 20 KHz dengan maksimum *power* 40W.

Low Pass Filter (LPF) merupakan filter yang akan meloloskan frekuensi di bawah frekuensi *cut off* dan menolak atau meredam frekuensi di atas *cut off* (Khasanah et al. 2025). Rangkaian *Active low pass filter* adalah rangkaian *low pass filter* dasar RC yang digabungkan dengan *operational amplifier* (*op-amp*). Rangkaian *Active low pass filter* 4 orde dirancang dengan *cascade* rangkaian *Active low pass filter* orde 2. Salah satu konfigurasi yang paling umum untuk filter dua kutub adalah *Sallenkey* atau *voltage controlled voltage source* (VCVS). Gambar 1 merupakan Gambar rangkaian *Active low pass filter* 4 kutub (Thomas L. Floyd 2018).



Gambar 1. *Active low pass filter* 4 Kutub

Frekuensi *cut off* pada *Active low pass filter* dapat ditentukan ke tika reaktansi kapasitor sama dengan nilai resistansi $X_c = R$. Sehingga frekuensi *cut off* dapat dihitung dengan rumus :

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (1)$$

Keterangan :

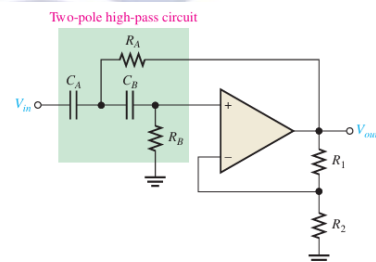
f_c : Frekuensi *cut off* (Hz)

π : Phi (3.14)

R : Resistor (Ω)

C : Capacitor (F)

High Pass Filter (HPF) merupakan filter yang melewati frekuensi di atas frekuensi *cut off* tanpa batas (Hasan et al. 2024). Namun, pada praktiknya hal itu tidak terjadi, karena semua *op-amp* secara inheren memiliki sirkuit RC internal yang membatasi respon penguat pada frekuensi tinggi. Rangkaian *sallenkey high pass filter* menggunakan komponen resistor dan kapasitor membentuk rangkaian dua kutub seperti pada Gambar 2. Posisi komponen resistor dan kapasitor pada rangkaian *sallenkey high pass filter* berlawanan dengan posisi komponen resistor dan kapasitor pada konfigurasi *low pass filter*. Karakteristik respon dapat dioptimalkan dengan pemilihan resistor *feedback*, R_1 dan R_2 yang tepat.



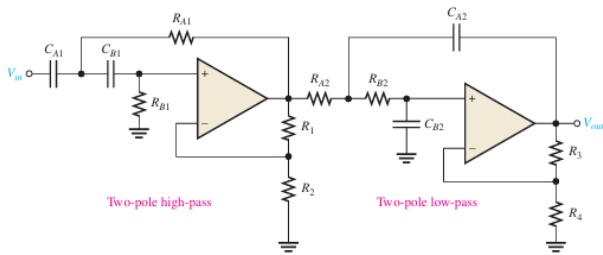
Gambar 2. *Active High Pass Filter* 2 Kutub

Seperti rangkaian *low pass filter* 4 kutub, rangkaian *high pass filter* 4 kutub dibangun dengan *cascade* *high pass filter* aktif 2 kutub. Frekuensi *cut off* pada *Active low pass filter* dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2)$$

Band pass filter merupakan filter yang melewati semua frekuensi yang dibatasi batas frekuensi rendah dan batas frekuensi tinggi dan menolak semua frekuensi lain yang berada di luar pita yang ditentukan. Respon dari *band pass filter* dapat dianggap sebagai tumpang tindih kurva respon frekuensi rendah dan kurva respon frekuensi tinggi. Salah satu cara untuk

mengimplementasikan *band pass* filter adalah dengan pengaturan *cascade* dari *high pass* filter dan *low pass* filter seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 (Bangkit and Umbu 2023).



Gambar 3. Active band pass filter 4 Kutub

Frekuensi rendah f_{c1} dari *band pass* filter adalah frekuensi kritis dari *high pass* filter. Frekuensi tinggi f_{c2} adalah frekuensi kritis dari *low pass* filter. Frekuensi tengah f_0 dari *passband* adalah rata-rata geometrik dari f_{c1} dan f_{c2} . Rumus dari *band pass* filter adalah sebagai berikut :

$$f_{c1} = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_{A1}R_{B1}C_{A1}C_{B1}}} \quad (3)$$

$$f_{c2} = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_{A2}R_{B2}C_{A2}C_{B2}}} \quad (4)$$

$$f_0 = \sqrt{f_{c1}f_{c2}} \quad (5)$$

Keterangan :

f_{c1} : frekuensi *cut off high pass* filter (Hz)

f_{c2} : frekuensi *cut off low pass* filter (Hz)

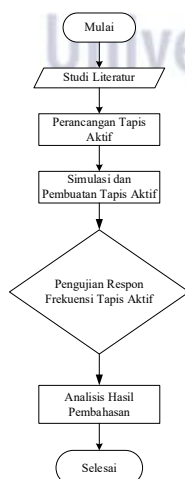
f_0 : frekuensi tengah (Hz)

Apabila nilai komponen yang digunakan sama dalam penerapan setiap filter, persamaan dari frekuensi kritis disederhanakan menjadi :

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (6)$$

METODE

Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tidar. Berikut merupakan diagram alir proses penelitian ditunjukkan pada Gambar 4 :



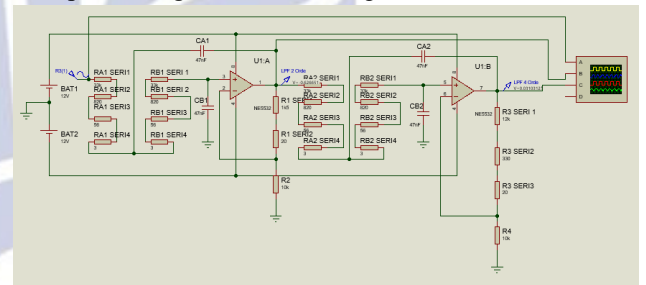
Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

Implementasi filter aktif pada sistem audio 3 way untuk memisahkan frekuensi dimulai dengan perancangan filter aktif yaitu *low pass* filter dengan frekuensi *cut off* 100 Hz, *band pass* filter dengan frekuensi *cut off* 100 Hz dan 3KHz serta *high pass* filter dengan frekuensi *cut off* 3KHz. Rangkaian yang sudah dirancang disimulasikan kemudian mendesign layout PCB menggunakan *software* Proteus. Filter aktif dibuat sesuai perancangan kemudian di uji apakah hasil perancangan filter sesuai dengan karakteristik yang dapat meloloskan frekuensi yang diinginkan dan meredam frekuensi yang tidak diinginkan. Pada pengujian dilakukan dalam beberapa tahap.

Tahapan pertama adalah mengukur *roll off* pada simulasi menggunakan *software* proteus. Pengujian tahap kedua dilakukan dengan mengukur *roll off* pada filter aktif yang sudah dibuat menggunakan *soundcard* dan responnya ditampilkan pada *software* smartlive. Tahapan ketiga adalah menguji filter aktif yang diimplementasikan pada *speaker* aktif.

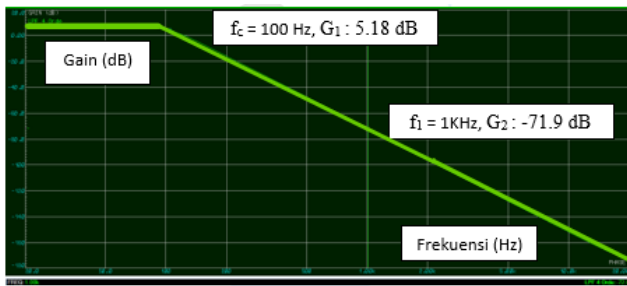
HASIL DAN PEMBAHASAN

Rangkaian simulasi *Active low pass* filter ditunjukan pada gambar 5. Simulasi dilakukan menggunakan *software* proteus 8.16. Rangkaian tersebut merupakan rangkaian *Active low pass* filter4 orde.



Gambar 5. Rangkaian *Active low pass* filter4 orde.

Rangkaian filter aktif LPF orde 4 ini menggunakan 2 ic *op-amp* NE5532 yang masing-masing *op-amp* membentuk rangkaian filter 2 orde. Sinyal input melewati R_{A1} kemudian ke R_{B1} dan ke C_{A1} , C_{B1} membentuk rangkaian LPF orde 2 tahap pertama. Output dari LPF orde 2 tahap pertama merupakan input rangkaian LPF orde 2 tahap kedua yang terdiri dari R_{A2} , R_{B2} , C_{A2} , C_{B2} yang membentuk LPF orde 2, tahap 1 dan tahap 2 *dicascade* menghasilkan rangkaian LPF 4 orde. Nilai-nilai resistor dan kapasitor dipilih dan disesuaikan berdasarkan perhitungan design *sallenkey* untuk mendapatkan frekuensi *cut off* sebesar 100Hz. Rangkaian ini berfungsi untuk melewati frekuensi di bawah frekuensi *cut off* dan melemahkan frekuensi di atas *cut off*.



Gambar 6. respon simulasi *Active low pass filter 4 orde* Pada *Software Proteus*

Gambar 6. merupakan respon *Active low pass filter 4 orde* dari hasil simulasi menggunakan proteus. Frekuensi *cut off* ($f_c = f_1$) yang digunakan pada rangkaian ini sebesar 100 Hz yang menghasilkan *gain* (G_1) sebesar 5.18 dB dan frekuensi 1 dekade setelah frekuensi *cut off* (f_2) yaitu 1KHz menghasilkan *gain* (G_2) sebesar -71.9 dB. Berdasarkan hal tersebut *roll off* dari hasil simulasi dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Roll off} = \frac{G_2 - G_1}{\log_{10}\left(\frac{f_2}{f_1}\right)}$$

$$\text{Roll off} = \frac{-71.9 - 5.18}{\log_{10}\left(\frac{1000}{100}\right)}$$

$$\text{Roll off} = \frac{-77.08}{1}$$

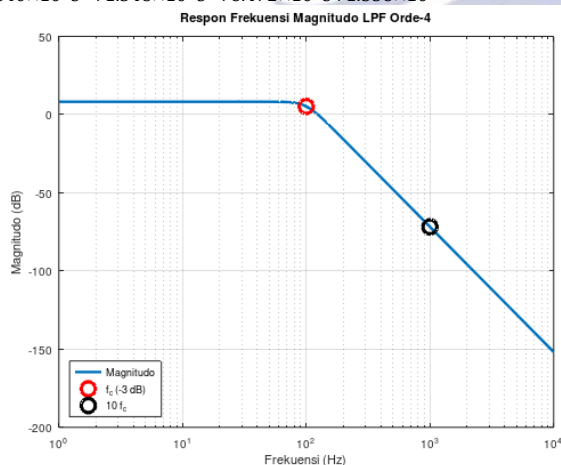
$$\text{Roll off} = -77.08 \text{ dB/decade}$$

Jadi *roll off* *Active low pass filter* saat simulasi sebesar -77.08 dB/decade.

Berdasarkan hasil perancangan rangkaian *Active Low Pass Filter 4 orde* diperoleh fungsi alih dalam domain *laplace* sebagai berikut :

$$H(s)$$

$$\frac{4.006 \times 10^{11}}{s^4 + 1.640 \times 10^3 s^3 + 1.348 \times 10^6 s^2 + 6.472 \times 10^8 s + 1.556 \times 10^{11}}$$

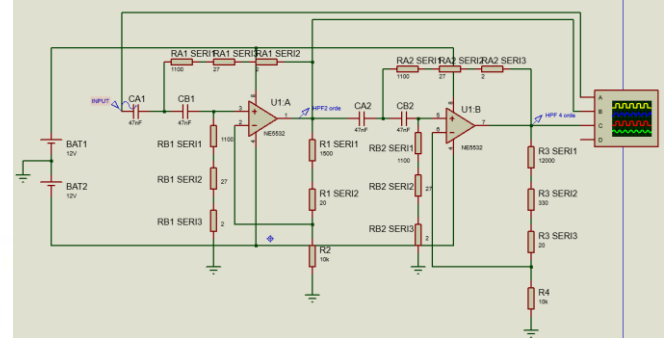


Gambar 7. Hasil Simulasi *Active Low Pass Filter* Pada *Software Octave*

Gambar 7. merupakan respon frekuensi *Active Low Pass Filter 4 orde* dari hasil simulasi menggunakan *Software Octave*. Frekuensi *cut off* ditentukan ketika *gain* turun -3 dB dari *gain passband*. Frekuensi *cut off* pada simulasi menggunakan *software Octave* yaitu sebesar 99.21 Hz dengan *gain* sebesar 5.21 dB. Frekuensi 1 dekade setelah frekuensi *cut off* sebesar 999.08 Hz dengan *gain* sebesar -71.77 dB. *Roll*

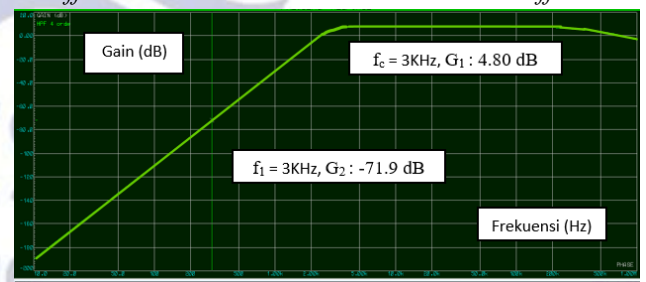
off dari rangkaian LPF yang disimulasikan dengan *software Octave* sebesar -76.99 dB/decade.

Rangkaian simulasi *Active High Pass filter* ditunjukkan pada gambar 7. Simulasi dilakukan menggunakan *software proteus 8.16*. Rangkaian tersebut merupakan rangkaian *Active High Pass filter 4 orde* yang dibentuk dengan *cascading* 2 buah filter orde 2.



Gambar 8. Rangkaian *Active High Pass filter*

Rangkaian filter aktif HPF orde 4 ini menggunakan 2 ic *op-amp* NE5532 yang masing-masing *op-amp* membentuk rangkaian filter 2 orde. Sinyal *input* melewati C_{A1} kemudian ke C_{B1} dan ke R_{A1} , R_{B1} membentuk rangkaian HPF orde 2 tahap pertama. *Output* dari HPF orde 2 tahap pertama merupakan *input* rangkaian HPF 2 orde tahap kedua yang terdiri dari C_{A2} , C_{B2} , R_{A2} , R_{B2} yang membentuk HPF orde 2, tahap 1 dan tahap 2 *cascading* menghasilkan rangkaian HPF 4 orde. Nilai-nilai resistor dan kapasitor dipilih dan disesuaikan berdasarkan perhitungan *design sallkey* untuk mendapatkan frekuensi *cut off* sebesar 3KHz. Rangkaian ini berfungsi untuk melewati frekuensi di atas frekuensi *cut off* dan melemahkan frekuensi di bawah *cut off*.



Gambar 9. Hasil Simulasi *Active High Pass filter* Pada *Software Proteus*

Gambar 9. merupakan respon *Active High Pass filter 4 orde* dari hasil simulasi menggunakan proteus. Frekuensi *cut off* ($f_c = f_2$) yang digunakan pada rangkaian ini sebesar 3KHz yang menghasilkan *gain* (G_1) sebesar 4.80 dB dan frekuensi 1 dekade sebelum frekuensi *cut off* (f_1) yaitu 300Hz menghasilkan *gain* (G_2) sebesar -71.9 dB. Berdasarkan hal tersebut *roll off* dari hasil simulasi dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Roll off} = \frac{G_2 - G_1}{\log_{10}\left(\frac{f_2}{f_1}\right)}$$

$$\text{Roll off} = \frac{-71.9 - 4.80}{\log_{10}\left(\frac{3000}{300}\right)}$$

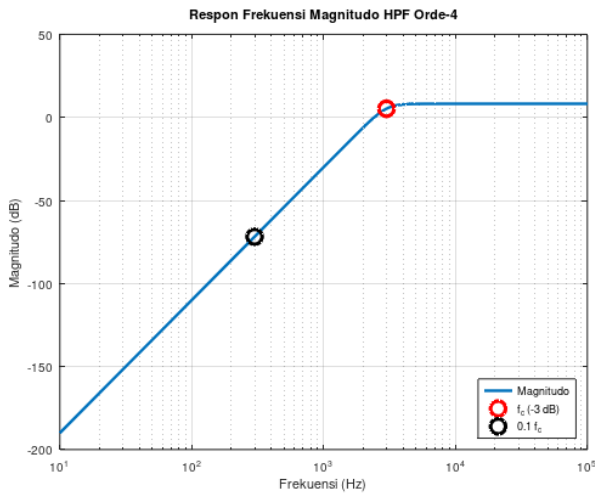
$$\text{Roll off} = \frac{-76.7}{1}$$

$$\text{Roll off} = -76.7 \text{ dB/decade}$$

Jadi *roll off* *Active High Pass* filter saat simulasi sebesar -76.7 dB/decade .

Berdasarkan hasil perancangan rangkaian *Active High Pass Filter 4 orde* diperoleh fungsi alih dalam domain *laplace* sebagai berikut :

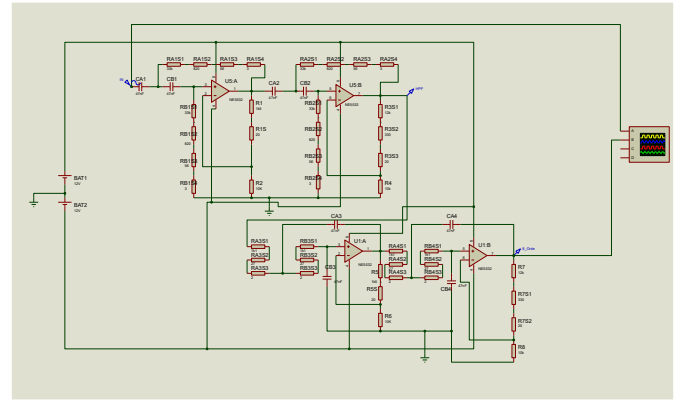
$$H(s) = \frac{2.574 s^4}{s^4 + 4.928 \times 10^4 s^3 + 1.211 \times 10^9 s^2 + 1.751 \times 10^{13} s + 1}$$



Gambar 10. Hasil Simulasi *Active High Pass Filter* Pada *Software Octave*

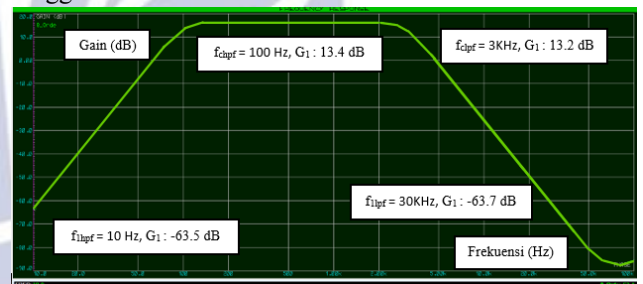
Gambar 10 merupakan respon frekuensi *Active High Pass Filter 4 orde* dari hasil simulasi menggunakan *Software Octave*. Frekuensi *cut off* ditentukan ketika *gain* turun -3 dB dari *gain passband*. Frekuensi *cut off* pada simulasi menggunakan *software Octave* yaitu sebesar 2995.7 Hz dengan *gain* sebesar 5.22 dB . Frekuensi 1 dekade sebelum frekuensi *cut off* sebesar 299.57 Hz dengan *gain* sebesar -71.8 dB . *Roll off* dari rangkaian HPF yang disimulasikan dengan *software Octave* sebesar -77.06 dB/decade .

Rangkaian simulasi *Active band pass* filter ditunjukkan pada gambar 9. Simulasi dilakukan menggunakan *software proteus* 8.16. Rangkaian tersebut merupakan rangkaian *Active band pass* filter 8 orde yang dibentuk dengan mencascade rangkaian HPF 4 orde dengan rangkaian LPF 4 orde.



Gambar 11. Rangkaian *Active band pass* filter

Rangkaian HPF di rancang berdasarkan perhitungan design *sallenkey* agar memiliki frekuensi *cut off* sebesar 100 Hz . Rangkaian ini berfungsi untuk melewatkan frekuensi yang lebih tinggi dari 100 Hz . Rangkaian LPF juga dirancang dengan perhitungan design *sallenkey* agar memiliki frekuensi *cut off* sebesar 3 KHz , yang berfungsi untuk melewatkan frekuensi di bawah nilai 3 KHz . Kombinasi kedua filter ini menghasilkan karakteristik *Band pass* filter, yaitu dapat melewatkan frekuensi dalam rentang frekuensi tertentu, yaitu 100 Hz hingga 3 KHz .



Gambar 12. Hasil Simulasi *Active band pass* filter Pada *Software Proteus*

Gambar 12. merupakan respon *Active band pass* filter 4 orde dari hasil simulasi menggunakan *proteus*. Frekuensi *cut off* ($f_c = f_{2HPF}$) yang digunakan HPF pada rangkaian BPF ini sebesar 100 Hz yang menghasilkan *gain* (G_{1HPF}) sebesar 13.4 dB dan frekuensi 1 dekade sebelum frekuensi *cut off* (f_{1HPF}) yaitu 10 Hz menghasilkan *gain* (G_{2HPF}) sebesar -63.5 dB . Sedangkan, Frekuensi *cut off* ($f_c = f_{1LPF}$) yang digunakan LPF pada rangkaian BPF ini sebesar 3 KHz yang menghasilkan *gain* (G_{1LPF}) sebesar 13.2 dB dan frekuensi 1 dekade setelah frekuensi *cut off* (f_{1LPF}) yaitu 30 KHz menghasilkan *gain* (G_{2LPF}) sebesar -63.7 dB . Berdasarkan hal tersebut *roll off* dari hasil simulasi dapat dihitung sebagai berikut:

Roll off HPF :

$$\text{Roll off} = \frac{G_{2HPF} - G_{1HPF}}{\log_{10} \left(\frac{f_{2HPF}}{f_{1HPF}} \right)}$$

$$\text{Roll off} = \frac{-63.5 - 13.4}{\log_{10} \left(\frac{100}{10} \right)}$$

$$\text{Roll off} = \frac{-76.9}{1}$$

$$\text{Roll off} = -76.9 \text{ dB/decade}$$

Roll off LPF :

$$\text{Roll off} = \frac{G_{2LPF} - G_{1LPF}}{\log_{10}\left(\frac{f_{2LPF}}{f_{1LPF}}\right)}$$

$$\text{Roll off} = \frac{-63.7 - (-13.2)}{\log_{10}\left(\frac{30000}{3000}\right)}$$

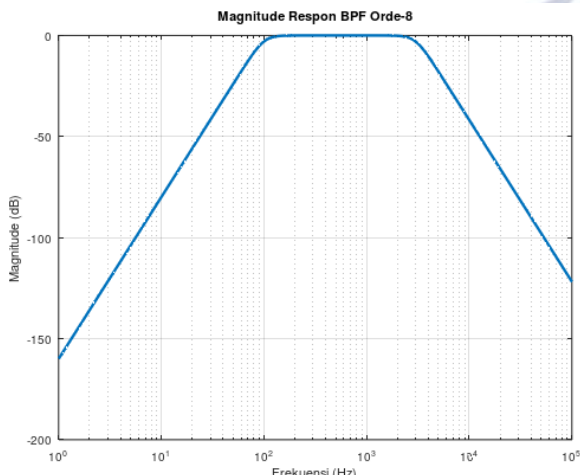
$$\text{Roll off} = \frac{-76.9}{1}$$

$$\text{Roll off} = -76.9 \text{ dB/decade}$$

Jadi, roll off dari Active band pass filter saat simulasi adalah -76.9 dB/decade .

Berdasarkan hasil perancangan rangkaian Active Band Pass Filter 8 orde diperoleh fungsi alih dalam domain laplace sebagai berikut :

$$H(s) = \frac{1.261 \times 10^{17} s^4}{s^8 + 5.089 \times 10^5 s^7 + 8.642 \times 10^9 s^6 + 4.247 \times 10^{13} s^5 + 1.448 \times 10^{17} s^4 + 3.598 \times 10^{21} s^3 + 6.764 \times 10^{24} s^2 + 7.146 \times 10^{27} s + 1.961 \times 10^{29}}$$



Gambar 13. Hasil Simulasi Active Band Pass Filter Pada Software Octave

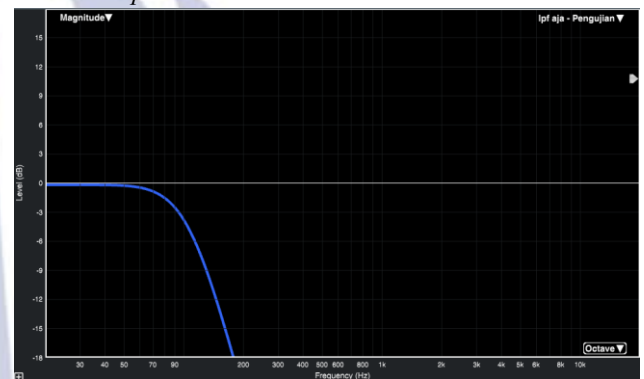
Gambar 13. merupakan respon frekuensi Active band Pass Filter dari hasil simulasi menggunakan Software Octave. Frekuensi cut off ditentukan ketika gain turun -3 dB dari gain passband. Frekuensi cut off pada simulasi rangkaian BPF bagian HPF menggunakan software Octave yaitu sebesar 95.7 Hz dengan gain sebesar -3.5 dB. Frekuensi 1 dekade sebelum frekuensi cut off sebesar 9.5 Hz dengan gain sebesar -81 dB. Roll off dari rangkaian BPF bagian HPF yang disimulasikan dengan software Octave sebesar -77.83 dB . Frekuensi cut off pada simulasi rangkaian BPF bagian LPF menggunakan software Octave yaitu sebesar 3 KHz dengan gain sebesar -3.1 dB. Frekuensi 1 dekade setelah frekuensi cut off sebesar 30 KHz dengan gain sebesar -79.7 dB . Roll off dari rangkaian BPF bagian LPF yang disimulasikan dengan software Octave sebesar -76.6 dB/decade .

Hasil rangkaian realisasi Active low pass filter orde 4 ditunjukkan pada Gambar 11. yang dibuat menggunakan teknik etching manual pada PCB polos. Input dan output menggunakan T block untuk mempermudah koneksi ke perangkat lain saat pengujian maupun saat implementasi.



Gambar 14. Tampilan Active low pass filter di PCB

Pengukuran dilakukan dengan menghubungkan input rangkaian LPF ke out phon yang berada di soundcard dan menghubungkan output rangkaian LPF ke line 1 soundcard kemudian diberikan supply tegangan 12VDC. Soundcard dihubungkan ke laptop menggunakan kabel USB untuk pembacaan respon filter menggunakan software smartlive. Berikut adalah hasil grafik untuk Active low pass filter orde 4 :



Gambar 15. Respon Active low pass filter

Pembacaan respon pada Active low pass filter menghasilkan frekuensi cut off sebesar 96.7 Hz (f_1) dengan gain (G_1) sebesar -3.34 dB dan satu dekade setelah frekuensi cut off (f_2) adalah 967 Hz yang menghasilkan gain (G_2) sebesar -50.90 dB sehingga roll off dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Roll off} = \frac{G_2 - G_1}{\log_{10}\left(\frac{f_2}{f_1}\right)}$$

$$\text{Roll off} = \frac{-50.90 - (-3.34)}{\log_{10}\left(\frac{967}{96.7}\right)}$$

$$\text{Roll off} = \frac{-47.56}{1}$$

$$\text{Roll off} = -47.56 \text{ dB/decade}$$

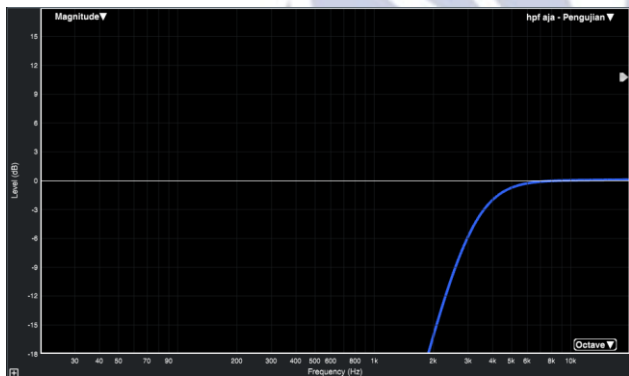
Jadi, roll off dari Active low pass filter adalah -47.56 dB/decade

Hasil rangkaian realisasi Active high pass filter orde 4 ditunjukkan pada Gambar 13. yang dibuat menggunakan teknik etching manual pada PCB polos. Input dan output menggunakan T block untuk mempermudah koneksi ke perangkat lain saat pengujian maupun saat implementasi.



Gambar 16. Tampilan HPF di PCB

Pengukuran dilakukan dengan menghubungkan *input* rangkaian HPF ke *out phon* yang berada di *soundcard* dan menghubungkan *output* rangkaian HPF ke *line 1 soundcard* kemudian diberikan *supply* tegangan 12VDC. *Soundcard* dihubungkan ke laptop menggunakan kabel USB untuk pembacaan respon filter menggunakan *software* smartlive. Berikut adalah hasil grafik untuk *Active high pass filter* orde 4 :

Gambar 17. Respon *Active high pass filter*

Pembacaan respon pada *Active high pass filter* menghasilkan frekuensi *cut off* (f_2) sebesar 3.64 khz dengan *gain* (G_1) sebesar -2.92 dB dan satu dekade sebelum frekuensi *cut off* (f_1) 364 Hz menghasilkan *gain* (G_2) sebesar -60.43 dB sehingga *roll off* dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Roll off} = \frac{G_2 - G_1}{\log_{10}\left(\frac{f_2}{f_1}\right)}$$

$$\text{Roll off} = \frac{-60.43 - (-2.92)}{\log_{10}\left(\frac{3.64K}{364}\right)}$$

$$\text{Roll off} = \frac{-57.51}{1}$$

$$\text{Roll off} = -57.51 \text{ dB/decade}$$

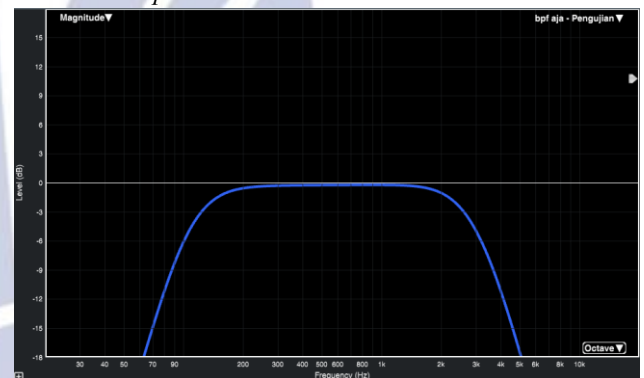
Jadi, *roll off* dari *Active high pass filter* adalah -57.51 dB/decade.

Hasil rangkaian realisasi *Active band pass filter* orde 8 ditunjukan pada Gambar 15. yang dibuat menggunakan teknik *etching* manual pada PCB polos. *Input* dan *output* menggunakan *T block* untuk mempermudah koneksi ke perangkat lain saat pengujian maupun saat implementasi.



Gambar 18. Tampilan BPF di PCB

Pengukuran dilakukan dengan menghubungkan *input* rangkaian BPF ke *out phon* yang berada di *soundcard* dan menghubungkan *output* rangkaian BPF ke *line 1 soundcard* kemudian diberikan *supply* tegangan 12 VDC. *Soundcard* dihubungkan ke laptop menggunakan kabel USB untuk pembacaan respon filter menggunakan *software* smartlive. Berikut adalah hasil grafik untuk *Active band pass filter* orde 8 :

Gambar 19. Respon *Active Band Pass Filter*

Frekuensi *cut off* ($f_c = f_{2HPF}$) yang dihasilkan HPF pada rangkaian BPF ini sebesar 120 Hz yang menghasilkan *gain* (G_{1HPF}) sebesar -3.24 dB dan frekuensi setengah dekade sebelum frekuensi *cut off* (f_{1HPF}) yaitu 38 Hz menghasilkan *gain* (G_{2HPF}) sebesar -34.88 dB. Sedangkan, Frekuensi *cut off* ($f_c = f_{1LPF}$) yang dihasilkan LPF pada rangkaian BPF ini sebesar 2.65 KHz yang menghasilkan *gain* (G_{1LPF}) sebesar -3.20 dB dan frekuensi setengah dekade setelah frekuensi *cut off* (f_{1LPF}) yaitu 8.38 KHz menghasilkan *gain* (G_{2LPF}) sebesar -34.40 dB. Berdasarkan hal tersebut *roll off* dari hasil pengujian dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Roll off}_{\text{hpf}} = \frac{G_2 - G_1}{\log_{10}\left(\frac{f_2}{f_1}\right)}$$

$$\text{Roll off}_{\text{hpf}} = \frac{-34.88 - (-3.24)}{\log_{10}\left(\frac{120}{38}\right)}$$

$$\text{Roll off}_{\text{hpf}} = \frac{-31.64}{0.5}$$

$$\text{Roll off}_{\text{hpf}} = -63.28 \text{ dB/decade}$$

$$\text{Roll off}_{\text{lpf}} = \frac{G_2 - G_1}{\log_{10}\left(\frac{f_2}{f_1}\right)}$$

$$\text{Roll off}_{\text{lpf}} = \frac{-34.40 - (-3.20)}{\log_{10}\left(\frac{8380}{2650}\right)}$$

$$\text{Roll off}_{\text{lpf}} = \frac{-31.20}{0.5}$$

$$\text{Roll off}_{\text{lpf}} = -62.40 \text{ dB/decade}$$

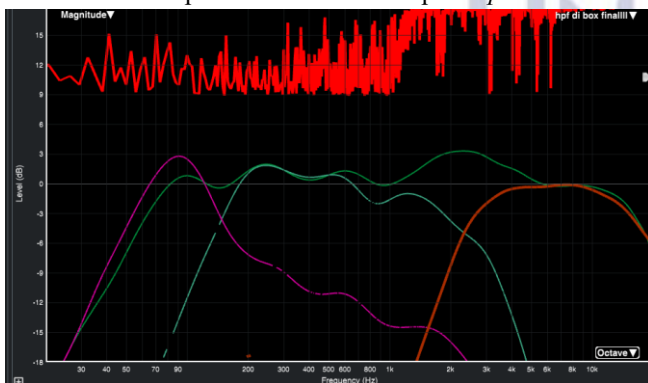
Jadi, *roll off* dari *Active band pass filter* adalah -63.28 dB/decade dan -62.40 dB/decade .

Tahapan implementasi filter aktif pada *speaker* aktif dilakukan dengan *input* berupa audio dihubungkan ke filter aktif (HPF, BPF, dan LPF) dan diberi penguat akhir *amplifier* kelas D, yang terhubung ke transduser *subwoofer*, *midrange* dan *tweeter*. Mic RTA menangkap sinyal audio yang dikeluarkan oleh transduser yang kemudian akan diolah menggunakan *soundcard*, respon frekuensi ditampilkan menggunakan *software smartlive*.



Gambar 20. Pengujian Filter Aktif Pada *Speaker* Aktif 3 Way

Implementasi filter aktif pada *speaker* aktif tidak memakai *pre amp* dikarenakan pada rangkaian LPF jika diberi *pre amp* sebelum LPF maka rangkaian LPF tidak bisa diukur karena terdapat DC *offset*. Berikut adalah hasil respon frekuensi dari implementasi filter aktif pada *speaker* aktif :



Gambar 21. Respon Frekuensi implementasi filter Aktif pada *speaker* Aktif

Gambar 18 merupakan respon frekuensi implementasi filter aktif pada *speaker* aktif, hasil dari pengukuran menunjukkan bahwa respon frekuensi rangkaian bisa dikatakan flat pada rentang frekuensi 20 Hz – 20 KHz. Meskipun, pada frekuensi 2 KHz masih terdapat sedikit

puncak dikarena perpotongan *high* dan *mid*. Puncak tersebut termasuk ciri khas dari *summing Butterworth*, jadi bisa dikatakan bahwa *summing* nya berhasil.

Pada respon frekuensi *low* menghasilkan *cutting* frekuensi sebesar 123 Hz dengan *gain* sebesar -0.18 dB, satu *decade* setelah frekuensi *cut off* 1.23 KHz menghasilkan *gain* sebesar -14.47 Hz. Berdasarkan data tersebut *roll off* LPF dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Roll off} = \frac{G_2 - G_1}{\log_{10}\left(\frac{f_2}{f_1}\right)}$$

$$\text{Roll off} = \frac{-14.47 - (-0.18)}{\log_{10}\left(\frac{1230}{123}\right)}$$

$$\text{Roll off} = \frac{-26.42}{1}$$

$$\text{Roll off} = -14.29 \text{ dB/decade}$$

Jadi, *roll off* dari *Active low pass filter* yang sudah diimplementasikan pada *speaker* aktif sebesar -14.29 dB/decade .

Pada respon frekuensi *mid* menghasilkan *cutting* frekuensi bagian HPF sebesar 150 Hz dengan *gain* sebesar -2.8 dB, setengah *decade* sebelum frekuensi *cut off* 47.4 Hz menghasilkan *gain* sebesar -22.87 Hz. *Cutting* frekuensi bagian LPF sebesar 1.9 KHz dengan *gain* sebesar -3.36 dB, satu *decade* setelah frekuensi *cut off* 19KHz menghasilkan *gain* sebesar -48.14 dB. Berdasarkan data tersebut *roll off* BPF dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Roll off}_{\text{hpf}} = \frac{G_2 - G_1}{\log_{10}\left(\frac{f_2}{f_1}\right)}$$

$$\text{Roll off}_{\text{hpf}} = \frac{-22.87 - (-2.8)}{\log_{10}\left(\frac{150}{47.4}\right)}$$

$$\text{Roll off}_{\text{hpf}} = \frac{-20.07}{0.5}$$

$$\text{Roll off}_{\text{hpf}} = -40.14 \text{ dB/decade}$$

$$\text{Roll off}_{\text{lpf}} = \frac{G_2 - G_1}{\log_{10}\left(\frac{f_2}{f_1}\right)}$$

$$\text{Roll off}_{\text{lpf}} = \frac{-48.14 - (-3.36)}{\log_{10}\left(\frac{1900}{19000}\right)}$$

$$\text{Roll off}_{\text{lpf}} = \frac{-31.20}{1}$$

$$\text{Roll off}_{\text{lpf}} = -44.78 \text{ dB/decade}$$

Jadi, *roll off* dari *Active band pass filter* adalah -40.14 dB/decade dan -44.78 dB/decade .

Pada respon frekuensi *high* menghasilkan *cutting* frekuensi sebesar 2.7 KHz dengan *gain* sebesar -2.87 dB, satu *decade* setelah frekuensi *cut off* 270 Hz menghasilkan *gain* sebesar -19.69 dB. Sehingga *roll off* dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Roll off} = \frac{G_2 - G_1}{\log_{10}\left(\frac{f_2}{f_1}\right)}$$

$$\text{Roll off} = \frac{-19.69 - (-2.87)}{\log_{10}\left(\frac{2700}{270}\right)}$$

$$\text{Roll off} = \frac{-16.82}{1}$$

$$\text{Roll off} = -16.82 \text{ dB/decade}$$

Jadi, *roll off* dari *Active High Pass filter* yang sudah diimplementasikan pada *speaker* aktif sebesar

-16.82 dB/decade.

Pada penelitian perancangan Filter aktif 4 orde ini, nilai *roll off* pada masing-masing Filter aktif secara teori sebesar -80 dB/decade. Nilai tersebut didapat dari perhitungan orde pada perancangan filter aktif yaitu 4 orde. Hasil *roll off* pada simulasi menggunakan *software* Proteus yaitu pada LPF menghasilkan *roll off* sebesar -77,08 dB/decade, BPF menghasilkan *roll off* sebesar -76.9 dB/decade, HPF menghasilkan *roll off* sebesar -76,7 dB/decade. Sedangkan, Hasil *roll off* pada simulasi menggunakan *software* Octave yaitu pada LPF menghasilkan *roll off* sebesar -76,99 dB/decade, BPF bagian HPF menghasilkan *roll off* sebesar -76.6 -77.83 dB/decade dan BPF bagian LPF menghasilkan *roll off* sebesar -77.83 dB/decade, HPF menghasilkan *roll off* sebesar -77,06 dB/decade.

Hasil *roll off* pengukuran masing-masing filter aktif secara praktik menunjukan nilai sebesar -47.56 dB/decade untuk *low pass filter*, -63.28 dB/decade (HPF) dan -62.40 dB/decade (LPF) untuk *band pass filter* dan -57.51 dB/decade untuk *high pass filter*. Berdasarkan data *roll off* secara simulasi dan pengukuran secara praktik terdapat perbedaan yang cukup signifikan daripada perbedaan data teori dan simulasi. Hal tersebut dikarenakan toleransi komponen pasif yang digunakan pada rangkaian filter aktif, karakteristik real op-amp, serta keterbatasan bandwidth dan sensitivitas alat ukur. Secara keseluruhan, respon frekuensi pada pengukuran filter aktif secara praktik masih menunjukan karakteristik dari masing-masing filter aktif.

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, filter aktif orde 4 secara teoritis menghasilkan *roll off* sebesar -80 dB/decade. Namun, pada simulasi terdapat penurunan *roll off* yaitu, LPF menghasilkan *roll off* sebesar -77.08 dB/decade, BPF bagian LPF menghasilkan *roll off* sebesar -76.9 dB/decade dan BPF bagian HPF menghasilkan *roll off* sebesar -76.9 dB/decade, pada HPF menghasilkan *roll off* sebesar -76.7 dB/decade. Sedangkan pada pengukuran respon filter aktif secara praktik yaitu LPF menghasilkan *roll off* sebesar -47.56 dB/decade, BPF bagian LPF menghasilkan *roll off* sebesar -62.40 dB/decade dan BPF bagian HPF menghasilkan *roll off* sebesar -63.28 dB/decade, pada HPF menghasilkan *roll off* sebesar -57.51 dB/decade. Selanjutnya pengujian filter aktif yang telah diimplementasikan pada *speaker* aktif 3 way menghasilkan respon frekuensi yaitu, LPF menghasilkan *roll off* sebesar -14.29 dB/decade, BPF bagian LPF menghasilkan *roll off* sebesar -44.78 dB/decade dan BPF bagian HPF menghasilkan *roll off* sebesar -40.14 dB/decade, pada HPF menghasilkan *roll off* sebesar -16.82 dB/decade. Perbedaan hasil perhitungan, simulasi, pengujian tapis dan implementasi pada *speaker* aktif 3 way terdapat perbedaan. Selisih antara

hasil perhitungan dan implementasi yaitu -65.71 dB/decade pada LPF, -35.22 dB/decade pada BPF bagian LPF, -39.86 dB/decade pada BPF bagian HPF, -63.18 dB/decade pada HPF.

Saran

Pada penelitian ini, *pre amp* dan *amplifier* merupakan rangkaian siap pakai (modul komersial), karena keterbatasan waktu, analisis kesesuaian impedansi *output* pada *preamp* dan impedansi *input* pada *amplifier* belum dilakukan. Oleh karena itu, pada penelitian selanjutnya disarankan merancang *pre amp* dan *amplifier* secara mandiri kemudian dimodelkan untuk penyesuaian impedansi masukan dan luaran agar menghasilkan respon frekuensi yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Bangkit, Ari, and Sanjaya Umbu. 2023. "DESAIN BAND PASS FILTER DENGAN FREKUENSI CUT-OFF 1 KHz DAN 100 KHz UNTUK SISTEM ELECTRICAL IMPEDANCE TOMOGRAPHY (EIT)" 9:58–63.
- Basuki, Arif, Diah Suwarti Widyastuti, and Cipto Driyo. 2021. "Implementasi Low Pass Filter Pada Pembatas Bidang Komunikasi Suara Untuk Meningkatkan Kapasitas Kanal Komunikasi." *Kurvatek* 6 (2): 237–46. <https://doi.org/10.33579/krvtk.v6i2.2743>.
- Fu, Hongze, Yunting Li, and Qingyang Zhuo. 2023. "Research on the Passive and Active Low Pass Filters" 46:260–65.
- Gintings, Abdorrahman, Indriarto Yuniantoro, and Sipahutar Harlan. 2019. "Filter Pasif Rc Dan Filter Aktif Op Amp Lm741 Sebagai Pengatur Nada Dalam Sistem Penguat Audio, Sebuah Catatan." *Ensains Journal* 2 (3): 195–200. <http://jurnal.universitaskabangsaan.ac.id/index.php/ensains>.
- Hasan, Ferdi, Luki Fajar R, Muhamad Ridwan, and Muhamad Sahrul Zayan. 2024. "Penerapan Metode Highpass Filter Dalam Perbaikan Audio Digital Menggunakan Octave" 11 (1): 94–100.
- Khasanah, Riza Ariyani Nur, Usman Hidayah, Erlangga Satrya As Syahrastani Cahyana, Rayyan Rahmatullah, and Achmad Abdulhaq Arrofi'i. 2025. "STUDI TEORETIS DAN EKSPERIMENTAL FILTER AKTIF LOLOS RENDAH DENGAN IC LM741" 12:90–99. <https://doi.org/10.21831/jifta.v12i1.23373>.
- Li, Zhiqi. 2023. "Chebyshev Filter and Butterworth Filters: Comparison and Applications in Different Cases" 0:102–11. <https://doi.org/10.54254/2755-2721/38/20230538>.
- Nguyen, Phuoc Si. 2022. "The Transfer Function of the n Th-Order Digital Butterworth Low Pass Filter."

Riyanto, Agus, Widda Arifa, and Sy Agus Salim. 2019. "Rancang Bangun Sistem Audio (Sound System) Menggunakan Rangkaian Crossover Aktif Dengan Tiga Jalur Frekuensi." *Vokasi XIV* (1): 1–8.

Taking, Ahmad. 2022. "Analisa Rangkaian Active High Pass Filter Orde 1 Dan Orde 2 Topology Sallenkey," 36. <https://repository.ubt.ac.id/repository/UBT24-03-2022-132754.pdf>.

Thomas L. Floyd. 2018. *Electronic Devices (Conventional Current Version), Global Edition, 10th Edition*.

Thomas L. Floyd, and David.M Buchla. 2020. *Priciples of Electric Circuits*.

Wang, Tzu-Kai, Yeh-Wei Yu, Tsung-Hsun Yang, Pin-Duan Huang, Guan-Yu Zhu, Chi-Chung Lau, and Ching-Cherng Sun. 2024. "Depth Image Completion through Iterative Low-Pass Filtering." *Applied Sciences* 14 (2): 696. <https://doi.org/10.3390/app14020696>.

Wardhana, Arief Wisnu, Muhammad Syaiful Aliim, and Agung Mubyarto. 2022. "ANALOG FILTER WIZARD DESIGN TOOL FOR ASSISTING STUDENTS IN DESIGNING AN ACTIVE-RC FILTER CIRCUIT." *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro* 24. <https://doi.org/https://doi.org/10.14710/transmisi.24.4.121-132>.

