

Optimasi Simulasi HPF dan LPF Orde Dua Upaya Penguatan Sinyal Digital

Florentius Budi Setiawan¹, Paskal Kariman²

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang, Indonesia

²19f1022@student.unika.ac.id

Received on 01-11-2023, revised on 07-11-2023, accepted on 15-11-2023

Abstract

Penulisan makalah ini berfokus tentang optimasi terkait pemodelan pada simulasi dari Highpass (HPF) dan Lowpass filter (LPF) dengan penggunaan op-amp, yang nantinya bertujuan untuk memperhalus sinyal sinusoidal yang terdapat pada system HPF dan LPF. Secara garis besar pemahaman tentang HPF adalah meloloskan frekuensi tinggi yang terdapat pada frekuensi cut-off dan akan meredam frekuensi yang rendah. Selanjutnya dengan LPF juga memiliki ciri yang berbeda yaitu, meloloskan frekuensi rendah dan meredam frekuensi yang tinggi. Terkait dengan pengolahan sinyal digital pada saat ini dapat dikatakan adalah suatu metode dalam memanipulasi, menganalisa, dan menginterpretasikan sinyal, yang digunakan untuk memproses menghilangkan noise atau gangguan pada beberapa komponen yang tidak diinginkan dari sinyal tersebut. Dengan diketahuinya karakteristik tersebut yang penulis lakukan adalah melakukan simulasi bertujuan membantu memperoleh keluaran frekuensi yang optimal.

Keywords: High Pass Filter, Low Pass Filter, Sinyal Digital.

This is an open access article under the [CC BY-SA](#) license.



Corresponding Author:

Florentius Budi Setiawan
Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro Universitas Katolik Soegijapranata
Semarang, Indonesia
Email: 19f1022@student.unika.ac.id

I. INTRODUCTION

Pada saat ini penggunaan filter pada kehidupan sehari-hari banyaklah kita temui seperti halnya adalah *handphone*, radio dan televisi. Pengertian dari filter sendiri adalah meloloskan frekuensi yang diinginkan dan meredam dari frekuensi yang tidak diinginkan. Dalam peralatan elektronik, filter sendiri merupakan komponen yang sangat penting. Filter juga terbagi antara filter analog dan filter digital. Secara garis besar, filter sendiri digunakan dalam hal pemrosesan sinyal dan system komunikasi [1]. Filter sendiri juga memiliki klasifikasi yaitu, dilihat dari segi sinyal yang difilter yaitu apakah filter digital atau pun analog serta dilihat dari respon frekuensi yaitu apakah jenis frekuensi Low Pass Filter maupun High Pass Filter [2].

Filter analog memiliki ciri pada rangkaian nya dimana terdapat komponen seperti Resistor, Induktor, dan Capacitor (R-L-C) [3]. Sistem kerja dari filter analog adalah dimana sinyal analog nya berkesinambungan terhadap waktu [4]. Bentuk dari sinyal analog adalah berbentuk sinusoidal dimana, Ketika grafik tegangan versus waktu diplot, maka hasil dari keluaran yang terjadi adalah sinusoidal [5]. Walaupun demikian sinyal ini sangatlah mudah mengalami noise atau gangguan yang nanti nya akan mengakibatkan mudah nya hilang informasi dalam sinyal tersebut [5]. Contoh penggunaan dari filter analog sendiri adalah Televisi analog, Kamera film, Kaset, Remote TV, Spedometer, Alat pengukur tekanan, Telepon analog, Radio analog (Muslim, n.d.).

Jika pada filter analog menggunakan rangkaian, pada filter digital sendiri dapat kita temui pada *Integrated Circuit* (IC) atau juga pada *microcontroller*. Salah satu kelebihan dari filter analog adalah dimana kita tidak perlu melakukan bongkar pasang terhadap rangkaian untuk meloloskan nilai sinyal yang diperlukan,

namun yang dapat dilakukan adalah dengan cara komputerisasi pada filter tersebut [4]. Filter digital sendiri biasanya digunakan pada bagian pengolahan sinyal suara dan telekomunikasi [6].

Bentuk dari sinyal digital sendiri adalah gelombang persegi dan memiliki sifat diskrit hanya memiliki nilai yang berbeda [7]. Filter sendiri memiliki sifat, bisa filter aktif maupun filter pasif. Yang membedakan dari keduanya adalah, jika pada filter aktif memiliki tahanan seperti, induktor dan kapasitor. Pada filter aktif berisi Op-amp atau transistor namun juga ditambah dengan tahanan seperti induktor dan kapasitor [8].

Filter aktif sendiri dapat dikatakan *Active High Pass Filter (Active HPF)*, yang mana rangkaian filter ini akan melewatkan sinyal masukan bersama dengan frekuensi diatas nya dan akan meredam frekuensi dibawah frekuensi *cut-off*nya dan juga akan ditemukannya rangkaian penguatan yaitu *Operational Amplifier (Op-amp)*. Penggunaan dari filter aktif sendiri adalah diperlukannya tegangan supply untuk mengaktifkan komponen-komponen yang digunakan [9].

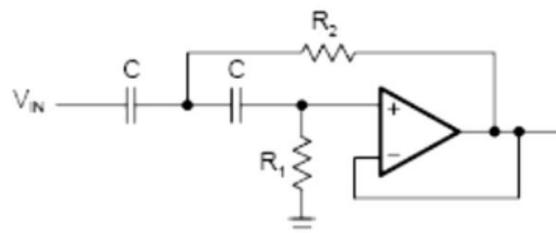
Sementara filter pasif tergantung dari tipe elemen yang sudah ditentukan oleh pengoperasiannya [10]. Sebagai contoh misal filter RC pada umumnya hanya digunakan pada audio atau bisa juga pada frekuensi rendah. Jenis filter pass bawah dan juga filter pass atas serta rangkaian op-amp memiliki prinsip kerja dari nilai frekuensi merupakan metode yang penulis lakukan dalam melakukan proses memperhalus sinyal digital. Fungsi dari filter pass bawah nantinya akan digunakan dalam menghaluskan sinyal dimana jenis filter ini akan meredam hasil dari frekuensi tinggi dan akan meloloskan frekuensi yang rendah. Sementara untuk jenis filter pass atas akan digunakan untuk meredam frekuensi bawah serta meloloskan frekuensi atas yang terdapat pada sinyal sinusoidal. Tentunya filter pasif sendiri memiliki kekurangan dan kelebihan, dimana kekurangan dari filter aktif adalah terletak pada ukuran dimensinya yang lebih besar dari dari filter aktif. Sementara untuk kelebihan nya adalah dapat digunakan untuk frekuensi yang lebih tinggi [11].

Oleh karena itu berdasarkan hasil penelitian dari system tersebut yang sudah disimulasikan pada system digital sebagai filtering. Tujuan dari penulisan makalah ini adalah untuk menghaluskan masalah gangguan yang terdapat pada bagian output system yang sudah diukur. Dengan melakukan nya simulasi pada software PowerSimulator(Psim) yang telah dikembangkan untuk simulasi High Pass Filter (HPF) dan Lower Pass Filter (LPF). Penulisan makalah ini disusun sebagai berikut; pendahuluan disajikan pada bagian (I). memberikan penjelasan mengenai tujuan dari penulisan ditujukan pada bagian (II). Memberikan metode perancangan dan bentuk rangkaian dari sistme dengan PowerSimulator(Psim) ditujukan pada bagian (III). Melakukan analisa pada hasil keluaran ditujukan pada bagian (IV) dan terakhir kesimpulan beserta dengan referensi-referensi yang telah ada.

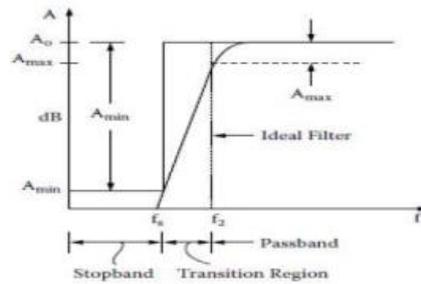
II. RESEARCH METHOD

High Pass Filter (HPF)

Pada penulisan makalah kali ini, jenis High Pass Filter yang diimplementasikan atau disimulasi adalah High Pass Filter bertipe orde 2. High pas filter merupakan salah satu filter yang menggunakan komponen pasif, seperti resistor dan capasitor atau juga resistor dan inductor. Untuk High Pass Filter yang penggunaannya resistor dan capasitor merupakan High Pass Filter RC dan High Pass Filter menggunakan resistor dan inductor merupakan High Pass Filter RL [12]. Sesuai dengan namanya (high pass), yaitu meloloskan frekuensi yang tinggi dari frekuensi dan meredam frekuensi *cut-off*nya. Filter dari *high pass filter* juga memperlemah semua tegangan keluaran yang terdapat pada frekuensi *cut-off*nya. Gambar 1 menunjukkan respon dari high pass filter aktif. Gambar berikut merupakan orde dua dari rangkaian HPF



(a)



(b)

Gambar 1: Gambar (a) bentuk rangkaian orde 2 dan gambar (b) respon HPF aktif

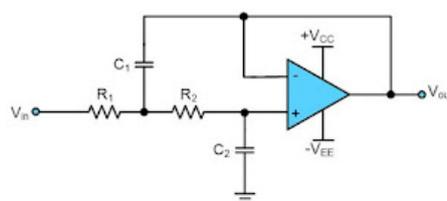
Perhitungan yang ada pada high pass filter merupakan perkembangan berdasarkan pada komponen penguatan yang digunakan contohnya penguatan operasional (Op-amp). Kita dapat mencari atau menghitung besarnya nilai dari frekuensi *cut-off* yang ada pada *high pass filter* dengan menggunakan rumus sebagai berikut [13].

$$\text{Domain } (f.c) = \frac{1}{2} \pi \sqrt{R.C} \quad (1)$$

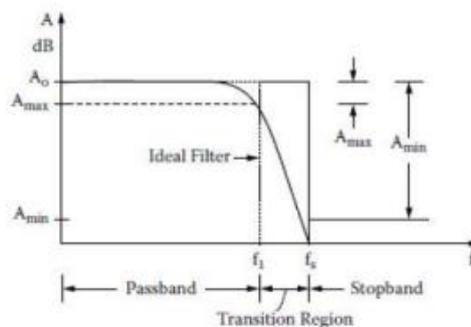
$$(f.c) = \frac{1}{2} \pi \sqrt{R_1 \cdot R_2 \cdot C_2}$$

Low Pass Filter (LPF)

Merupakan sebuah rangkaian dimana tegangan keluarannya tetap DC naik hingga frekuensi *cut-off* yang diinginkan. Seiring dengan naiknya frekuensi diatas frekuensi *cut-off*nya, maka tegangan keluarannya pun akan semakin diperlemah atau dapat dikatakan frekuensi naik tegangan nya turun. Dengan demikian maka dapat disimpulkan *low pass filter* merupakan, filter yang bekerja pada frekuensi yang rendah dari frekuensi *cut-off*nya, dan akan meredam frekuensi yang lebih tinggi dari frekuensi *cut-off*nya.



(a)



(b)

Gambar 2: Gambar (a) bentuk rangkaian orde 2 dan gambar (b) respon LPF aktif

Untuk mencari nilai dari frekuensi *cut-off* pada *low pass filter* dapat menggunakan rumus sebagai berikut [14]:

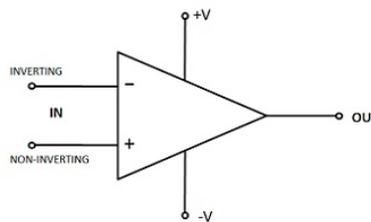
$$\text{Domain } (f.c) = \frac{1}{2} \pi \sqrt{R.C} \quad (2)$$

$$(f.c) = \frac{1}{2} \pi \sqrt{R_1.R_2.C_2}$$

Pada umumnya untuk mencari nilai dari frekuensi *cut-off* dari masing-masing filter memiliki kesamaan tetapi yang membedakan dari keduanya adalah penggunaan Op-amp [15]. untuk kontrol dari penguatan. Penggunaan dari Low Pass Filter sendiri adalah tapis aktif dimana nilai dari keluarannya akan tetap sama atau stabil meskipun diberi beban dimana tujuannya agar tidak mengurangi tegangan sebelumnya [14].

Operational Amplifier

Komponen selanjutnya merupakan operational amplifier dimana nanti nya komponen ini digunakan untuk sebagai penguatan pada rangkaian HPF dan LPF. Untuk pengertian mengenai Op-amp adalah komponen penguat sinyal digital. Didalam Op-amp sendiri terdiri dari kapasitor, resistor, dioda, dan transistor. Komponen-komponen tersebut akan saling terkoneksi dan akan saling memberikan penguatan yang hampir atau bisa dibilang tinggi [14].

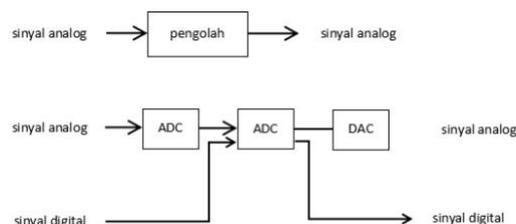


Gambar 3: Gambar Op-Amp

Total keseluruhan rangkaian Op-amp yang terdapat dalam kemasan IC (Integrated Circuit), dibedakan menjadi beberapa hal yaitu, Single Dual, dan Juga Quad Op-amp(20).Op-amp sendiri merupakan salah satu penguatan elektronika bekerja dengan arus searah dan memiliki penguatan yang sangat besar [15]. Op-amp sendiri memiliki karakteristik yaitu *closed loop configuration* (konfigurasi lingkaran tertutup) dan *open loop configuration* (konfigurasi lingkaran terbuka). Untuk *closed loop configuration* berfungsi sebagai pengurangan gain dimana yang bertujuan untuk menghindari adanya *noise* yang berlebih serta menjauhkan respon yang kurang baik. Sementara untuk *open loop configuration* digunakan untuk penguatan, sehingga nantinya tegangan keluaran nya mendekati tegangan V_{cc} . Tegangan awalan masukan dari amplifier sangatlah kecil, sehingga kemudian amplifier tersebut akan bekerja dengan cara mengubah tegangan yang kecil tersebut menjadi tegangan keluaran yang lebih besar [16].

Pengolahan Sinyal Digital

Pada saat ini proses pengolahan sinyal digital sudah menjadi bagian yang paling utama dalam hal menciptakan, memproses, mentransiminkan dan menyimpan banyak informasi dalam berbagai bentuk seperti audio, video, teks, dan juga gambar [8].



Gambar 4: Proses Pengolahan Sinyal Digital

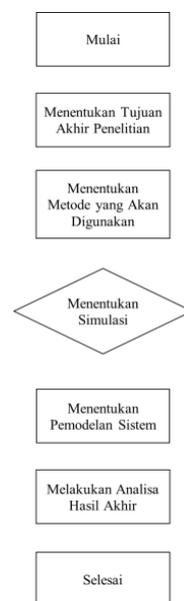
Pada gambar di atas menjelaskan bahwa pada bagian ADC berfungsi untuk mengubah analog menjadi digital dan bagian DAC berfungsi untuk mengubah digital menjadi analog [17]. Keterangan pada blok-blok tersebut dapat dilihat sebagai berikut;

1. DAC yaitu *Digital Analog Converter*
2. ADC yaitu *Analog Digital Converter*
3. DSP yaitu *Digital Signal Processing*

Kelebihan dari pengolahan sinyal yang menggunakan digital adalah dapat deprogram, dan control akurasi yang lebih baik [17].

Proses sinyal digital terbagi menjadi antara operasi linier, dan juga operasi non linier. Sinyal non linier sendiri akan berhubungan dengan jenis sistem non linier juga.

i. Flowchart Perancangan



Gambar 5: Flowchart Perancangan

Dalam merencanakan kerangka kerja dengan pokok bahasan ada beberapa langkah yang dilakukan. Mulai dari melakukan simulasi pada perangkat lunak hingga menentukan rangkaian dari metode bagian mana yang telah ditentukan. Metode-metode tersebut pun sudah dikelompokkan menjadi beberapa bagian, agar hasil akhir dari tujuan penelitian ini dapat di pahami dengan baik. Penjelasan dari metode-metode tersebut sebagai berikut :

1. Bagian metode (pemahaman)

Bagian ini merupakan pemahaman tentang HPF dan LPF. Bagian ini juga merupakan bagian bagaimana bentuk rangkaian, komponen-komponen yang ada dari rangkaian-rangkaian tersebut, dan bagaimana karakteristik dari HPF dan LPF.

2. Bagian percobaan (simulasi)

Dalam bagian ini melakukan simulasi dari rangkaian HPF, LPF, dan BSF. Bagian ini juga termasuk perancangan mengatur untuk merencanakan kerangka kerja. Pada bagian ini simulasi dilakukan pada *Power Simulator* (Psim).

3. Bagian penambahan (penguatan sinyal)

Sesuai topik pembahasan, pada bagian ini akan dilakukan pemberian penguatan pada input dari setiap rangkaian. Penguatan sendiri bertujuan untuk mengoptimalkan tegangan dan akan menghasilkan keluaran sinyal yang baik pada setiap rangkaian tersebut. Komponen elektronika yang digunakan dalam menguatkan daya adalah amplifier. Pada simulasi yang digunakan adalah operational-amplifier.

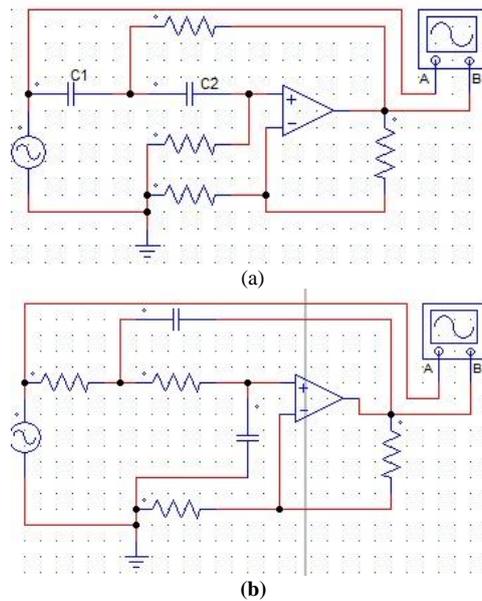
System penguatan operasional (Op-amp) digabung menjadi suatu rangkaian yang terpadu (Integrated Circuit IC) [18].

4. Bagian akhir (analisa dan kesimpulan)

Setelah adanya pemahaman dan simulasi pada rangkaian-rangkaian tersebut maka dilakukannya analisa pada setiap rangkaian. Pada bagian ini juga pada tegangan keluaran dan frekuensi berapa dari setiap rangkaian-rangkaian tersebut optimalnya.

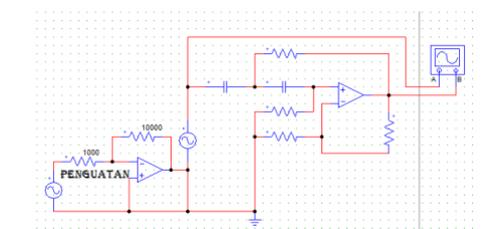
ii. Bentuk Rangkaian Pada Simulasi

Pada bagian ini akan diperlihatkan bentuk rangkaian terdapat pada simulasi di bagian *Power Simulator* (Psim).

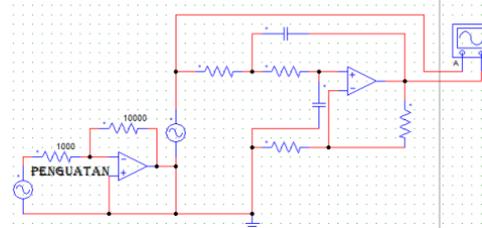


Gambar 6: Gambar (a) Rangkaian HPF Orde 2 dan gambar (b) Rangkaian LPF Orde 2

Pada rangkaian tersebut merupakan rangkaian yang tidak diberikannya penguatan. Tujuan di berikan penguatan agar tegangan output pada setiap rangkaian menjadi baik dan gelombang frekuensi yang dihasilkan pun semakin baik juga. Rangkaian diatas merupakan rangkaian yang bekerja pada orde dua



Gambar 7: Rangkaian HPF Orde 2 setelah penguatan



Gambar 8: Rangkaian LPF Orde 2 setelah penguatan

Pada rangkaian penguatan diberikan resistor sebesar 1000 dan juga 10000 ohm dan juga diberikannya op-amp. Penguatan yang terjadi pada rangkaian penguatan tersebut adalah sepuluh kali. Perhitungan dari penguatan sendiri adalah sebagai berikut:

$$\text{Gain } (Av) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_f}{R_{in}} \quad (3)$$

Maka jika direalisasikan pada rangkaian penguatan yang terdapat pada simulasi:

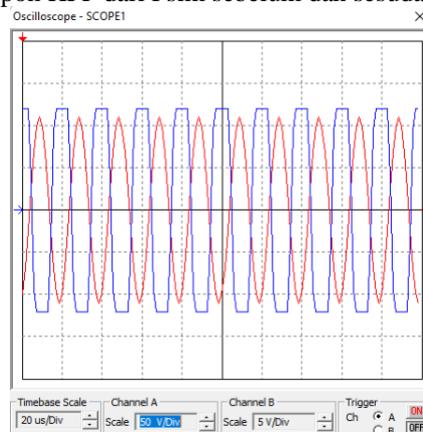
$$V_{out} = -\frac{R_f}{R_{in}} = -\frac{10000}{1000} = -10 \text{ kali} \quad (4)$$

Tabel I: Komponen dan alat bahan yang digunakan pada simulasi

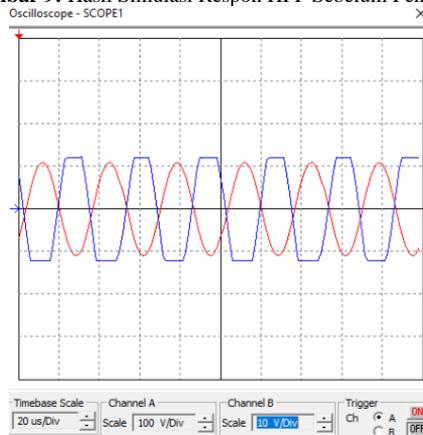
Tegangan ke Op-Amp	±12 Volt DC
Jenis Op-Amp	TL082
Capasitor	22 & 4 nf
Resistor	750, 5200, 150, & 10k ohm
Frekuensi cut-off	40kh

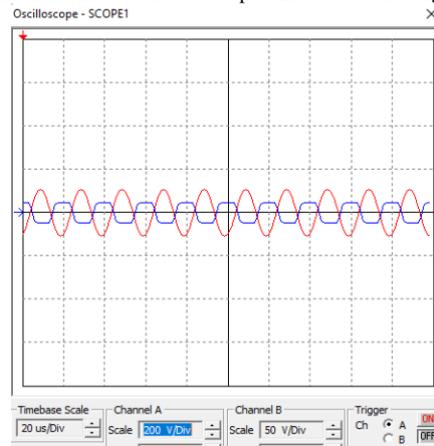
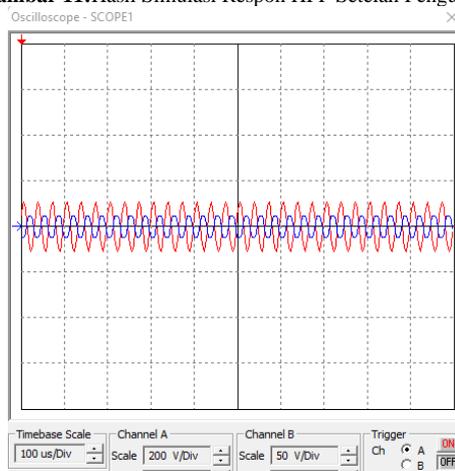
III. Research and Discussion

Berikut adalah hasil simulasi respon HPF dari Psim sebelum dan sesudah penguatan:



Gambar 9: Hasil Simulasi Respon HPF Sebelum Penguatan



Gambar 10: Hasil Simulasi Respon LPF Sebelum Penguatan**Gambar 11:** Hasil Simulasi Respon HPF Setelah Penguatan

(b)

Gambar 12: Hasil Simulasi Respon LPF Setelah Penguatan

Dari hasil pada simulasi diatas dilakukan juga pembahasan terkait dengan rangkaian HPF dan LPF sebelum dan sesudah dilakukannya penguatan pada setiap rangkaian-rangkaian tersebut. Sehingga hasil dari sinyal sinus tersebut dapat kita tentukan dan gunakan sinyal sinus mana kah yang paling optimal dalam melakukan pengolahan sinyal digital.

1. Analisa terhadap *High Pass Filter (HPF)*

Pada hasil simulasi sinyal keluaran HPF dapat dilihat pada gambar 9 yang berwarna biru sementara yang berwarna merah merupakan sinyal masukan. Pada hasil simulasi tersebut, frekuensi cut-off yang ditentukan adalah sebesar 40khz, dan pada hasil pengukuran yang dilakukan pada perangkat lunak adalah sebesar 50khz. Respon dari HPF sebelum dilakukan penguatan adalah berbentuk kotak dengan tegangan keluaran maksimal sebesar 5v/div. Namun setelah dilakukannya penguatan pada rangkaian tersebut, hasil tegangan keluaran yang terjadi adalah rangkaian tersebut dapat membaca hingga tegangan keluaran maksimal pada 50v/div(gambar 11). Ini disebabkan karena adanya penguatan tersebut. Untuk tegangan masukannya juga mengalami kenaikan sebesar sepuluh kali, dimana awalnya 20v/div, menjadi 200v/div(gambar 11) untuk maksimal tegangan keluaran.

2. Analisa terhadap *Low Pass Filter (LPF)*

Pada bagian ini merupakan bagian yang paling signifikan terjadinya penguatan. Dimana pada gambar 10 gelombang berwarna biru merupakan juga keluaran pada rangkaian LPF, dan berwarna merah merupakan keluaran masukan. Pada bagian ini, bentuk keluaran dari rangkaian LPF berbentuk kotak dan hanya terukur maksimal di 5v/div, dan tegangan masukan maksimal 20v/div(ditunjukkan pada gambar 11). Namun setelah dilakukannya penguatan tegangan dan bentuk sinyal yang terdapat pada rangkaian tersebut menjadi lebih baik. Dimana bentuk sinyal nya menjadi sinyal digital pada umumnya(sinusoidal). Dan untuk tegangan keluarannya juga mengalami penguatan sebesar sepuluh kali, dimana pada awalnya 5v/div menjadi 50v/div dan tegangan masukan juga mengalami hal yang sama yaitu, 20v/div menjadi

200v/div(ditunjukkan pada gambar 12). Pada simulasi ini dilakukan pengukuran sebesar 30khz, dikarenakan frekuensi cut-offnya ditentukan sebesar 40khz.

IV. Conclusion

Hasil pada simulasi HPF dan LPF yang berdasarkan model tindakan masukan dan keluaran dengan referensi dua modelnya. Untuk hasil simulasi menunjukkan hubungan yang baik antara sinyal masukan dan keluar serta tegangan masukan dan keluaran. Untuk hasil simulasi berdasarkan sinyal pada keluaran sistemnya menjelaskan dalam simulasi pada nilai frekuensi dari keluaran sesuai karakteristik filter frekuensi prinsip dasarnya terdapat sinyal sinus(untuk keluaran LPF) dalam bentuk harmoni dari sinyal input system yang diinginkan . Serta sinyal masukan dan keluaran pada HPF juga harmoni terhadap sinyal masukan.

Pada bagian ini akan dijelaskan sedikit terkait dengan analisa pada simulasi HPF dan LPF. Hasil yang terdapat pada HPF dan LPF sudah sesuai yang diinginkan. Namun setelah dilakukan Analisa terhadap kedua rangkaian tersebut, rangkaian yang paling membutuhkan penguatan merupakan rangkaian LPF dengan orde 2. Ini dapat dilihat pada gambar 12 dan gambar 10. Pada keluaran tegangan dan bentuk sinyal, sebelum dilakukan nya penguatan adalah berbentuk kotak, sama halnya dengan HPF namun setelah dilakukan penguatan dengan frekuensi yang sama yaitu 30khz, sinyal keluaran nya menjadi lebih baik. Berdasarkan penjelasan tersebut, penulis dapat simpulkan yaitu, HPF hanya dapat bekerja dengan maksimal tegangan 5v/div sebelu dilakukan penguatan dan setelah dilakukan pengauatan, tegangan keluaranya dapat mencapai maksimal hingga 50v/div. LPF sendiri juga mengalami hal yang sama yaitu pada bagian bentuk sinyal dan tegangan keluaran. Dari hasil pembahasan mengenai simulasi dan kesimpulan dari data pada hasil percobaan yang sesuai pada referensi paper atau makalah ini, penulis juga tidak terlepas dari kesalahan atau error baik secara simulasi maupun praktik yang dilakukan. Oleh karena itu harapan dari penulis adalah data dan analisa yang terdapat pada paper ini dapat menjadi referensi dalam melakukan simulasi op-amp HPF dan LPF sebagai filter pengolahan penguatan sinyal digital. Serta pembaca juga dapat memberikan saran dan masukan terkait dengan penjelasan yang terdapat pada penulisan paper ini yang mana akan menjadikan pemahaman yang lebih lagi bagi penulis untuk mengembangkan penulisan makalah kali ini. Hal yang paling menarik dari penelitian ini adalah dimana pada bagian simulasi yang dilakukan adalah rangkaian HPF dan LPF berorde dua. Dimana artinya pemahaman yang dilakukan pun lebih mendalam dan lebih menarik. Kemudian bagian berikutnya yaitu, dilakukannya penguatan terhadap rangkaian-rangkaian tersebut. Yang bertujuan untuk menghasilkan bentuk keluaran gelombang yang lebih baik dan halus. Sebagai perbandingan dengan penelitian yang lain terdapat pada referensi Penguat Kelas D Frekuensi Tetap Orde 2 [19] dan *Differential Amplifiers in the Second Order Low-Sensitive All-Pass Active RC-Filters* [20]. Pada Penguat Kelas D Frekuensi Tetap Orde 2, hanya menjelaskan bagian penguatan saja tanpa menggabungkan dengan filter-filter yang lain. Filter yang dimaksud adalah filter HPF dan LPF. Pada referensi *Differential Amplifiers in the Second Order Low-Sensitive All-Pass Active RC-Filters* [20], yang sebagai acuan atau referensi utama dalam mengembangkan pembahasan. Pada referensi tersebut melakukan penelitian terhadap penguatan differensial, yang artinya penguatan-penguatan tersebut dibeda-bedakan. Kekuatan pada penelitian ini adalah pembahasan yang dilakukan berorde dua dan melakukan pembahasan terkait dengan penguatan yang dilakukan terhadap setiap rangkaian-rangkaian tersebut. Sementara untuk keterbatasan pada penelitian ini adalah bahwa rangkaian-rangkaian filter seperti HPF,LPF DLL, memiliki orde yang lebih dari dua bahkan hingga mencapai orde lima. Kesimpulan dari pembahasan ini adalah, bahwa rangkaian-rangkaian tersebut Ketika diberikan penguatan sebesar sepuluh kali masih dapat berjalan dan memberikan respon sinyal yang sangat baik. Implikasi dari penelitian ini adalah agar mengetahui bahwa rangkaian dari filter-filter tersebut juga memiliki orde, dan selanjutnya pembahasan yang dilakukan pun lebih dari penelitian ini, baik orde tiga atau pun lebih. Yang menjadi pertanyaan dari penelitian ini adalah apakah orde dua ini sebagai bentuk pemahaman untuk penelitian terhadap orde-orde selanjutnya.

Acknowledgment

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang sudah melimpahkan nikmat dan kesempatan sehat raga dan jiwa. Kedua terima kasih kepada orangtua penulis yang memberikan fasilitas dan mendukung segala aktivitas dan kegiatan, ketiga terima kasih kepada Bapak Florentius

selaku dosen Universitas Katolik Soegijapranata Semarang yang mengampu mata kuliah pengolahan sinyal digital atas materi dan ilmu yang telah disampaikan. Sekali lagi terima kasih doa dan dukungannya. Semoga dengan adanya penulisan makalah ini dapat menjadikan pemahaman

REFERENCES

- [1] R. Hidayat, Syafruddin, and G. D. Ramady, "Desain Low Pass Filter Butterworth Dengan Komponen Aktif Voltage Controlled Voltage Source," *Isu Teknol. Stt Mandala*, vol. 15, no. 2, pp. 31–36, 2020, [Online]. Available: <https://www.ejournal.sttmandalabdg.ac.id/index.php/JIT/article/view/185>
- [2] T. Niagawan, "Perancangan Tapis Butterworth Untuk Merestorasi Citra Digital," Universitas Mataram, 2018. [Online]. Available: <http://eprints.unram.ac.id/id/eprint/2742>
- [3] A. I. Muslim, "Filter Analog dan Aplikasi Filter Analog," Sukabumi, 2022. [Online]. Available: <https://www.academia.edu/88005041>
- [4] F. Roy, "Pengertian Filter Analog dan Filter Digital," eduidea.id. [Online]. Available: <https://eduidea.id/pengertian-filter-analog-dan-filter-digital/>
- [5] F. H. Utomo, "Pengertian Sinyal Analog dan Digital Beserta Contohnya," kelasplc.com. [Online]. Available: <https://www.kelasplc.com/pengertian-sinyal-analog-dan-digital-beserta-contohnya/>
- [6] A. A. V. Addina, "Implementasi Filter Finite Impuls Response (FIR) Pada DSK TMS320C6713 Transceiver Menggunakan Teknik Windowing," *J. Jartel*, vol. 6, no. 1, pp. 1–8, 2018, doi: 10.33795/jartel.v6i1.128.
- [7] R. Alfita and R. V. Nahari, "Pengolahan Sinyal Digital."
- [8] A. Kurniawan, "Filter Analog," Sukabumi, 2023. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/367253145_Filter_Analog
- [9] A. Gintings, I. Yudiantoro, and S. Harlan, "Filter Pasif RC dan Filter Aktif OP AMP LM741 Sebagai Pengatur Nada Dalam Sistem Penguat Audio, Sebuah Catatan," *Ensains*, vol. 2, no. 3, pp. 195–200, 2019, doi: 10.31848/ensains.v2i3.287.
- [10] A. Taking, "Analisa Rangkaian Active High Pass Filter Orde 1 dan Orde 2 Topology Sallenkey," Universitas Borneo Tarakan, 2022. [Online]. Available: <https://repository.ubt.ac.id/flipbook/baca.php?bacaID=9077>
- [11] S. Fuada, G. Alisrobia, M. Hasanah, M. Cahya Yustina, and D. Rahmawati, "Penggunaan Virtual lab. Circuit Wizard Untuk Simulasi Rangkaian High Pass Filter Pasif," *J. Ilm. Teknol. Inf. Terap.*, vol. 9, no. 2, pp. 197–206, 2023, doi: 10.33197/jitter.vol9.iss2.2023.1010.
- [12] F. Trisnawati and S. D. Ramdan, "High Pass Filter," *Repoteknologi.id*, vol. 1, no. 3, pp. 1–8, 2021, [Online]. Available: <http://repoteknologi.id/index.php/repoteknologi/article/view/68/54>
- [13] B. A. Ananditya, "Analisis Sederhana Simulasi Op-Amp HPF dan LPF sebagai Filter Pengolahan Isyarat Digital," Yogyakarta, 2021. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/357803097_Analisis_Sederhana_Simulasi_Op-Amp_HPF_dan_LPF_sebagai_Filter_Pengolahan_Isyarat_Digital
- [14] R. M. Yasin, A. N. Aziz, and H. Hartono, "Rancang Bangun Sistem Kontrol Berbasis Biopotensial Mata (Studi Kasus : Mengontrol Aplikasi Berbasis Android)," *J. Teras Fis.*, vol. 1, no. 1, pp. 9–22, 2018, doi: 10.20884/1.jtf.2018.1.1.298.
- [15] P. N. Lidyaza, D. Darmawan, and A. Qurthobi, "Karakterisasi Kadar Air Batubara Berdasarkan Pengukuran Nilai Kapasitansi," *e-Proceeding Eng.*, vol. 5, no. 3, pp. 5675–5680, 2018, [Online]. Available: <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/7198/7082>
- [16] M. I. Pangestu, D. P. Pamungkas, and R. Wulaningrum, "Sistem Pakar Diagnosa Kerusakan Amplifier dengan Metode Case Based Reasoning (CBR)," *Semin. Nas. Inov. Teknol.*, vol. 5, no. 1, pp. 231–236, 2021, doi: 10.29407/inotek.v5i1.953.
- [17] A. Mustofa, *Pengolahan Sinyal Digital*. Malang: Universitas Brawijaya Press, 2018.
- [18] E. P. Sitohang, D. J. Mamahit, and N. S. Tulung, "Rancang Bangun Catu Daya DC Menggunakan Mikrokontroler ATmega 8535," *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 7, no. 2, pp. 135–142, 2018, doi: 10.35793/jtek.v7i2.19615.
- [19] B. Murtianta and D. Susilo, "Penguat Kelas D Frekuensi Tetap Orde 2," *J. Edukasi Elektro*, vol. 6, no. 1, pp. 24–31, 2022, doi: 10.21831/jee.v6i1.44196.
- [20] D. Denisenko, N. Prokopenko, and N. Butyrlagin, "Differential Difference Amplifiers in the Second Order Low-Sensitive All-Pass Active RC-Filters," in *International Conference on Computation, Automation and Knowledge Management (ICCAKM)*, Dubai, 2020, pp. 275–279. doi: 10.1109/ICCAKM46823.2020.9051558.