

Rancang Bangun Modul Pemrosesan Sinyal Digital *Low Pass Filter* dan *High Pass Filter*

Achmad Fiqhi Ibadillah¹, Yosua Erari², Diana Rahmawati³, Adi Kurniawan Saputro⁴, Monika Faswia Fahmi⁵, Riza Alfita⁶, Miftachul Ulum⁷

Teknik Elektro, Universitas Trunojoyo Madura, Bangkalan

¹fiqhi.achmad@gmail.com, ²yosuaerari42@gmail.com, ³diana.rahmawati@trunojoyo.ac.id, ⁴adikurniawansaputro@gmail.com, ⁵monika.faswiaf@trunojoyo.ac.id, ⁶riza.alfita@trunojoyo.ac.id, ⁷miftachul.ulum@trunojoyo.ac.id

Abstract - This study aims to create a digital signal-processing module for Electrical Engineering students. The module will convert analog signals to digital signals using Low Pass Filter (LPF) and High Pass Filter (HPF). The need for effective and quickly understood learning media drives the development of this module. The research began with a literature study to identify models, followed by the design and testing of the module. This module allows students to study the effects of various noise frequencies by sampling at 100 Hz, 200 Hz, 300 Hz, 400 Hz, and 500 Hz. The test results show that this module is effective in helping students understand the digital signal filtering process. For example, input signals with frequencies of 10 Hz and 200 Hz initially have amplitudes of approximately 6 and -6; after filtering with LPF at a Cutoff frequency of 100 Hz, the signal amplitude is reduced to approximately 1 and -1. Tests also showed that the second-order HPF has a slope of 12 dB per octave, while the fourth-order has a slope of 24 dB per octave. The second-order LPF has a slope of 12 dB per octave, while the fourth-order has a slope of 24 dB per octave. Suggestions for further development include adding other types of filters and integrating them with more interactive digital learning platforms.

Keywords; *Digital signal processing, Low Pass Filter, High Pass Filter, learning module, analog signal.*

Abstrak— Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan modul Pemrosesan sinyal digital sebagai media pembelajaran bagi mahasiswa Teknik Elektro, dengan fokus pada konversi sinyal analog ke digital menggunakan *Low Pass Filter* (LPF) dan *High Pass Filter* (HPF). Kebutuhan akan media pembelajaran yang efektif dan mudah dipahami mendorong pengembangan modul ini. Penelitian dimulai dengan studi literatur untuk identifikasi model, diikuti oleh perancangan dan pengujian modul. Modul ini memungkinkan mahasiswa mempelajari efek berbagai frekuensi gangguan (*noise*) melalui sampling pada frekuensi 100 Hz, 200 Hz, 300 Hz, 400 Hz, dan 500 Hz. Hasil pengujian menunjukkan bahwa modul ini efektif dalam membantu mahasiswa memahami proses filtering sinyal digital. Misalnya, sinyal input dengan frekuensi 10 Hz dan 200 Hz yang memiliki amplitudo awal sekitar 6 dan -6, setelah proses

filtering dengan LPF pada frekuensi *Cutoff* 100 Hz, amplitudo sinyal tereduksi menjadi sekitar 1 dan -1. Pengujian juga menunjukkan bahwa HPF orde 2 memiliki kemiringan 12 dB per oktaf, sedangkan orde 4 memiliki kemiringan 24 dB per oktaf. LPF orde 2 memiliki kemiringan 12 dB per oktaf, sedangkan orde 4 memiliki kemiringan 24 dB per oktaf. Saran untuk pengembangan lebih lanjut mencakup penambahan jenis filter lainnya dan integrasi dengan platform pembelajaran digital yang lebih interaktif.

Kata Kunci; *Pemrosesan sinyal digital, Low Pass Filter, High Pass Filter, modul pembelajaran, sinyal analog.*

I. Pendahuluan

Mahasiswa teknik elektro perlu dilatih dalam pembelajaran di bidang industri agar kemampuan mereka terasah yang dapat mewariskan pengetahuannya kepada pekerja di perusahaan maupun peserta didik di perguruan tinggi. Pemrosesan sinyal digital ini yaitu dengan melakukan suatu proses sinyal analog yang diubah menjadi sinyal digital. Pembuatan modul ini digunakan untuk melakukan analisa jenis sinyal pengganggu yang ada dengan menggunakan beberapa sampling. Mahasiswa diharapkan dapat menguasai keahlian di dalam sinyal digital yang sangat dibutuhkan di industri. Pemrosesan akan memudahkan mahasiswa dalam memahami dan mengembangkan keahlian dalam sinyal. Trainer modul merupakan suatu modul simulator yang menyimulasikan sistem kerja dari suatu proses kerja suatu sistem. Melihat uraian di atas, maka akan dibuat media pembelajaran berupa modul trainer Pemrosesan sinyal digital sehingga bermanfaat untuk di masa depan. Pada penelitian ini akan digunakan modul trainer dalam praktiknya sehingga mempermudah dalam penggunaannya. Jadi tujuan penelitian dengan membuat modul trainer ini yang didesain diharapkan untuk mempermudah dalam melakukan praktik dalam mempelajari tentang Pemrosesan sinyal analog menjadi sinyal digital. Proses pengubahan analog ke digital dengan input besaran listrik dapat diamati dengan jelas di komputer, mulai dengan presisi nilai tegangan, hingga bentuk sinyal analog dan bentuk sinyal digital yang telah dikonversi dapat diamati dengan jelas[1]. Jurnal telah diteliti oleh Henry Torun pada tahun 2021 *Perancangan Dan Pembuatan Modul ADC (Analog*

Digital Converter) Berbasis Mikrokontroler Atmega8535 menjelaskan bahwa pembuatan modul ini akan dapat memberikan pemahaman pada mahasiswa tentang bagaimana cara memanfaatkan kemampuan fungsi ADC pada mikrokontroler Atmega8535. Berdasarkan data yang didapat maka tingkat keakuratan data pada penggunaan ADC 10bit lebih baik dengan beda selisih rata-rata 0,0018 sedangkan ADC 8bit selisih rata-ratanya 0,0524[2].

II. Metode Penelitian

A. Tinjauan Pustaka

Berdasarkan pada penelitian Ghia Pisti Cikarge & Pipit Utami tahun 2018 Jurnal berjudul “*Analisis Dan Desain Media Pembelajaran Praktik Teknik Digital Sesuai Rps*” berisi tentang analisis dan desain dilakukan dengan beberapa metode, yaitu: observasi, wawancara, angket dan dilanjutkan dengan FGD (*Focus Group Discussion*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa trainer yang terdiri atas blok input, blok output, blok development dan blok power job sheet yang memuat 12 macam praktik dan manual book memuat spesifikasi fisik, cara penggunaan dan cara pemeliharaan trainer[3].

Berdasarkan pada jurnal dari Endang Dian Setioningsih tahun 2021 berjudul “*The Impact of using Digital Filter and Analog Filter on EMG Signal*” untuk menganalisis perbedaan penggunaan filter analog dan digital pada EMG, serta pengaruhnya pada simulasi exoskeleton. Metode yang digunakan dalam perancangan utama terdiri dari modul myoware, rangkaian notch, *Low Pass Filter*, arduino uno, modul DAC, *Software* teraterm, dan matlab. Sinyal yang dicegat diambil dari bisep menggunakan elektroda sekali pakai (AG/AGCL)[4].

Berdasarkan pada Jurnal tahun 2021 “*A Review in Advanced Digital Signal Processing Systems*” diteliti oleh Roza Dastres dan Mohsen Soori dijelaskan bahwa Pemrosesan Sinyal Digital (DSP) adalah penggunaan digital sistem pemrosesan oleh komputer untuk melakukan berbagai macam hal operasi pemrosesan sinyal. Ini adalah manipulasi matematis dari a nilai numerik sinyal digital untuk meningkatkan kualitas juga fek sinyal[5].

Pada tahun 2019 oleh Muh Pauzandan Indri Yanti Penelitian yang berjudul *Penggunaan Pin ADC (Analog to Digital Converter) pada Mikrokontroler ATmega8535 untuk Menghasilkan Catu Daya Digital* tentang Kajian teori terdiri dari konversi AC-DC dan digitalisasi tegangan keluaran LM317. Tujuan dari kajian konversi AC-DC adalah untuk mengetahui spesifikasi elemen untuk membangun catu daya 30 V, 1 A. Sirkuit dan pengkodean di ATmega8535 untuk mengubah analog ke digital dipelajari[6].

Berdasarkan pada jurnal yang diteliti oleh Darya Denisenko, Nikolay Prokopenko, dan Nikolay Butylagin tahun 2020 tentang “*Differential Difference Amplifiers in the Second Order Low-Sensitive All-Pass Active RC-Filters Darya*”. Arsitektur filter RC aktif all-pass orde kedua (ARCF)

berdasarkan dua penguat diferensial perbedaan. ARCF yang disarankan ini memberikan set lengkap respons amplitudo-frekuensi (AFR) (*Low Pass Filter LPF, High Pass Filter HPF, band pass filter BPF, rejection filter RF*) untuk tugas-tugas seleksi frekuensi sinyal dalam rekayasa instrumen, komunikasi, dan otomatisasi[7].

Berdasarkan pada jurnal penelitian Ahmeed Salam Mohammed Al-Khazrji tahun 2023 berjudul *Digital Signal Processing in the Frequency Domain of Audio Involves Various Steps and Techniques*. Pemrosesan sinyal digital dalam domain frekuensi audio melibatkan serangkaian langkah dan teknik untuk menganalisis, memproses, dan meningkatkan sinyal audio. Teknik-teknik ini memainkan peran penting dalam meningkatkan kualitas audio, mengurangi kebisingan, gelombang dan memungkinkan transmisi dan penyimpanan data audio yang efisien. Dari konversi awal hingga kontrol suara, setiap langkah berkontribusi untuk mencapai hasil audio yang optimal dalam berbagai aplikasi[8]. Berdasarkan pada jurnal yang diteliti oleh Eko Supriyanto, Agus Fitriyanto, dan Yasmin Nurfaizah, berjudul “Rancang Bangun Modul *Low Pass Filter (LPF) Orde 1 dan Orde 2* Sebagai Penunjang Prkatikum Rangkaian Elektronika dan Bengkel Elektronika Komunikasi” tahun 2023, kita dapat mengamati bahwa semakin besar orde dari sebuah rangkaian filter, maka semakin curam grafik karakteristik outputnya. Sehingga bisa lebih mendekati grafik filter ideal secara teori. Namun yang perlu dipahami bahwa dengan semakin besar orde dari sebuah dengan semakin besar orde dari sebuah filter maka rangkaian filternya pun akan semakin kompleks[9].

Berdasarkan pada Jurnal tahun 2021 diteliti oleh Fika Trisnawati dan Sigit Doni Ramdan rangkaian HPF atau High Pass filter yang merupakan rangkaian Filter atau penyaring frekuensi yang dapat melewatkan sinyal frekuensi tinggi dan menghambat atau memblokir sinyal frekuensi rendah. HPF terbagi 2 jenis yaitu; RC filter dan RL filter, pada kesempatan ini kami mengamati rangkaian RC filter dimana komponen utamanya adalah resistor dan kapasitor[10].

Pada tahun 2023 oleh Florentius Budi Setiawan dan Paskal Kariman Penelitian yang berjudul *Optimasi Simulasi HPF dan LPF Orde Dua Upaya Penguatan Sinyal Digital* 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 masukkan dan keluaran pada HPF juga harmoni terhadap sinyal.

Berdasarkan pada penelitian Brilian Aulia Ananditya berjudul *Analisis Sederhana Simulasi Op-Amp HPF dan LPF sebagai Filter Pengolahan Isyarat Digital* tahun 2022. Perbedaan berdasarkan metode HPF dan LPF yang mana dengan penggunaannya pada pengolahan isyarat digital hasil output frekuensi pada masing-masing metode didapatkan sinyal sinus

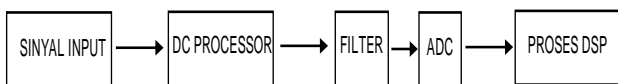
yang lebih halus dan cukup stabil tanpa mengurangi nilai standar tetap yang sudah diinputkan sebelumnya[11].

Pada tahun 2023 oleh Fitriaty Pangerang, Kurniawati Naim, dan Mohammad Adnan yang berjudul Perancangan Modul Trainer Digital Analog Converter (Dac) Pada Sistem Digital Berbasis Lab View. Tegangan yang terukur di modul perangkat keras hampir sama dengan tegangan yang ditampilkan di komputer. Dengan menggunakan Lab View dapat terlihat secara visualisasi bentuk perubahan sinyal digital ke sinyal analog (tegangan listrik)[12].

Berdasarkan pada penelitian Hafsa N, Fajri R, dan Rusdi W berjudul Desain Modul Pembelajaran Modulasi Digital tahun 2022. Tingkat ketelitian dan akurasi dari modul ini dilakukan dengan membandingkan dengan modul paten yang tersedia di laboratorium tersebut (buatan salah satu fabrikasi terkenal). Setiap melakukan uji coba untuk satu tipe sinyal masukan dilakukan masing-masing 3 kali, hal ini untuk menentukan tingkat akurasi[13].

Berdasarkan pada penelitian Ahmad Taming Tahun 2022 berjudul Analisa Rangkaian Active High Pass Filter Orde 1 Dan Orde 2 Topology Sallenkey Pengolahan sinyal memegang peranan penting dalam berbagai aplikasi seperti teknik pengolahan suara, kompresi sinyal yang terdiri dari data dan gambar, telekomunikasi digital atau handphone, dan yang lainnya yang memerlukan pengolahan sinyal. Pengolahan[14].

B. Blok Diagram

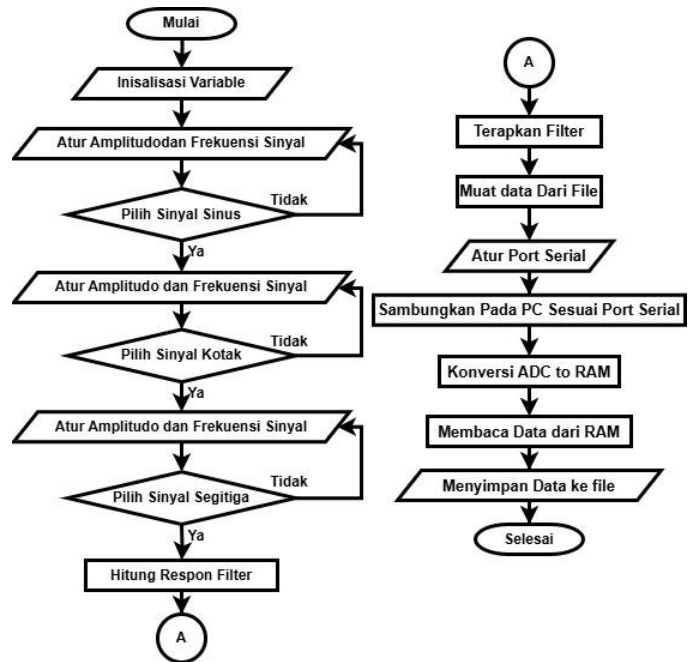


Gambar 1 Blok Diagram

Pada gambar 1 ini merupakan suatu bentuk Pemrosesan yang dilakukan oleh sinyal analog ke sinyal digital dengan menggunakan beberapa Pemrosesan. Modul pembelajaran ini dibuat untuk dilakukan suatu penerapan dalam bentuk modul yang dapat diuji coba. Input berasal dari sinyal yang akan diambil untuk kemudian dilakukan proses. Sinyal input umumnya berasal dari transducer, yaitu suatu alat yang mengubah suatu besaran lain dalam hal ini besaran listrik. Contoh kongkret adalah sinyal listrik yang dihasilkan transducer PH (*potential hydrogen*), besarnya sinyal listrik ini mempunyai korelasi terhadap besarnya PH (*potential hydrogen*) sehingga jika sinyal listrik ini dapat diambil kemudian proses sesuai fungsinya maka derajat keasaman/kebebasan dapat diketahui. DC (*Digital Converter*) processor berfungsi sebagai pengkondisi sinyal input. Filter berfungsi untuk menghindari masuknya sinyal yang mempunyai frekuensi yang ingin disampling. ADC (*Analog to Digital Converter*) berfungsi untuk mengubah besaran analog menjadi besaran digital. DSP (*Digital Signal Processing*)

berfungsi untuk memproses sinyal yang disampling melalui proses digital. Penyerangan data dilakukan dengan Software.

C. Flowchart



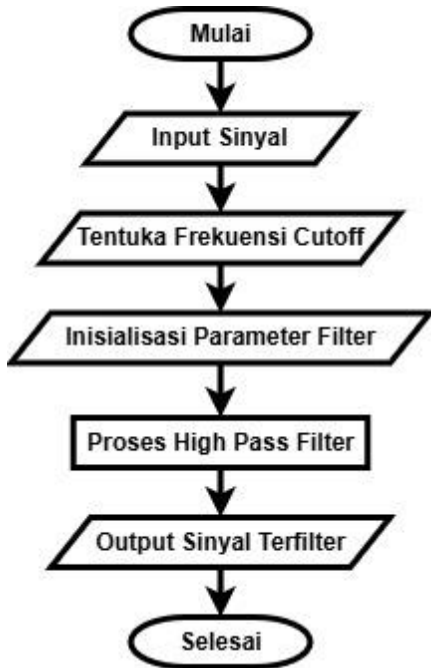
Gambar 2 Flowchart Sistem

Pada gambar 2 ini merupakan alur proses sistem yang di mulai pada langkah pertama dari proses dimulai. Inialisasi variabel mendefinisikan dan menginisialisasi variabel yang akan digunakan dalam proses. Atur amplitudo dan frekuensi sinyal menentukan nilai amplitudo dan frekuensi dari sinyal yang akan diproses. Pilih gabungan sinyal sinus, kotak, dan segitiga memilih jenis sinyal (sinusoidal, kotak, atau segitiga) yang akan digunakan atau kombinasi dari ketiganya. Menghitung respon filter menghitung respon filter berdasarkan sinyal yang dipilih dan parameter yang telah ditentukan. Terapkan filter menerapkan filter pada sinyal yang telah ditentukan. Muat data dari file memuat data dari file yang disimpan sebelumnya untuk diproses lebih lanjut.

Atur port serial mengatur konfigurasi port serial untuk komunikasi data. Sambungkan pada PC (*personal computer*) sesuai port serial menghubungkan perangkat ke PC (*personal computer*) menggunakan port serial yang telah dikonfigurasi. Konversi ADC (*Analog to Digital Converter*) ke RAM (*Random-access memory*) mengkonversi data dari (*Analog to Digital Converter*) ADC dan menyimpannya ke dalam RAM (*Random-access memory*). Membaca data dari RAM

(Random-access memory) membaca data yang telah disimpan di RAM (Random-access memory) untuk diproses lebih lanjut. Menyimpan data ke file menyimpan data yang telah diproses ke dalam file untuk penyimpanan permanen. Proses selesai.

D. Flowchart High Pass Filter



Gambar 3 Flowchart High Pass Filter

Flowchart untuk High Pass Filter memberikan panduan visual mengenai tahapan proses filtering sinyal yang dilakukan. Berikut adalah penjelasan detail dari setiap langkah dalam flowchart:

Proses dimulai dengan tahap "Mulai" yang menandakan inisiasi dari seluruh prosedur filtering. Pada tahap ini, sinyal yang akan difilter dimasukkan ke dalam sistem melalui langkah "Input Sinyal". Sinyal ini bisa berupa sinyal analog atau sinyal digital yang telah didigitalkan sebelumnya.

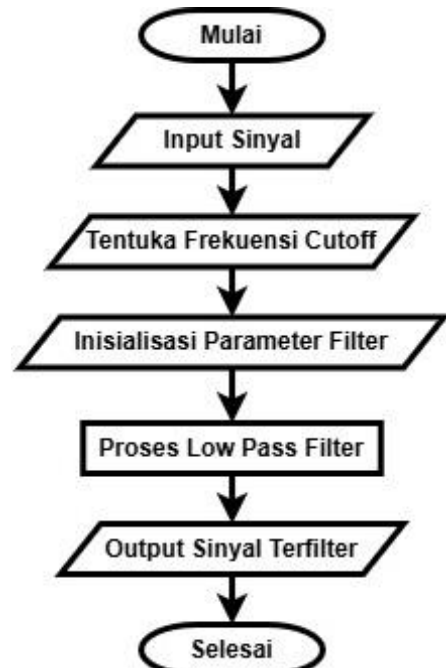
Selanjutnya, frekuensi Cutoff ditentukan dalam langkah "Tentukan Frekuensi Cutoff". Frekuensi Cutoff adalah batas frekuensi di mana sinyal akan mulai di-filter. Pada High Pass Filter, sinyal di bawah frekuensi Cutoff yang akan dilemahkan. Setelah frekuensi Cutoff ditentukan, parameter-parameter yang diperlukan untuk filter diinisialisasi dalam langkah "Inisialisasi Parameter Filter". Parameter ini bisa mencakup koefisien filter, nilai resistansi, kapasitansi, atau parameter lain yang sesuai dengan desain filter.

Proses filtering kemudian dilakukan. Saat menggunakan High Pass Filter, sinyal dengan frekuensi di bawah frekuensi Cutoff yang akan dilemahkan. Pada tahap "Proses High Pass Filter",

sinyal melewati High Pass Filter, yang memblokir frekuensi di bawah Cutoff.

Setelah proses filtering, sinyal yang telah difilter dihasilkan melalui langkah "Output Sinyal Terfilter". Sinyal ini sekarang memiliki komponen frekuensi yang sesuai dengan kriteria filter High Pass Filter. Proses filtering diakhiri dengan tahap "Selesai," yang menandakan selesainya prosedur[15].

E. Flowchart Low Pass Filter



Gambar 4 Flowchart Low Pass Filter

Flowchart untuk Low Pass Filter memberikan panduan visual mengenai tahapan proses filtering sinyal yang dilakukan. Berikut adalah penjelasan detail dari setiap langkah dalam flowchart:

Proses dimulai dengan tahap "Mulai" yang menandakan inisiasi dari seluruh prosedur filtering. Pada tahap ini, sinyal yang akan difilter dimasukkan ke dalam sistem melalui langkah "Input Sinyal". Sinyal ini bisa berupa sinyal analog atau sinyal digital yang telah didigitalkan sebelumnya.

Selanjutnya, frekuensi Cutoff ditentukan dalam langkah "Tentukan Frekuensi Cutoff". Frekuensi Cutoff adalah batas frekuensi di mana sinyal akan mulai di-filter. Untuk Low Pass Filter, sinyal di atas frekuensi Cutoff akan dilemahkan. Setelah frekuensi Cutoff ditentukan, parameter-parameter yang diperlukan untuk filter diinisialisasi dalam langkah "Inisialisasi Parameter Filter". Parameter ini bisa mencakup koefisien filter, nilai resistansi, kapasitansi, atau parameter lain yang sesuai dengan desain filter.

Proses filtering kemudian dilakukan. Saat menggunakan Low Pass Filter, sinyal dengan frekuensi di atas frekuensi Cutoff

akan dilemahkan. Pada tahap "Proses *Low Pass Filter*", sinyal melewati *Low Pass Filter*, yang memblokir frekuensi di atas *Cutoff*.

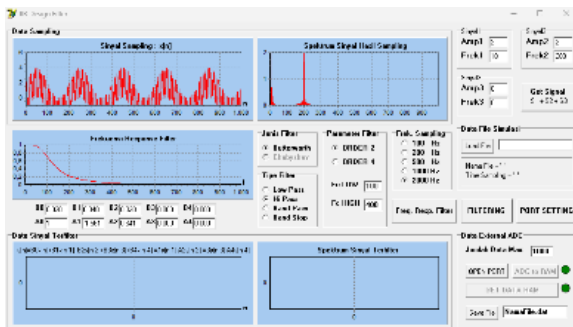
Setelah proses filtering, sinyal yang telah difilter dihasilkan melalui langkah "Output Sinyal Terfilter". Sinyal ini sekarang memiliki komponen frekuensi yang sesuai dengan kriteria filter yang digunakan *Low Pass Filter*. Proses filtering diakhiri dengan tahap "Selesai" yang menandakan selesainya prosedur.

III. Hasil dan Pembahasan

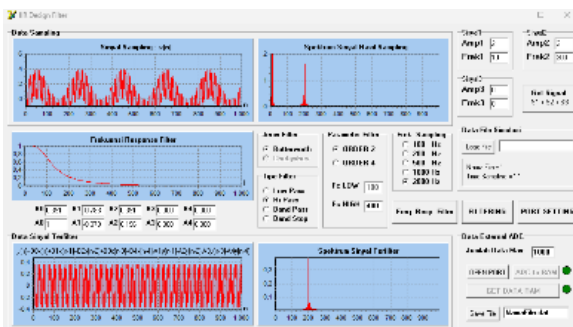
1. Pemrosesan Sinyal Digital Orde 2

A. High Pass Filter

1. Frekuensi sinyal sampling (Amp2, Freq10) dan (Amp2, Freq200)



Gambar 5 Sinyal Sampling



Gambar 6 Hasil Sinyal Terfilter

Gambar 5 dan gambar 6 menunjukkan pemrosesan sinyal menggunakan filter digital. Sinyal sampling awal, $x[n]$, memiliki nilai amplitudo yang berfluktuasi antara puncak sekitar 6 dan lembah sekitar -6. Sinyal ini merupakan kombinasi dari dua sinyal sinusoidal dengan frekuensi masing-masing 10 Hz dan 200 Hz serta amplitudo masing-masing 2. Spektrum sinyal hasil sampling menunjukkan puncak frekuensi dominan pada 100 Hz dan 200 Hz, menegaskan komponen frekuensi dari sinyal input.

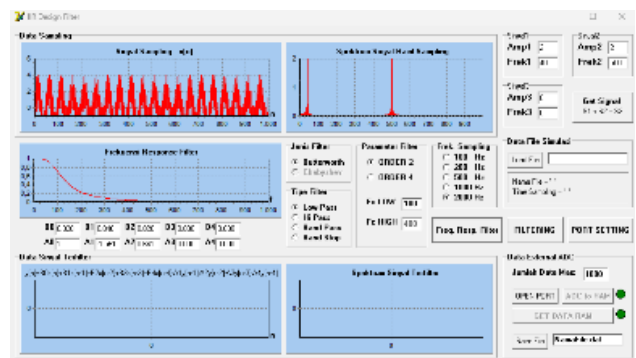
Respon frekuensi filter yang digunakan adalah tipe Butterworth dengan karakteristik low-pass dan *Cutoff*

frequency pada 100 Hz. Filter ini memotong komponen frekuensi di atas 100 Hz, sehingga hanya frekuensi di bawah 100 Hz yang diteruskan. Hasilnya, sinyal terfilter memiliki amplitudo yang lebih rendah, berkisar antara 1 dan -1, menunjukkan pengurangan atau penghilangan komponen frekuensi tinggi.

Spektrum sinyal terfilter memperlihatkan bahwa komponen frekuensi di atas 100 Hz telah berkurang signifikan, sesuai dengan karakteristik filter low-pass yang diterapkan. Pengaturan parameter filter dan frekuensi sampling memberikan fleksibilitas dalam Pemrosesan sinyal, dengan pilihan frekuensi sampling 100 Hz, 200 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, dan 2000 Hz. Selain itu, sinyal input dapat diatur dengan amplitudo dan frekuensi yang berbeda-beda, meskipun pada contoh ini hanya digunakan dua sinyal sinusoidal dengan frekuensi 10 Hz dan 200 Hz. Secara keseluruhan, gambar ini menunjukkan efektivitas filter high-pass dalam menghilangkan komponen frekuensi tinggi dari sinyal input, menghasilkan sinyal output yang lebih halus dan lebih rendah frekuensinya.

A. Low Pass Filter Orde 2

1. Frekuensi sinyal sampling (Amp2, Freq40) dan (Amp2, Freq500)



Gambar 7 Sinyal Sampling



Gambar 8 Hasil Sinyal Terfilter

Gambar 7 dan gambar 8 menunjukkan pemrosesan sinyal menggunakan filter digital. Sinyal sampling awal, $x[n]$,

memiliki nilai amplitudo yang berfluktuasi antara puncak sekitar 6 dan lembah sekitar -6. Sinyal ini merupakan kombinasi dari dua sinyal sinusoidal dengan frekuensi masing-masing 40 Hz dan 500 Hz serta amplitudo masing-masing 2. Spektrum sinyal hasil sampling menunjukkan puncak frekuensi dominan pada 40 Hz dan 500 Hz, menegaskan komponen frekuensi dari sinyal input.

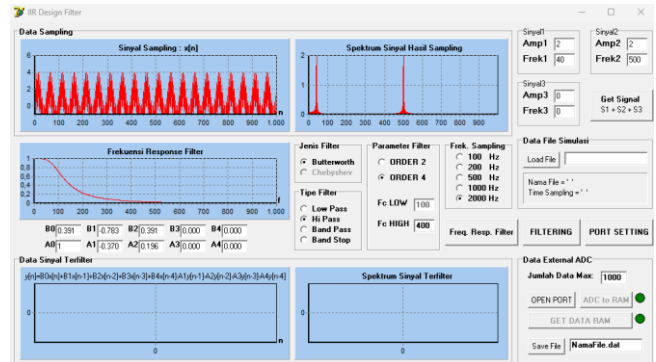
Respon frekuensi filter yang digunakan adalah tipe Butterworth dengan karakteristik low-pass dan *Cutoff* frequency pada 100 Hz. Filter ini memotong komponen frekuensi di atas 100 Hz, sehingga hanya frekuensi di bawah 100 Hz yang diteruskan. Hasilnya, sinyal terfilter memiliki amplitudo yang lebih rendah, berkisar antara 2 dan -2, menunjukkan pengurangan atau penghilangan komponen frekuensi tinggi.

Spektrum sinyal terfilter memperlihatkan bahwa komponen frekuensi di atas 100 Hz telah berkurang signifikan, sesuai dengan karakteristik filter low-pass yang diterapkan. Pengaturan parameter filter dan frekuensi sampling memberikan fleksibilitas dalam Pemrosesan sinyal, dengan pilihan frekuensi sampling 100 Hz, 200 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, dan 2000 Hz. Selain itu, sinyal input dapat diatur dengan amplitudo dan frekuensi yang berbeda-beda, meskipun pada contoh ini hanya digunakan dua sinyal sinusoidal dengan frekuensi 40 Hz dan 500 Hz. Secara keseluruhan, gambar ini menunjukkan efektivitas filter low-pass dalam menghilangkan komponen frekuensi tinggi dari sinyal input, menghasilkan sinyal output yang lebih halus dan lebih rendah frekuensinya.

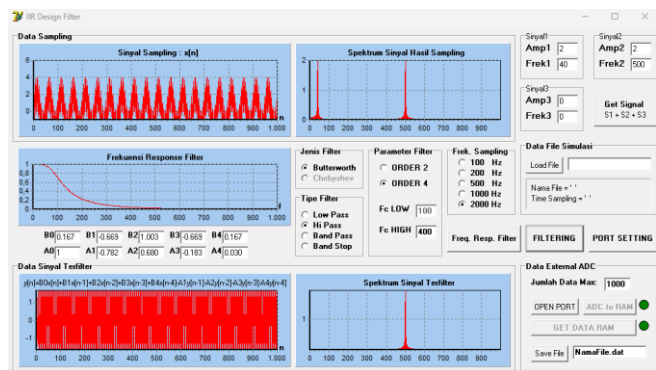
2. Pemrosesan Sinyal Digital Orde 4

A. High Pass Filter

1. Frekuensi sinyal sampling (Amp2, Frek30) dan (Amp2, Frek400)



Gambar 9 Sinyal Sampling



Gambar 10 Hasil Sinyal Terfilter

Gambar 9 dan gambar 10 menunjukkan pemrosesan sinyal menggunakan filter digital. Sinyal sampling awal, $x[n]$, memiliki nilai amplitudo yang berfluktuasi antara puncak sekitar 6 dan lembah sekitar -6. Sinyal ini merupakan kombinasi dari dua sinyal sinusoidal dengan frekuensi masing-masing 40 Hz dan 500 Hz serta amplitudo masing-masing 2. Spektrum sinyal hasil sampling menunjukkan puncak frekuensi dominan pada 40 Hz dan 500 Hz, menegaskan komponen frekuensi dari sinyal input.

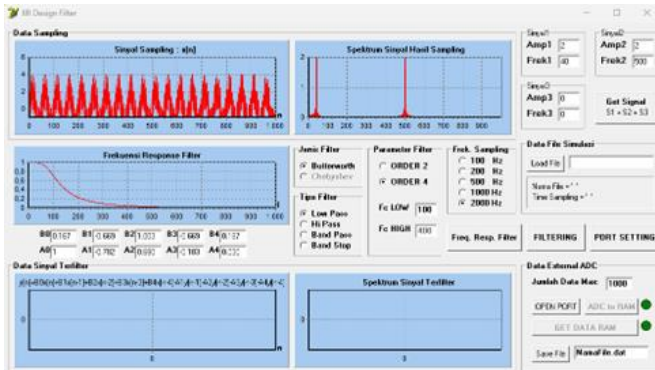
Respon frekuensi filter yang digunakan adalah tipe Butterworth dengan karakteristik high-pass dan *Cutoff* frequency pada 400 Hz. Filter ini memotong komponen frekuensi di bawah 400 Hz, sehingga hanya frekuensi di atas 400 Hz yang diteruskan. Hasilnya, sinyal terfilter memiliki amplitudo yang lebih rendah, berkisar antara 1 dan -1, menunjukkan penghilangan komponen frekuensi rendah.

Spektrum sinyal terfilter memperlihatkan bahwa komponen frekuensi di bawah 400 Hz telah berkurang signifikan, sesuai dengan karakteristik filter high-pass yang diterapkan. Pengaturan parameter filter dan frekuensi sampling memberikan fleksibilitas dalam Pemrosesan sinyal, dengan pilihan frekuensi sampling 100 Hz, 200 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, dan 2000 Hz. Selain itu, sinyal input dapat diatur dengan amplitudo dan frekuensi yang berbeda-beda, meskipun pada contoh ini hanya digunakan dua sinyal sinusoidal dengan frekuensi 40 Hz dan 500 Hz. Secara keseluruhan, gambar ini

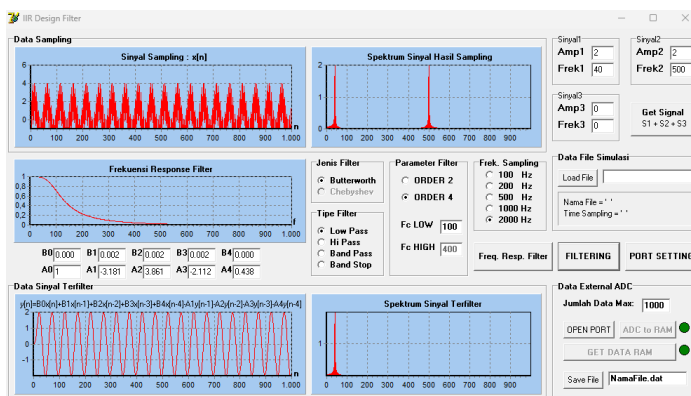
menunjukkan efektivitas filter high-pass dalam menghilangkan komponen frekuensi rendah dari sinyal input, menghasilkan sinyal output yang lebih halus dan lebih tinggi frekuensinya.

B. Low Pass Filter Orde 4

1. Frekuensi sinyal sampling (Amp2, Frek30) dan (Amp2, Frek400)



Gambar 11 Sinyal Sampling



Gambar 11 Hasil Sinyal Terfilter

Gambar 11 dan gambar 12 menunjukkan menunjukkan pemrosesan sinyal menggunakan filter low-pass. Sinyal sampling awal, $x[n]$, memiliki nilai amplitudo yang berfluktuasi antara puncak sekitar 6 dan lembah sekitar -6. Sinyal ini merupakan kombinasi dari dua sinyal sinusoidal dengan frekuensi masing-masing 40 Hz dan 500 Hz serta amplitudo masing-masing 2. Spektrum sinyal hasil sampling menunjukkan puncak frekuensi dominan pada 40 Hz dan 500 Hz, menegaskan komponen frekuensi dari sinyal input. Respon frekuensi filter yang digunakan adalah tipe Butterworth dengan karakteristik low-pass dan *Cutoff* frequency pada 100 Hz, sehingga hanya frekuensi di bawah 100 Hz yang diteruskan. Hasilnya, sinyal terfilter memiliki

amplitudo yang lebih rendah, berkisar antara 2 dan -2, menunjukkan penghilangan komponen frekuensi tinggi. Spektrum sinyal terfilter memperlihatkan bahwa komponen frekuensi di atas 100 Hz telah berkurang signifikan, sesuai dengan karakteristik filter low-pass yang diterapkan. Pengaturan parameter filter dan frekuensi sampling memberikan fleksibilitas dalam Pemrosesan sinyal, dengan pilihan frekuensi sampling 100 Hz, 200 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, dan 2000 Hz. Selain itu, sinyal input dapat diatur dengan amplitudo dan frekuensi yang berbeda-beda, meskipun pada contoh ini hanya digunakan dua sinyal sinusoidal dengan frekuensi 40 Hz dan 500 Hz. Secara keseluruhan, gambar ini menunjukkan efektivitas filter low-pass dalam menghilangkan komponen frekuensi tinggi dari sinyal input, menghasilkan sinyal output yang lebih halus dan lebih rendah frekuensinya.

IV. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perencanaan sistem, implementasi dan uji coba pada alat yang telah dilakukan pada penelitian ini, maka disimpulkan bahwa:

- a. Perancangan Modul yang Efektif Modul Pemrosesan sinyal digital yang dirancang efektif sebagai media pembelajaran bagi mahasiswa Teknik Elektro. Modul ini fokus pada konversi sinyal analog ke digital menggunakan *Low Pass Filter* (LPF) dan *High Pass Filter* (HPF).
- b. Modul trainer Pemrosesan sinyal digital bisa berkerja pada:
 - Orde 2 *High Pass Filter* menunjukan hasil memiliki sudut *Cutoff* lebih rendah dan kemiringan yang lebih landai sekitar 12 dB per oktaf, sehingga memiliki respon yang lebih cepat terhadap sinyal impuls namun kurang efektif dalam memblokir frekuensi rendah. Selain itu, filter ini juga menghasilkan overshoot dan ringing yang lebih sedikit.
 - Orde 2 *Low Pass Filter* menunjukan hasil memiliki sudut *Cutoff* lebih lebar dan kemiringan yang lebih landai sekitar 12 dB per oktaf, sehingga memiliki respon yang lebih cepat terhadap sinyal impuls namun kurang efektif dalam memblokir frekuensi tinggi. Filter ini juga menghasilkan overshoot dan ringing yang lebih sedikit.

Secara umum, filter orde 2 memiliki respon yang lebih cepat, kemiringan yang lebih landai, kurang efektif dalam redaman, namun lebih stabil dalam domain waktu.

- Orde 4 *High Pass Filter* menunjukan hasil memiliki sudut *Cutoff* yang lebih tajam dan kemiringan yang lebih curam sekitar 24 dB per oktaf, sehingga lebih efektif dalam memblokir frekuensi rendah namun memiliki respon yang lebih lambat terhadap sinyal impuls. Filter ini juga

mungkin menunjukkan lebih banyak overshoot dan ringing.

- Orde 4 *Low Pass Filter* orde 4 memiliki sudut *Cutoff* yang lebih tajam dan kemiringan yang lebih curam sekitar 24 dB per oktaf, sehingga lebih efektif dalam memblokir frekuensi tinggi namun memiliki respon yang lebih lambat terhadap sinyal impuls. Filter ini juga mungkin menunjukkan lebih banyak overshoot dan ringing.

Secara umum, filter orde 4 memiliki respon yang lebih lambat, kemiringan yang lebih tajam, lebih efektif dalam redaman, namun memiliki potensi overshoot dan ringing yang lebih besar.

c. Efektivitas Modul Trainer: Penelitian ini berhasil merancang dan mengembangkan modul trainer untuk Pemrosesan sinyal digital menggunakan *Low Pass Filter* (LPF) dan *High Pass Filter* (HPF). Modul ini terbukti efektif sebagai media pembelajaran yang membantu mahasiswa Teknik Elektro memahami dan mengaplikasikan teori Pemrosesan sinyal digital dalam konteks praktis.

Dengan hasil dan kesimpulan ini, modul Pemrosesan sinyal digital yang telah dirancang dan diuji dapat dianggap sukses dan memberikan manfaat nyata dalam pendidikan Teknik Elektro.

V. Daftar Pustaka

- [1] F. Pangerang, S. A. Kadir, and Y. Yuniarti, "Perancangan Modul Trainer Analog Digital Converter (Adc) Pada System Digital Berbasis Lab View," *Semin. Nas. Has.*, vol. 2019, pp. 160–164, 2019, [Online]. Available: <http://jurnal.poliupg.ac.id/index.php/snp2m/article/download/785/674>
- [2] H. Toruan, "Perancangan Dan Pembuatan Modul Adc Berbasis Mikrokontroler Atmega8535," *J. Borneo Inform. dan Tek. Komput.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–7, 2021, doi: 10.35334/jbit.v1i1.2118.
- [3] G. P. Cikarge and P. Utami, "Analisis Dan Desain Media Pembelajaran Praktik Teknik Digital Sesuai Rps," *Elinvo (Electronics, Informatics, Vocat. Educ.*, vol. 3, no. 1, pp. 92–105, 2019, doi: 10.21831/elinvo.v3i1.20509.
- [4] E. D. Setioningsih, "The Impact of Using Digital Filter and Analog Filter on Surface Electromyography Signal," *Int. J. Adv. Heal. Sci. Technol.*, vol. 1, no. 2, pp. 68–73, 2021, doi: 10.35882/ijahst.v1i2.6.
- [5] R. Dastres *et al.*, "Systems To cite this version : A Review in Advanced Digital Signal Processing Systems," *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, 2021.
- [6] M. Puzan and I. Yanti, "Penggunaan Pin ADC (Analog to Digital Converter) pada Mikrokontroler ATmega8535 untuk Menghasilkan Catu Daya Digital," *ELKHA J. Tek. Elektro Untan*, vol. 11, no. 2, pp. 122–127, 2019.
- [7] D. Denisenko, N. Prokopenko, and N. Butyrlagin, "Differential difference amplifiers in the second order low-sensitive all-pass active RC-filters," *Proc. Int. Conf. Comput. Autom. Knowl. Manag. ICCAKM 2020*, pp. 275–279, 2020, doi: 10.1109/ICCAKM46823.2020.9051558.
- [8] A. S. M. Al-Khazrji, "Digital Signal Processing in the Frequency Domain of Audio Involves Various Steps and Techniques," *Int. J. Inf. Technol. Comput. Eng.*, no. 34, pp. 35–39, 2023, doi: 10.55529/ijtc.34.35.39.
- [9] E. Supriyanto, A. Fitriyanto, and Y. Nurfaizah, "Rancang Bangun Modul Low Pass Filter (LPF) Orde 1 dan Orde 2 Sebagai Penunjang Prkatikum Rangkaian Elektronika dan Bengkel Elektronika Komunikasi," *Integr. Lab J.*, vol. 11(02), no. 02, pp. 23–24, 2023.
- [10] F. Trisnawati and R. Sigit Doni, "High-Pass Filter," *Dict. Geotech. Eng. Geotech.*, vol. 1, no. 3, pp. 677–677, 2021, doi: 10.1007/978-3-642-41714-6_80915.
- [11] A. Brilian Aulia, "Analisis Sederhana Simulasi Op-Amp HPF dan LPF sebagai Filter Pengolahan Isyarat Digital," *Tugas akhir mata kuliah Elektron. Analog*, no. December 2021, pp. 0–6, 2022.
- [12] F. Pangerang, K. Naim, and M. Adnan, "Perancangan Modul Trainer Digital Analog Converter (Dac) Pada Sistem Digital Berbasis Lab View," *Pros. Semin. Nas. Penelit. Pengabd. Kpd. Masy. 2019*, vol. 2019, pp. 1–6, 2019.
- [13] Hafsa N, Fajri R, and Rusdi W, "Desain Modul Pembelajaran Modulasi Digital," *Pros. 4th Semin. Nas. Penelit. Pengabd. Kpd. Masy. 2020*, pp. 174–178, 2020.
- [14] A. Taking, "Analisa Rangkaian Active High Pass Filter Orde 1 Dan Orde 2 Topology Sallenkey," pp. 4–15, 2022, [Online]
- [15] R. Setiawan, "Teknik Akuisisi Data," 2008. [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:203489781>