

## PERANCANGAN SISTEM AUDIO CROSSOVER BERBASIS DIGITAL FILTER MENGGUNAKAN STM32L4

Mohammad Dicky Nasrulloh<sup>1</sup>, Waluyo<sup>2</sup>, Hendro Darmono<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Jaringan Telekomunikasi Digital, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, 65141 Indonesia

Email : <sup>1</sup>mohammaddickyn@gmail.com, <sup>2</sup>waluyo@polinema.ac.id, <sup>3</sup>hendrodarmonoo@gmail.com

### Abstrak

Perangkat sistem telekomunikasi analog sekarang mulai berkembang dan digantikan dengan sistem telekomunikasi digital, salah satunya pada *audio signal processing*. Fokus pemrosesan audio yaitu *audio crossover*. *Audio crossover* dalam perkembangannya masih banyak yang menggunakan sistem analog. Sistem analog ini memiliki kekurangan saat pengaturan keseimbangan suara dikarenakan masih menggunakan filter analog untuk menyeimbangkannya. Diperlukan pengembangan teknologi yang bertujuan untuk menciptakan sistem *audio crossover* berbasis digital menggunakan STM32L4, sehingga dengan menggunakan pemrosesan sinyal berbasis digital tersebut mampu mengatur suara dengan lebih spesifik daripada pemrosesan sinyal yang berbasis analog. Filter digital ini menggunakan metode *Finite Impulse Respons (FIR)*. Pengujian *audio crossover* menggunakan STM32L4 menghasilkan perancangan sistem *audio crossover* berbasis digital menggunakan mikrokontroler STM32L4 dengan tegangan 3,3V sebagai catu daya, *mp3 player* sebagai perangkat input suara, filter FIR sebagai pemrosesan filter digital, LM386 sebagai penguat suara dan speaker sebagai output suara untuk *audio crossover* pada rentang frekuensi rendah (200Hz sampai 4000Hz), tinggi (2200Hz sampai 6000Hz), medium (200Hz sampai 4000Hz).

**Kata kunci :** *Audio Crossover, FIR, windowing rectangular, STM32L4, Digital Signal Processing*

### I. Pendahuluan

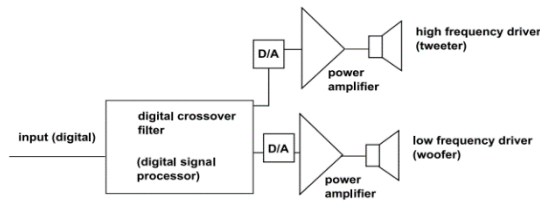
Perangkat sistem telekomunikasi analog sekarang mulai digantikan dengan sistem telekomunikasi digital, perangkat – perangkat yang mendukung segala kebutuhan manusia semakin berkembang dan bertambah. Begitu juga dengan pemrosesan sinyal digital diterapkan pada perangkat – perangkat sistem telekomunikasi. Perkembangan yang pesat ini merupakan hasil kemajuan teknologi komputer digital dan industri rangkaian yang terintegrasi. Salah satunya pada *audio signal processing*. *Audio signal processing* adalah bidang pemrosesan sinyal yang berkaitan dengan manipulasi sinyal audio elektronik. Dalam perangkat audio banyak perangkat yang berhubungan dengan pemrosesan sinyal audio seperti *equalizer*.

Perangkat pelengkap yang berfungsi memperbaiki keseimbangan stereo dan kualitas suara keluar, pada sistem fidelitas tinggi (*hi-fi system*) disebut *equalizer*. Sistem suara *stereofonis* memiliki dua saluran yang terpisah. Padasebuah *equalizer*, suara yang keluar dari satu saluran dibagi-bagi dalam beberapa kelompok titik nada atau frekuensi suara. Pembagi suara ini umumnya disebut dengan *audio crossover*. Umumnya dibagi menjadi tiga titik nada, yaitu nada *bass (woofer)*, nada tengah (*middle*), dan nada *trebel (twitter)*. *Audio crossover* dapat juga dikatakan sebagai pengontrol suara karena dapat mengurangi atau menambah kekerasan suara pada kelompok-kelompok titik nada yang diinginkan. Dalam *audio crossover* ini terdapat beberapa proses sinyal audio, salah satunya filter. Filter ini berfungsi menyaring sinyal tinggi, tengah dan rendah, sehingga menghasilkan ketiga titik nada.

Pada perancangan ini bertujuan untuk membuat *audio crossover* berbasis filter digital menggunakan mikrokontroler STM32L4 dengan software Keil uVision5. STM32L4 memiliki fungsi untuk mengkonversi data analog menjadi digital dengan memanfaatkan ADC internal yang memiliki proses cepat dan memiliki resolusi maksimal 12bit. Filter digital ini menggunakan metode *Finite Impulse Respons (FIR)*.

#### A. Crossover

*Crossover* adalah rangkaian yang berfungsi untuk memisahkan sinyal output dari sebuah amplifier berdasarkan frekuensinya. Sehingga sinyal yang keluar benar - benar sesuai dengan frekuensi yang seharusnya dalam sistem audio. Sistem audio penghasil suara memiliki batasan dalam mengolah suara yang baik, karena perangkat penghasil suara (*speaker*) dapat menghasilkan suara dengan rentang frekuensi 20 Hz sampai dengan 20 KHz. Untuk menjadikan lebih baik dan mengurangi gangguan suara yaitu dengan cara menggunakan filter *crossover* audio. *Crosssaver filter* dapat dibagi menjadi tiga jenis, yaitu *passive crossover filter*, *active crossover filter* dan *digital crossover filter*. Filter *crossover digital* merupakan implementasi dari *crossver* aktif yang menggunakan *microcontroller* atau DSP. DSP atau *Digital Signal Processing* adalah sejenis *mikcoprossesor* yang didesain/ dirancang khusus untuk pemrosesan isyarat digital. Gambar 1 menunjukkan blok diagram kerja dari jaringan *crossover* aktif digital.



Gambar 1. Prinsip Kerja dari digital crossover

### B. Filter Digital FIR

Pada penerapan digital processing ada dua klasifikasi dari respons impuls berdasarkan panjang gelombang yaitu filter IIR (*Infinite Impulse Response*) dan Filter FIR (*Finite Filter Response*). Pembagian ini berdasarkan ada respon *impulse* filter tersebut. FIR memiliki respons impuls yang panjangnya terbatas, sedangkan IIR tidak terbatas. FIR sering disebut juga sebagai filter non-rekursif dan IIR sebagai rekursif.

Filter FIR sebagai filter pada *crossover* dapat menghasilkan respon *phasa* linear, dimana dapat membantu menghasilkan sinyal suara yang diinginkan. ketika sampel sinyal analog  $F(s)$  pada interval waktu  $T$  untuk mendapatkan domain digital. Biasanya dinormalisasi untuk  $y(n)$  untuk penelitian lebih lanjut. Output filter FIR  $y(n)$  dapat diekspresikan secara matematis seperti pada persamaan (1):

$$y(n) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} h(k) x(n - k)$$

(1)

Output merupakan konvolusi respon impuls filter dengan sinyal input, dengan keterangan  $x(n)$  merupakan sinyal *input*,  $h(n)$  merupakan respon impuls filter dan  $y(n)$  sebagai sinyal output.

### C. STM32L432KC NUCLEO-32

Nucleo merupakan suatu perusahaan pengembang elektronik yang bekerja pada direksi STMicroelectronics. Hasil pengembangan tersebut adalah *microcontroller* STM32. *Microcontroller* STM32 merupakan sebuah modul yang harganya terjangkau dan fleksibel untuk mengembangkan proses pengolahan sinyal. STM32 Nucleo dibagi menjadi tiga jenis, yaitu Nucleo-32, Nucleo-64 dan Nucleo-144. Semua bagian dari Nucleo ini merupakan *microcontroller* yang memiliki bagian DSP untuk *digital signal processing*. Dalam penelitian ini digunakan STM32L432KC Nucleo-32. Nucleo-32 ini mencakup pengolahan *microcontroller* pengolahan sinyal, yang memiliki *ultra-low-power microcontroller* berdasarkan performa yang tinggi menggunakan Arm Cortex 32-bit yang bekerja pada frekuensi maksimal 80MHz

### D. ST-LINK/V2-1

ST-LINK/V2-1 merupakan *programming* dan alat *debugging* (program komputer yang digunakan untuk menguji dan men-*debug* program lain) yang terintegrasi dengan STM32L4 Nucleo. Dengan ST-LINK/V2-1 membuat STM32 Nucleo mengaktifkan

*Embedded System*[9]. *Embedded System* atau sistem tertanam merupakan sistem komputer khusus yang dirancang untuk menjalankan tugas untuk proses STM32L4 Nucleo. Dan *Embedded ST-LINK/V2-1* hanya mendukung SWD (*Serial Wire Debug*) untuk perangkat STM32L4.

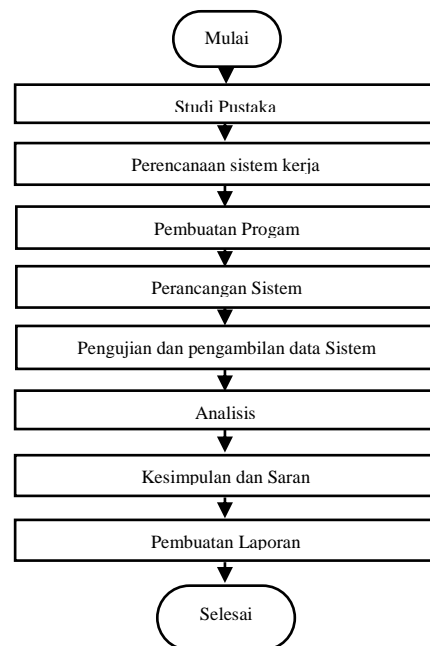
### E. KEIL $\mu$ Vision5

Keil  $\mu$ Vision 5 merupakan *software* Integrated Development Environment (IDE) gratis yang mengintegrasikan editor teks untuk menulis program, kompileryang juga akan mengkonversi kode sumber menjadi file .hex (Chauhan, 2015). Keil  $\mu$ Vision 5 akan menyimpan nama file sumber, informasi konfigurasi untuk kompileryang, assembler, linker debugger, flash loader, dan utilitas lainnya (Ranka, 2011).MDK-Core didasarkan pada  $\mu$ Vision dengan terintegrasi dengan perangkat Cortex-M sementara DS-MDK berisi dengan *software* STM32CubeMX berbasis DS-5 IDE/Debugger dan mendukung 32-bit Cortex-A *profesor* atau sistem hibrida dengan 32-bit Cortex-A dan Cortex-M.

## II. Metodologi

### A. Rancangan Penelitian

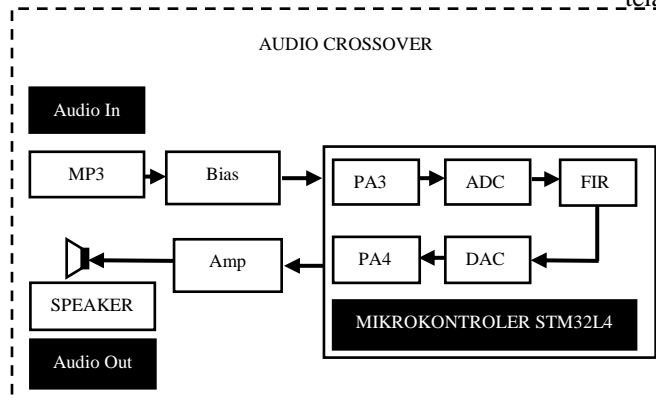
*Audio crossover* didesain menggunakan software Keil  $\mu$ Vision5 menggunakan mikrokontroler STM32L4. Perhitungan filter menggunakan metode *Finite Impulse Respon* untuk membagi sinyal suara berdasarkan suara rendah (*Bass*), sedang (*middle*) dan tinggi (*treble*). Penelitian disusun dengan maksud rancangan yang memiliki tahapan pembuatan yang dapat dilihat dalam Gambar2.



Gambar 2. Flowchart Rancangan Penelitian

### B. Blok Diagram

Rancangan sistem keseluruhan dilakukan perancangan yang ditunjukkan dalam Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Blok Diagram Perencanaan Sistem

Gambar 3 menunjukkan blok diagram perencanaan audio crossover dimulai dari suara masukan (*audio input*) yang berasal dari Mp3 Player yang selanjutnya dihubungkan pada rangkaian bias untuk menaikkan tegangan sekitar 1,5 Volt agar nilai tegangan tidak menghasilkan tegangan negatif. Sinyal masukan dihubungkan pada mikrokontroler STM32L4 yang berfungsi sebagai filter digital menggunakan metode FIR. Rangkaian amplifier digunakan untuk menguatkan sinyal suara agar suara dapat didengarkan pada rangkain speaker atau penguat suara.

### C. Perancangan Hardware

Perancangan perangkat sistem *audio crossover* memerlukan beberapa komponen, yaitu komponen input, pemrosesan sinyal dan output. Komponen input terdiri dari kabel jack audio 3.5 mm yang dihubungkan pada Mp3Player sebagai sumber suara. Suara tersebut akan diolah menggunakan rangkaian audio sebelum masuk kedalam STM32. Sinyal suara yang masuk ke rangkaian akan diproses secara ADC (*analog to digital converter*) pada STM32. Pada pemrosesan ADC sinyal input akan diubah menjadi sinyal digital. Sinyal digital yang masuk ke STM32 akan difilter secara digital menggunakan metode FIR (*finite impulse response*). Sinyal yang telah difilter akan dikeluarkan melalui rangkaian output dengan proses DAC (*digital to analog converter*). Sinyal digital diubah menjadi sinyal analog kemudian dikeluarkan pada output yang terhubung pada rangkaian speaker yang telah terhubung pada output STM32L4.

### D. Perancangan Software

*Software* pada penelitian ini adalah Scilab, STM32 CubeMX dan Keil  $\mu$ Vision 5. *Software* Scilab digunakan untuk pengujian koefisien Hz filter FIR LPF, HPF, dan BPF sedangkan *software* STM32 CubeMX untuk konfigurasi desain mikrokontroler STM32L4. STM43 CubeMX untuk mengatur input, output dan lainnya pada STM32L4. Desain STM32L4

yang telah dikonfigurasi dihubungkan pada software Keil  $\mu$ Vision 5 dengan menekan tombol *generate code*. Keil  $\mu$ Vision 5 digunakan untuk pemrograman yang telah terhubung dengan sistem *embedded* pada tingkat mikrokontroler STM32L4 berbasis ARM Cortex.

### Implementasi



Gambar 4. Rangkaian filter Audio Crossover menggunakan STM32L4

Pada rangkaian tersebut sinyal input berasal dari MP3player ditransmisikan pada 3 buah mikrokontroler STM32L4 yang telah diberi rangkaian bias sebelumnya untuk meloloskan sinyal positif. Kemudian sinyal tersebut dirubah menggunakan ADC lalu difilter menggunakan filter FIR. Filter tersebut menghasilkan sinyal digital lalu diubah menjadi sinyal analog kembali menggunakan DAC dan ditransmisikan pada penguat modul LM386 audio amplifier

### III. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian untuk merancang audio crossover berbasis digital filter FIR.

#### A. Pengujian Respon LPF FIR dengan Input Signal Generator

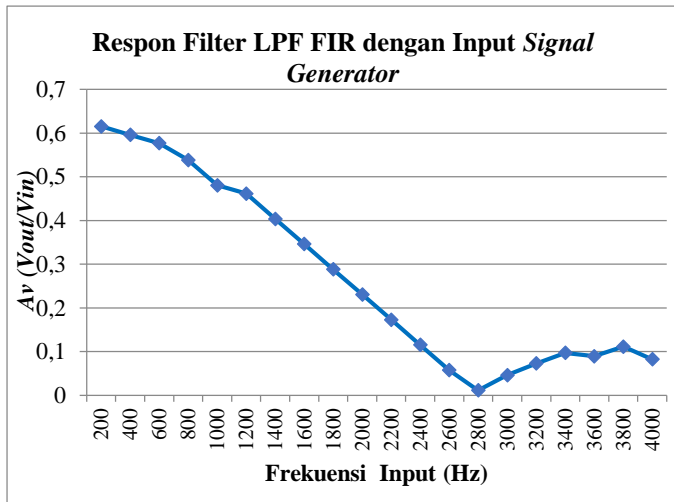
Pengujian filter LPF FIR dengan input *signal generator* ditampilkan pada osiloskop dilakukan untuk mengetahui hasil respon filter LPF FIR. Hasil respon LPF FIR pada osiloskop ditunjukkan dalam gambar 4.



Gambar 4. Respon LPF FIR sebelum dan sesudah difilter menggunakan input Sinyal Generator

Hasil pengujian output filter pada osiloskop tersebut, dapat diketahui perbedaan nilai tegangan yang dihasilkan dari masing-masing percobaan frekuensi input. *Channel 1* (kuning) menunjukan saat sebelum proses filter dan *Channel 2* (biru) setelah proses filter LPF dengan hasil perbandingan tegangan

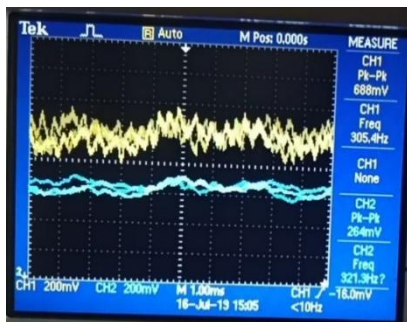
input dan tegangan output ditunjukkan pada Gambar 5 berikut



Gambar 5. Hasil Pengukuran Respon Filter LPF FIR dengan input Signal Generator

**B. Pengujian Respon FIR Filter menggunakan dengan Audio Input**

Pengujian filter LPF FIR menggunakan audio dari mp3 player dilakukan untuk mengetahui output dari hasil filter LPF FIR terhadap audio. Hasil output dari audio melalui proses filter LPF FIR ditunjukkan dalam gambar 6.



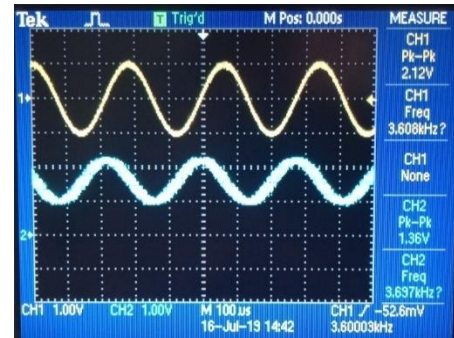
Gambar 6. Hasil Respon LPF FIR sebelum dan sesudah difilter dengan Input Audio

Gambar 6 menunjukkan CH1 menunjukkan sinyal audio sebelum difilter sedangkan CH2 adalah sinyal audio setelah filter. Hasil output filter pada osiloskop tersebut menunjukkan bahwa tegangan output yang dihasilkan lebih kecil dari tegangan input. Hal ini sama dengan hasil tegangan output pada saat menggunakan input *signal generator*. Penurunan tegangan ini disebabkan adanya redaman dari proses filter. Redaman tersebut menunjukkan terjadi perubahan sinyal hasil proses filter LPF FIR. Sinyal dengan frekuensi input dilewatkan terhadap frekuensi *cutoff*-nya. Semakin besar frekuensi inputnya semakin besar pula redamannya dikarenakan frekuensi yang diijinkan lewat semakin pendek. Hal ini dapat terjadi karena LPF hanya melewatkan sinyal dengan frekuensi rendah yang ada di bawah frekuensi *cutoff* dan melemahkan sinyal dengan frekuensi yang lebih

tinggi dari frekuensi *cutoff* sehingga menyebabkan keluarannya tetap dari DC naik sampai ke frekuensi *cutoff*, tegangan keluarannya diperlemah (turun).

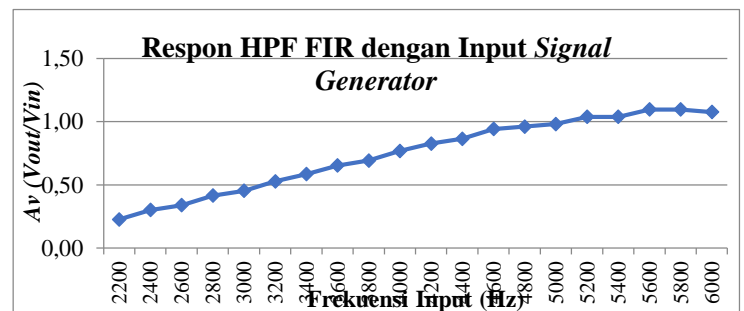
**C. Pengujian Respon HPF FIR dengan Input Signal Generator**

Pengujian filter HPF FIR dengan input *signal generator* ditampilkan pada osiloskop dilakukan untuk mengetahui hasil respon filter HPF FIR. Hasil respon HPF FIR pada osiloskop ditunjukkan dalam gambar 7.



Gambar 7. Respon HPF FIR sebelum dan sesudah difilter menggunakan input Sinyal Generator

Gambar 4.6 menunjukkan hasil pengujian output filter pada osiloskop bahwa dapat diketahui perbedaan nilai tegangan yang dihasilkan dari masing-masing percobaan frekuensi input. *Channel 1* (kuning) menunjukan saat sebelum proses filter dan *Channel 2* (biru) setelah proses filter HPF dengan hasil perbandingan tegangan input dan tegangan output ditunjukkan pada Gambar 8.



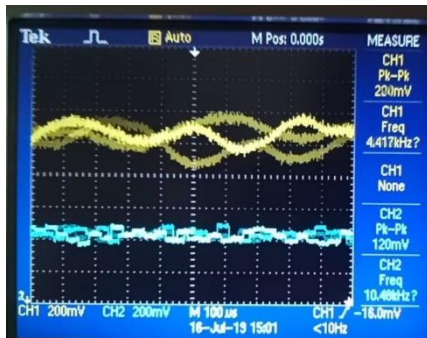
Gambar 8. Hasil Pengukuran Respon Filter HPF FIR dengan Input Signal Generator

Gambar 4.7 menunjukkan respon HPF FIR dari hasil pengukuran *Gain* dari perbandingan tegangan output dengan tegangan input dengan tegangan input sebesar 2,12Vpp dan dihasilkan tegangan output hasil filter HPF FIR yang semakin besar karena HPF memperlemah tegangan keluaran untuk semua frekuensi di bawah *cutoff*, sedangkan frekuensi diatas frekuensi *cutoff* tegangan keluarannya tetap. HPF melewatkan frekuensi tinggi serta meredam frekuensi yang rendah atau di bawah frekuensi *cutoff*.

**D. Pengujian Respon HPF FIR dengan Audio**

Pengujian filter HPF FIR menggunakan suara dari mp3 player dilakukan untuk mengetahui output dari hasil filter FIR untuk mengetahui output dari

hasil filter HPF FIR terhadap audio. Hasil output audio yang melalui filter HPF FIR ditunjukkan dalam gambar 9.

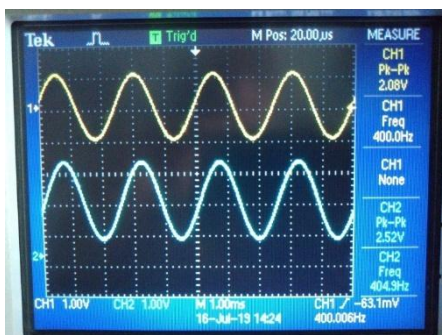


Gambar 9. Hasil Respon HPF FIR sebelum dan sesudah difilter dengan input audio

Gambar 4.8 menunjukkan CH1 menunjukkan sinyal audio sebelum difilter sedangkan CH2 adalah sinyal audio setelah filter. Hasil output filter pada osiloskop tersebut menunjukkan bahwa tegangan output yang dihasilkan lebih kecil dari tegangan input. Hal ini sama dengan hasil tegangan output pada saat menggunakan input *signal generator*. Penurunan tegangan ini disebabkan adanya redaman dari proses filter. Redaman tersebut menunjukkan terjadi perubahan sinyal hasil proses filter HPF FIR. Respon output HPF yang semakin tinggi disebabkan karena HPF melewati sinyal yang lebih tinggi dari frekuensi *cutoff*. HPF memperlemah tegangan keluaran untuk semua frekuensi di bawah *cutoff*, sedangkan frekuensi di atas frekuensi *cutoff* tegangan keluarannya tetap. Sehingga tegangan output dari filter HPF semakin naik dan respon Gain yang ditunjukkan juga semakin naik.

### E. Pengujian Respon BPF FIR dengan Input Signal Generator

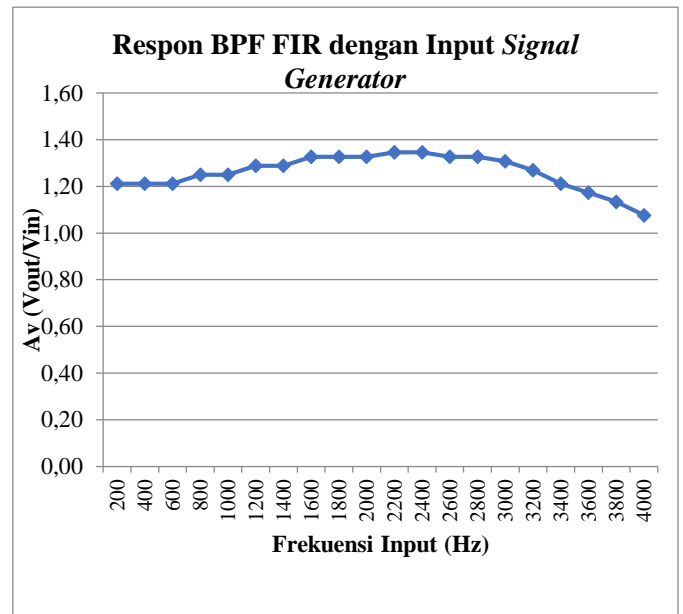
Pengujian filter BPF FIR tanpa input audio ditampilkan pada osiloskop dilakukan untuk mengetahui hasil respon filter BPF dari desain BPF FIR dengan input *signal generator*. Hasil respon BPF FIR pada osiloskop ditunjukkan dalam gambar 10.



Gambar 10. Respon BPF FIR sebelum dan sesudah difilter menggunakan input Signal Generator

Gambar 10 menunjukkan hasil pengujian output filter pada osiloskop bahwa dapat diketahui perbedaan nilai tegangan yang dihasilkan dari masing-masing percobaan frekuensi input. *Channel 1* (kuning)

menunjukkan saat sebelum proses filter dan *Channel 2* (biru) setelah proses filter BPF dengan hasil perbandingan tegangan input dan tegangan output ditunjukkan pada Gambar 11.

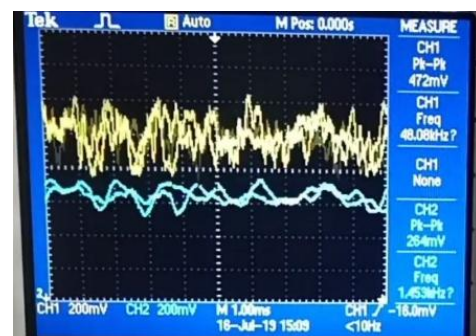


Gambar 11. Hasil Pengukuran Respon BPF FIR dengan Input Signal Generator

Gambar 11 menunjukkan hasil respon output filter BPF FIR dengan cara meningkatkan frekuensi inputnya. Berdasarkan grafik diatas terdapat dua kondisi, pada titik frekuensi *cutoff* pertama yaitu 800 Hz, tegangan output yang dihasilkan semakin tinggi sehingga gain juga semakin tinggi, sedangkan pada kondisi titik setelah frekuensi *cutoff* kedua, tegangan output menurun sehingga gain menurun. Hal ini disebabkan, BPF hanya melewati sebuah pita frekuensi dan memperlemah semua frekuensi di luar pita tersebut. BPF hanya melewati suatu range frekuensi.

### F. Pengujian Respon BPF FIR dengan Audio

Pengujian filter BPF FIR menggunakan suara dari mp3 *player* dilakukan untuk mengetahui output dari hasil filter BPF FIR terhadap audio. Hasil output dari audio yang melalui filter BPF FIR ditunjukkan dalam gambar 12.



Gambar 12. Hasil Respon BPF FIR sebelum dan sesudah difilter dengan Input Audio

Gambar 12 menunjukkan CH1 adalah sinyal audio yang belum difilter sedangkan CH2 adalah sinyal audio setelah difilter. Hasil output filter pada osiloskop tersebut menunjukkan bahwa tegangan output yang dihasilkan lebih kecil dari tegangan input. Hal ini sama dengan hasil tegangan output pada saat menggunakan input *signal generator*. Penurunan tegangan ini disebabkan adanya redaman dari proses filter. Redaman tersebut menunjukkan terjadi perubahan sinyal hasil proses filter BPF FIR. BPF hanya melewatkan sebuah pita frekuensi dan memperlemah semua frekuensi di luar pita tersebut. BPF hanya melewatkan suatu range frekuensi

#### IV. Kesimpulan

1. Perancangan sistem *audio crossover* berbasis digital menggunakan mikrokontroler STM32L4 dengan tegangan 3,3V sebagai catu daya, *mp3 player* sebagai perangkat input suara, filter FIR sebagai pemrosesan filter digital, LM386 sebagai penguat suara dan speaker sebagai output suara untuk *audio crossover* pada rentang frekuensi 200 Hz sampai dengan 6000Hz.
2. Filter *audio crossover digital* dapat bekerja pada range frekuensi yang telah ditentukan sesuai dengan perencanaan yaitu range frekuensi rendah ( 200Hz sampai 4000Hz), tinggi (2200Hz sampai 6000Hz), medium (200Hz sampai 4000Hz).
3. Hasil simulasi menunjukkan respon LPF, HPF dan BPF FIR yang sama dengan hasil pengukuran pada rangkaian. Nilai gain yang dihasilkan baik pada simulasi maupun pengukuran memiliki respon yang tidak jauh berbeda.

#### Referensi

- [1] Yudhistira, Kurniawan, “Rancang Bangun Digital Equalizer Berbasis Mikrokontroler ATmega 8535”, Jurusan Teknik Komputer, Politeknik Negeri Sriwijaya.
- [2] Addina, Adella A.V , “Implementasi Filter *Finite Impulse Response* (FIR) Pada DSK TMS320C6713 *Transceiver* Menggunakan Teknik *Windowing*”, Progam Studi Jaringan Telekomunikasi Digital, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, 2018. (Diakses tanggal 10 Februari 2019)
- [3] Putra, Rizki Jumadil,, “Implementasi Filter Digital FIR (*Finite Impulse Response*) Pada *Field Programmable Gate Arrays* (FPGA), Teknik Elektro, Universitas Brawijaya, 2013.
- [4] Jacko, Patrick, “*The Parallel Data Processing Bay Nucleo Board with STM32 Microcontroller*”, Department of Theoretical and Industrial Electrical Engineering, Košice, Slovakia
- [5] Korhola, Henri, “Perceptual Study of Loudspeaker Crossover Filters”, *Faculty of Electronics, Communications and Automation, Helsinki University Of Technology*.
- [6] A. Rimell and M. O. Hawksford, “ Digital crossover design strategy for Drive Units with impaired and non-coincident Polar characteristic”, *The 95 th Convention of the Audio Engineering Society*
- [7] Budi, Tri Santoso, “Design Finite Impulse Response Filter”, Group Sinyal, EEPIS-ITS
- [8] STMicroelectronics, “STM32KC”, <URL:<https://www.st.com/en/microcontrollers/microprocessors/stm32l432kc.html>>, Maret, 2019
- [9] STMicroelectronics, “STM32 Nucleo kit for STM32L432KC Line”, STM32 Nucleo datasheet, Mei, 2018
- [10] ARM KEIL *Microcontroller Tools*, “*Microcontroller Development Kit*”, <URL:<http://www2.keil.com/brochures/>>, 2015
- [11] Arm Development, “GNU Arm Embedded Toolchain”, <URL:<https://developer.arm.com/tools-and-software/open-source-software/developer-tools/gnu-toolchain/gnu-rm>>, 2017
- [12] STMicroelectronics, “STM32CubeMX for STM32 configuration and initialization C code generation”, STM32 Nucleo datasheet, April, 2019
- [13] Jervis, Peter, “LM386 Audio Amplifier Module”, *Electronics Kit*, <URL:[https://www.petervis.com/Electronics\\_Kits/lm386-audio-amplifier-module/lm386-audio-amplifier-module.html](https://www.petervis.com/Electronics_Kits/lm386-audio-amplifier-module/lm386-audio-amplifier-module.html)>. 2018