

# IMPLEMENTASI LOW PASS FILTER PADA PEMBILAS BIDANG KOMUNIKASI SUARA UNTUK MENINGKATKAN KAPASITAS KANAL KOMUNIKASI

Arif Basuki<sup>1\*</sup>, Diah Suwarti Widyastuti<sup>2</sup>, Cipto Driyo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Prodi D3 Teknik Elektronika, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

<sup>2</sup>Prodi Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

\*Email: [arif.basuki@itny.ac.id](mailto:arif.basuki@itny.ac.id)

## Abstrak

Audio Low Pass Filter pada sistem komunikasi telepon maupun radio memiliki frekuensi cut-off sebesar 4 KHz. Lebar bidang ini dianggap cukup untuk "memotong" sumber sinyal vokal manusia sebesar 20 KHz. Kebutuhan kanal komunikasi semakin meningkat namun alokasi frekuensi terbatas. Salah satu metode untuk meningkatkan kanal komunikasi adalah "mempersempit" bandwidth isyarat audio yang dilewatkan. Hal ini dapat dilakukan dengan menurunkan frekuensi cut-off Low Pass Filter. Penelitian ini menggunakan Sallen and Key Butterworth Low Pass Filter orde 4 dengan frekuensi cut-off divariasikan mulai dari 4 KHz sampai 500 Hz. Pada setiap frekuensi cut-off dilakukan pengenalan suara, apakah masih dapat dikenali atau tidak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemotongan sinyal audio dengan frekuensi cut-off 4 KHz, 3,5 KHz, 3 KHz, dan 2,5 KHz, sinyal masih dapat dikenali, sehingga diperoleh lebar bandwidth 2,5 KHz x 2. Hasil analisis menunjukkan bahwa dengan bandwidth 5 KHz diperoleh peningkatan kapasitas kanal komunikasi sebesar 66,67%.

**Kata kunci:** Audio Low Pass Filter, Sallen-Key Butterworth, kanal komunikasi

## Abstract

Audio Low Pass Filter on telephone and radio communication systems has a cut-off frequency of 4 KHz. This bandwidth is considered sufficient to "cut" the 20 KHz human vocal signal source. The need for communication channels is increasing but frequency allocation is limited. One method to increase the communication channel is to "narrow" the bandwidth of the audio signal being passed. This can be done by lowering the cut-off frequency of the Low Pass Filter. This study uses a 4-order Sallen and Key Butterworth Low Pass Filter with cut-off frequency varying from 4 KHz to 500 Hz. At each cut-off frequency, speech recognition is performed, whether it can still be recognized. The results showed that cutting the audio signal with cut-off frequencies of 4 KHz, 3.5 KHz, 3 KHz, and 2.5 KHz, the signal can still be recognized, so that a bandwidth of 2.5 KHz x 2 is obtained. Analysis show that with a bandwidth of 5 KHz, the capacity of the communication channel is increased by 66.67%.

**Keywords:** Audio Low Pass Filter, Sallen-Key Butterworth, communication channel

## 1. Pendahuluan

Di era revolusi industri 4.0 saat ini, perkembangan teknologi terus-menerus bertahap, salah satu yang sangat berkembang pesat yaitu teknologi *audio-visual*. Terbukti dengan adanya temuan baru yang dilakukan para peneliti untuk mengembangkan bahkan menemukan teknologi baru yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi pengiriman isyarat *audio-visual*. Teknologi yang dikembangkan dalam proses pengiriman isyarat *audio-visual* adalah Low Pass Filter (LPF) yaitu, filter tapis bawah atau filter yang meloloskan frekuensi rendah [1][2][3][4]. Filter tersebut banyak digunakan dalam peralatan elektronika seperti: radio, telepon, dan televisi. Dengan adanya filter aktif ini, arus listrik dengan frekuensi tertentu dapat diatur sesuai kebutuhan.

Terdapat dua pembagian dari Low Pass Filter (LPF), yaitu filter pasif dan filter aktif. Filter pasif adalah filter yang dibangun dengan menggunakan resistor, kapasitor dan induktor. Sedangkan filter aktif adalah pengembangan dari filter pasif, hanya saja menambahkan satu atau dua komponen penguat. Filter aktif Low Pass Filter (LPF) Sallen-Key adalah salah satu filter yang dibangun menggunakan penguat Operational-Amplifier (Op-Amp) serta menggunakan komponen pasif seperti resistor dan kapasitor. Komponen penentu frekuensi cut-off maupun komponen penentu filter akan mempengaruhi jenis tanggapan frekuensinya yaitu Bessel, Butterworth atau Chebyshev. Dari tanggapan frekuensi filter juga dapat ditentukan kemiringan (roll-off) dari filter.

Low Pass Filter (LPF) atau Filter Lolos Bawah adalah filter yang hanya melewatkan sinyal dengan frekuensi yang lebih rendah dari frekuensi cut-off ( $f_c$ ) dan akan melemahkan sinyal dengan frekuensi yang lebih tinggi dari frekuensi cut-off ( $f_c$ ) [5]. Pada filter LPF yang ideal sinyal dengan

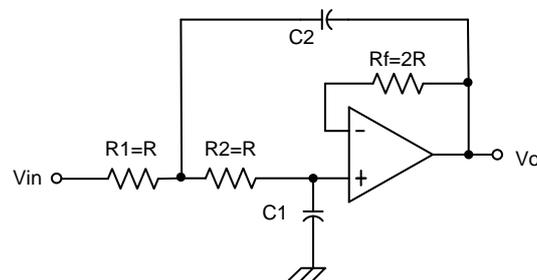
frekuensi diatas frekuensi cut-off ( $f_c$ ) tidak akan dilewatkan sama sekali (tegangan output = 0 volt) [6]. Rangkaian *Low Pass Filter* RC dengan menambahkan IC Op-AMP LM741 merupakan jenis filter aktif, dengan respon frekuensi yang ditentukan oleh konfigurasi R dan C [7].

Untuk merealisasikan rancangan menggunakan filter aktif *Low Pass Filter* (LPF) *Sallen-Key*, menggunakan *filter* orde-n ( $n = 6$ ) dan melakukan penelitian dengan menggunakan *Butterworth* sebagai penentu frekuensi *cut-off*. LPF orde tinggi dapat direalisasikan dengan menghubungkan secara kaskade beberapa LPF orde 2. Rancangan tersebut bermaksud untuk mendapatkan nilai frekuensi *cut-off* rendah < 4kHz sedemikian sehingga warna suara dari sinyal audio yang dilewatkan masih dapat dideteksi dengan jelas. Dari rancangan tersebut, bertujuan untuk mendapatkan frekuensi *cut-off* minimal pada filter audio < 4 kHz. Semakin banyak orde *filter* yang digunakan maka semakin rendah nilai frekuensi *cut-off* yang didapat [8].

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Low Pass Filter orde 2

Low Pass Filter orde 2 merupakan blok dasar untuk membentuk LPF orde tinggi. Rangkaian dasar LPF orde 2 diperlihatkan pada Gambar 1 [9].



**Gambar 1.** Rangkaian LPF orde 2

Dengan menggunakan nilai  $R_1 = R_2 = R$  dan  $C_2 = 2 C_1$ , maka penguatan tegangan loop tertutup,  $A_{CL}$  untuk LPF orde 2 adalah:

$$A_{CL} = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1+(j\omega RC)^2} \quad (1)$$

Dan nilai magnitudo  $A_{CL}$  adalah:

$$|A_{CL}| = \frac{1}{\sqrt{1+(\omega RC)^2}} \quad (2)$$

$$|A_{CL}| = \frac{1}{\sqrt{1+(\frac{f}{f_c})^4}} \quad (3)$$

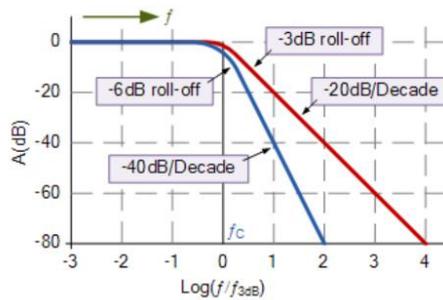
$$|A_{CL}| (dB) = 20 \log |A_{CL}| = 20 \log \frac{1}{\sqrt{1+(\frac{f}{f_c})^4}} \quad (4)$$

Dengan menggunakan persamaan (4), dapat dilihat bahwa untuk kenaikan perbandingan  $\frac{f}{f_c}$  adalah sebesar 10 kalinya (dekade), maka nilai  $|A_{CL}|$  (dB) adalah:

$$|A_{CL}|(dB) = 20 \log \frac{1}{\sqrt{1+(\frac{10}{1})^4}} = -40 \text{ dB} \quad (5)$$

Sehingga dapat dikatakan bahwa slope/ kemiringan dari grafik tanggapan LPF orde 2 adalah sebesar -40 dB/decade [10]. Tanggapan frekuensi untuk LPF orde 1 (-20 dB/decade) dan orde 2 (-40

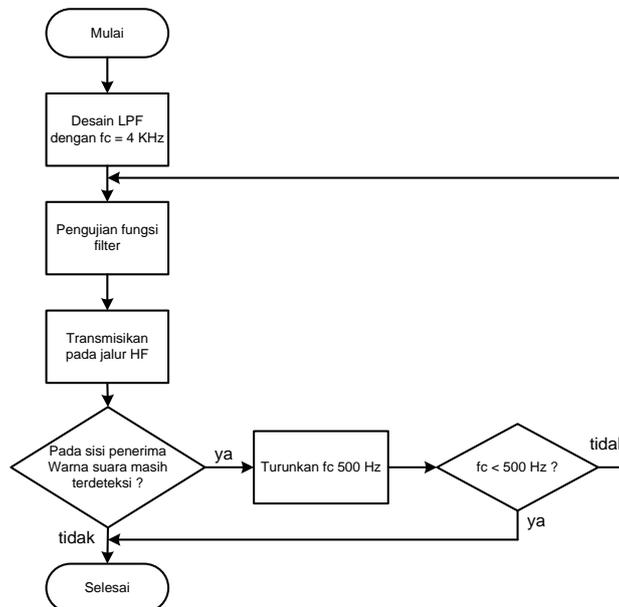
dB/dekade) diperlihatkan pada Gambar 2 [11]. Tampak dalam Gambar 2 bahwa semakin besar orde suatu filter maka tanggapan filter akan semakin curam dan mendekati tanggapan dinding bata (*break wall*).



Gambar 2. Tanggapan frekuensi LPF orde 1 dan orde 2

2.2 Alur Penelitian

Alur penelitian Implementasi *Low Pass Filter* pada pembatas bidang komunikasi suara untuk meningkatkan kapasitas kanal komunikasi diperlihatkan pada Gambar 3.

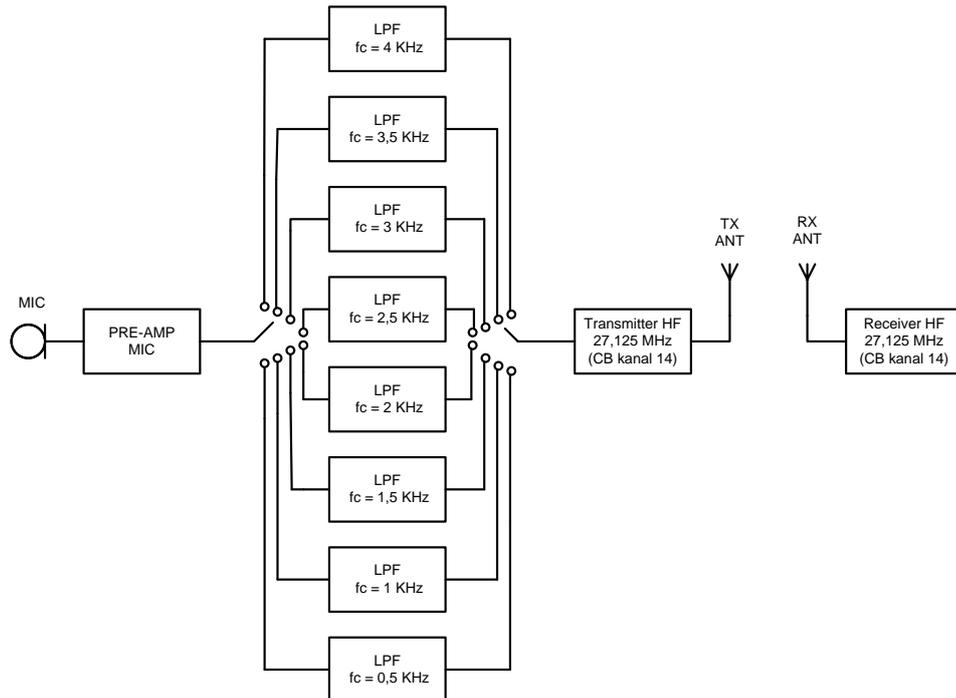


Gambar 3. Diagram alir Penelitian

Implementasi *Low Pass Filter* pada pembatas bidang komunikasi suara untuk meningkatkan kapasitas kanal komunikasi dimulai dengan mendesain LPF untuk frekuensi *cut-off* 4 KHz yang biasanya digunakan sebagai pembatas *Audio Frequency* (AF) pada sistem komunikasi sebelum diproses lebih lanjut. Setelah diuji fungsionalitasnya, maka LPF ini akan ditransmisikan melalui pemancar *High Frequency* (HF) dengan menggunakan frekuensi 27,125 MHz, ini merupakan kanal nomor 14 dari sistem komunikasi *Citizen Band* (CB). Pada sisi penerima kanal no 14 CB, audio yang dipancarkan dengan LPF 4 KHz ini dideteksi karakter suaranya dan apabila karakter suara masih dikenali maka penelitian akan dilanjutkan dengan mengurangi frekuensi *cut-off* sebesar 500 Hz menjadi 3,5 KHz. Proses ini akan diulang terus menerus sampai dengan frekuensi *cut-off* sebesar 500 Hz.

2.3 Blok Diagram

Gambar 4 merupakan blok diagram dari implementasi *Low Pass Filter* pada pembatas bidang komunikasi suara untuk meningkatkan kapasitas kanal.

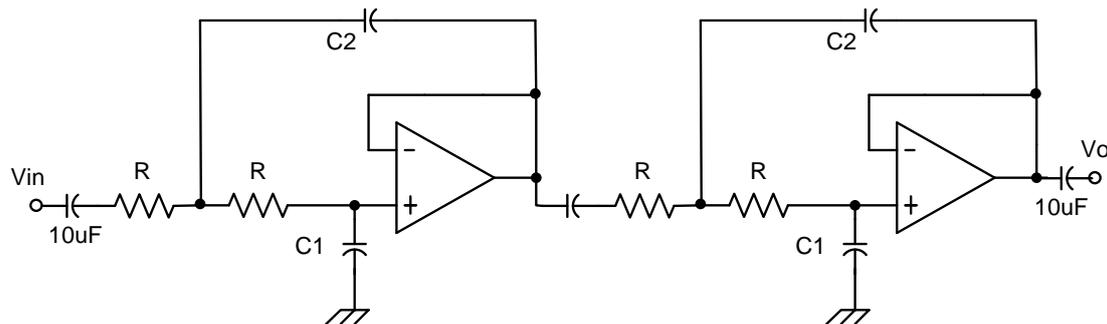


**Gambar 4.** Blok Diagram Penelitian

Gambar 4 adalah blok diagram penelitian yang terdiri dari sub blok diagram yaitu: Microphone, pre-amp Mic, LPF 4 KHz, LPF 3,5 KHz, LPF 3 KHz, LPF 2,5 KHz, LPF 2 KHz, LPF 1,5 KHz, LPF 1 KHz, LPF 0,5 KHz, Transmitter HF 27,125 MHz dan receiver HF 27,125 MHz.

#### 2.4 LPF 4 KHz – 0,5 KHz orde 4

Rangkaian LPF yang digunakan pada penelitian ini mempunyai frekuensi *cut-off* 4 KHz sampai dengan 0,5 KHz. Masing masing LPF menggunakan implementasi orde 4 yang diperoleh dengan menghubungkan LPF orde 2 dasar secara *cascade*. Rangkaian dasar LPF 4 KHz – 0,5 KHz orde 4 diperlihatkan pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Rangkaian dasar LPF 4 KHz – 0,5 KHz orde 4

Nilai nilai komponen pada rangkaian dasar LPF 4 KHz – 0,5 KHz ditentukan dengan menggunakan prosedur berikut ini:

1. Menentukan frekuensi *cut-off*
2. Memilih nilai  $C_1$  dengan rentang antara 100 pF – 100nF, dipilih nilai  $C_1 = 10\text{nF}$
3. Menentukan  $C_2 = 2 C_1$  sehingga nilai  $C_2 = 20\text{nF}$
4. Menentukan nilai R dengan persamaan:

$$R = \frac{0,707}{\omega_c C_1} \quad (6)$$

Frekuensi *cut-off* yang berbeda beda antara 4 KHz sampai dengan 0,5 KHz diperoleh dengan mengganti nilai R. Tabel 1 menunjukkan nilai komponen-komponen yang digunakan untuk LPF 4 KH – 0,5 KHz.

**Tabel 1.** Nilai R untuk LPF 4 KHz – 0,5 KHz.

$f_c$ (KHz)	$C_1$ (nF)	$C_2$ (nF)	$R$ ( $\Omega$ )
4,0	10	20	2814
3,5	10	20	3216
3,0	10	20	3752
2,5	10	20	4503
2,0	10	20	5628
1,5	10	20	7507
1,0	10	20	11257
0,5	10	20	22515

Dikarenakan keterbatasan nilai resistansi untuk mendapatkan nilai resistor seperti pada Tabel 1, maka nilai nilai resistor diimplementasikan dengan nilai yang mendekati yang masing masing disusun dari 3 buah resistor yang dipasang secara seri, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Nilai R pengganti untuk LPF 4 KHz – 0,5 KHz.

$f_c$ (KHz)	$C_1$ (nF)	$C_2$ (nF)	$R$ ( $\Omega$ )	$R$ pengganti ( $\Omega$ )
4,0	10	20	2814	2815 = 2700 + 100 + 15
3,5	10	20	3216	3215 = 3000 + 200 + 15
3,0	10	20	3752	3752 = 3600 + 150 + 2
2,5	10	20	4503	4503 = 4300 + 200 + 3
2,0	10	20	5628	5637 = 5600 + 27 + 10
1,5	10	20	7507	7504 = 6800 + 680 + 24
1,0	10	20	11257	11258 = 11000 + 240 + 18
0,5	10	20	22515	22515,6 = 22000 + 510 + 5,6

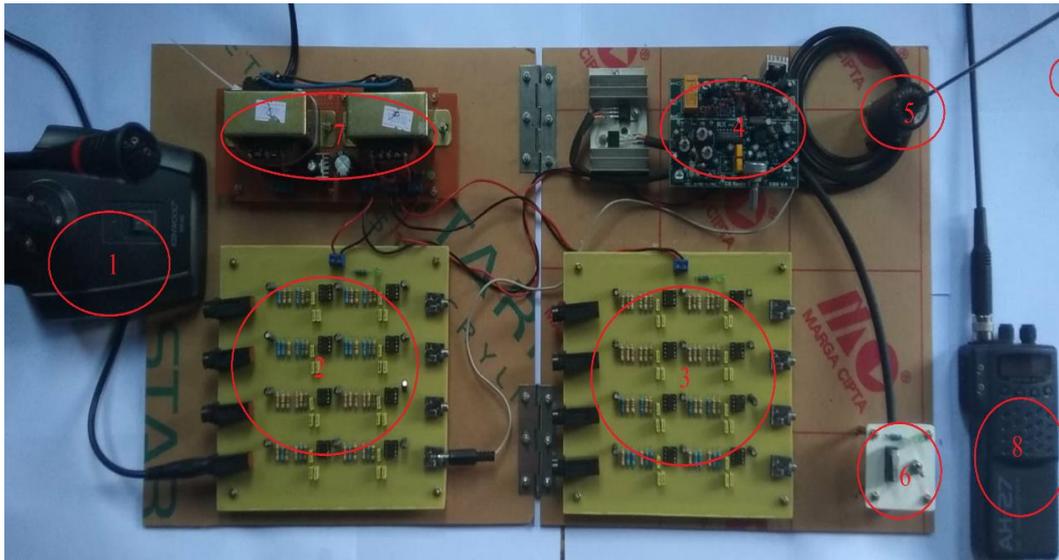
### 3. Hasil dan Analisis

Implementasi *Low Pass Filter* pada pembatas bidang komunikasi suara untuk meningkatkan kapasitas kanal komunikasi dimulai dengan mendesain LPF untuk frekuensi *cut-off* 4 KHz yang biasanya digunakan sebagai pembatas *Audio Frequency* pada sistem komunikasi sebelum diproses lebih lanjut. Setelah diuji fungsionalitasnya, maka LPF ini akan ditransmisikan melalui pemancar *High Frequency* (HF) dengan menggunakan frekuensi 27,125 MHz, ini merupakan kanal nomor 14 dari sistem komunikasi *Citizen Band* (CB). Pada sisi penerima kanal no 14 CB, *audio* yang dipancarkan dengan LPF 4 KHz ini dideteksi karakter suaranya dan apabila karakter suara masih dikenali maka penelitian akan dilanjutkan dengan mengurangi frekuensi *cut-off* sebesar 500 Hz menjadi 3,5 KHz untuk diuji kembali pendeteksian karakter suara. Proses ini akan diulang terus menerus sampai dengan frekuensi *cut-off* sebesar 500 Hz atau sampai karakter suara tidak dapat dikenali lagi.

Hasil perancangan perangkat keras implementasi *Low Pass Filter* pada pembatas bidang komunikasi suara untuk meningkatkan kapasitas kanal komunikasi diperlihatkan pada Gambar 6. Informasi bagian-bagian yang terdapat pada Gambar 6 diperlihatkan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Bagian-bagian Perangkat Keras

No	Nama Komponen
1	<i>Microphone</i> dan penguat <i>microphone</i>
2	LPF filter 4KHz, 3,5 KHz, 3 KHz dan 2,5 KHz
3	LPF filter 2KHz, 1,5 KHz, 1 KHz dan 0,5 KHz
4	Radio Pemancar HF 27,125 MHz
5	Antenna
6	Saklar <i>Push To Talk</i> (PTT)
7	<i>Power Supply</i>
8	Radio penerima HF 27,125 MHz



**Gambar 6.** Hasil perancangan perangkat keras

### 3.1. Pengujian transmisi audio

Sumber sinyal audio yang telah di *filter* selanjutnya akan dtransmisikan melalui media *High Frekuensi* (HF) dengan frekuensi pembawa sebesar 27,125 MHz. Jarak transmisi tidak menjadi fokus pada penelitian ini, sehingga besarnya jarak antara radio pemancar dan radio penerima tidak terlalu signifikan. Fokus pada penelitian ini adalah sumber sinyal yang ditransmisikan apakah masih bisa dikenali saat sampai pada sisi penerima. Oleh karena itu pengujian transmisi audio dilakukan dengan sumber suara audio yang sudah dikenali, ditransmisikan, kemudian pada sisi penerima sumber suara audio dilakukan proses pengenalan kembali, apakah masih dapat dikenali atau sudah tidak dapat dikenali lagi.

#### 3.1.1 Pengujian Transmisi Responder Pertama

Karakteristik sumber sinyal audio dari responder pertama disajikan dalam Tabel 4.

**Tabel 4.** Karakteristik responder pertama

Gender	Laki – laki
Usia	48 tahun
Sample suara	15-20 kata

Responder pertama adalah laki laki dewasa dengan umur 48 tahun yang akan membaca teks dengan panjang 15 – 20 kata. Kata yang diucapkan akan didengarkan pada sisi radio penerima. Hasil pengenalan suara pada sisi radio penerima untuk berbagai frekuensi *cut-off filter* disajikan pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Hasil pengenalan suara responder pertama

$f_{cut-off}$ (KHz)	Suara responder di radio penerima	Kualitas suara responder
4	dikenali	Excelent
3,5	dikenali	Excelent
3	dikenali	Good
2,5	dikenali	Good
2	Samar	Fair
1,5	Samar	Poor
1	Tidak dikenali	Very Poor
0,5	Tidak dikenali	Very Poor

## 3.1.2 Pengujian Transmisi Responder Kedua

Karakteristik sumber sinyal audio dari responder pertama disajikan dalam Tabel 6.

**Tabel 6.** Karakteristik responder kedua

Gender	Laki - laki
Usia	8 tahun
Sample suara	15-20 kata

Responder kedua adalah anak laki laki dengan umur 8 tahun, hasil pengenalan suara pada sisi radio penerima untuk berbagai frekuensi *cut-off filter* disajikan pada Tabel 7.

**Tabel 7.** Hasil pengenalan suara responder kedua

$f_{cut-off}$ (KHz)	Suara responder di radio penerima	Kualitas suara responder
4	dikenali	Excelent
3,5	dikenali	Excelent
3	dikenali	Good
2,5	Samar	Fair
2	Samar	Poor
1,5	Samar	Very Poor
1	Tidak dikenali	Very Poor
0,5	Tidak dikenali	Very Poor

## 3.1.3 Pengujian Transmisi Responder Ketiga

Karakteristik sumber sinyal audio dari responder ketiga disajikan dalam Tabel 8.

**Tabel 8.** Karakteristik responder kedua

Gender	Perempuan
Usia	48 tahun
Sample suara	15-20 kata

Responder ketiga adalah perempuan dewasa dengan umur 48 tahun, hasil pengenalan suara pada sisi radio penerima untuk berbagai frekuensi *cut-off filter* disajikan pada Tabel 9.

**Tabel 9.** Hasil pengenalan suara responder ketiga

$f_{cut-off}$ (KHz)	Suara responder di radio penerima	Kualitas suara responder
4	dikenali	Excelent
3,5	dikenali	Excelent
3	dikenali	Good
2,5	dikenali	Good
2	Samar	Fair
1,5	Samar	Poor
1	Tidak dikenali	Very Poor
0,5	Tidak dikenali	Very Poor

## 3.1.4 Pengujian Transmisi Responder Keempat

Karakteristik sumber sinyal audio dari responder keempat disajikan dalam Tabel 10.

**Tabel 10.** Karakteristik responder keempat

Gender	Perempuan
Usia	19 tahun
Sample suara	15-20 kata

Responder keempat adalah perempuan dewasa dengan umur 19 tahun, hasil pengenalan suara pada sisi radio penerima untuk berbagai frekuensi cut-off filter disajikan pada Tabel 11.

**Tabel 11.** Hasil pengenalan suara responder keempat

$f_{cut-off}$ (KHz)	Suara responder di radio penerima	Kualitas suara responder
4	dikenali	Excelent
3,5	dikenali	Excelent
3	dikenali	Good
2,5	dikenali	Good
2	Samar	Fair
1,5	Samar	Poor
1	Tidak dikenali	Very Poor
0,5	Tidak dikenali	Very Poor

Hasil pengenalan suara untuk keempat responder menunjukkan bahwa suara responder masih dapat dikenali untuk *filter* dengan frekuensi *cut-off* sampai dengan 2,5 KHz. Pada frekuensi *cut-off* 2 KHz sampai dengan 500 Hz, suara responder cenderung tidak dapat dikenali dan kualitas suara sangat buruk. Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa *filter* dengan frekuensi *cut-off* 2,5 KHz dapat digunakan untuk *filter audio* pada perangkat komunikasi sehingga akan menghasilkan lebar *bandwidth* sebesar  $2 \times 2,5$  KHz yaitu sebesar 5 KHz.

### 3.2 Analisis Penambahan Channel

Apabila pada sistem komunikasi VHF dengan alokasi frekuensi 118 MHz – 137 MHz dengan *channel spacing* 8,33 KHz akan menghasilkan jumlah *channel* sebesar:

$$\text{Jumlah Channel} = \frac{137000 - 118000}{8,33} = 2280 \text{ Channel}$$

Apabila *channel spacing* diubah menjadi 5 KHz, maka jumlah *channel* akan menjadi:

$$\text{Jumlah Channel} = \frac{137000 - 118000}{5} = 3800 \text{ Channel}$$

Sehingga terjadi peningkatan kapasitas *channel* komunikasi sebesar:

$$\text{peningkatan kapasitas channel} = \frac{3800 - 2280}{2280} \times 100\% = 66,67 \%$$

### 4. Kesimpulan

Filter aktif *Low Pass Filter* yang digunakan adalah tipe *Sallen and Key* orde 4 yang disusun dari orde 2 yang dipasang secara cascade dengan frekuensi *cut-off* yang dirancang untuk 4 KHz, 3,5 KHz, 3 KHz, 2,5 KHz, 2 KHz, 1,5 KHz 1 KHz dan 0,5 KHz.

Sinyal suara yang telah di *filter* dengan frekuensi *cut-off* 2,5 KHz, setelah dipancarkan, masih dapat dikenali karakter suaranya sehingga akan menghasilkan *bandwidth* sebesar 5 KHz, sedangkan di bawah 2,5 KHz karakter suara sudah tidak dapat dikenali lagi. Penurunan *Bandwidth* dari 8,33 KHz (pada sistem komunikasi VHF) ke 5 KHz akan menambah kapasitas kanal sebesar 66,67 %.

**Daftar Pustaka**

- [1]. Bustamin, A., Prayogi A. A. *Perbandingan Kinerja Filter Butterworth Berdasarkan Spesifikasi Frekuensi Untuk Pengolahan Sinyal Suara*, Departemen Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Makassar. 2019; vol.18, no.04. hal. 332-339).
- [2]. Hidayat, W. S. *Kinerja Butterworth Low Pass Filter Pada Teknik Modulasi Digital ASK Terhadap Paket Data Yang Dipengaruhi Oleh Derau*, Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana. 2012; vol.03, No.02, hal. 169-184.
- [3]. Nugroho, G. A., Awaludin, A., Rahayu, S. A. *Metode Reduksi Noise Internal Sinyal Echo Radar Presipitasi Dengan Low Pass Filter*, Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer – LAPAN, Bandung. 2012; hal.107-111. ISBN: 978-979-1458-64-1.
- [4]. Prawiroredjo, K. *Simulasi Filter Sallen Key dengan Software PSPICE*, Teknik Elektro-FTI, Universitas Trisakti, Jakarta. 2007; vol.6, No.2, hal. 21-40, ISSN: 1412-0372.
- [5]. Farida, F. *Optimasi Lowpass Filter Mikrostrip Frekuensi 10,6 GHz dengan Metode Step-Impedansi*, Universitas Maritim Raja Ali Haji, Tanjung Pinang, Kepulauan Riau. 2017; vol. 06, No.02, hal. 89-95, ISSN: 2087-5347.
- [6]. Coughlin, R. F., Driscoll, F. F. *Penguat Operasional dan Rangkaian Terpadu Linear*. Soemitro, H. W, penerjemah. Jakarta: Erlangga. 2000; hal. 389-400.
- [7]. Nuryanto, L. E. *Penerapan Dari Op-Amp (Operational Amplifier)* Politeknik Negeri Semarang, Semarang. 2017; vol. 13, No.1, hal. 43-50.
- [8]. Lidyawati, L., Ramadhan D. A., Feranando, T. A. Implementasi filter *Infinite Impuls Response (IIR)* Dengan Respon *Butterworth* dan *Chebyshev* Menggunakan DSK TMS320C6713, Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional, Bandung. 2015; hal. 93-104.
- [9]. Sumarna. *Desain Filter Analog (Tinjauan Teknis)*. Dalam: Seminar Dosen dan Mahasiswa Jurusan Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta, Oktober 2011.
- [10]. Rafidatuddini, I., Rasyid. A., Widjajanti. K. *Modul Praktikum Filter Infinite Impulse Response (IIR) Dengan Respon Chebyshev, Butterworth Dan Elliptic Menggunakan Matlab*, Program Studi Jaringan Telekomunikasi Digital, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang. 2018; vol.06, No.01, hal. 95-99, ISSN: 2047-0807.
- [11]. Ramba, M. R. D. *Tapis Pelewat Rendah Dengan Kapasitor Tersaklar*. Tugas Akhir Program Sarjana, Yogyakarta: Teknik Elektronika, Fakultas Teknik, Universitas Sanata Dharma; 2007.

