

# DESAIN LOW PASS FILTER BUTTERWORTH DENGAN KOMPONEN AKTIF VOLTAGE CONTROLLED VOLTAGE SOURCE

Rahmad Hidayat<sup>1</sup>, Syafruddin<sup>2</sup>, Givy Devira Ramady<sup>3</sup>  
Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Mandala Bandung

---

## Abstrak

Di dalam bidang pengolahan sinyal, filter berfungsi untuk menghapus bagian sinyal yang tidak diinginkan seperti noise acak, noise dari transmisi sinyal ucapan atau untuk mengekstrak bagian yang berguna dari suatu sinyal seperti komponen yang terletak di dalam rentang frekuensi tertentu. Tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan desain filter Butterworth orde dua dengan menggunakan bantuan tool Matlab, dan kemudian menganalisis karakteristiknya. Rangkaian voltage controlled voltage source (VCVS) telah digunakan sebagai pembentuk filter Butterworth orde-2, yang disimulasikan untuk menampilkan karakter utama low pass filter. Hasilnya menunjukkan bahwa dengan frekuensi cut-off yang diambil sebesar 0,5 kHz diperoleh karakter filter lolos rendah yang magnitudenya relatif datar pada gain VCVS yang diinginkan.

**Kata Kunci:** low pass filter, Butterworth, voltage controlled voltage source, Matlab

## Abstract

*In the field of signal processing, filters function to remove unwanted parts of the signal such as random noise, noise from speech signal transmission or to extract useful parts of a signal such as components located within a certain frequency range. The purpose of this study was to design a second-order Butterworth filter using the Matlab tool and then analyze its characteristics. A series of the voltage-controlled voltage source (VCVS) has been used to form the second-order Butterworth filter, which is simulated to show the main character of the low pass filter. The results show that with a cut-off frequency of 0.5 kHz, a low pass filter character is obtained with a relatively flat magnitude at the desired VCVS gain.*

**Keywords:** low pass filter, Butterworth, voltage controlled voltage source, Matlab

## 1. PENDAHULUAN

Filter merupakan rangkaian elektronik yang berfungsi untuk mengolah frekuensi dari suatu sinyal, frekuensi sinyal tersebut akan diloloskan atau diredam sesuai kebutuhan. Berdasarkan sifat ini, filter dibedakan menjadi empat macam, yaitu *low pass filter* (LPF), *high pass filter* (HPF), *band pass filter* (BPF), dan *band stop filter* (BSF). Filter digunakan secara luas dalam pemrosesan sinyal dan sistem komunikasi dalam aplikasi seperti ekualisasi saluran, pengurangan noise, radar, pemrosesan audio, pemrosesan sinyal ucapan, pemrosesan video,

pemrosesan sinyal biomedis berupa EKG, EEG, penyaringan sinyal EMG, analisis rangkaian listrik, analisis ekonomi dan data keuangan [1][2][3]. Sementara itu, dalam suatu sistem komunikasi penggunaan rangkaian filter sangatlah penting. Suatu cara untuk memudahkan dalam perancangan sebuah filter dilakukanlah teknik simulasi dan salah satu jenis filter yang banyak digunakan adalah filter Butterworth.[4] Filter Butterworth ini termasuk dipakai sebagai prototipe filter digital *infinite impulse respon* (IIR). Tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan desain filter Butterworth orde dua

dengan menggunakan tool bantuan Matlab, dan kemudian menganalisis karakteristiknya baik harga komponen pembentuk sirkuit rangkaian, karakter respon frekuensi, respon magnitude, serta plotting Bode yang dihasilkan. Dan urgensi dari penelitian ini adalah dalam hal memberikan alternatif desain filter *low pass* bagi para mahasiswa khususnya. Hipotesis dari penelitian ini adalah bahwa berbagai parameter yang ada bisa dipilih (baik dari harga komponen yang diambil, maupun parameter filter LPF Butterworth) untuk mencari harga optimal sehingga dapat diperoleh karakteristik filter yang diinginkan.

### 1.1 Filter Butterworth

Filter Butterworth memiliki respon datar maksimal yaitu, tidak ada riak passband dan *roll-off* minus 20db per pole. Filter ini memiliki “besaran maksimum rata” pada frekuensi  $j\omega = 0$ , sebagai turunan  $2N-1$  pertama dari fungsi transfer saat  $j\omega = 0$  sama dengan nol. Respon fase dari filter Butterworth menjadi lebih non-linear dengan meningkatnya  $N$ . Filter ini sepenuhnya ditentukan secara matematis oleh dua parameter yaitu frekuensi dan jumlah pole. Besarnya respon kuadrat dari umpan rendah filter Butterworth diberikan oleh :

$$H(j\omega) = \frac{1}{1 + [\omega/\omega_c]^{2N}} \dots\dots (1)$$

Besarnya selektivitas filter Butter-worth ditentukan dengan :

$$F_s = \frac{N}{2\sqrt{2} \omega_c} \dots\dots\dots (2)$$

Dan besarnya redaman filter ini ditentukan oleh persamaan :

$$A = 10 \log (1 + [\omega/\omega_c]^{2N}) \dots (3)$$

Respon frekuensi filter Butterworth secara maksimal mendatar di

passband dan menggelinding ke arah nol di stopband . Ketika diamati pada plot pertanda logaritmik responnya miring secara linier menuju tak terhingga negatif. Urutan pertama respons filter berputar pada  $-6$  dB per oktaf ( $-20$  dB per dekade). Respon filter orde-2 kedua keluar pada  $-12$  dB per oktaf dan urutan ketiga pada  $-18$  dB. Filter Butterworth memiliki fungsi besaran yang bervariasi secara monoton dengan  $\omega$ , tidak seperti jenis filter lain yang memiliki riak non-monoton di dalam passband dan stopband.[1]

### 1.2 Penelitian Terkait

Dalam tulisan [1], tiga jenis respon impuls tak terbatas filter Butterworth, Chebyshev tipe I dan filter Eliptics telah dibahas secara teoritis dan secara eksperimental. Butterworth, Chebyshev tipe I dan Eliptics low pass, high pass, band pass dan band stop filter telah dirancang dalam makalah ini dengan menggunakan software Matlab. Respon impuls, respon magnitudo, respon fase filter Butterworth, Chebyshev tipe-1 dan filter Elliptical untuk pemfilteran sinyal ucapan diamati dalam makalah ini, juga laju pengambilan sampel dan respons spektrumnya dibahas. Dibandingkan dengan filter lain seperti Chebyshev tipe-1 atau filter Elliptic, filter Butterworth memiliki *roll-off* yang lebih lambat dan karena itu membutuhkan urutan yang lebih tinggi untuk menerapkan stopband tertentu. Filter Butterworth memiliki respon fase yang lebih linier di pass-band dari filter Chebyshev dan Elliptic. Filter Butterworth berputar lebih lambat di sekitar potongan frekuensi daripada filter Chebyshev dan Elliptic tanpa riak. Semua filter yang diamati ada di orde kelima. [1]

Sementara itu, penelitian [5] bertujuan untuk merancang simulasi guna

menghasilkan respon output filter jenis Chebyshev serta menghasilkan nilai komponen induktor (L) dan kapasitor (C) yang dibutuhkan untuk rangkaian filter. Simulasi yang dirancang pada penelitian tersebut menggunakan Graphical User Interface (GUI). Hasilnya, didapatkan respon Chebyshev pada filter lolos rendah dan filter lolos tinggi. Atau contoh lain berupa simulasi filter IIR menggunakan GUI. Metode ini tidak hanya tergantung pada kode matlab, tetapi juga menampilkan control penggunaan yang dibangun berdasarkan GUI, sehingga semua operasi pemfilteran dapat diselesaikan oleh GUI. [6]

Dalam penelitian lain, digunakan jenis respon frekuensi Bessel. Simulasi dilakukan dengan menggunakan software Matlab dengan memasukkan frekuensi passband, frekuensi stopband, ripple passband, dan stopband attenuation yang telah dirancang. Dengan frekuensi sampling sebesar 15000 Hz, frekuensi passband sebesar 3000 Hz, frekuensi stopband sebesar 3500 Hz dan 5000 Hz untuk Bessel. Setelah simulasi dilakukan implementasi filter dengan parameter yang sama menggunakan DSK TMS320C6713 dengan bantuan software CCS. Parameter pengujian dari implementasi filter adalah respon magnitude, frekuensi cut-off, bandwidth, dan faktor kualitas dengan hasil simulasi yang tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. [7]

Pada artikel lain, disajikan desain filter dengan langkah pertama adalah menentukan spesifikasi filter, melakukan perhitungan matematis low pass, high pass dan band-pass filter

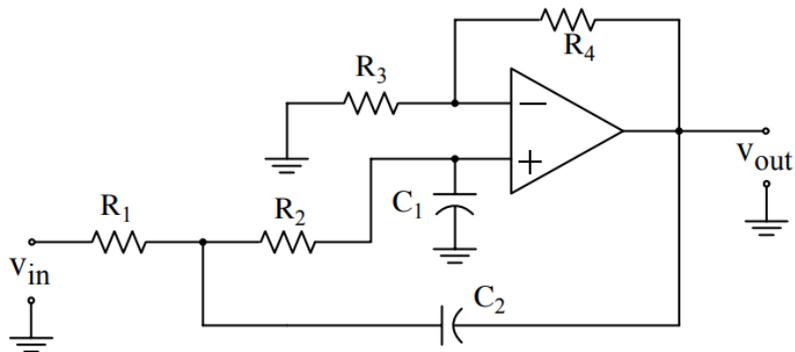
IIR, kemudian dilakukan simulasi hasil perhitungan desain menggunakan Matlab dan akhirnya desain diimplementasikan menggunakan FPGA [8]. Sementara itu terdapat penelitian lain misal tentang stetoskop elektronik dilakukan yang salah satu filternya menggunakan jenis Butterworth. Dan [9] mengaitkan penelitian filternya dengan teorema Nyquist.

## 2. METODE PENELITIAN

Dalam teknologi masa kini, sebuah sistem terbentuk dari beberapa subsistem. Salah satu bagian subsistem yang sangat penting adalah filter. Filter didefinisikan sebagai rangkaian yang melewatkan pita frekuensi tertentu yang diinginkan dan meredam pita frekuensi lainnya.

Pada penelitian ini, dilakukan desain filter Butterworth orde dua dengan simulasi Matlab. Rangkaian elektronik yang didesain berupa komponen aktif voltage controlled voltage source (VCVS) yang bahan utamanya berupa operational amplifier (Op-Amp) [10]. Komponen pasif pendukung, dihitung dan dicari dengan mengetahui salah satu nilai komponen kapasitor yang ada. Besarnya penguatan VCVS kemudian dihitung dan pada bagian akhir diperoleh kurva respon frekuensi filter Butterworth yang didesain. Juga plot kurva Bode-nya dalam domain frekuensi.

Blok rangkaian *voltage controlled voltage source* sebagai filter Butterworth orde dua secara umum yang direncanakan terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian VCVS sebagai filter Butterworth

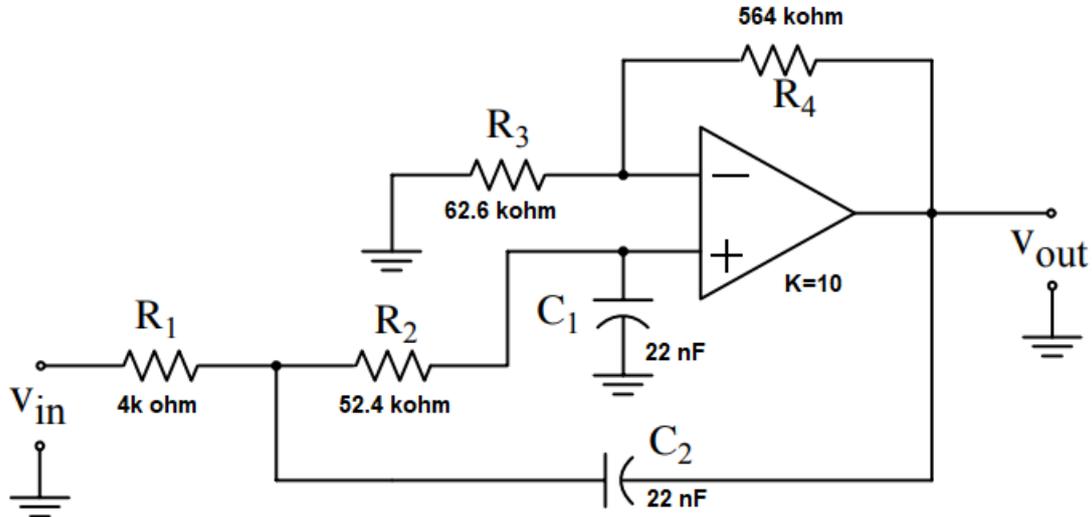
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan memisalkan nilai kapasitor  $C_1$  sebesar 22 nF dan harga frekuensi cut-off filter sebesar 0,5 kHz, dengan penguatan VCVS sebesar 10, maka dengan script Matlab di bawah :

```
C1=22*10-9;
C2=C1;
a=sqrt(2); b=1;
K=10;
wc=2*pi*0.5*103;
R1=2/((a*C2+sqrt((a2+4*b*(K-1))*C22-
```

```
4*b*C1*C2))*wc);
R2=1/(b*C1*C2*R1*wc2);
R3=K*(R1+R2)/(K-1);
R4=K*(R1+R2);
fprintf('\n');
fprintf('R1 = %6.0f \t',R1); fprintf('R2 = %6.0f \t',R2);
fprintf('R3 = %6.0f \t',R3); fprintf('R4 = %6.0f \t',R4);
```

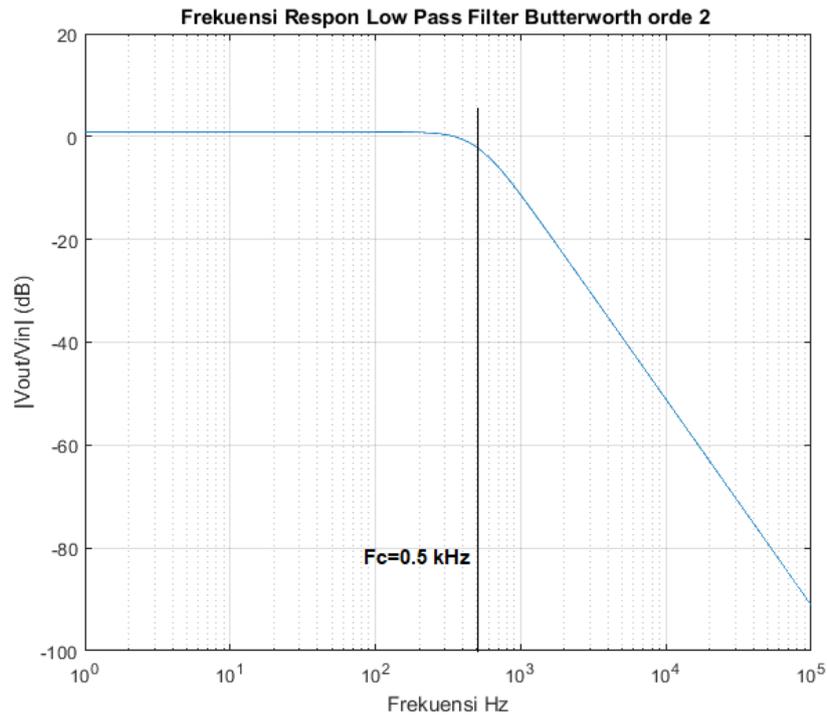
diperoleh harga-harga  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  dan  $R_4$ . Rangkaian filter yang dihasilkan seperti gambar 2.



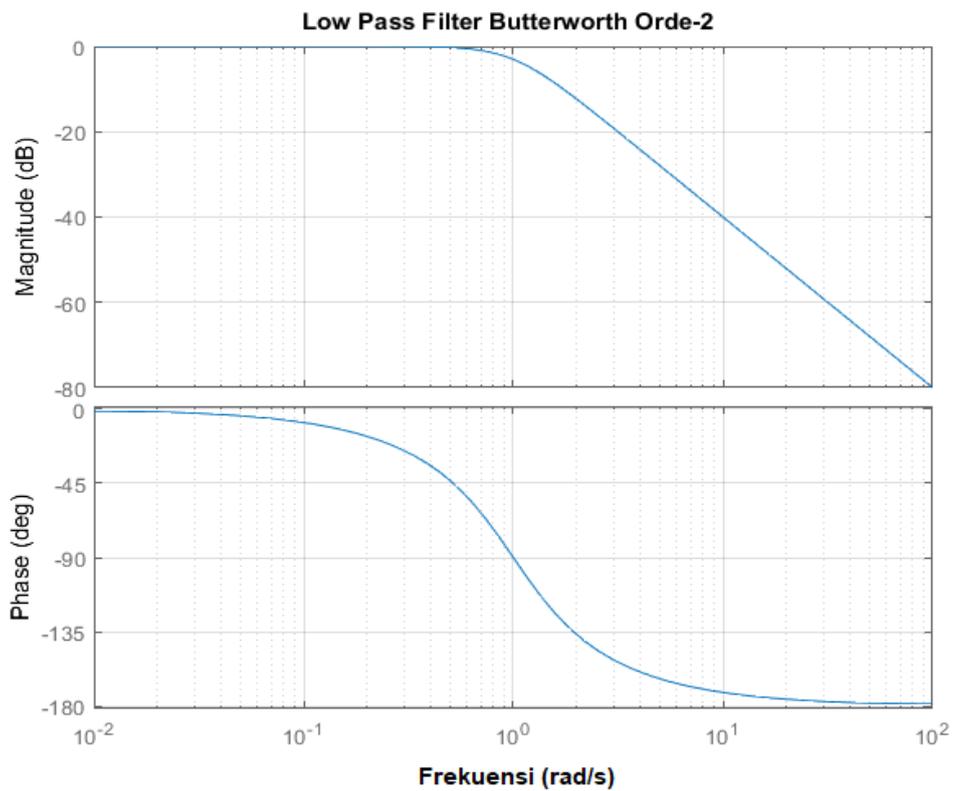
Gambar 2. Rangkaian filter hasil desain

Sedangkan respon frekuensi dan plot diagram Bode yang dihasilkan dari

simulasi masing-masing terlihat pada gambar 3 dan gambar 4.



Gambar 3. Respon frekuensi



Gambar 4. Diagram Bode

Terlihat bahwa filter yang dihasilkan merupakan low pass filter atau tapis lolos bawah yang mampu melewatkan sinyal dengan frekuensi cut-off 0,5

kHz. Besarnya harga-harga komponen pembentuk filter dengan komponen utama *voltage controlled voltage source* dengan penguatan yang

semua dapat divariasikan sesuai desain yang diinginkan. Dalam hal ini nilai-nilai yang diperoleh yaitu  $R_1=4\text{ k}\Omega$ ;  $R_2=52,4\text{ k}\Omega$ ;  $R_3=62,6\text{ k}\Omega$ ;  $R_4=564\text{ k}\Omega$ ;  $C_1=22\text{ nF}$ ;  $C_2=22\text{ nF}$ ;  $K=10$ ; dan besarnya koefisien orde filter Butterworth masing-masing  $a=1,41421$  dan  $b=1$ .

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Filter Butterworth orde dua telah disimulasikan sesuai dengan desain awal. Karakter *flat* pada passband telah ditampilkan sampai harga *cut-off*. Karakteristik magnitude yang ditampilkan sesuai teori yang ada dimana dengan orde dua memiliki tingkat kelandaian dibanding orde filter yang lebih tinggi. Variasi nilai komponen aktif dan aktif pada rangkaian dapat disimulasikan pada harga-harga optimasi yang diinginkan. Untuk rencana ke depan dapat dilakukan simulasi menggunakan Simulink dengan berbagai variasi orde filter Butterworth yang ada.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Podder, "Design and Implementation of Butterworth, Chebyshev-I," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 98, no. 7, pp. 12–18, 2014.
- [2] H. Tanudjaja, *Pengolahan Sinyal Digital dan Sistem Pemrosesan Sinyal*, Edisi pert. Yogyakarta.: Penerbit ANDI, 2007.
- [3] Anung dan R. Hidayat, "Meningkatkan Efisiensi Konverter Dc-Dc Penaik Tegangan Dengan Teknik Zero Voltage Switching (ZVS) Untuk Koreksi Faktor Daya Beban Nonlinier," *J. Isu Teknol.*, vol. 7, no. 2, pp. 3–13, 2014.
- [4] R. Hidayat, *Matlab pada Sistem Pemrosesan Sinyal dan Komunikasi Digital: Simulasi berbagai aplikasi teknik*, 1st editio. Malang: Penerbit Gunung Samudera [ Grup Penerbit PT Book Mart Indonesia ], 2017.
- [5] H. S. Utama, "Pembuatan Filter Chebichef Low Pass dan High Pass Menggunakan Program MATLAB," *J. Tek. , Univ. Pakuan*, vol. 1, no. 33, pp. 9–11, 2019.
- [6] U. Murdika dan Y. Mulyani, "Perancangan Dan Simulasi Filter IIR," *Electrician*, vol. 11, no. 3, pp. 114–118, 2017.
- [7] L. Lidyawati, A. R. Darlis, dan S. I. Romadoni, "Implementasi Filter Infinite Impulse Response (Iir) Dengan Respon Elliptic Dan Bessel Menggunakan Dsk Tms320C6713," *J. Elektro dan Telekomun. Terap.*, vol. 2, no. 2, pp. 138–145, 2016.
- [8] M. Wijayanti, "Merancang dan Mensimulasi Infinite Impulse Response Chebyshev Low-Pass Digital Filter Menggunakan Perangkat FPGA," *J. Teknol. dan Rekayasa*, vol. 19, no. 3, pp. 24–34, 2014.
- [9] V. Elamaran, K. Narasimhan, G. Rajkumar, dan M. Chandrasekar, "A Tutorial Review on Digital Signal Processing Using Matlab," *J. Chem. Pharm. Sci.*, vol. 10, no. 1, pp. 280–284, 2017.
- [10] S. T. Karris, *Signals and systems*, Third edit. Orchard Publisher, 2007.