

Simulasi Perbandingan Filter Savitzky Golay dan Filter Low Pass Butterworth pada Orde Ketiga Sebagai Pembatal Kebisingan

M Y Baihaqi^{*1}, C W D Lumoindong², Vincent³

^{1,2,3} Universitas Presiden

E-mail: muhammadyezab@gmail.com¹, dlumoindong@gmail.com²,
vincentsudiono@outlook.com³

Abstrak. Saat ini, teknologi informasi dan komunikasi (TIK) sedang berkembang pesat. Namun dalam perkembangannya, ada masalah terus menerus yang telah ditemukan selama 30 tahun, noise. Selama bertahun-tahun, banyak cara telah dibuat misalnya filter Butterworth Savitzky - Golay (SG) dan Low Pass (LP). Untuk menggunakan filter SG, dua parameter yang merupakan urutan dan panjang jendela harus ditentukan dengan menggunakan metode trial and error. Di sisi lain, Filter LP Butterworth juga membutuhkan dua parameter untuk dioperasikan yaitu urutan dan frekuensi cut off. Penelitian ini berfokus pada membandingkan kinerja filter LP butterworth orde ketiga dan filter SG orde ketiga dengan menemukan celah antara sinyal yang disaring dan sinyal asli melalui simulasi dengan menggunakan MATLAB. Penelitian ini didukung oleh jurnal dan referensi buku. Juga, data penelitian ini diwakili oleh tabel dan grafik. Berdasarkan penelitian ini, ditemukan bahwa kedua filter memiliki dampak signifikan untuk menghaluskan sinyal bernoise. Hal ini dibuktikan dengan filter SG hanya memiliki celah 5% dari sinyal original di mana filter LP butterworth memiliki celah yang sedikit lebih besar, 8,82%.

Kata kunci: Low Pass Butterworth Filter, MATLAB, Pengurangan Noise, Savtizky – Golay, TIK

Abstract. Nowadays, the Information and Communication Technology (ICT) is rapidly developed. But in the development of it, there are a continues problem that has been discovered over 30 years, noise. Over the years, many ways have been created for example Savitzky – Golay (SG) and Low Pass (LP) Butterworth filter. In order to use SG filter, two parameters which are the order and the window length should be determined by trial and error. On the other hand, LP Butterworth filter also needs two parameters to be operated which are the order and the cut off frequency. This research focuses on comparing the performance of third order LP Butterworth filter and third order SG filter by finding the gap between filtered signal and the original signal through the simulation by using MATLAB. This research is supported by the journals and books references. Also, the data of this research is presented by the table and graph. According to this research, founded that both filters have a significant impact to smoothing the noisy signal. compare to LP Butterworth filter, SG filter has better performance. It is proven by SG filter only has 5% gap to the original signal where LP Butterworth filter has a slightly bigger gap, 8.82%.

Keywords: ICT, Low Pass Butterworth Filter, MATLAB, Noise Reduction, Savtizky – Golay

1. Pendahuluan

Perkembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK) adalah sebuah hal yang tidak dapat terlepas dari kehidupan manusia [1]. Banyak keuntungan yang didapat dari pemanfaatan TIK, salah satunya adalah sistem pembelajaran jarak jauh [2]. Hal penting lain yang didapat sebagai hasil dari cepatnya perkembangan TIK adalah terpicunya perkembangan di bidang riset lain seperti ilmu sains sosial dan perilaku manusia [3]. Namun dalam perkembangan ini, TIK juga menemukan permasalahan. Salah satunya adalah noise [4].

Selama lebih dari 30 tahun, banyak peneliti yang berusaha untuk menyelesaikan permasalahan noise ini [5]. Dalam sistem pemrosesan sinyal, noise diartikan sebagai perubahan sinyal yang tidak diinginkan, dan hal ini terjadi saat transmisi dan pemrosesan sinyal [6]. Dalam kesehariannya di dunia nyata, noise menjadi hal yang tidak dapat dielakkan karena sifat media saat transmisi.

Noise dapat ditemukan dalam beberapa bentuk, seperti noise putih (*white noise*) usikan harmonik, noise $1/f$, dan kebisingan melayang [7]. Bentuk-bentuk noise ini memiliki karakteristik yang sesuai dengan namanya. Noise putih (*white noise*) adalah yang tersulit untuk dihilangkan di antara semua bentuk tersebut karena memiliki sifat fisik yang sangat mendasar [7].

Untuk mengukur efektivitas transmisi sinyal, rasio *Signal-to-Noise* (SNR) dapat digunakan. Nilai ini dideskripsikan sebagai rasio kekuatan sinyal terhadap kekuatan noise. Nilai yang lebih tinggi memberikan hasil yang lebih efektif, dan tentunya lebih diminati.

Cara lain yang dapat digunakan untuk mengukur efektivitas transmisi sinyal adalah dengan menggunakan rasio *Signal-to-Interference* (SIR). Nilai ini didefinisikan sebagai rasio antara kekuatan sinyal pembawa termodulasi terhadap kekuatan interferensi saluran bersama. Nilai yang lebih tinggi memberikan hasil yang lebih baik.

Selama beberapa tahun, insinyur telekomunikasi telah mendesain metode pereduksi noise yang dapat diandalkan untuk meningkatkan nilai SNR dan SIR secara bersamaan. Beberapa metode baru telah dibuat, namun metode-metode lama masih memiliki keunggulan dalam segi kemampuan serta efektivitas, seperti filter Savitzky-Golay (SG) dan filter Butterworth.

Filter SG telah dibuat pada 1964 sebagai filter *low-pass* digital. Filter ini awalnya ditujukan untuk digunakan pada bidang kimia analisis dengan mereduksi noise —atau biasa dikenal dengan istilah *smoothing*— dan meminimalisir distorsi pada data rekaman [8]. Filter ini masih digunakan untuk bidang kimia analisis.

Filter Butterworth sendiri merupakan filter *Finite Impulse Response* (FIR). Filter Butterworth dibuat pada 1930 sebagai filter serba guna sebagai pengembangan filter Campbell sebelumnya [9]. Filter ini masih digunakan untuk filter *anti-aliasing*.

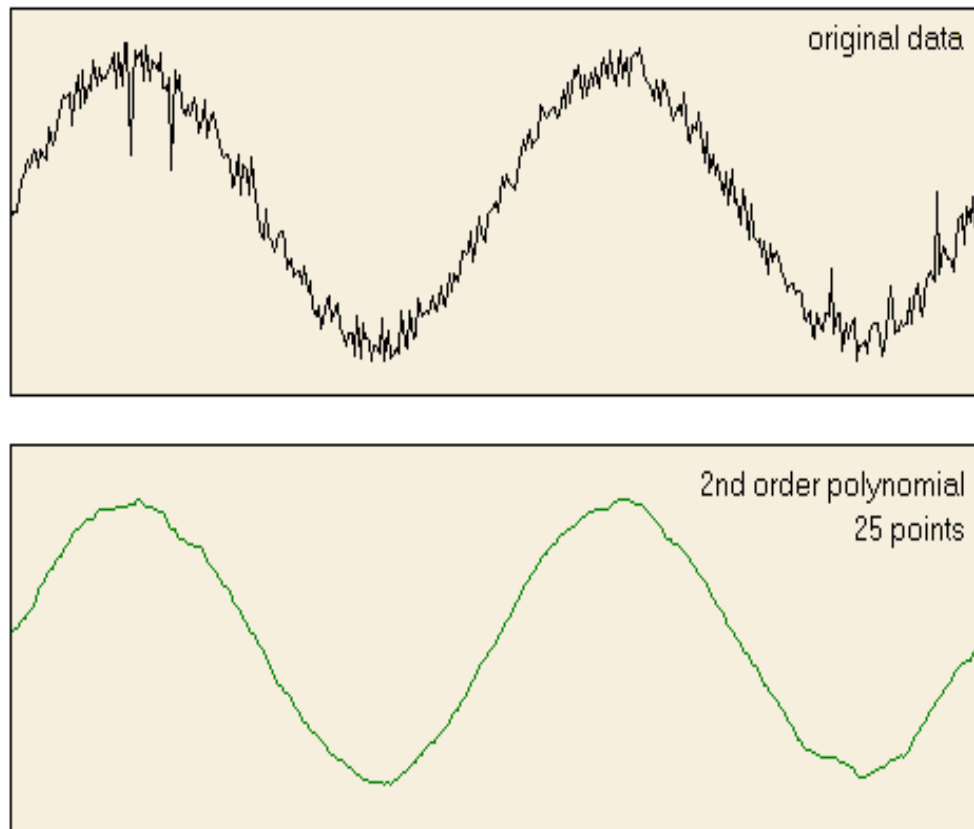
Mempertimbangkan fakta bahwa proses mereduksi sinyal sangatlah penting untuk transmisi sinyal, riset ini berfokus untuk membandingkan performa filter SG dengan filter *low-pass* (LP) Butterworth, khususnya untuk mengetahui filter mana yang lebih cocok untuk digunakan dalam proses ini. Komparasi ini dilakukan dengan menganalisa celah antara sinyal original dengan sinyal terfilter. Hasil dari sinyal terfilter harus mendekati sinyal original untuk dikategorikan sebagai sinyal terbaik.

2. Dasar Teori

Filter SG bergantung pada proses konvolusi berulang dalam proses penghalusan noise. Proses ini mengikuti persamaan (1), dengan j merupakan index data ordnat, C_i merupakan salah satu rata-rata bergerak, dan N merupakan bilangan bulat untuk konvolusi. Dengan melakukan proses ini secara berulang, distorsi yang tidak terdeteksi diawal dapat dieliminasi sehingga sinyal keluaran menjadi lebih halus [8].

$$Y_j * = \frac{\sum_{i=-m}^m C_i Y_{j+i}}{N} \quad (1)$$

Pada aktualnya, filter SG bekerja dengan mengubah nilai deret dengan nilai baru yang didapat dari kecocokan polinomial ke titik yang bersebelahan dengan pola $2n + 1$. Gambar 1 menunjukkan sinyal terdistorsi dan sinyal terdistorsi yang telah difilter dengan filter SG.



Gambar 1. Sinyal yang difilter dengan filter SG

Contoh di atas menggunakan filter SG untuk proses penghalusan sinyal sinusoidal yang terdistorsi. Agar dapat digunakan, filter SG memiliki dua parameter, yaitu orde dan titik (dalam beberapa algoritma, istilah titik diganti menjadi panjang jendela). Sebagai tambahan, kedua parameter ini dapat ditentukan melalui proses *trail* dan *error*.

Peneliti [10] mengemukakan bahwa filter SG memberikan keuntungan yang besar dalam mengoptimisasi nilai SNR. Namun di saat yang bersamaan, studi tersebut membuktikan bahwa filter SG tidak terlalu menguntungkan saat digunakan pada sinyal non-polinom.

Peneliti [11] membandingkan performa pada filter SG untuk proses pemfilteran dengan filter FIR. Proses pemfilteran ini adalah teknik yang saat ini digunakan pada jaringan seluler GSM [12]. Pada tes peredaman noise, peneliti mengklaim bahwa FIR dan pemfilteran SG menghasilkan hasil yang serupa [11].

Dalam bidang medis, filter SG terbukti bermanfaat. Peneliti [13], [14] menyatakan bahwa penggunaan filter SG secara signifikan meningkatkan nilai SIR pada sinyal *electrocardiogram* (ECG). Performa filter SG juga menghasilkan distorsi yang lebih rendah dibandingkan dengan proses denoising wavelet konvensional.

Di sisi lain, respon filter Butterworth direpresentasikan dengan $|H(j\omega)|$, di mana representasi ini terdapat pada domain Laplace, dan N merupakan orde filter yang ditunjukkan pada persamaan (2) [7], [15]. Sebagai tambahan, ω_c didefinisikan sebagai *cut off*. Secara singkat, —agar dapat menggunakan filter Butterworth— orde dan frekuensi *cut off* harus ditentukan. Frekuensi *cut off* dapat ditentukan dengan mengalikan nilai total resistor dengan kapasitor.

$$|H(j\omega)|^2 = \frac{1}{1 + (\omega/\omega_c)^{2N}} \quad (2)$$

Peneliti [16] mendeskripsikan pemetaan akar-akar bidang-z dalam filter Butterworth secara umum dengan persamaan (3), di mana $F(x) = P(x)/Q(x)$ dan x merupakan akar-akar $P(x)$ dan $Q(x)$.

$$|H(j\omega)|^2 = \frac{P(\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos \omega)}{Q(\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos \omega)} \quad (3)$$

$$z = 1 - 2x \pm \sqrt{1 - 2x - 1}$$

Sedangkan peneliti [17] mengekspresikan filter Butterworth seperti filter FIR pada umumnya, dengan notasi $F(x)$ seperti ditunjukkan pada persamaan (4).

$$F(x) = (1 - x)^L \sum_{k=0}^M \binom{L+k-1}{k} x^k \quad (4)$$

Peneliti [18] menyampaikan bahwa filter Butterworth cocok untuk digunakan saat menganalisa sinyal *electromyograph* (EMG) dengan amplitudo rendah. Filter Butterworth mampu membatasi pita sinyal EMG dan menghilangkan noise utama [18]. Hal ini mengimplikasikan bahwa filter Butterworth dapat secara efektif menghilangkan noise utama pada sinyal dengan amplitudo rendah.

Peneliti [19] menyarankan penggunaan filter Butterworth yang sangat teredam (*critically-damped*). Hal ini dikarenakan filter tersebut memiliki estimasi untuk transisi sinyal yang lebih baik, serta tidak menghasilkan sinyal *overshooting* maupun *undershooting*, sehingga proses untuk mereduksi noise dapat ditingkatkan.

3. Metode Penelitian

Pada simulasi ini, penulis akan memfilter sinyal bising dengan filter LP Butterworth dan SG untuk mengurangi kebisingannya. Sebagai tambahan, sinyal bising diartikan sebagai sinyal asli yang telah terpengaruh oleh kebisingan yang dapat menyebabkan properti dari sinyal tersebut berubah.

Simulasi ini dibuat dengan menggunakan MATLAB, di mana MATLAB dipilih dan digunakan karena menyediakan fungsi-fungsi untuk menggunakan kedua filter tersebut. Selain itu, sintaks untuk membuat beberapa jenis sinyal—seperti sinusoidal—telah disediakan.

Dalam penelitian ini, sinyal sinusoidal digunakan sebagai sinyal yang ditransmisikan. Properti dari sinyal yang ditransmisikan seperti fase, amplitudo, dan frekuensi dipilih secara acak. Dalam penelitian ini, sinyal yang ditransmisikan mengikuti persamaan (5)

$$Y = \sin\left(\frac{2\pi}{5}\right) \quad (5)$$

Kebisingan akan dihasilkan secara acak. Kebisingan ini ditambahkan atau digabungkan ke sinyal yang ditransmisikan sehingga menjadi sinyal kebisingan. Nantinya, sinyal bising ini akan difilter menggunakan filter SG dan filter LP Butterworth untuk mengetahui performa dari masing-masing filter tersebut.

4. Hasil dan Pembahasan

Data amplitudo sinyal bising ditunjukkan pada Tabel 1.

Table 1. Amplitudo sinyal

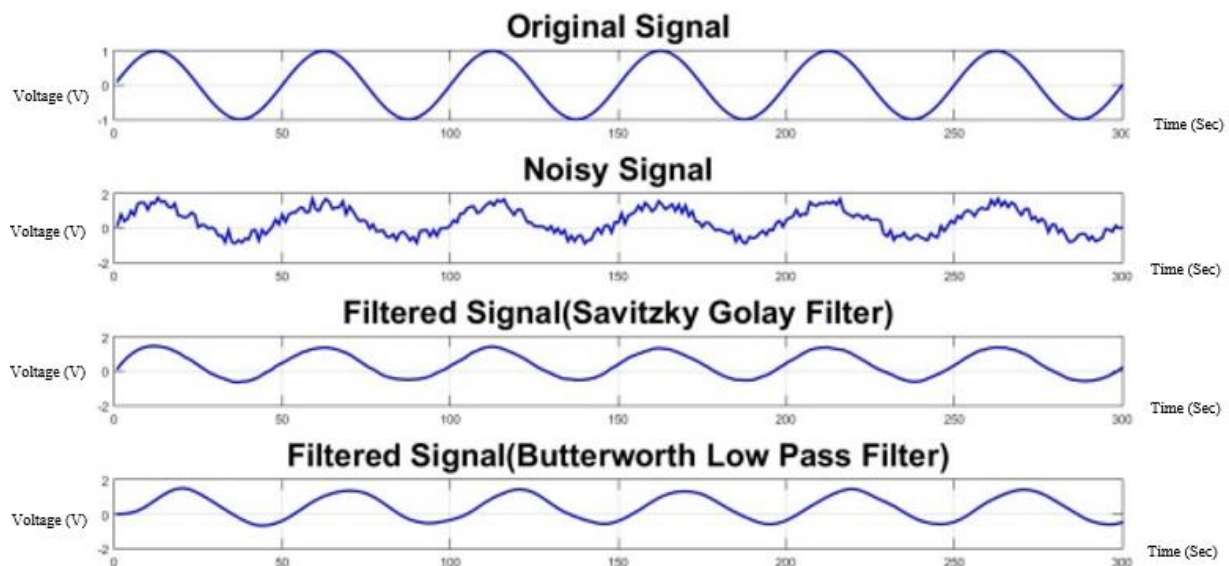
No	Sinyal bising	Amplitudo	Perbandingan dengan sinyal asli (%)
1	Tanpa filter	1.3366	33.66
2	Dengan filter SG	1.050	5
3	Dengan filter LP Butterworth	1.088	8.82

Seperti data yang ditunjukkan pada table 1, sinyal bising yang tidak difilter memiliki amplitudo terbesar di antara ketiganya. Jika dibandingkan dengan sinyal asli yang hanya memiliki amplitudo 1V, sinyal bising yang tidak difilter memiliki celah terbesar. Ini berarti sinyal bising tanpa filter adalah sinyal yang paling terpengaruhi oleh gangguan tersebut.

Untuk menggunakan filter SG, dua variabel yaitu panjang jendela dan urutannya harus ditentukan. Dalam penelitian ini, urutan yang dipilih adalah orde ketiga. Kemudian, panjang jendela yang optimal dapat ditentukan dengan trial dan error. Setelah dilakukan *trial* dan *error* antara 0 hingga 30, didapatkan panjang jendela yang optimum yaitu 27.

Data ketiga pada table 1 berisikan data amplitudo dari sinyal bising yang disaring dengan filter LP Butterworth. Untuk menggunakan filter ini, dua parameter yaitu frekuensi cut off —yang diwakili oleh nilai resistor dan kapasitor rangkaian— dan orde harus ditentukan. Orde yang dipilih sama seperti filter SG, yaitu tiga. Frekuensi cut off sendiri dipilih dengan nilai 0.5 Hz.

Seperti yang ditunjukkan table 1, kedua filter memiliki pengaruh yang besar terhadap sinyal. Tanpa filter, sinyal yang bising akan memiliki amplitudo 33.66% lebih tinggi dari sinyal asli. Nilai ini dapat dibandingkan dengan sinyal bising yang telah difilter hanya memiliki 5% dan 8.82% dari penggunaan filter SG dan filter LP Butterworth secara berurutan. Kedua filter memiliki pengaruh yang signifikan terhadap sinyal. Untuk mengilustrasikan detail tersebut, hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil Simulasi

Untuk filter SG, perbedaan besar amplitudo sinyal asli dengan sinyal bising yang melewati filter hanya sebesar 5%. Nilai ini lebih rendah daripada menggunakan filter LP Butterworth. Filter SG memberikan hasil yang lebih mendekati amplitudo sinyal asli jika dibandingkan dengan sinyal bising yang tidak difilter sama sekali. Selain itu, dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa sinyal yang melewati filter LP Butterworth memiliki frekuensi yang sedikit lebih rendah daripada sinyal asli karena frekuensi cut off yang telah ditentukan sebelumnya.

5. Kesimpulan

Simulasi komparatif antara filter SG dengan filter LP Butterworth telah berhasil dilakukan. Simulasi dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan MATLAB. Sinyal yang digunakan dalam penelitian ini adalah gelombang sinusoidal yang memiliki amplitudo 1V dan frekuensi 0.1 Hz kemudian kebisingan dihasilkan secara acak dan digabungkan dengan gelombang sinusoidal menjadi sinyal bising. Berdasarkan simulasi, filter memiliki pengaruh yang besar terhadap sinyal bising yang berfungsi untuk membuat sinyal bising memiliki properti sedekat mungkin dengan sinyal aslinya. Dapat disimpulkan pula jika filter SG memiliki performa yang lebih baik dibandingkan filter LP

Butterworth pada orde ketiga, di mana filter SG memiliki celah terhadap sinyal original sebesar 5%, sedangkan filter LP Butterworth memiliki celah sebesar 8.82%.

Penelitian selanjutnya dapat dilanjutkan dengan memasukkan perbandingan dengan filter lainnya. Selain itu, penelitian ini juga terbatas pada simulasi di MATLAB. Untuk pengembangan kedepannya, perbandingan performa filter juga dapat dilakukan pada tahap implementasi di berbagai bidang.

6. Ucapan Terima Kasih

Dengan ini kami mengucapkan terima kasih kepada semua penulis yang telah mempublikasikan makalah dan jurnal penelitiannya yang digunakan sebagai referensi dalam penelitian ini.

7. Referensi

- [1] R. Kumar and P. Maheshwary, "Impact of Information Communication Technology for Development and Digital Era: A Literature Review," *Int. J. Res. Electron. Comput. Eng.*, vol. 3, no. 3, 2015.
- [2] S. Livingstone, "Critical Reflections on the Benefits of ICT in Education," *Digit. Technol. Lives Young People*, vol. 38, no. 1, pp. 9–24, 2016.
- [3] H. P. Fung, "Effects of Information and Communication Technology (ICT) on Social Science Research," *Africa Dev. Resour. Res. Inst. J.*, no. 1, 2013.
- [4] M. Jovanic, "Obstacles to Communication Enhancement of Communication, Criteria for Successful Communication," *Sci. J. FACTA Univ. Ser. Linguist. Lit.*, vol. 2, no. 6, 1999.
- [5] S. Keller, F. Tschan, N. K. Semmer, D. Candinas, and G. Beldi, "Effects of Noise on Communication and Concentration During Surgeries: The Moderating Role of Experience and Task," in *12th ICBEN Congress on Noise as a Public Health Problem*, 2017.
- [6] V. Tuzlukov, "Signal Processing Noise," *CRC Press*, vol. 8, 2002.
- [7] S. Haykin and V. Veen, *Signals and Systems*. John Wiley & Sons, 1999.
- [8] A. Savitzky and M. J. E. Golay, "Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures," *Anal. Chem.*, vol. 36, no. 8, pp. 1627–1639, 1964, doi: 10.1021/ac60214a047.
- [9] S. Butterworth, "On the Theory of Filter Amplifiers," *Exp. Wirel. Wirel. Eng.*, vol. 7, no. October, pp. 536–541, 1930.
- [10] M. U. A. Bromba and H. Ziegler, *Application hints for Savitzky-Golay digital smoothing filters*, vol. 53, no. 11. 1981.
- [11] M. Člupěk, P. Matějka, and K. Volka, "Noise Reduction in Raman Spectra: Finite Impulse Response Filtration Versus Savitzky-Golay Smoothing," *J. Raman Spectrosc.*, vol. 38, no. 9, pp. 1174–1179, 2007, doi: 10.1002/jrs.1747.
- [12] A. Dąbrowski, R. Długosz, and P. Pawłowski, "Integrated CMOS GSM Baseband Channel Selecting Filters Realized Using Switched Capacitor Finite Impulse Response Technique," *Microelectron. Reliab.*, vol. 46, no. 5–6, pp. 949–958, 2006, doi: 10.1016/j.microrel.2005.04.002.
- [13] N. Rastogi and R. Mehra, "Analysis of Savitzky-Golay Filter for Baseline Wander Cancellation in ECG using Wavelets," *Int. J. Eng. Sci. Emerg. Technol.*, vol. 6, no. 1, pp. 2231–6604, 2013.
- [14] N. Rastogi and R. Mehra, "Analysis of Butterworth and Chebychev Filters for ECG Denoising using Wavelets," *IOSR J. Electron. Commun. Eng.*, vol. 6, no. 6, pp. 37–44, 2013.
- [15] R. E. Challis and R. I. Kitney, "The Design of Digital Filters for Biomedical Signal Processing Part 3: The Design of Butterworth and Chebychev Filters," *J. Biomed. Eng.*, vol. 5, no. 2, pp. 91–102, 1983, doi: 10.1016/0141-5425(83)90026-2.
- [16] I. W. Selesnick and C. S. Burrus, "Generalized Digital Butterworth Filter Design," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 46, no. 6, pp. 1688–1694, 1998.
- [17] O. Herrmann, "On the Approximation Problem in Nonrecursive Digital Filter Design," *IEEE Trans. Circuit Theory*, vol. 18, no. 3, pp. 411–413, 1971.
- [18] R. G. Mello, L. F. Oliveira, and J. Nadal, "Digital Butterworth Filter for Subtracting Noise

- from Low Magnitude Surface Electromyogram,” *Comput. Methods Programs Biomed.*, vol. 87, no. 1, pp. 28–35, 2007.
- [19] D. G. E. Robertson and J. J. Dowling, “Design and Responses of Butterworth and Critically Damped Digital Filters,” *J. Electromyogr. Kinesiol.*, vol. 13, no. 6, pp. 569–573, 2003.