JREEC
JOURNAL OF RENEWABLE ENERGY, ELECTRONICS AND CONTROL
homepage URL : https://ejurnal.itats.ac.id/jreec

# Penerapan Filter Digital untuk Menghilangkan Gangguan pada Sinyal Elektrokardiogram

*Santoso[1], Ratna Hartayu[2], Ahmad Ridho'i[3], Balok Hariadi[4], Kukuh Setydjit[5], Lutfi Agung Swarga[6], M Ary Heryanto[7]*

*Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya[1,2,3,4,5,6], Universitas Dian Nuswantoro Semarang[7]*

**INFORMASI ARTIKEL**

Jurnal JREEC – Volume 04
Nomer 02, Oktober 2024

Halaman:
36 – 42
Tanggal Terbit :
30 Oktober 2024

DOI:
10.31284/j.JREEC.2024.v41i2.6711

***ABSTRACT***

This research examines the application of Finite Impulse Response (FIR) filters in processing ECG signals to eliminate noise and enhance signal quality. Using ECG recordings from the MIT-BIH database, the original signal contaminated by noise was processed with FIR filters, and the results were compared with signals filtered using the Infinite Impulse Response (IIR) method. The analysis results indicate that FIR filters are effective in reducing noise and improving the accuracy of morphological analysis, with a post-filtering Signal-to-Noise Ratio (SNR) of 1.24 dB. Although the SNR improvement is still relatively low, this study highlights the importance of applying appropriate filtering techniques to support more accurate medical diagnoses. Future research is recommended to explore the performance comparison of FIR filters with other signal processing techniques, as well as efforts to further enhance signal quality and SNR.

***Keyword:*** *ECG Signal, FIR Filter, Signal Processing, Signal-to-Noise Ratio (SNR), Morphological Analysis*

**EMAIL**

santoso@untag-sby.ac.id
rhartayu@untag-sby.ac.id
ridhoi@untag-sby.ac.id
balokhariadi@untag-sby.ac.id
kukuh@untag-sby.ac.id
lutfiagung@untag-sby.ac.id
m.aryheryanto@dsn.dinus.ac.id

**ABSTRAK**

Penelitian ini mengkaji penerapan filter Finite Impulse Response (FIR) dalam pemrosesan sinyal EKG untuk menghilangkan gangguan dan meningkatkan kualitas sinyal. Dengan menggunakan rekaman EKG dari basis data MIT-BIH, sinyal asli terkontaminasi gangguan diproses menggunakan filter FIR, dan hasilnya dibandingkan dengan sinyal difilter menggunakan metode IIR (Infinite Impulse Response). Hasil analisis menunjukkan bahwa filter FIR efektif dalam mengurangi gangguan dan meningkatkan akurasi analisis morfologis, dengan nilai Signal-to-Noise Ratio (SNR) setelah pemfilteran mencapai 1.24 dB. Meskipun peningkatan SNR masih tergolong rendah, penelitian ini menyoroti pentingnya penerapan teknik pemfilteran tepat untuk mendukung diagnosis medis lebih akurat. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengeksplorasi perbandingan kinerja filter FIR dengan teknik pemrosesan sinyal lainnya, serta upaya untuk lebih meningkatkan kualitas sinyal dan SNR.

***Kata kunci:*** *Sinyal EKG, Filter FIR, Pemrosesan Sinyal, Signal-to-Noise Ratio (SNR), Analisis Morfologis*

**PENERBIT**

Jurusan Teknik Elektro-ITATS
Alamat:
Jl. Arief Rachman Hakim
No.100,Surabaya 60117,
Telp/Fax: 031-5997244

*Jurnal JREEC by Department of Elecreical Engineering is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.*

## PENDAHULUAN

Electrokardiogram (EKG) adalah alat klinis yang sangat penting untuk merekam aktivitas listrik jantung. Analisis morfologis sinyal EKG memainkan peran krusial dalam deteksi dini penyakit jantung. Sinyal EKG tipikal terdiri dari gelombang P, kompleks gelombang QRS, dan gelombang T.

Dengan mengekstraksi fitur morfologis dari sinyal ini, variabilitas denyut jantung dan berbagai kondisi jantung dapat diidentifikasi secara efektif [1].

Pemrosesan sinyal EKG mencakup beberapa tahap, termasuk akuisisi data, penguatan sinyal, penghilangan gangguan, serta ekstraksi fitur morfologis dan statistik. Pada tahap akuisisi, diperlukan penguat dengan gangguan rendah, impedansi input tinggi, dan rasio penolakan mode umum yang tinggi untuk memaksimalkan amplitudo sinyal tanpa menimbulkan distorsi [2]. Setelah sinyal EKG diperoleh, sering terkontaminasi oleh gangguan, sehingga pra-pemrosesan menjadi penting. Gangguan umum termasuk baseline-wander, artefak gerakan pasien, masalah kontak elektroda, interferensi listrik, dan gangguan EMG [3]. Tahap pra-pemrosesan harus menjaga fitur morfologis sinyal EKG agar rasio sinyal terhadap gangguan meningkat, sehingga analisis menjadi lebih akurat dan efektif [4].

Salah satu tantangan dalam menggunakan filter FIR adalah urutan filter yang tinggi dan kebutuhan memori besar, yang dapat menyebabkan keterlambatan dalam proses. Sebaliknya, filter IIR memiliki respons fase non-linier yang dapat diatasi dengan menggunakan filter IIR fase nol, yang memerlukan pemfilteran balik pada seluruh data [5]. Selain itu, terdapat teknik pemfilteran lain seperti filter median, filter adaptif, dan filter rata-rata bergerak yang juga dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas sinyal EKG [6]. Sisa makalah ini disusun sebagai berikut: Bagian III menyajikan metode yang diusulkan, sementara hasil dan diskusi disajikan di Bagian IV dan V. Akhirnya, kesimpulan dari penelitian ini disajikan di Bagian VI.

## TINJAUAN PUSTAKA

Pemrosesan sinyal EKG merupakan bidang yang terus berkembang, dengan berbagai teknik yang digunakan untuk meningkatkan akurasi diagnosis. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa gangguan seperti baseline-wander dan artefak gerakan pasien dapat secara signifikan memengaruhi kualitas sinyal EKG [7]. Gangguan-gangguan ini berpotensi menyebabkan kesalahan dalam identifikasi fitur morfologis, yang sangat penting dalam analisis jantung [8]. Oleh karena itu, teknik pemfilteran menjadi krusial untuk meminimalkan pengaruh gangguan ini. Dengan menerapkan metode pemfilteran yang tepat, keakuratan deteksi kondisi jantung dapat ditingkatkan, yang pada gilirannya mendukung diagnosis yang lebih baik dan pengobatan yang lebih efektif [9]. Sejumlah metode pemfilteran telah dikembangkan untuk mengatasi masalah ini, menjadikannya area yang signifikan dalam penelitian pemrosesan sinyal EKG [10]. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengeksplorasi berbagai teknik dan strategi pemfilteran yang dapat digunakan untuk mengatasi gangguan yang beragam dan meningkatkan hasil analisis [11].

Filter Finite Impulse Response (FIR) merupakan salah satu teknik yang banyak digunakan dalam pemrosesan sinyal EKG karena kemampuannya untuk memberikan respons yang stabil dan kontrol yang lebih baik terhadap karakteristik frekuensi [12]. Beberapa studi menunjukkan bahwa filter FIR dapat dirancang untuk menghilangkan gangguan dengan presisi tinggi, berkat fleksibilitas dalam desainnya [13]. Namun, filter Infinite Impulse Response (IIR) juga menawarkan keuntungan, terutama dalam hal efisiensi memori. Meskipun demikian, penelitian menunjukkan bahwa filter IIR mungkin tidak selalu cocok untuk aplikasi yang memerlukan respons fase linier, yang sangat penting dalam analisis sinyal EKG. Oleh karena itu, pemilihan teknik pemfilteran yang sesuai harus dilakukan dengan mempertimbangkan kebutuhan spesifik aplikasi dan karakteristik sinyal yang dianalisis. Dalam konteks ini, studi perbandingan antara filter FIR dan IIR dapat memberikan wawasan yang berguna untuk pengembangan metode yang lebih efektif [14].

Selain teknik pemfilteran yang telah disebutkan, penelitian terbaru menunjukkan bahwa perkembangan algoritma machine learning dan deep learning juga memiliki potensi besar dalam pemrosesan sinyal EKG. Metode ini memungkinkan analisis yang lebih mendalam terhadap pola dan fitur dalam sinyal EKG yang mungkin sulit dikenali dengan teknik konvensional. Kombinasi pemfilteran dengan algoritma pembelajaran mesin dapat meningkatkan akurasi diagnosis, terutama dalam mendeteksi kelainan jantung yang kompleks [15]. Oleh karena itu, integrasi teknik pemfilteran dengan teknologi canggih ini tidak hanya meningkatkan kualitas analisis EKG tetapi juga mendukung praktik klinis yang lebih efektif. Penelitian lebih lanjut dalam menggabungkan kedua

pendekatan ini diharapkan dapat menghasilkan solusi yang lebih inovatif dan efisien, sehingga dapat meningkatkan hasil kesehatan pasien secara keseluruhan.

## METODE

Data EKG dalam penelitian ini diambil dari MIT-BIH Arrhythmia Database, yang berisi rekaman EKG pasien dengan kondisi jantung dan anotasi aritmia. Rekaman nomor 100 hingga 115 dipilih karena gangguan signifikan, terutama baseline-wander akibat gerakan pasien dan variasi pernapasan. Rekaman ini disimpan dalam format .dat dan .hea dengan frekuensi sampling 360 Hz. Sebelum pemfilteran, sinyal EKG harus melalui pra-pemrosesan, termasuk normalisasi amplitudo dan deteksi gangguan, untuk menghasilkan sinyal yang lebih bersih[16].

*Filter FIR*

Filter Finite Impulse Response (FIR) dirancang khusus untuk menghilangkan gangguan frekuensi rendah dalam sinyal EKG, dengan fokus utama pada penghilangan baseline-wander. Proses desain filter FIR melibatkan beberapa langkah. Dalam penelitian ini, frekuensi cutoff ditetapkan pada 0,5 Hz, berdasarkan rekomendasi American Health Association (AHA). AHA menyarankan frekuensi cutoff untuk menghilangkan gangguan frekuensi rendah tidak melebihi 0,05 Hz untuk mencegah distorsi pada segmen ST, meskipun dalam konteks tertentu, nilai ini bisa diperlonggar hingga 0,67 Hz.

*Desain Filter*

Proses ini mencakup beberapa langkah pertama pemilihan order filter dalam konteks filter adalah langkah penting mempengaruhi kinerja dan kompleksitas filter. Order filter, sering dilambangkan dengan $N$ menentukan jumlah koefisien digunakan dalam filter.

Order filter $N$ adalah jumlah koefisien $h[n]$ dalam filter FIR. Sebuah filter FIR dengan order $N$ memiliki $N+1$ koefisien. Misalnya, jika $N=4$ maka filter tersebut memiliki 5 koefisien $h[0], h[1], h[2], h[3], h[4]$.

Respons frekuensi $H(f)$ dari filter FIR didefinisikan sebagai transformasi Fourier dari koefisien:

$$H(f) = \sum_{n=0}^{N} h[n] e^{-j2\pi f n} \tag{1}$$

Dengan meningkatkan $N$, filter dapat lebih akurat mengikuti bentuk ideal dari respon frekuensi.

Penghitungan Koefisien filter dihitung menggunakan metode windowing, seperti Hamming atau Blackman window, untuk memastikan bahwa transisi antara band-pass dan stop-band berlangsung halus.

Untuk filter low-pass ideal dengan cutoff frekuensi $f_c$, koefisiennya adalah:

$$h_{ideal}[n] = \begin{cases} \dfrac{\sin(2\pi f_c)}{\pi n} & Jika\ n \neq 0 \\ 2f_c & Jikan\ n = 0 \end{cases} \tag{2}$$

di mana $n$ adalah indeks waktu dan biasanya dipilih dari $-N/2$ hingga $N/2$.

Koefisien ideal kemudian dikalikan dengan fungsi jendela (window function) untuk mengurangi sidelobes dalam respons frekuensi. Beberapa fungsi jendela umum digunakan adalah:

Hamming Window:

$$w[n] = 0.54 - 0.46\cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right) \tag{3}$$

Blackman Window:

$$w[n] = 0.42 - 0.5\cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right) + 0.8cos\left(\frac{4\pi n}{N}\right) \tag{4}$$

Koefisien akhir untuk filter FIR dengan windowing dapat dihitung dengan mengalikan koefisien ideal dengan fungsi jendela:

$$h[n] = h_{ideal}[n] \cdot w[n] \quad (5)$$

Setelah koefisien dihitung, filter diterapkan pada sinyal EKG menggunakan algoritma pemfilteran. Pemfilteran ini dilakukan secara efisien untuk menjaga kecepatan pemrosesan dan meminimalkan latensi. Menggunakan koefisien telah dihitung dilakukan dengan metode konvolusi. Konvolusi antara sinyal input $x[n]$ dan koefisien filter $h[n]$ didefinisikan sebagai berikut:

$$y[n] = (x * h)[n] = \sum_{m=0}^{M} h[m]x[n-m] \quad (6)$$

di mana:
$y[n]$ adalah sinyal output telah difilter.
$M$ adalah jumlah koefisien filter, sama dengan order filter $N$.

*Filter Butterworth*

Filter Butterworth adalah jenis filter analog dan digital dirancang untuk respons frekuensi halus. Filter ini memiliki frekuensi cutoff, di mana amplitudo sinyal mulai berkurang, sinyal dilewatkan di bawah frekuensi ini (passband) dan dipotong di atasnya (stopband). Ciri khasnya adalah tidak ada ripple dalam passband, dengan transisi lebih tajam pada order lebih tinggi, menggunakan fungsi transfer berikut:

$$H(s) = \frac{1}{1 + (\frac{s}{\omega_c})2n} \quad (7)$$

Di mana:
$H(s)$ adalah fungsi transfer filter.
$s$ adalah variabel kompleks.
$\omega_c$ adalah frekuensi cutoff (rad/s).
$n$ adalah order filter.

Menggunakan algoritma bilinear transform untuk mendesain filter Butterworth dari filter analog. digunakan untuk mengubah filter analog menjadi filter digital. Metode ini melibatkan penggantian variabel $s$ (dalam domain Laplace) dengan transformasi berikut:

$$s = \frac{2}{T} \cdot \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \quad (7)$$

Dimana:
$T$ adalah periode sampling (1/frekuensi sampling).
$z^{-1}$ adalah operator $z$ merepresentasikan sinyal diskrit.

Dapat mengonversi fungsi transfer analog ke dalam bentuk digital, memungkinkan untuk mendesain filter Butterworth untuk sinyal digital. Setelah desain filter selesai menggunakan metode transformasi bilinear, akan mendapatkan koefisien filter dalam bentuk dua vektor, Koefisien Numerator $b$ adalah koefisien mengalikan input sinyal. Koefisien Denominator $a$ adalah koefisien mengalikan output filter sebelumnya.

*Analisis Hasil*

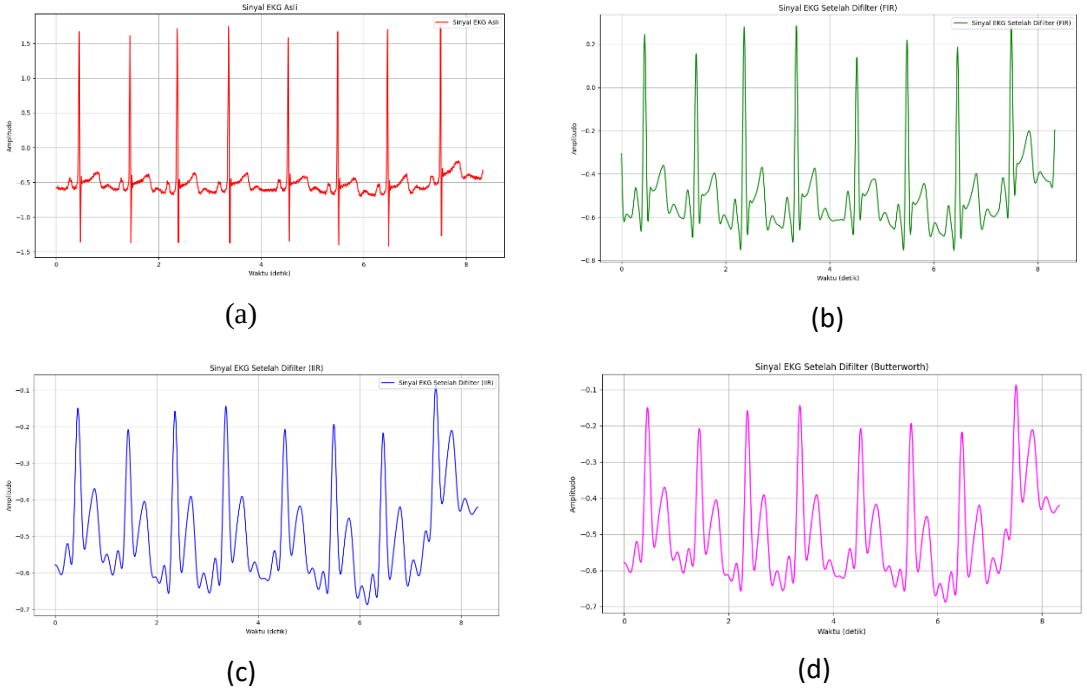
Setelah penerapan filter, sinyal EKG terfilter dievaluasi menggunakan metrik seperti Signal-to-Noise Ratio (SNR) dan analisis visual terhadap fitur morfologis. SNR adalah rasio antara kekuatan sinyal diinginkan dan kekuatan gangguan tidak diinginkan. SNR dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$SNR = 10 \cdot log_{10}\left(\frac{P_{signal}}{P_{noise}}\right) \quad (8)$$

Di mana:
$P_{signal}$ adalah daya sinyal diinginkan.
$P_{noise}$ adalah daya gangguan.
.

**Hasil dan Diskusi**

Sinyal EKG terfilter menunjukkan pengurangan gangguan signifikan. Gambar 1 menunjukkan perbandingan antara sinyal asli dan sinyal telah difilter.




Gambar 1. a) ECG asli, b) ECG setelah filter FIR, c) ECG setelah filter IIR, d) ECG setelah filter Butterworth

*Sumber : dokumen pribadi redaksi*

Gambar 1 memperlihatkan perbandingan sinyal EKG sebelum dan sesudah pemfilteran menggunakan metode FIR dan IIR. Sinyal EKG awal menunjukkan banyak gangguan. Setelah penerapan pemfilteran, terlihat bahwa sinyal menjadi lebih bersih, meskipun ada sedikit kehilangan detail pada frekuensi tinggi. Di sisi lain, setelah pemfilteran IIR, sinyal juga mengalami peningkatan, dengan kemampuan untuk mempertahankan lebih banyak detail dari sinyal asli. Pemfilteran IIR cenderung lebih efisien dalam mempertahankan karakteristik gelombang EKG, membuatnya lebih baik untuk analisis lanjut.

*Evaluasi Kinerja*

Analisis kuantitatif menunjukkan peningkatan SNR setelah penerapan filter FIR, yang efektif dalam mengurangi gangguan tanpa mengorbankan fitur penting seperti segmen ST. SNR sebesar 1,24 dB menandakan bahwa sinyal diinginkan, tetapi nilai rendah ini menunjukkan gangguan signifikan yang dapat mempengaruhi analisis. Dalam konteks EKG, SNR rendah menyulitkan deteksi fitur penting, seperti gelombang P, QRS, dan T. Untuk meningkatkan SNR, langkah-langkah seperti penggunaan filter yang lebih baik dan algoritma pemrosesan yang lebih efektif dapat diambil.

## KESIMPULAN

Penerapan filter FIR terbukti efektif dalam menghilangkan gangguan pada sinyal EKG, dengan hasil menunjukkan peningkatan signifikan dalam kualitas sinyal. Filter ini mampu meminimalkan gangguan dan distorsi, sehingga memungkinkan analisis morfologis lebih akurat terhadap fitur-fitur penting dalam sinyal EKG, seperti gelombang P, QRS, dan T. Nilai Signal-to-Noise Ratio (SNR) dihasilkan setelah pemfilteran menunjukkan peningkatan, meskipun masih tergolong rendah pada 1.24 dB, mengindikasikan adanya ruang untuk perbaikan. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk membandingkan kinerja filter FIR dengan teknik pemrosesan sinyal lainnya, serta untuk mengeksplorasi metode dapat lebih meningkatkan SNR dan kualitas analisis sinyal.

Dengan demikian, pengembangan teknik pemfilteran lebih baik akan berkontribusi pada akurasi diagnosis medis dan evaluasi kesehatan jantung lebih efektif..

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Terima kasih kepada Program Studi Teknik Elektro atas dukungan, bimbingan, dan fasilitas yang diberikan, serta kepada rekan-rekan yang telah memotivasi selama penelitian ini..

**DAFTAR PUSTAKA**

[1] A. E. Curtin, K. V. Burns, A. J. Bank, and T. I. Netoff, "QRS Complex Detection and Measurement Algorithms for Multichannel ECGs in Cardiac Resynchronization Therapy Patients," *IEEE J. Transl. Eng. Health Med.*, vol. 6, pp. 1–11, 2018, doi: 10.1109/JTEHM.2018.2844195.

[2] T. Thamaraimanalan and P. Sampath, "A low power fuzzy logic based variable resolution ADC for wireless ECG monitoring systems," *Cogn. Syst. Res.*, vol. 57, pp. 236–245, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.cogsys.2018.10.033.

[3] C. B. Güngör, P. P. Mercier, and H. Töreyin, "A 2.2 nW Analog Electrocardiogram Processor Based on Stochastic Resonance Achieving a 99.94% QRS Complex Detection Sensitivity," *IEEE Trans. Biomed. Circuits Syst.*, vol. 17, no. 1, pp. 33–44, Feb. 2023, doi: 10.1109/TBCAS.2023.3235786.

[4] H.-T. Chiang, Y.-Y. Hsieh, S.-W. Fu, K.-H. Hung, Y. Tsao, and S.-Y. Chien, "Noise Reduction in ECG Signals Using Fully Convolutional Denoising Autoencoders," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 60806–60813, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2912036.

[5] R. V. Savitha, S. R. Breesha, and X. F. Joseph, "Pre processing the abdominal ECG signal using combination of FIR filter and principal component analysis," in *2015 International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies [ICCPCT-2015]*, Mar. 2015, pp. 1–4. doi: 10.1109/ICCPCT.2015.7159460.

[6] N. Singh, S. Ayub, and J. P. Saini, "Design of Digital IIR Filter for Noise Reduction in ECG Signal," in *2013 5th International Conference and Computational Intelligence and Communication Networks*, Sep. 2013, pp. 171–176. doi: 10.1109/CICN.2013.45.

[7] S. Saxena, R. Jais, and M. K. Hota, "Removal of Powerline Interference from ECG Signal using FIR, IIR, DWT and NLMS Adaptive Filter," in *2019 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)*, Apr. 2019, pp. 0012–0016. doi: 10.1109/ICCSP.2019.8698112.

[8] S. Selvaraj, P. Ramya, R. Priya, and C. Ramya, "Filtering the ECG Signal towards Heart Attack Detection using Motion Artifact Removal Technique," in *2021 Third International Conference on Intelligent Communication Technologies and Virtual Mobile Networks (ICICV)*, Feb. 2021, pp. 185–188. doi: 10.1109/ICICV50876.2021.9388515.

[9] T. Yadav and R. Mehra, "Denoising and SNR improvement of ECG signals using wavelet based techniques," in *2016 2nd International Conference on Next Generation Computing Technologies (NGCT)*, Oct. 2016, pp. 678–682. doi: 10.1109/NGCT.2016.7877498.

[10] N. Das and M. Chakraborty, "Performance analysis of FIR and IIR filters for ECG signal denoising based on SNR," in *2017 Third International Conference on Research in Computational Intelligence and Communication Networks (ICRCICN)*, Nov. 2017, pp. 90–97. doi: 10.1109/ICRCICN.2017.8234487.

[11] S. Nayak, M. Nayak, S. Matri, and K. P. Sharma, "Synthesis and Analysis of Digital IIR Filters for Denoising ECG Signal on FPGA," in *Evolving Networking Technologies: Developments and Future Directions*, Wiley, 2023, pp. 189–210. doi: 10.1002/9781119836667.ch12.

[12] D. Jingwei and J. Wenwen, "Design of Digital Filter on ECG Signal Processing," in *2015 Fifth International Conference on Instrumentation and Measurement, Computer, Communication and Control (IMCCC)*, Sep. 2015, pp. 1272–1275. doi: 10.1109/IMCCC.2015.273.

[13] M. Saeed, D. John, and B. Cardiff, "Accurate Reconstruction of ECG Signals using Chebyshev Polynomials," in *2022 29th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems (ICECS)*, Oct. 2022, pp. 1–2. doi: 10.1109/ICECS202256217.2022.9970820.

[14] Y. A. Altay and A. S. Kremlev, "Comparative analysis of ECG signal processing methods in the time-frequency domain," in *2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus)*, Jan. 2018, pp. 1058–1062. doi: 10.1109/EIConRus.2018.8317272.
[15] Chr. Zywietz, B. Widiger, and R. Fischer, "A system for comprehensive comparison of serial ECG beats and serial ECG recordings," in *Computers in Cardiology, 2003*, Sep. 2003, pp. 689–692. doi: 10.1109/CIC.2003.1291249.
[16] G. B. Moody and R. G. Mark, "MIT-BIH Arrhythmia Database." physionet.org, 1992. doi: 10.13026/C2F305.