



## Uji Kinerja Sistem *Denoising* Sinyal Jantung atau EKG dengan Menggunakan Algoritma *Empirical Mode Decomposition* (EMD)

### *Performance Test of Heart Signal Denoising System or EKG Using Empirical Mode Decomposition (EMD) Algorithm*

Ferawidya Primadevi\* dan Yahya Mardiana

Universitas Budi Luhur, Jl. Ciledug Raya, Jakarta 12260, Indonesia

#### Informasi artikel:

Diterima:  
08/11/2022  
Direvisi:  
13/11/2022  
Disetujui:  
19/11/2022

#### Abstract

*Electrocardiograms (EKGs) are signals created by the electrical activity of the heart muscle and displayed on the EKG device's monitor. Using the EKG recording, the primary characteristics for diagnosing the status of the human heart can be determined. The death rate of heart patients can be reduced through early identification of cardiac problems. In ECG readings, it is frequently affected by several disruptions caused by muscle contractions and electrode movement. Numerous investigations on ECG signal denoising techniques have been undertaken earlier. This article examines the testing of the performance of EKGs using the denoising technique based on the Empirical Mode Decomposition (EMD) algorithm. In this work, many metrics were utilized to evaluate the ECG signal denoising technique: mean square error (MSE), mean absolute error (MAE), and signal-to-noise ratio (SNR). In this investigation, the ECG data was contaminated with noise from muscle artifacts (MA), additive Gaussian white noise (AWGN), electrode movement (EM), and baseline wander (BW). The noise-contaminated ECG signal is subsequently subjected to the denoising process. Calculate the MSE, MAE, and SNR values of the signal after it has been denoised. This study includes a scenario for testing three thresholding techniques with four distinct types of noise. The performance of the hard thresholding method is superior for all types of noise. MSE is produced by AWGN, which is 0.15, 0.28, and 9.9 dB. MA noise generates MSE, MAE, and SNR values of 0.4, 0.033, and 41.0 dB, respectively. The EM noise has an MSE of 0.010, an MAE of 0.04, and an SNR of 30.8 dB. The MSE produced by BW noise is 0.008; the MAE and SNR values were 0.0356 and 28.5, respectively.*

*Keywords: EKG, EMD, noise, denoising.*

#### SDGs:



#### Abstrak

Elektrokardiogram (EKG) adalah sinyal yang dihasilkan oleh aktifitas listrik otot jantung yang di tampilkan oleh monitor pada alat EKG. Parameter utama untuk menentukan kondisi jantung manusia selama ini dapat dilihat dengan menggunakan hasil rekaman EKG. Mendeteksi secara dini kondisi jantung dapat mengurangi angka kematian pasien jantung. Dalam pengukuran EKG, sering dipengaruhi oleh beberapa gangguan yang bersumber dari gerakan otot maupun gerakan elektroda. Beberapa penelitian teknik denoising sinyal EKG telah banyak dilakukan sebelumnya. Tulisan ini membahas tentang pengujian kinerja EKG dengan metode denoising menggunakan algoritma *Empirical Mode Decomposition* (EMD). Pengujian teknik denoising sinyal EKG pada penelitian ini menggunakan berbagai metrics: *Mean Square Error* (MSE), *Mean Absolute Error* (MAE) dan *Signal to Noise Ratio* (SNR). Pada penelitian ini, *Noise Muscle Artifact* (MA), *Additive Gaussian White Noise* (AWGN), *Noise Electrode Movement* (EM), dan *Noise Baseline Wander* (BW) ditambahkan pada sinyal EKG. Lalu sinyal EKG dengan *noise* tersebut diterapkan proses teknik denoising. Selanjutnya menghitung nilai MSE, MAE dan SNR pada sinyal hasil *denoising*. Penelitian ini memiliki skenario pengujian pada tiga metode *thresholding* dengan menggunakan empat jenis *noise* yang berbeda. Untuk semua jenis *noise*, metode *hard thresholding* memiliki performansi terbaik. AWGN menghasilkan MSE, MAE dan sebesar 0,15; 0,28; dan 9,9 dB. Noise MA menghasilkan nilai MSE, MAE dan SNR berturut-turut adalah 0,4; 0,033 dan 41,0 dB. Pada *noise* EM menghasilkan MSE 0,010; MAE 0,04 dan SNR 30,8 dB. Noise BW menghasilkan MSE 0,008; nilai MAE dan SNR berturut-turut adalah 0,0356 dan 28,5.

**Kata Kunci:** EKG, EMD, *noise*, *denoising*.

\*Penulis Korespondensi. Tel: - ; Handphone: +62 895 3578 27235  
email : [2111600025@student.budiluhur.ac.id](mailto:2111600025@student.budiluhur.ac.id)



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

## 1. PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir sinyal *Elektrokardiogram* (EKG) telah banyak digunakan untuk tujuan diagnosis penyakit jantung. Sinyal EKG dimanfaatkan oleh dokter untuk interpretasi dan identifikasi fenomena fisiologis dan patologis penyakit jantung (Octaviani, Sari dan Suhandono, 2019). Analisis secara dini pada sinyal EKG manusia dapat mengurangi angka kematian pada pasien penyakit jantung dengan cara memantau secara dini gejala penyakit jantung yang terdapat pada manusia (Sahoo, Das dan Sabut, 2016).

Sinyal hasil pengukuran pada EKG sering dipengaruhi oleh gangguan atau *noise* yang menyebabkan kualitas sinyal menjadi kurang baik. Pembersihan sinyal (*denoising*) dilakukan untuk menghilangkan *noise* pada sinyal EKG. *Noise* yang terdapat pada sinyal EKG sering tumpang tindih dengan sinyal EKG itu sendiri dan ada pada rentang yang sama dengan frekuensi yang sama dengan sinyal EKG (Joy, Peter dan John, 2013).

Pada penelitian sebelumnya telah banyak dikembangkan metode *denoising* untuk EKG menggunakan metode EMD, seperti: *Model-Based ECG Denoising Using Empirical Mode Decomposition*, *EMD-Based Signal Noise Reduction*, *Adaptive Thresholding based EMD for Delineation of QRS Complex in ECG Signal* (Sahoo, Das dan Sabut, 2016), *Denoising Via Empirical Mode Decomposition* dan masih banyak lainnya.

Dari waktu ke waktu metode yang diusulkan akan terus bertambah. Pada umumnya penelitian yang terdahulu hanya berfokus pada pengusulan metode *denoising* EMD baru untuk menghilangkan *noise* dan pada penelitian yang terdahulu hanya membandingkan kinerja metode *denoising* berbasis *wavelet* (Mandala dkk., 2017). Kinerja dari metode EMD tersebut patut dipertanyakan karena belum banyak penelitian yang menguji secara komperensif dari metode EMD tersebut.

Untuk menjawab persoalan di atas, tujuan dari penelitian ini adalah menguji kinerja metode *denoising* yang ada untuk menentukan kinerja terbaik, khususnya pada metode *denoising* dengan menggunakan algoritma *Empirical Mode Decomposition* sebagai teknik untuk menghilangkan *noise* pada sinyal EKG.

Diharapkan penelitian ini dapat menguji secara objektif metode-metode *denoising* berbasis *Empirical Mode Decomposition* sehingga dapat menentukan metode *denoising* EMD dengan kinerja terbaik, yaitu metode *denoising* yang memiliki nilai SNR yang tinggi dan nilai MSE dan MAE yang rendah.

## 2. METODOLOGI

Proses dekomposisi sinyal pada metode *denoising* menggunakan algoritma EMD dilakukan secara bertahap, yaitu mengurangi jumlah sinyal yang diamati dengan rata-rata dari sinyal awal. Sinyal yang akan di dekomposisi harus terdiri dari 2 *extrema*, yaitu satu nilai maksimum dan satu nilai minimum.

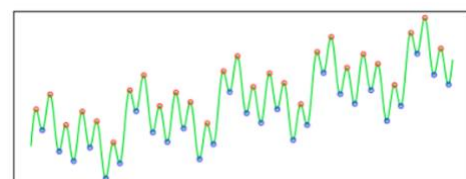
Algoritma EMD bekerja dengan cara menguraikan sinyal menjadi beberapa *Intrinsic Mode Funtion* (IMF) dan komponen sisa (residu). Proses penguraian yang dilakukan berulang-ulang dan akan berhenti jika mendapatkan nilai IMF yang optimal dan komponen sisa (residu) yang konstan. Jika dilakukan rekonstruksi sinyal pada IMF dan komponen sisa (residu), akan menghasilkan kembali sinyal asal tanpa ada informasi yang hilang atau dibuang.

IMF adalah potongan sinyal dengan ciri/kondisi sebagai berikut:

- 1) Jumlah *zero crossing* dan *extrema point* harus sama atau berbeda paling tidak satu.
- 2) Rata-rata *envelope*, yang didefinisikan oleh *maxima* dan *minima*, harus sama dengan nol pada semua titik.

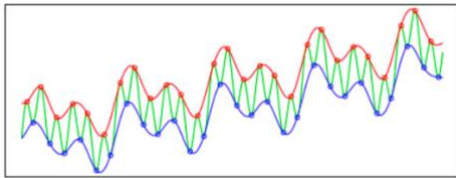
Jika dua kondisi tersebut tidak terpenuhi, maka sinyal tidak bisa dikatakan sebagai IMF dan perlu dilakukan proses penyaringan (*sifting*) atau perhitungan berulang-ulang sampai memenuhi dua kondisi tersebut. Alur dari *sifting process* yaitu:

- 1) Identifikasi ekstrem lokal dapat dilihat pada Gambar 1.



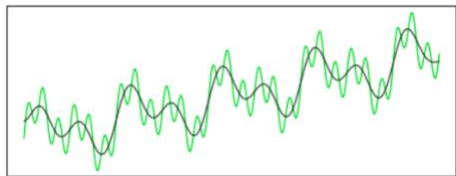
Gambar 1. Identifikasi ekstrem lokal

- 2) Buat dua fungsi yang disebut amplop atas dan amplop bawah dengan cara menginterpolasikan minimum lokal dan maksimal lokal (lihat Gambar 2).



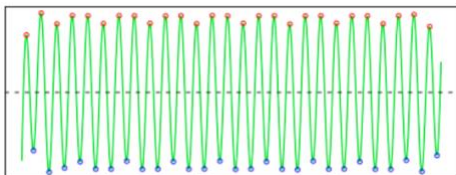
Gambar 2. Membuat fungsi amplop atas dan amplop

- 3) Ambil rata-rata, yang akan menghasilkan komponen frekuensi rendah daripada sinyal asli, seperti pada Gambar 3.



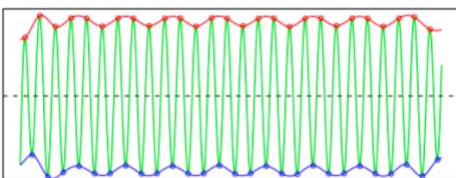
Gambar 3. Rata-rata amplop atas dan amplop

- 4) Dengan mengurangi amplop dari sinyal x, pola osilasi dipisahkan seperti pada Gambar 4.

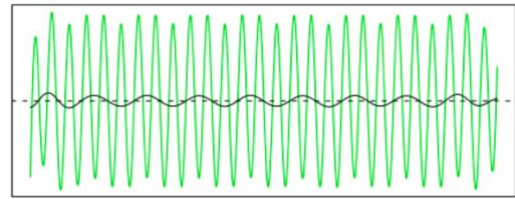


Gambar 4. Pengurangan amplop dari sinyal x

- 5) Jika kondisi IMF tidak terpenuhi setelah satu iterasi prosedur di atas, prosedur yang sama diterapkan pada sinyal residu seperti pada Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6 properti IMF terpenuhi.



Gambar 5. Sinyal residu amplop atas dan bawah



Gambar 6. Sinyal residu

Dalam proses penyaringan *sifting*, harus menggunakan kriteria untuk menghentikan proses *sifting* tersebut. Kriteria digunakan agar menjamin komponen IMF yang dihasilkan tetap mempertahankan arti fisik dari kedua amplitudo dan modulasi frekuensi. Kriteria yang dimaksud ialah dengan membatasi ukuran standar deviasi sebagai berikut:

$$SD = \sum_{t=0}^T \left[ \frac{|h_{1(k-1)}^2 - h_{1(k)}^2|^2}{h_{1(k-1)}^2} \right] \quad (1)$$

Dimana  $h_{1(k-1)}$  adalah sinyal awal,  $h_{1k}$  adalah hasil sinyal awal dikurangi dengan rata-rata dari sinyal awal.

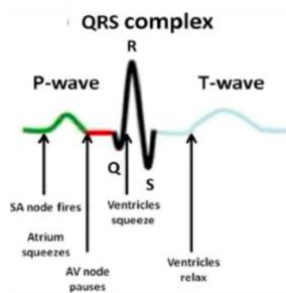
Nilai ukuran standar deviasi dapat diatur antara rentang 0,2 sampai dengan 0,3. Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Huang dkk, dari dua sinyal masukan dilakukan proses *sifting* terhadap 5 titik dari 1024 titik dan menghasilkan standar deviasi dengan rentang antara 0,2 sampai dengan 0,3.

Sinyal *elektrokardiografi* (EKG) adalah sinyal yang dihasilkan dari perekaman sinyal biolistrik pada irama denyut jantung secara terus menerus. Sinyal EKG digunakan untuk mengukur sistem konduksi listrik pada jantung. Mekanisme kerja dari alat ini dengan cara mengukur potensial listrik yang dihasilkan dari pemicu jantung, lalu pemicu jantung tersebut dapat merubah system kelistrikan jantung yang kemudian divisualisasikan di layar monitor atau di cetak (Jaenal dan Usada, 2019).

*Elektrokardiogram* (EKG) adalah grafik yang dibuat oleh sebuah alat elektrokardiografi. Grafik itu dapat merekam aktivitas kelistrikan jantung dalam waktu tertentu. Elektrokardiografi menghasilkan sinyal yang sangat khas yaitu (Jaenal dan Usada, 2019):

- 1) Gelombang P merepresentasikan depolarisasi dari atrium kanan dan kiri. Impuls listrik dikonduksikan dari simpul sinoatrial ke atrioventricular dan membentangi dari atrium/serambi kanan ke atrium/serambi kiri.
- 2) Gelombang QRS complex terdiri dari gelombang Q, R, dan S. Bentuk gelombang ini terjadi ketika impuls listrik melalui otot ventrikel/bilik jantung memompa darah ke seluruh tubuh. Gelombang ini biasanya adalah bagian yang paling kuat dan dominan pada EKG.
- 3) Gelombang T, merepresentasikan repolarisasi dari ventrikel.

Berikut ilustrasi gambaran dari sinyal jantung hasil rekaman EKG ditunjukkan pada [Gambar 7](#).



Gambar 7. Sinyal jantung

## 2.1. Noise EKG

Noise adalah gangguan pada sinyal yang selalu ada dalam suatu sinyal (baik itu sinyal EKG ataupun sinyal Seismik). Noise ini akan mengganggu kualitas dari sinyal yang di dapat dan akhirnya mengganggu proses diagnosis kondisi sinyal EKG itu sendiri. Sinyal EKG dipengaruhi oleh beberapa sumber noise sebagai berikut (Clifford, Azuaje dan McSharry, 2006; Chai dan Draxler, 2014):

- 1) *Muscle artifact* yang bersumber dari kontraksi otot jantung yang terjadi dibawah elektroda EKG. *Muscle artifact* memiliki ciri-ciri *bandwidth* yang hampir sama dengan sinyal EKG (lihat [Gambar 8](#)).
- 2) *Electrode movement* terjadi karena sedikitnya kontak antar elektroda dengan kulit saat pengambilan data rekaman EKG. *Electrode movement* dapat menyebabkan morfologi gelombang EKG terlihat lebih besar

dari bentuk normal seperti pada [Gambar 9](#). Durasi *noise Electrode movement* ini sekitar 1 detik dengan nilai maksimum amplitudo frekuensi 60Hz.



Gambar 8. Noise muscle artifact



Gambar 9. Noise electrode movement

- 3) *Baseline wander* disebabkan oleh pergerakan subjek saat dilakukan perekaman EKG. Ciri dari *noise baseline wander* memiliki frekuensi yang lebih rendah dibandingkan sinyal EKG. Tipikal *noise baseline wander* yang turun dan naik serta tidak konsisten pada garis *isoline* atau garis nol akan menyebabkan algoritma kesulitan mendeteksi puncak R secara tepat karena sangat mungkin gelombang T dengan bentuk dan ukuran yang tidak normal bisa dianggap sebagai puncak R (lihat [Gambar 10](#)). Frekuensi rendah dari *baseline wander* bervariasi dari 0,15-0,3 Hz perlu dihilangkan sebelum mengekstraksi karakteristik fitur ECG.



Gambar 10. Noise baseline wander

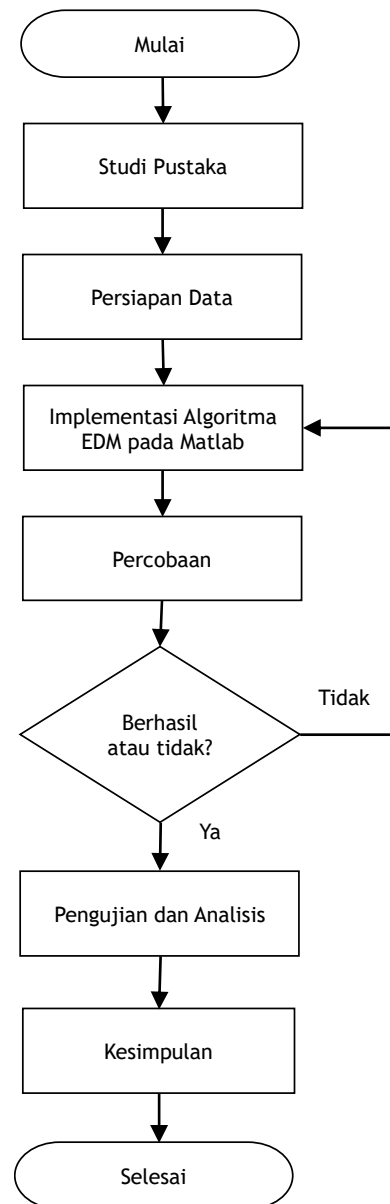
- 4) AWGN (*Additive White Gaussian Noise*) terdiri dari seluruh frekuensi dalam spektralnya sebagai cahaya putih. AWGN memiliki spektral daya yang konstan. AWGN dapat dihasilkan dengan simulasi menggunakan fungsi random pada MATLAB.
- 5) *Colored Noise*, *Colored Noise* adalah *white noise* yang telah di filter menggunakan *Band Pass filter* (BPF) dengan terlebih dahulu

ditentukan frekuensi tengah dan *bandwidth*-nya sehingga memiliki porsi frekuensi dalam spektrumnya sebagai *colored light* (Kuo, Lee dan Tian, 2013).

### 2.2. Metode Denoising

Analisis metode pada algoritma EMD dapat dilakukan dengan menguji metode *denoising* menggunakan Matlab dengan cara melakukan analisis terhadap beberapa metrics, yaitu *Mean Absolute Error* (MAE), *Mean Square Error* (MSE) dan *Signal Noise Ratio* (SNR) pada sinyal hasil *denoising* (Clifford, Azuaje dan McSharry, 2006; Hamid, Das dan Hirose, 2012). Metodologi yang digunakan pada penelitian ini seperti pada Gambar 11.

- 1) Studi literature  
Mengumpulkan *literature* dan informasi dari berbagai referensi seperti buku artikel di internet dan paper yang akan digunakan sebagai landasan dalam penelitian (Rahmasari, Wibowo dan Pangestu, 2021).
- 2) Persiapan Data  
Mempersiapkan data yang akan menjadi bahan penelitian. Data yang digunakan berupa sinyal ECG yang diambil dari database sinyal EKG MIT-BIH.
- 3) Implementasi algoritma EMD pada software Matlab.
- 4) Percobaan  
Melakukan percobaan untuk menentukan metode dan parameter yang akan digunakan. Jika percobaan yang dilakukan berhasil akan dilanjutkan ke tahap selanjutnya yaitu pengujian dan analisis jika gagal akan dilakukan pengulangan pada tahap sebelumnya yaitu implementasi algoritma EMD pada Matlab.
- 5) Pengujian Analisis  
Melakukan proses pengujian terhadap metode-metode yang telah dipilih dan mendapatkan hasil melalui pengukuran parameter yang telah ditentukan.
- 6) Penyusunan Laporan dan Penarikan Kesimpulan  
Melakukan penyusunan hasil dari penelitian yang meliputi dokumentasi lengkap mengenai penelitian dan hasil kesimpulan yang didapat dari penelitian tersebut.



Gambar 11. Metodologi penelitian

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis pengujian nilai *threshold*, setiap *noise* dan metode *thresholding* memiliki nilai *threshold* yang berbeda untuk menghasilkan performnasi yang terbaik berdasarkan dari nilai SNR yang tinggi dan MSE serta MAE yang mendekati nol. David L. Donoho dalam penelitiannya "*Denoising by Soft Thresholding*" menyebutkan bahwa untuk mendapatkan nilai estimasi optimal harus mempertimbangkan pemilihan nilai parameter *threshold* yang optimal (Donoho, 1995).

Untuk *noise* AWGN, metode *Soft thresholding* memiliki performansi yang maksimal pada nilai *threshold* antara 0,1 dan 0,2. Metode *Hard Thresholding* memiliki performansi terbaik saat nilai *threshold* antara 0,1 sampai 0,4. Sedangkan untuk *Adaptive Soft Thresholding* nilai *threshold* yang menghasilkan performansi maksimal yaitu 0,1.

Pada pengujian jenis *noise Muscle artifact* semua metode dan data sinyal menunjukkan *threshold* 0,1 menghasilkan performansi yang maksimal, *threshold* yang rendah memberikan hasil *denoising* sinyal yang lebih bagus karena jika menggunakan *threshold* yang besar akan memungkinkan hilangnya informasi yang terdapat pada sinyal EKG. *Noise muscle artifact* merupakan salah satu *noise biomedical* yang ada pada sinyal EKG, *noise* ini memiliki karakteristik menempel pada sinyal EKG, sehingga nilai *threshold* yang rendah lebih efektif untuk *denoising* sinyal EKG.

*Noise Electrode movement* mempunyai karakteristik yang sama seperti *noise muscle artifact*. *Noise Electrode movement* merupakan jenis *noise biomedical* yang terdapat pada sinyal EKG dan menempel pada sinyal EKG. Sehingga nilai *threshold* yang besar akan memungkinkan hilangnya informasi penting yang terkandung pada sinyal EKG. Metode *Soft thresholding* menghasilkan performansi terbaik ketika menggunakan nilai *threshold* 0,1. Metode *Hard Thresholding* memiliki performansi terbaik saat nilai *threshold* 0,1, 0,3, 0,6 dan 0,8. Sedangkan untuk *Adaptive Soft Thresholding* nilai *threshold* yang menghasilkan performansi maksimal antara 0,1 dan 0,2. Hal ini disebabkan bentuk sinyal juga mempengaruhi hasil *denoising*.

*Noise baseline wander* merupakan jenis *noise biomedical* yang terdapat pada sinyal EKG dan menempel pada sinyal EKG. Sehingga nilai *threshold* yang besar akan memungkinkan hilangnya informasi penting yang terkandung pada sinyal EKG. Metode *Soft thresholding* memiliki performansi yang maksimal pada nilai *threshold* 0,1. Metode *Hard Thresholding* memiliki performansi terbaik saat nilai *threshold* 0,1 dan 0,8. Sedangkan untuk *Adaptive Soft Thresholding* nilai *threshold* yang menghasilkan performansi maksimal ketika menggunakan nilai *threshold* 0,1 dan 0,7.

Untuk pengujian nilai *threshold* ini dapat disimpulkan *noise artifact* lebih sulit di-*denoise* karena karakter *noise* yang menempel pada sinyal EKG, sehingga nilai *threshold* yang rendah lebih efektif untuk menghilangkan *noise*. Dapat diamati dari hasil pengujian semakin besar nilai *threshold* akan menghilangkan informasi yang terdapat pada sinyal original EKG. Untuk *noise* AWGN lebih mudah dihilangkan karena bentuk sinyal yang lebih terstruktur dibandingkan dengan *noise artifact*, sehingga *noise* AWGN dapat dihilangkan dengan nilai *threshold* yang kecil maupun yang besar tergantung pada metode *thresholding* yang digunakan.

Dari hasil pengujian metode *thresholding* menunjukkan hasil yang sama untuk semua *noise* yang digunakan dalam pengujian. Metode yang memiliki performansi terbaik dapat dilihat dari nilai SNR yang tinggi dan MSE serta MAE yang mendekati nol. Pada *noise* AWGN, *noise Muscle artifact*, *noise Baseline Wander* dan *noise Electrode Movement* metode *Hard Thresholding* memiliki performansi yang maksimal.

Dari pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan metode *Hard thresholding* menghasilkan performansi maksimal untuk semua jenis *noise*. Pada metode *Hard thresholding* nilai *threshold* ditentukan dengan melakukan pengujian nilai *thresholding* antar 0,1-0,9. Kemudian proses ini dilanjutkan dengan pemilihan hasil terbaik yang dapat dilihat dari nilai SNR yang tinggi dan MSE serta MAE yang mendekati nol.

#### 4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian bahwa, metode *thresholding* menemukan nilai *threshold* terbaik untuk metode-metode *denoising*. Pada *noise muscle artifact*, nilai *threshold* 0,1 memiliki performansi yang terbaik untuk setiap metode *thresholding*. Sedangkan pada *Additive White Gaussian Noise* metode *Soft thresholding* dan *Adaptive Soft Thresholding* memiliki performansi terbaik dengan nilai *threshold* 0,1. Metode *Hard thresholding* memiliki performansi terbaik pada nilai *threshold* 0,4. Untuk *noise electrode movement artifact* metode *Soft thresholding* memiliki performansi terbaik dengan nilai *threshold* 0,1.

Metode *Hard thresholding* memiliki performansi terbaik pada nilai *threshold* 0,8 dan metode *Adaptive thresholding* memiliki performansi terbaik pada nilai *threshold* 0,4.

Hasil pengujian lainnya menunjukkan nilai *noise baseline wander* metode *soft thresholding* memiliki performansi terbaik dengan nilai *threshold* 0,1. Metode *Hard thresholding* memiliki performansi terbaik pada nilai *threshold* 0,8 dan metode *Adaptive thresholding* memiliki performansi terbaik pada nilai *threshold* 0,7.

Metode *hard thresholding* memiliki performansi terbaik untuk semua *noise*. *Noise AWGN* dengan nilai MSE 0,15, MAE dan SNR yaitu 0,28 dB dan 9,9 dB. *Noise Muscle artifact* menunjukkan performansi terbaik dengan nilai MSE 0,004, dan nilai MAE serta SNR yaitu 0,033 dB dan 41,0 dB. *Noise Electrode movement* menunjukkan performansi terbaik dengan nilai MSE 0,010, dan nilai MAE serta SNR yaitu 0,04 dB dan 30,8 dB. *Noise Baseline Wander* memiliki performansi terbaik dengan nilai MSE 0,008, dan nilai MAE serta SNR yaitu 0,036 dB dan 28,5 dB. Berdasarkan hal tersebut, maka metode *thresholding* terbaik adalah *Hard thresholding* untuk semua *noise*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Chai, T. dan Draxler, R.R. (2014) 'Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)', *Geoscientific Model Development Discussions*, 7(1), hal. 1525-1534.
- Clifford, G.D., Azuaje, F. dan McSharry, P. (2006) *Advanced methods and tools for ECG data analysis*. Artech house Boston [Cetak].
- Donoho, D.L. (1995) 'De-noising by soft-thresholding', *IEEE Transactions on Information Theory*, 41(3), hal. 613-627.
- Hamid, E., Das, S. dan Hirose, K. (2012) 'Speech Enhancement Using EMD Based Adaptive Soft-Thresholding (EMD-ADT)', *International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition*, 5(2), hal. 1-16.
- Jaenal, A. dan Usada, E. (2019) *Elektronika Biomedik - Pembahasan Sinyal dan Citra Elektrokardiografi (EKG)*. 1st edn. Lentera [Cetak].
- Joy, J., Peter, S. dan John, N. (2013) 'Denoising using soft thresholding', *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 2(3), hal. 1027-1032.
- Kuo, S.M., Lee, B.H. dan Tian, W. (2013) *Real-time digital signal processing: fundamentals, implementations and applications*. 3rd edn. United Kingdom: John Wiley & Sons [Cetak].
- Mandala, S. dkk. (2017) 'Performance analysis of wavelet-based denoising techniques for ECG signal', in *2017 5th International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT)*. *2017 5th International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT)*, Melaka, Malaysia: IEEE, hal. 1-6.
- Octaviani, E.S., Sari, Y. dan Suhandono, E. (2019) 'Perancangan Aplikasi Konsultasi Online untuk Gangguan Jiwa Berbasis Web', *Jurnal Asimetrik: Jurnal Ilmiah Rekayasa & Inovasi*, 1(1), hal. 9-16.
- Rahmasari, F., Wibowo, F.E. dan Pangestu, S.A. (2021) 'Optimasi Penentuan Pemenang Pengadaan Tracker Antenna Menggunakan Metode Simple Additive Weighting (SAW)', *Jurnal Asimetrik: Jurnal Ilmiah Rekayasa & Inovasi*, 3(1), hal. 1-8.
- Sahoo, S., Das, T. dan Sabut, S. (2016) 'Adaptive thresholding based EMD for delineation of QRS complex in ECG signal analysis', in *2016 International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET)*. *2016 International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET)*, Chennai, India: IEEE, hal. 500-504.

