

Analisis Perbandingan Performansi Denoising Sinyal EKG Menggunakan Metode Discrete Wavelet Transform dan Adaptive Filter

Analysis Comparison of Denoising Performance of ECG Signals Using Discrete Wavelet Transform and Adaptive Filter Methods

MUHAMMAD AKHYAR GHIFARI ¹, Ir. RITA MAGDALENA, M.T. ², R YUNENDAH NUR FU'ADAH, S.T.,M.T. ³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹akhyarghifari@gmail.com, ²ritamagdalenat@telkomuniversity.ac.id, ³yunendah@telkomuniversity.ac.id.

Abstrak

Denoising merupakan metode untuk menghilangkan *noise* pada sinyal EKG. *Noise* yang terdapat pada sinyal EKG tersebar pada rentang yang sama dengan frekuensi yang sama dengan sinyal EKG, sehingga metode filter biasa tidak mampu menghilangkan *noise* tersebut^[2].

Dalam uji coba *denoising* pada tugas akhir ini, penulis menggunakan perbandingan metode antara *adaptive filter* dan *discrete wavelet transform* (DWT). Dimana metode DWT melakukan *denoising* sinyal dengan menggunakan beberapa metode basis wavelet seperti *Haar*, *Debuchies*, *Symlet* dan *Bior* dan *thresholding* dengan metode *soft* atau *hard thresholding*. Sedangkan untuk *adaptive filter* sendiri dengan menggunakan metode *KALMAN*, *Least Mean Square (LMS)*, dan *Recursive Least Square (RLS)*. Uji coba dilakukan dengan memberikan 4 *noise* yang berbeda yaitu *Additive White Gaussian Noise (AWGN)*, *MUSCLE ARTIFACT (MA)*, *ELEKTRODE MOTION (EMM)* dan *BASELINE WANDER (BW)* untuk masing masing metode DWT dan *adaptive filter*.

Berdasarkan hasil pengujian, *denoising* terbaik yang dilakukan oleh metode *Discrete Wavelet Transform* untuk *Additive White Gaussian Noise (AWGN)* adalah dengan ***Basis Wavelet = DB 12 dengan Threshold Method = SURE dengan HARD THRESHOLD dan Level Dekomposisi = 2 dengan nilai MSE = 0.000498516 dan SNR = 28.12125292 dB***. Sedangkan untuk *denoising* terbaik yang dilakukan oleh metode *adaptive filter* untuk *Additive White Gaussian Noise (AWGN)* adalah dengan ***metode LMS dengan nilai MSE = 0.000273995 dan SNR = 30.68395146 dB***. Jika dibandingkan dari hasil diatas maka metode terbaik ditunjukkan oleh metode *adaptive filter*.

Kata kunci: *Elektrokardiogram (EKG), Denoising, Discrete wavelet Transform, Adaptive Filter.*

Abstract

Denoising is a method to remove *noise* on ECG signals. The *noise* present in the ECG signal is spread over the same range with the same frequency as the ECG signal, so the usual filter method can not remove the *noise*.^[2]

In the *denoising* test in this final project, the writer uses a comparison method between *adaptive filter* and *discrete wavelet transform* (DWT). Where the DWT method of *denoising* the signal by using some wavelet base method such as *Haar*, *Debuchies*, *Symlet* and *Bior* and *thresholding* with *soft* or *hard thresholding* method. As for *adaptive filter* itself by using the method *KALMAN*, *Least Mean Square (LMS)*, and *Recursive Least Square (RLS)*. The experiments were conducted by giving 4 different *noise* like *ADDITIVE WHITE GAUSSIAN NOISE (AWGN)*, *MUSCLE ARTIFACT (MA)*, *ELEKTRODE MOTION (EMM)* and *BASELINE WANDER (BW)* for each DWT and *adaptive filter* method.

Based on the test results, ***the best denoising performed by Discrete Wavelet Transform method for Additive White Gaussian Noise (AWGN) is with Wavelet = DB 12 with Threshold Method = SURE with HARD THRESHOLD and Decomposition Level = 2 with MSE value = 0.000498516 and SNR = 28.12125292 dB***. While for ***best denoising done by adaptive filter method for Additive White Gaussian Noise (AWGN) is by LMS method with value of MSE = 0.000273995 and SNR = 30.68395146 dB***. When compared from the above results then the best method is shown by *adaptive filter* method.

Key words: *Electrocardiogram (ECG), Denoising, Discrete wavelet Transform, Adaptive filters.*

1. Pendahuluan

Pada zaman ini perkembangan pesat terjadi pada dunia biomedik. Salah satu perkembangannya yaitu pendeteksi sinyal jantung yang berasal dari dalam tubuh manusia yang disebut *elektrokardiogram* (EKG). Namun sinyal hasil pengukuran pada EKG ini sering dipengaruhi oleh adanya *noise* yang tidak diinginkan. Untuk mengatasinya dilakukan metode yang disebut dengan *denoising*^[2].

Denoising merupakan metode untuk menghilangkan *noise* pada sinyal EKG. *Noise* yang terdapat pada sinyal EKG tersebar pada rentang yang sama dengan frekuensi yang sama pula dengan sinyal EKG, sehingga metode filter biasa tidak mampu menghilangkan *noise* tersebut^[2]. Penelitian tentang *denoising* sendiri sudah banyak dilakukan, beberapa contoh dari penelitian yang terkenal adalah pada tahun 2001 oleh Cherkassky, V. dan S. Kilts dengan judul “*Vanpic - Chervonenkis(VC)*”.^[7] Dan pada tahun 2012 oleh Karthikeyan, P., M.Murungappan, dan S. Yacoob yang melakukan sebuah penelitian dengan judul “*ECG signal denoising using wavelet thresholding techniques in human stress assessment*”^[8].

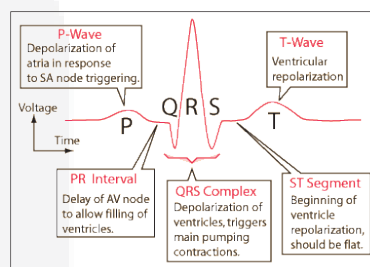
Untuk menanggapi penelitian diatas, maka digunakanlah penelitian tersebut sebagai landasan tugas akhir ini, yaitu dengan melakukan perbandingan terhadap metode Discrete wavelet transform dan Adaptive filter.

2. Dasar Teori

2.1. Gelombang Jantung

Gelombang jantung merupakan salah satu istilah dalam dunia kedokteran yang berkaitan dengan kesehatan Jantung. Gelombang jantung sendiri merupakan gelombang yang ditunjukkan jantung yang muncul sesuai aktivitas dan perasaan atau kejiwaan manusia. Untuk mengetahui aktivitas sinyal elektrik pada jantung maka digunakanlah suatu pendeteksi sinyal yang disebut dengan *elektrokardiogram* (EKG). Gelombang jantung dibagi menjadi beberapa jenis yaitu^[3] :

1. Gelombang P, gelombang ini terjadi akibat adanya kontraksi otot atrium, gelombang P relatif kecil karena otot *atrium* tipis.
2. Gelombang QRS, terjadi akibat kontraksi otot ventrikel yang tebal sehingga umumnya gelombang QRS ini cukup tinggi.



GAMBAR 2. 1. GELOMBANG JANTUNG

2.2. Noise Pada EKG

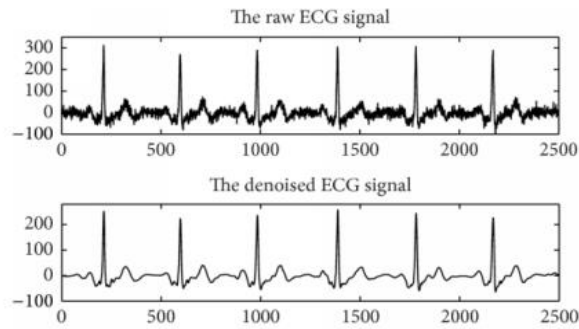
1. Muscle artifact, noise ini bersumber dari kontraksi yang terjadi dibawah elektroda EKG.
2. Electrode movement, noise yang dihasilkan karena ada sedikitnya kontak antar elektroda dengan kulit.
3. Baseline wander, noise ini disebabkan oleh pergerakan subjek saat dilakukan perekaman EKG.

Selain sumber noise tersebut terdapat beberapa sumber noise yang lain yaitu :

1. AWGN (Additive White Gaussian Noise), AWGN disebut white noise karena seluruh frekuensi dalam spektralnya terdiri dari cahaya putih. Ciri dari white noise ini ialah memiliki rapat spektral daya yang konstan.

2.3. Denoising Sinyal EKG

Denoising merupakan cara untuk menghilangkan atau mereduksi sinyal noise sekecil mungkin untuk mendapatkan visualisasi seperti sinyal asli. Konsep yang digunakan dalam *denoising* sinyal adalah menghilangkan komponen dari wavelet yang berfrekuensi tinggi.



GAMBAR 2. 2. DENOSING SINYAL EKG

2.4. PARAMETER PENGUKURAN DENOISING

PARAMETER PENGUJIAN DENOISING		
MSE	SNR	PSNR
$= \frac{1}{N} \sum_{N=0}^{N-1} (s(n) - \hat{S}(n))^2 \quad (2.1)$ <p>Dimana $s(n)$ didefinisikan sebagai sinyal bersih dan $\hat{S}(n)$ sinyal yang telah di denoising. Dan N adalah panjang sinyal</p>	$= 10 \cdot \log_{10} \frac{\sum_{N=0}^{N-1} s(n)^2}{(s(n) - \hat{S}(n))^2} \quad (2.2)$ <p>Dimana $s(n)$ didefinisikan sebagai sinyal bersih dan $\hat{S}(n)$ sinyal yang telah di denoising. Dan N adalah panjang sinyal</p>	$= 10 \log_{10} \frac{255}{\frac{1}{N} \sum_{N=1}^N s(n) - \hat{S}(n) } \quad (2.3)$ <p>Dimana $s(n)$ didefinisikan sebagai sinyal bersih dan $\hat{S}(n)$ sinyal yang telah di denoising. Dan N adalah panjang sinyal</p>

GAMBAR 2. 3. PARAMETER DENOSING SINYAL EKG

2.5. Transformasi Wavelet Diskrit

Pemangkasan koefisien untuk menghilangkan *noise* dapat dilakukan dengan beberapa metode, salah satunya dengan metode yang ada pada DWT.^[10]

2.6. Metode Thresholding

Metode *thresholding* adalah salah satu metode *filtering* sinyal menggunakan teknik *estimasi* sinyal yang mempengaruhi kemampuan sinyal *denoising*^[18]. Metode ini mampu mengurangi *noise* dengan mengurangi koefisien yang lebih rendah dari nilai *threshold* nya^[2].

2.6.1. Hard Thresholding

Pada dasarnya teknik *Hard thresholding* memiliki sebuah prosedur yang berfungsi untuk mempertahankan *noise* pada suatu sinyal^[25]. Algoritma teknik *Hard thresholding* dapat di definisikan seperti dibawah ini^[18].

$$W_{ht} = \begin{cases} w & |w| \geq Th \\ 0 & |w| < Th \end{cases} \quad (2.4)$$

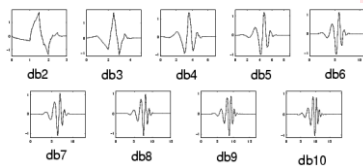
2.6.2. Soft Thresholding

Dari metode *Soft thresholding* tersebut (D.L Donoho 1994)^[17] mengusulkan beberapa metode *thresholding*. Metode tersebut dipaparkan pada penjelasan berikut :

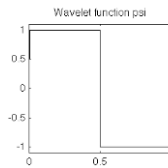
SOFT THRESHOLDING			
UNIVERSAL	HEURISTIC	MINIMAX	SURE

<p>Nilai <i>threshold</i> pada metode ini diukur dengan rumus sebagai berikut :</p> $Th = \delta \sqrt{2 \log(n)} \quad (2.5)$ <p>Dengan N merupakan panjang sinyal dan δ merupakan standar deviasi. Nilai δ dihitung dengan rumus sebagai berikut^[25] :</p> $\delta = MAD/0.675 \quad (2.6)$	<p>Metode ini merupakan gabungan dari sebuah metode <i>sure</i> dengan metode <i>global threshold</i> ketika nilai <i>SNR</i> dari sinyal kecil, maka nilai <i>sure</i> akan mengandung banyak <i>noise</i>.</p>	<p>Metode ini memakai nilai tetap dan menghasilkan kinerja <i>minimax</i> terhadap nilai <i>MSE</i> pada prosedur yang ideal. Nilai <i>threshold</i> ini didapatkan ketika menentukan nilai <i>minimum error</i> antara <i>wavelet</i> dari sinyal <i>noise</i> dan original sinyal^[25].</p>	<p>Metode ini memakai hasil dari sebuah persamaan. Dimana n adalah panjang sinyal, j merupakan level dekomposisi <i>wavelet</i>, k adalah sample yang terdapat pada level dekomposisi, dan adalah standar deviasi dari <i>noise</i>^[18].</p>
---	--	---	--

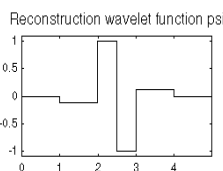
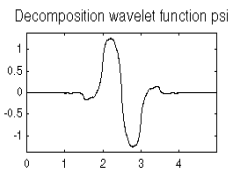
2.7. Basis Wavelet



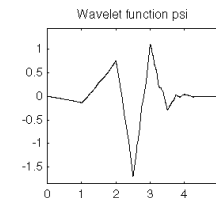
GAMBAR 2. 4. WAVELET DAUBUCHIES



GAMBAR 2. 5. WAVELET HAAR



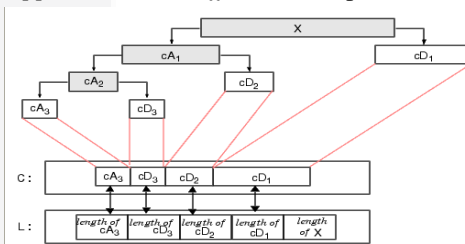
GAMBAR 2. 6. WAVELET BIORTHOGONAL



GAMBAR 2. 7. WAVELET SYMLET

2.8. Dekomposisi Wavelet

Dekomposisi merupakan suatu proses pemecahan sinyal menjadi beberapa komponen yang beresolusi lebih rendah.^[13] Hasilnya pemisahan antara *frekuensi* rendah dan tinggi. *Frekuensi* rendah akan menjadi sebuah aproksimasi dari sinyal (*cA*), sedangkan *frekuensi* tinggi akan menjadi *detail* dari sinyal (*cD*). Proses dekomposisi dilakukan pada *approximation coefficients* sampai level dekomposisi yang diinginkan.



GAMBAR 2. 8. DEKOMPOSISI WAVELET

2.9. Adaptive Filter

Adaptive filter adalah sebuah filter digital yang memiliki kemampuan untuk mengubah bobot efisiennya secara otomatis serta menyesuaikan sinyal input yang ada sehingga error yang terjadi bisa semakin kecil.^[23]

2.9.1. LMS

Algoritma LMS memiliki nilai fungsi berupa $\{|(n)|2\}$ dimana $e(n)$ adalah *error signal*. Algoritma pada sebuah LMS menghasilkan kuadrat terkecil dari sinyal kesalahan $e(n)$ dengan mengubah berat tekan $w(n)$ ^[23].

2.9.2. RLS

RLS merupakan suatu metode kuadrat terkecil yang secara otomatis menyesuaikan koefisien *filter FIR* tanpa meminta asumsi pada statistik sinyal masukan *EKG*. Estimasi algoritma RLS dilakukan dengan meminimalkan jumlah kuadrat dari nilai error seketika.

2.9.3. KALMAN

Kalman Filter adalah salah satu algoritma yang digunakan untuk memperkirakan hasil berikutnya berdasarkan data-data yang sudah ada sebelumnya. Algoritma ini biasanya digunakan untuk melakukan estimasi data sebenarnya berdasarkan data observasi yang mengandung noise, Kalman filter umumnya digunakan untuk menghapus *noise* tidak hanya pada system yang linier dengan meminimalkan nilai *kovarian error* estimasinya. [24].

3. Metodologi dan Desain Model

3.1. Data

Data yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah data sinyal EKG *clean* dan *noise* yang diambil dari database *MIT-BIH Arrhythmia database*. Tabel 3.1 merupakan rincian *noise* yang ditambahkan pada data sinyal EKG.

TABEL 3. 1. NOISE YANG DIPAKAI

No	Data Noise	Keterangan
1	AWGN	<i>Additive White Gaussian Noise</i>
2	MA	<i>Muscle Artifac</i>
3	EM	<i>Electrode motion artifac</i>
4	BW	<i>Baseline Wander</i>

Kemudian untuk data *Basis Wavelet* yang digunakan adalah yang paling sering digunakan yaitu seperti yang tertera pada tabel dibawah ini.

TABEL 3. 2. WAVELET YANG DIPAKAI

No	Wavelet Families	Keterangan
1	<i>Daubechies</i>	<i>Daubechies 2, 4, 12</i>
2	<i>Biorthogonal</i>	<i>Biorthogonal 1.5, 2.6,3.7, 3.9.</i>
3	<i>Symlets</i>	<i>Symlets 3,4,6, 7, 8,</i>
4	<i>Haar</i>	<i>Haar</i>

Threshold Method dan *Level dekomposisi* yang digunakan yaitu seperti yang tertera pada tabel dibawah ini :

Tabel 3. 3. Threshold Method dan Level Dekomposisi yang Dipakai

No	Metode Threshold	Level Dekomposisi
1	<i>Unversal</i>	<i>1,2,3,4,5,6,7,8,9,10</i>
2	<i>Sure shrink</i>	<i>1,2,3,4,5,6,7,8,9,10</i>
3	<i>Heuristic sure</i>	<i>1,2,3,4,5,6,7,8,9,10</i>
4	<i>Minimaxi</i>	<i>1,2,3,4,5,6,7,8,9,10</i>

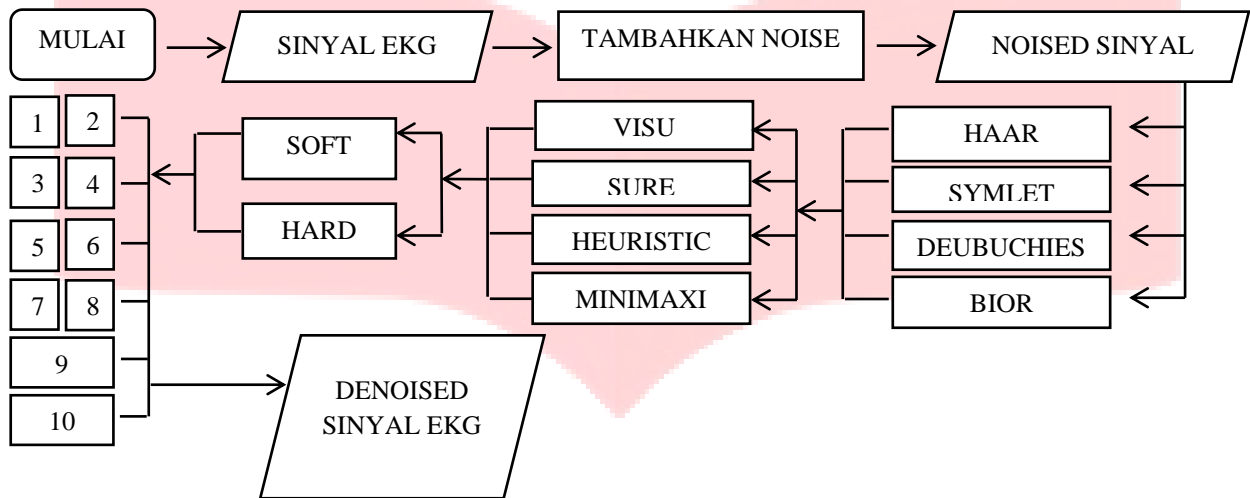
Kemudian untuk metode *Adaptive filter*, algoritma yang digunakan sebagai pembanding adalah sebagai berikut :

TABEL 3. 4. METODE ADAPTIVE FILTER YANG DIPAKAI

No	Algoritma	Keterangan
1	<i>LMS</i>	<i>Least Mean Square</i>
2	<i>RLS</i>	<i>Recursive Least Squares</i>
3	<i>KALMAN</i>	<i>Calman</i>

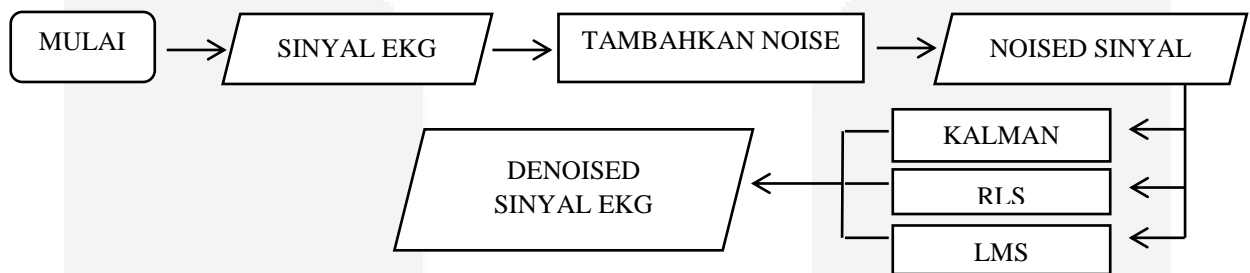
3.2. Desain Metode

3.2.1. Desain Metode Discrete Wavelet Transform



GAMBAR 3. 1. DENOISING DENGAN METODE DISCRETE WAVELET TRANSFORM

3.2.2. Desain Metode Adaptive Filter



GAMBAR 3. 2. DENOSING DENGAN METODE ADAPTIVE FILTER

4. Analisis dan Hasil Data Pengujian

4.1. Tujuan Pengujian

Tujuan dari pembuatan tugas akhir ini adalah :

1. Dapat melakukan Perancangan dan merealisasikan metode *discrete wavelet transform (DWT)* dan *adaptive filter* dengan MATLAB.
2. Dapat menguji level hasil dekomposisi *wavelet* agar di dapat kinerja terbaik.
3. Menemukan basis dari *wavelet* terbaik pada metode *denoising EKG*.
4. Dapat menunjukkan performansi antara perbandingan hasil *denosing* metode *discrete wavelet transform (DWT)* dan *adaptive filter* dalam sinyal EKG.

4.2. Skenario Pengujian DWT

1. Pengujian Basis Wavelet

Basis *wavelet* diujikan menggunakan semua data sinyal original yaitu 101, 103, 115, 122 dan 123 yang masing masing telah diberikan 4 *noise*.

2. Pengujian Threshold Method

Metode *thresholding* dengan metode *DWT* diuji dengan tujuan untuk mendapatkan hasil terbaik .

3. Pengujian Soft / Hard Thresholding

Metode *Soft thresholding*, dan *Hard thresholding* diuji menggunakan *basis wavelet* dan *threshold method* terbaik yang sudah di dapatkan pada skenario pertama dan skenario kedua.

4. Pengujian Level Dekomposisi

Pada skenario ini setiap nilai level dekomposisi diuji dan menghasilkan nilai dari MSE, dan SNR yang telah di *denoising*.

TABEL 4. 1. HASIL DENOISING TERBAIK DENGAN METODE DWT

NOISE	BASIS WAVELET	THRESHOLD	SOFT/HARD THRESHOLD	LEVEL	MSE	SNR
AWGN	DB 12	SURE	HARD	2	0.000499	28.1212
MA	DB 12	SURE	HARD	1	0.092914	5.64117
EMM	DB 12	SURE	HARD	1	0.006221	17.3817
BW	DB 12	SURE	HARD	1	0.009525	15.5321

A. Skenario Pengujian Adaptive Filter

1. Perbandingan Algoritma

Skenario dilakukan dengan membandingkan hasil percobaan dari setiap algoritma *kalman*, *RLS*, dan *LMS* pada *adaptive Filter* dengan parameter *MSE*, *SNR* dengan tujuan untuk mendapatkan hasil terbaik yang dapat memberikan nilai maksimal untuk proses *denoising* dengan metode *adaptive filter*.

TABEL 4. 2. HASIL DENOSISING TERBAIK DENGAN METODE ADAPTIVE FILTER

NOISE	ADAPTIVE METHOD	MSE	SNR
AWGN	LMS	0.000273995	30.68395146
MA	KALMAN	0.036949581	9.999078367
EMM	KALMAN	0.001314943	24.52808809
BW	KALMAN	0.000518295	29.73350369

5. Kesimpulan

Hasil *denoising* terbaik ditunjukkan oleh metode *adaptive filter* dengan pembuktian hasil *denoising* nilai *MSE* lebih mendekati '0' dengan metode *adaptive filter* dibandingkan dengan metode *DWT*, dan hasil *denoising* nilai *SNR* lebih besar dengan metode *adaptive filter* dibandingkan dengan metode *DWT*.

Daftar Pustaka

- [1]Jati,Galih Kinanthi Wahyu, Achmad Rizal, and Rita Magdalena."Pendeteksian Sinyal EKG dengan Menggunakan Dekomposisi Paket Wavelet dan Support Vector Machine sebagai Klasifier."
- [2]Soleh, Ridwan Moch, Achmad Rizal, and Rita Magdalena. "Denoising Rekaman Sinyal Elektrokardiogram (EKG) Menggunakan Algoritma Iterative Threshold Pada Subband Wavelet." *Proceeding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST)*. Vol. 13. 2008.
- [3]Wikipedia. (2007, 08 November). Jantung. Diperoleh 17 April 2017, dari //id.wikipedia.org/wiki/jantung/_
- [4]Ina-ECG. (2015, 15 April).Gelombang P.Diperoleh 17 April 2017, dari//www.ina-ecg.com/2015/04/gelombang-p.html/_
- [5]Ina-ECG.(2015, 15 April). Gelombang Q. Diperoleh 17 April 2017, dari//www.ina-ecg.com/2015/04/gelombang-p.html/_
- [6]Ina-ECG. (2015, 15 April). Gelombang R. Diperoleh 17 April 2017, dari//www.ina-ecg.com/2015/04/gelombang-p.html/_
- [7] Cherkassky, Vladimir, and Steven Kilts. "Myopotential denoising of ECG signals using wavelet thresholding methods." *Neural Networks* 14.8 (2001): 1129-1137.
- [8]Karthikeyan, P., M. Murugappan, and S. Yaacob. "ECG signal denoising using wavelet thresholding techniques in human stress assessment." *International Journal on Electrical Engineering and Informatics* 4.2 (2012): 306.
- [9]Google.co.id. (2013, 15 April). Noise Pada EKG. Diperoleh 17 April 2017, dari//www.google.co.id/search?sclient=psyab&biw=1366&bih=700&noj=1&q=noise+pada+ekg&oq=noise+pada+ekg&gs_l=serp.3...4182.5332.1.5544.5.5.0.0.0.0.266.565.2j1j1.4.0...0...1c.1.64.serp..1.4.562...0i13k1j0i13i30k1j0i13i5i30k1j0i13i5i10i30k1j0i13i10i30k1j30i10k1.esow3ftBhsQ#/.
- [10] Georgieva-Tsaneva, Galya, and Krassimir Tcheshmedjiev. "Denoising of electrocardiogram data with methods of wavelet transform." *International Conference on Computer Systems and Technologies*. 2013.
- [11]Sameni, Reza, et al. "Multichannel ECG and noise modeling: application to maternal and fetal ECG signals." *EURASIP Journal on Applied Signal Processing* 2007.1 (2007): 94-94.
- [12]Kuo, Sen M., Bob H. Lee, and Wenshun Tian. *Real-time digital signal processing: fundamentals, implementations and applications*. John Wiley & Sons, 2013.

- [13] Rizal, Achmad, and Vera Suryani. "Pengenalan Signal Ekg Menggunakan Dekomposisi Paket Wavelet Dan K Means-Clustering." *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI)*. Vol. 1. No. 1. 2008.
- [14] J. S. Walker, *Wavelet and Their Scientific Applications*, CRC Press, 1999.
- [15] Murni, Grienda Elan Eгатama. "Denoising Sinyal Ultrasonik berdasarkan level dekomposisi dan Wavelet Haar".
- [16] Wavelets pybytes. (2014, 17 Juni). Wavelet Haar. Diperoleh 17 April 2017, dari [//wavelets.pybytes.com/wavelet/haar/](http://wavelets.pybytes.com/wavelet/haar/).
- [17] D. L. Donoho, (1991). De-noising by softthresholding, *IEEE Transaction on Information Theory*, Vol. 41, pp. 613–627, May 1995.
- [18] Awal, Md Abdul, et al. "An adaptive level dependent wavelet thresholding for ECG denoising." *Biocybernetics and Biomedical Engineering* 34.4 (2014): 238-249.
- [19] Guomin Luo and Daming Zhang (2012). *Wavelet Denoising*, *Advances in Wavelet Theory and Their Applications in Engineering, Physics and Technology*, Dr. Dumitru Baleanu (Ed.), ISBN: 978-953-51-0494-0, InTech.
- [20] Misiti, M. and Y., Oppenheim, G., Poggi, J. M. (1996): "*MATLAB Wavelet toolbox user's guide*", The Math-Works Inc.
- [21] Medika Risnasari "*Jurnal Ilmiah Edutic*" /Vol.1, No.1, Nopember 2014.
- [22] Jati, Galih Kinanthi Wahyu, Achmad Rizal, and Rita Magdalena. "Pendeteksian Sinyal EKG dengan Menggunakan Dekomposisi Paket Wavelet dan Support Vector Machine sebagai Klasifier."
- [23] N. Sultana, Y. Kamatham, and B. Kinnara, "Performance analysis of adaptive filtering algorithms for denoising of ECG signals," *2015 Int. Conf. Adv. Comput. Commun. Informatics*, pp. 297–302, 2015.
- [24] Kleinbauer, R. *Kalman Filtering Implementation with Matlab*. Helsinki: Universität Stuttgart, 2004.
- [25] Joy, Jeena, Salice Peter, and Neetha John. "Denoising using soft thresholding." *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering* 2.3 (2013): 1027-1032.
- [26] Qualityengineering. (2008, 30 Juni). Signal Noise To Ratio. Diperoleh 17 April 2017, dari [//qualityengineering.wordpress.com/2008/06/30/signal-to-noise-ratio/](http://qualityengineering.wordpress.com/2008/06/30/signal-to-noise-ratio/)