

***NOISE HANDLING PADA SINYAL SEISMIK MENGGUNAKAN DISCRETE WAVELET TRANSFORM
(DWT)***

NOISE HANDLING IN SEISMIC SIGNAL USING DISCRETE WAVELET TRANSFORM (DWT)

Achmad Ikhsa Khansha¹, Astri Novianty, ST, M.T.,² Anggunmeka Luhur Prasasti, S.T., M.T.³

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

¹achmadikhsa@student.telkomuniversity.ac.id, ²astrinov@telkomuniversity.ac.id,

³anggunmeka@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Gempa bumi merupakan getaran yang terjadi di permukaan bumi akibat pelepasan energi dari dalam. Alat untuk mendeteksi terjadinya gempa bumi yaitu seismometer dengan memberikan informasi berupa sinyal seismik yang menunjukkan kekuatan gempa di suatu daerah. Sinyal seismik yang seharusnya hanya memberikan informasi berupa kekuatan sinyal, namun ternyata mengandung hal lain yang bukan informasi yang disebut dengan *noise*. *Noise* adalah suatu sinyal gangguan atau sinyal acak yang dapat menghancurkan sebagian besar informasi pada sinyal, oleh karena itu perlu dilakukan penelitian terkait mengatasi *noise* yang terdapat pada sinyal seismik dengan sistem *noise handling*. Sistem ini dapat membantu mengatasi *noise* pada sinyal seismik dengan cara mereduksi *noise* yang ada pada sinyal seismik sehingga diharapkan akan menghasilkan sinyal seismik tanpa *noise*. Penelitian ini bertujuan untuk membuat suatu sistem *noise handling* dalam mengatasi *noise* pada sinyal seismik agar sinyal menghasilkan informasi yang akurat. Untuk mengatasi *noise* pada sinyal seismik diperlukan metode *time-frequency analysis* untuk mereduksi *noise* dengan menggunakan teknik *Diskrete Wavelet Transform (DWT)*, yang nantinya sinyal yang memiliki *noise* dapat tereduksi dan memunculkan sinyal dengan *noise* yang sudah direduksi. Hasil penelitian menunjukkan *hard thresholding* dengan *Signal to Noise Ratio (SNR)* sebesar 39.909 dB dan *Mean Square Error (MSE)* sebesar 0.000008. Hasil yang didapat cukup baik sesuai dengan perhitungan SNR dan MSE.

Kata Kunci: *Gempa Bumi, Sinyal Seismik, Noise Handling, time-frequency analysis, DWT.*

Abstract

Earthquakes are vibrations that occur on the surface of the earth due to the release of energy from within. The tool to activate an earthquake is a seismometer by providing information about seismic signals that indicate the strength of an earthquake in an area. Seismic signals that are needed only provide information in the form of a signal, but nevertheless contain something else that is not information called noise. Noise is one of the interference signals or random signals that can destroy most of the information on the signal, therefore it is necessary to conduct research related to overcoming the noise that exists in the seismic signal with a noise handling system. This system can help overcome the noise of seismic signals by reducing the noise that exists in the seismic signal so that it is expected to produce seismic signals without noise. This study aims to create a noise handling system in overcoming noise in seismic signals so that signals produce accurate information. To overcome the noise in seismic signals, a time-frequency method is needed to reduce noise using the Diskrete

Wavelet Transform (DWT) technique, which requires a signal that has noise to be reduced and gives rise to a signal with reduced noise. The results showed hard thresholding with Signal to Noise Ratio (SNR) of 39.909 dB and Mean Square Error (MSE) of 0.000008. The results obtained are quite good in accordance with the SNR and MSE calculations.

Keywords: *Earthquake, Seismic Signal, Noise Handling, time-frequency analysis, DWT.*

1. Pendahuluan

Gempa bumi merupakan guncangan yang terjadi di permukaan bumi, gempa bumi (tektonik) terjadi akibat pelepasan energi yang dihasilkan oleh tekanan dari lempengan yang bergerak. Pergerakan tiba-tiba dari lapisan batuan di dalam bumi menghasilkan energi yang dipancarkan ke segala arah berupa gelombang gempabumi atau gelombang seismik[1]. Pada sinyal seismik pun terdapat hal yang bukan informasi pada sinyal tersebut yaitu terdapatnya *noise*[2]. Tetapi dalam pengambilan data *event* sinyal seismik akan selalu terdapat gangguan *noise* yang tidak diinginkan yang membuat sinyal seismik tidak akurat. *Noise* dapat mempengaruhi kualitas data pada sinyal seismik[3]. Jika sinyal seismik tidak dilakukan *noise handling*, maka hasil sinyal yang didapat berpengaruh pada keakuratan dari pendeteksian sinyal gempa bumi yang akan menyebabkan polaritas dan waktu tiba fase gelombang lebih sulit diidentifikasi [4]. Oleh karena itu perlu dilakukannya penelitian terkait mengatasi *noise* yang terdapat pada sinyal seismik yaitu dengan sistem *noise handling*. Dimana sistem ini dapat membantu mengatasi *noise* pada sinyal seismik yang nantinya akan mendapatkan sinyal seismik dengan *noise* yang sudah tereduksi.

2. Landasan Teori

2.1 Gempa Bumi

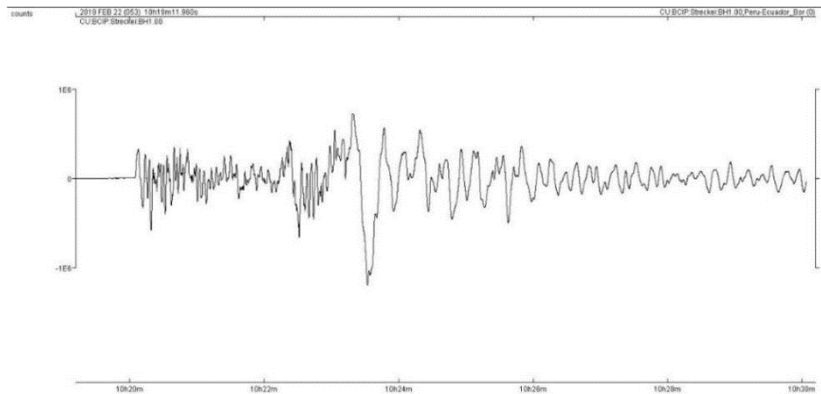
Gempa bumi adalah peristiwa bergetar atau bergoncangnya bumi karena pergerakan/pergeseran lapisan batuan pada kulit bumi secara tiba-tiba akibat pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Gempabumi yang disebabkan oleh aktivitas pergerakan lempeng tektonik disebut gempabumi tektonik. Namun selain itu, gempabumi bisa saja terjadi akibat aktifitas gunung berapi yang disebut sebagai gempabumi vulkanik[1].

Pergerakan tiba-tiba dari lapisan batuan di dalam bumi menghasilkan energi yang dipancarkan ke segala arah berupa gelombang gempabumi atau gelombang seismik. Ketika gelombang ini mencapai permukaan bumi, getarannya dapat merusak segala sesuatu di permukaan bumi seperti bangunan dan infrastruktur lainnya sehingga dapat menimbulkan korban jiwa dan harta benda[4].

2.2 Sinyal Seismik

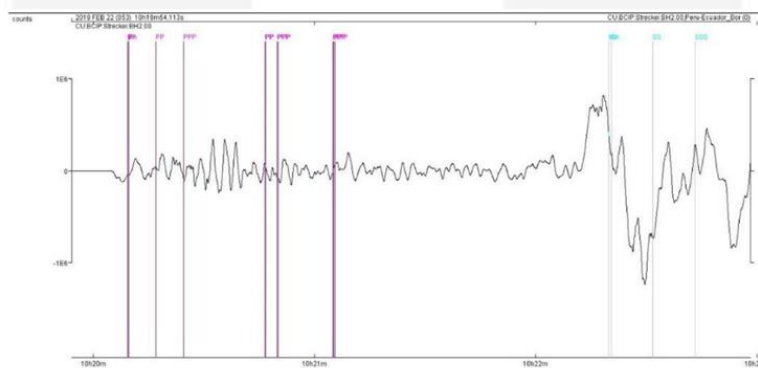
Gelombang seismik adalah gelombang elastik gempabumi yang menjalar ke seluruh bagian dalam bumi dan melalui permukaan bumi, akibat adanya lapisan batuan yang patah secara tiba-tiba atau adanya suatu ledakan[1]. Sinyal Seismik adalah rambatan energi yang disebabkan karena adanya gangguan di dalam kerak bumi, misalnya adanya patahan atau adanya ledakan. Energi ini akan merambat ke seluruh bagian bumi dan dapat terekam oleh seismometer. Sensor yang digunakan dalam membaca sinyal seismik adalah seismometer dimana seismometer

dapat merekam setiap event gempa yang sedang terjadi. Efek yang ditimbulkan oleh adanya gelombang seismik dari gangguan alami seperti pergerakan lempeng (tektonik), Bergeraknya patahan, aktivitas gunung api (vulkanik) adalah apa yang kita kenal sebagai fenomena gempa bumi[2]. Sinyal seismik direcord untuk mengetahui gelombang yang terjadi akibat getaran dari gempa bumi. Rekaman Gerakan tanah atau grafik aktivitas gempa bumi sebagai fungsi waktu yang dihasilkan oleh seismometer.



Gambar 2.1 Sinyal Seismik

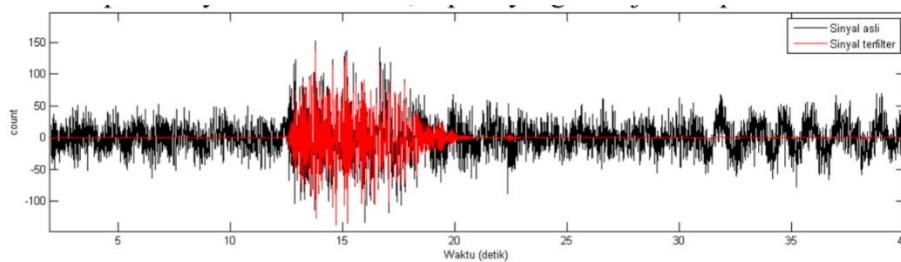
Gelombang Primer (P-Wave) adalah salah satu dari 2 jenis gelombang seismik, sering juga disebut gelombang tanah adalah gelombang yang ditimbulkan oleh gempa bumi dan terekam oleh seismometer seperti pada gambar 2.3. Nama tersebut berasal dari fakta bahwa jenis gelombang ini memiliki kecepatan paling tinggi dibandingkan dengan gelombang-gelombang seismik lainnya dan pertama kali tiba pada setiap stasion pengukuran seismik, dimana jenis gelombang berikutnya yang datang dinamakan gelombang sekunder (S-Wave) yang akan terekam pada seismograf, garis yang terbentuk akan lebih besar dari P-Wave[5]



Gambar 2.2 Gelombang P dan Gelombang S

2.3 Noise

Noise adalah sinyal acak yang mana dapat menghancurkan sebagian besar informasi pada sinyal. Dalam beberapa situasi dalam sistem telekomunikasi, jumlah noise yang merusak sinyal lebih besar daripada jumlah sinyal yang diinginkan. Sinyal akustik dapat dirusak oleh noise atau terdistorsi oleh gelombang komunikasi, atau dilemahkan oleh percakapan yang lain, dan hasil yang diterima adalah sinyal diinginkan yang tercampur dengan noise[6].



Gambar 2.3 Noise pada sinyal seismik

2.4 Discrete Wavelet Transform (DWT)

Dalam DWT, sinyal dinyatakan sebagai kombinasi linier dari jumlah produk. DWT menguraikan sinyal menjadi informasi perkiraan dan detail dengan demikian membantu menganalisisnya pada frekuensi yang berbeda dengan resolusi yang berbeda. Tujuan DWT adalah untuk mengurangi sinyal menjadi resolusi yang berbeda menggunakan resolusi tinggi pass filter dan low pass[9]. Secara umum, wavelet dibangun secara sadar untuk memiliki property tertentu yang membuatnya memenuhi syarat untuk dapat memenuhi kriteria dalam metode time-frequency analysis. Wavelet adalah fungsi matematika yang digunakan untuk membagi fungsi yang diberikan atau sinyal waktu kontinu menjadi komponen skala yang berbeda[10]. Transformasi wavelet adalah representasi suatu fungsi oleh wavelet. Gelombang-gelombang itu diskalakan dan diterjemahkan sebagai wavelet anak perempuan dan ibu wavelet[11]. Transformasi wavelet terdiri dari dua proses dekomposisi dan rekonstruksi, dalam proses dekomposisi sinyal melewati sejumlah filter (low pass filter dan high pass filter) dan menghasilkan sejumlah koefisien (perkiraan dan perincian) setiap koefisien mewakili rentang frekuensi tertentu[12]. Konten frekuensi kemudian di-sampling di setiap level untuk mencegah redundansi.

DWT memiliki karakteristik resolusi waktu tinggi, resolusi frekuensi rendah dan resolusi waktu rendah untuk frekuensi rendah. DWT memiliki fungsi untuk menyajikan sinyal dalam beberapa komponen frekuensi melalui sinyal pada filter dan dekomposisi sinyal, yang bertujuan untuk memperoleh komposisi sinyal pada frekuensi tinggi dan rendah[15]. Untuk persamaan sinyal pada level 1 di DWT adalah sebagai berikut :

$$x[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} (y_{high}[k] \cdot g[-n + 2k] + (y_{low}[k] \cdot h[-n + 2k]) \quad [2.1]$$

2.5 Analisis Multiresolusi

Analisis multi-resolusi adalah menentukan multi level wavelet dekomposisi. Proses setelah dekomposisi atau analisis disebut sintesis di mana kita merekonstruksi sinyal dari koefisien wavelet. Proses rekonstruksi wavelet terdiri dari pengambilan sampel dan penyaringan. Dalam rekonstruksi, komponen dapat dirakit kembali menjadi sinyal asli tanpa kehilangan informasi[3].

2.6 Universal Threshold

Universal Threshold adalah titik ambang batas untuk menentukan nilai ambang yang akan digunakan untuk menghilangkan noise dari sinyal seismik[11]. Jika nilai ambang terlalu tinggi, itu juga akan menghapus konten sinyal asli dan jika nilai ambang terlalu rendah, noise handling tidak akan berfungsi dengan baik[13]. *Universal threshold* yang diusulkan sebagai berikut[14] :

$$thr = \sigma \sqrt{2 \log_2(N)} \quad [2.2]$$

Di mana N menunjukkan jumlah sampel kebisingan dan merupakan standar deviasi kebisingan. Tetapi ambang yang diperoleh dengan persamaan (1) terlalu tinggi. Lagi-lagi Ambang batas universal diusulkan dalam dan dimodifikasi dengan faktor 'k' untuk mendapatkan sinyal keluaran berkualitas lebih tinggi[14].

$$thr = k \cdot \sigma_n \sqrt{2 \log_2(N)} \quad [2.3]$$

Diketahui bahwa jika menggunakan dua faktor yaitu k & m , maka nilai ambang batas baru memberikan hasil yang lebih baik, terutama untuk memulihkan sinyal asli.

2.7 Mode Thresholding

Metode Soft dan Hard Thresholding atau ambang batas lunak dan keras digunakan untuk memperkirakan koefisien wavelet dalam noise handling ambang batas wavelet[14]. Ambang keras nol keluar koefisien kecil, menghasilkan representasi yang efisien. Ambang batas lunak melunakkan koefisien yang melebihi ambang batas dengan menurunkannya berdasarkan nilai ambang batas. Ketika thresholding diterapkan, tidak ada rekonstruksi sempurna dari sinyal asli yang dimungkinkan[15].

$$Thard(X) = \begin{cases} x, & |x| \geq thr \\ 0, & |x| < thr \end{cases} \quad [2.4]$$

$$Tsoft(X) = \begin{cases} sign(x) \cdot (x - thr) & x \geq thr \\ 0 & -thr \leq x < thr \\ sign(x) \cdot (x + thr) & x < -thr \end{cases} \quad [2.5]$$

2.8 Signal to Noise Ratio (SNR)

Signal to Noise Ratio (SNR) adalah perbandingan antara sinyal informasi dengan noise yang terdapat pada sebuah media transmisi. Semakin tinggi nilai SNR semakin baik kualitas sinyal informasi[20]. Dalam penelitian SNR diukur dengan membandingkan energi sinyal yang memiliki noise dan sinyal hasil noise handling, dimana masing-masing sinyal dibandingkan dengan energi dari sinyal informasi[20]. Sinyal hasil noise handling didapat dengan metode Wavelet melalui proses pemisahan komponen sinyal noise dan threshold pada hasil iterasi. Selanjutnya proses pembangunan ulang sinyal untuk mendapatkan bentuk sinyal yang lebih baik dari sinyal noise lalu dibandingkan terhadap sinyal informasi untuk dicari nilai SNR masing-masing sinyal. Terakhir melakukan operasi perbandingan SNR untuk mendapatkan nilai SNR yang baik. Metode yang digunakan untuk Perbandingan (ratio) antara kekuatan Sinyal (signal strength) dengan kekuatan Derau (noise level). Sinyal asli sebagai sinyal standar $f(i)$ dan sinyal yang direkonstruksi adalah $\hat{f}(t)$, panjang sinyal adalah n , (SNR) didefinisikan sebagai berikut :

$$SNR_{db} = 10 \log_{10} \left[\frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f^2(i)}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [f(i) - \hat{f}(t)]^2} \right] \quad [2.6]$$

2.9 Mean Squared Error (MSE)

Mean Square Error (MSE) adalah nilai error kuadrat rata-rata antara sinyal asli dengan sinyal hasil reduksi, Mean Square Error (MSE) adalah nilai error kuadrat rata-rata antara sinyal asli dengan sinyal hasil reduksi, MSE sangat baik dalam memberikan gambaran terhadap seberapa konsisten model yang dibangun[21]. Sinyal

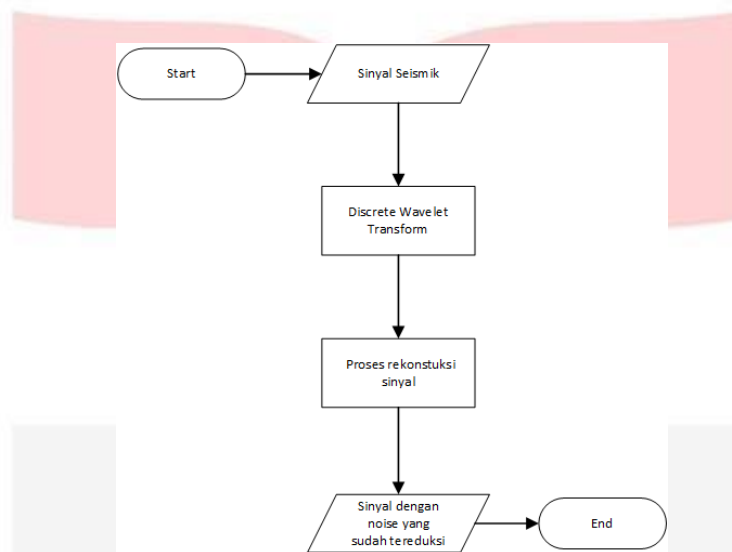
asli sebagai sinyal standar $f(i)$ dan sinyal yang direkonstruksi adalah $\hat{f}(t)$, panjang sinyal adalah n . *Mean Square Error (MSE)* didefinisikan sebagai berikut :

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [f(i) - \hat{f}(t)]^2 \quad [2.7]$$

3. Pembahasan

3.1 Flowchart Umum

Pada *flowchart* umum ini menggambarkan secara umum perancangan sistem *Noise Handling*. Dalam sistem ini terdapat input *Seismic Signal*, proses Metode *Discrete Wavelet Transform*, *Reconstruction signal*, dan output *signal without noise*.



Gambar 3.1 *Flowchart* Umum *Noise Handling*

4. Pendahuluan

4.1 Pengujian Signal to Noise Ratio (SNR)

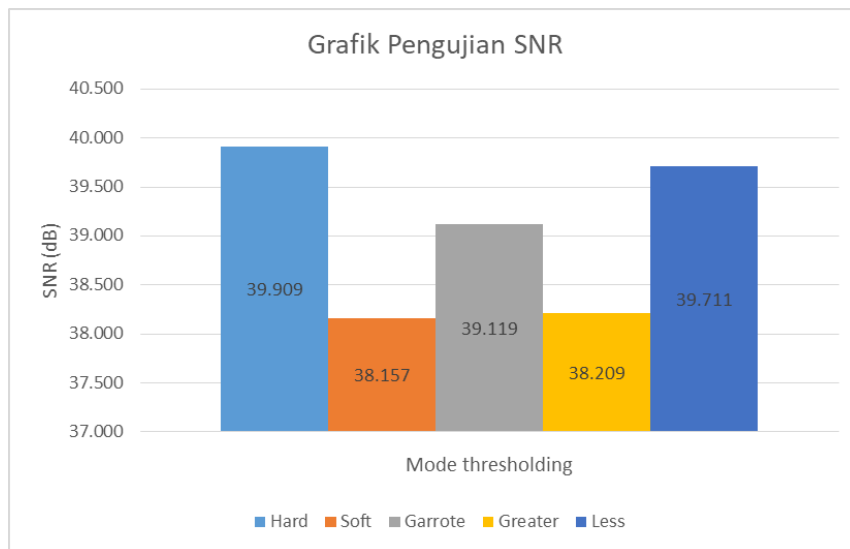
Tabel 4.1 Hasil Pengujian SNR

Pengujian	Hard	Soft	garrote	greater	Less
1	27.315	25.619	26.456	25.270	27.498
2	28.443	27.634	28.177	25.359	28.543
3	52.144	50.414	51.412	51.077	51.522
4	34.022	32.280	33.234	32.618	33.924
5	47.841	43.448	45.308	46.736	50.376
6	35.124	33.674	34.574	33.284	34.157
7	39.580	38.284	39.118	38.026	38.806
8	41.849	40.590	41.437	40.208	40.772
9	52.863	51.472	52.357	51.302	51.800
10	48.311	45.441	46.858	47.11	47.916
	Rata - Rata				

	39.909	38.157	39.119	38.209	39.711
--	--------	--------	--------	--------	--------

Tujuan pengujian ini untuk menghitung *Signal Noise to ratio* (SNR). Pada umumnya, SNR yang baik adalah yang nilainya lebih besar. Pada pengujian ini, Nilai SNR yang paling baik adalah menggunakan mode *hard Thresholding* dengan nilai SNR sebesar 39.909 dB.

Berdasarkan grafik pada gambar 4.1 dapat dilihat bahwa *soft thresholding* memiliki hasil yang baik dikarekan nilai SNR yang didapat lebih rendah dibandingkan metode yang lainnya.



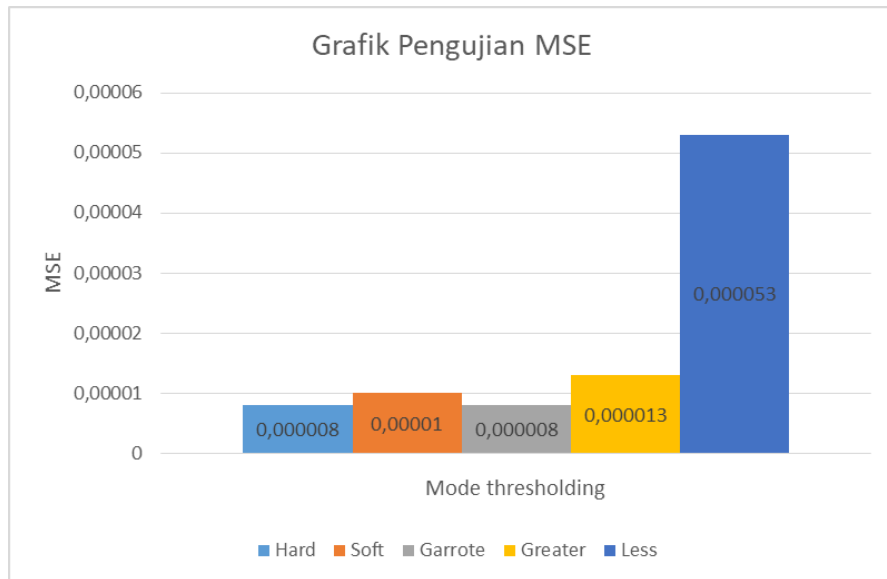
Gambar 4.1 Grafik Hasil Pengujian SNR

4.2 Pengujian Mean Square Error (MSE)

Tabel 4.2 Hasil Pengujian MSE

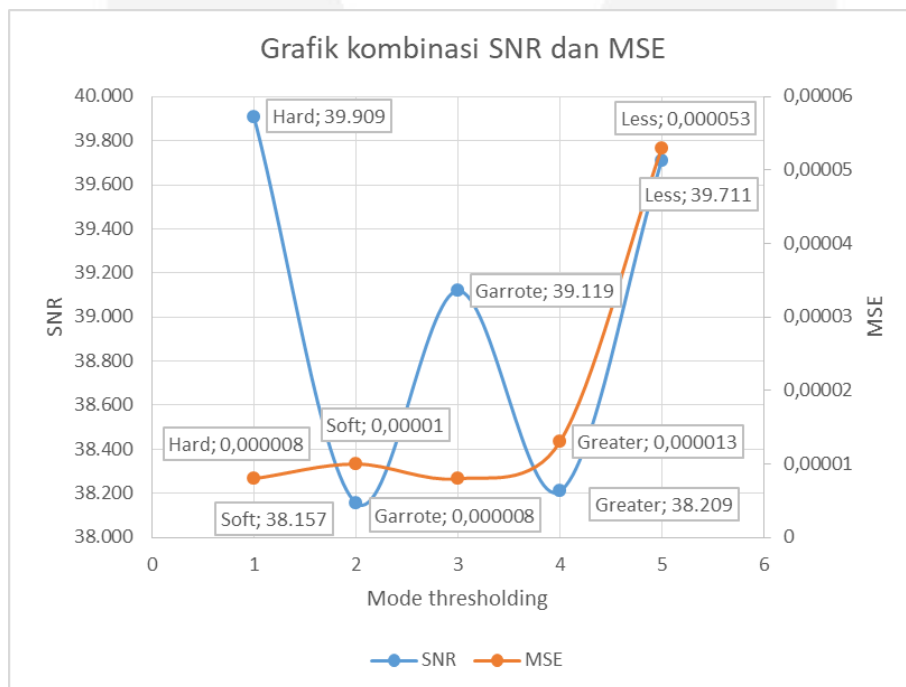
Pengujian	Hard	Soft	garrote	greater	Less
1	0.003356	0.007534	0.004721	0.00549	0.004705
2	0.0072374	0.156727	0.102447	0.116388	0.075375
3	0.0004917	0.037182	0.015786	0.008177	0.001394
4	0.016496	0.029964	0.020409	0.03375	0.557704
5	0.001156	0.002204	0.001463	0.002393	0.023994
6	0,000008	0,000010	0,000008	0,000013	0.001878
7	0,000008	0,000010	0,000008	0,000013	0,000032
8	0.0002226	0.003187	0.001162	0.000628	0,000032
9	0.028525	0.377821	0.137466	0.060289	0,000094
10	0.001614	0.006087	0.003237	0.00415	0.01029
	Rata-rata				
	0,000008	0,00001	0,000008	0,000013	0,000053

Tujuan pengujian ini untuk menghitung *Mean Square Error* (MSE). Pada umumnya, MSE yang baik adalah yang nilai errornya lebih kecil. Pada pengujian ini, Nilai MSE yang paling baik adalah menggunakan mode *hard dan garrote thresholding* dengan nilai MSE sebesar 0,000008.



Gambar 4.2 Grafik Hasil Pengujian MSE

Berdasarkan grafik pada gambar 4.2 dapat dilihat bahwa *hard dan garrote thresholding* memiliki rata-rata hasil yang baik dikarenakan nilai MSE yang didapat lebih kecil dibandingkan mode yang lainnya.

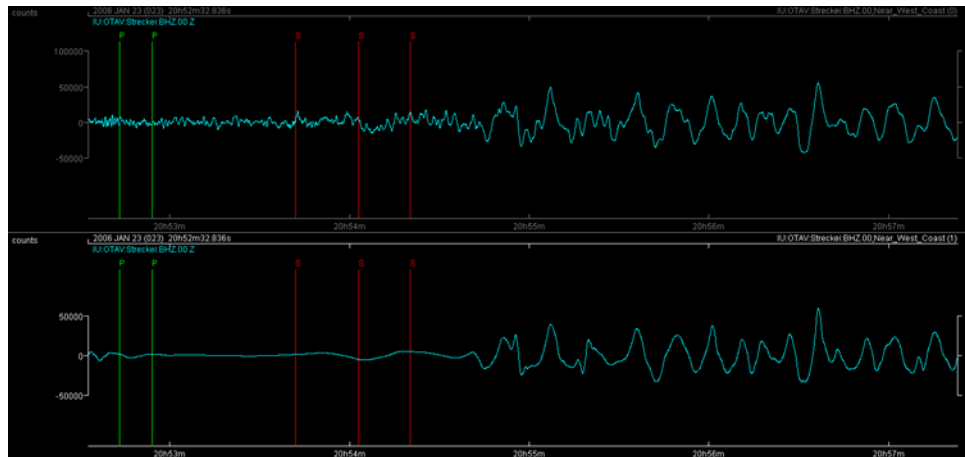


Gambar 4.3 Grafik Hasil Kombinasi SNR dan MSE

Hasil noise handling yang baik dilihat dari kombinasi nilai SNR dan MSE dimana nilai SNR yang didapatkan lebih besar dan nilai MSE yang didapatkan lebih kecil. Berdasarkan gambar grafik 4.3, maka hasil yang paling baik untuk *noise handling* menggunakan metode DWT adalah menggunakan mode *hard thresholding*.

4.3 Pengujian Validasi

Pengujian ini untuk membuktikan bahwa informasi penting yang didapatkan pada sinyal seismik tidak hilang setelah di reduksi. Dengan menguji waktu perjalanan gelombang P (*P-wave*) dan gelombang S (*S-wave*) masih didapatkan setelah direduksi dengan metode DWT.



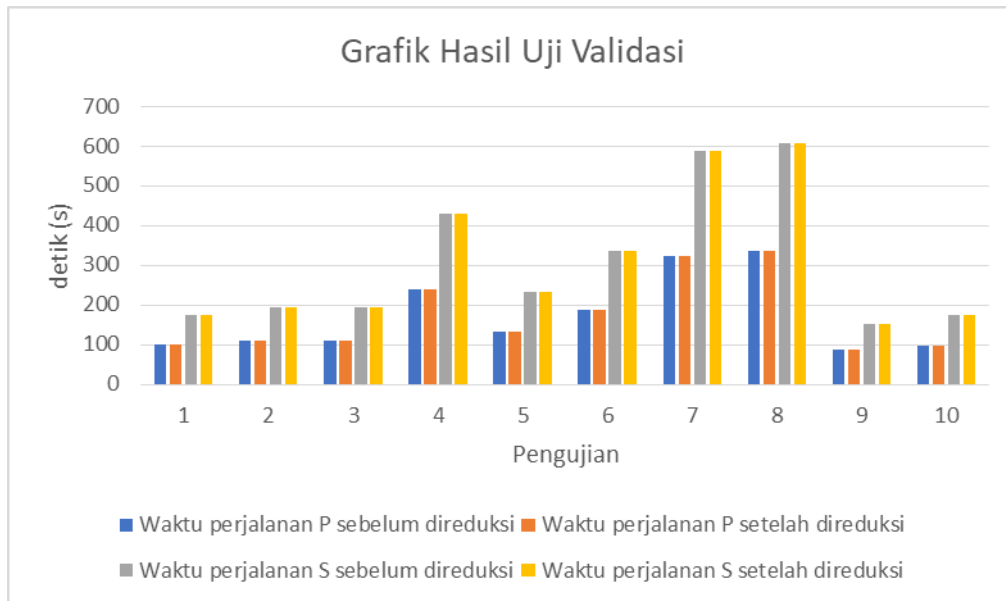
Gambar 4.4 Hasil Pengujian Validasi

Pengujian validasi ini menggunakan aplikasi Seisgram2K70.jar, dengan menggunakan fitur *show theoretical phase arrivals* untuk menampilkan dan membuktikan seperti pada gambar 4.4, bahwa sinyal *P-wave* dan *S-wave* tidak hilang setelah direduksi.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Validasi

Pengujian	Waktu perjalanan Gelombang P		Waktu perjalanan Gelombang S	
	Sebelum direduksi (s)	Sesudah direduksi (s)	Sebelum direduksi (s)	Setelah direduksi (s)
1	98.77	98.77	175.12	175.12
2	108.58	108.58	192.69	192.69
3	109.42	109.42	194.21	194.21
4	239.81	239.81	430.01	430.01
5	131.47	131.47	233.76	233.76
6	188.37	188.37	335.63	335.63
7	324.47	324.47	588.56	588.56
8	335.28	335.28	607.50	607.50
9	85.95	85.95	152.12	152.12
10	98.50	98.50	174.64	174.64

Berdasarkan tabel 4.3, waktu perjalanan gelombang P dan gelombang S menandakan bahwa informasi penting pada sinyal seismik setelah dilakukan *noise handling* tidak hilang.



Gambar 4.5 Grafik Hasil Uji Validasi

5. Kesimpulan dan saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian dan analisa yang telah dilakukan pada tugas akhir ini, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Berdasarkan pengujian *Signal to Noise Ratio* (SNR) dan *Mean Square Error* (MSE), semakin besar nilai SNR yang didapatkan maka semakin bagus sinyal hasil yang telah direduksi dan semakin kecil nilai MSE yang didapatkan maka semakin bagus sinyal hasil yang telah direduksi. Dalam hal ini SNR dan MSE yang baik pada proses pengujiannya menunjukan *hard thresholding* dengan SNR = 39.909 dB dan MSE = 0.000008 adalah metode yang paling baik.
2. Berdasarkan hasil pengujian validasi, bahwa sistem *noise handling* ini tidak menghilangkan informasi penting seperti *P-wave* dan *S-wave*.

5.2 Saran

Tentunya hasil dari tugas akhir yang penulis buat masih jauh dari sempurna, dimana kekurangan dan kesalahan masih terdapat di dalamnya. Adapun hal yang perlu dikembangkan lagi adalah :

1. Untuk meningkatkan performansi sistem, maka perlu ditambahkan jumlah dataset dengan kualitas yang baik.
2. Menggunakan *Thresholding* yang lebih baik untuk mendapatkan hasil yang maksimal

Daftar Pustaka

- [1] Sunarjo, M. T. Gunawan, and S. Pribadi, *Gempabumi Edisi Populer*. 2012.
- [2] Z. E. Ross, M. A. Meier, E. Hauksson, and T. H. Heaton, "Generalized seismic phase detection with deep learning," *Bull. Seismol. Soc. Am.*, vol. 108, no. 5, pp. 2894–2901, 2018.
- [3] S. A. D. ena, "Seismic Noise Removal and its Applications – A Review of Exploring Wavelet Transform in Civil Engineering," *Int. J. Civ. Eng.*, vol. 4, no. 12, pp. 1–6, 2017.
- [4] I. P. Noise and A. Algoritma, "Implementasi Pengurangan Noise ... (Sriyanto dan Sipayung)," no. 1964, pp. 6–11, 2016.
- [5] P. M. Shearer, "Global seismic event detection using a matched filter on long-period seismograms," *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, vol. 99, no. B7, pp. 13713–13725, 1994.
- [6] M. Wahyu and P. Indi, "Automatic First Arrival Picking on P-Wave Seismic Signal Using Support Vector Machine Method," pp. 128–133, 2020.
- [7] I. Conference and C. Technology, "Implementation of Automatic First Arrival Picking On P-Wave Seismic Signal Using Logistic Regression Method," pp. 134–138, 2020.
- [8] T. Perol, M. Gharbi, and M. Denolle, "Convolutional neural network for earthquake detection and location," *Sci. Adv.*, vol. 4, no. 2, 2018.
- [9] XX, "California Integrated Seismic Network (CISN)," *New Man. Seismol. Obs. Pract.*, no. June, p. XX, 2012.
- [10] C. Teng, "A Comparison of Noise Handling Techniques.," *FLAIRS Conf.*, pp. 269–273, 2001.
- [11] M. Aqil, A. Jbari, and A. Bourouhou, "ECG signal denoising by discrete wavelet transform," *Int. J. Online Eng.*, vol. 13, no. 9, pp. 51–68, 2017.
- [12] T. S. Rajani and T. L. Purushottama, "Denoising of ECG Signal and Feature Extraction Using Wavelet Transform," vol. 63, no. 1, pp. 799–804, 2015.
- [13] P. A. Janardhan and P. K. K. Rao, "Application of Wavelet Transform To Denoise Noisy Blind Signal Separation," no. 12, pp. 1–8, 2014.
- [14] M. Beenamol, S. Prabavathy, and J. Mohanalin, "Wavelet based seismic signal de-noising using Shannon and Tsallis entropy," *Comput. Math. with Appl.*, vol. 64, no. 11, pp. 3580–3593, 2012.
- [15] A. Luhur Prasasti, L. Novamizanti, and M. I. Razik, "Identification of baby cry with Discrete Wavelet Transform, Mel Frequency Cepstral Coefficient and Principal Component Analysis," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1367, no. 1, 2019.
- [16] S. Devi, "Image Compression Using Discrete Cosine Transform (DCT) & Discrete Wavelet Transform (DWT) Techniques," *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. V, no. X, pp. 1689–1696, 2017.
- [17] L. Shucong, C. Lina, and L. Lixin, "Research on Seismic Signals Denoising Method based on Multi-Threshold Wavelet Packet," *Int. J. Signal Process. Image Process. Pattern Recognit.*, vol. 9, no. 2, pp. 297–306, 2016.
- [18] R. Aggarwal, J. Karan Singh, V. Kumar Gupta, S. Rathore, M. Tiwari, and A. Khare, "Noise Reduction of Speech Signal using Wavelet Transform with Modified Universal Threshold," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 20, no. 5, pp. 14–19, 2011.
- [19] Q. S. Zhang, J. J. Jiang, J. H. Zhai, X. Y. Zhang, Y. J. Yuan, and X. W. Huang, "Seismic random noise attenuation using modified wavelet thresholding," *Ann. Geophys.*, vol. 59, no. 6, 2016.
- [20] D. S. Simangunsong, A. A. Zahra, and A. Hidayatno, "Estimasi Perbaikan Nilai SNR (Signal To Noise Ratio) pada Proses Denoising Menggunakan Metode Wavelet Terhadap Suatu Sinyal Berderau," 2012.
- [21] K. Margi S and S. Pendawa W, "Analisa Dan Penerapan Metode Single Exponential Smoothing Untuk Prediksi Penjualan Pada Periode Tertentu," *Pros. SNATIF*, no. 1998, pp. 259–266, 2015.