

NOISE HANDLING PADA SINYAL SEISMIK MENGGUNAKAN FOURIER TRANSFORM

NOISE HANDLING IN SEISMIC SIGNALS USING FOURIER

Yoga Aura Pratama¹, Astri Novianty, S.T., M.T.² Anggumeka Luhur Prasasti, S.T., M.T.³

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

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

³ anggumeka@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Sinyal seismik adalah rambatan energi yang biasanya disebabkan oleh gangguan dari dalam bumi atau kerak bumi. Alat untuk mendapatkan informasi sinyal seismik adalah seismometer, sinyal seismik memiliki informasi berupa kekuatan gempa yang tercatat, dan juga ada yang tidak termasuk informasi pada sinyal seismik berupa noise. Noise ini sangat merugikan informasi yang lainnya, oleh karena itu akan dilakukan penelitian untuk mereduksi noise pada sinyal seismik dengan sistem noise handling. Sistem ini akan mengatasi noise pada sinyal seismik, dan akan menghasilkan sinyal seismik dengan noise yang sudah direduksi. Penelitian sistem noise handling ini bertujuan untuk mereduksi adanya noise pada sinyal seismik, dan membuat sinyal seismik menghasilkan informasi yang dibutuhkan dengan benar dan akurat. Noise handling akan mengatasi permasalahan tersebut dengan teknik frequency analysis yaitu menggunakan metode fast fourier transform dan filtering. Sistem ini akan mengolah data sinyal seismik dari beberapa event gempa bumi, dan akan menghasilkan sinyal seismik dengan noise yang sudah direduksi. Dalam penelitian ini, performansi terbaik dalam pengujian untuk sistem noise handling menggunakan metode fast fourier transform dengan nilai low pass filter = 0.1 dan high pass filter = 0.1, mendapatkan nilai SNR = 46.44886478 dan MSE = 0.849324382.

Kata Kunci : *Noise Handling, Seismic Signal, Fast Fourier Transform, SNR, MSE, Frequency Analysis*

Abstract

Seismic signals are the energy waves that are usually caused by interference from the earth or Earth's crust. The tool to obtain seismic signal information is a seismometer, the seismic signal has information in the form of earthquake strength recorded, and also some do not include information on seismic signal in the form of noise. This noise is detrimental to other information, therefore it will be done research to reduce noise in seismic signal with noise handling system. This system will address noise in the seismic signal, and will result in a seismic signal with reduced noise. The research of this noise handling system aims to reduce the presence of noise in seismic signals, and to make seismic signals deliver the required information correctly and accurately. Noise handling will overcome the problem with the frequency analysis technique using the fast Fourier transform and filtering methods. The system will process seismic signal data from several earthquake events, and will result in a seismic signal with reduced noise. In this study, the best performance in testing for noise handling systems using fast Fourier Transform method with low pass filter value = 0.1 and high pass filter = 0.1, get SNR value = 46.44886478 and MSE = 0.849324382.

Keywords: *Noise Handling, Seismic Signal, Fast Fourier Transform, SNR, MSE, Frequency Analysis*

1. Pendahuluan

Pada perkembangan teknologi, banyak penelitian yang meneliti tentang pendeteksi gempa bumi. Seismometer adalah alat yang berfungsi untuk menangkap sinyal seismik, sinyal seismik ini terbagi menjadi dua

yaitu, P-Wave (sinyal primer) dan S-Wave (sinyal sekunder). Sinyal seismik dapat diolah untuk menghasilkan informasi penting seperti magnitudo, original time dan lokasi epicenter. Informasi tersebut sangat berguna dalam mengantisipasi beberapa kejadian dengan informasi yang didapat [1].

Sinyal seismik bisa kita peroleh pada data event gempa bumi di beberapa situs yang menyediakannya, 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 [2]. 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 [3]. 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.

Berdasarkan permasalahan tersebut, untuk mengatasi kondisi yang tidak memungkinkan diperolehnya sinyal yang bersih dari noise, maka diperlukan adanya sistem noise handling. Di dalam penelitian Tugas Akhir ini, dibangun sistem noise handling yang akan mereduksi noise yang terdapat pada sinyal seismik tersebut [4].

2. Dasar Teori

2.1 Gempa Bumi

Gempa bumi adalah suatu peristiwa dimana terjadinya getaran maupun guncangan bumi yang dikarenakan adanya pergeseran lempeng batuan pada kulit bumi secara tiba-tiba oleh pergerakan lempeng tektonik. Gempa bumi bisa juga terjadi dikarenakan adanya aktifitas gunung berapi yang disebut gempa bumi vulkanik. Gempa bumi sering terjadi di Indonesia karena kawasan dengan kondisi tektonik yang cukup aktif di dunia dan merupakan tempat pertemuan 3 lempeng dunia. Negara Indonesia sendiri duduk di atas lempeng Eurasia atau disebut juga lempeng Eropa Asia [5].

2.2 Sinyal Seismik

Sinyal Seismik adalah rambatan energi yang biasanya disebabkan oleh gangguan dari dalam bumi atau kerak bumi. Yang memicu adanya gelombang ini biasanya karena adanya ledakan atau patahan dalam kerak bumi. Terjadinya hal ini akan merambat ke seluruh bagian bumi yang akan terekam oleh alat yang bernama seismometer [6]. Sinyal seismik ini juga menimbulkan banyak efek pada daerah sekitarnya. Efek yang timbul karena adanya sinyal seismik ini biasanya mengakibatkan pergerakan lempeng (tektonik), aktivitas gunung api (vulkanik), dan lain-lain yang biasanya dikenal sebagai bencana gempa bumi. Terjadinya fenomena ini sangat merugikan penduduk disekitar tempat terjadinya efek dari sinyal seismik [7].

Pada sinyal seismik ini ada bagian sinyal yang dikenal dengan istilah body wave. Body wave ini merambat melalui bagian dalam bumi. Gelombang ini datang lebih dulu sebelum gelombang permukaan datang. Body wave juga dibedakan menjadi dua, yaitu P-Wave (Gelombang Primer) dan S-Wave (Gelombang Sekunder). P-Wave adalah gelombang primer yang merambat di dalam tanah dan sering disebut gelombang tanah. Gelombang ini merupakan gelombang longitudinal karena arah pergerakan partikelnya searah dengan arah rambat gelombang. Gelombang ini juga memiliki kecepatan paling tinggi dibandingkan dengan gelombang seismik yang lain. Pada pengukuran seismik gelombang ini tiba pertama kali karena memiliki kecepatan yang tinggi yang selanjutnya biasanya akan diikuti oleh datangnya gelombang sekunder (S-Wave) [8].

Sinyal seismik di record 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. Rekaman ini dapat dipergunakan salah satunya untuk menentukan magnitude gempa dengan parameter yang dapat diperoleh dari sinyal seismik[9].

2.3 Noise

Noise adalah suatu sinyal gangguan yang bersifat akustik (suara), listrik, maupun elektronis yang hadir dalam suatu sistem (rangkaian listrik/ elektronika) dalam bentuk gangguan yang bukan merupakan sinyal yang diinginkan. Noise ini dapat mempengaruhi terhadap bentuk gelombang yang berubah-ubah yang dapat mempengaruhi perubahan fasa [10]. Perbedaan sinyal asli dengan sinyal yang memiliki noise terdapat pada banyaknya jumlah getaran yang didapatkan sehingga getaran atau frekuensi yang didapatkan semakin tebal atau hitam [11].

Filter digital pada pengolahan sinyal merupakan bentuk sistem operasi matematika pada sampel sinyal waktu diskrit untuk mereduksi atau meningkatkan aspek tertentu dari sinyal tersebut. Tujuan utama dari filter digital adalah untuk membatasi sinyal digital pada band frekuensi yang telah ditetapkan sebelumnya. Bentuk implementasinya adalah filter lowpass, highpass, dan bandpass [12].

2.4 Fourier Transform

Fourier Transform adalah suatu model transformasi yang memindahkan domain spasial atau domain waktu menjadi domain frekuensi. Fourier Transform merupakan suatu proses yang banyak digunakan untuk memindahkan domain dari suatu fungsi atau obyek ke dalam domain frekuensi. Di dalam pengolahan citra digital, transformasi fourier digunakan untuk mengubah domain spasial pada citra menjadi domain frekuensi. Analisa-analisa dalam domain frekuensi banyak digunakan seperti filtering. Dengan menggunakan transformasi fourier, sinyal atau citra dapat dilihat sebagai suatu obyek dalam domain frekuensi [13].

Fourier Transform $X(f)$ dari waktu kontinyu $X(t)$ adalah sebagai berikut :

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot e^{-j2\pi ft} dt \quad [2.1]$$

Invers Fourier Transform :

$$X(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(f) \cdot e^{j2\pi ft} df \quad [2.2]$$

2.5 Discrete Fourier Transform (DFT)

Discrete Fourier Transform merupakan perluasan dari *fourier transform* yang berlaku untuk sinyal-sinyal diskrit dengan panjang yang berhingga [13]. *Discrete Fourier Transform* (DFT) untuk *finite-length sequence* $x[n]$ yang terdefinisi untuk rentang $0 \leq n \leq N - 1$ dinyatakan sebagai berikut :

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j2\pi kn/N} \quad [2.3]$$

Invers Discrete Fourier Transform (IDFT) :

$$X[n] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x[k] e^{j2\pi kn/N} \quad [2.4]$$

2.6 Fast Fourier Transform (FFT)

Fast Fourier Transform adalah suatu algoritma yang digunakan untuk merepresentasikan sinyal dalam domain waktu diskrit dan domain frekuensi. Sementara itu, IFFT adalah singkatan dari Inverse Fast Fourier Transform. Membahas mengenai FFT - IFFT tentunya tidak dapat dilepaskan dari DFT (Discrete Fourier Transform) [14].

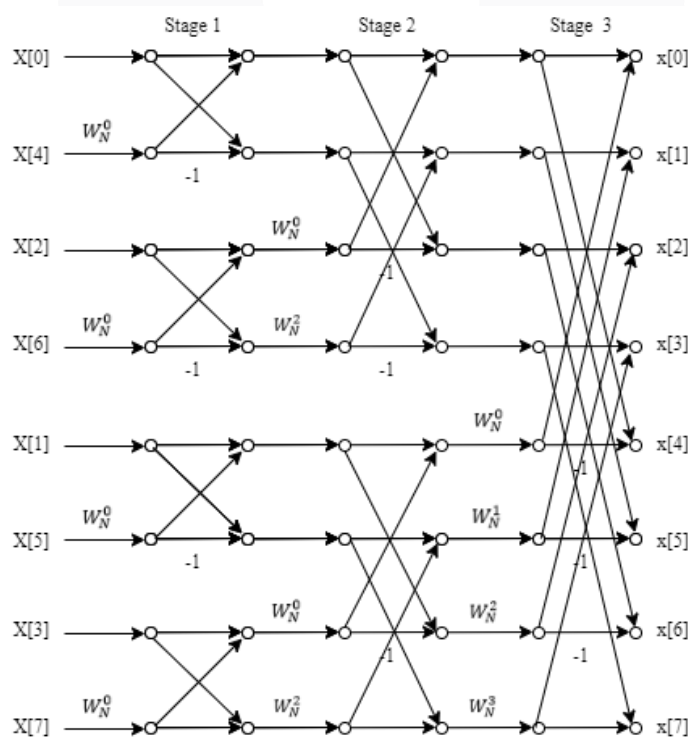
FFT dipergunakan untuk mengurangi kompleksitas transformasi yang dilakukan dengan DFT. Sebagai perbandingan, bila kita menggunakan DFT, maka kompleksitas transformasi kita adalah sebesar $O(N^2)$, sementara dengan menggunakan FFT, selain waktu transformasi yang lebih cepat, kompleksitas transformasi pun menurun, menjadi $O(N \log(N))$. Untuk jumlah sampel yang sedikit mungkin perbedaan kompleksitas relatif tidak terasa, namun akan berbeda halnya jika digunakan jumlah sampel yang banyak. Misalnya hanya diambil 2 sampel menggunakan metode DFT, tingkat kompleksitas transformasinya adalah 4, sementara dengan menggunakan FFT kompleksitasnya sebesar 0,602. Perbedaan yang semakin mencolok tampak bila mengambil jumlah sample yang lebih banyak lagi, misalnya ingin meninjau 64 titik sample, maka kompleksitas dengan menggunakan DFT adalah sebesar 4096, sementara dengan menggunakan FFT kompleksitasnya menjadi 115,6. Perbedaan yang sangat mencolok melihat perbandingan yang mencapai hampir 40 kali lipatnya [15].

2.6.1 Diagram Butterfly

Diagram Butterfly merupakan suatu algoritma untuk memudahkan perhitungan *Fast Fourier Transform*, Diagram butterfly terbagi 2, yaitu :

1. Decimation in time

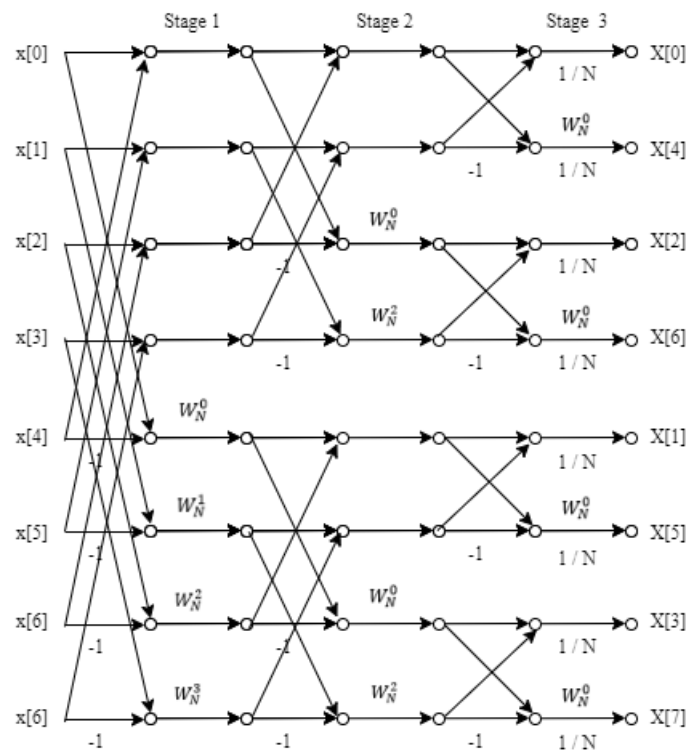
Decimation in Time merupakan algoritma untuk mengoperasikan fast fourier transform yang akan mendapatkan nilai dalam frekuensi.



Gambar 1 Decimation in Time

2. Decimation in Frequency

Decimation in Frequency merupakan algoritma untuk mengoperasikan invers fast fourier transform yang akan menghasilkan nilai dalam waktu.



Gambar 2 Decimation in Frequency

$$W_N^0 = 1, W_N^1 = \frac{1-j}{\sqrt{2}}, W_N^2 = -j, W_N^3 = -\frac{(1+j)}{\sqrt{2}} \quad [2.5]$$

Ket :
 W = Exponential weighting factor
 N = Jumlah data

2.7 Filtering

Filtering adalah sebuah rangkaian yang dirancang agar mengalirkan suatu pita frekuensi tertentu dan menghilangkan frekuensi yang berbeda dengan pita ini. Istilah lain dari filter adalah rangkaian yang dapat memilih frekuensi agar dapat mengalirkan frekuensi yang diinginkan dan menahan, atau membuang frekuensi yang lain.

2.7.1 Low Pass Filter

Low Pass Filter adalah filter atau penyaring frekuensi yang dapat melewatkan sinyal frekuensi rendah dan menghambat atau memblokir sinyal frekuensi tinggi. Dengan kata lain, sinyal Frekuensi rendah akan lebih mudah melewati *Low Pass Filter* (LPF) sedangkan sinyal frekuensi tinggi akan dihambat atau dipersulit untuk melewatinya. LPF yang ideal adalah LPF yang sama sekali tidak melewatkan sinyal dengan frekuensi diatas frekuensi cut-off [16].

2.7.2 High Pass Filter

High Pass Filter adalah filter atau penyaring frekuensi yang dapat melewatkan sinyal frekuensi tinggi dan menghambat atau memblokir sinyal frekuensi rendah. Dengan kata lain, sinyal Frekuensi tinggi akan lebih mudah melewati *High Pass Filter* (HPF) sedangkan sinyal frekuensi rendah akan dihambat atau dipersulit untuk

melewatinya. HPF yang ideal adalah HPF yang sama sekali tidak melewatkan sinyal dengan frekuensi dibawah frekuensi cut-off. Pada dasarnya, *High Pass Filter* (HPF) adalah kebalikan dari *Low Pass Filter* (LPF).

2.8 Signal to Noise Ratio (SNR)

SNR (Signal to Noise Ratio) ialah perbandingan antara daya sinyal yang diinginkan dengan daya sinyal yang tidak diinginkan (noise) pada suatu titik ukur. SNR menyatakan kualitas sinyal informasi yang diterima pada sistem transmisi. SNR juga merupakan batas ambang sinyal analog yang masih dapat diterima. Semakin besar nilai SNR maka kualitas sinyal semakin bagus[17].

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

Sinyal asli sebagai sinyal standar $f(i)$ dan sinyal yang direkonstruksi adalah $f(t)$, dan panjang sinyal adalah n .

2.9 Mean Squared Error (MSE)

MSE adalah metode untuk mengukur tingkat keakuratan suatu model peramalan. Nilai MSE dapat dianalogikan sebagai varian ditambah dengan kuadrat bias dari suatu model dan MSE sangat baik dalam memberikan gambaran terhadap seberapa konsisten model yang dibangun[18].

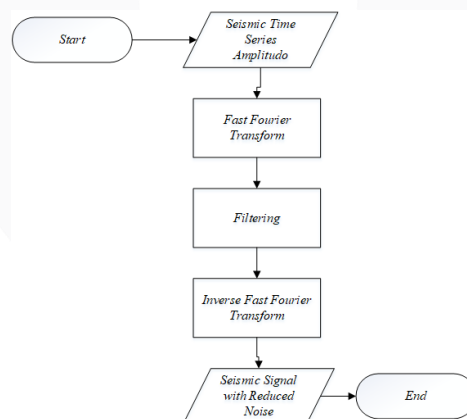
$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_i - y_i)^2 \quad [2.6]$$

Sinyal asli sebagai sinyal standar $f(i)$ dan sinyal yang direkonstruksi adalah $f(t)$, dan panjang sinyal adalah n .

3. Pembahasan

3.1 Flowchart Umum

Pada flowchart umum ini digambarkan secara umum perancangan sistem *Noise Handling*. Dalam sistem ini terdapat input seismic signal, proses metode *Fast Fourier Transform*, *filtering*, *Inverse Fast Fourier Transform*, dan *output signal with reduced noise*.



Gambar 3 Flowchart Umum

4. Implementasi dan pengujian sistem

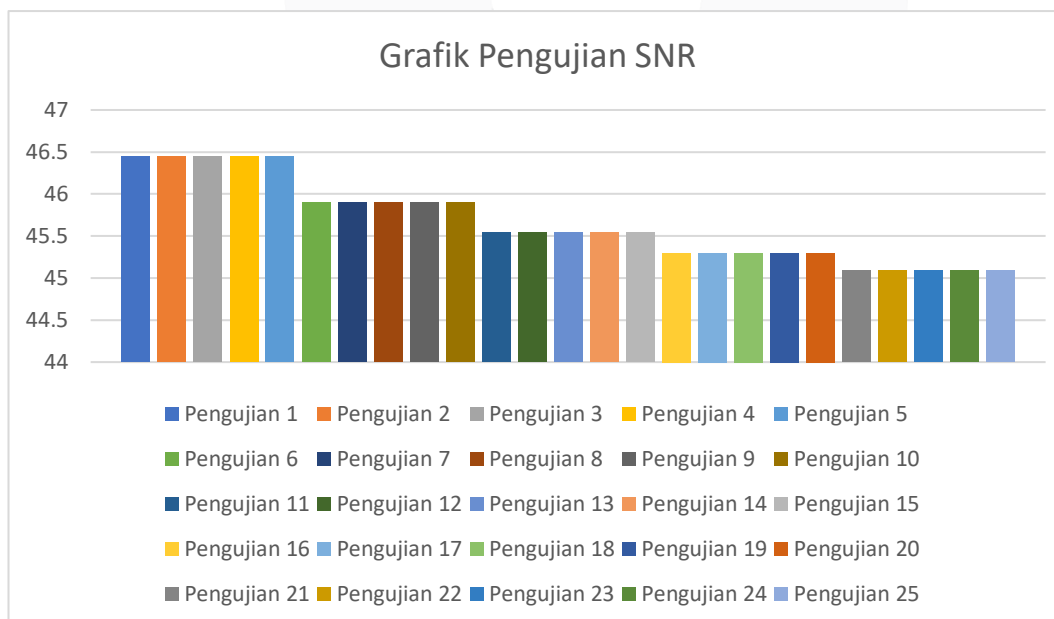
4.1 Pengujian SNR

Tujuan pengujian ini yaitu untuk menguji hasil SNR yang didapat setelah mereduksi *noise* dengan nilai *low pass* dan *high pass filter* yang berbeda. Pengujian ini adalah nilai rata-rata dari 200 sampel yang digunakan dengan total 25 pengujian.

Tabel 1 Hasil Pengujian SNR

Pengujian	Low Pass (40 Hz)	High Pass (40 Hz)	Nilai SNR
1	-0.1	+0.1	46.44886478
2	-0.1	+0.2	46.44886478
3	-0.1	+0.3	46.44886478
4	-0.1	+0.4	46.44886478
5	-0.1	+0.5	46.44886478
6	-0.2	+0.1	45.89389705
7	-0.2	+0.2	45.89389705
8	-0.2	+0.3	45.89389705
9	-0.2	+0.4	45.89389705
10	-0.2	+0.5	45.89389705
11	-0.3	+0.1	45.54865737
12	-0.3	+0.2	45.54865737
13	-0.3	+0.3	45.54865737
14	-0.3	+0.4	45.54865737
15	-0.3	+0.5	45.54865737
16	-0.4	+0.1	45.29746542
17	-0.4	+0.2	45.29746542
18	-0.4	+0.3	45.29746542
19	-0.4	+0.4	45.29746542
20	-0.4	+0.5	45.29746542
21	-0.5	+0.1	45.09028159
22	-0.5	+0.2	45.09028159
23	-0.5	+0.3	45.09028159
24	-0.5	+0.4	45.09028159
25	-0.5	+0.5	45.09028159

Dalam hasil pengujian diatas telah didapatkan seluruh hasil pengujian berupa nilai SNR tersebut, nilai SNR akan dianalisis dalam bentuk grafik, sebagai berikut :



Gambar 4 Grafik Pengujian SNR

Berdasarkan grafik pada gambar 4 dapat dilihat bahwa nilai SNR pada pengujian 1 sampai pengujian 5 memiliki nilai paling tinggi, akan tetapi dapat disimpulkan bahwa *high pass filter* tidak berpengaruh terhadap sampel yang digunakan dan membuat pengujian nilai SNR tidak berubah.

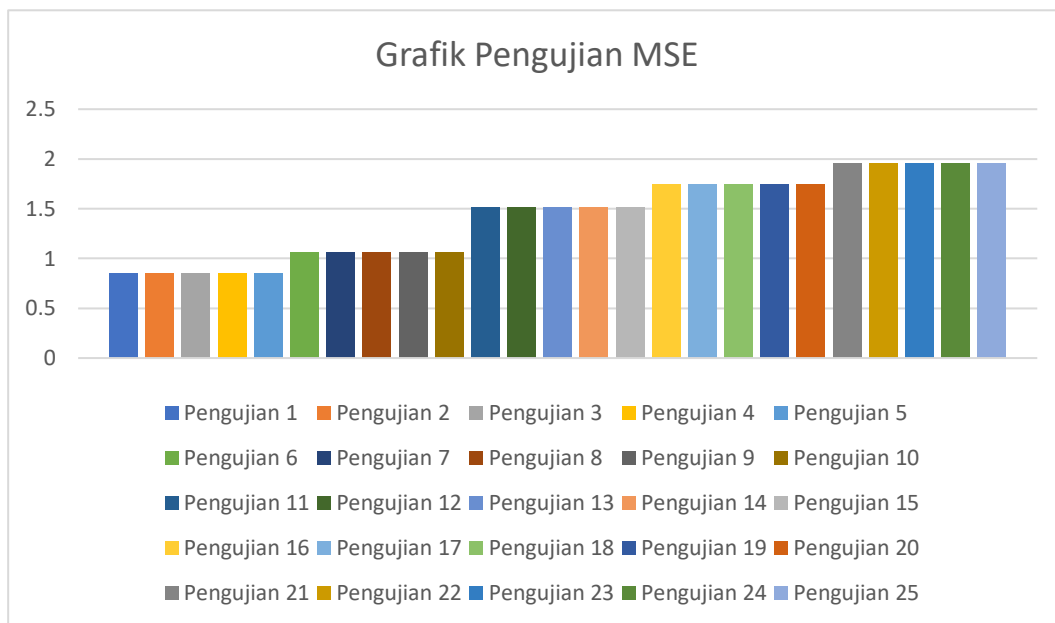
4.2 Pengujian MSE

Pengujian yang dilakukan pada *Mean Squared Error* (MSE) dilakukan untuk menentukan nilai error kuadrat rata-rata antara sinyal asli dengan sinyal hasil reduksi. Pengujian ini adalah nilai rata-rata dari 200 sampel yang digunakan dengan total 25 pengujian.

Tabel 2 Hasil Pengujian MSE

Pengujian	Low Pass (40 Hz)	High Pass (40 Hz)	Nilai MSE
1	-0.1	+0.1	0.849324382
2	-0.1	+0.2	0.849324382
3	-0.1	+0.3	0.849324382
4	-0.1	+0.4	0.849324382
5	-0.1	+0.5	0.849324382
6	-0.2	+0.1	1.063522292
7	-0.2	+0.2	1.063522292
8	-0.2	+0.3	1.063522292
9	-0.2	+0.4	1.063522292
10	-0.2	+0.5	1.063522292
11	-0.3	+0.1	1.513951345
12	-0.3	+0.2	1.513951345
13	-0.3	+0.3	1.513951345
14	-0.3	+0.4	1.513951345
15	-0.3	+0.5	1.513951345
16	-0.4	+0.1	1.749431885
17	-0.4	+0.2	1.749431885
18	-0.4	+0.3	1.749431885
19	-0.4	+0.4	1.749431885
20	-0.4	+0.5	1.749431885
21	-0.5	+0.1	1.95318816
22	-0.5	+0.2	1.95318816
23	-0.5	+0.3	1.95318816
24	-0.5	+0.4	1.95318816
25	-0.5	+0.5	1.95318816

Dalam hasil pengujian diatas telah didapatkan seluruh hasil pengujian berupa nilai SNR tersebut, nilai SNR akan dianalisis dalam bentuk grafik, sebagai berikut :

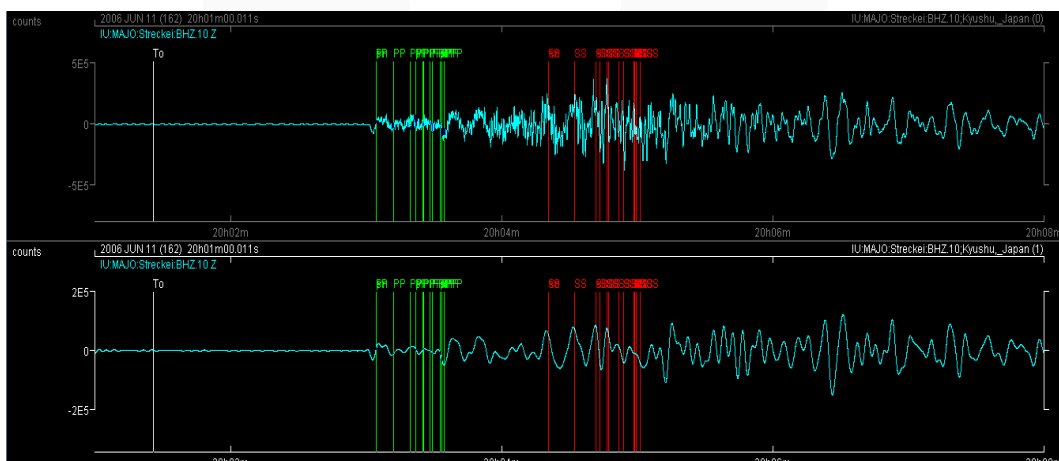


Gambar 5 Grafik Pengujian MSE

Berdasarkan grafik pada gambar 5 dapat dilihat bahwa nilai MSE pada pengujian 1 sampai pengujian 5 memiliki nilai paling rendah, akan tetapi dapat disimpulkan bahwa *high pass filter* tidak berpengaruh terhadap sampel yang digunakan dan membuat pengujian nilai MSE tidak berubah.

4.3 Pengujian Validasi

Pengujian validasi ini berfungsi untuk membuktikan bahwa informasi penting yang didapatkan pada sinyal seismik tidak hilang setelah di reduksi. Dengan menguji apakah gelombang P (P-wave) dan gelombang S (S-wave) masih didapatkan setelah di reduksi menggunakan metode *Fast Fourier Transform* (FFT).



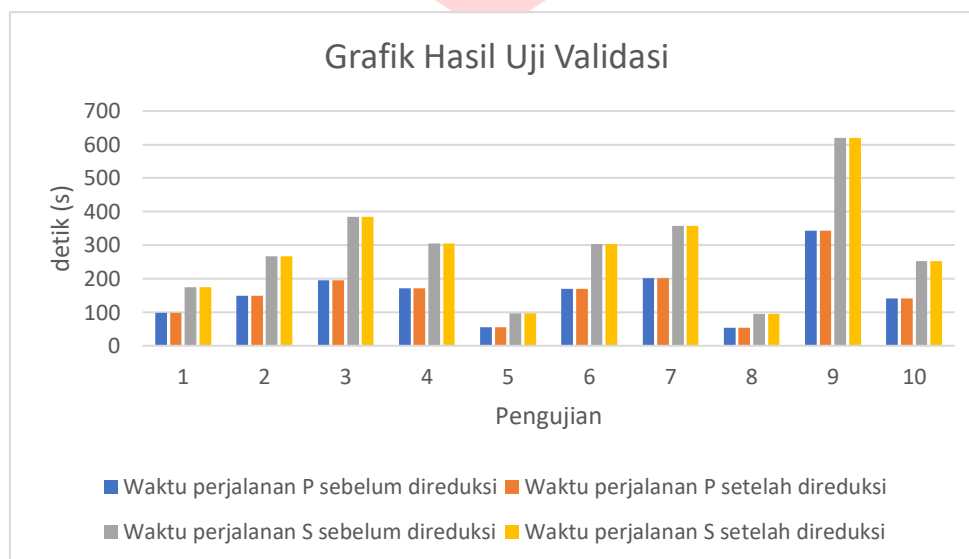
Gambar 6 Pengujian Validasi

Pengujian validasi ini menggunakan aplikasi SeisGram2k70.jar, dengan menggunakan fitur *show theoretical phase arrivals* untuk menampilkan dan membuktikan seperti pada gambar 6 bahwa tidak ada data sinyal P-wave dan S-wave yang hilang.

Tabel 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	98.5	98.5	174.64	174.64
2	149.92	149.92	266.8	266.8
3	195.75	195.75	384.84	384.84
4	171.48	171.48	305.4	305.4
5	55.15	55.15	96.87	96.87
6	170.21	170.21	303.14	303.14
7	200.91	200.91	358.06	358.06
8	54.27	54.27	95.28	95.28
9	342.76	342.76	620.58	620.58
10	141.93	141.93	252.48	252.48

Berdasarkan tabel 3, waktu perjalanan gelombang P (P wave) dan gelombang S (S wave) menandakan bahwa informasi penting pada sinyal seismik setelah dilakukan *noise handling* tidak hilang.



Gambar 7 Grafik Hasil Uji Validasi

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan pada Tugas Akhir ini, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Berdasarkan hasil pengujian terbaik *Signal to Noise Ratio* (SNR), didapatkan dengan nilai *low pass filter* = 0.1 dan *high pass filter* = 0.1 dengan nilai SNR = 46.44886478. Nilai tersebut merupakan nilai paling besar dalam hasil pengujian.
2. Berdasarkan hasil pengujian terbaik *Mean Squared Error* (MSE), didapatkan dengan nilai *low pass filter* = 0.1 dan *high pass filter* = 0.1 dengan nilai MSE = 0.849324382. Nilai tersebut merupakan nilai paling kecil dalam hasil pengujian.

3. Berdasarkan hasil pengujian validasi, bahwa sistem *noise handling* ini tidak menghilangkan informasi penting seperti *P-wave* dan *S-wave*

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan pada Tugas Akhir ini, maka saran yang dapat diusulkan adalah :

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

Daftar Pustaka

- [1] T. Perol, M. Gharbi, and M. Denolle, "Convolutional neural network for earthquake detection and location," *Sci. Adv.*, vol. 4, no. 2, 2018.
- [2] J. O. Parra, C. L. Hackert, and S. Antonio, "Frequency slice filtering – a novel method of seismic noise attenuation," *Technology*, pp. 32–35, 2002.
- [3] I. P. Noise and A. Algoritma, "Implementasi Pengurangan Noise ... (Sriyanto dan Sipayung)," no. 1964, pp. 6–11, 2016.
- [4] H. Magsi, A. H. Sodhro, F. A. Chachar, and S. A. K. Abro, "Analysis of signal noise reduction by using filters," *2018 Int. Conf. Comput. Math. Eng. Technol. Inven. Innov. Integr. Socioecon. Dev. iCoMET 2018 - Proc.*, vol. 2018-Janua, pp. 1–6, 2018.
- [5] Sunarjo, M. T. Gunawan, and S. Pribadi, *Gempabumi Edisi Populer*. 2012.
- [6] W. Li, N. Narvekar, N. Nakshatra, N. Raut, B. Sirkeci, and J. Gao, "Seismic data classification using machine learning," *Proc. - IEEE 4th Int. Conf. Big Data Comput. Serv. Appl. BigDataService 2018*, no. July, pp. 56–63, 2018.
- [7] 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.
- [8] F. Roy, "Detection and identification of seismic signals using artificial neural networks," *Curr. Sci.*, vol. 74, no. 1, pp. 47–54, 1998.
- [9] I. Conference and C. Technology, "Implementation of Automatic First Arrival Picking On P-Wave Seismic Signal Using Logistic Regression Method," pp. 134–138, 2020.
- [10] M. Bagheri and M. A. Riahi, "Using a Novel Method for Attenuating Random Noises from Seismic Data," vol. 7, no. 3, pp. 65–72, 2018.
- [11] M. Wahyu and P. Indi, "Automatic First Arrival Picking on P-Wave Seismic Signal Using Support Vector Machine Method," pp. 128–133, 2020.
- [12] XX, "California Integrated Seismic Network (CISN)," *New Man. Seismol. Obs. Pract.*, no. June, p. XX, 2012.
- [13] N. Chittora and D. Babel, "a Brief Study on Fourier Transform and Its Applications," vol. 05, no. 12, pp. 1127–1131, 2018.
- [14] H. R. Taylor, *Book Review: The Fast Fourier Transform and its Applications*, vol. 27, no. 3. 1990.
- [15] H. Sujadi, I. Sopiandi, and A. Mutaqin, "Sistem Pengolahan Suara Menggunakan Algoritma FFT (Fast Fourier Transform)," *Sintak*, pp. 101–107, 2017.

- [16] A. L. Prasasti, "Perancangan Filter Analog Multistep pada Photoplethysmograph untuk Mengamati Detak Jantung Manusia Menggunakan Arduino," vol. 17, no. 2, pp. 237–248, 2016.
- [17] A. Digital, S. Line, K. Adsl, N. Adsl, N. Ratio, and N. Ratio, "(3) 1,2,3," vol. 2, no. November, pp. 1–11, 2010.
- [18] 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.

