

PENGUAT SINYAL GEOPHONE PORTABLE UNTUK SISTEM PENGUKURAN GELOMBANG SEISMIK
(PORTABLE GEOPHONE SIGNAL AMPLIFIER FOR SEISMIC WAVE MEASUREMENT SYSTEM)

Luthfi Maulana¹, Dr. Eng. Asep Suhendi, S.Si., M.Si.², Dra. Endang Rosdiana, M.Si.³

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

¹luthfimaulanaf8@gmail.com, ²as.suhendi@gmail.com, ³endangr@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Geophone adalah sebuah alat instrumen yang mengkonversikan gerakan tanah (getaran) menjadi tegangan yang dapat disimpan di dalam stasiun rekaman. Karena sinyal yang dihasilkan kecil dan banyak penghalang, dibutuhkan penguatan yang besar. Penguatan sinyal untuk geophone dibentuk secara portable. Dimana penelitian ini menggunakan function generator sebagai pengganti geophone. Pada masukan dari function generator dengan pengaturan frekuensi yang telah ditentukan dan amplitudo terkecil ditambah dengan pembagi tegangan. Rangkaian penguat dirancang untuk melakukan 10^6 kali penguatan dalam dua unit penguat yang digunakan. Pada penguatan pertama, penguatan mencapai rata – rata 475,287 kali penguatan. Dan pada penguatan kedua mencapai rata – rata 2.343,825 kali penguatan. Hingga total dari maksimal kedua penguatan tersebut mencapai rata – rata 1.113.990,35 kali penguatan. Pada rangkaian juga ditambahkan penggeser fasa yang berfungsi untuk menggeser sinyal yang masuk pada rangkaian, digunakan untuk menyamakan titik awal sinyal masuk ataupun sebagai acuan untuk titik ukur. Pergeseran mulai bisa dilihat dengan jelas pada frekuensi 75 Hz. Pergeseran fasa juga ditampilkan sampai 1000 Hz yang kurang lebih mencapai 120° . Rangkaian dirancang menggunakan multisim dan dilakukan simulasi sebagai acuan untuk perangkat keras yang dirancang. Diharapkan perancangan penguat portable bisa mempermudah pengambilan data pengukuran untuk kedepannya.

Kata kunci: Function generator, geophone, seismik, penguat, penggeser fasa.

ABSTRACT

A geophone is an instrument that converts ground motion (vibration) to a voltage that can be stored in a recording station. Because the resulting signal is small and there are many obstructions, a large gain is required. Signal amplification for geophone formed portable. Where this research uses a function generator as a substitute for a geophone. At the input of the function generator with predetermined frequency settings and the smallest amplitude plus a voltage divider. The amplifier circuit is designed to perform 106 times gain in the two amplifier units used. In the first strengthening, the gain reached an average of 475,287 times the strengthening. And in the second strengthening, it reached an average of 2,343,825 times of strengthening. Until the total of the maximum of the two gains reached an average of 1,113,990.35 times the gain. In the circuit, a phase slider is also added which functions to shift the incoming signal to the circuit, used to equalize the starting point of the incoming signal or as a reference for the measuring point. The starting shift can be seen clearly at a frequency of 75 Hz. The phase shift is also displayed up to 1000 Hz which is more or less up to 120° . The circuit is designed using multisim and a simulation is performed as a reference for the designed hardware. It is hoped that the design of a portable amplifier can make it easier to collect measurement data in the future.

Keywords: Function Generator, geophone, seismic, amplifier, phase shift.

1 Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Negara Indonesia adalah salah satu negara yang mempunyai banyak gunung berapi aktif, maka di Indonesia banyak terjadi aktivitas seismik. Tidak hanya getaran yang dihasilkan oleh aktivitas gunung berapi, tapi juga pergeseran lempengan juga kerap terjadi. Pada tahun 2018, BMKG merilis data gempa yang terjadi di Indonesia, yaitu telah terjadi aktivitas gempa sebanyak 11.577 kali dalam berbagai magnitudo dan kedalaman [1]. Banyak cara yang dilakukan pemerintah untuk melakukan pengambilan data, survey daerah rawan terjadinya pergeseran tanah, maupun penanggulangan aktivitas seismik di Indonesia.

Dalam hal pengambilan data dan persiapan bencana untuk aktivitas seismik, instrumen yang sudah lazim digunakan adalah geophone. Geophone sendiri adalah instrumen yang digunakan untuk membaca getaran pada

tanah yang dikonversikan ke tegangan sehingga hasilnya dapat diukur secara akurat [2]. Getaran pada tanah disebut juga aktifitas seismik, dimana adanya rambatan energi yang disebabkan oleh gangguan pada kerak bumi, maka energinya merambat di seluruh area yang berada pada inti energi [3].

Ketika geophone bekerja untuk merekam semua getaran yang terjadi di sekitarnya, terjadilah banyak penghalang dikarenakan oleh medium bumi, sehingga untuk mendeteksi perambatan gelombang yang diteliti dibutuhkan sebuah rangkaian elektronika yang digunakan untuk meningkatkan dan mengatur gelombang yang diterima oleh geophone [4]. Ada dua jenis gelombang utama adalah gelombang tubuh dan gelombang permukaan. Dua jenis utama gelombang seismik ini disebut gelombang-P (tekanan; melewati cairan dan padat) dan gelombang-S (geser atau sekunder; hanya melalui padat - bukan melalui cairan). Kecepatan gerak kedua tipe gelombang ini tidak sama (gelombang-P lebih cepat dari gelombang-S)

Penguat sinyal adalah sebuah perangkat elektronika yang meningkatkan nilai suatu sinyal yang diterima oleh perangkat untuk penerima dengan menggunakan daya yang lebih tinggi [5]. Penguat berfungsi untuk merubah sinyal masukan menjadi lebih besar setelah melewati rangkaian penguat [6]. Penguat juga mudah untuk dirancang menyesuaikan kebutuhan pada rangkaian dan perhitungan matematika untuk penguat cukup mudah untuk dirumuskan [7]. Metode yang biasa digunakan untuk kasus seismik adalah penguat bertingkat sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan.

Penelitian mengenai geophone sudah dilakukan sampai saat ini. Pada salah satu penelitian, dimana pada penelitian ini terfokus untuk pengkondisian sinyal seismik yang diterima dikonversikan ke bentuk ADC (Analog Digital Converter). Sinyal diperkuat melalui 12 unit penguat non-pembalikan. Amplifier non-pembalikan menggunakan IC 741 dengan nilai resistor $1K\Omega$ dan $1M\Omega$. Hasil amplifikasi adalah 1.000 kali [8].

Pada penelitian ini, penguat yang diaplikasikan adalah sebuah penguat yang mempunyai kemampuan untuk menguatkan masukan gelombang hingga 10^6 kali yang dihasilkan dari function generator [9]. Penguatan terjadi karena adanya resistor penambah yang berasal dari hitungan ic yang digunakan. Penguatan dilakukan dengan dua unit penguat instrumentasi. Dan dalam studi geophone, biasanya geophone yang digunakan untuk mengukur gelombang lebih dari satu, maka dibutuhkan rangkaian pergeseran fasa yang berfungsi untuk mengatur sinyal pertama yang masuk dalam rangkaian. Fungsinya untuk menggeser sinyal pertama, bisa untuk disamakan dengan sinyal selanjutnya maupun menjadi titik acuan untuk pengukurannya [10].

Penguatan sinyal pada geophone sangat dibutuhkan untuk perolehan gelombang yang dihasilkan oleh bumi. Karena gelombang seismik yang dirambatkan di dalam bumi sangat kecil dan banyak terhalang oleh medium lain. Oleh karena itu, penguatan sinyal yang dibentuk secara portable yang digunakan untuk geophone mempermudah kinerjanya.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang akan dibahas pada pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaplikasian function generator sebagai pengganti geophone?
2. Bagaimana merancang sistem penguat untuk geophone?
3. Bagaimana membuat sistem delay untuk gelombang seismik?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengaplikasikan function generator sebagai pengganti geophone.
2. Membuat sistem penguat untuk geophone.
3. Membuat sistem delay untuk gelombang seismik.

1.4 Batasan Masalah

Untuk membatasi cakupan pembahasan masalah, maka batasan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan di laboratorium Teknik Fisika yang terbatas dengan kemampuan alat dan komponen.
2. Penelitian dilakukan hanya dalam penguatan dan pergeseran sinyal.
3. Input gelombang yang digunakan adalah gelombang sinus dari function generator.
4. Metode penguat yang digunakan adalah dua tingkat yang independen.
5. Pergeseran fasa disesuaikan dengan batas maksimal penguatan.
6. Pengukuran dilakukan sebatas simulasi menggunakan sinyal generator.

1.5 Metoda Penelitian

Tahapan yang akan dilakukan dalam menyelesaikan tugas akhir ini dibagi dalam 4 tahap, diantaranya:

1. Metode studi literatur digunakan untuk mendapatkan teori-teori dan hal-hal dasar yang berkaitan dengan topik tugas akhir. Studi literatur ini bisa didapatkan dari buku, jurnal, dan makalah yang berhubungan. Serta pengarah dan penjelasan dari dosen pembimbing, dosen pengajar dan rekan-rekan mahasiswa bisa memberikan pelajaran untuk penulisan tugas akhir.
2. Simulasi menggunakan perangkat lunak berfungsi sebagai pemberi gambaran pada percobaan yang dilakukan. Dimana dari simulasi ini didapatkan nilai-nilai yang menjadi dasar dari titik acuan untuk percobaan yang dilakukan.
3. Pada pengukuran ini yang dilakukan penelitian bagaimana perbedaan sinyal masukan dan keluaran yang dihasilkan oleh penguat sinyal portable.
4. Metode Analisis Metode analisis merupakan pengamatan terhadap parameter yang didapatkan yang kemudian didapatkan nilai efektif dari parameter tersebut. Setelah itu dilakukan analisis untuk penarikan kesimpulan dan saran untuk pengembangan selanjutnya.

2 Dasar Teori

2.1 Geophone

Geophone adalah perangkat yang mengubah gerakan tanah (kecepatan) menjadi tegangan, yang dapat direkam di alat perekaman. Penyimpangan tegangan yang diukur ini dari garis dasar disebut respons seismik dan dianalisis untuk struktur bumi [2].

Geophone adalah sebuah transduser pergerakan tanah yang sangat sensitif. Dalam seismik eksplorasi, geophone yang umum digunakan adalah tipe moving coil, yaitu kumparan yang bergerak di dalam medan magnet. Prinsip dasar/azas fisiknya mengikuti hukum Lenz. Hukum Lenz berbunyi : "Arus induksi mengalir pada penghantar atau kumparan dengan arah berlawanan dengan gerakan yang menghasilkannya" atau "medan magnet yang ditimbulkannya melawan perubahan fluks magnet yang menimbulkannya".

Hukum Faraday menyatakan bahwa massa yang dihasilkan dalam suatu sistem sel elektrolisis berbanding lurus dengan muatan listrik yang mengalir dalam sel tersebut. Besarnya muatan listrik yang terjadi dalam sel merupakan hasil kali antara kuat arus yang dialirkan dengan lamanya waktu elektrolisisnya. Geophone menggunakan hukum Faraday yaitu hukum Faraday

$$V = -(\partial\Phi)/\partial t = Gy \quad (1)$$

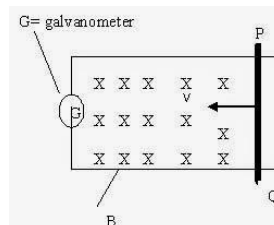
V = Tegangan Output (Volt)

$\partial\Phi$ = Perubahan Fluks Magnet (Weber)

∂t = Perubahan Waktu (t)

G = Konstanta Transduser (V/(m/s))

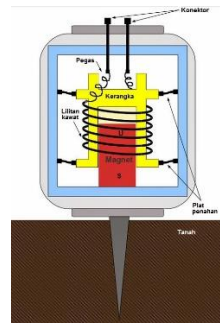
Y = Pergerakan Relatif (t)



Gambar 2.1 Hukum Lenz [15]

Secara sederhana, hukum Lenz diperlihatkan pada gambar 2.1. Hukum ini menyatakan bahwa "Apabila sepotong kawat konduktor listrik yang panjangnya l digerakkan dengan kecepatan v di dalam medan magnet B maka timbul arus listrik sesaat dalam kawat tersebut. Geophone merubah energi getaran/vibrasi menjadi energi listrik. Dalam geophone kumparan bergoyang (naik dan turun) di dalam medan magnet akibat adanya getaran tanah. Sesuai dengan hukum Lenz maka muncullah arus listrik di dalam kawat konduktor.

Komponen utama dari sensor Geophone bisa dilihat pada gambar 2.2 antara lain. Pertama adalah magnet permanen yang diletakkan menyatu dengan permukaan bumi, sehingga ketika bumi bergetar maka magnet mengikuti arah getaran vertikal bumi apabila ada gelombang seismik yang menjalar di permukaan bumi. Kedua adalah lilitan kawat ini tergantung pada pegas dan bergerak ketika ada gelombang seismik datang.

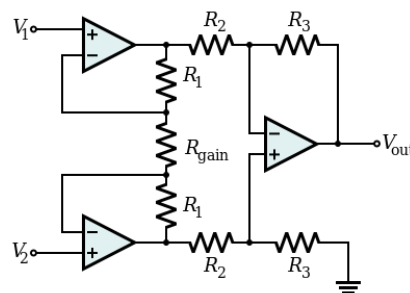


Gambar 2.2 Geophone[18]

Dari beberapa datasheet yang menjelaskan spesifikasi dari berbagai geophone. Jenis geophone terbagi sesuai dengan kebutuhan frekuensi yang diteliti, dimulai dari frekuensi rendah, sedang dan tinggi. Frekuensi natural dari beberapa datasheet berada pada jarak 2 Hz hingga 100 Hz dengan sensitivitas yang berbeda-beda. Tidak hanya itu, spesifikasi seperti distorsi, redaman, resistansi koil, sensitivitas dan bentuk fisik juga menjadi acuan dari sebuah geophone untuk dapat digunakan sesuai kebutuhan penelitian.

2.2 Penguat Instrumentasi

Penguat instrumentasi adalah sebuah tipe dari amplifier diferensial yang telah dilengkapi dengan amplifier buffer input, untuk menghilangkan kebutuhan pencocokan impedansi input dengan demikian membuat amplifier ini sangat cocok untuk digunakan dalam pengukuran dan alat uji. Karakteristik tambahan termasuk offset DC sangat rendah, drift rendah, noise rendah, gain loop terbuka sangat tinggi, rasio penolakan mode umum sangat tinggi, dan impedansi input sangat tinggi.



Gambar 2.3 Rangkaian Skematik Penguat Instrumentasi[7]

Penguat instrumentasi ditunjukkan secara skematis identik dengan amplifier operasional standar (op-amp), penguat instrumentasi elektronik hampir selalu secara internal terdiri dari 3 op-amp seperti gambar 2.3. Ini diatur sehingga ada satu op-amp untuk buffer setiap input (+, -), dan satu untuk menghasilkan output yang diinginkan dengan pencocokan impedansi yang memadai untuk fungsi tersebut[7].

$$A_{\theta} = \frac{V_{out}}{V_2 - V_1} = \left(1 + \frac{2R_1}{R_{gain}}\right) \frac{R_3}{R_2} \tag{2}$$

$$V_O = G \cdot (V_{IN}^+ - V_{IN}^-) \tag{3}$$

$$G = \left(1 + \frac{2R_1}{R_G}\right) \frac{R_3}{R_2} \tag{4}$$

Dimana:

A_{θ} = total penguatan (gain)

V = tegangan (V/volt)

R = hambatan (Ω /ohm)

G = penguatan (gain)

2.3 Penggeser Fasa

Pengrefleksian dari sinyal pada jalur pengarah dapat mengakibatkan perubahan fasa dari sinyal datang. Refleksi gelombang tegangan pada sebuah jalur yang diakhiri dengan hubungan singkat membuat fasa bergeser 180 °. Saluran transmisi yang diakhiri dengan sirkuit terbuka adalah dua kasus gelombang tegangan digeser oleh 0 ° dan gelombang arus digeser oleh 180 °. Dalam kedua kasus, amplitudo penuh gelombang tercermin.

Saluran transmisi yang diakhiri dengan kapasitansi atau induktansi murni juga menimbulkan gelombang pergeseran fase pada amplitudo penuh. Pergeseran fase tegangan diberikan oleh

$$\varphi = 2 \tan^{-1} \frac{Z_0}{X} \tag{5}$$

dimana

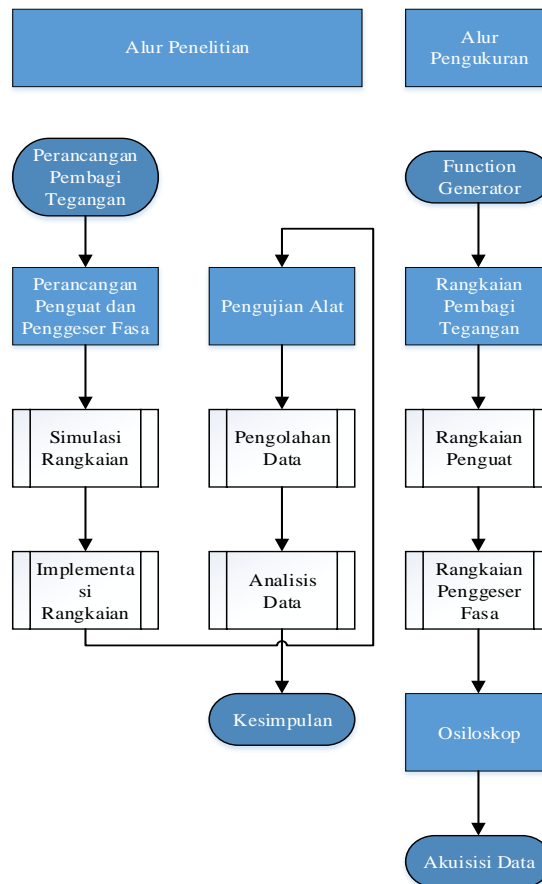
φ = hasil pergeseran fase dalam derajat ($^{\circ}$)

Z_0 = karakteristik impedansi

X = nilai dari kapasitansi atau induktansi

Pergeseran fase antara 0 dan 180 $^{\circ}$ dan masing-masing positif atau negatif untuk induktor dan kapasitor.

Pergeseran fase tepat 90 $^{\circ}$ ketika $X = Z_0[10]$.



Gambar 2.4 Diagram alir penelitian

3 Data dan Analisis

1. Function Generator

Pada pengujian alat dilakukan penentuan nilai dari function generator untuk mendapatkan nilai keluaran sinyal generator yang digunakan pada posisi minimal yang sudah diperkecil (ditarik pada posisi tombol alat) dan ditambahkan pembagi tegangan untuk mendapatkan tegangan terkecil. Hasil tersebut akan menjadi masukan untuk alat yang sudah dirancang

Tabel 0.1 Data pengukuran function generator

input	Normal	p.v	(-)20dB	p.v
max (mV)	23.200	4,08	2.260	-
min (mV)	272	-	29,6	-

Pada tabel 3.1 dapat dilihat data yang dapat terukur pada saat keadaan normal terbesar ditambah dengan pembagi tegangan pada posisi terkecil (p/v n). Untuk memperkirakan data pada kolom yang kosong, input normal max dibagi dengan (p/v n) dan pada (-20dB) dibagi dengan hasil sebelumnya, dan seterusnya. Sehingga hasilnya dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 0.2 Data perkiraan masukan dari pembagi tegangan

Input	p/v (n)	p/v (adj)
max(mV)	4,08	0,397
min(mV)	0,048	0,0052

Setelah didapatkan data perkiraan pada tabel 4.2, maka bisa dicari data penguatan pada masing – masing frekuensi stabil yang diuji. Semua data perkiraan dari function generator pada frekuensi stabil yang telah ditentukan ada pada tabel 4.3.

Tabel 0.3 Data perkiraan tegangan input

Frekuensi (Hz)	Function		Function (-20dB)	
	Normal (mV)	p/v (mV)	Normal(mV)	p/v (mV)
5	180	0,032	19,59	0,0034
7,5	212	0,037	23,07	0,0041
10	232	0,041	25,25	0,0044
25	256	0,045	27,86	0,0049
50	264	0,046	28,73	0,0051
75	268	0,047	29,16	0,0051
100	272	0,048	29,60	0,0052
250	258	0,045	28,08	0,0049
500	257	0,045	27,97	0,0049
750	256	0,045	27,86	0,0049
1000	254	0,045	27,64	0,0049

2. Hasil data penguatan

Setelah melakukan penghitungan pada sinyal generator. Keluaran dari sinyal generator yang sudah digabung dengan pembagi tegangan menjadi masukan pada alat yang sudah dirancang. Pada alat yang dirancang dilakukan tiga kali pengukuran, yaitu pada rangkaian penguatan pertama, rangkaian penguatan kedua, dan rangkaian penggeser fasa. Keluaran sinyal ditampilkan pada osiloskop dan data yang dihitung adalah penguatan tegangan puncak ke puncak pada gelombang sinus yang berasal dari sinyal generator.

Untuk data tegangan yang dihasilkan dari osiloskop dapat dilihat di tabel 4.4.

Tabel 0.4 Data Vpp dari penguat 1, 2, dan final

Frekuensi (Hz)	Penguatan		
	1 (V)	2 (V)	Final (V)
5	2,08	8,00	18,0
7,5	2,16	9,62	21,4
10	2,22	10,35	23,0
25	2,26	11,50	25,4
50	2,32	11,79	26,0
75	2,38	12,05	26,6
100	2,48	12,20	27,0
250	2,40	11,63	25,8
500	2,36	11,62	25,7
750	2,34	11,45	25,3
1000	2,30	11,32	25,0

Setelah tegangan puncak ke puncak sudah didapatkan pada masing-masing frekuensi yang ditentukan. Maka hasil dari tabel 4.4 perkolomnya dibagi dengan masukan perkiraan tegangan puncak ke puncak sinyal generator terkecil (p/v adj) pada tabel 4.2. Hasil dari penghitungan ini menjadi hasil jumlah penguatan pada masing-masing kolom tabel 4.4. Data penguatan dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 0.5 Data penguatan dari 1, 2, final, dan total

Frekuensi HZ	Jumlah Penguatan			
	1	2	Final	Total
5	603,80	2.322,32	5.225,23	1.402.227,05
7,5	532,38	2.371,07	5.274,52	1.262.313,22
10	500,00	2.331,08	5.180,18	1.165.540,54
25	461,29	2.347,27	5.184,40	1.082.770,41
50	459,19	2.333,54	5.146,06	1.071.529,09
75	464,03	2.349,40	5.186,23	1.090.195,65
100	476,42	2.343,67	5.186,80	1.116.564,29
250	486,07	2.355,40	5.225,23	1.144.884,23
500	479,83	2.362,53	5.225,23	1.133.605,42
750	477,62	2.337,06	5.163,99	1.116.224,22
1000	473,15	2.328,72	5.142,94	1.101.835,75

3. Hasil data pergeseran fasa pada osiloskop

Pada pengambilan data pergeseran fasa, data diambil menggunakan osiloskop. Sinyal keluaran pada penguatan kedua dibandingkan dengan sinyal keluaran pada penggeseran fasa. Pada osiloskop terlihat dua gelombang seperti gambar 4.1 dimana keluaran pada penguatan kedua adalah gelombang berwarna kuning dan keluaran pada penggeser fasa adalah berwarna biru. Pada gambar 4.1 adalah pergeseran pada 250 Hz sebanyak $47,36^\circ$.



Gambar 0.1 Pergeseran fasa pada 250 Hz

Data dari pergeseran fasa yang dilakukan dapat dilihat pada tabel 4.6 dimana dilakukan pengambilan data dari frekuensi 75 Hz data yang dapat diukur sampai frekuensi 1000 Hz data yang sama dibatasi dengan data penguatan yang diambil.

Tabel 0.6 Hasil data pergeseran fasa

Frekuensi (Hz)	Jarak antar gelombang	Skala 1 bukit	Hasil (180/s*j)
75	1	16	11,25
100	3	24	22,50
250	5	19	47,37
500	4	10	72,00
750	9	16	101,25
1000	8	12	120,00

4 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian dan pengambilan data yang dilakukan mengenai implementasi penguat sinyal geophone portable untuk sistem pengukuran gelombang seismik yang sudah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan:

1. Dari pengujian rangkaian penguat yang dilakukan pada rangkaian penguat pertama dan penguat kedua dapat teramati. Pada masukan dari function generator dengan pengaturan frekuensi yang ditentukan dan amplitudo terkecil ditambah dengan pembagi tegangan. Pada penguatan pertama, penguatan mencapai rata – rata

475,287 kali penguatan. Dan pada penguatan kedua mencapai rata – rata 2.343,825 kali penguatan. Hingga total dari maksimal kedua penguatan tersebut mencapai rata – rata 1.113.990,35 kali penguatan. Dimana untuk batas Vcc dan Vdd untuk IC INA118 sudah mencapai batas maksimal. Jadi dibutuhkan input yang lebih kecil lagi untuk mencapai penguatan yang lebih besar supaya bisa melakukan dua kali penguatan secara bersamaan.

2. Dari pengujian pergeseran fasa yang dilakukan pada rangkaian penggeser fasa. Dapat diamati dari gambar 4.1 bahwa terjadinya pergeseran fasa, yang berupa tergesernya gelombang biru di channel 2 pada osiloskop. Pergeseran mulai bisa dilihat dengan jelas pada frekuensi 75 Hz keatas. Karena batas untuk data penguat sampai 1000 Hz, maka sesuai dengan penguat, pergeseran fasa juga ditampilkan sampai 1000 Hz yang mencapai 120° seperti yang dilampirkan pada bagian data. Sehingga hanya perlu dilakukan pengaturan pada komponen di rangkaian penggeser fasa untuk bisa melakukan pergeseran pada frekuensi rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sartika, Resa Eka Ayu. 2018. BMKG Rilis Jumlah Gempa Selama 2018, Begini Tanggapan Para Ahli. Jakarta : Kompas
- [2] Reynolds, John M. 2011. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics-second edition*. United Kingdom : Wiley-Blackwell.
- [3] Braile, Lawrence. 2007. *What Is Seismology and What Are Seismic Waves?*. United States : Michigan Technological University.
- [4] Rahman, Fatkhur. 2007. Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Level Getaran Menggunakan Sensor Geofon Dengan Penampil Borland Delphi 7.0 Pada Monitor Komputer. Semarang : Universitas Diponegoro.
- [5] Franco, Sergio. 2001. *Design with Operational Amplifiers and Analog Integrated Circuits, Edisi 3*. New York : McGraw-Hill Education.
- [6] Millman, Jacob. 1979. *Microelectronics: Digital and Analog Circuits and Systems*. New York : McGraw-Hill.
- [7] R.F. Coughlin, F.F. Driscoll *Operational Amplifiers and Linear Integrated Circuits* (2nd Ed.1982. [ISBN 0-13-637785-8](#)) p.161.
- [8] Samsidara, Siti Alaa; Afuara, Waldy; Handayanib, Gunawan. 2015. *Design and Development of Digital Seismic Amplifier Recorder*. AIP Publishing LLC. Holden, Brian
- [9] Michael. 2014. *Low Frequency Improvements to Commercial Geophones*. LSU Master's Theses. 3275
- [10] B. I. Bleaney, Brebis Bleaney, *Electricity and Magnetism*, volume 1, p. 275, Oxford University Press, 2013 [ISBN 0199645426](#).
- [11] Carazo, Alfredo Vázquez. 2000. *Novel Piezoelectric Transducers for High Voltage Measurements*. Barcelona : Universitat Politècnica de Catalunya
- [12] Ohring, Milton. 1995. *Engineering Materials Science, Volume 3*. Academic Press
- [13] Millikan, Robert A; Bishop, E. S. 1917. [Elements of Electricity](#). American Technical Society.
- [14] Mar 26, 2012 http://www.indiana.edu/~geol105/images/gaia_chapter_3/seismic.htm
- [15] https://www.iongeo.com/content/documents/Resource%20Center/Brochures%20and%20Data%20Sheets/Brochures/BR_SEN_Geophones_091509.pdf
- [16] https://iwan78.files.wordpress.com/2010/11/8_.pdf
- [17] Jul 20, 1998. Encyclopedia Britannica, Inc. *Earthquake Geology, Properties of seismic waves*
- [18] <http://physicsopenlab.org/2019/09/23/geophone-seismometer/>