

**DESAIN DAN REALISASI SEISMOGRAF BERBASIS
RASPBERRY PI (PIGRAF) UNTUK UJI DETEKSI GEMPA
MIKRO**

(Skripsi)

Oleh

**ADELIA SAFITRI
1955051005**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

**DESAIN DAN REALISASI SEISMOGRAF BERBASIS
RASPBERRY PI (PIGRAF) UNTUK UJI DETEKSI GEMPA
MIKRO**

Oleh

ADELIA SAFITRI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

DESAIN DAN REALISASI SEISMOGRAF BERBASIS RASPBERRY PI (PIGRAF) UNTUK UJI DETEKSI GEMPA MIKRO

Oleh :

ADELIA SAFITRI

Pada lapangan panas bumi gempa mikro telah digunakan untuk mempelajari sistem *geothermal* pada saat eksplorasi dan *monitoring*. Metode MEQ merekam sinyal yang akan dibaca sebagai *event* seismik yang terdapat di daerah tersebut. Akan tetapi, teknologi yang mendukung pengukuran tersebut masih terbilang mahal dan belum banyak orang yang dapat mengoperasikannya. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan perancangan desain dan realisasi alat yang dapat berguna sebagai analisis gempa mikro pada lapangan panas bumi berupa alat seismograf berbasis Raspberri Pi dengan biaya yang murah dan mudah dioperasikan. Hasil rancang bangun alat berbentuk silinder dengan alat berdiameter 11,5 cm dan tinggi alat 22 cm yang terbuat dari bahan alumunium. Untuk sistem program alat sendiri dapat menghasilkan *sampling rate* pengambilan data maksimal 100/s dan dapat melakukan pengulangan sistem terus menerus (*Looping*) apabila terdapat komponen alat yang tidak sinkron. Untuk hasil uji coba alat, dilakukan perhitungan FFT untuk melihat hasil frekuensi pada setiap alat yang mana hasil dari nilai *power spectrum* relatif sama pada nilai frekuensi 23 Hz. Serta, alat telah berfungsi dengan baik selama pengoperasian alat dilapangan, *event* gempa mikro dapat terekam pada empat stasiun pengukuran.

Kata Kunci : Panas Bumi Way Ratai, Instrumentasi Alat, Seismograf, Raspberry Pi Zero 2W, dan Gempa Mikro.

ABSTRACT

DESIGN AND REALIZATION OF SEISMOGRAPH BASED ON RASPBERRY PI (PIGRAF) FOR MICRO EARTHQUAKE DETECTION TESTS

By :

ADELIA SAFITRI

In geothermal fields, micro earthquakes have been used to study geothermal systems during exploration and monitoring. The MEQ method records signals that will be read as seismic events in the area. However, the technology that supports these measurements is still relatively expensive and not many people can operate it. Therefore, in this research, the design and realization of a tool that can be used as a micro-seismic analysis in geothermal fields is carried out in the form of a Raspberri Pi-based seismograph tool that is cheap and easy to operate. The results of the design of a cylindrical tool with a tool diameter of 11.5 cm and a tool height of 22 cm are made of aluminum. For the tool program system itself, it can produce a maximum sampling rate of 100/s data collection and can perform continuous system repetition (Looping) if there are components of the tool that are out of sync. For the test results of the tool, FFT calculations were carried out to see the frequency results for each device where the results of the power spectrum values were relatively the same at a frequency value of 23 Hz. Also, the tool has been functioning properly during the operation of the tool in the field, micro earthquake events can be recorded at four measurement stations.

Keywords : Way Ratai Geothermal, Tool Instrumentation, Seismograph, Raspberry Pi Zero 2W, and Micro Earthquake.

Judul Skripsi

: **DESAIN DAN REALISASI SEISMOGRAF
BERBASIS RASPBERRY PI (PIGRAF)
UNTUK UJI DETEKSI GEMPA MIKRO**

Nama

: **Adelia Safitri**

Nomor Pokok Mahasiswa

: **1955051005**

Program Studi

: **Teknik Geofisika**

Fakultas

: **Teknik**

MENYETUJUI,

1. Komisi Pembimbing

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Karyanto, S.Si., M.T.

NIP. 19691230 199802 10001

I Gede Boy Darmawan, S.Si., M.Eng

NIP. 19880505 201903 1019

2. Ketua Jurusan teknik Geofisika,

Karyanto, S.Si., M.T.

NIP. 19691230 199802 10001

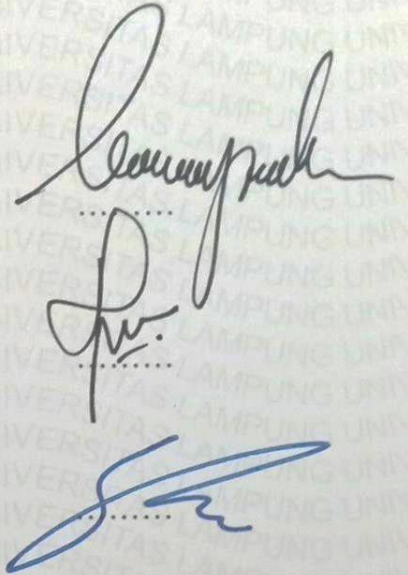
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Karyanto, S.Si., M.T.**

Sekretaris : **I Gede Boy Darmawan, S.Si., M.Eng**

Anggota : **Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si.**



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.}
NIP. 19750928 200112 1002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **07 Agustus 2023**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan dengan judul “Desain dan Realisasi Seismograf Berbasis Raspberry Pi (PiGraf) Untuk Uji Deteksi Gempa Mikro” adalah benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang diakui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang telah berlaku.

Bandar Lampung, 14 Agustus 2023



Adelia Safitri
NPM. 1955051005

RIWAYAT HIDUP



Adelia Safitri lahir pada tanggal 19 Desember 2023, anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Saiful Anwar dan Ibu Sulasmi. Penulis menempuh pendidikan mulai dari Taman Kanak-Kanak (TK) Al – Hidayah pada tahun 2006 hingga 2007. Kemudian, melanjutkan pendidikan ke Sekolah Dasar (SD) hingga 2013 di SD Negeri 1 Jaya Tinggi. Lalu, menempuh pendidikan Sekolah Menengah Pertama (SMP) hingga 2016 di SMP Negeri 1 Kasui dan dilanjutkan ke jenjang Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA Negeri 1 Kasui tahun 2019.

Pada tahun 2019 Penulis melanjutkan pendidikan ke tingkat perguruan tinggi negeri di Universitas Lampung Jurusan Teknik Geofisika melalui jalur SMMPTN-Barat. Selama menempuh pendidikan di Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung, penulis aktif dibebberapa organisasi kemahasiswaan dan aktif diberbagai kegiatan mahasiswa. Diantaranya Pada Himpunana Mahasiswa Teknik Geofisika Bhuwana sebagai Komisi Disiplin pada Periode 2021 sampai Periode 2022, Himpunan Mahasiswa Geofisika Indonesia (HMGI Wilayah 1) sebagai Koordinator Wilayah pada periode 2022/2023 dan sebagai staff divisi Pengembangan Sumber Daya Manusia (2021). Selain aktif dalam kegiatan organisasi kemahasiswaan, penulisan juga pernah menjadi asisten praktikum Geologi Struktur pada semester genap tahun ajaran 2021/2022, praktikum Perpetaan pada semester ganjil tahun ajaran 2022/2023, Praktikum Eksplorasi Geothermal dan Metode Elektromagnetik pada semester genap tahun ajaran 2022/2023.

Pada Januari 2022 penulis melakukan Kerja Praktik (KP) di P3TKEBTKE (Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Ketenagalistrikan, Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi), Bogor dengan judul “**IDENTIFIKASI STRUKTUR GEOLOGI DAERAH PANAS BUMI SEMBALUN, NTB BERDASARKAN ANALISIS DATA *SECOND VERTICAL DERIVATIVE (SVD)* ANOMALI GAYA BERAT**”. Pada tahun 2023, pada akhir masa studi penulis melakukan penelitian untuk memperoleh gelar sarjana teknik dengan judul “**DESAIN DAN REALISASI SEISMOGRAF BERBASIS RASPBERRY PI (PIGRAF) UNTUK UJI DETEKSI GEMPA MIKRO**”.

PERSEMBAHAN

Dengan mengucap puji dan syukur kepada Allah SWT, atas berkat rahmat, karunia, serta hidayahnya sehingga terselesaikan skripsi ini dengan lancar.

Skripsi ini saya persembahkan kepada:

Ayah dan Mama tercinta,
SAIFUL ANWAR dan SULASMI

Yang selalu memberikan dukungan, doa, kasih sayang, dan perhatian yang tiada hentinya sampai saat ini kepada penulis. Berkat semua hal yang diberikanlah yang dapat menghantarkan penulis samapi berada di titik ini. Penulis sangat berharap ayah dan mama akan selalu ada disetiap perjalanan/proses dalam kehidupan penulis. Sehingga dapat menyaksikan hal-hal yang membahagiakan serta membaggakan kalian.

Adik-ku tersayang,
FAREL ADITYA

Terima kasih sudah menjadi saudara terbaik, yang selalu memberikan dukungan dan semangat bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Penulis sangat berharap adik dapat menjadi orang baik dan membanggakan penulis dikemudian hari nanti, serta penulis akan terus berusaha keras untuk menemani semua proses mu dalam mencari jati dirimu kelak.

Angkatanku terhebat,
TG19 MAKKOUTANDING a.k.a Keluarga Bapak Putra

Terima kasih telah hadir menjadi bagian paling berkesan dalam kehidupan penulis. Penulis sangat bersyukur dapat menjadi bagian dari kalian, terima kasih untuk semua cerita, dukungan, perjalanan suka duka, dan rasa bangga selama ini.

MOTTO

“Setiap perjalanan akan ada ujian yang memiliki dua pilihan, terus berjalan dan berhasil atau berhenti dan gagal”

-B.J. Habibie

“Jika kamu berbuat baik (berarti) kamu berbuat baik untuk dirimu sendiri. Dan jika kamu berbuat jahat, maka (kerugian kejahatan) itu untuk dirimu sendiri”

-Q.S Al-Isra : 07

“Kesuksesan dan kebahagiaan terletak pada diri sendiri. Teteaplah bahagia karena kebahagiaanmu dan kamu yang akan membentuk karakter kuat untuk melawan kesulitan”

-Helen Keller

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah *Subhanahu Wa Ta'ala*, Yang Maha Kuasa karena berkat rahmat dan hidayah serta karunia-Nya penulis dapat menyusun dan menyelesaikann dengan judul “Desain Dan Realisasi Seismograf Berbasis Rapsberry Pi (Pigraf) Untuk Uji Deteksi Gempa Mikro”. Terima kasih penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah terlibat secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan laporan ini. Penulis pun menyadari mungkin masih terdapat kekurangan di dalam penulisan Skripsi ini, sehingga sangat diharapkan kritik dan saran yang membangun. Semoga yang tertulis di dalam laporan ini dapat memberikan manfaat kepada siapapun, baik kalangan umum maupun akademisi untuk kemajuan ilmu pengetahuan.

Bandar Lampung, 14 Agustus 2023

Penulis,

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Adelia Safitri', written over a light blue horizontal line.

Adelia Safitri

NPM.1955051005

SANWACANA

Puji syukur penulis hanturkan kepada Allah *Subhanahu Wa Ta'ala*, Yang Maha Kuasa karena berkat rahmat dan hidayah serta karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini. Tak lupa sholawat serta salam selalu tercurahkan kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad *Shallallahu 'alaihi wasalam* yang menjadi suri tauladan bagi kita.

Dalam penyelesaian Skripsi ini, banyak pihak yang terlibat dan pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada:

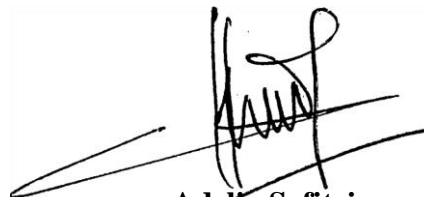
1. Allah *Subhanahu Wa Ta'ala*, yang selalu melimpahkan anugerah-Nya dan memberikan kemudahan yang senantiasa memberkahi hidup penulis.
2. Ayah dan Mama tercinta, Bapak Saiful Anwar dan Ibu Sulasmi yang selalu memberi dukungan, semangat, doa serta melimpahkan cinta dan kasih sayang kepada penulis.
3. Adik tersayang, Farel Aditya yang selalu memberikan dukungan dan semangat kepada penulis.
4. Bapak Karyanto, S.Si., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung sekaligus Dosen pembimbing 1 saya yang telah banyak meluangkan waktu memberikan masukan, koreksi dan pengarahan dalam mengerjakan Laporan Kerja Praktik ini.
5. Bapak Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si., selaku Sekertaris Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung sekaligus Dosen Penguji Skripsi saya yang telah memberikan saran dan dukungannya.
6. Bapak I Gede Boy Darmawan, S.Si., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing 2 saya di Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung yang telah

membimbing, mengarahkan serta memotivasi dalam menjalankan penelitian skripsi.

7. Dosen-dosen Jurusan Teknik geofisika Universitas Lampung yang saya hormati terima kasih banyak untuk semua ilmu yang telah diberikan.
8. Bapak Darno, Bapak Aceng, Bapak Basrowi beserta keluarga yang telah menyambut hangat seperti keluarga sendiri selama saya melakukan penelitian di Way Ratai, Pesawaran.
9. Teman seperjuangan selama melaksanakan penelitian Skripsi Andwina, Airlangga dan Haidar yang selalu saling membantu, menemani dan berdiskusi selama ini.
10. Pemilik NPM 1915051010, 1915051002, 1955051011, yang selalu menemani, mendukung, meluangkan waktu dan memberi semangat kepada penulis.
11. Keluarga Besar Teknik Geofisika 2019 (TGMakKoutanding) yang telah memberikan dukungan dan semangat.
12. Teman seperjuangan dari masa SMA Rahma, Vira, Danang, dan Riski Adi yang telah kebersamai perjalanan dan memberikan *support* penuh kepada penulis.
13. Serta semua pihak yang terlibat, penulis mengucapkan banyak terima kasih.

Bandar Lampung, 14 Agustus 2023

Penulis,



Adella Safitri

NPM.1955051005

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
PERSETUJUAN.....	v
PENGESAHAN	vi
PERNYATAAN.....	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
PERSEMBAHAN.....	x
MOTTO	xi
KATA PENGHANTAR.....	xii
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xviii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Lokasi Penelitian.....	4
2.2. Raspberry PI Zero 2W	4
2.3. GPIO (<i>General Purpose Input-Output</i>) <i>Raspberry Pi</i>	7
2.4. ADS1220.....	8
2.5. GY-NEO6MV2.....	10
2.6. Geofon 4,5 Hz.....	11

2.7. Roadmap Penelitian PiGraf.....	14
III. TEORI DASAR.....	15
3.1. Gelombang Seismik.....	15
3.6.1. Gelombang Badan (<i>Body Wave</i>).....	16
3.6.2. Gelombang Permukaan (<i>Surface Wave</i>).....	16
3.2. Seismologi.....	17
3.3. Seismometer.....	17
3.4. Seismogram.....	19
3.5. Metode Gempa Mikro (<i>Micro-Earthquake</i>).....	19
IV. METODOLOGI PENELITIAN.....	23
4.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	23
4.2. Alat dan Bahan.....	23
4.3. Jadwal Kegiatan.....	23
4.4. Prosedur Penelitian.....	24
4.4.1. Perancangan Elektronik.....	25
4.4.2. Perancangan Sistem Program.....	27
4.4.3. Pengujian (Validasi).....	29
4.5. Diagram Alir.....	31
V. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	32
5.1. Hasil Rancang Bangun Alat.....	32
5.2. Hasil Perancangan Sistem Program Alat.....	41
5.3. Hasil Uji Komponen Alat.....	43
3.6.1. Main Unit.....	43
3.6.2. Sensor Alat.....	44
5.4. Hasil Uji Coba Alat.....	46
5.4.1. Hasil Pengukuran Di Laboratorium.....	46
5.4.2. Perhitungan Frekuensi Alat.....	48
5.4.3. Hasil Pengukuran Di Lapangan.....	51
VI. KESIMPULAN DAN SARAN.....	56
6.1. Kesimpulan.....	56
6.2. Saran.....	57

DAFTAR PUSTAKA	58
LAMPIRAN.....	62

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. GPIO pin pada Raspberry Pi (www.etechnophiles.com , 2023).....	8
2. Pin pada ADS1220 (www.utmel.com).....	9
3. Pin pada GPS NEO-6M (Suryana, 2021).....	11
4. Jadwal Kegiatan Tugas Akhir	24

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta Lokasi Penelitian.....	4
2. Raspberry Pi zero 2W (raspberrypi.org).....	5
3. Pin GPIO Raspberry Pi (www.eTechnophiles.com, 2023).....	7
4. ADS1220 (www.utmel.com).....	9
5. Modul GPS NEO-6M (Last Minute Engineers.com).....	10
6. Geofon 4,5 Hz (www.egl-geo.com).....	12
7. Kurva Respon sensitivitas dan derajat pada Geofon 4,5 Hz (Seis-Tech, 2022)	13
8. Gelombang P (Elsahanai dkk., 2008).....	16
9. Gelombang S (Elsahanai dkk., 2008).....	16
10. Contoh rekaman gempa mikro pada lapangan panas bumi (Nugraha, 2018)	22
11. Rancang elektronik alat.....	26
12. Perancangan sistem program alat.....	28
13. <i>Flowchart</i> hasil uji coba alat.....	30
14. Diagram alir penelitian.....	31
15. (a) Rancang bangun alat menggunakan paralon, (b) Bagian tutup atas dan bawah, (c) Bagian dalam komponen alat.....	32
16. <i>Prototype</i> seismometer v1.0.....	34
17. <i>Prototype</i> seismometer v1.1.....	34
18. Realisasi <i>prototype</i> seismometer v.1.2 (a)Tampak samping (b)Tampak atas	35
19. <i>Prototype</i> seismometer v1.3.....	36
20. Realisasi <i>prototype</i> seismometer v.1.3 (a)Tampak samping (b)Tampak atas	37
21. Rangkaian sistem kabel dalam alat Pigraf.....	38

22. <i>Flowchart</i> sistem program.....	40
23. Laman <i>web local browser</i> <i>Pigraf</i>	42
24. Data pengukuran (a) Laboratorium Instrumentasi Geofisika (b) Lapangan Penelitian Way Ratai.....	42
25. <i>Software</i> <i>PiGraf</i>	43
26. Pengujian voltase <i>Raspberry Pi</i>	44
27. Hasil uji gelombang geofon pada osiloskop	45
28. Hasil data pengukuran <i>PiGraf-01</i> di laboratorium.....	46
29. Hasil data pengukuran <i>PiGraf-02</i> di laboratorium.....	47
30. Hasil data pengukuran <i>PiGraf-03</i> di laboratorium.....	47
31. Hasil data pengukuran <i>PiGraf-04</i> di laboratorium.....	48
32. Hasil perhitungan frekuensi pada alat PG-01	49
33. Hasil perhitungan frekuensi pada alat PG-02	49
34. Hasil perhitungan frekuensi pada alat PG-03	50
35. Hasil perhitungan frekuensi pada alat PG-04	50
36. Peta stasiun pengukuran.....	52
37. Hasil <i>picking</i> data di stasiun PG-01, PG-02, dan PG-04 pada pengukuran tanggal 13 Juli 2023 Pukul 21.01 WIB	54
38. Hasil lokasi episenter gempa bumi stasiun PG-01, PG-02, dan PG-04 pada pengukuran tanggal 13 Juli 2023 Pukul 21.01 WIB	54

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu Negara yang memiliki potensi energi panas bumi terbesar di dunia. Dengan potensi panas bumi sebesar 23,7 GW atau sekitar 40% dari potensi panas bumi di dunia, hingga tahun 2022 pemanfaatan panas bumi hanya sebesar 4,5% dari potensi yang dimiliki. Dengan terus meningkatnya kebutuhan energi yang diiringi oleh bertambahnya populasi penduduk dan perkembangan teknologi. Kebutuhan energi ini mengharuskan pemerintah untuk mengembangkan sumber energi baru terbarukan, salah satunya adalah energi panas bumi (*geothermal*). Energi ramah lingkungan dan tidak akan habis ini yang menjadi salah satu energi alternatif yang dapat diprioritaskan untuk terus dikembangkan sebagai pengganti dari sumber daya fosil yang semakin menipis (ESDM, 2017).

Provinsi Lampung merupakan salah satu daerah yang berpotensi memiliki cadangan energi panas bumi di Indonesia. Hal ini dikarenakan Lampung dilalui oleh jalur gunung api yang merupakan bagian dari jalur pegunungan sirkum Mediterania. Way Ratai, Kabupaten Pesawaran merupakan daerah dengan potensi panas bumi yang ada di Lampung dan belum dieksplorasi secara terpadu. Potensi panas bumi dapat dilihat dari banyaknya manifestasi-manifestasi yang muncul (Suharno dkk., 2016).

Pada eksplorasi panas bumi banyak metode geofisika yang dapat digunakan untuk mencari sumber-sumber prospek panas bumi, salah satunya metode *Micro-Earthquake* (gempa mikro). Metode ini merupakan salah satu metode geofisika pasif yang menangkap gelombang getar yang berasal dari sumber

getar atau sumber gempanya hanya saja melihat sumber getar yang ditangkap. Pada area panas bumi metode MEQ merekam gempa-gempa atau gerakan-gerakan kecil serta mencari frekuensi gempa yang dominan dan biasanya terbentuk akibat induksi yang disebabkan oleh aktivitas simulasi hidraulik, produksi/injeksi, pengeboran dan kegiatan lainnya yang terjadi pada reservoir panas bumi (Halim dkk., 2020). Pada eksplorasi panas bumi, metode MEQ dimanfaatkan untuk menganalisis rekahan berpotensi (sesar aktif) yang memiliki permeabilitas dan porositas tinggi, sehingga dapat memperkirakan daerah yang berpotensi panas bumi dan dapat menentukan posisi bor sumur eksplorasi (Haerudin dkk., 2019).

Pada penelitian kali ini alat yang digunakan untuk mendeteksi gempa mikro (MEQ) yaitu PiGraf. PiGraf merupakan suatu seismograf berbasis Raspberry Pi yang dikembangkan oleh Tim Eksplorasi Way Ratai Teknik Geofisika Universitas Lampung. Alat ini menggunakan tiga sensor geofon untuk merekam event gempa, dalam hal ini yaitu event gempa mikro. Alat ini merupakan pengembangan dari Akselerometer Akselino yang telah dikembangkan sebelumnya oleh Amiruddin dkk (2019). Oleh karena itu, alat PiGraf diharapkan dapat menjadi alat yang mampu mendeteksi gempa mikro untuk dapat menentukan zona aktif panas bumi, dengan harga yang relatif murah, dan teknologi yang dapat terus berkembang.

Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian desain dan realisasi alat yang dapat merekam event gempa mikro berupa seismograf berbasis Raspberry Pi (PiGraf) dengan biaya yang lebih terjangkau dan teknologi yang dapat terus berkembang.

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Membuat rancang bangun alat seismograf berbasis Raspberry Pi (PiGraf).
2. Membuat sistem dan program alat seismograf berbasis Raspberry Pi (PiGraf).
3. Melakukan validasi hasil uji pengukuran alat seismograf berbasis Raspberry Pi (PiGraf) dalam merekam event untuk mendeteksi gempa mikro.

1.3. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan desain rancang bangun dan sistem alat seismograf berbasis Raspberry Pi (PiGraf) yang bertujuan sebagai uji deteksi gempa mikro sebagai aplikasinya.
2. Melakukan validasi alat seismograf berbasis Raspberry Pi (PiGraf) dengan melihat hasil uji pengukuran dalam mendeteksi data event yang terekam.

1.4. Manfaat Penelitian

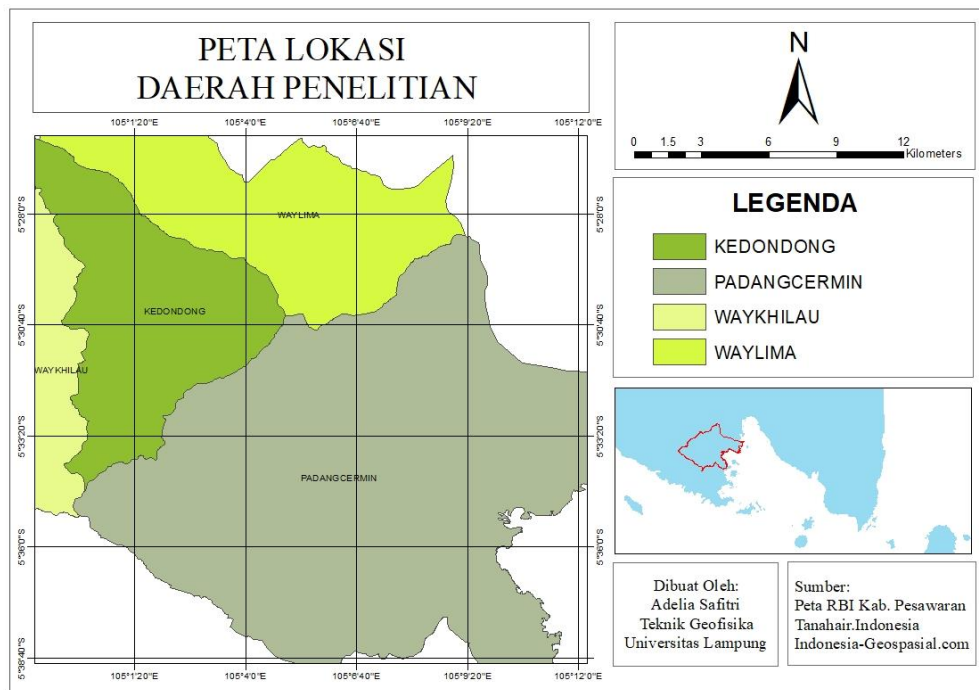
Adapun manfaat dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

Tim eksplorasi Way Ratai Teknik Geofisika Universitas Lampung mampu memproduksi rancang bangun alat seismograf berbasis Raspberry Pi (PiGraf) yang mampu mendeteksi gempa mikro dalam eksplorasi panas bumi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian kali ini dilaksanakan pada lapangan panas bumi Way Ratai, Kecamatan Padang Cermin, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung. Secara geografis lokasi penelitian terletak pada koordinat $5,12^{\circ}$ - $5,84^{\circ}$ LS dan $104,92^{\circ}$ - $105,34^{\circ}$ BT. Berikut lokasi penelitian terlihat pada Gambar 1.

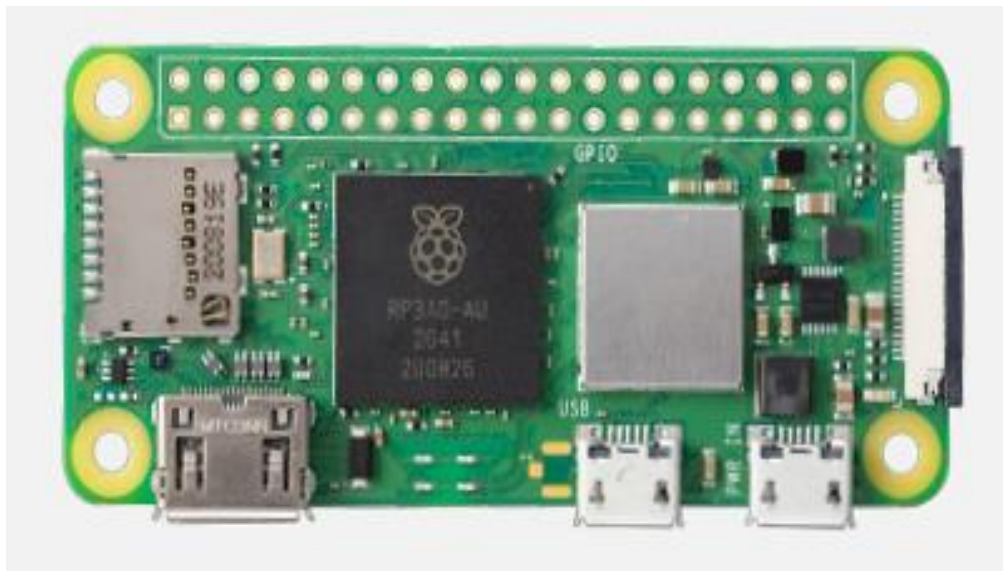


Gambar 1. Peta lokasi penelitian.

2.2. Raspberry Pi Zero 2W

Raspberry Pi merupakan sebuah jenis *single board computer mini*, dengan ukuran dimensi 65mm x 30mm yang dapat berfungsi sebagai sebuah komputer namun dengan ukuran yang kecil. Raspberry Pi Zero 2W adalah board mini computer terbaru dari seri Raspberry Pi Zero. Memiliki ukuran

yang sama dengan versi sebelumnya dan sangat cocok digunakan untuk aplikasi-aplikasi IoT yang memerlukan daya yang kecil, Serta sudah menghubungkan CPU Arm Cortex-A53 quad-core 64-bit dengan clock 1GHz. Dapat dibilang pula bahwa Raspberry tipe ini merupakan Raspberry Pi RP3A0 *system in package* (SiP), mengintegrasikan die Broadcom BCM2710A1 dengan SDRAM LPDDR2 512MB. Prosesor yang telah ditingkatkan pada versi ini memberikan kinerja *single-threaded* 40% lebih banyak. *Power Supply* eksternal dapat diperoleh dari *adaptor DC* dengan tegangan 5V atau 2,5A via *Micro USB Connector*, untuk melalui *header GPIO* dengan tegangan 5V (raspberrypi.org, 2021).



Gambar 2. Raspberry Pi Zero 2W.

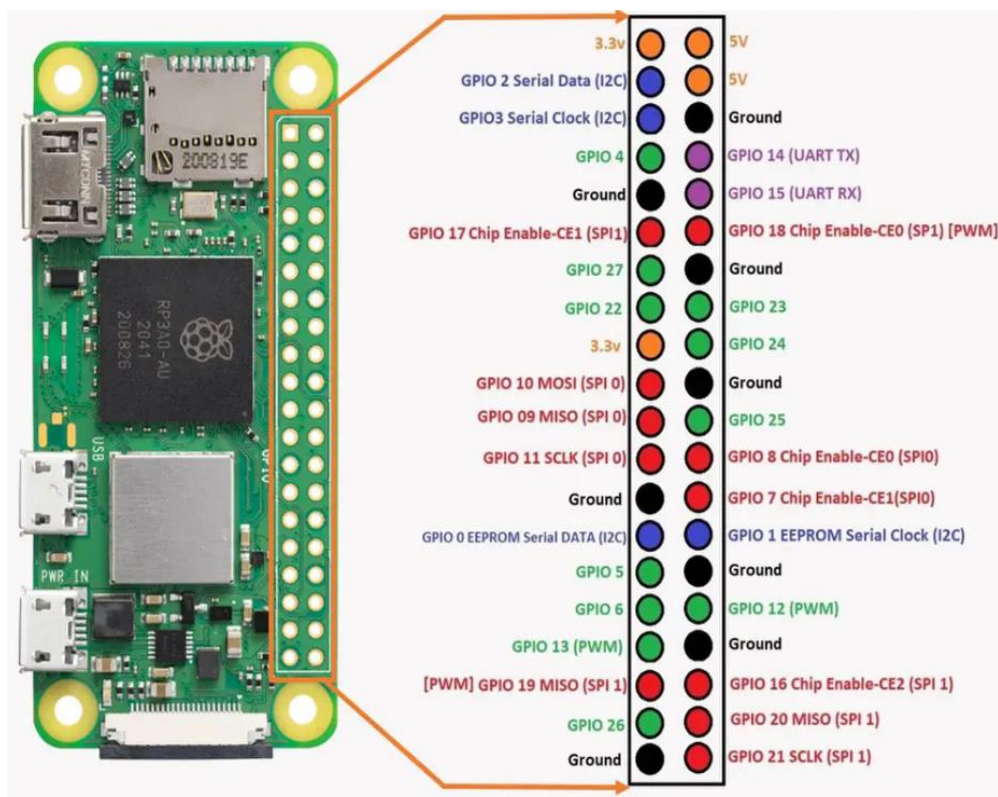
Raspberry Pi Zero 2W sudah dilengkapi dengan konektivitas WiFi LAN nirkabel 2.4GHz dan Bluetooth 4.2, dengan dukungan untuk *Bluetooth Low Energy* (BLE). *Board* Raspberry Pi Zero 2W memiliki slot kartu *microSD*, konektor kamera CSI-2, Port USB *On-The-Go* (OTG), dan *footprint* yang tidak terisi untuk *header GPIO* 40 pin yang kompatibel dengan HAT, didukung melalui soket *micro USB* dan *output* video melalui port mini HDMI. *Power Supply* eksternal dapat diperoleh dari *adaptor DC* dengan tegangan 5V atau 2,5A via *Micro USB Connector*, untuk melalui *header GPIO* dengan tegangan 5V. Pada saat digunakan alat ini harus ditempatkan serta dengan permukaan yang stabil dan datar, non-konduktif atau tidak

diperbolehkan bersentuhan dengan benda konduktif. Kabel dan konektor yang digunakan harus memiliki insulasi yang memadai, hal itu harus diperhatikan karena sambungan perangkat yang tidak kompatibel dapat mengakibatkan kerusakan pada unit. Chipset pada model ini memiliki manajemen suhu yang lebih baik dimana suhu operasi pada Raspberry Pi ini sebesar -20° hingga $+70^{\circ}\text{C}$. Berikut bagian-bagian pada Raspberry Pi 3:

- *Wireless module IC*, menggunakan IC modul *wifi* dengan *Wifi* 2.4 GHz 802.11 b/g/n dan *Bluetooth* 4.2 yang didukung oleh *Bluetooth Low Energy* (BLE).
- *CSI (Camera Serial Interface) connector*, menyediakan antarmuka antara kamera dan prosesor RPI. Modul kamera pi dapat dihubungkan ke konektor CSI ini menggunakan kabel pita 15 pin untuk mengambil gambar dan video definisi tinggi.
- *Micro USB 5V input port 2.0*, untuk menyalakan papan menggunakan *supply 5V*.
- *Micro USB data port 2.0 (to peripherals)*, untuk transfer data dan komunikasi.
- *Mini HDMI port*, memiliki satu *port micro* HDMI yang dapat digunakan untuk menghubungkannya ke monitor atau layar.
- *MicroSD card slot*, hanya mendukung kartu 32GB atau lebih kecil untuk penyimpanan data.
- *RAM (Random Serial Interface)*: berfungsi sebagai ruang penyimpanan sebesar 512 MB LPDDR2 SDRAM.
- *Video: Mini HDMI port, supports PAL and NTSC standard, supports HDMI (1.3 and 1.4), 640 x 350 x to 1920 x 1200 pixels.*
- *USB port: micro USB On-The-Go (OTG) connector, USB HUB expansion.*
- *GPIO (General-Purpose Input/Output)*: pin generik berjumlah 40 pin yang berfungsi sebagai *interface* dengan *device* lain (www.etechnophiles.com, 2023).

2.3. GPIO (General Purpose Input-Output) Raspberry Pi

GPIO (*General Purpose Input-Output*) adalah pin yang digunakan untuk membaca input dan mengontrol *output* berdasarkan kondisi yang berbeda sesuai dengan program yang telah dibuat pada Raspberry Pi. Beberapa pin GPIO dapat digunakan sebagai *input/output* digital dan sebagai antarmuka untuk protocol. Selain itu, pin GPIO juga dapat diakses untuk mengendalikan output perangkat keras, seperti LED, motor, dan relay. Adapun input, Raspberry Pi dapat membaca status tombol, *switch*, dan cepat, atau dapat membaca sensor, seperti suhu, cahaya, dan gerak.



Gambar 3. Pin GPIO Raspberry Pi (www.etechnophiles.com, 2023)

Raspberry memiliki 40 pin yang terdiri dari: 2 pin sebagai sumber tegangan 5 V, 2 pin sumber tegangan 3,3 V, 8 pin ground, 26 pin GPIO dan 2 pin serial (Bacharudin dkk., 2017), seperti terlihat pada Gambar 3. Pada Raspberry Pi terdapat GPIO pin yang dapat digunakan untuk *interface* dengan *device* lain, fungsi GPIO pin di antaranya:

Tabel 1. GPIO pin pada Raspberry Pi (www.eotechnophiles.com, 2023)

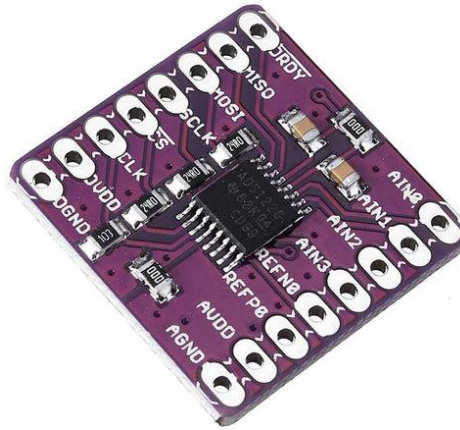
Tipe Pin	Pin GPIO	Keterangan
PWM	GPIO12, GPIO13, GPIO18, GPIO16 SPI0: GPIO9 (MISO), GPIO10 (MOSI), GPIO11 (SCLK), GPIO8 (CE0)/ GPIO7 (CE1).	Komunikasi modul <i>Pulse Width Modulation I (PWM)</i>
SPI	SPI1: GPIO19 (MISO), GPIO20 (MOSI), GPIO21 (SCLK), GPIO18 (CE0)/ GPIO17 (CE1)/ GPIO17 (CE2) Data: (GPIO2), Clock: (GPIO3), EEPROM Data: (GPIO0), EEPROM Clock: (GPIO1)	untuk komunikasi modul dengan <i>Serial Peripheral Interface (SPI)</i> .
I2C		Komunikasi modul dengan <i>Inter-integrated Circuit (I2C)</i>
UART	TX: (GPIO14) RX: (GPIO15)	Komunikasi antara dua mikrokontroler atau komputer.

2.4. ADS1220

ADS1220 merupakan *converter analog* ke digital (ADC) yang memiliki dua input diferensial atau empat ujung tunggal melalui *multiplexer input* yang sangat fleksibel (mux), penguat yang dapat deprogram (PGA) dengan *noise* rendah, dua sumber arus eksitasi yang dapat deprogram, referensi internal, osilator, sisi rendah saklar jembatan, dan sensor suhu presisi. Data yang deprogram hingga 2 kSPS.

Spesifikasi dari ADS1220 adalah:

- a. *Low power:* 415 μ A.
- b. Single-supply operation: 2,3 V to 5,5 V.
- c. Resolusi 24-bit (ENOB 20-bit atau resolusi efektif).
- d. 3,5 mm x 3,5 mm x 0,9 mm QFZ *package*.
- e. Bekerja pada temperatur (-40°C to +125°C)



Gambar 4. ADS1220.

Perangkat ini memiliki dua input diferensial atau empat ujung tunggal melalui multiplexer input fleksibel, noise rendah, amplifier penguatan yang dapat diprogram (PGA), dua sumber arus eksitasi yang dapat diprogram, referensi tegangan, osilator, sakelar sisi rendah, dan sensor suhu presisi. Modul ini juga dapat melakukan konversi pada kecepatan data hingga 200 sampel per detik (SPS) dengan penyelesaian satu siklus. Pada 20 SPS, *filter digital* dapat melakukan penolakan 50-Hz dan 60-Hz secara bersamaan untuk aplikasi industri yang bising. PGA internal pada alat ini menawarkan keuntungan hingga 128 V/V. ADS1220 dapat diaplikasikan untuk mengukur sinyal kecil, seperti termokopel, detector suhu resistansi (RTD), thermistor, dan sensor jembatan (ADS1220, 2016). Pin pada ADS1220 memiliki fungsinya masing-masing sebagai berikut:

Tabel 2. Pin pada ADS1220 (www.utmel.com).

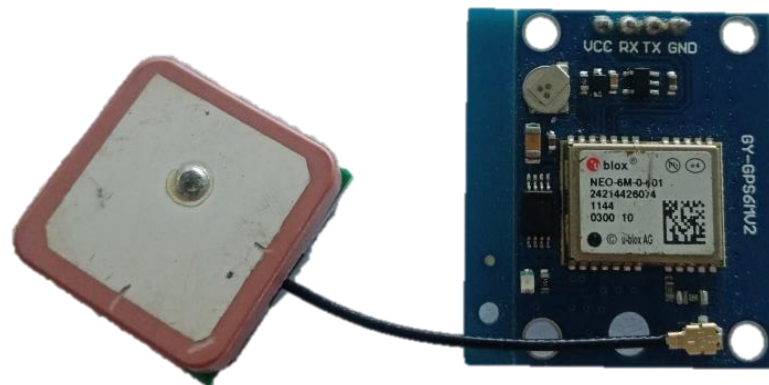
No	Simbol	Keterangan
1	AIN0, AIN1, AIN2, AIN3	<i>Input</i> voltase yang akan diukur
2	REFP0, REFN0	Tegangan referensi eksternal; ‘p’ = positif, ‘N’ = negative
3	AVDD, AGND	Pasokan tegangan analog
4	DRDY	Data <i>Ready</i> Pin, rendah saat data tersedia
5	MISO, MOSI, SCLK, CS	SPI – konektor
6	CLK	Jam <i>eksternal</i>
7	DVDD, DGND	Tegangan <i>digital</i>

2.5. GY-NEO6MV2

Modul GPS (*Global Positioning System*) GY-NEO6MV2 ini berfungsi sebagai penerima GPS yang mendeteksi lokasi dengan menangkap dan memproses sinyal dari satelit navigasi. Modul ini kompatibel dengan APM2 dan APM2.5 dengan EEPROM terpadu yang digunakan untuk menyimpan data konfigurasi (Suryana, 2021).

Spesifikasi modul GPS **GY-NEO6MV2** yaitu:

- a. Jenis penerima: 50 saluran, GPS L1 (1575.42Mhz).
- b. Tingkat pembaruan navigasi 1Hz (maksimum 5Hz).
- c. Waktu tangkap: 27 s Hot start: 1s.
- d. Sensitivitas navigasi: -161dBm.
- e. Suhu operasional: -40 °C ~ 85 °C.
- f. Tegangan operasi: 2,7V – 3.6V.



Gambar 5. Modul GPS NEO-6M.

Berbeda dengan modul GPS lainnya, modul NEO-6M dapat melakukan pembaruan lokasi hingga 5 detik dengan akurasi posisi horizontal 2.5m. Dilengkapi fitur terbaik yang disediakan chip yaitu *Power Save Mode* (PSM). Karena fitur ini konsumsi daya sistem rendah dengan secara selektif mengalihkan bagian penerima *On* dan *Off*, yang akan mengurangi konsumsi daya modul menjadi 11 mA (Suryana, 2021). Berikut bagian-bagian pada GPS GY-NEO6MV2:

- Indikator LED, menunjukkan status *Position Fix* (berkedip pada saat menemukan posisi).
- 3,3V LDO Regulator, tegangan operasi chip sebesar 2,7V hingga 3,6V

dengan toleran 5V sehingga dapat mudah menghubungkan ke mikrokontroler.

- Baterai, dilengkapi baterai tombol isi ulang yang bertindak sebagai super-kapasitor.
- EEPROM, membantu mempertahankan RAM yang didukung dengan baterai BBR (BBR berisi data jam, data posisi terbaru dan konfigurasi modul).
- Antena, digunakan disemua jenis modul yang dilengkapi dengan sensitivitas -161 dBm.
- Konektor U.FL, untuk sambungan antenna.

Tabel 3. Pin pada GPS NEO-6M (Suryana, 2021).

No	Simbol	Keterangan
1	GND	<i>Ground Pin</i>
2	TxD (pemancar)	Untuk komunikasi serial
3	RXD (penerima)	Untuk komunikasi serial
4	VCC	Pemasok daya untuk modul

2.6. Sensor Geofon 4,5 Hz

Geofon merupakan perangkat yang digunakan untuk mendeteksi dan merekam sebuah getaran yang terdapat di bumi (gelombang seismik) yang terdapat pada permukaan tanah. Perangkat ini dapat mengubah gerakan tanah (kecepatan) menjadi tegangan, penyimpangan tegangan yang diukur dari garis dasar disebut respons seismik dan dianalisis untuk struktur bumi (Reynolds, 2011). Geofon mengkonversi pergerakan tanah atau getaran yang didapatkan menjadi sebuah tegangan. Prinsip kerja geofon dalam mengkonversi gerakan menjadi energi listrik yaitu dengan menggunakan prinsip induksi elektromagnetik. Geofon juga banyak digunakan untuk mendeteksi gempa bumi, eksplorasi energi seperti minyak, pertambangan dan sumber daya alam lainnya (Susanti, 2020).

Geofon merupakan sebuah transduser penggerak tanah yang sensitif. Pada seismik eksplorasi, geofon yang umum digunakan adalah tipe *moving coil*,

yaitu kumparan yang bergerak di dalam medan magnet. Prinsip dasar 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” (Maulana dkk., 2020). Prinsip kerja dari geofon adalah adanya gelombang seismik dan getaran yang menyebabkan pegas pada geofon berisolasi. Osilasi dari pegas tersebut yang dapat menyebabkan fluks terjadi karena lilitan yang berubah posisi terhadap magnet atau sebaliknya. Karena adanya fluks maka muncul GGL induksi, yang divisualisasikan dengan bentuk sinyal sinusoidal. Tegangan yang dihasilkan oleh geofon sebanding dengan kuatnya medan magnet yang dihasilkan oleh magnet permanen, jumlah lilitan kawat, diameter kumparan, dan kecepatan gerak kumparan terhadap magnet (Kunardi, 2009).

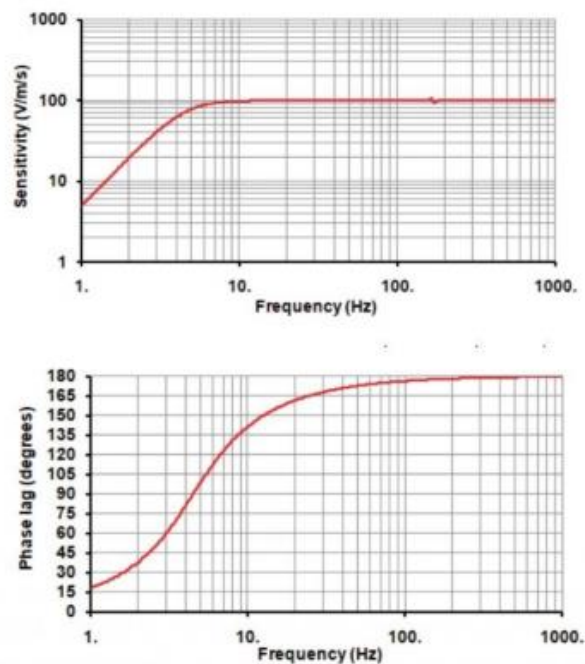


Gambar 6. Geofon 4,5 Hz (www.egl-geo.com, 2023).

Geofon 4,5 Hz merupakan jenis geofon koil bergerak konvensional dengan kesalahan kecil dan stabil. Geofon memiliki dua komponen diantaranya adalah magnet permanen yang diletakkan menyatu dengan permukaan bumi, dan lilitan kawat yang tergantung pada pegas yang bergerak ketika ada gelombang yang datang. Dengan ukuran yang kecil dan ringan cocok untuk eksplorasi seismik strata dan lingkungan geologis dengan kedalaman berbeda, serta banyak digunakan sebagai pemantau getaran industri. Geofon jenis ini

memiliki tingkat *noise* yang dapat diterima hingga 0,3 Hz dan dapat menggantikan dengan biaya yang rendah. Seismometer SP standar untuk aplikasi dimana tidak diperlukan data di bawah 0,3 Hz atau tingkat kebisingan tanah tidak rendah, hal ini terjadi pada perekaman gempa mikro dan banyak studi mengenai gempa susulan. Sinyal seismik yang terekam dalam geofon selalu mengandung *noise* dan penting untuk mengetahui sumber dan cara mengukur *noise* yang ada. Sumber *noise* dapat berasal dari *noise* yang dihasilkan dalam instrumentasi dan *noise* seismik nyata dari getaran bumi. Biasanya, *noise* instrumen jauh di bawah *noise* seismik, meskipun sebagian besar sensor akan memiliki beberapa pita frekuensi di mana *noise* instrumen mendominasi (misalnya akselerometer pada frekuensi rendah) (Havskov dan Alguacil, 2002). Respon dari Sensitivitas dan derajat pada geofon 4,5 Hz dapat di lihat pada Gambar 7.

Response Curves of High Sensitivity Geophone 4.5Hz(ST-4.5A)



Gambar 7. Kurva respon sensitivitas dan derajat pada Geofon 4,5 Hz (Seis-Tech, 2022)

2.7. Roadmap Penelitian PiGraf

PiGraf merupakan alat seismograf berbasis Raspberry Pi yang dikembangkan dari penelitian sebelumnya yang dilakukan pada tahun 2019. Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Amiruddin dkk (2019) yang bergabung pada Tim Eksplorasi Way Ratai Teknik Geofisika Unila. Penelitian tersebut merupakan desain dan realisasi alat Akselino yang merupakan alat akselerometer berbasis Arduino yang dilanjutkan dengan uji validasi oleh Darmawan dkk. (2019) menggunakan sensor akselerometer ADXL345 yang terhubung dengan mikrokontroler Arduino Mega. Dari hasil uji validasi yang dilakukan didapat kesimpulan jika akselerometer berbasis arduino tersebut berhasil mendeteksi pola kerentanan tanah. Alat tersebut dapat melakukan program yang bekerja secara efisien dengan sampling rate pengambilan data maksimal 500/s. Pada saat akuisisi selama 30 menit alat akselino membutuhkan waktu 20 menit untuk mengkonversi data hasil pengukuran, yang mana jika terjadi kegagalan atau alat berhenti bekerja maka alat melakukan konversi ulang (*reboot*).

Berdasarkan penelitian sebelumnya dilakukan pengembangan alat seismograf yang menggunakan sensor geofon (x, y, z) berbasis raspberry pi. PiGraf merupakan alat hasil pengembangan yang dilakukan oleh Tim Eksplorasi Way Ratai Teknik Geofisika Universitas Lampung. Alat ini dapat merekam aktivitas seismik bumi. Dengan komponen Raspberry Pi, ADS1220, dan sensor geofon. Pengembangan yang dilakukan adalah PiGraf dapat melakukan proses pengulangan terus menerus (*looping*), sehingga pada saat terdapat komponen alat yang tidak sinkron, alat tersebut dapat melakukan pengulangan sampai komponen alat berfungsi kembali. Karena pada penelitian sebelumnya memiliki pola kerentanan tanah yang mirip, oleh karena itu harapannya sensor seismometer ini dapat memiliki sensitivitas yang lebih tinggi. Serta dapat mengkonversi data hasil perekaman lebih cepat dengan menggunakan sistem *local browser*.

III. TEORI DASAR

3.1. Gelombang Seismik

Gelombang seismik merupakan gelombang yang merambat melalui lapisan dibawah permukaan bumi, dimana perambatan gelombang ini tergantung pada sifat elastisitas batuan. Gelombang seismik terbagi menjadi dua jenis yaitu gelombang permukaan dan gelombang badan (Telford, 1990). Gelombang yang merambat di permukaan bumi disebut gelombang permukaan (*surface wave*) dan gelombang yang merambat melalui interior bumi disebut Gelombang badan (*body wave*). Gelombang badan yang terekam adalah gelombang P dan gelombang S, sedangkan gelombang permukaan adalah gelombang *love* dan gelombang *Rayleigh* (Susilawati, 2008).

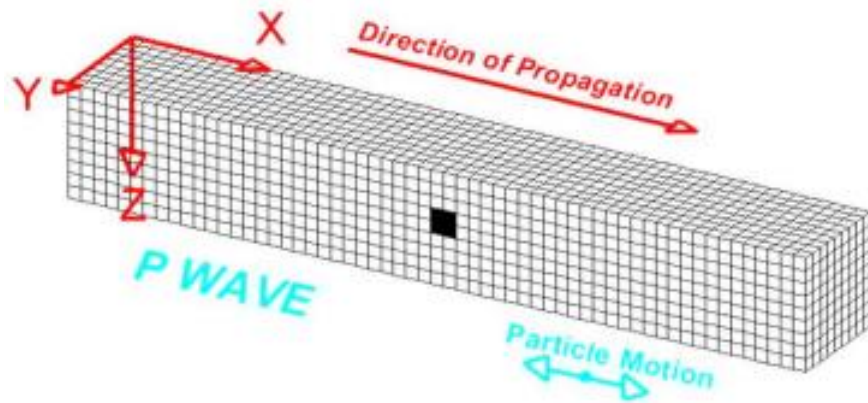
1. Gelombang Badan (*body wave*)

Gelombang badan adalah gelombang yang merambat di bawah permukaan bumi dan arah perambatannya keseluruhan bagian di dalam bumi atau sering disebut sebagai *free wave*. Berdasarkan gerak partikel pada media dan arah penjalarnya, gelombang ini dibedakan menjadi gelombang P dan S.

a. Gelombang P (Primer/longitudinal)

Gelombang P merupakan gelombang yang dapat bergerak melalui lapisan batuan dan fluida dimana perubahan partikel-partikelnya bergerak searah dengan arah rambatannya seperti pada Gambar 5 (Rosyidin, 2013). Gelombang P dapat menjalar dalam segala medium, pada medium padat, cair maupun gas. Gelombang P memiliki kecepatan rambat yang paling besar dibandingkan dengan gelombang seismik lainnya, yang terjadi karena adanya tekanan.

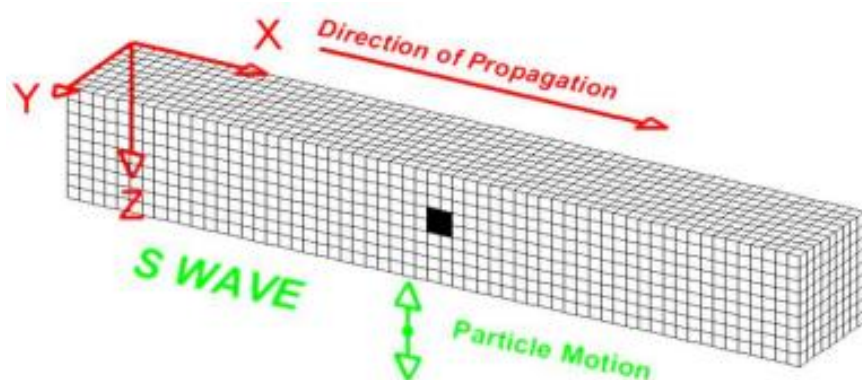
Oleh karena itu, gelombang P memiliki waktu tiba lebih dahulu dari pada gelombang S. kecepatan gelombang P (V_P) adalah $\pm 5-7$ Km/s di kerak bumi, > 8 Km/s di dalam mantel bumi dan inti bumi, $\pm 1,5$ km/s di dalam air, dan ± 0.3 km.s di udara (Kiswiranti, 2019).



Gambar 8. Gelombang P (Waidah dkk., 2021)

b. Gelombang S (Sekunder)

Gelombang S merupakan gelombang yang memiliki gerak partikel tegak lurus terhadap arah rambatnya serta waktu tibanya setelah gelombang P seperti Gambar 9. Dari arah osilasi partikel tegak lurus dengan arah rambatnya dan terjadi perubahan bentuk tanpa perubahan volume. Gelombang ini tidak dapat merambat pada fluida, yang menyebabkan pada inti bumi bagian luar tidak dapat terdeteksi. Kecepatan gelombang S (V_S) adalah $\pm 3-4$ km/s di kerak bumi, $> 4,5$ km/s di dalam mantel bumi, dan $2,5-3$ km/s di dalam inti bumi (Kiswiranti, 2019).



Gambar 9. Gelombang S (Waidah dkk., 2021)

3.2. Seismologi

Seismologi merupakan ilmu yang mempelajari gempa bumi dan struktur dalam bumi dengan menggunakan gelombang seismik yang dapat ditimbulkan dari gempa bumi atau sumber lain. Tidak hanya itu seismologi juga mempelajari tentang kajian gelombang-gelombang yang muncul akibat gempa bumi maupun gempa buatan serta kajian tentang parameter-parameter yang dapat disimpulkan dari penjalaran gelombang (Susilawati, 2008).

Menurut Kiswiranti (2019) seismologi merupakan ilmu yang mempelajari tentang pembangkit, propagasi, dan perekaman gelombang elastik dalam bumi. Seismologi juga berhubungan langsung dengan proses fisik yang menyebabkan gempa bumi dan cara untuk mengurangi dampak destruktifnya terhadap masyarakat. Metode ini juga merupakan metode yang digunakan untuk memetakan interior bumi dan mempelajari distribusi sifat fisik. Keberadaan kerak bumi yang dangkal, mantel yang lebih dalam, inti luar cair, dan inti dalam yang solid disimpulkan bahwa variasi dalam kecepatan seismik dengan kedalaman. Seismologi memberikan gambar kerak rinci yang mengungkapkan informasi tentang lokasi sumber daya ekonomi seperti minyak dan mineral. Untuk lebih dalam di bumi, seismologi menyediakan proses konveksi mantel.

3.3. Seismometer

Seismometer adalah sensor yang mengkonversi gerakan tanah kedalam bentuk sinyal. Menurut Haerudin. dkk (2019) Seismometer merupakan alat atau sensor getaran yang mampu mendeteksi gempa bumi atau getaran pada permukaan tanah. Massa yang digantung dengan tali akan cenderung diam jika penggantungnya bergetar secara horizontal bersama dengan tanah, karena massa mempunyai kelembaman. Sedangkan, sistem masa yang digantung dengan pegas pada prinsipnya dapat dipakai untuk seismometer komponen vertikal. Oleh karena itu, prinsip dasar seismometer adalah ayunan massa atau pendulum.

Dalam perancangan seismometer merupakan *noise* atau bising. *Noise* akan mempengaruhi sinyal gelombang yang diinginkan terutama sinyal teleseismik yang kecil. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi seperti pasang bumi padat dari bulan dan matahari, fluktuasi suhu dan tekanan atmosfer, badai, aktivitas manusia dan lain-lain. *Noise* terdapat dalam periode 1 sampai 10 detik atau sering disebut sebagai gelombang mikroseismik (Kiswiranti, 2019). Seismometer menggunakan prinsip inersia, dimana alat dirancang untuk bereaksi terhadap gerakan bumi dalam arah tertentu seperti merespon gerakan vertikal atau horizontal (Wadiah dkk., 2021).

Seismometer merupakan representasi visual dari pergerakan tanah di suatu titik pada ruang sebagai fungsi dan waktu. Seismometer sangat sensitif terhadap *event* gempa lokal/mikro maupun gempa lokal/regional terutama pada sinyal gempa yang kuat, atau bisa dibilang bahwa seismometer dapat merekam getaran lemah yang diradiasikan oleh gempa mikro. Seismometer juga dapat merekam kejadian gempa dengan magnitude kecil dengan jarak episenter yang jauh, akan tetapi tidak dapat merekam amplitudo yang besar dari gempa yang berkekuatan sangat kuat. sensor seismometer dibagi menjadi tiga kategori, yaitu *short-period* (SP) mengukur kisaran frekuensi sekitar 0,1 sampai 100 Hz dengan *corner frequency* 1 Hz, *broadband* (BB) memiliki respon datar terhadap kecepatan tanah dengan kisaran frekuensi 0,01 sampai 50 Hz, dan *very broadband* (VBB) dapat digunakan untuk mengukur pasang surut bumi dengan kisaran frekuensi 0,001 sampai 10 Hz. Pengamatan gempa bumi menggunakan jaringan seismometer ini bertujuan untuk studi struktur bumi global, regional dan lokal, eksplorasi sumber daya alam, monitoring seismisitas dan lain-lain (Nugraha, 2018).

Prinsip dasar seismometer, massa yang digantung dengan tali akan cenderung diam jika penggantungnya bergetar secara horizontal bersama dengan tanah, karena mempunyai kelembaban. Oleh karena itu, sistem massa yang tergantung dengan pegas pada prinsipnya dapat dipakai sebagai komponen vertikal seismometer. Dengan demikian, prinsip dasar seismometer adalah

ayunan massa atau pendulum, sedangkan sistem perekam dari seluruh rangkaian disebut dengan seismograf (Kiswiranti, 2019).

3.4. Seismogram

Seismogram adalah hasil dari seismograf yang berupa rekaman gerakan tanah sebagai fungsi terhadap waktu. Data seismogram ini merupakan komponen dasar dalam proses inversi untuk mendapatkan struktur dan sifat fisik medium bumi yang dilewati gelombang. data seismogram dapat difilter untuk mengisolasi dan memberikan rekaman yang sangat bagus dari dua sinyal yang saling berdempet (Kiswiranti, 2019).

Seismogram merupakan hasil rekaman berupa pola garis-garis bergelombang sebagai visualisasi gerakan tanah yang tercatat oleh jarum seismograf. Pada tampilan seismogram, energi gelombang yang terekam oleh seismograf diindikasikan terjadinya lonjakan pada pola garis tersebut atau yang disebut dengan fase. Pada umumnya, bagian awal seismogram menampilkan event-event gelombang P dengan indikasi amplitude lebih kecil dan periode lebih pendek daripada event-event yang akan muncul. Ketika terjadinya gempa bumi, gelombang-gelombang akan terekam oleh seismogram pada kedudukan (koordinat) dan waktu (*arrival time*) yang sudah diketahui sehingga waktu tempuh untuk setiap gelombang dapat ditentukan (Susilawati, 2008).

3.5. Metode Gempa Mikro (*Micro-Earthquake*)

Metode MEQ merupakan salah satu metode geofisika yang memanfaatkan sumber gelombang seismik natural dan berfrekuensi rendah. Pengukuran metode MEQ hampir sama dengan metode seismik, yaitu dengan menangkap gelombang getar yang berasal dari sumber getaran atau sumber gempa hanya saja melihat dari sumber yang ditangkap. MEQ merupakan metode pasif yang digunakan pada area panas bumi untuk merekam gempa-gempa atau gerakan-gerakan kecil dan mencari frekuensi gempa yang dominan yang terbentuk karena induksi dari aktivitas simulasi hidrolik, produksi/injeksi, pengeboran

dan kegiatan lainnya pada reservoir panas bumi. Dapat disimpulkan pula bahwa metode ini merekam sinyal yang akan dibaca sebagai event-event seismik (gempa mikro) yang ada di daerah tersebut (Halim dkk., 2020).

Pada proses karakteristik gempa bumi mikro, ada beberapa parameter gempa yang diidentifikasi yaitu waktu tiba gelombang P (t_p) dan waktu tiba gelombang S (t_s) yang digunakan sebagai penentu posisi sumber gempa. Hal yang perlu dilakukan adalah pemilihan data yang baik dimana terlihat jelas t_s dan t_p serta tidak terputus pada *event* gempanya, dan sinyal gempa mikro dengan selisih t_s-t_p sekitar lebih dari 3 sekon. Terjadinya gempa mikro pada lapangan panas bumi dapat disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya zona lemah yang terbuka atau bergeser dari air injeksi dan meningkatnya tekanan pada batuan, sehingga menghasilkan intensitas gempa yang semakin tinggi dengan bertambahnya tekanan dan volume injeksi. Selanjutnya, karena adanya kontak langsung air dingin dengan batuan beku panas (*heat source*). Serta berkurangnya tekanan pori yang mengakibatkan menutup pori batuan reservoir karena kehilangan fluida pengisi pori batuan akibat produksi fluida (Salim dkk., 2013).

Dalam eksplorasi panas bumi metode MEQ digunakan untuk meneliti retakan berpotensi (sesar aktif) yang memiliki permeabilitas dan porositas tinggi, sehingga dapat memperkirakan daerah prospek panas bumi dan membantu menentukan posisi bor sumur eksplorasi. Sedangkan dalam produksi, gempa mikro dapat dipantau berdasarkan pola kejadian gempa mikro yang dipantau dan melakukan re-injeksi air, serta dapat mengetahui pengisian reservoir secara keseluruhan yang dipengaruhi oleh karakteristik pengisian recharge retakan-retakan besar (Hilyah, 2010).

Menurut Nugraha (2018), mikroseismik atau gempa mikro atau dikenal sebagai MEQ adalah metode geofisika yang memanfaatkan gelombang seismik yang diradiasikan oleh gempa mikro untuk dapat mengetahui kondisi struktur bawah permukaan. Sumber gempa dapat berasal dari aktivitas

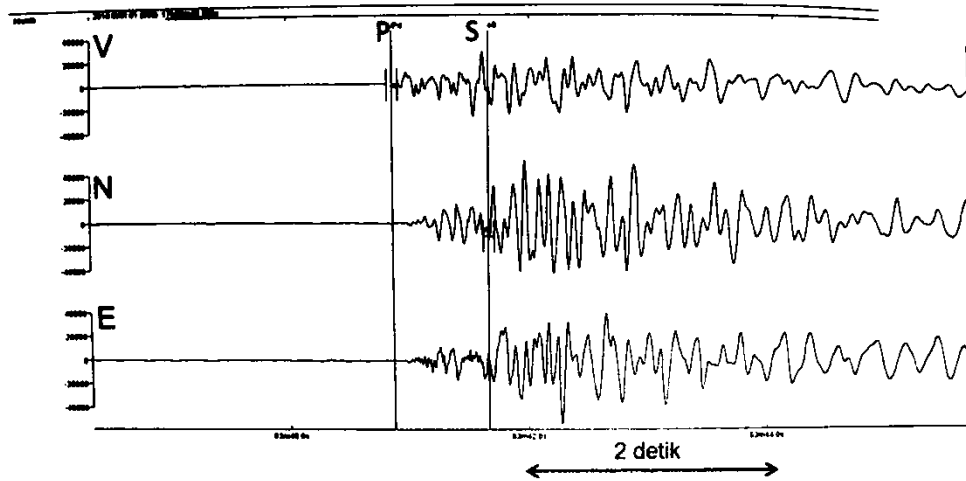
vulkanisme, struktur geologi/tektonik dan *induced seismicity*. Pada studi gempa mikro gelombang yang umum digunakan adalah gelombang badan (*body wave*) yaitu gelombang P dan S yang teramati pada rekaman seismogram. Dalam monitoring gempa mikro saat ini dapat diaplikasikan pada industri *geothermal*, minyak dan gas bumi, tambang mineral serta *unconventional resource* seperti *shale gas* dan *coal Bed Methane* (CBM).

Pada lapangan *geothermal* gempa mikro telah digunakan untuk mempelajari sistem *geothermal* pada saat eksplorasi dan monitoring. Untuk metode monitoring gempa mikro pada lapangan panas bumi diaplikasikan pada saat proses peningkatan permeabilitas pada zona reservoir *geothermal* melalui aktivitas *hydro fracturing* dengan menginjeksi fluida tekanan tinggi melalui sumur injeksi dengan tujuan membuat jaringan rekahan batuan yang baru. Metode yang telah dikembangkan dengan memanfaatkan data gempa mikro pada lapangan panas bumi, diantaranya:

1. Penentuan lokasi hiposenter untuk memberikan informasi mengenai zona rekahan, zone permeabilitas dan arah injeksi fluida di sekitar reservoir.
2. Tomografi seismik untuk menentukan struktur kecepatan seismik (V_p , V_s , rasio V_p/V_s , dan rasio *Poisson's*) bawah permukaan di sekitar zona reservoir.
3. Analisis mekanisme fokus untuk memberikan informasi mengenai *strike* dan *dip* dari sesar lokal serta arah pergerakan bidang sesar.
4. Analisa *shear wave splitting* (SWS) untuk menganalisis gelombang S ketika melewati zona rekahan.
5. Penentuan magnitude dan *b-wave* untuk mengetahui kekuatan gempa mikro pada saat proses injeksi fluida dan ekstraksi *steam*.
6. Tomografi atenuasi seismik yang mana rekaman gelombang P dan S dari gempa mikro digunakan untuk menentukan struktur atenuasi di sekitar zona reservoir.

Contoh rekaman gempa mikro yang terekam pada lapangan panas bumi di Indonesia pada seismogram dengan tiga komponen (V, N-S, E-W). Waktu tiba gelombang P di *pick* pada komponen vertikal, sedangkan waktu tiba

gelombang S di *pick* pada komponen horizontal (N-S, E-W). Dapat dilihat pada Gambar 10 bahwa gempa mikro mempunyai selisih waktu tiba antar P dan S kurang dari 3 detik.



Gambar 10. Contoh rekaman gempa mikro pada lapangan panas bumi (Nugraha, 2018).

IV. METODOLOGI PENELITIAN

4.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu dan tempat penelitian dilaksanakan pada:

Tempat : Laboratorium Instrumentasi Geofisika Teknik Geofisika Universitas
Lampung.

Alamat : Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No. 1 Gedong Meneng, Kec.
Rajabasa, Rajabasa, Kota Bandar Lampung, Lampung.

Tanggal : Maret – Agustus 2023

4.2. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Laptop.
2. Raspberry Pi Zero 2W.
3. ADS1220.
4. Sensor Geofon.
5. Modul GPS GY-NEO6MV2.
6. Kabel, tombol power, tabung dan Plat Aluminium.
7. *Power Supply* dan *bubble waterpass*.
8. *Software* Geopsy.
9. *Software* Pigraf.
10. *Software* SeisGram2K70

4.3. Jadwal Kegiatan

Adapun rincian waktu penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.

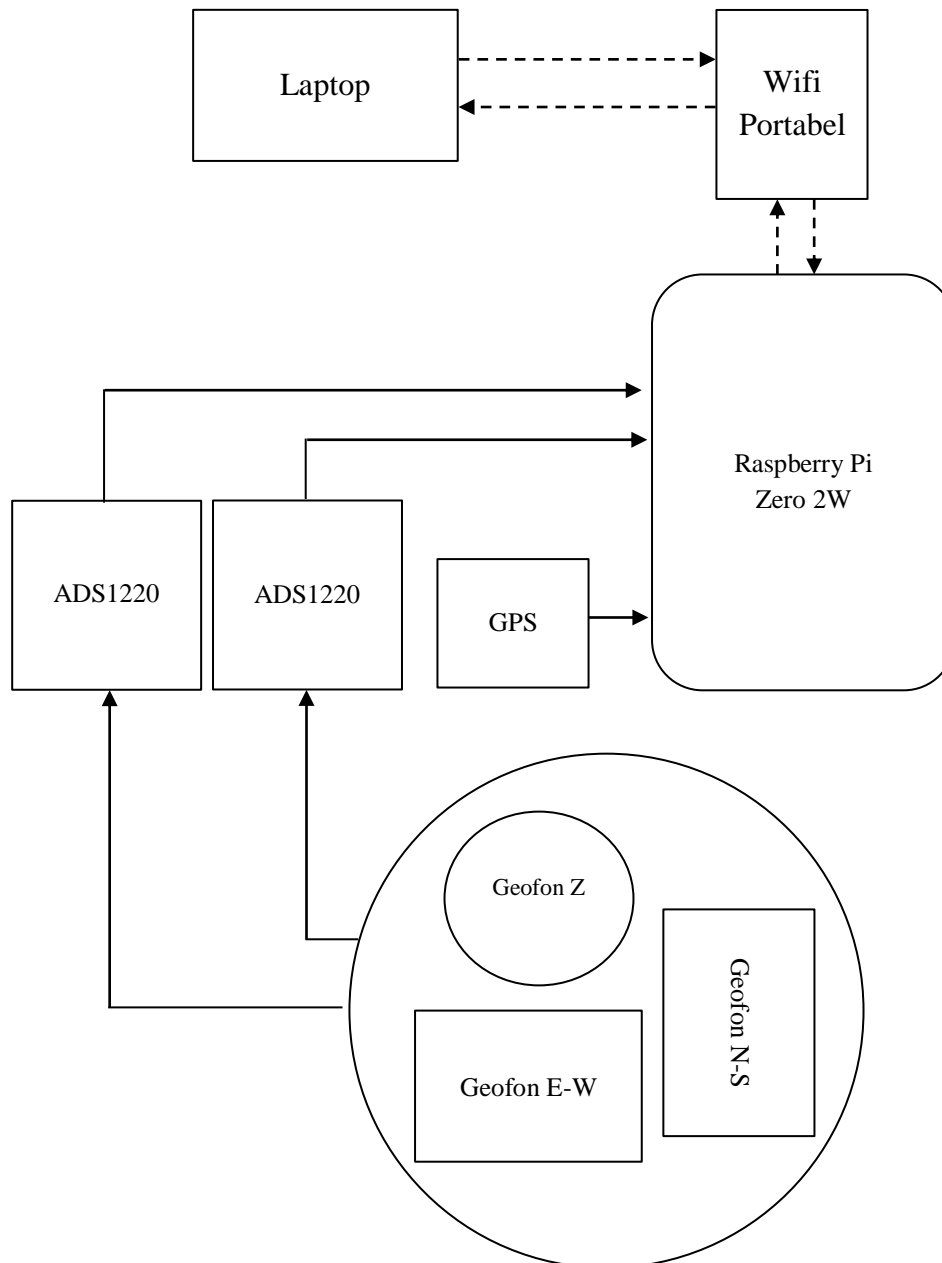
4.4. Prosedur Penelitian

4.5.1. Perancangan Elektronik

Rangkaian komponen yang digunakan pada perancangan kali ini terdiri dari sensor geofon, ADS1220, *microcontroller* Raspberry Pi Zero 2W, GPS, dan sistem power. rangkain ini memerlukan daya eksternal pada rangkaian ini sebesar 5V – 12V. Sumber listrik yang dapat digunakan adalah baterai atau aliran listrik AC dengan *adaptor*. Untuk dapat mengetahui alat dapat bekerja dengan normal, dapat dilihat dari lampu LED pada *power on/off* serta data yang terekam dapat di unduh pada saat menghubungkan sinyal wifi antara laptop dan alat yang akan secara otomatis masuk pada sistem *local browser Pigraf*.

Rancang bangun alat ini berbentuk silinder dengan diameter 11,5 cm dan tinggi 22 cm, yang terbagi menjadi tiga bagian yaitu bagian atas, tengah dan bawah. Pada bagian atas terdapat sistem power, pada bagian tengah sebagai *main unit*, dan pada bagian bawah terdapat sensor. Pada bagian atas terdapat GPS, *power socket*, *power on/off*, dan *bubble waterpass*. GPS berfungsi sebagai informasi status waktu secara langsung pada saat pengukuran dan titik koordinat lokasi. Pada sistem power terbagi menjadi *power socket* berfungsi sebagai penghubung daya eksternal dengan alat, *power on/off* berfungsi sebagai tombol *on/off* dari alat yang dilengkapi dengan lampu LED yang berfungsi untuk melihat alat dalam keadaan hidup atau mati. *Bubble waterpass* berfungsi untuk *leveling* alat yang membuktikan apakah alat dalam keadaan rata. Pada bagian tengah merupakan main unit yang terdiri dari *microcontroller* Raspberry Pi, dan ADS1220. Raspberry berfungsi sebagai logging data dan tempat penyimpanan data hasil rekam. ADS1220 berfungsi sebagai pencacah data gelombang hasil rekaman alat dan *converter analog* ke digital (ADC). Pada bagian bawah terdapat sensor geofon 4,5 Hz sebagai sensor yang merekam sebuah getaran yang terdapat di bumi.

Untuk perencanaannya, tubuh alat terbuat dari alumunium yang dapat menahan getaran, melindungi sensor dan *main unit* dari air dan rayap. Pada bagian bawah menggunakan plat besi agar dapat merambatkan getaran dan tidak meredam getaran. Serta dilengkapi pula dengan kaki besi penyangga alat yang dapat berfungsi sebagai penyangga dan *leveling*. Perancangan elektronik alat dapat dilihat pada Gambar 11.



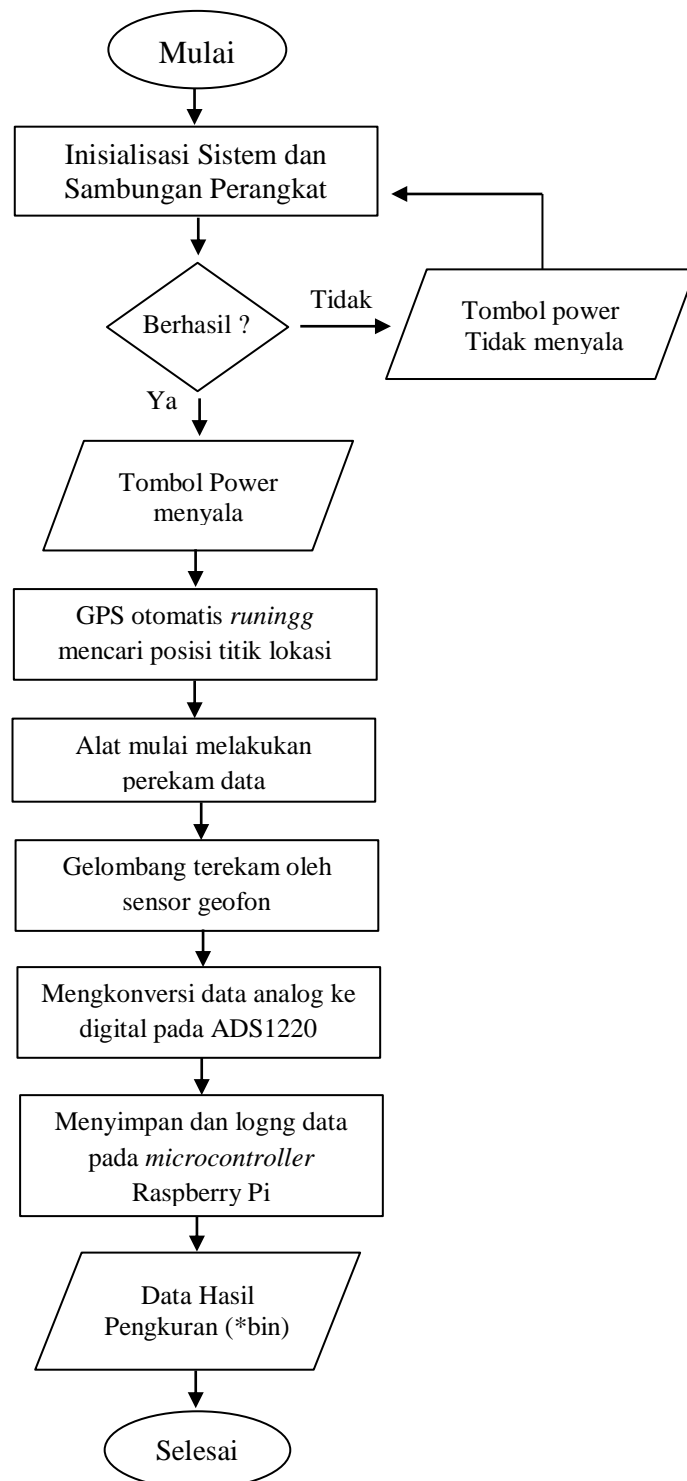
Gambar 11. Rancang elektronik alat.

4.5.2. Perancangan Sistem Program

Pada perancangan sistem program ini, alat dibuat agar dapat merespon terhadap getaran horizontal (E-W), (N-S) dan vertikal (Z) yang dibaca melalui sensor geofon berdasarkan domain waktu bersamaan dengan bekerja komponen GPS sebagai pemberi informasi waktu (*clock*) dan titik koordinat lokasi penelitian.

Pengaturan program pertama, yaitu melakukan pengecekan masing-masing perangkat apakah dapat bekerja dengan baik mulai dari RCT, *main unit* (*microcontroller* Raspberry Zero 2W dan ADS1220, dan sensor geofon. Jika terdapat komponen yang tidak tersambung atau tidak terbaca, maka konfigurasi sistem akan mengulang terus (*looping*) hingga komponen tersambung dengan baik. Kemudian pengambilan data dari sensor yang dilakukan terus menerus dalam domain waktu. untuk sampling waktu pengukuran dapat diatur pada program dalam satuan *milisecond*.

Sistem kerja alat dimulai dari sensor geofon merekam gelombang yang terukur akan langsung terhubung *microcontroller* Raspberry sebagai logging data dan tempat penyimpanan data hasil rekam, yang dibantu oleh ADS1220 untuk mencacah data hasil perekaman. Kemudian data hasil pengukuran akan terekam kedalam suatu *file* .bin yang diurutkan sesuai domain waktu, yang akan diubah kedalam format .mseed atau .sac. Susunan file yang ditulis dalam *file* data .bin serupa pengambilan data getaran pada sumbu x, y, z dan waktu pengukuran (years, month, date, hours, minutes, *second*, *millisecond*). Perancangan sistem program dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Perancangan sistem program alat.

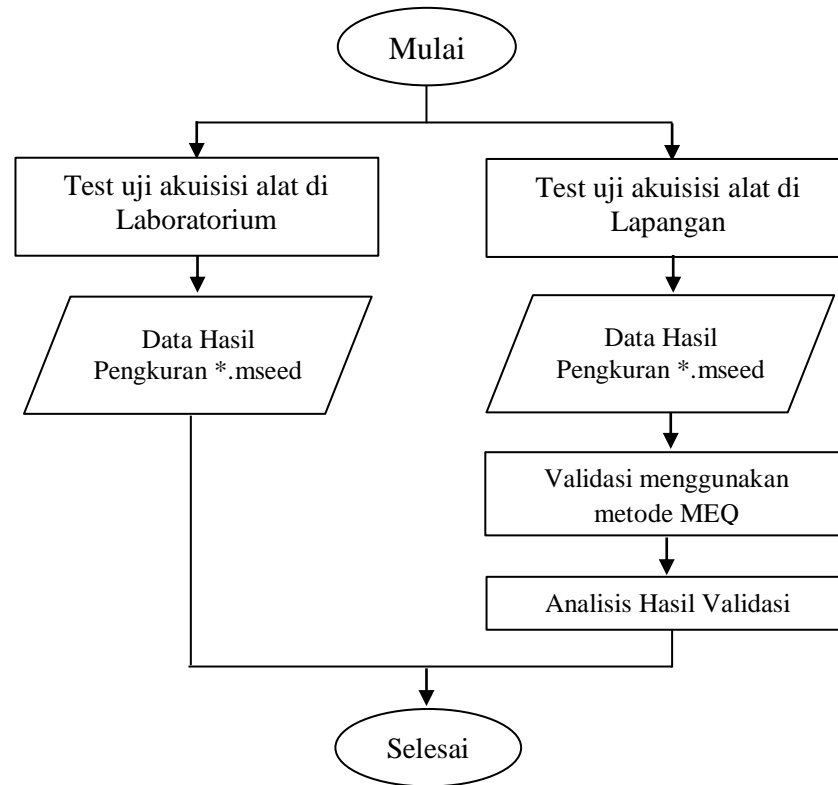
4.5. Pengujian (Validasi)

Uji coba alat ini dilakukan agar dapat mengetahui kemampuan dan sistem alat yang dirancang pada penelitian kali ini. pengujian ini dilakukan pada saat semua sistem dan rancang bangun sudah selesai dibuat, selanjutnya akan melihat bagaimana kinerja alat dalam merekam gelombang pada saat pengukuran. Pada penelitian ini uji alat diharapkan dapat mendeteksi *event* gempa mikro, oleh karena itu validasi pengujian alat menggunakan metode MEQ. Metode MEQ merupakan salah satu metode geofisika yang memanfaatkan sumber gelombang seismik natural dan berfrekuensi rendah. Pada proses karakteristik gempa bumi mikro, ada beberapa parameter gempa yang diidentifikasi yaitu waktu tiba gelombang P (t_p) dan waktu tiba gelombang S (t_s) yang digunakan sebagai penentu posisi sumber gempa (Salim dkk., 2013).

Tahap pertama yang dilakukan dalam untuk mengidentifikasi adanya *event* yang terekam adalah pemilihan *event* dan *Picking* fasa. Pemilihan *event* bertujuan untuk menyeleksi *waveform* pada 4 stasiun pengukuran seismograf berbasis Raspberry Pi (piGraf), yang menghasilkan data waktu tiba gelombang P dan gelombang S. *Event* yang dipilih minimal terekam oleh 3 stasiun. Selanjutnya, *picking* fasa dilakukan untuk menentukan waktu tiba dan menentukan gelombang untuk mengklasifikasikan *event* gempa mikro. Salah satu *filter* yang dapat digunakan adalah *bandpass filter*, dengan menggunakan *filter* ini gelombang yang memiliki rentang frekuensi gelombang dan dapat menghilangkan *noise* yang ikut terekam. Hal yang perlu diperhatikan pada saat *picking* adalah Gelombang P datang lebih awal dibanding gelombang S dan Kedatangan gelombang S diketahui berdasarkan kenaikan amplitudo gelombang yang sebelumnya telah tampak melemah.

Selanjutnya menentukan episenter dengan metode lingkaran tiga stasiun, yang menggunakan selisih waktu tiba gelombang P dan gelombang S ($T_s - T_p$). Pada metode ini daerah yang dibatasi oleh perpotongan ketiga lingkaran yang ditarik hingga titik perpotongan yang membentuk segitiga. Hasil dari

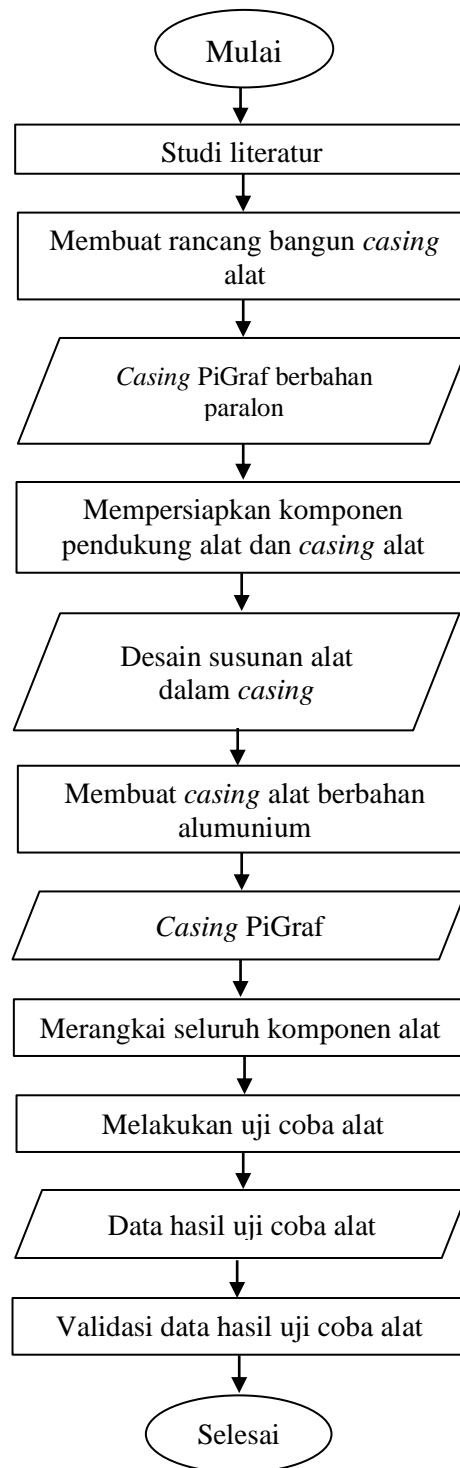
perpotongan tersebutlah yang disebut episenter gempa dan di dapat pula jarak episenter pada masing-masing stasiun perekaman.



Gambar 13. Flowchart uji coba alat.

4.6. Diagram Alir

Adapun diagram alir pada penelitian ini pada Gambar 14 dibawah ini.



Gambar 14. Diagram alir penelitian.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil rancang bangun alat seismograf berbasis Raspberry Pi (Pigraf) berbentuk silinder dengan diameter 11,5 cm dan tinggi 22 cm. Penggunaan alumunium pada rancang bangun alat bertujuan agar tubuh alat dapat menahan getaran, melindungi sensor dan main unit dari air dan rayap. Dengan ukuran tersebut, komponen alat dapat disusun secara efisien dan dapat bekerja dengan optimal selama pengukuran berlangsung.
2. Rancang bangun sistem dan program alat seismograf berbasis Raspberry Pi (Pigraf) berhasil dilakukan dimulai dari pemasangan seluruh komponen modul elektronik, membuat program kerja alat secara *looping* dan energi yang dibutuhkan saat alat bekerja merekam gelombang dengan *sampling rate* pengambilan data maksimal 100/s.
3. Dari hasil uji coba alat, dihasilkan bahwa alat telah berfungsi dengan baik selama pengoperasian alat dilapangan. Pada salah satu data terekam pada empat stasiun yaitu stasiun PG-01, stasiun PG-02, stasiun PG-03 dan stasiun PG-04. Akan tetapi respon dari gelombang seismik mikro masih kurang terekam dengan baik, hal ini dipengaruhi oleh *noise* yang ada di sekitar stasiun seperti aktivitas warga, cuaca hujan, aliran air sungai dan gelombang dari pasang surut laut.

6.2. Saran

Penelitian ini dapat dijadikan acuan dalam pengembangan alat seismograf berbasis Raspberry Pi, dengan melakukan berbagai uji coba dan memaksimalkan kapasitas yang ada pada sistem PiGraf. Untuk pengembangan selanjutnya, diperlukan penyempurnaan sistem perekaman sinyal gelombang pada alat dan kalibrasi alat, serta memperhatikan penempatan stasiun dan kondisi musim untuk meminimalisir *noise* yang terekam selama pengukuran.

DAFTAR PUSTAKA

- ADS1220. 2016. *ADS1220 4-Channel, 2-kSPS, Low-Power, 24-Bit, ADC with Integrated PGA and Reference. Texas Instruments.* <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1220.pdf>, Diunduh pada 24 April 2023 pukul 12.34 WIB dari
- Amiruddin, A., Suharno, dan Karyanto. 2019. Desain dan Realisasi Accelerometer Berbasis Arduino Sebagai Instrumen Pendeteksi Mikrotremor. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, Vol.03, Hal: 162-173.
- Darmawan, I. G B., Mulyasari, R., Amirudin, A., Efendi, D. S., dan Suharno. 2019. Uji Validasi Instrumen Akselerometer ADXL345 untuk Pengukuran Kerentanan Gempa dengan Metode HVSr. *Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri-SINTA 2019*.
- Eglgeo. 2023. *Introduction to Geophone element Sensor.* <https://www.eglgeo.com/productview/geophone-element-sensor.html>, Diakses pada 2 Mei 2023 pukul 13.00 WIB
- eTechnophiles. 2023. *RPI Zero 2W Board Layout: GPIO Pinout, Specs, Schematic in detail.* <https://www.etechnophiles.com/rpi-zero-2w-board-layout-pinout-specs-price/>, Diakses pada 11 Juli 2023 pukul 14.30 WIB.
- ESDM. 2017. *Potensi Panas Bumi Indonesia Jilid 1 (1st ed.)*. Direktorat Panas Bumi.

- Etechnophiles. 2023. *RPI Zero 2W Board Layout: GPIO Pinout, Specs, Schematic in detail*. <https://www.etechnophiles.com/rpi-zero-2w-board-layout-pinout-specs-price/>, Diakses pada 11 Juli 2023 pukul 14.30 WIB.
- Haerudin, N., Alami, F., dan Rustadi. 2019. *Mikroseismik, Mikrotremor Microearthquake dalam ilmu kebumihan*. Bandar Lampung: Pusaka Media.
- Halim, G. R., Utama, W., dan Mariyanto, M. 2020. Uji Lokasi Hiposenter MicroEarthquake (MEQ) dengan Metode Inversi Simulated Annealing pada Lapangan Panas Bumi “XX.” *Jurnal Geosaintek*, Vol. 6, No.2, Hal: 71–76.
- Havskov, J dan Alguacil, G. 2002. *Instrumentation in Earthquake Seismology*. Spain : University of Granada.
- Hilyah, A. 2010. Studi Gempa Mikro untuk mendeteksi rekahan dia area panas bumi Kamojang Garut. *Jurnal fisika dan Aplikasinya*. Vol. 6, No. 2.
- Maulana, L., Asep S., dan Endang, R. 2020. Penguat Sinyal Geophone Portable Untuk Sistem Pengukuran Gelombang Seismik. *e-Proceeding of Engginer*, Vol.7, No.2.
- Nugraha, A. D. 2018. *Mikroseismik*. Bandung: Insitut Teknologi Bandung Press
- Kiswiranti, D. 2019. *Seismologi (Dasar-dasar Seismologi dan Aplikasinya)*. Yogyakarta: Institut Sains & Teknologi Akprind Yogyakarta.
- Kunardi, M. 2009. Perancangan Sistem Akuisisi Data Gelombang Seismik Berbasis Mikrokontroler H8/3069F. *Skripsi*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Raspberry Pi. 2021. Raspberry Pi zero 2 w product. [raspberry-pi-zero-2-w-product-brief.pdf](#), Diakses pada 11 Juli 2023 pukul 14.20 WIB.

- Reynolds, J. M. 2011. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics-second edition*. United Kingdom: Wiley-Blackwell.
- Rosyidin, S.A.P. 2013. *Metode Analisis Gelombang Permukaan untuk Penyelidikan Sub-Permukaan*. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Salim, A., Sukir, M., dan Bambang, H.P. 2013. Analisis Gempa bumi Mikro (*Microearthquake*) di Komplek Gunung Ijen, Jawa Timur. Malang: Universitas Brawijaya.
- Setiawan, A. 2017. Analisis Sebaran Hiposenter Gempa Mikro dan *Poisson's Ratio*, Studi Kasus: Hydroshearing Pada Lapangan Enhanced Geothermal system Newberry, Eregon. *Skripsi*. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Seis-Tech.com. 2022. High Sensitivity Geophone 4,5Hz. <https://www.seis-tech.com/high-sensitivity-geophone-4-5hz/>, Diakses pada 6 Juli 2023 pukul 10.35 WIB dari
- Suharno, S., Putri, K. K., dan Hidayantika, A. 2016. Penelitian Pendahuluan Panas Bumi Way Ratai Pesawaran Lampung Indonesia. *Pertemuan Ilmiah Tahunan Himpunan Ahli Geofisika Indonesia*, 1–4.
- Suryana, T. 2021. Antarmuka Ublox NEO-6M GPS Module dengan NodeMCU ESP8266. *Jurnal komputa Unikom*.
- Susanti, M. 2020. Rancang Bangun Prototype Geophone Menggunakan Sensor Piezoelectric Berbasis Arduino Uno. *Skripsi*. Balikpapan: Institut Teknologi Kalimantan.

Susilawati. 2008. Penerapan Penjalaran Gelombang Seismik Gempa pada Penelaahan Struktur Bagian dalam Bumi. *Karya Ilmiah*. Sumatera Utara: Universitas Sumatera Utara.

Utmel. 2023. Introduction to ADS1220 Sensors. <https://www.utmel.com/components/ads1220-sensors-price-package-and-datasheet>, Diakses 3 maret 2023 pukul 11.45 WIB.

Wahidah, S., Lepong, P., dan Hamdani, D. 2021. *Pengantar Geofisika*. Samarinda: Universitas Mulawarman.