

BAB III

PELAKSANAAN KERJA MAGANG

3.1 Kedudukan dan Koordinasi

Selama periode magang, mahasiswa ditempatkan di Direktorat Gempa Bumi dan Tsunami (DGT), Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). Direktorat ini bertanggung jawab atas kegiatan pengamatan, analisis, dan penyebaran informasi terkait aktivitas kegempaan serta potensi tsunami di wilayah Indonesia.

Dalam pelaksanaan kegiatan, mahasiswa berada di bawah bimbingan Melki Adi Kurniawan dari DGT BMKG sebagai pembimbing magang yang memberikan arahan teknis terkait sistem akuisisi data seismik. Koordinasi dilakukan secara langsung dengan staf teknis bidang instrumentasi dan pengolahan data untuk memastikan kesesuaian hasil kerja dengan kebutuhan pengembangan sistem pemantauan di DGT.

Proses koordinasi berlangsung secara rutin melalui diskusi harian, evaluasi hasil uji sistem, dan pembaruan perangkat lunak bersama pembimbing magang. Mahasiswa juga berinteraksi dengan tim pengembang alat untuk memahami cara kerja sensor Geophone SM-24 dan Accelerometer GY-61 serta metode pengolahan sinyal yang digunakan dalam sistem pemantauan seismik BMKG.

3.2 Tugas dan Uraian Kerja Magang

3.2.1 Tugas Kerja Magang

Selama proses kerja magang di Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, terdapat kegiatan dan tugas yang dilakukan. Pelaksanaan kegiatan magang dimulai pada bulan Juli dengan kegiatan perkenalan bersama pihak DGT serta rekan sesama mahasiswa magang dari berbagai perguruan tinggi. Pada bulan ini, mahasiswa juga mempelajari perangkat lunak SeisComP yang digunakan dalam pengolahan data seismik serta mempresentasikan rencana pembuatan proyek yang akan dikerjakan selama masa magang.

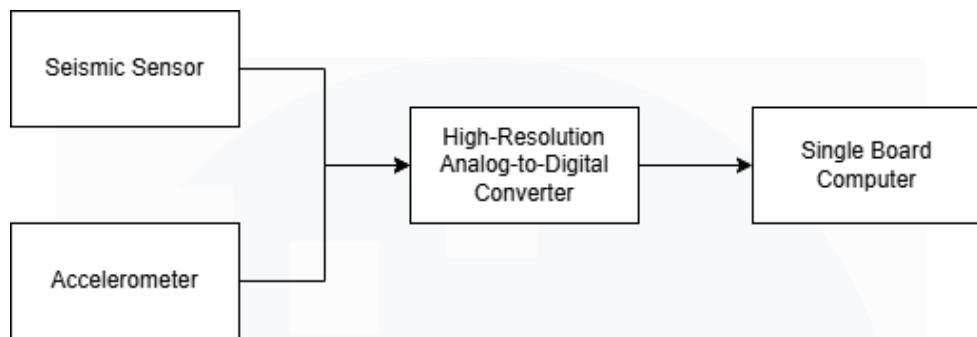
Pada bulan Agustus, kegiatan difokuskan pada pendalaman aspek instrumentasi, khususnya mempelajari *digitizer sensor* Trillium Compact dan Lennartz 3D Lite Mk II. Selain itu, dilakukan beberapa percobaan akuisisi data menggunakan modul ADS1115 yang diintegrasikan dengan sensor Geophone SM-24 dan Accelerometer GY-61 untuk memahami karakteristik sinyal dan proses pembacaannya.

Memasuki bulan September, mahasiswa mulai terlibat secara aktif dalam tugas utama berupa percobaan pengambilan data dari sensor-sensor yang telah diintegrasikan. Kegiatan ini mencakup perancangan dan pengujian program akuisisi data menggunakan Raspberry Pi dan modul ADC ADS1256 untuk membaca sinyal analog dari sensor Geophone SM-24 dan Accelerometer GY-61. Program dikembangkan menggunakan bahasa pengrograman Python untuk melakukan pembacaan data secara real-time, penyimpanan data, serta pengecekan kestabilan sinyal hasil akusisi.

Pada bulan oktober, kegiatan magang difokuskan pada pengembangan lanjutan dan penyempurnaan sistem akuisisi data. Mahasiswa mengimplementasikan proses kalibrasi sensor dan pengolahan sinyal digital berupa penerapan *Butterworth low pass filter* untuk mereduksi *noise* frekuensi tinggi. Selain itu, dilakukan evaluasi hasil pengambilan data dan penyempurnaan program agar sistem dapat bekerja lebih stabil dan menghasilkan data yang representatif sebagai prototipe awal alat pemantau getaran skala kecil.

3.2.2 Uraian Kerja Magang

Proyek yang dikerjakan selama magang yakni membuat prototipe seismograf [1]. Pengerjaan prototipe seismograf memiliki tahapan-tahapan utama, dimulai dari pemilihan komponen yang sesuai dengan kebutuhan pengukuran untuk digunakan dalam proyek ini [7], [8], [9]. Setelah melakukan pemilihan komponen, dilakukan proses perakitan rangkaian antara sensor, ADC, dan Raspberry Pi [4], [9]. Pengujian awal dilakukan untuk memastikan sinyal dari sensor dapat terbaca oleh sistem [4].



Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem *Hardware*

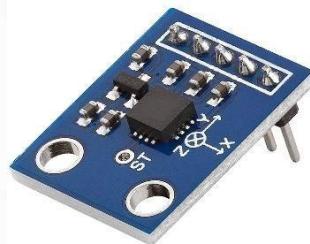
Pada Gambar 3.1 terlihat hubungan antar komponen utama pada sistem prototipe seismograf, yaitu *Seismic Sensor*, *Accelerometer*, *High-Resolution Analog-to-Digital Converter*, dan *Single Board Computer* [1], [4]. Pada bagian input, seismic sensor berfungsi mendeteksi getaran tanah dan menghasilkan sinyal analog yang merepresentasikan perubahan kecepatan partikel tanah [1], [7]. Di sisi lain, Accelerometer mengirimkan sinyal analog percepatan pada sumbu X, Y, dan Z sehingga arah dan intensitas getaran dapat direkam secara menyeluruh [3], [8]. Kedua sinyal analog tersebut kemudian dikirimkan ke ADC beresolusi tinggi, yang mengonversi sinyal analog menjadi sinyal digital dengan tingkat ketelitian yang memadai untuk bisa diproses menggunakan *Single Board Computer* [9]. Proses pengiriman sinyal digital ke *Single Board Computer* dilakukan melalui jalur komunikasi yang tersedia [4]. Sebagai unit pemrosesan utama, *Single Board Computer* menjalankan program akuisisi data untuk membaca, mengolah, dan menghasilkan *output* berupa informasi getaran yang siap dipaparkan, dianalisa, atau disimpan sebagai hasil pengukuran [4], [6]. Dengan alur tersebut, diagram blok menggambarkan proses lengkap mulai dari pembacaan sensor berupa sinyal, konversi sinyal oleh ADC, hingga pemrosesan data oleh *Single Board Computer* [4], [9].

3.2.3 Komponen yang Digunakan



Gambar 3.2 Geophone SM-24

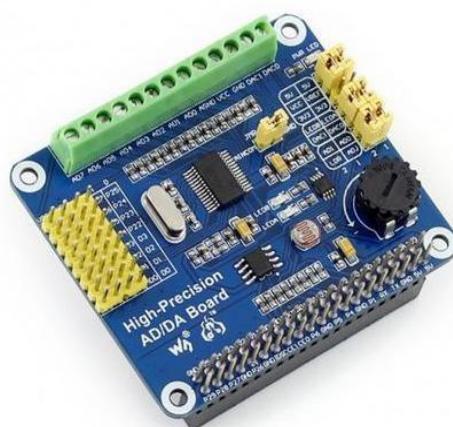
Gambar 3.2 memperlihatkan sensor geophone yang digunakan dalam pelaksanaan proyek, yaitu Geophone tipe SM-24. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip gerakan relatif antara kumparan dan magnet permanen di dalamnya saat terjadi getaran. Gerakan tersebut menimbulkan sinyal tegangan listrik yang nilainya sebanding dengan kecepatan partikel tanah, sehingga Geophone digolongkan sebagai sensor kecepatan (*velocity sensor*). Pada proyek ini digunakan Geophone SM-24 yang memiliki frekuensi resonansi sekitar 10 Hz. Adapun spesifikasi utama dari geophone SM-24 antara lain sensitivitas sebesar 28,8 V/m/s, impedansi kumparan sekitar 375Ω , serta nilai redaman sekitar 0,27. Karakteristik tersebut membuat Geophone SM-24 mampu memberikan respons linier pada rentang frekuensi rendah hingga menengah, yaitu sekitar 10–240 Hz.



Gambar 3.3 Accelerometer GY-61

Gambar 3.3 menampilkan Accelerometer GY-61 yang digunakan pada sistem ini untuk mengukur perubahan percepatan pada tiga sumbu, yaitu X, Y, dan Z. Dengan kemampuan tersebut, sistem dapat mengidentifikasi arah serta tingkat intensitas getaran tanah secara lebih menyeluruh. Modul GY61 menggunakan sensor ADXL335, yakni accelerometer analog tiga sumbu yang memiliki sensitivitas tinggi serta tingkat noise yang relatif rendah, dengan rentang pengukuran percepatan hingga $\pm 3g$. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip *Micro-Electro-Mechanical Systems* (MEMS), di mana adanya percepatan menyebabkan pergeseran massa internal yang memicu perubahan kapasitansi, yang selanjutnya dikonversikan menjadi sinyal tegangan analog.

Sebagai pembanding, sensor Gyroscope memiliki prinsip kerja yang berbeda, yaitu mengukur kecepatan sudut atau perubahan orientasi. Gyroscope memberikan respon yang signifikan ketika terjadi pergerakan atau perubahan sudut, namun tidak merepresentasikan sudut kemiringan secara langsung saat sistem berada dalam kondisi diam. Oleh karena itu, Accelerometer lebih sesuai digunakan untuk pemantauan kondisi statis, sedangkan Gyroscope umumnya dimanfaatkan untuk mendeteksi gerakan atau perubahan orientasi secara dinamis.



Gambar 3.4 ADS1256 *High-precision* ADS1256 DAC8552 AD/DA
Expansion Board

Proses konversi sinyal pada sistem ini ditunjukkan pada Gambar 3.4, yang menggunakan modul High-Precision ADS1256 DAC8552 AD/DA Expansion Board. ADS1256 merupakan modul *Analog to Digital Converter* (ADC) dengan resolusi 24-bit yang dilengkapi dengan *Digital to Analog Converter* (DAC) tipe DAC8552. Modul ini berfungsi mengonversi sinyal analog yang dihasilkan oleh sensor Geophone dan Accelerometer menjadi data digital sehingga dapat diproses lebih lanjut oleh Raspberry Pi 4B. ADS1256 menyediakan delapan kanal *input* analog (AIN0–AIN7) yang dapat dioperasikan dalam mode diferensial maupun *single-ended*. Selain itu, modul ini menggunakan antarmuka komunikasi SPI (*Serial Peripheral Interface*) untuk melakukan pertukaran data dengan Raspberry Pi.



Gambar 3.5 Raspberry Pi 4B

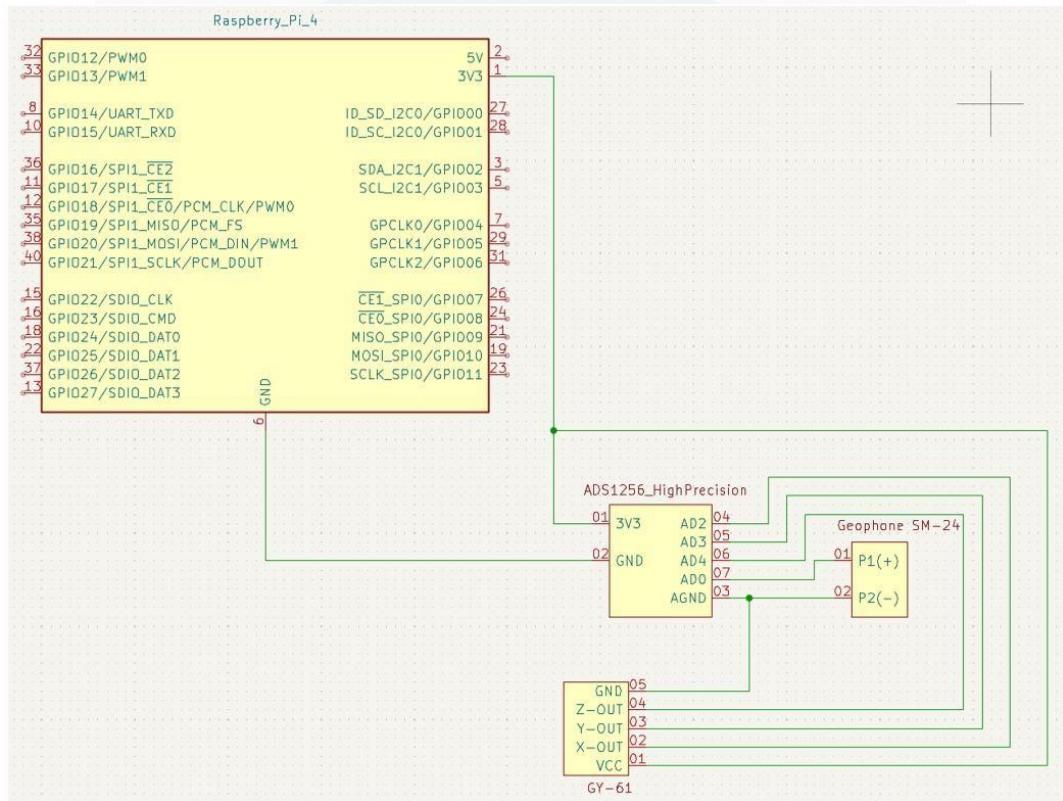
Gambar 3.5 menunjukkan Raspberry Pi 4B yang berperan sebagai unit pemrosesan utama pada sistem akuisisi data prototipe seismograf. Perangkat ini mengatur proses pembacaan sinyal dari modul ADS1256 serta melakukan pemrosesan awal terhadap data yang diperoleh dari sensor Geophone dan Accelerometer. Raspberry Pi 4B menggunakan prosesor berbasis ARM dan

menjalankan sistem operasi Raspberry Pi OS (*Operating System*), sehingga memungkinkan pengembangan perangkat lunak berbasis Python untuk mengelola komunikasi dan pengolahan data.

Dalam melakukan implementasi, Raspberry Pi 4B terhubung dengan modul ADS1256 melalui antarmuka komunikasi SPI (*Serial Peripheral Interface*). Melalui jalur ini, Raspberry Pi mengirimkan perintah pembacaan ke modul ADC dan menerima data digital hasil konversi sinyal analog dari sensor. Selain itu, Raspberry Pi juga berfungsi sebagai pusat kendali sistem yang menangani proses kalibrasi, pengambilan data secara berkelanjutan (*continuous sampling*), serta penyimpanan hasil pengukuran ke dalam basis data atau berkas lokal.

Penggunaan Raspberry Pi 4B juga mendukung pengembangan sistem pemantauan jarak jauh, di mana data hasil pengukuran dapat diakses dan dipantau secara real-time melalui jaringan. Sistem pemantauan jarak jauh tersebut dikembangkan oleh rekan magang sebagai subsistem pendukung dengan memanfaatkan Node-RED untuk visualisasi dan pengelolaan data, serta Tailscale sebagai jaringan privat virtual (VPN) yang memungkinkan akses jarak jauh yang aman. Dengan dukungan sistem operasi dan kemampuan komputasi yang lebih tinggi, Raspberry Pi memungkinkan integrasi langsung dengan layanan berbasis jaringan, sehingga lebih sesuai digunakan untuk pengembangan sistem pemantauan jarak jauh dibandingkan mikrokontroler konvensional seperti Arduino yang memiliki keterbatasan dalam pengelolaan sistem operasi dan layanan jaringan tingkat lanjut.

3.2.4 Diagram Skematik Sistem



Gambar 3.6 Diagram Skematik Sistem

Gambar 3.6 menunjukkan rancangan dari sistem akuisisi data seismik pada proyek ini, terdiri dari Raspberry Pi 4, ADS1256, Geophone SM-24, dan Accelerometer GY-61 [1], [4]. Raspberry Pi 4 berperan sebagai unit pemroses utama yang mengendalikan proses pembacaan data sensor, menyediakan sumber daya 3,3 V untuk ADS1256 dan melakukan komunikasi data melalui antarmuka SPI [4], [9]. Keseluruhan sistem menggunakan GND yang sama untuk menjaga kestabilan tegangan dan meminimalisir gangguan *noise* [4].

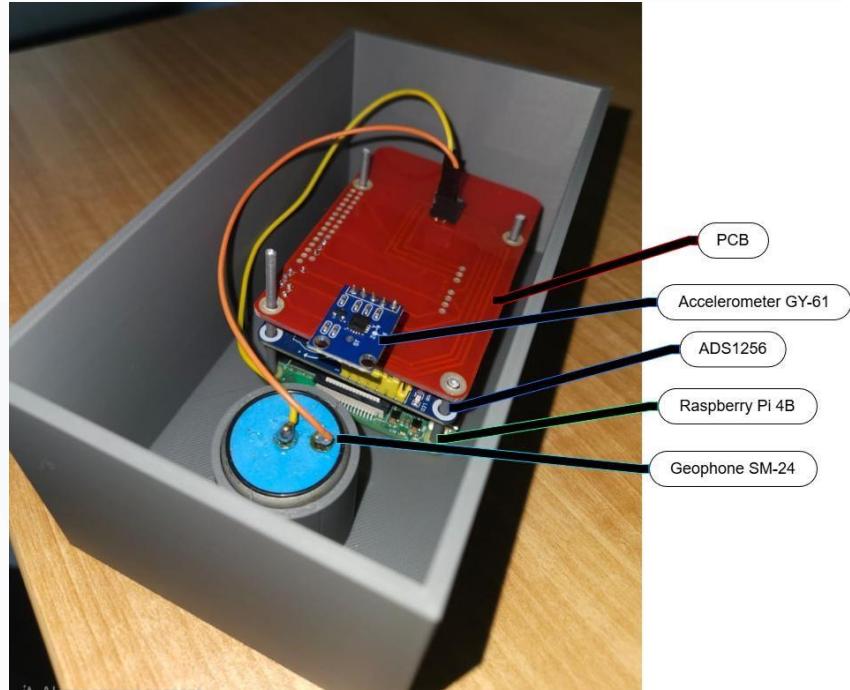
Di sisi lain ADS1256 digunakan sebagai pengubah sinyal analog ke digital dengan resolusi 24-bit sehingga mampu membaca sinyal getaran dengan amplitudo yang sangat kecil [9]. Sinyal analog ini berasal dari sensor yang dihubungkan ke

pin input analog ADS1256, sementara pin GND berfungsi sebagai referensi *ground* digital dan analog [9]. Data hasil konversi ini diproses lebih lanjut dengan dikirimkan ke Raspberry Pi melalui jalur SPI [4], [9].

Untuk Geophone SM-24, komponen ini berfungsi sebagai sensor kecepatan getaran tanah dan dihubungkan secara diferensial ke ADS1256 melalui terminal P1 (+) dan P2 (-) [1], [7]. Pengukuran diferensial ini bertujuan untuk meningkatkan akurasi sensor dalam pengukuran dan mengurangi pengaruh noise yang dihasilkan lingkungan [6], [9]. Selain Geophone SM-24, sistem ini juga dilengkapi dengan sensor kemiringan atau Accelerometer GY-61 yang digunakan untuk mengukur percepatan getaran pada sumbu X, Y, dan Z [3], [8]. Output analog dari masing-masing sumbu Accelerometer dihubungkan ke pin input pada ADS1256 sehingga arah dan intensitas getarannya dapat direkam secara menyeluruh [8], [9].

Secara keseluruhan, rangkaian ini membentuk sistem akuisisi data seismik berbasis Raspberry Pi yang dapat mengintegrasikan output data dari Geophone SM-24 dan Accelerometer GY-61 [1], [4]. Data digital yang telah diubah oleh ADS1256 selanjutnya dapat digunakan untuk pemantauan, pencatatan, dan analisis [4], [6].

3.2.5 Pengujian dan Hasil Uji Sistem



Gambar 3.7 Rangkaian Komponen di Dalam *Casing*



Gambar 3.8 Rangkaian Komponen di Dalam *Casing*

Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan bahwa rangkaian perangkat keras dan perangkat lunak yang telah diintegrasikan dapat bekerja dengan baik dalam membaca dan mengolah data sensor [4], [6]. Setelah seluruh komponen terhubung, yaitu Raspberry Pi 4, ADS1256, Geophone SM-24, dan Accelerometer GY-61, sistem langsung diuji secara fungsional tanpa menggunakan simulasi khusus [1], [4], [7], [8], [9]. Pengujian dilakukan dengan menjalankan program akuisisi data pada Raspberry Pi dan mengamati perubahan nilai output yang dihasilkan oleh sensor-sensor tersebut [4], [6].

```
adc.ADS1256_SetDiffChannal(0)
geo_raw = adc.ADS1256_GetChannalValue(0)
ax_raw = adc.ADS1256_GetChannalValue(2)
ay_raw = adc.ADS1256_GetChannalValue(3)
az_raw = adc.ADS1256_GetChannalValue(4)
```

Gambar 3.9 Proses Pengambilan Data

Bagian kode ini digunakan untuk melakukan pengambilan data dari modul ADC ADS1256 serta membaca data mentah dari sensor-sensor yang terhubung ke sistem [4], [9]. ADS1256 berperan sebagai pengubah sinyal analog yang dihasilkan oleh sensor Geophone SM-24 dan Accelerometer GY-61 menjadi data digital agar dapat diproses oleh Raspberry Pi [7], [8], [9]. Melalui proses ini, Raspberry Pi dapat membaca sinyal getaran dan percepatan secara terus-menerus tanpa terputus sehingga data dari masing-masing sensor dapat dikumpulkan untuk keperluan analisis lebih lanjut [4], [6].

Setiap *channel* pada ADS1256 merepresentasikan satu sumber sinyal yang berbeda, yang berarti *channel* Geophone SM-24 digunakan untuk membaca getaran tanah, sedangkan *channel* Accelerometer GY-61 digunakan untuk membaca percepatan pada sumbu X, Y, dan Z [7], [8], [9]. Nilai yang dibaca, seperti geo_raw, ax_raw, ay_raw, dan az_raw, masih berupa data digital mentah tanpa satuan fisik [9]. Maka dari itu, data tersebut belum dapat langsung digunakan untuk analisis dan perlu melalui tahap pengolahan lanjutan, seperti melakukan konversi data ke satuan

tegangan, kalibrasi offset, serta perhitungan ke satuan fisik yang sesuai agar dapat merepresentasikan kondisi getaran dan percepatan secara lebih bermakna [5], [6].

```
geo_offset = np.mean(geo_s)
ax_offset = np.mean(ax_s)
ay_offset = np.mean(ay_s)
az_offset = np.mean(az_s)
```

Gambar 3.10 Perhitungan Nilai Offset Sensor

Kalibrasi dilakukan untuk mengurangi pengaruh offset pada sensor, yaitu nilai awal yang muncul meskipun sensor berada dalam kondisi diam dan tidak menerima getaran atau percepatan [5], [6]. Gambar 3.10, sistem mengambil sejumlah data saat sensor diletakkan dalam keadaan diam, kemudian menghitung nilai rata-ratanya [5]. Nilai rata-rata tersebut dianggap sebagai offset bawaan sensor yang dapat muncul akibat karakteristik sensor, rangkaian elektronik, atau kondisi lingkungan [5], [8].

Nilai offset yang telah diperoleh kemudian dikurangkan dari setiap pembacaan data selanjutnya [5]. Dengan cara ini, sinyal yang dihasilkan akan lebih mendekati nol ketika tidak terjadi getaran atau percepatan, sehingga perubahan nilai yang muncul benar-benar merepresentasikan respons sensor terhadap gerakan yang terjadi [6]. Proses kalibrasi ini penting karena membantu meningkatkan akurasi pengukuran dan memudahkan analisis data, terutama dalam membedakan antara sinyal getaran yang sebenarnya dengan gangguan atau noise yang tidak diinginkan [5], [6].

```
geo_v = (geo_raw - geo_offset) * LSB
ax_v = (ax_raw - ax_offset) * LSB
ay_v = (ay_raw - ay_offset) * LSB
az_v = (az_raw - az_offset) * LSB

ax_g = ax_v / SENSITIVITY_V_PER_G
ay_g = ay_v / SENSITIVITY_V_PER_G
az_g = az_v / SENSITIVITY_V_PER_G
```

Gambar 3.11 Konversi Data ADC Menjadi Besaran Fisik

Data mentah hasil konversi ADC masih berupa nilai digital yang belum memiliki arti fisik secara langsung, sehingga perlu dikonversi atau diubah menjadi besaran fisik dengan kode ini, agar data tersebut dapat dipahami dan dianalisis [9]. Nilai digital dari ADC diubah menjadi tegangan dengan cara mengalikan hasil pembacaan ADC dengan faktor LSB terlebih dahulu [9]. Langkah ini diperlukan karena sensor sebenarnya menghasilkan sinyal berupa tegangan, bukan angka digital [7], [8].

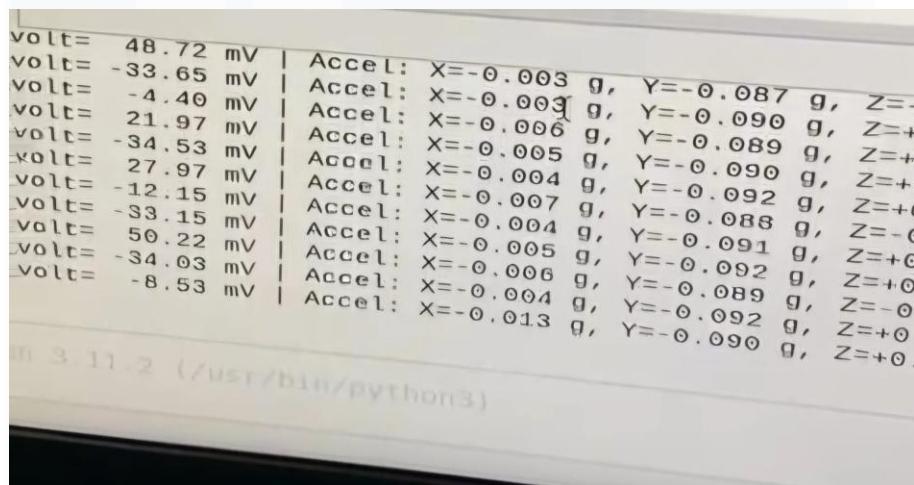
Setelah nilai tegangan diperoleh, data dari Accelerometer GY-61 kemudian dikonversi menjadi besaran percepatan dengan membagi tegangan *output* sensor dengan nilai sensitivitas Accelerometer GY-61 [8]. Hasil dari proses ini adalah nilai percepatan dalam satuan *g* (Gravitasi), yang menunjukkan besarnya percepatan yang terukur pada masing-masing sumbu (X, Y, dan Z) [3], [5]. Dengan adanya proses konversi ini, data yang awalnya hanya berupa angka digital menjadi memiliki makna fisik, sehingga dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut dan dibandingkan dengan referensi atau hasil pengukuran lainnya [5], [6].

```
def butter_lowpass_filter(data, cutoff=10, fs=200, order=3):
    nyq = 0.5 * fs
    normal_cutoff = cutoff / nyq
    b, a = butter(order, normal_cutoff, btype='low', analog=False)
    return lfilter(b, a, data)
```

Gambar 3.12 Implementasi *Butterworrth Low-Pass Filter*

Filter *Butterworth Low-Pass* digunakan untuk mengurangi gangguan atau noise pada sinyal yang berasal dari sensor [6]. Pada pengukuran getaran dan percepatan, sinyal yang diperoleh umumnya berada pada frekuensi rendah, sedangkan *noise* sering muncul pada frekuensi yang lebih tinggi [5], [6]. Maka dari itu, filter *low-pass* digunakan untuk melewatkkan sinyal frekuensi rendah yang merepresentasikan getaran atau percepatan sebenarnya, sekaligus meredam komponen frekuensi tinggi yang tidak diinginkan [6].

Butterworth dipilih karena memiliki karakteristik respons yang halus dan tidak menimbulkan perubahan yang signifikan pada sinyal utama [6]. Dengan karakteristik tersebut, bentuk sinyal asli tetap terjaga tanpa adanya distorsi yang signifikan [6]. Proses filtering dilakukan secara digital dan real-time dengan memanfaatkan *buffer data*, yang berarti nilai *output* terakhir digunakan sebagai data hasil pengolahan [6]. Nilai *output* terbaru dari hasil *filtering* kemudian digunakan sebagai data yang akan ditampilkan maupun disimpan untuk dianalisis lebih lanjut [6].

A screenshot of a terminal window showing sensor data output. The data is organized into two columns: 'volt=' and 'Accel:'. The 'volt=' column lists various voltage values in mV, ranging from -33.65 to 50.22. The 'Accel:' column lists corresponding acceleration values in g, with X, Y, and Z components. The terminal window is titled '3.11.2 (/usr/bin/python3)'.

Gambar 3.13 Hasil Pengujian Geophone SM-24 dan Accelerometer GY-61

Proses pengambilan data dilakukan dengan memberikan *trigger* fisik secara langsung pada sensor [4]. Untuk pengujian Geophone, dilakukan dengan cara memberikan getaran sederhana seperti mengetuk kecil atau memukul meja tempat sensor diletakkan, sehingga menghasilkan getaran mekanik yang dapat dideteksi oleh sensor Geophone SM-24 itu sendiri [1], [7]. Sementara itu, pengujian Accelerometer GY-61 dilakukan dengan memiringkan dan menggerakkan sensor ke berbagai arah untuk mengamati perubahan nilai percepatan pada sumbu X, Y, dan Z [3], [8].

```

7 adc = Adafruit_ADS1x15.ADS1115(address=0x48, busnum=1)
8
9 # Pilih GAIN sesuai kebutuhan
10 GAIN = 1 # contoh: 4 → ±1.024 V

Shell > [ 7
Geo_volt= 38.10 mV | Accel: X=-0.002 g, Y=+0.000 g, Z=+0.002 g
Geo_volt= -20.40 mV | Accel: X=-0.002 g, Y=-0.002 g, Z=-0.001 g
Geo_volt= -30.40 mV | Accel: X=-0.002 g, Y=-0.001 g, Z=-0.003 g
Geo_volt= 44.47 mV | Accel: X=-0.001 g, Y=-0.002 g, Z=-0.002 g
Geo_volt= -35.49 mV | Accel: X=-0.002 g, Y=-0.002 g, Z=+0.002 g
Geo_volt= -81.09 mV | Accel: X=-0.003 g, Y=-0.002 g, Z=-0.006 g
Geo_volt= 5.22 mV | Accel: X=-0.003 g, Y=-0.002 g, Z=-0.006 g
Geo_volt= 33.03 mV | Accel: X=-0.006 g, Y=-0.002 g, Z=+0.003 g
Geo_volt= 37.10 mV | Accel: X=-0.004 g, Y=-0.002 g, Z=-0.003 g
Geo_volt= -13.15 mV | Accel: X=-0.002 g, Y=-0.003 g, Z=-0.001 g
Geo_volt= -32.03 mV | Accel: X=-0.006 g, Y=-0.002 g, Z=+0.001 g
Geo_volt= 54.60 mV | Accel: X=-0.003 g, Y=-0.002 g, Z=-0.001 g
Geo_volt= -30.28 mV | Accel: X=+0.001 g, Y=-0.002 g, Z=+0.001 g
Geo_volt= -16.40 mV | Accel: X=-0.000 g, Y=+0.002 g, Z=-0.001 g
Geo_volt= 43.22 mV | Accel: X=+0.001 g, Y=+0.000 g, Z=-0.002 g

```

Gambar 3.14 Hasil Pengujian Geophone SM-24 dan Accelerometer GY-61

```

Geo_volt=1220.85 mV | Accel: X=-0.004 g, Y=+0.006 g, Z=-0.002 g
Geo_volt= 900.35 mV | Accel: X=-0.003 g, Y=+0.008 g, Z=+0.000 g
Geo_volt= 552.97 mV | Accel: X=-0.004 g, Y=+0.005 g, Z=+0.000 g
Geo_volt= 646.10 mV | Accel: X=-0.002 g, Y=+0.006 g, Z=-0.001 g
Geo_volt= 612.97 mV | Accel: X=-0.000 g, Y=+0.006 g, Z=+0.001 g
Geo_volt= 388.97 mV | Accel: X=-0.001 g, Y=+0.006 g, Z=-0.015 g
Geo_volt= 291.00 mV | Accel: X=+0.017 g, Y=+0.029 g, Z=-0.015 g
Geo_volt= 142.47 mV | Accel: X=+0.002 g, Y=+0.008 g, Z=-0.011 g
Geo_volt= 176.72 mV | Accel: X=-0.001 g, Y=-0.002 g, Z=-0.000 g
Geo_volt= 87.85 mV | Accel: X=-0.004 g, Y=+0.002 g, Z=-0.002 g
Geo_volt= 120.97 mV | Accel: X=-0.005 g, Y=+0.004 g, Z=-0.003 g
Geo_volt= 118.60 mV | Accel: X=-0.003 g, Y=+0.003 g, Z=-0.004 g
Geo_volt= 101.47 mV | Accel: X=-0.001 g, Y=+0.003 g, Z=-0.004 g
Geo_volt= 104.97 mV | Accel: X=-0.003 g, Y=+0.004 g, Z=-0.004 g
Geo_volt= 21.35 mV | Accel: X=-0.001 g, Y=+0.002 g, Z=+0.004 g

```

Gambar 3.15 Hasil Pengujian Geophone SM-24 dan Accelerometer GY-61

Data hasil pengujian ditampilkan secara langsung melalui *output* program pada Raspberry Pi [4]. Perubahan nilai yang muncul setiap detiknya menunjukkan bahwa sensor mampu merespons *trigger* fisik yang diberikan dan sistem akuisisi data berfungsi sebagaimana mestinya [1], [4]. Hasil pengujian ini digunakan sebagai dasar untuk menilai keberhasilan integrasi sistem sebelum data digunakan pada tahap pengolahan, visualisasi atau pengembangan lebih lanjut [4], [6].

Tabel 3.1 Data Hasil Accelerometer GY-61

No	Accel X (g)	Accel Y (g)	Accel Z (g)
1	-0.003	-0.087	0.003
2	-0.004	-0.091	0.001
3	-0.005	-0.092	0.001
4	-0.013	-0.090	0.004
5	-0.002	0.000	0.002
6	-0.002	-0.002	-0.001
7	-0.001	-0.002	0.002
8	-0.002	-0.002	0.001
9	0.003	-0.002	-0.001
10	0.001	0.000	-0.002
11	-0.004	0.006	-0.002
12	-0.004	0.005	-0.001
13	0.017	0.039	-0.015
14	-0.004	0.002	-0.002
15	-0.001	0.002	0.004

Tabel 3.1 menunjukkan hasil pembacaan percepatan dari Accelerometer GY-61 pada sumbu X, Y, dan Z dalam satuan *g* (Gravitasi) setelah data dikonversi dari tegangan *output* sensor dan dikoreksi dengan nilai offset hasil kalibrasi di awal [5], [8]. Nilai percepatan yang diperoleh dari sensor relatif kecil, yang berarti pengukuran dilakukan pada kondisi getaran rendah atau pergerakan yang tidak terlalu kuat [3], [5]. Hal tersebut sesuai dengan kondisi pengujian, di mana sensor digunakan untuk mendeteksi perubahan percepatan yang halus [3].

Terlihat perbedaan nilai percepatan pada masing-masing sumbu menunjukkan bahwa arah getaran yang terdeteksi tidak selalu sama, bergantung pada arah gerakan dan orientasi sensor saat pengukuran berlangsung [3], [8]. Pada beberapa data, sumbu Y terlihat memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan sumbu lainnya (X dan Z), sehingga dapat disimpulkan bahwa getaran lebih dominan terjadi pada arah tersebut [3]. Sementara itu, nilai percepatan yang mendekati nol menunjukkan kondisi yang relatif stabil serta menandakan bahwa proses pengolahan dan

penyaringan sinyal telah membantu mengurangi gangguan atau *noise*, sehingga data yang dihasilkan menjadi lebih halus dan mudah dianalisis [6].

Tabel 3.2 Data Hasil Geophone SM-24 Beserta Konversi *Seismic Response*

No.	Data (mV)	<i>Seismic Response</i> ($\times 10^{-3}$ m/s)
1	48.72	1.692
2	-33.15	-1.151
3	50.22	1.744
4	-8.53	-0.296
5	38.10	1.323
6	-20.40	-0.708
7	44.47	1.544
8	5.22	0.181
9	54.60	1.896
10	43.22	1.501
11	1220.85	42.391
12	552.97	19.200
13	388.97	13.506
14	176.72	6.136
15	21.35	0.741

Tabel diatas menunjukkan hasil pembacaan tegangan *output* dari Geophone SM-24 dalam satuan milivolt (mV) yang telah dikonversi menjadi *Seismic Response* berupa kecepatan partikel tanah [1], [7]. Proses konversi dilakukan dengan membagi nilai tegangan *output* sensor dengan sensitivitas Geophone SM-24, sehingga diperoleh nilai kecepatan tanah dalam satuan meter per detik (m/s) [7]. Untuk memudahkan pembacaan dan analisis, hasil konversi ditunjukkan dalam bentuk $\times 10^{-3}$ m/s karena nilai kecepatan yang terukur relatif kecil [1].

Perhitungan kecepatan partikel tanah dilakukan menggunakan hubungan antara tegangan *output* Geophone SM-24 dengan sensitivitas sensor itu sendiri [7]. Secara umum kecepatan partikel tanah atau *Seismic Response* (*v*) diperoleh dengan membagi tegangan *output* sensor (V_{Out}) dengan sensitivitas sensor (*S*), seperti ditunjukkan pada persamaan berikut [7]:

$$v = \frac{V_{out}}{s} \quad (3.1)$$

Pada contoh persamaan (3.1), nilai tegangan *output* yang terbaca dari sensor adalah 48,72 mV, sedangkan sensitivitas sensor Geophone SM-24 berdasarkan *data sheet* adalah 28,8 V/(m/s) [7]. karena satuan sensitivitas dinyatakan dalam volt, maka tegangan output terlebih dahulu dikonversi dari milivolt ke volt [7]:

$$48,71 \text{ mV} = 0,04872 \text{ V} \quad (3.2)$$

Berikutnya pada persamaan (3.2), nilai tegangan yang sudah diubah menjadi satuan volt dibagi dengan sensitivitas sensor untuk memperoleh kecepatan partikel tanah atau *Seismic Respons* yang dicari:

$$v = \frac{0,04872 \text{ V}}{28,8 \text{ V/(m/s)}} \quad (3.3)$$

$$v = 0,0016916 \text{ m/s} \quad (3.4)$$

Nilai *Seismic Response* dinyatakan dalam bentuk notasi ilmiah, agar hasil lebih mudah dibaca dan dianalisis:

$$v = 1,692 \times 10^{-3} \text{ m/s} \quad (3.5)$$

Nilai *Seismic Response* yang bervariasi menunjukkan perbedaan intensitas getaran tanah yang terdeteksi saat diuji oleh sensor tersebut [1], [7]. Ada yang hanya mengetuk meja dengan pelan dan ada juga memukul meja dengan keras. Tanda positif dan negatif pada hasil konversi menunjukkan arah gerakan partikel tanah relatif terhadap orientasi Geophone SM-24 [7]. Nilai respon yang lebih besar menandakan adanya getaran yang lebih kuat, sedangkan nilai yang mendekati nol menunjukkan kondisi getaran yang lemah atau relatif stabil [1]. Dengan adanya proses konversi ini, data yang awalnya hanya berupa tegangan menjadi memiliki makna fisik, sehingga dapat digunakan untuk analisis karakteristik getaran tanah secara lebih lanjut [7].

3.2.6 Perbandingan Accelerometer dan Gyroscope Sensor

Setelah dilakukan pengujian terhadap Accelerometer GY-61 dan Gyroscope sensor secara terpisah, selanjutnya dilakukan analisis perbandingan untuk mengetahui perbedaan karakteristik respon dari kedua sensor tersebut terhadap kondisi statis dan dinamis. Pengujian dilakukan dengan memanfaatkan Accelerometer dan Gyroscope sebagai sensor kemiringan pada dua kondisi pengujian yang berbeda. Pada kondisi pertama, rangkaian sistem ditempatkan pada titik paling rendah sebuah tiang, kemudian tiang tersebut dimiringkan. Pada kondisi kedua, rangkaian sistem ditempatkan pada titik paling tinggi tiang dan dilakukan proses pemiringan yang sama, dengan tujuan membandingkan performa kedua sensor ketika berada pada posisi pemasangan yang berbeda.

```
16:16:36.905 -> Accel (g): -0.201 0.083 1.015 | Gyro (deg/s): 0.053 0.192 -0.565
16:16:37.443 -> Accel (g): -0.204 0.080 1.010 | Gyro (deg/s): 0.061 0.236 -0.437
16:16:37.980 -> Accel (g): -0.235 0.091 1.013 | Gyro (deg/s): 0.344 0.395 -0.055
16:16:38.518 -> Accel (g): -0.233 0.132 0.978 | Gyro (deg/s): 1.255 0.498 0.338
16:16:39.058 -> Accel (g): -0.239 0.205 0.978 | Gyro (deg/s): 1.746 0.320 0.265
16:16:39.626 -> Accel (g): -0.202 0.267 0.978 | Gyro (deg/s): 2.574 0.059 0.366
16:16:40.142 -> Accel (g): -0.191 0.334 0.947 | Gyro (deg/s): 2.641 0.389 0.968
16:16:40.665 -> Accel (g): -0.228 0.362 0.889 | Gyro (deg/s): 2.108 0.389 1.863
16:16:41.228 -> Accel (g): -0.157 0.572 0.914 | Gyro (deg/s): 1.736 0.165 2.263
16:16:41.737 -> Accel (g): -0.152 0.490 0.851 | Gyro (deg/s): 1.454 0.228 2.044
16:16:42.289 -> Accel (g): -0.099 0.474 0.887 | Gyro (deg/s): 1.557 -0.038 1.628
16:16:42.811 -> Accel (g): -0.131 0.549 0.872 | Gyro (deg/s): 1.555 0.069 1.497
16:16:43.354 -> Accel (g): -0.124 0.540 0.869 | Gyro (deg/s): 1.331 0.120 1.580
16:16:43.913 -> Accel (g): -0.128 0.527 0.853 | Gyro (deg/s): 1.191 0.159 1.471
16:16:44.430 -> Accel (g): -0.123 0.531 0.863 | Gyro (deg/s): 1.037 0.196 1.376
16:16:44.984 -> Accel (g): -0.142 0.529 0.873 | Gyro (deg/s): 0.859 0.200 1.392
16:16:45.495 -> Accel (g): -0.142 0.524 0.860 | Gyro (deg/s): 0.714 0.097 1.185
16:16:46.034 -> Accel (g): -0.127 0.530 0.853 | Gyro (deg/s): 0.586 0.174 1.174
16:16:46.585 -> Accel (g): -0.134 0.532 0.848 | Gyro (deg/s): 0.594 0.120 0.930
```

Gambar 3.16 Data Hasil Pengujian Kondisi Pertama

```
16:17:22.097 -> Accel (g): -0.167 0.017 1.048 | Gyro (deg/s): 0.301 0.656 -0.146
16:17:22.641 -> Accel (g): -0.151 0.070 0.986 | Gyro (deg/s): 1.371 0.686 0.125
16:17:23.174 -> Accel (g): -0.162 0.305 0.926 | Gyro (deg/s): 1.972 0.444 0.102
16:17:23.695 -> Accel (g): -0.212 0.331 0.978 | Gyro (deg/s): 2.705 0.537 0.583
16:17:24.232 -> Accel (g): -0.169 0.337 0.964 | Gyro (deg/s): 2.330 0.521 -0.336
16:17:24.771 -> Accel (g): -0.193 0.397 0.965 | Gyro (deg/s): 2.54 0.582 -0.127
16:17:25.313 -> Accel (g): -0.192 0.409 0.931 | Gyro (deg/s): 2.946 0.621 -0.022
16:17:25.857 -> Accel (g): -0.187 0.445 0.882 | Gyro (deg/s): 2.519 0.556 0.038
16:17:26.381 -> Accel (g): -0.178 0.457 0.889 | Gyro (deg/s): 2.126 0.488 0.066
16:17:26.945 -> Accel (g): -0.189 0.467 0.887 | Gyro (deg/s): 2.274 0.526 0.026
16:17:27.457 -> Accel (g): -0.198 0.494 0.878 | Gyro (deg/s): 1.933 0.441 0.098
16:17:28.017 -> Accel (g): -0.196 0.490 0.862 | Gyro (deg/s): 1.679 0.371 0.152
16:17:28.527 -> Accel (g): -0.200 0.502 0.881 | Gyro (deg/s): 1.757 0.407 0.093
16:17:29.080 -> Accel (g): -0.205 0.504 0.867 | Gyro (deg/s): 1.443 0.356 0.075
16:17:29.600 -> Accel (g): -0.199 0.506 0.902 | Gyro (deg/s): 1.548 0.371 0.003
16:17:30.146 -> Accel (g): -0.209 0.502 0.881 | Gyro (deg/s): 1.357 0.264 -0.032
16:17:30.702 -> Accel (g): -0.201 0.497 0.887 | Gyro (deg/s): 1.150 0.203 -0.021
16:17:31.212 -> Accel (g): -0.200 0.499 0.860 | Gyro (deg/s): 1.725 0.256 -0.123
16:17:31.752 -> Accel (g): -0.191 0.498 0.861 | Gyro (deg/s): 1.230 0.062 -0.284
```

Gambar 3.17 Data Hasil Pengujian Kondisi Kedua

Berdasarkan hasil pengamatan, Accelerometer dan Gyroscope menunjukkan karakteristik pengukuran yang berbeda. Accelerometer mampu mengukur kemiringan statis karena sensor ini mendeteksi komponen percepatan gravitasi pada masing-masing sumbu pengukuran. Oleh karena itu, meskipun sistem berada dalam keadaan diam namun pada posisi miring, nilai Accelerometer tetap menunjukkan perubahan yang konsisten. Hal ini ditunjukkan oleh data Accelerometer yang relatif stabil meskipun orientasi sensor mengalami perubahan.

Sebaliknya, Gyroscope bekerja dengan mengukur kecepatan sudut, sehingga sensor ini hanya memberikan respons ketika terjadi perubahan sudut atau gerakan rotasi. Saat sistem dimiringkan, nilai Gyroscope meningkat yang menandakan adanya gerakan. Namun, ketika posisi miring tersebut telah berhenti dan sistem berada dalam kondisi diam, nilai Gyroscope kembali mendekati nol meskipun sudut kemiringan masih ada. Berdasarkan karakteristik tersebut, Accelerometer lebih sesuai digunakan untuk pengukuran kemiringan statis, sedangkan Gyroscope lebih efektif untuk mendeteksi perubahan orientasi atau gerakan dinamis.

3.3 Kendala yang Ditemukan

Dalam pelaksanaan kegiatan ini, terdapat beberapa kendala yang dihadapi. Salah satu kendala utama adalah minimnya referensi yang secara khusus membahas penggunaan sensor Geophone SM-24 dan Accelerometer GY-61 dalam sistem akuisisi data sederhana berbasis Raspberry Pi. Keterbatasan ini menyebabkan proses pemahaman mengenai karakteristik, prinsip kerja, serta metode pengolahan data sensor yang sesuai memerlukan waktu yang lebih lama.

Kendala berikutnya adalah keterbatasan alat uji yang digunakan, sehingga tidak dapat menghasilkan gaya getaran yang setara dengan kondisi gempa bumi yang sebenarnya pada sensor Geophone SM-24. Maka dari itu, proses pengujian hanya dapat dilakukan dalam skala dan kondisi yang lebih sederhana, sehingga data yang diperoleh merepresentasikan respon sensor terhadap getaran ringan dan belum mencerminkan kondisi gempa bumi yang sesungguhnya.

Selain itu, pada tahap perencanaan awal, data hasil pengukuran direncanakan untuk dikonversi ke skala *Richter*. Namun, konversi tersebut tidak dapat terlaksanakan, dikarenakan perhitungan skala *Richter* memerlukan parameter, standar pengukuran, dan kondisi gempa tertentu yang tidak dapat dipenuhi oleh sistem dan data yang digunakan pada penelitian ini.

3.4 Solusi atas Kendala yang Ditemukan

Sebagai solusi terhadap keterbatasan referensi, dilakukan penambahan sumber pembelajaran dari berbagai referensi pendukung seperti dokumentasi teknis sensor dan *video* pembelajaran yang membahas prinsip kerja dan penerapan sensor Geophone SM-24 dan Accelerometer GY-61 melalui aplikasi YouTube. Pemanfaatan sumber-sumber tersebut membantu dalam memahami karakteristik sensor serta metode pengolahan data yang sesuai dengan sistem yang digunakan.

Untuk mengatasi keterbatasan alat uji yang tidak memungkinkan simulasi kondisi gempa bumi sebenarnya, pengujian dilakukan dengan metode sederhana. Pada sensor Geophone SM-24, simulasi getaran dilakukan dengan cara mengetuk meja dengan pelan hingga memukul meja dengan keras tempat sensor diletakkan

untuk menghasilkan getaran mekanik. Disisi lain, pada sensor Accelerometer GY-61, pengujian dilakukan dengan cara memiringkan sensor itu sendiri ke berbagai arah sehingga perubahan percepatan akibat gaya gravitasi dapat terdeteksi. Metode ini memungkinkan pengujian tetap dilakukan meskipun dalam kondisi minim alat uji.

Terkait kendala konversi ke skala *Richter*, dilakukan penyesuaian metode analisis dengan mengonversi data hasil pengukuran sensor Geophone SM-24 yang berbentuk milivolt (mV) menjadi *Seismic Response* yang berupa kecepatan partikel tanah dalam satuan (m/s). Pendekatan ini dipilih karena lebih sesuai dengan karakteristik sensor Geophone SM-24 yang digunakan serta tetap memberikan representasi fisik terhadap respon getaran tanah, meskipun hasil pengukuran tidak ditampilkan dalam skala *Richter*.