

## BAB III

### PELAKSANAAN KERJA MAGANG

#### 3.1 Kedudukan dan Koordinasi

Dalam pelaksanaan kegiatan MBKM magang di Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), penulis ditempatkan pada Divisi Gempa Bumi dan Tsunami dengan tugas sebagai *intern engineer* pada bidang instrumentasi dan sistem akuisisi data, khususnya dalam pengembangan prototype sistem pemantauan getaran tanah (seismograf sederhana). Kegiatan magang berfokus pada perancangan, pengujian, dan integrasi perangkat keras yang mendukung proses akuisisi data getaran menggunakan sensor geofisika.

Alur kerja magang dimulai dengan pengenalan permasalahan yang dihadapi dalam sistem pemantauan gempa, seperti keterbatasan jumlah sensor dan modul deteksi yang tersedia, serta kebutuhan akan pengembangan perangkat dengan sistem akuisisi data. Setiap perkembangan hasil kerja dipresentasikan kepada supervisor untuk memperoleh arahan dan umpan balik, yang kemudian dijadikan dasar dalam melakukan perbaikan dan penyempurnaan rancangan hingga sistem yang dikembangkan dinilai sesuai dengan kebutuhan dan tujuan kegiatan magang.

#### 3.2 Tugas Kerja Magang

Selama pelaksanaan magang di BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika), penulis mengerjakan berbagai tugas sebagai berikut.

Tabel 3.1 Waktu Pelaksanaan Magang Perusahaan

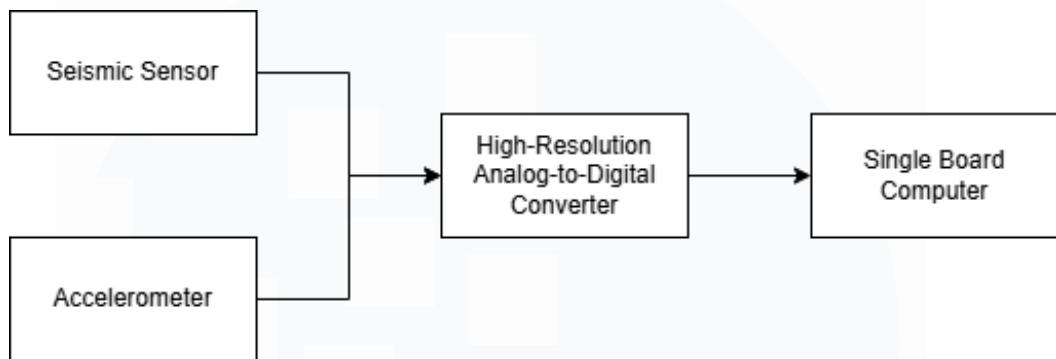
Bulan	Kegiatan
Juli	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Perkenalan diri dan mengenal perusahaan.</li><li>2. Mempelajari sensor yang digunakan untuk mendeteksi gempa (Trillium Compact dan Lennartz 3D Lite MK II).</li><li>3. Menginstall ubuntu dan seiscomP.</li></ol>

	<ol style="list-style-type: none"> <li>4. Diskusi terkait proyek yang ingin dibuat dan perencanaan komponen yang diperlukan.</li> </ol>
Agustus	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mempelajari digitizer untuk sensor yang digunakan untuk mendeteksi gempa (Trillium Compact dan Lennartz 3D Lite MK II).</li> <li>2. Mempelajari komponen yang digunakan dalam pembuatan proyek seismograf.</li> <li>3. Melakukan percobaan sederhana dengan geophone, accelerometer dan ads 1115, lalu mengakuisisi hasil data pembacaan sensor.</li> <li>4. Update dan diskusi terkait progress pembuatan <i>prototype</i> seismograf.</li> </ol>
September	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Melakukan percobaan terhadap geophone dan accelerometer dengan ADS 1256.</li> <li>2. Update dan diskusi terkait progress pembuatan <i>prototype</i> seismograf.</li> <li>3. Melakukan percobaan terkait pengiriman notifikasi dari hasil bacaan sensor ke <i>whatsapp</i> dengan API (Application Programming Interface).</li> </ol>
Oktober	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mendesign <i>Printed Board Circuit</i> (PCB) untuk <i>prototype</i> seismograf.</li> <li>2. Mendesign <i>casing</i> untuk <i>prototype</i> seismograf.</li> </ol>

### 3.3 Uraian Kerja Magang

Proyek yang dikerjakan selama magang yakni membuat prototype seismograf. Pengerjaan prototype seismograf memiliki beberapa tahapan utama, dimulai dari pemilihan komponen yang sesuai dengan kebutuhan pengukuran getaran. Setelah komponen diperoleh, dilakukan proses perakitan rangkaian antara sensor, ADC,

dan Raspberry Pi. Selanjutnya dilakukan pengujian awal untuk memastikan sinyal dari sensor dapat terbaca oleh sistem.



Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem *Hardware*

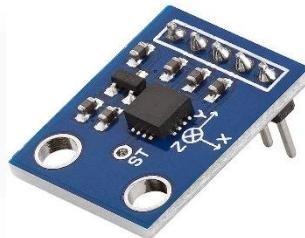
Pada Gambar 3.1 diagram blok hardware ditunjukkan hubungan antar komponen utama pada sistem prototipe seismograf, yaitu seismic sensor, accelerometer, *high-resolution analog-to-digital converter*, dan *single board computer*. Pada bagian input, seismic sensor berfungsi mendeteksi getaran tanah dan menghasilkan sinyal analog yang merepresentasikan perubahan kecepatan partikel tanah. Sementara itu, accelerometer menyediakan sinyal analog percepatan pada sumbu X, Y, dan Z sehingga arah dan intensitas getaran dapat direkam secara lebih menyeluruh. Data digital yang telah diproses kemudian dikirimkan ke single board computer melalui jalur komunikasi yang tersedia. Sebagai unit pemrosesan utama, single board computer menjalankan program akuisisi data untuk membaca, mengolah, dan menghasilkan keluaran berupa informasi getaran yang siap ditampilkan, dianalisis, atau disimpan sebagai hasil pengukuran. Dengan alur tersebut, diagram blok menggambarkan proses lengkap mulai dari penerimaan sinyal fisik oleh sensor, konversi sinyal oleh ADC, hingga pemrosesan data oleh sistem komputasi.

### 3.3.1 Komponen yang Digunakan



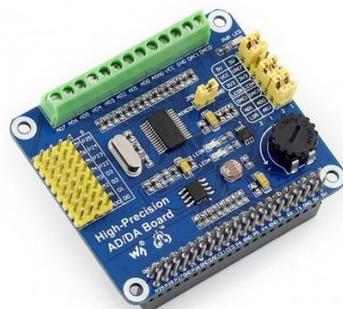
Gambar 3.2 Geophone SM-24

Pada Gambar 3.2 menunjukkan geophone yang digunakan dalam proyek ini, yaitu geophone SM-24. Prinsip kerjanya didasarkan pada pergerakan relatif antara kumparan dan magnet permanen di dalam sensor ketika terjadi getaran. Pergerakan tersebut menghasilkan tegangan listrik yang sebanding dengan kecepatan partikel tanah, sehingga geophone diklasifikasikan sebagai *velocity sensor*. Pada proyek ini digunakan geophone SM-24, yang termasuk tipe geophone dengan frekuensi resonansi sekitar 10 Hz. Spesifikasi dasar SM-24 meliputi sensitivitas 28.8 V/m/s, impedansi kumparan sekitar  $375 \Omega$ , dan redaman sekitar 0.27, yang dirancang untuk menghasilkan respon linier pada rentang frekuensi rendah hingga menengah, biasanya antara 10–240 Hz.



Gambar 3.3 Accelerometer GY-61

Sementara itu, accelerometer GY-61 pada Gambar 3.3 digunakan untuk mendeteksi perubahan percepatan pada tiga sumbu gerak (X, Y, dan Z), sehingga sistem dapat menentukan arah serta intensitas getaran tanah secara lebih komprehensif. Modul ini berbasis sensor ADXL335, yaitu accelerometer analog 3 sumbu dengan sensitivitas tinggi dan tingkat kebisingan rendah, yang mampu mengukur percepatan dalam rentang  $\pm 3\text{g}$ . Sensor ini bekerja dengan prinsip mikroelektromekanis (MEMS), di mana perubahan percepatan menyebabkan pergeseran massa internal yang menghasilkan perubahan kapasitansi, lalu dikonversi menjadi sinyal tegangan analog.



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

Proses konversi sinyal pada sistem ini dilakukan menggunakan modul pada Gambar 3.4, yaitu ADS1256 *High-Precision* ADS1256 DAC8552 AD/DA *Expansion Board*. ADS1256 merupakan sebuah modul *Analog to Digital Converter* (ADC) dengan resolusi 24-bit yang juga dilengkapi dengan *Digital to Analog*

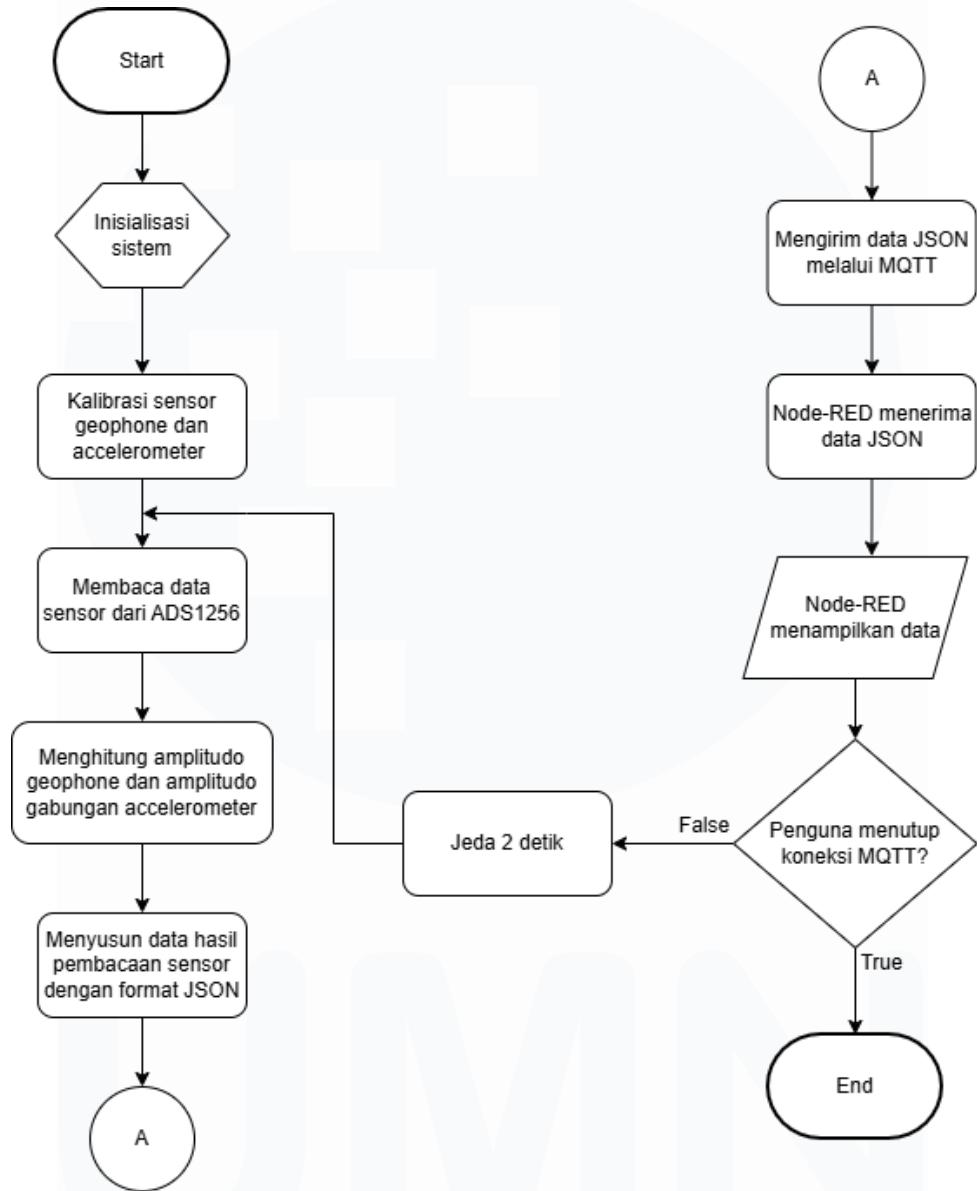
Converter (DAC) tipe DAC8552. Modul ini berfungsi untuk mengubah sinyal analog yang dihasilkan oleh geophone dan accelerometer menjadi data digital yang dapat diproses oleh Raspberry Pi 4B. Modul ADS1256 memiliki delapan kanal input analog (AIN0–AIN7) yang dapat digunakan dalam mode diferensial maupun single-ended, serta menggunakan jalur komunikasi SPI (*Serial Peripheral Interface*) untuk pertukaran data dengan Raspberry Pi.



Gambar 3.5 Raspberry Pi 4B

Pada Gambar 3.5, Raspberry Pi 4B berfungsi sebagai unit pemroses utama dalam sistem akuisisi data pada prototipe seismograf. Perangkat ini mengendalikan proses pembacaan sinyal dari modul ADS1256 dan melakukan pengolahan awal terhadap data yang diterima dari sensor geophone dan accelerometer. Raspberry Pi 4B memiliki prosesor berbasis ARM serta mendukung sistem operasi Raspberry Pi OS yang memungkinkan pengembangan program berbasis Python untuk mengatur komunikasi dan pemrosesan data. Dalam penerapannya, Raspberry Pi 4B dihubungkan dengan modul ADS1256 melalui jalur komunikasi SPI (*Serial Peripheral Interface*). Melalui antarmuka ini, Raspberry Pi mengirimkan perintah pembacaan dan menerima data hasil konversi sinyal analog dari sensor menjadi data digital. Selain itu, Raspberry Pi juga berfungsi sebagai pusat kendali yang melakukan proses kalibrasi, pengambilan data secara berkelanjutan (*continuous sampling*), serta penyimpanan hasil pengukuran dalam basis data atau file lokal.

### 3.3.2 Flowchart Sistem



Gambar 3.6 Flowchart Operasional Sistem Seismograf

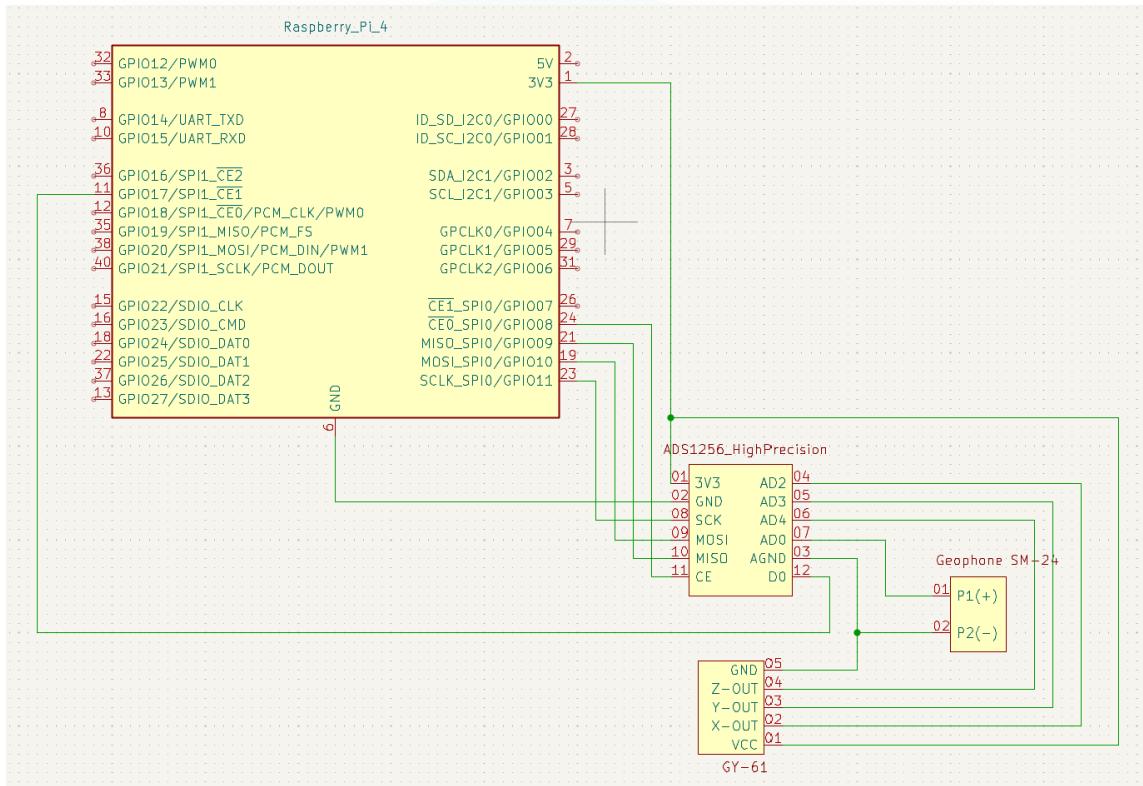
Pada Gambar 3.6 menjelaskan terkait alur operasional dari prototype seismograf. Operasional prototype seismograf mulai dari inisialisasi hingga pengiriman dan penampilan data. Proses dimulai dari tahap *start*, kemudian sistem memasuki fase inisialisasi, di mana Raspberry Pi melakukan persiapan konfigurasi dasar, termasuk pengaktifan komunikasi SPI dan MQTT, serta pengenalan modul

ADS1256 sebagai ADC yang digunakan. Setelah sistem siap, dilakukan proses kalibrasi sensor, yaitu pengambilan sejumlah sampel awal dari geophone dan accelerometer untuk menentukan nilai dasar pembacaan (*baseline*) sekaligus menghitung nilai offset yang diperlukan agar titik nol sensor dapat disesuaikan dengan kondisi sebenarnya saat tidak terjadi getaran.

Setelah kalibrasi selesai, sistem memasuki tahap pembacaan data sensor dari ADS1256. Pada tahap ini, nilai sinyal analog dari geophone serta nilai percepatan dari tiga sumbu accelerometer dikonversi oleh ADS1256 menjadi data digital dan diteruskan ke Raspberry Pi. Data yang diterima kemudian diproses lebih lanjut melalui langkah perhitungan amplitude, yaitu menentukan besar amplitudo sinyal geophone serta amplitudo gabungan dari accelerometer menggunakan perhitungan akar kuadrat jumlah kuadrat tiap sumbu.

Data yang telah diproses kemudian disusun ke dalam format JSON yang berisi nilai geophone, nilai accelerometer tiap sumbu, amplitude, serta timestamp. Paket data ini dikirimkan oleh Raspberry Pi ke broker MQTT lokal. Node-RED kemudian menerima JSON tersebut dan menampilkannya dalam bentuk grafik maupun nilai numerik untuk pemantauan getaran. Proses pengiriman dilakukan secara berkala dengan interval tertentu dan berlangsung terus-menerus hingga pengguna menghentikan koneksi MQTT, yang menyebabkan sistem keluar dari loop dan mengakhiri proses akuisisi data.

### 3.3.3 Schematic Diagram Sistem dan Desain PCB (*Printed Circuit Board*)



Gambar 3.7 Schematic Diagram Prototype Seismograf

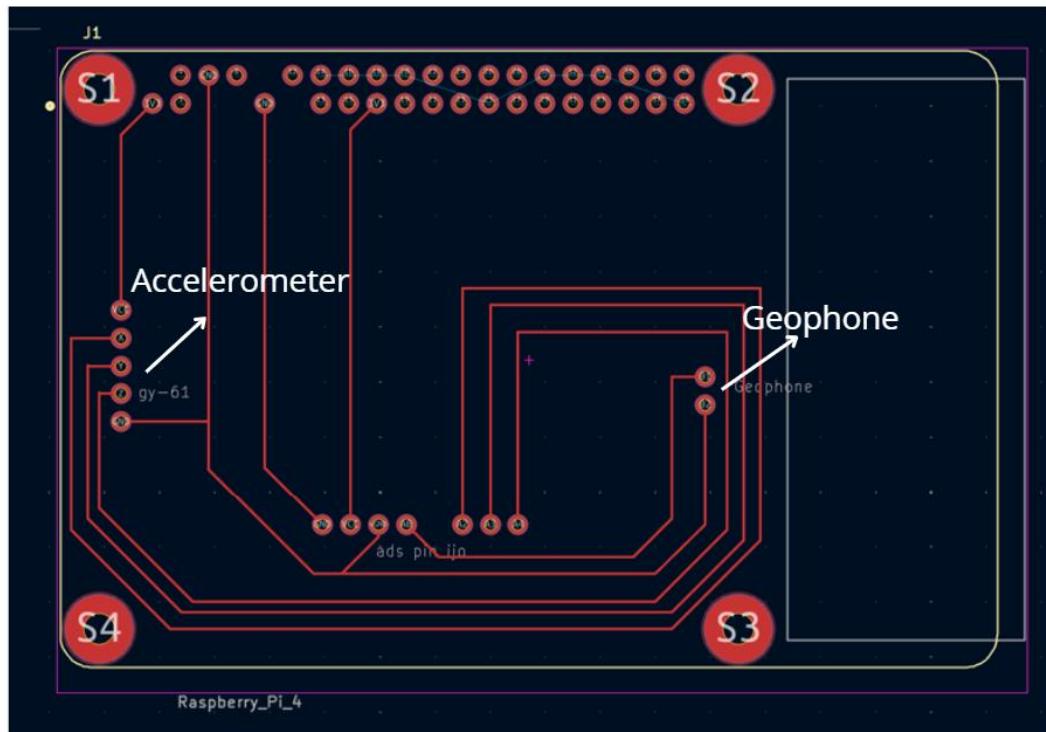
Pada Gambar 3.7 Schematic Diagram Prototype Seismograf, Raspberry Pi 4B berfungsi sebagai unit pengendali dan pemroses data yang berkomunikasi dengan modul ADS1256 melalui antarmuka SPI. Sensor geophone SM-24 dan accelerometer GY-61 menghasilkan sinyal analog berupa tegangan yang merepresentasikan respons getaran dan percepatan mekanik. Sinyal analog dari kedua sensor tersebut tidak diproses secara langsung oleh Raspberry Pi, melainkan terlebih dahulu masuk ke modul ADS1256 yang berperan sebagai pengubah sinyal analog menjadi data digital.

Komunikasi antara Raspberry Pi 4B dan ADS1256 dilakukan melalui jalur SPI, di mana pin SCK (Serial Clock) digunakan sebagai sinyal clock komunikasi, MOSI (Master Out Slave In) digunakan untuk mengirimkan perintah dan pengaturan dari Raspberry Pi ke ADS1256, serta MISO (Master In Slave Out) digunakan untuk menerima data hasil konversi dari ADS1256 ke Raspberry Pi. Pin CE (Chip Enable)

berfungsi untuk mengaktifkan modul ADS1256 selama proses komunikasi, sedangkan pin D0 digunakan sebagai sinyal DRDY (Data Ready) yang menandakan bahwa data hasil konversi telah tersedia dan siap dibaca.

Geophone SM-24 dihubungkan ke salah satu kanal input analog ADS1256, dengan terminal positif (P+) terhubung ke kanal AD0 dan terminal negatif (P-) dihubungkan ke AGND sebagai referensi ground analog. Accelerometer GY-61 menghasilkan tiga sinyal analog yang mewakili percepatan pada sumbu X, Y, dan Z, yang masing-masing dihubungkan ke kanal AD2, AD3, dan AD4 pada ADS1256. Dengan konfigurasi ini, seluruh sinyal analog dari sensor dikumpulkan pada ADS1256 sebagai titik akuisisi data sebelum diteruskan dalam bentuk data digital ke Raspberry Pi.

Data digital yang diterima oleh Raspberry Pi 4B selanjutnya diolah melalui perangkat lunak untuk keperluan pemantauan, pencatatan, dan analisis respons seismik. Penggunaan satu modul ADC sebagai pusat akuisisi memungkinkan seluruh sensor dibaca dalam format data yang sama. Selain itu, pemisahan jalur ground analog (AGND) dan ground digital (GND) pada ADS1256 membantu mengurangi pengaruh gangguan listrik terhadap sinyal sensor selama proses pengukuran.



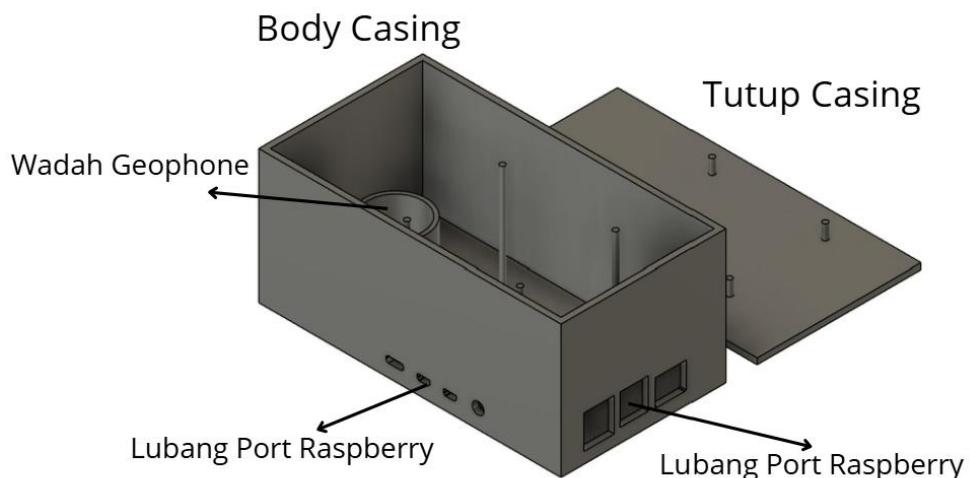
Gambar 3.8 Footprint PCB Prototype Seismograf

Pada Gambar 3.8 Footprint PCB Prototype Seismograf menunjukkan rancangan footprint PCB yang digunakan sebagai dasar perakitan sistem prototype seismograf. Footprint ini berfungsi sebagai representasi fisik dari seluruh komponen yang akan dipasang pada PCB, serta menjadi panduan dalam proses routing jalur sinyal, catu daya, dan koneksi antar perangkat. PCB dirancang untuk menghubungkan Raspberry Pi 4B, modul ADS1256 *High-Precision AD/DA Converter*, sensor accelerometer GY-61, serta geophone SM-24 ke dalam satu sistem.

Pada bagian atas PCB ditampilkan footprint header Raspberry Pi 4B yang terhubung ke ADS1256 yang terdiri dari dua baris pin berjumlah 40 pin. Footprint ini menyediakan jalur koneksi untuk komunikasi SPI, jalur daya 5V/3.3V, serta ground. Di area bawah PCB terdapat footprint ADS1256 beserta seluruh pin masukannya (AD0–AD4, AGND, VCC, dan lain-lain). Footprint GY-61 (ADXL335) ditempatkan di sisi kiri PCB, dengan tiga pin output analog (X, Y, Z) yang masing-masing dirutekan menuju kanal ADC ADS1256, yaitu AD2, AD3, dan AD4. Pada sisi kanan PCB, terdapat footprint untuk geophone SM-24, yang

hanya membutuhkan dua jalur utama: sinyal positif (P+) menuju kanal AD0 dan sinyal negatif (P-) menuju AGND. Terakhir, keempat titik besar berlabel S1, S2, S3, dan S4 merupakan lubang mounting yang berfungsi untuk menahan PCB pada casing atau dudukan.

### 3.3.4 Desain Casing Prototype Seismograf

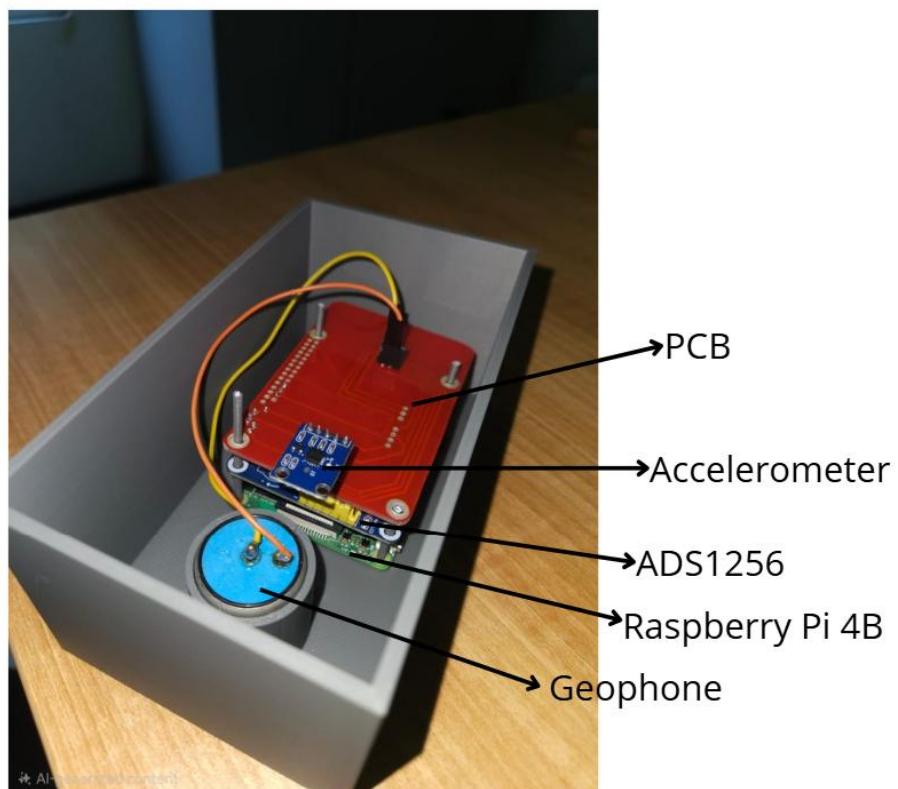


Gambar 3.9 Tampak Atas Desain Casing Prototype Seismograf

Gambar 3.9 menunjukkan rancangan casing prototype seismograf yang terdiri dari satu kesatuan body dan tutup casing sebagai pelindung serta penopang seluruh komponen sistem. Struktur utama casing berfungsi sebagai wadah bagi komponen elektronik, meliputi Raspberry Pi 4B, sensor geophone, sensor accelerometer, serta rangkaian PCB pendukung. Pada bagian dalam casing, terdapat wadah khusus yang dirancang sesuai dengan dimensi geophone, sehingga sensor tersebut dapat dipasang dengan aman dan berada pada posisi yang stabil selama proses pengukuran getaran. Desain ini bertujuan untuk meminimalkan pergeseran geophone yang dapat memengaruhi akurasi data hasil pengukuran.

Selain itu, bagian depan dan samping casing dilengkapi dengan lubang-lubang yang telah disesuaikan dengan tata letak port Raspberry Pi 4B, seperti port USB, Ethernet, HDMI, audio jack, dan port catu daya. Keberadaan lubang-lubang ini memungkinkan akses langsung ke port tanpa perlu membuka casing, sehingga memudahkan proses pengoperasian, pengujian, maupun koneksi perangkat

eksternal selama sistem digunakan. Pada bagian dasar casing, terdapat empat tiang penopang yang berfungsi sebagai dudukan untuk Raspberry Pi 4B dan PCB sistem. Posisi serta jarak antar tiang dirancang sesuai dengan layout lubang baut pada Raspberry Pi dan PCB, sehingga kedua komponen dapat dipasang secara presisi, kokoh, dan tetap stabil selama perangkat beroperasi. Untuk melindungi seluruh komponen di dalamnya, casing dilengkapi dengan tutup yang dirancang menyatu dengan body melalui sistem baut. Tutup casing memiliki empat lubang yang sejajar dengan tiang penopang di bagian dalam body casing. Saat tutup dipasang, baut dimasukkan melalui lubang pada tutup dan dikencangkan ke tiang penopang, sehingga casing dapat tertutup.



Gambar 3.10 Peletakan Komponen pada Casing

Gambar 3.10 menunjukkan realisasi peletakan komponen pada bagian dalam casing prototype seismograf yang telah dirancang sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.9. Tampak Atas Desain Casing Prototype Seismograf. Seluruh komponen utama ditempatkan di dalam satu kesatuan body casing yang berfungsi

sebagai pelindung sekaligus penopang sistem. Pada bagian dasar casing terlihat geophone yang dipasang pada wadah khusus dengan ukuran yang telah disesuaikan, sehingga sensor berada pada posisi yang stabil dan tidak mudah bergeser. Penempatan geophone di bagian bawah bertujuan untuk memastikan sensor memiliki kontak mekanik yang baik terhadap casing, sehingga getaran yang diterima dapat diukur secara optimal dan akurat.

Raspberry Pi 4B dipasang pada empat tiang penopang yang telah dirancang sesuai dengan posisi lubang baut pada papan Raspberry Pi. Penopang ini memastikan Raspberry Pi terpasang secara presisi, kokoh, dan aman selama sistem beroperasi. Modul ADS1256 ditempatkan berdekatan dengan Raspberry Pi 4B untuk memperpendek jalur sinyal analog dari sensor menuju konverter analog-ke-digital, sehingga dapat meminimalkan gangguan noise dan menjaga kualitas sinyal hasil pengukuran. Sementara itu, sensor accelerometer dipasang pada bagian atas PCB.

### **3.3.5 Pengujian dan Data Hasil Pengujian Komponen**

Pengujian sensor geophone SM-24 dan accelerometer GY-61 dilakukan untuk mengetahui apakah kedua sensor tersebut mampu merespons getaran mekanik serta menghasilkan sinyal yang dapat dibaca oleh sistem akuisisi data. Metode pengujian yang digunakan bersifat sederhana, yaitu dengan memberikan rangsangan getaran berupa impuls mekanik melalui pukulan ringan pada meja tempat sensor diletakkan. Metode ini dipilih karena dapat menghasilkan getaran sesaat yang cukup jelas untuk diamati responsnya oleh sensor, sekaligus mudah dilakukan pada tahap pengujian awal prototipe.

Tahap pertama pengujian dimulai dengan penempatan sensor. Geophone dan accelerometer diletakkan pada permukaan meja yang datar dan stabil, kemudian dihubungkan ke modul ADS1256 yang selanjutnya terhubung ke Raspberry Pi 4B. Pada kondisi awal, sistem dijalankan tanpa adanya gangguan atau getaran, sehingga sensor berada dalam kondisi diam. Pada tahap ini dilakukan proses kalibrasi awal, yaitu dengan mengambil sejumlah sampel data dari masing-masing sensor untuk

menentukan nilai referensi atau titik nol (*offset*). Nilai offset ini digunakan untuk menghilangkan pengaruh sinyal dasar dan noise statis, sehingga perubahan sinyal yang terbaca setelahnya benar-benar berasal dari getaran yang diberikan.

Setelah proses kalibrasi selesai, sistem memasuki tahap akuisisi data aktif. Pada tahap ini, meja tempat sensor diletakkan diberi pukulan ringan secara manual. Pukulan tersebut menghasilkan impuls getaran yang merambat melalui meja dan diterima oleh sensor. Geophone merespons getaran tersebut dengan menghasilkan perubahan tegangan yang merepresentasikan perubahan kecepatan partikel tanah, sedangkan accelerometer mendeteksi perubahan percepatan pada masing-masing sumbu X, Y, dan Z akibat getaran yang sama. Sinyal analog dari kedua sensor kemudian dikonversi menjadi data digital oleh ADS1256 dan dibaca oleh Raspberry Pi.

Data yang diperoleh selama proses pengujian dianalisis berdasarkan nilai amplitudo sinyal serta perubahan sinyal terhadap waktu. Pada kondisi awal tanpa adanya pukulan atau rangsangan mekanik, keluaran sensor menunjukkan nilai yang relatif stabil dan berada di sekitar nilai offset hasil kalibrasi. Kondisi ini menandakan bahwa sistem berada dalam keadaan diam dan pengaruh noise lingkungan dapat diminimalkan. Ketika diberikan pukulan pada meja tempat sensor diletakkan, terjadi peningkatan amplitudo yang signifikan pada sinyal geophone maupun accelerometer. Peningkatan ini menunjukkan bahwa kedua sensor mampu mendeteksi adanya getaran akibat impuls mekanik yang diberikan. Setelah getaran mereda, amplitudo sinyal berangsur-angsur menurun dan kembali mendekati kondisi awal, yang mencerminkan proses redaman getaran pada media uji.

Untuk mengetahui besarnya respons seismik yang terukur oleh geophone, nilai tegangan keluaran sensor dikonversi menjadi kecepatan partikel menggunakan persamaan berikut:

$$SR = \left( \frac{V_{output}}{Sensitivitas} \right)$$

Berdasarkan datasheet geophone SM-24 dengan sensitivitas geophone SM-24 sebesar 28,8 V/m/s, karakteristik input–output sensor dinyatakan melalui nilai sensitivitas tersebut, yang menunjukkan adanya hubungan linier antara kecepatan partikel tanah sebagai besaran input dan tegangan listrik sebagai besaran output. Artinya, setiap kecepatan getaran tanah sebesar 1 m/s akan menghasilkan tegangan keluaran sebesar 28,8 V pada terminal geophone. Dengan demikian, besaran fisik yang dideteksi oleh geophone adalah kecepatan getaran tanah (*particle velocity*), sedangkan besaran yang terukur secara elektrik adalah tegangan dalam satuan volt atau milivolt.

Secara prinsip, geophone SM-24 tidak memiliki batas tegangan minimum maupun maksimum yang dinyatakan secara eksplisit dalam datasheet, karena sensor ini bersifat pasif dan menghasilkan tegangan yang bergantung langsung pada besar kecilnya kecepatan getaran mekanik yang diterima [8]. Tegangan keluaran yang mendekati nol volt terjadi ketika tidak terdapat getaran atau hanya terdapat getaran latar (*background vibration*). Sementara itu, tegangan keluaran maksimum ditentukan oleh intensitas getaran mekanik yang diterima serta keterbatasan mekanik internal geophone, seperti batas pergerakan massa dan sistem pegas. Dalam praktik pengukuran, rentang tegangan keluaran yang dapat dibaca tidak hanya ditentukan oleh sensor, tetapi juga dibatasi oleh sistem akuisisi data yang digunakan, dalam hal ini modul ADS1256. Oleh karena itu, tegangan keluaran geophone harus berada dalam rentang input ADC agar tidak terjadi saturasi sinyal dan distorsi data pengukuran.

Hasil perhitungan respons seismik berdasarkan persamaan tersebut disajikan pada Tabel 3.2 Data Hasil Pengukuran Geophone.

Tabel 3.2 Data Hasil Pengukuran Geophone

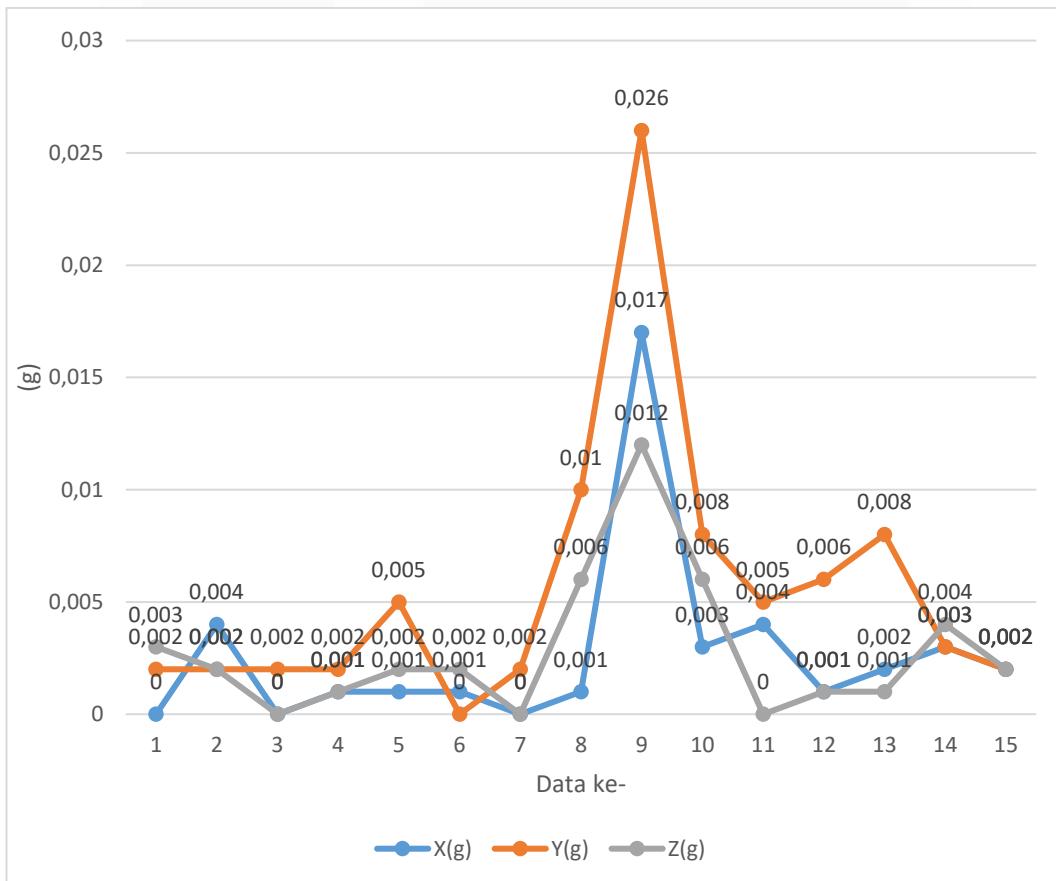
No.	Geophone (mV)	Seismic Response (mm/s)
1.	33.03	$1.15 \times 10^{-3}$
2.	37.10	$1.29 \times 10^{-3}$
3.	29.03	$1.01 \times 10^{-3}$

4.	30.28	$1.05 \times 10^{-3}$
5.	46.35	$1.61 \times 10^{-3}$
6.	43.22	$1.50 \times 10^{-3}$
7.	29.03	$1.01 \times 10^{-3}$
8.	1080.72	$3.75 \times 10^{-2}$
9.	1220.85	$4.24 \times 10^{-2}$
10.	960.35	$3.33 \times 10^{-2}$
11.	552.97	$1.92 \times 10^{-2}$
12.	291.69	$1.01 \times 10^{-2}$
13.	147.47	$5.12 \times 10^{-3}$
14.	111.97	$3.89 \times 10^{-3}$
15.	62.22	$2.16 \times 10^{-3}$

Berdasarkan data hasil pengujian geophone pada Tabel 3.2, terlihat bahwa respons seismik yang dihasilkan menunjukkan variasi yang cukup signifikan terhadap besarnya rangsangan mekanik yang diberikan. Pada pengukuran nomor 1 hingga 7, nilai respons seismik berada pada kisaran  $1,01 \times 10^{-3}$  hingga  $1,61 \times 10^{-3}$  mm/s. Nilai yang relatif kecil dan cenderung stabil ini mengindikasikan kondisi getaran latar (*background vibration*) atau rangsangan mekanik yang lemah, yang dapat berasal dari noise lingkungan.

Sebaliknya, pada pengukuran nomor 8 hingga 11 terjadi peningkatan respons seismik yang sangat signifikan, dengan nilai maksimum mencapai  $4,24 \times 10^{-2}$  mm/s. Lonjakan ini berkorelasi langsung dengan pengujian berupa pukulan pada meja, di mana impuls mekanik yang dihasilkan memiliki amplitudo lebih besar dan bersifat sesaat. Pukulan tersebut menyebabkan meja bergetar secara tiba-tiba, sehingga menghasilkan kecepatan partikel tanah yang lebih tinggi dan terdeteksi jelas oleh geophone.

Setelah impuls pukulan terjadi, pada pengukuran nomor 12 hingga 15 terlihat adanya penurunan nilai respons seismik secara bertahap hingga kembali ke kisaran  $10^{-3}$  mm/s. Pola ini menggambarkan proses redaman (*damping*) getaran pada meja dan struktur di sekitarnya, di mana energi getaran berangsur-angsur berkurang seiring waktu.



Gambar 3.11 Grafik Data Hasil Percobaan Accelerometer

Berdasarkan data pada Grafik 3.1 Data Hasil Percobaan Accelerometer, pembacaan accelerometer pada sumbu X, Y, dan Z memberikan informasi mengenai arah dan karakteristik getaran yang terjadi selama pengujian, serta melengkapi data geophone pada Tabel 3.1 Data Hasil Percobaan Geophone. Masing-masing sumbu pada accelerometer merepresentasikan arah percepatan yang berbeda, di mana sumbu X dan Y umumnya merepresentasikan arah horizontal, sedangkan sumbu Z merepresentasikan arah vertikal terhadap permukaan meja tempat sensor diletakkan.

Pada kondisi tanpa adanya pukulan atau ketika getaran sangat kecil (data nomor 1–7 dan 14–15), nilai percepatan pada ketiga sumbu relatif mendekati nol g. Hal ini menunjukkan bahwa tidak terdapat percepatan signifikan pada arah horizontal maupun vertikal, sehingga sensor berada dalam kondisi stabil. Fluktuasi kecil yang masih muncul pada data tersebut dapat dikaitkan dengan noise sensor, getaran lingkungan sekitar. Kondisi ini konsisten dengan data geophone pada amplitudo rendah, yang menunjukkan bahwa tidak ada aktivitas getaran yang berarti. Ketika meja diberikan pukulan (data nomor 8–13), terlihat adanya peningkatan nilai percepatan pada ketiga sumbu, namun dengan besaran yang berbeda-beda. Peningkatan pada sumbu Y tampak paling dominan dibandingkan sumbu X dan Z. Hal ini mengindikasikan bahwa arah gaya pukulan atau rambatan getaran lebih banyak terjadi sejajar dengan arah sumbu Y, yang kemungkinan searah dengan arah pukulan atau arah utama rambatan getaran pada meja. Sementara itu, sumbu X menunjukkan nilai percepatan yang lebih kecil, yang menandakan bahwa komponen getaran pada arah horizontal lainnya relatif lebih lemah. Pada sumbu Z, yang merepresentasikan arah vertikal, juga terlihat peningkatan nilai percepatan ketika terjadi pukulan, meskipun umumnya lebih kecil dibandingkan sumbu Y. Respons pada sumbu Z ini menunjukkan adanya komponen getaran vertikal akibat impuls mekanik, seperti efek pantulan atau osilasi meja setelah dipukul. Perbedaan amplitudo antara sumbu Z dan sumbu horizontal menunjukkan bahwa sebagian besar energi getaran lebih banyak menyebar secara horizontal pada permukaan meja dibandingkan secara vertikal.

Secara keseluruhan, variasi nilai percepatan pada sumbu X, Y, dan Z menunjukkan bahwa getaran yang dihasilkan oleh pukulan bersifat tiga dimensi dan tidak hanya terjadi pada satu arah saja. Hasil ini sejalan dengan data geophone yang mencatat peningkatan signifikan pada saat terjadi pukulan, di mana accelerometer berperan memberikan informasi arah dan distribusi percepatan getaran, sedangkan geophone merekam respons kecepatan getaran.

### 3.4 Kendala yang Ditemukan

Selama pelaksanaan kerja magang, terdapat beberapa kendala yang dihadapi dalam proses perancangan dan pengujian prototype seismograf. Kendala pertama berkaitan dengan keterbatasan referensi jurnal terbaru yang secara spesifik membahas penggunaan dan metode pengujian geophone pada skala prototype sederhana. Lalu, kendala berikutnya ditemukan pada tahap pembuatan casing menggunakan teknologi pencetakan 3D. Hasil cetak menunjukkan bahwa empat tiang kecil yang berfungsi sebagai penyangga dan dudukan baut tidak tercetak secara sempurna. Dimensi tiang yang relatif kecil menyebabkan kualitas hasil cetak pada bagian atas tiang menjadi kurang rapi dan tidak terbentuk dengan baik. Akibatnya, diperlukan proses perbaikan manual dengan cara pemotongan dan perapihan ulang agar tiang penyangga tetap dapat digunakan untuk menopang Raspberry Pi dan PCB.

### 3.5 Solusi atas Kendala yang Ditemukan

Sebagai upaya untuk mengatasi kendala keterbatasan referensi jurnal terbaru terkait penggunaan dan pengujian geophone, dilakukan pencarian referensi tambahan melalui berbagai sumber lain yang relevan. Sumber tersebut meliputi dokumentasi teknis, video pembelajaran, serta pemanfaatan teknologi AI (*Artificial Intelligence*) sebagai alat bantu untuk memahami prinsip kerja sensor, metode pengujian awal, dan interpretasi data. Selain itu, untuk mengatasi permasalahan hasil pencetakan 3D pada bagian empat tiang dudukan yang tidak tercetak secara sempurna, dilakukan penyesuaian pada desain mekanik casing. Lubang baut dipindahkan dan dibuat pada keempat sisi ujung casing sehingga baut tetap dapat dipasang untuk mengunci tutup casing dengan body secara kuat dan aman. Meskipun terjadi perubahan pada posisi lubang baut, fungsi utama tiang sebagai dudukan Raspberry Pi dan PCB tetap berjalan dengan baik.