

### 3. PERANCANGAN SISTEM

#### 3.1. Perincian Robot SPERO

Robot SPERO yang digunakan dalam proyek ini menggunakan robot-mobil medis yang dikembangkan oleh dosen Universitas Kristen Petra. Robot ini diciptakan untuk mendukung rumah sakit terhadap Pandemi Covid-19. Robot belum memiliki perangkat lunak untuk jalan secara otomatis, dan hanya dapat berjalan dengan remote control.

Tabel 3.1 Spesifikasi Robot Mobil

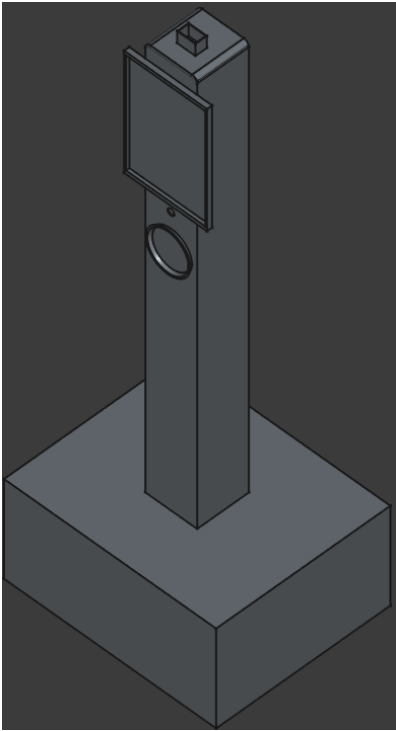
Kategori	Jumlah	Nama
Sistem operasi	-	Ubuntu 22.04
Sistem operasi meta	-	ROS Humble
Mikrokontroler	1	Raspberry Pi 4 4GB
Motor BLDC 3 fasa	4	-
Kontroler Motor	4	JYQD_V6.E3i
Sensor LiDAR 360	1	RPLiDAR A1M8
Monitor	1	LCD Display Monitor
Sensor arus & tegangan	1	MAX471 Modul Sensor Arus Tegangan
Aki	1	SMT1240 Power Battery
Webcam AI	1	Luxonis Oak-D
Speaker	1	Sony SRS XB
Microphone	1	COSTA Mic-01
Jetson Xavier	1	reComputer J2020
Raspberry Pi	1	Raspberry Pi 4 Model B
Mecanum Wheel	4	-
PWM	1	PCA9685 / Servo Driver 16 channel 12-bit
Modul Step Down DC-DC	2	XL4015 Step Down
Modul Charger Baterai	1	XL4015 CC-CV
Map Builder	1	RViz + Nav2
Code Assembler	1	Visual Studio Code

Tabel 3.1 menunjukkan spesifikasi lengkap dari sistem robot mobil yang digunakan dalam proyek ini, mencakup perangkat keras dan perangkat lunak. Sistem operasi utama adalah Ubuntu 22.04 dengan ROS 2 Humble. Untuk pemrosesan dan kontrol, digunakan Raspberry Pi 4 GB sebagai mikrokontroler dan reComputer J2020 (Jetson Xavier) untuk tugas komputasi berat. Sistem penggerak terdiri dari 4 motor BLDC 3 fasa yang dikendalikan oleh 4 modul kontrol JYQD\_V6.E3i, serta didukung oleh roda Mecanum untuk manuver omnidirectional. Sensor utama mencakup RPiDAR A1M8 untuk pemetaan lingkungan. Komponen visual dan audio terdiri dari webcam AI Luxonis Oak-D, monitor, mikrofon COSTA Mic-01, dan speaker Sony SRS XB. Untuk distribusi daya, sistem menggunakan aki SMT1240, modul step-down XL4015, dan modul charger XL4015 CC-CV. Selain itu, digunakan PWM driver PCA9685 untuk kendali motor presisi, serta perangkat lunak pendukung seperti RViz + Nav2 untuk visualisasi dan navigasi, serta Visual Studio Code untuk pengembangan kode dalam Raspberry Pi.



Gambar 3.1 Robot SPERO yang akan Dimodifikasi

Gambar 3.1 menunjukkan robot SPERO yang akan dimodifikasi dalam penelitian ini. Robot ini dirancang sebagai robot layanan yang dilengkapi dengan beberapa rak untuk membawa barang, serta memiliki struktur vertikal. Pada bagian bawah terdapat basis robot berwarna oranye yang menjadi tempat utama komponen elektronik dan sistem penggerak. Modifikasi yang direncanakan mencakup peningkatan kemampuan navigasi menggunakan sensor dan kamera, serta integrasi sistem kontrol dan komunikasi yang lebih canggih untuk meningkatkan otonomi dan interaktivitas robot dalam lingkungan dinamis.



Gambar 3.2 Desain Badan Baru untuk Robot SPERO

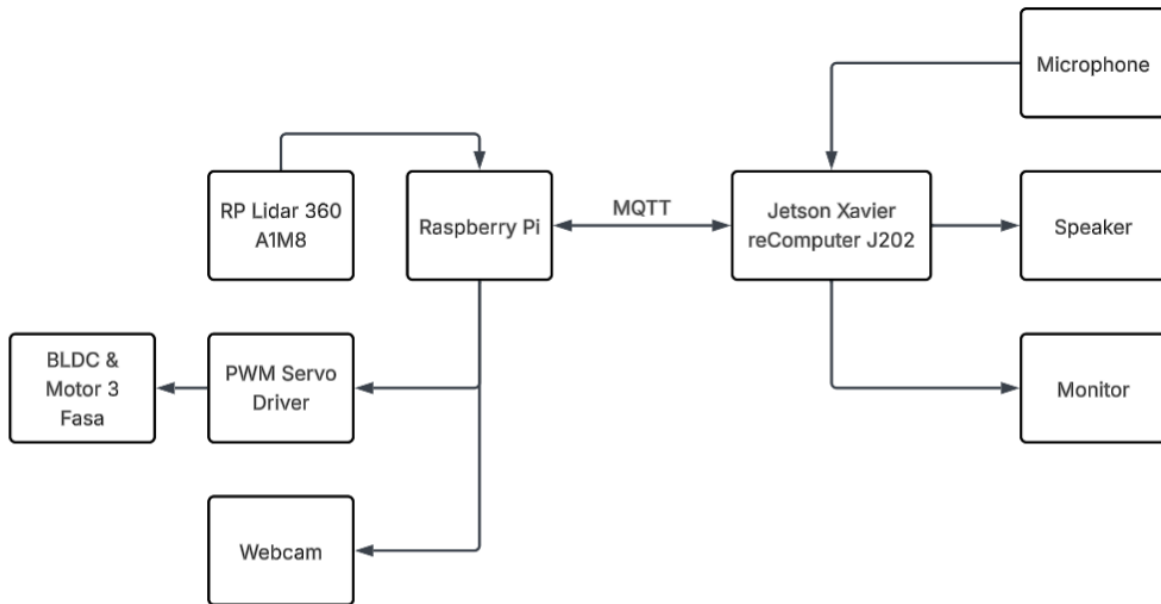
Gambar 3.2 menampilkan desain badan baru untuk robot SPERO yang dirancang sebagai hasil modifikasi dari bentuk awalnya. Desain ini mengadopsi pendekatan minimalis dan fungsional yang terinspirasi dari robot OhmniBot, di mana badan robot berbentuk tegak vertikal dengan bagian atas yang dilengkapi layar monitor dan kamera sebagai antarmuka interaktif dengan pengguna. Terdapat juga dudukan speaker yang memungkinkan komunikasi. Bagian bawah robot merupakan basis persegi yang menjadi tempat sistem penggerak serta komponen elektronik utama. Desain ini bertujuan untuk meningkatkan kemampuan robot dalam berinteraksi dengan manusia, sekaligus memberikan tampilan yang lebih modern dan efisien.

### 3.2. Perancangan Perangkat Keras Robot SPERO

Perancangan perangkat keras pada pengembangan robot SPERO mencakup beberapa komponen utama yang baru.

#### 3.2.1. Infrastruktur Robot SPERO

Berikut merupakan infrastruktur komunikasi yang dilakukan pada penelitian ini.



Gambar 3.3 Infrastruktur Komunikasi dalam SPERO

Sumber sensor dan input

Robot ini menggunakan beberapa sensor dan perangkat input untuk mengumpulkan data:

- V/A Sensor – Untuk memantau konsumsi arus dan tegangan dari sistem.
- RP Lidar 360 A1M8 – pemindai laser untuk pemetaan lingkungan secara 360 derajat.
- Webcam – menangkap gambar atau video.
- Microphone – menangkap suara.

Proses awal di Raspberry Pi

- Semua data dari V/A Sensor, RP Lidar, dan Webcam dikirim ke Raspberry Pi untuk diproses awal.

Kontrol motor

- Raspberry Pi mengirim perintah ke PWM Servo Driver berdasarkan data sensor.
- PWM Servo Driver mengendalikan BLDC & Motor 3 Fasa untuk menggerakkan robot sesuai perintah.

Komunikasi dengan Jetson Xavier

- Raspberry Pi berkomunikasi dengan Jetson Xavier reComputer J202 menggunakan protokol MQTT (protokol komunikasi ringan untuk IoT).
- Jetson Xavier menangani tugas komputasi lebih berat seperti:
  - Pemrosesan suara
  - Pengendalian tampilan pada monitor
  - Pengeluaran suara melalui speaker

Output Jetson Xavier

- Jetson Xavier mengolah data dan mengendalikan:
  - Monitor – menampilkan visual atau status sistem.
  - Speaker – mengeluarkan suara atau notifikasi.
  - Microphone input – untuk pengenalan suara atau komunikasi suara.

### 3.2.2. Jetson Xavier (reComputer J202)

Jetson Xavier (reComputer J202) adalah sebuah perangkat komputasi yang dirancang oleh Seeed Studio untuk kebutuhan pemrosesan kecerdasan buatan (AI) dan robotika, seperti pada gambar 3.4 berikut ini.



Gambar 3.4 Jetson Xavier (reComputer J202)

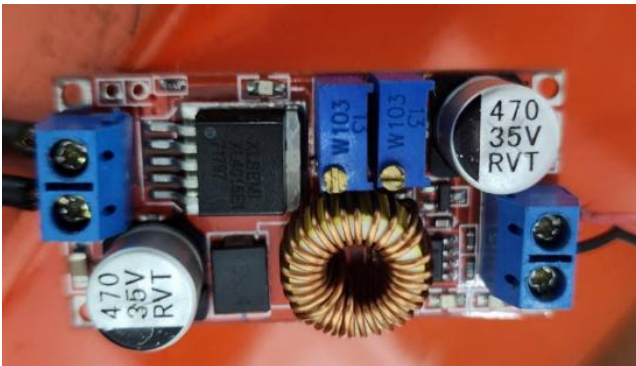
Unit ini memiliki performa tinggi visi komputer, inferensi model AI, dan manajemen sensor, sehingga bagus untuk fitur interaksi manusia-robot. ReComputer J202 dilengkapi dengan berbagai fitur serta konektivitas yang mendukung integrasi dengan mikrofon, speaker, dan monitor. Perangkat ini berperan sebagai pengendali utama untuk tugas komputasi perangkat keras yang mendukung sistem komunikasi interaktif. Sistem pada jetson xavier yang akan berkomunikasi dengan perangkat keras lain adalah seperti speaker, microphone, dan monitor

yang akan dibantu oleh teman kelompok, Winston Franchity Salim C11210018, yang lebih berfokus pada fitur AI yang akan ditampilkan dan digunakan pada perangkat tersebut. Jetson xavier akan mendapatkan bantuan dalam mengendalikan webcam baru untuk robot dari Raspberry Pi 4 yang juga terdapat pada robot dan merupakan controller satu lagi.

Alasan Pemilihan:

- Kapasitas komputasi tinggi.
- Mendukung akselerasi CUDA, TensorRT, dan integrasi dengan ROS 2 + OpenCV.
- Konsumsi daya relatif rendah untuk kemampuan sebesar itu.

XL4015 *Step Down* DC-DC Converter CC/CV merupakan modul konversi daya yang berfungsi untuk menurunkan tegangan (*step-down*) dari sumber tegangan yang lebih tinggi ke level tegangan yang lebih rendah sesuai kebutuhan perangkat elektronik, seperti pada gambar 3.5 berikut ini.



Gambar 3.5 XL4015 *Step Down* DC-DC Converter CC/CV

Modul ini memiliki fitur CC (*Constant Current*) dan CV (*Constant Voltage*), sehingga cocok digunakan untuk distribusi daya yang stabil untuk jetson xavier. Komponen utamanya, seperti induktor toroidal, potensiometer pengatur tegangan dan arus, serta kapasitor elektrolit, memungkinkan output tegangan yang dapat diatur secara presisi dengan efisiensi konversi tinggi. Dalam proyek robot SPERO, modul ini diambil fitur penyesuai arus dan tegangan agar aki dapat memberikan daya yang kuat pada komponen jetson xavier untuk menyala dan melaksanakan tugasnya.

### 3.2.3. Raspberry Pi 4

Raspberry Pi 4 merupakan komputer papan tunggal berukuran kecil yang dikembangkan oleh Raspberry Pi Foundation, yang dapat digunakan untuk belajar pemrograman dan membuat proyek DIY hingga menjalankan sistem otomatisasi rumah dan pusat media, seperti pada gambar

3.6 berikut ini.



Gambar 3.6 Raspberry Pi 4 Model B

Raspberry Pi 4 model B bawaan dari robot akan digunakan sebagai salah satu otak pemrosesan dalam sistem robot SPERO yang dimodifikasi. Raspberry Pi 4 mampu menangani berbagai tugas komputasi seperti pengolahan data sensor, komunikasi antarmodul, serta integrasi dengan sistem operasi ROS (*Robot Operating System*). Raspberry Pi 4 ini akan bekerja berdampingan dengan unit jetson xavier, serta berperan sebagai penghubung utama dengan webcam, PWM servo driver, dan sensor LiDAR.

Alasan Pemilihan:

- Komunitas luas, dokumentasi lengkap, dan kompatibilitas dengan sensor.
- Cocok untuk memisahkan sistem robot dari komputasi interaktif AI (yang ditangani Jetson).
- Fleksibel dan modular untuk kebutuhan eksperimen.

#### 3.2.4. Webcam AI Luxonis Oak-D

Luxonis OAK-D adalah modul kamera pintar serbaguna yang menggabungkan kamera stereoskopik (*depth camera*) dengan kemampuan pemrosesan AI pada perangkat (*edge AI*), seperti pada gambar 3.7 berikut ini.



Gambar 3.7 Webcam AI Luxonis Oak-D

*Webcam depth camera AI* akan digunakan sebagai bagian dari sistem persepsi visual pada robot yang dapat menambah kemampuan robot dalam pengenalan manusia. Kamera ini dilengkapi dengan fitur pengenalan kedalaman (*depth sensing*) dan *AI processing* bawaan yang cocok digunakan untuk pelacakan wajah. Kamera ini menjadi bagian penting dalam sistem visual robot agar robot dapat mengenali seseorang dan bisa memproses tindakan robot selanjutnya saat mendeteksi seseorang. Kamera AI Luxonis OAK-D mengirim data berupa stream video digital (dalam format *frame RGB*), data kedalaman (*depth map*), dan hasil inferensi AI (seperti *bounding box* atau label objek) dalam bentuk digital seperti array atau struktur data JSON kepada raspberry pi.

Alasan Pemilihan:

- Mendukung pemrosesan AI langsung di dalam perangkat.
- Memiliki integrasi yang baik dengan platform ROS 2, cocok untuk deteksi objek dan pelacakan wajah.
- Alternatif yang lebih ringkas dibanding penggunaan kamera RGB + sensor depth terpisah.

### 3.2.5. Speaker Sony SRS XB

Speaker Sony SRS-XB adalah speaker bluetooth portabel yang dirancang dengan teknologi EXTRA BASS™ untuk menghasilkan suara yang bertenaga dan bass yang dalam, speaker tersebut adalah seperti pada gambar 3.8 berikut ini.



Gambar 3.8 *Speaker Sony SRS-XB*

*Speaker Sony SRS-XB* akan digunakan sebagai sistem interaksi suara agar robot dapat berbicara dengan orang yang ada di depan robot SPERO. *Speaker* ini berfungsi untuk mengeluarkan suara ke lingkungan sekitar dan membalas percakapan seseorang. *Speaker* ini nantinya akan terhubung ke salah satu controller robot yaitu jetson xavier agar mampu membalas ucapan dari mikrofon. *Speaker Sony SRS-XB* menerima data dari Raspberry Pi dalam bentuk stream audio digital melalui Bluetooth atau berupa sinyal analog jika menggunakan kabel AUX. Format data tersebut berasal dari file audio (.wav, .mp3, dll) yang diubah menjadi stream audio untuk didengar.

Alasan Pemilihan:

- Kualitas suara jernih dan volume kuat.
- Menggunakan Bluetooth atau AUX, mudah dihubungkan dengan Jetson Xavier.

### 3.2.6. LCD Display Monitor

*LCD Display Monitor* merupakan perangkat output visual yang menampilkan gambar atau informasi dari komputer atau perangkat elektronik lainnya dengan menggunakan teknologi layar kristal cair, seperti pada gambar 3.9 berikut ini.



Gambar 3.9 *LCD Display Monitor*

*LCD display monitor* akan dipasang pada robot dengan orientasi portrait, sehingga lebih sesuai untuk kebutuhan visualisasi data atau tampilan interaktif. Pemasangan monitor ini

bertujuan untuk meningkatkan kemampuan interaksi robot dengan pengguna dalam bentuk informasi visual. Monitor LCD menerima data visual dari Jetson dalam bentuk *stream data digital video* berupa pixel RGB melalui koneksi HDMI (*High-Definition Multimedia Interface*).

Alasan Pemilihan:

- Mendukung kemampuan visual secara langsung oleh pengguna.
- Terintegrasi melalui HDMI dengan jetson xavier, tanpa perlu perangkat keras tambahan.

### 3.2.7. Microphone COSTA Mic-01

COSTA Mic-01 adalah mikrofon *clip-on lavalier* yang dirancang untuk merekam audio berkualitas tinggi pada perangkat seperti *smartphone*, laptop, dan PC, seperti pada gambar 3.10 berikut ini.



Gambar 3.10 COSTA Mic-01

Mikrofon *clip-on* ini akan digunakan sebagai bagian dari sistem interaksi suara. Mikrofon ini berfungsi untuk menangkap suara dari sekitar sebagai media input saat ada seseorang yang ingin berkomunikasi dengan robot. Desain *clip-on* memungkinkan pemasangan yang fleksibel di bagian badan robot, serta dapat menangkap kualitas suara yang cukup baik untuk kebutuhan komunikasi dasar atau perintah suara. Mikrofon ini nantinya akan terhubung ke sistem interaktif robot pada jetson xavier. Mikrofon COSTA Mic-01 akan menghasilkan sinyal suara analog yang kemudian dikonversi menjadi data digital oleh sound card atau USB audio interface. Jetson Xavier akan menerima data audio dalam bentuk stream digital, biasanya PCM, yang dapat digunakan secara langsung atau disimpan dalam file audio seperti WAV atau MP3.

Alasan Pemilihan:

- Model clip-on memberikan fleksibilitas pemasangan dekat casing robot.
- Sensitivitas tinggi untuk menangkap suara dengan jelas dalam jarak dekat-menengah.

### 3.2.8. Sensor LiDAR 360 RPLiDAR A1M8

Sensor RPLiDAR A1M8 merupakan sensor pemindai laser 360 derajat yang digunakan untuk pemetaan lingkungan secara *real-time* dengan akurasi tinggi dalam aplikasi robotika dan navigasi otonom, seperti pada gambar 3.11 berikut ini.



Gambar 3.11 Sensor LiDAR 360 RPLiDAR A1M8

Sensor LiDAR (*Light Detection and Ranging*) yang akan dipasang pada robot berfungsi untuk mendeteksi jarak dan bentuk objek di sekitarnya dengan cara memancarkan sinar laser dan mengukur waktu pantulannya. Sensor LiDAR ini digunakan sebagai sistem navigasi robot untuk menghindari rintangan. Pemasangan sensor LiDAR pada robot SPERO hanya menggunakan 1 sensor yang digunakan untuk navigasi apa yang ada didepan robot. Sensor RPLiDAR A1M8 mengirim data ke Raspberry Pi dalam bentuk digital melalui koneksi serial USB. Data yang diterima berupa kombinasi sudut dan jarak dalam format biner, yang kemudian diproses menjadi data jarak dan sudut, dan dapat divisualisasikan sebagai peta 2D.

Alasan Pemilihan:

- Kompatibel dengan berbagai paket ROS untuk SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*) dan navigasi.
- Akurasi dan kecepatan tinggi dalam pendeteksian rintangan.
- Desain ringan dan efisien untuk robot skala kecil-menengah seperti SPERO.

### 3.2.9. Power Supply DC 12V 40A

Power supply S-480-12 merupakan catu daya dengan output 12V 40A yang berfungsi untuk menyediakan tegangan dan arus stabil bagi berbagai perangkat elektronik dan sistem otomasi, seperti pada gambar 3.12 berikut ini.



Gambar 3.12 *Power Supply* DC 12V 40A

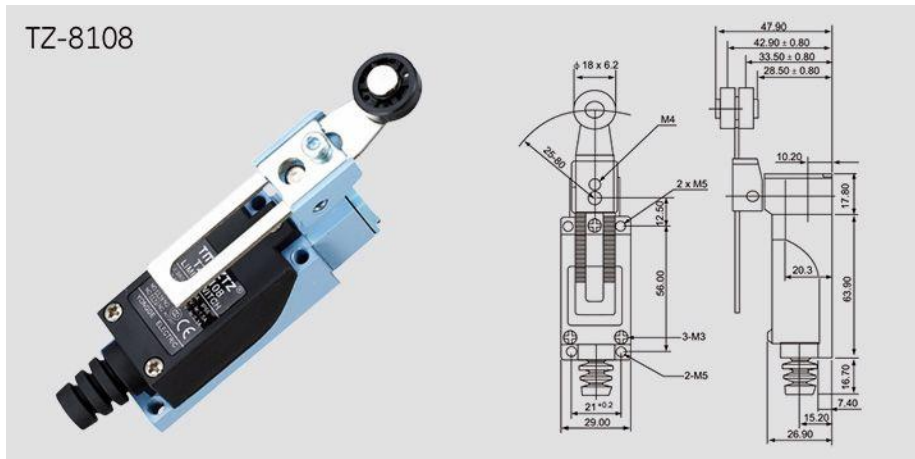
*Power supply* ini digunakan sebagai sumber utama untuk mengisi daya baterai robot. Dengan tegangan output 12 volt dan kapasitas arus hingga 40 ampere, alat ini mampu memberikan daya yang besar dan stabil untuk proses pengisian daya. *Power supply* ini memudahkan baterai robot dapat terisi dengan cepat dan efisien dengan bantuan *boost converter*, serta cocok digunakan dalam sistem pengisian otomatis yang membutuhkan daya tinggi.

Alasan pemilihan:

- Daya cukup besar untuk pengisian cepat tanpa memanaskan *power supply*.
- Stabil dan relatif ekonomis dibanding charger switching otomatis.

### 3.2.10. Limit Switch TZ-8108

*Limit switch TZ-8108* adalah saklar batas yang digunakan dalam berbagai aplikasi industri, kontrol mesin, dan sistem otomasi untuk mendeteksi posisi atau gerakan suatu objek dengan kontak fisik, seperti pada gambar 3.13 berikut ini.



Gambar 3.13 *Limit Switch TZ-8108*

Sumber: *TZ 8108 limit switch* (n.d.) <https://www.chinalimitswitch.com/tz-8-limit-switch/tz-8108.html>

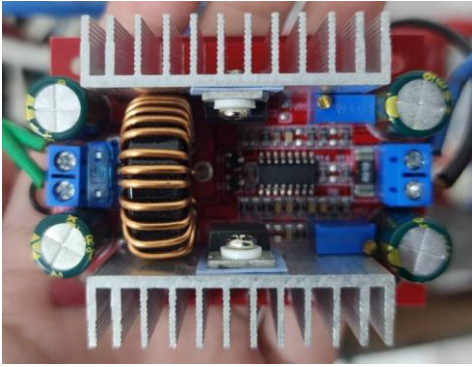
*Limit switch TZ-8108* berfungsi sebagai saklar otomatis yang bekerja berdasarkan tekanan fisik. Dalam sistem pengisian daya robot, *limit switch* ini dipasang agar hanya mengaktifkan arus listrik saat robot berada di posisi pengisian. Ketika robot menekan *limit switch*, sirkuit akan tertutup dan arus dari power supply akan mengalir untuk mengisi baterai. Sebaliknya, saat robot tidak berada di tempat, sirkuit akan terbuka dan mencegah aliran arus, menjaga keamanan sistem.

Alasan pemilihan:

- Digunakan sebagai trigger fisik untuk mendeteksi keberadaan robot di stasiun dok.
- Tahan lama, kuat dan mekanisme yang sederhana.
- Memudahkan aktivasi power supply.

### 3.2.11. Modul Boost Converter CC/CV

Modul Step Up DC-DC Boost Converter CC/CV adalah rangkaian elektronik yang berfungsi menaikkan (*step up*) tegangan searah (DC) dari sumber input menjadi tegangan output yang lebih tinggi, seperti pada gambar 3.14 berikut ini.



Gambar 3.14 Modul *Step Up DC-DC Boost Converter CC/CV*

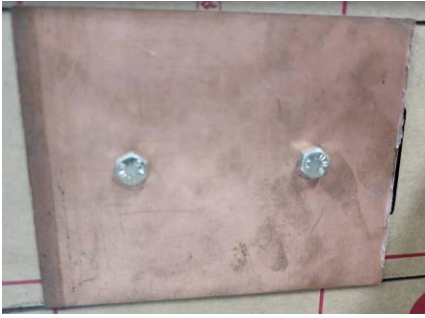
Modul *Step Up DC-DC Boost Converter CC/CV* ini berfungsi untuk meningkatkan (*boost*) tegangan dari sumber tegangan yang lebih rendah ke tegangan yang lebih tinggi sesuai kebutuhan sistem. Modul ini dilengkapi fitur *CC (Constant Current)* dan *CV (Constant Voltage)* yang memungkinkan pengguna mengatur batas arus dan tegangan output secara akurat. Desainnya yang dilengkapi heatsink besar dan induktor toroidal membantu mengurangi panas dan meningkatkan efisiensi konversi daya. Modul *Step Up DC-DC Boost Converter CC/CV* pada sistem stasiun pengisian daya robot berfungsi untuk menaikkan tegangan output dari sumber daya menjadi tegangan yang sesuai untuk mengisi ulang baterai robot secara efisien, yaitu tegangan 13V sampai 14V dan arus 4A sampai 5A. Modul ini dilengkapi dengan pengaturan arus dan tegangan output (*CC/CV*) sehingga proses pengisian daya menjadi lebih aman dan terkendali, mencegah *overcurrent* atau *overvoltage* yang bisa merusak baterai. Penggunaan modul boost ini sangat penting jika baterai robot memerlukan tegangan pengisian yang lebih tinggi daripada tegangan output dari aki.

Alasan pemilihan:

- Menyediakan kontrol pengisian arus konstan dan tegangan konstan secara presisi.
- Melindungi baterai dari *overcurrent* dan *overvoltage*.
- Dapat diatur sesuai kebutuhan daya SPERO

### 3.2.12. Plat Tembaga

Plat tembaga ini berfungsi sebagai konduktor listrik yang efisien, sering digunakan dalam sistem grounding atau distribusi arus listrik karena daya hantar listriknya yang tinggi, seperti pada gambar 3.15 berikut ini.



Gambar 3.15 Dua Plat Tembaga

Plat tembaga pada sistem stasiun pengisian daya digunakan sebagai penghantar listrik untuk proses pengisian daya robot. Plat tembaga tersebut berukuran 13,8 cm x 10 cm. Dalam modifikasi ini, robot dirancang agar dapat mengisi daya menggunakan sambungan kontak fisik dengan magnet neodmium, yang akan bersentuhan dengan plat tembaga saat robot berada di posisi pengisian. Selain memastikan kontak listrik yang stabil, penggunaan plat tembaga juga mendukung aliran arus langsung dari *power supply* ke sistem baterai robot. Fungsinya tidak hanya sebagai struktur penopang, tetapi juga sebagai terminal pengisian daya, menggantikan peran konektor konvensional dengan sistem yang lebih sederhana dan otomatis.

Alasan pemilihan:

- Memberikan kontak permukaan yang lebar untuk sambungan stabil dengan magnet pada robot.
- Mudah dirakit dan disesuaikan.
- Resistansinya yang kecil sehingga tidak terjadi drop tegangan saat kontak.

### 3.2.13. Magnet Neodymium

Magnet neodmium merupakan jenis magnet permanen terkuat yang banyak digunakan dalam aplikasi industri dan teknologi karena memiliki daya tarik magnetik yang sangat tinggi meskipun ukurannya kecil, seperti pada gambar 3.16 berikut ini.



Gambar 3.16 Magnet Neodymium

Magnet neodmium digunakan sebagai media koneksi otomatis antara robot dan plat

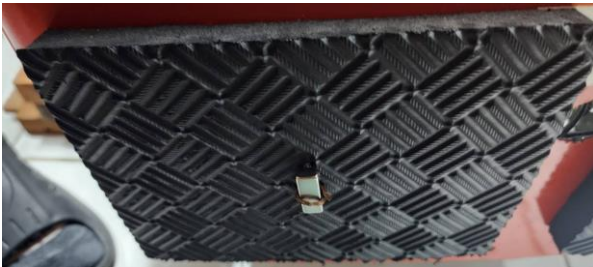
tembaga pada stasiun pengisian daya. Magnet neodmium memiliki ukuran 30 mm x 10 mm dengan ketebalan 5mm. Magnet ini memiliki daya tarik yang cukup kuat, sayangnya magnet tidak mampu menempel dengan plat tembaga. Meskipun fitur magnetik tidak digunakan, magnet neodmium tetap memastikan kontak listrik yang stabil dan aman saat proses pengisian daya berlangsung. Dengan sistem ini, proses pengisian daya menjadi lebih praktis, cepat, dan mendukung pengoperasian robot secara semi-otomatis.

Alasan Pemilihan:

- Ukuran kecil agar tidak mudah patah dan membelah saat mendapatkan tekanan.
- Resistansinya yang kecil sehingga tidak terjadi drop tegangan saat kontak.

#### 3.2.14. EVA Foam

EVA foam, atau *Ethylene-Vinyl Acetate foam*, adalah jenis busa yang fleksibel, tahan terhadap air dan bahan kimia, serta kemampuan untuk menyerap guncangan. EVA foam menjadi pilihan populer untuk berbagai aplikasi dan salah satunya adalah untuk proyek robot sbero, seperti pada gambar 3.17 berikut ini.



Gambar 3.17 EVA Foam

*EVA foam* digunakan untuk melindungi permukaan robot dan komponen pengisian dari benturan saat proses parkir. Bahan ini memiliki sifat lentur, ringan, dan tahan terhadap tekanan, sehingga sangat efektif dalam meredam guncangan saat robot menempel pada stasiun pengisian daya menggunakan magnet. *EVA foam* dipotong menjadi 2 dengan ukuran 20 cm x 15 cm dengan ketebalan 2 cm, yang dipasang pada bumper belakang robot.

Alasan pemilihan:

- Bahan lentur dan ringan, memudahkan kestabilan kontak fisik meskipun posisi dok tidak sempurna.
- Memberikan tekanan lembut untuk mempertahankan kontak dengan plat tembaga.
- Meredam benturan saat docking.
- Mencegah aliran listrik untuk menyentuh secara langsung ke tubuh robot.

### 3.3. Perancangan Mekanisme Robot SPERO

Perancangan mekanisme pada pengembangan robot SPERO mencakup beberapa sistem utama yang baru.

#### 3.3.1. *Casing Webcam* AI Luxonis Oak-D

*Casing webcam* ini merupakan dudukan berbentuk persegi dengan dimensi dalam sekitar 5 cm × 3,3 cm × 3 cm, yang dilengkapi dengan penjepit dan pengisap untuk dipasang pada permukaan vertikal sehingga dapat dipasang ketat dan tidak mudah lepas, seperti pada gambar 3.18 berikut ini.



Gambar 3.18 *Casing Webcam* AI Luxonis Oak-D

*Casing* khusus *webcam* Luxonis Oak-D ini memiliki sistem penyangga vakum (*suction cup*), yang dirancang untuk dipasang secara fleksibel pada permukaan robot. *Casing* ini terbuat dari bahan akrilik dengan bentuk presisi, memiliki *EVA foam* di dalamnya sehingga *webcam* tidak akan tergoncang, serta memiliki bukaan dibawah untuk pemasangan kabel pada *webcam*. *Casing* ini dapat memutar kepalanya memungkinkan fleksibilitas pada posisi perekaman tertentu sehingga dapat diarahkan dengan fleksibel.

#### 3.3.2. *Casing Speaker* Sony SRS XB

*Casing speaker* ini merupakan dudukan berbentuk persegi dengan dimensi dalam sekitar 20,5 cm × 7,5 cm × 6,8 cm, yang dilengkapi papan akrilik transparan untuk dapat di baut pada tubuh robot sehingga dapat dipasang ketat dan tidak mudah lepas, seperti pada gambar 3.19 berikut ini.



Gambar 3.19 *Casing Speaker Sony SRS XB*

*Casing* khusus yang dirancang untuk menampung dan melindungi speaker Sony SRS akan dipasang pada badan tengah robot. *Casing* ini terbuat dari bahan akrilik dengan bentuk presisi, memiliki *EVA foam* di dalamnya sehingga *speaker* tidak akan tergoncang, serta memiliki bukaan yang disesuaikan untuk memudahkan pemasangan kabel dan memastikan keluaran suara dan kabel tidak terhalang. Posisi pemasangan *casing* ini berada pada bagian depan robot, dan berfungsi sebagai sarana output suara, untuk interaksi dengan lingkungan sekitar.

### 3.3.3. *Casing LCD Display Monitor*

*Casing LCD display monitor* ini merupakan dudukan berbentuk persegi dengan dimensi dalam sekitar 20,5 cm × 1 cm × 36 cm, yang dilengkapi papan akrilik berbentuk U di bagian belakangnya untuk dapat di baut pada tubuh robot sehingga dapat dipasang ketat dan tidak mudah lepas, seperti pada gambar 3.20 berikut ini.



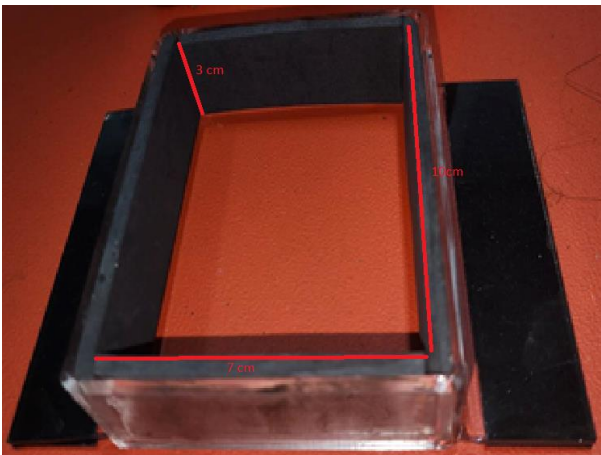
Gambar 3.20 *Casing LCD Display Monitor*

*Casing* pelindung yang dirancang untuk sebuah monitor akan dipasang pada tubuh

kepala robot. *Casing* ini terbuat dari bahan akrilik dengan bentuk presisi, memiliki evafoam didalamnya sehingga monitor tidak akan tergoncang, serta memiliki bukaan yang disesuaikan untuk memudahkan pemasangan kabel pada monitor. Fungsinya adalah untuk melindungi layar monitor saat robot beroperasi. Selain itu, desain *casing* ini juga memberikan tampilan yang rapi pada sistem robot, sekaligus memastikan tampilan visual dari monitor tetap terlihat jelas bagi pengguna atau pengamat dari luar.

#### 3.3.4. Casing Sensor LiDAR 360 RPLiDAR A1M8

*Casing* sensor LiDAR 360 RPLiDAR A1M8 ini merupakan dudukan berbentuk persegi dengan dimensi dalam sekitar 7 cm × 10 cm × 3 cm, yang dilengkapi papan akrilik di bagian bawahnya untuk dapat di tempelkan pada *base* robot sehingga dapat dipasang ketat dan tidak mudah lepas, seperti pada gambar 3.21 berikut ini.



Gambar 3.21 *Casing* Sensor LiDAR

*Casing* khusus yang dirancang untuk menampung sensor LiDAR A1M8, merupakan salah satu komponen utama dalam sistem navigasi auto roaming berbasis pemetaan dan deteksi objek. *Casing* ini terbuat dari bahan akrilik dengan bentuk presisi, memiliki evafoam didalamnya sehingga sensor tidak akan tergoncang, serta memiliki bukaan yang disesuaikan untuk memudahkan rotasi pada sensor. Posisi *casing* ini dipasang pada bagian base robot dengan bukaan yang memungkinkan LiDAR melakukan pemindaian 360 derajat secara optimal.

### 3.3.5. Tubuh Robot SPERO

Sebagai bagian dari peningkatan desain struktur, badan utama robot SPERO mengalami pembaruan pada material rangkanya. Penggantian ini ditujukan untuk meningkatkan kekuatan dan kestabilan robot saat menopang berbagai komponen pendukung. Struktur yang digunakan kini berupa besi hollow, seperti pada gambar 3.22 berikut ini.



Gambar 3.22 Besi untuk Badan Baru Robot SPERO

Besi untuk badan baru robot SPERO telah dibuat *hollow* untuk menyediakan jalur internal untuk kabel. Struktur utama robot menggunakan bahan besi *hollow* berbentuk persegi panjang yang telah dilas secara manual. Pemilihan bahan ini dikarenakan kuat dan kokoh untuk menopang komponen berat seperti monitor, speaker, dan webcam. Dimensi untuk badan robot yang baru adalah 14 cm x 10 cm x 130 cm (p x l x t).

Setelah proses perakitan struktur utama, badan robot SPERO dimodifikasi lebih lanjut untuk mendukung pemasangan berbagai komponen fungsional. *Casing-casing* tambahan dirancang secara khusus agar sesuai dengan dimensi dan posisi perangkat seperti monitor, *speaker*, kamera, dan sensor, serta memastikan tiap komponen dapat bekerja optimal dalam sistem robot secara keseluruhan, seperti pada gambar 3.23 berikut ini.



Gambar 3.23 Badan Robot yang telah Dimodifikasi dengan *Casing* Komponen

Badan robot telah dimodifikasi dan dilengkapi dengan berbagai *casing* untuk mendukung fitur robot. Badan robot juga telah diwarnai oranye untuk sesuai dengan *base* robot SPERO. Badan ini berfungsi sebagai penopang semua komponen utama, yaitu:

- *Casing* monitor di bagian atas, berfungsi sebagai antarmuka pengguna (*display interface*).
- *Casing speaker* Sony SRS di bagian tengah, untuk mengeluarkan suara atau notifikasi.
- *Casing* kamera (dipasang di sisi kiri), digunakan sebagai sensor visual untuk navigasi atau pengenalan objek.
- *Casing* sensor LiDAR A1M8 di bagian bawah, yang berperan dalam pemetaan lingkungan dan penghindaran rintangan secara real-time.

Seluruh komponen ini telah diposisikan secara strategis agar tidak saling menghalangi fungsi masing-masing, sekaligus menjaga keseimbangan struktur robot. Desain ini menunjukkan pendekatan integrasi perangkat keras yang sistematis, yang mendukung robot agar dapat beroperasi secara mandiri dalam lingkungan sekitarnya.

Desain ini dipilih dengan pertimbangan:

- Memberikan ruang vertikal yang cukup untuk pemasangan komponen secara bertingkat (LiDAR di bawah, monitor dan kamera di atas, mikrofon dan speaker di tengah).
- Tubuh *hollow* menyediakan jalur internal untuk kabel. Berat tubuh juga tidak mempengaruhi banyak gerakan dari robot.
- Komponen dapat dilepas pasang dengan mudah untuk keperluan perawatan atau *upgrade*.
- Setiap komponen memiliki ruang atau *casing* tersendiri sehingga sistem tampak profesional dan siap digunakan di lingkungan publik atau uji coba lapangan.

### 3.3.6. Komponen Stasiun Pengisian Daya

Untuk menunjang kemandirian operasional robot SPERO, dikembangkan sebuah stasiun pengisian daya yang mampu melakukan pengisian daya secara otomatis maupun manual. Sistem ini dirancang untuk memastikan baterai robot tetap terjaga dalam kondisi optimal tanpa intervensi manual yang berlebihan.

Tabel 3.2 Komponen Stasiun Pengisian Daya

Kategori	Jumlah	Nama
Akrilik	1	-
Limit Switch	1	TZ-8108
Power Supply DC	1	PSU 12V 40A
Boost Converter	1	Step Up DC-DC Boost Converter CC/CV
Plat Tembaga	2	-
EVA Foam	2	-
Magnet Neodymium	2	-

Mekanisme untuk stasiun pengisian daya bagi robot SPERO adalah sebagai berikut:

1. Saat baterai SPERO hampir habis, sistem navigasi akan memandu robot kembali ke stasiun pengisian daya.
2. Robot diarahkan secara ke dalam stasiun berbentuk U menggunakan sensor navigasi.
3. Saat plat tembaga pada robot menyentuh elektroda docking
4. Magnet dan evafoam memastikan koneksi kontak stabil.
5. *Limit switch* aktif, memicu sistem untuk mulai mengalirkan arus ke baterai.

6. Modul *boost converter* menyesuaikan tegangan dan arus untuk pengisian yang aman (*Constant Current* → *Constant Voltage*).
7. Robot juga dapat digerakan secara manual kepada stasiun pengisian daya secara langsung jika dibutuhkan.

### 3.3.7. Stasiun Pengisian Daya

Gambar 3.24 menunjukkan rancangan stasiun pengisian daya untuk robot SPERO yang dibuat menggunakan bahan akrilik. Stasiun ini memiliki dimensi 51 cm × 62 cm × 30 cm (p × l × t), dimana lebar 62 cm dibagi menjadi 2, 31 cm lurus sesuai bentuk robot dan 31 cm membuka keluar, dan berfungsi sebagai tempat parkir sekaligus titik pengisian daya robot secara otomatis. Desainnya disesuaikan agar stabil dan mudah dikenali oleh sistem navigasi robot saat proses docking berlangsung.

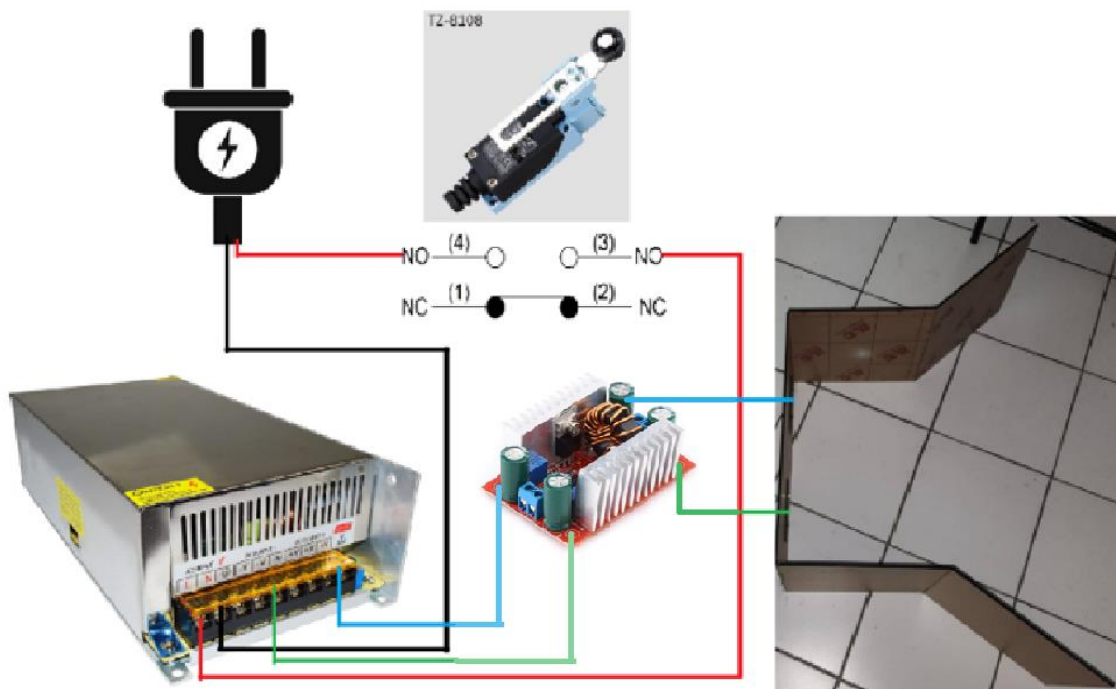


Gambar 3.24 Stasiun Dok Pengisian Daya

Stasiun pengisian daya dirancang sesuai untuk ukuran robot SPERO. Stasiun pengisian daya ini berfungsi sebagai tempat robot dapat parkir lalu mengisi daya baterai ketika level baterai rendah. Sistem ini umumnya digunakan agar robot dapat mengisi daya secara otonom tanpa intervensi manusia, namun robot masih belum bisa melakukan parkir otomatis. Stasiun pengisian daya terbuat dari akrilik yang dilengkapi dengan plat tembaga yang dialiri tegangan DC, 13V sampai 14V, dan arus 4A sampai 5A, dengan terminal + dan -.

### 3.3.8. Rangkaian Stasiun Pengisian Daya

Rangkaian stasiun pengisian daya ini terdiri dari adaptor *power supply*, modul *step-down DC-DC converter*, dan saklar *limit switch* yang berfungsi sebagai pemutus arus otomatis. Saat robot masuk ke area pengisian dan menyentuh *limit switch*, arus listrik akan mengalir dari adaptor ke *converter* untuk mengisi daya baterai robot. Sistem ini dirancang agar proses pengisian hanya terjadi ketika posisi robot tepat berada di stasiun pengisian, sehingga lebih aman dan efisien, seperti gambar 3.25 berikut ini.



Gambar 3.25 Rangkaian Stasiun Pengisian Daya

Rangkaian sistem pengisian daya otomatis untuk robot SPERO, di mana arus listrik dari sumber PLN terlebih dahulu dialirkan melalui *limit switch TZ-8108* sebelum masuk ke *power supply DC 12V 40A*. Limit switch ini berfungsi sebagai saklar mekanis otomatis yang hanya akan menutup rangkaian ketika robot benar-benar berada di posisi parkir. Setelah *limit switch* aktif, *power supply* akan menyuplai tegangan ke modul *boost converter CC/CV*, yang kemudian menyesuaikan output sesuai dengan kebutuhan pengisian aki 12V 40Ah pada robot, dibutuhkan sekitar 13,0V sampai dengan 14,2V dan arus sebesar 4,2A. Output dari *boost converter* diteruskan ke plat tembaga elektroda di stasiun pengisian daya, yang akan bersentuhan langsung dengan port di tubuh SPERO. Desain ini memastikan bahwa *power supply* hanya menyala saat robot terdeteksi berada di posisi yang tepat, meningkatkan efisiensi dan keamanan proses pengisian daya.

### 3.3.9. Port Pengisian Daya Robot SPERO

Bagian belakang robot telah dimodifikasi dengan menambahkan *charging port* baru dari magnet neodmium dan *EVA foam*. *Charging port* ini berfungsi sebagai titik koneksi utama untuk pengisian daya secara manual maupun otomatis, seperti pada gambar 3.26 berikut ini.



Gambar 3.26 Port Pengisian Daya Robot SPERO

Port pengisian daya dari robot yang telah dilengkapi dengan *EVA foam* dan magnet neodmium berfungsi sebagai titik koneksi antara robot dan stasiun pengisian daya. Saat robot kembali ke stasiun pengisian daya, magnet neodmium ini melakukan kontak langsung dengan plat tembaga pengisi daya untuk mengalirkan arus ke baterai internal robot. Sistem magnet tersebut digunakan untuk mengaliri arus DC dari stasiun pengisian daya ke robot.

### **3.4. Perancangan Perangkat Lunak Robot SPERO**

Perancangan perangkat lunak pada pengembangan robot SPERO mencakup beberapa program utama yang baru.

#### **3.4.1 Sistem *Autoroaming***

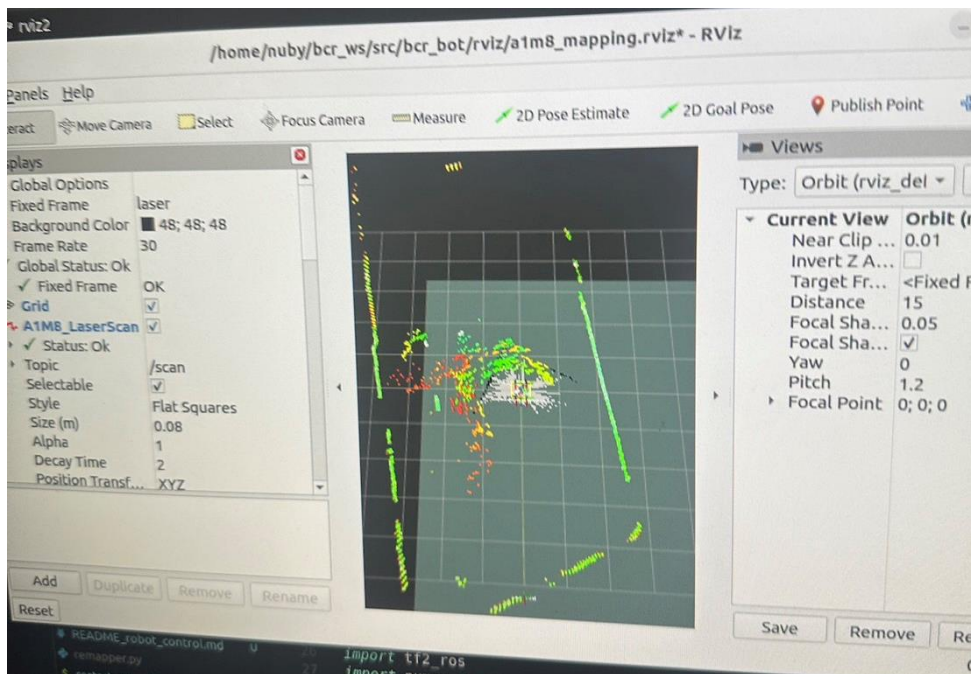
Sistem *autorooming* merupakan sistem utama yang bertanggung jawab untuk mengontrol pergerakan otonom robot. Sistem *autorooming* akan dibantu dengan teman kelompok, Theodore Eldwin C11210007, yang lebih berfokus pada sistem perangkat lunak, sistem navigasi, dan mapping untuk robot SPERO, agar dapat berkomunikasi dengan simulasinya. Kode python untuk raspberry pi yang dipasang pada robot dapat dilihat pada lampiran 1.

#### **3.4.2 Sistem *Mapping***

Sistem pemetaan pada robot SPERO dikembangkan untuk memudahkan proses pemetaan area kerja secara otomatis dengan menggunakan RViz sebagai perangkat lunak visualisasi. Dengan RViz, semua data hasil pengamatan lingkungan sekitar robot dapat dilihat secara langsung oleh operator. Dalam sistem ini, diterapkan MQTT Topik bernama `robot/lidar/real_world_data` yang berfungsi sebagai saluran komunikasi data untuk memperoleh hasil pengukuran jarak dan halangan dari sensor RPLiDAR A1M8 yang terpasang

pada robot. Data pengamatan dikirim melalui MQTT dan diproses dalam skrip pemetaan untuk divisualisasikan di Rviz.

Skrip pemetaan yang diterapkan pada robot SPERO mendukung dua mode operasi utama, yaitu *LiDAR Visual Mapping* dan *Global Mapping*. Mode *Lidar Visual* beroperasi sebagai mode pemetaan interaktif yang mengidentifikasi halangan di area sekitar robot secara langsung (*live streaming*), sehingga hasilnya berupa garis peta yang selalu diperbarui sesuai dengan informasi terbaru dari LiDAR. Dengan fitur ini, pengendali dapat mengamati halangan atau pergerakan orang yang ditangkap oleh sensor robot.



Gambar 3.27 Pembacaan Sensor LiDAR melalui Python Operator

Terdapat mode *Global Mapping* yang memiliki kemampuan menyusun peta keseluruhan dengan halangan yang terdeteksi saat robot *autoroaming*. Mode ini untuk pembuatan peta statis, yang berarti data yang bersifat sementara seperti pergerakan individu/orang tidak akan dimasukkan ke dalam peta akhir. Sistem ini hanya memproses halangan yang permanen, sehingga peta hasil pengamatan menjadi lebih tepat dan rapi. Setelah proses pemetaan selesai, sistem menyimpan peta ke penyimpanan robot untuk digunakan kembali dalam perencanaan jalur atau navigasi otonom di masa mendatang. Untuk dapat melakukan *mapping* dapat lanjut membaca lampiran 2 dan lampiran 3.