

BAB III

PELAKSANAAN PROYEK

3.1 Pembagian Tugas

Dalam proyek pengembangan robot sepakbola beroda, pembagian tugas dilakukan secara sistematis dengan meliputi empat divisi inti yaitu Mekanikal, Elektrikal, *Low-Level Programming*, dan *High-Level Programming*.

Sebagai anggota divisi elektrikal, memiliki peran dalam merancang dan mengimplementasikan sistem kelistrikan pada robot sepakbola ini. Tanggung jawab utama dari divisi elektrikal meliputi perancangan dan integrasi sistem tenaga dari mulai baterai, distribusi tenaga dengan tegangan yang berbeda. Selain itu divisi elektrikal juga bertanggung jawab mengenai sensor dan aktuator yang digunakan, memastikan daya yang dibutuhkan terpenuhi dengan baik dan memastikan semua sinyal atau data sensor dan aktuator terkirim dengan baik.

Divisi elektrikal tentunya berkomunikasi dan berkolaborasi dengan divisi lainnya dari mulai divisi mekanika yang menghitung mekanisme dan kinematik robot kemudian ditemukan keperluan minimal robot yang perlu dipenuhi oleh komponen aktuator. Selain itu kerjasama mengenai penempatan komponen dan perkabelan juga dilakukan bersama dengan divisi mekanika. Sedangkan dengan *low level programming*, dilakukan kerjasama untuk perancangan PCB untuk menyesuaikan spesifikasi yang dibutuhkan. Kerjasama dengan *high-level programming* juga dilakukan untuk menentukan kebutuhan sensor yang akan digunakan untuk pergerakan robot.

3.2 Penggerak Utama

3.2.1 Perancangan & Perhitungan Penggerak Utama

Sistem penggerak utama dirancang dengan menggunakan 3 buah motor DC. Pemilihan sistem menggunakan tiga roda *omni wheel* didasari pada kebutuhan robot untuk dapat bergerak ke segala arah yang diinginkan. Dari segi elektrikal, opsi tiga roda merupakan pilihan yang dianggap tepat terlebih bila dibandingkan dengan penggunaan *omni wheel* empat roda. Penggunaan tiga

roda memberikan efisiensi daya yang lebih tinggi dikarenakan memakan arus yang lebih kecil dibandingkan konfigurasi empat roda dengan membandingkan penambahan kecepatan pada beberapa arah, namun pada arah tertentu konfigurasi tiga roda memiliki keunggulan kecepatan dibandingkan empat roda [11].

Selanjutnya dilakukan perhitungan kebutuhan torsi roda penggerak utama. Dari perhitungan sistem dinamik yang dilakukan tim mekanikal didapatkan gaya translasi yang dibutuhkan masing-masing roda sebesar 9 Newton dan I_c sebesar 0,73 Ampere. Berikut perhitungan torsi motor yang dibutuhkan untuk tiap roda.

- Torsi Translasi tiap roda

$$\begin{aligned}\tau_{translasi} &= F * r \\ &= 9 * 0,05 \\ &= 0,45Nm\end{aligned}$$

- Torsi akibat inersia rotasi robot (asumsi 1rad/s²)

$$\begin{aligned}\tau_{rotasi\ robot} &= I_c * \alpha \\ &= 0,73 * 1 \\ &= 0,73Nm\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F_{rotasi} &= \frac{\tau}{r_{roda}} \\ &= \frac{0,73}{0,185} \\ &= 3,95N\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\tau_{rotasi\ per\ roda} &= F_{rotasi} * r \\ &= 3,95 * 0,05 \\ &= 0,2Nm\end{aligned}$$

- Torsi akibat inersia roda

$$\begin{aligned}\alpha_r &= \frac{a}{r} \\ &= \frac{1,5}{0,05} \\ &= 30\ rad/s^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\tau_{inersia\ roda} &= I_r * \alpha_r \\ &= 3,75 \times 10^{-4} * 30 \\ &= 0,01125Nm\end{aligned}$$

- Torsi akibat gaya gesek

$$\begin{aligned}
 N &= \frac{M * g}{3} \\
 &= \frac{18 * 9,81}{3} \\
 &= 58,86N
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{gesek \text{ per roda}} &= \mu * N \\
 &= 0,6 * 58,86 \\
 &= 35,32N
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \tau_{gesek \text{ per roda}} &= F_{gesek \text{ perroda}} * r \\
 &= 35,32 * 0.05 \\
 &= 1,766Nm
 \end{aligned}$$

- Total Torsi yang dibutuhkan

$$\begin{aligned}
 \tau_{total} &= 0,45 + 0,2 + 0,01125 + 1,766 \\
 &= 2,427Nm \\
 &= 24.7485 \text{ kg.cm}
 \end{aligned}$$

Selain melakukan pergerakan, robot juga perlu mengetahui perpindahan yang sudah dilakukannya apakah sesuai dengan yang diharapkan atau tidak. Oleh karena itu dirancang sensor *encoder* yang dihubungkan pada motor untuk mendeteksi perputaran motor yang kemudian dapat dihitung menjadi perpindahan robot.

3.2.2 Implementasi Penggerak Utama

Dikarenakan kebutuhan torsi untuk 1 buah motor adalah 2,427 Nm atau 24.7485 Kg.cm, maka pemilihan komponen motor harus memenuhi kriteria tersebut robot agar robot dapat bergerak. Dari hasil studi literatur [12, 13] dan perhitungan kebutuhan komponen dipilih motor PG45 untuk dijadikan sebagai penggerak utama robot.

Tabel 1 Spesifikasi Motor DCPG45 [14]

Parameter	Nilai
Rasio gear	1 : 13,7
Kecepatan	700 RPM
Diameter	45 mm
Arus Maksimal	6,5 Ampere
Tegangan	24 Volt DC
Torsi Stall	35 kg.cm

Motor PG45 yang dipilih telah dipasangkan *gearbox* untuk mengurangi kecepatan menjadi 700 RPM dan juga menaikkan torsi *stall* pada 35kgcm [14]. Selain itu, pemilihan motor juga dipertimbangkan karena sudah adanya sensor *encoder* untuk mendeteksi kecepatan perputaran dari tiap motor untuk mengetahui perpindahan robot.



Gambar 1 Motor PG45 700RPM

Dari spesifikasi yang ada, akan ditentukan *transfer function* dari motor PG45 yang digunakan pada robot. Dikarenakan manufaktur memberikan *datasheet* universal dengan *gearbox* yang berbeda, perhitungan menyesuaikan perbandingan rasio *gearbox* yang digunakan.

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{V_{stall}}{I_{stall}} \\
 &= \frac{22,96}{22,87} \\
 &= 1,004\Omega
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\tau_{stall\ out} &= 40\ \text{kgfcm} \\ &= 3.9226\ \text{Nm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\omega_{no\ load\ out} &= 497.2\ \text{rpm} \\ &= 52.06\ \text{rad/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\omega_{motor} &= \omega_{no\ load\ out} * N_{datasheet} \\ &= 52.06 * 19,2 \\ &= 999,6\ \text{rad/s}\end{aligned}$$

Setelah didapatkan kecepatan sudut motor penyesuaian dilakukan untuk *gearbox* rasio 13,7. Karena keterbatasan pengujian, konstanta motor diestimasi 0,027875, induktansi jangkar (L) diabaikan, gesekan viskous (b_m) diabaikan dan efek dinamis didominasi inersia (J_m).

$$\begin{aligned}\omega_{out\ new} &= \frac{\omega_{motor}}{N_{new}} \\ &= \frac{999,6}{13,7} \\ &= 72.96\ \frac{\text{rad}}{\text{s}}\end{aligned}$$

$$V = 696.5\ \text{rpm}$$

$$\begin{aligned}\tau_{out\ new} &= \tau_{motor} * N_{new} * \eta_g \\ &= 0.02341 * 22.87 * 13.7 * 0.81 \\ &= 6\ \text{Nm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}J &= \frac{0,12}{4} * \left(\frac{K^2}{R}\right) \\ &= 0,03 * \left(\frac{0.027875^2}{1,004}\right) \\ &= 2,32176 \times 10^{-5}\end{aligned}$$

$$\frac{\Omega_{out}(s)}{V(s)} = \frac{1}{N} * \frac{K}{(Ls + R)(J_ms + b_m) + K^2}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{13,7} * \frac{0.02341}{2.32928 \times 10^{-5}s + 0.0005480281} \\
 &= \frac{835}{s + 33,35}
 \end{aligned}$$

$\Omega_{out}(s)$ adalah kecepatan sudut setelah gearbox.
 $V(s)$ adalah tegangan *input*.

Kemudian dilakukan validasi data untuk asumsi konstanta motor untuk memastikan hasilnya mendekati spesifikasi sebenarnya atau tidak.

$$\begin{aligned}
 \omega_{out \text{ new no load}} &= \left(\frac{K}{NR} * \frac{1}{\frac{K^2}{R}} \right) * V \\
 &= \frac{V}{KN} \\
 &= \frac{24}{0,027875 * 13,7} \\
 &= 62.845 \frac{rad}{s} \\
 V &= 600,1255 \text{ rpm}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya untuk menggerakkan motor, diperlukan motor *driver* yang memiliki spesifikasi tegangan 24 VDC dan arus 2,5 Ampere. Oleh karena keperluan spesifikasi tersebut dipilih motor *driver* BTS7960.

Tabel 2 Spesifikasi Motor Diver BTS7960 [15]

Parameter	Nilai
Tegangan Input	6 - 27 V
Tegangan Output	6 - 27 V
Arus Maksimal	43 Ampere
Logic Low	< 2 V
Logic High	2 - 5 V
PWM	Up to 25kHz



Gambar 2 Motor Driver BTS7960

Kemudian untuk mengetahui perpindahan robot, digunakan sensor encoder yang dipasangkan pada masing-masing motor untuk menjadi *feedback* ke mikrokontroler untuk dilakukan perhitungan PID yang digunakan untuk memastikan pergerakan robot. Encoder yang digunakan pada robot berjenis encoder optik dengan 200 *pulse per rotation*.



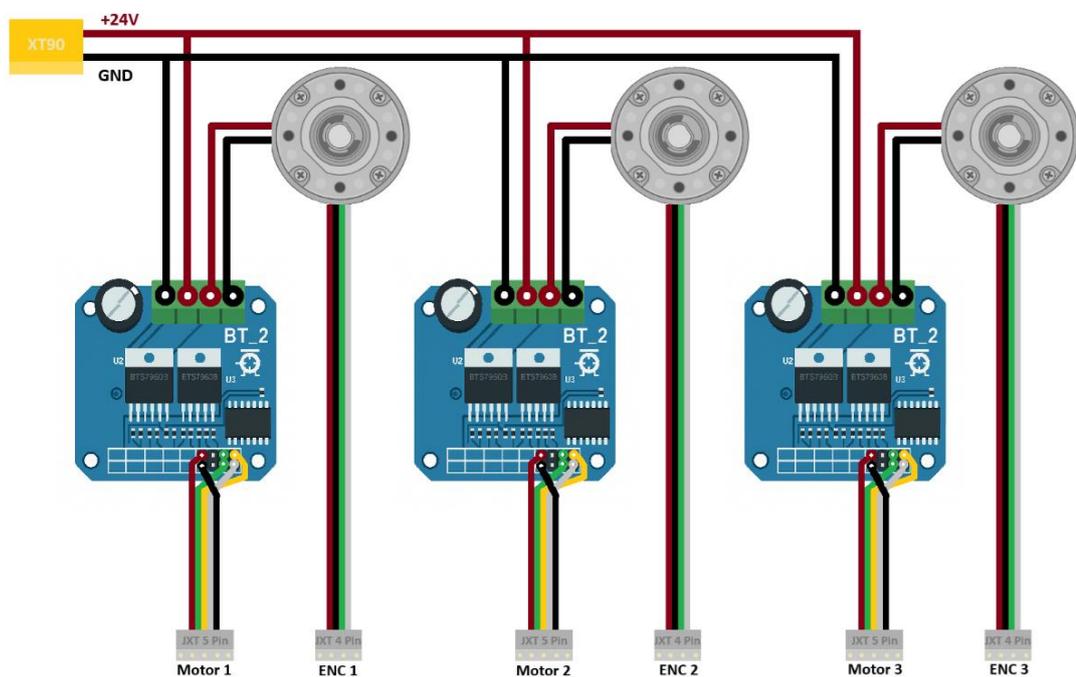
Gambar 3 Encoder 200 PPR

Dikarenakan sistem penggerak utama memiliki 3 buah roda *omniwheel*, maka sistem dirancang dengan 3 buah motor dan 3 buah motor *driver*. Masing-masing motor *driver* dihubungkan dengan sumber tegangan 24 VDC dengan kabel yang menuju ke *base 2*. Kemudian motor dihubungkan dengan motor *driver* agar dapat diatur kecepatannya.

Pengaturan kecepatan dilakukan dengan mengirimkan sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) dari mikrokontroler ke motor *driver* masing-masing motor. Pemasangan kabel dari mikrokontroler ke motor dilakukan dengan 5 buah

kabel yaitu kabel tegangan positif, kabel tegangan negatif, kabel *enable*, kabel PWM kiri, dan kabel PWM kanan.

Selain itu pemasangan kabel juga dilakukan untuk *encoder* yang ada di setiap motor. Pemasangan kabel *encoder* dilakukan dengan 4 buah kabel yaitu kabel tegangan positif, kabel tegangan negatif, kabel data positif dan, kabel data negatif. Pemasangan kabel yang dilakukan untuk sistem penggerak utama dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4 *Circuit Diagram Penggerak Utama*

3.2.3 Pengujian Fungsional Penggerak Utama.

Setelah dilakukan implementasi, dilakukan pengujian fungsional terhadap sistem penggerak utama. Pengujian pertama dilakukan pada masing-masing motor tanpa beban. Pada tegangan 24 Volt, motor diukur kecepatannya menggunakan *tachometer*. Dari hasil pengujian, motor tidak dapat mencapai spesifikasi maksimum yaitu 700 rpm, selama pengujian motor memiliki rata-rata kecepatan 600 rpm dalam keadaan baru. Pengujian *encoder* juga dilakukan dengan menghubungkan *oscilloscope* dengan *encoder* dan didapatkan hasil rata-rata

27kHz dengan nilai terendah pada 24,5kHz. Kemudian dilakukan perhitungan konversi *encoder* menjadi rpm untuk membuktikan kecepatan motor.

$$\begin{aligned}RPM &= \frac{\frac{27\text{kHz}}{200 \text{ ppr}}}{13,7 \text{ (rasio gearbox)}} * 60\text{s} \\ &= 591 \text{ rpm}\end{aligned}$$

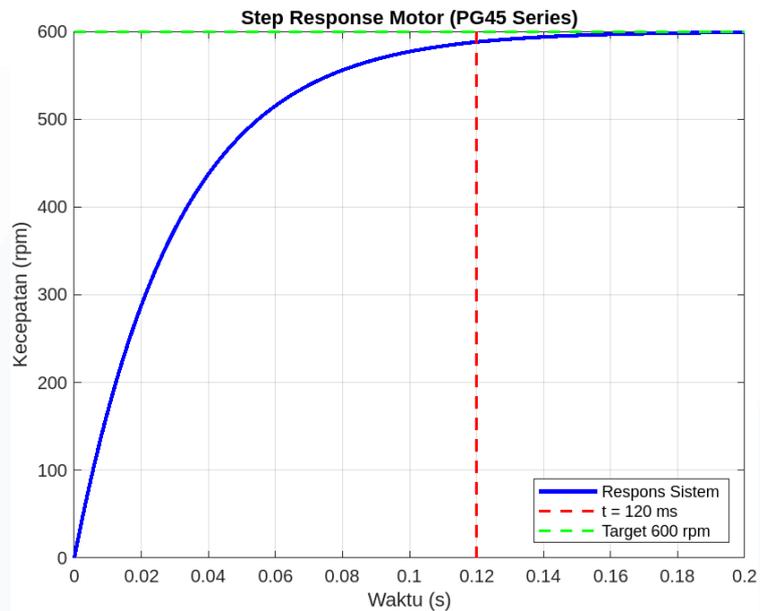


Gambar 5 Pengujian RPM Motor

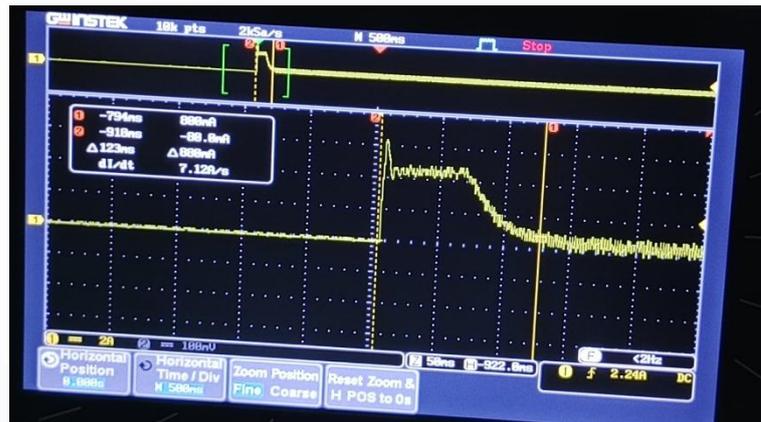


Gambar 6 Pengujian Encoder

Selanjutnya untuk pengujian *transfer function* dilakukan dengan simulasi pada aplikasi Matlab. Hasilnya fungsi pada waktu 120 ms mencapai 589,24 rpm yang bila dibandingkan dengan hasil pengukuran waktu *steady state* perhitungan fungsi sudah sesuai dengan pengukuran secara langsung.



Gambar 7 Hasil Simulasi *Transfer Function*

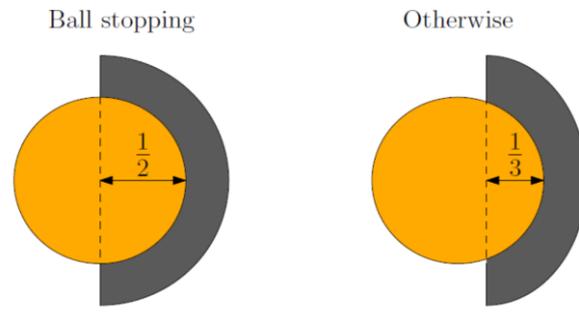


Gambar 8 Hasil Pengukuran arus start

3.3 Penangkap & Penendang Bola

3.3.1 Perancangan Penangkap & Penendang Bola

Sistem penangkap dan penendang bola dirancang dengan menggunakan dua buah motor dan solenoid. Hal ini dipertimbangkan dari ketentuan perlombaan KRSBI dimana bola hanya dapat digiring dengan posisi masuk $\frac{1}{3}$ bagian bola ke dalam robot dan $\frac{1}{2}$ bagian bola ketika menangkap [7, 8].



Gambar 9 Ketentuan Penangkap Bola [6, 8]

Gaya gesek antara bola dan roda penangkap/penggiring bola dihitung dan didapatkan 4,5126 Newton per roda dengan radius roda yaitu 0,03 meter. Sehingga perlu dilakukan perhitungan torsi yang dibutuhkan untuk menggiring bola menggunakan roda karet. Berikut perhitungan torsi yang dibutuhkan.

$$\begin{aligned}
 \tau_{gesek} &= F_{gesek} * r \\
 &= 4,5126 * 0,03 \\
 &= 0,135 Nm \\
 &= 1,3766 kg.cm
 \end{aligned}$$

Solenoid sendiri digunakan sebagai penendang yang akan mendorong bola keluar dari sistem penggiring. Karena keinginan jarak bola hasil tendangan solenoid sejauh 3 meter maka dilakukan perhitungan untuk mencari spesifikasi solenoid *push-pull* yang tepat. Implementasi Penangkap & Penendang Bola

Dikarenakan kebutuhan torsi sebesar 0,135Nm per motor untuk menangkap dan menggiring bola, dipilih komponen motor yaitu motor DC PG28 dengan spesifikasi sebagai berikut.

Tabel 3 Spesifikasi Motor PG28[14]

Parameter	Nilai
Rasio gear	1 : 16
Kecepatan	800 RPM
Diameter	28 mm
Arus Maksimum	1,4 Ampere
Tegangan	24 Volt DC
Torsi Stall	55 kg.cm



Gambar 10 Motor PG28 800RPM

Karena kebutuhan tegangan dari motor PG28 adalah 24 VDC dan memiliki arus maksimum 1,4 A, maka dipilih motor *driver* yang sama dengan penggerak utama yaitu motor *driver* BTS7960. Dikarenakan motor bergerak secara bersamaan, maka pemasangan 2 motor penangkap dirangkaikan pada 1 motor *driver*.

Implementasi solenoid dipilih karena kebutuhan tendangan sejauh 3 meter untuk melakukan tendangan yang diinginkan. Oleh karena itu solenoid JF-1683B dipilih untuk menjadi penendang yang digunakan pada robot ini, dan kemudian dilakukan modifikasi pendorong sehingga solenoid memiliki panjang pendorong 5 cm untuk memenuhi spesifikasi yang diinginkan.

Tabel 4 Spesifikasi Solenoid JF-1683B

Parameter	Nilai
Tegangan	12 VDC
Arus	10 Ampere
Ukuran	52 x 58 x 83mm
Gaya	80 N
Panjang <i>Stoke</i> Awal	20 mm
Panjang <i>Stoke</i> Modifikasi	50 mm



Gambar 11 Solenoid JF-1683B

Dikarenakan solenoid memerlukan tegangan 12 VDC yang berbeda dari tegangan utama yang digunakan pada robot yaitu 24 VDC, digunakan DC-DC *buck converter* untuk menurunkan tegangan menjadi dari 24 Volt menjadi 12 Volt. Pertimbangan lainnya dalam pemilihan *buck converter* adalah arus yang besar yaitu sebesar 10 Ampere, sehingga dipilih DC-DC *buck converter* dengan model SZBK07 dengan spesifikasi sebagai berikut.

Tabel 5 Spesifikasi buck converter SZBK07 [16]

Parameter	Nilai
Tegangan <i>Input</i>	6 - 40 VDC
Tegangan <i>Output</i>	1,25 - 36 VDC
Arus Maksimum	20 Ampere
Frekuensi	180 kHz
Efisiensi	97%



Gambar 12 Buck converter SZBK07

Pengaktifan solenoid dilakukan melalui perantara modul *relay* yang dikendalikan *trigger* dari mikrokontroler. Ketika mikrokontroler mengirimkan sinyal logika tertentu, *relay* akan menghubungkan sumber daya ke solenoid sehingga memungkinkan solenoid beroperasi sesuai perintah sistem. Berikut spesifikasi *relay* yang digunakan

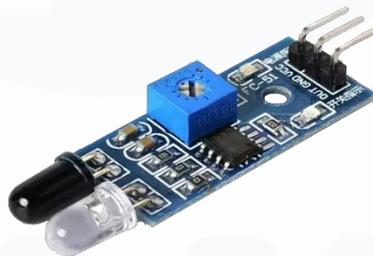
Tabel 6 Spesifikasi Relay

Parameter	Nilai
Tegangan Operasional	3-5 VDC
Tegangan Relay	30 VDC 250 VAC
Arus Relay	10 Ampere



Gambar 13:Modul Relay

Selain komponen aktuator, pada subsistem penangkap dan penendang bola terdapat sensor untuk mendeteksi keberadaan bola apakah dalam kondisi tertangkap/tergiring atau tidak. Dari kebutuhan tersebut, digunakan sensor *Infrared* atau sensor IR. Sensor IR yang digunakan adalah sensor FC51 dengan pertimbangan kemudahan penggunaan dan ketersediaan komponen.



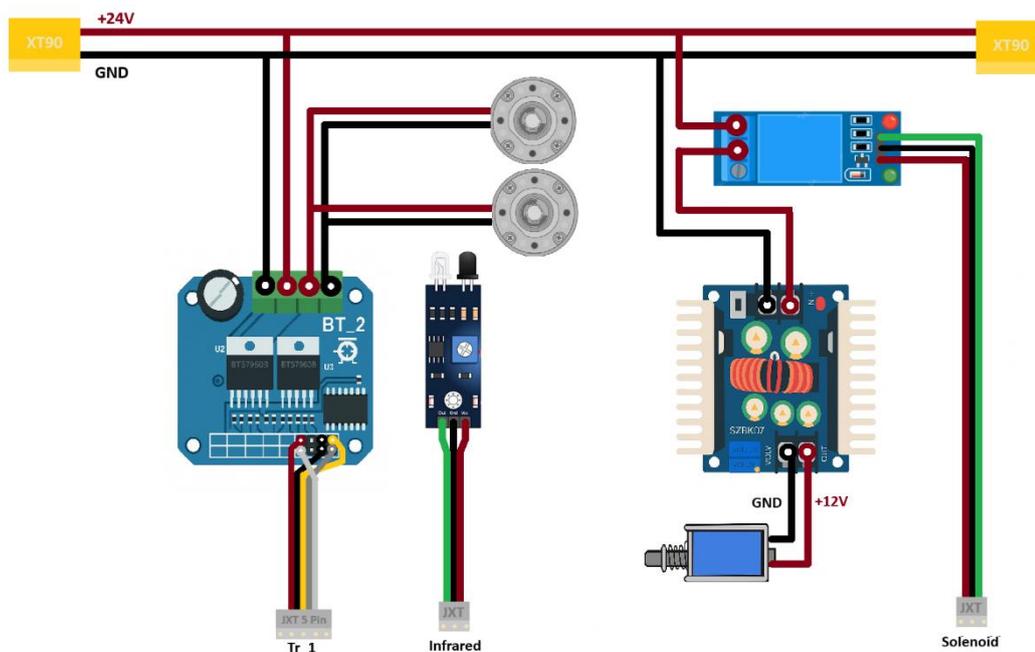
Gambar 14 Sensor Infrared FC-51

Pemasangan kabel dilakukan dengan menghubungkan motor *driver* dengan sumber tegangan 24 VDC dengan kabel. Kemudian kedua motor dihubungkan dengan motor *driver* agar dapat diatur kecepatannya.

Pengaturan kecepatan dilakukan dengan mengirimkan sinyal dari mikrokontroler ke motor *driver*. Pemasangan kabel dari mikrokontroler ke motor dilakukan dengan 5 buah kabel yaitu kabel tegangan positif, kabel tegangan negatif, kabel *enable*, kabel PWM kiri, dan kabel PWM kanan serupa dengan pemasangan kabel pada motor penggerak.

Pemasangan kabel solenoid dilakukan dengan menghubungkan solenoid ke DC-DC *buck converter* kemudian disambungkan dengan *relay* untuk mengaktifkan komponen tersebut dan kemudian disambungkan dengan sumber tegangan 24V. Komponen *relay* dihubungkan dengan mikrokontroler menggunakan 3 buah kabel yaitu tegangan positif, tegangan negatif, dan *trigger*.

Sedangkan sensor *infrared* dihubungkan dengan mikrokontroler dengan menggunakan 3 buah kabel yaitu tegangan positif, tegangan negatif, dan *output*. Berikut diagram pemasangan kabel pada subsistem penangkap dan penendang bola.



Gambar 15 Circuit Diagram Penangkap & Penendang Bola

3.3.2 Pengujian Penangkap & Penendang Bola

Pengujian subsistem penangkap, penggiring dan penendang bola dari segi elektrik dilakukan dengan pengujian fungsi dari tiap-tiap komponen utama yang digunakan. Pengujian pertama dilakukan pengujian fungsionalitas motor. Pengujian dilakukan dengan tegangan 24 Volt. Dari hasil pengujian, motor memiliki kecepatan rata-rata 775 rpm yang mana ini mendekati spesifikasi yaitu

800 rpm. Dalam pengoperasian tanpa beban, dua buah motor yang dihubungkan secara paralel mengonsumsi arus sebesar 0,45 Ampere. Dalam pengoperasian dengan beban menggiring bola, kedua motor mengonsumsi arus sebesar 1,08-1,33 Ampere.

Dikarenakan gaya gesek yang cukup tinggi yang mengakibatkan ausnya ban penggiring bola, pengimplementasian motor penangkap hanya dibatasi sekitar 50%. Oleh karena itu dilakukan percobaan untuk skenario pengoperasian normal. Dari hasil percobaan skenario pengoperasian normal (dengan beban), untuk menggiring bola kedua motor mengonsumsi arus sebesar 1,75-2,31 Ampere.



Gambar 16 Pengujian Penggiring Bola

Dari hasil pengujian solenoid sementara, didapatkan bahwa solenoid yang sudah dimodifikasi dapat melakukan tendangan dengan jarak 2-3,5 meter. Namun percobaan ini masih perlu didalami kembali dikarenakan belum menggunakan keseluruhan sistem penendang bola. Dalam satu kali tendangan, solenoid dapat mengonsumsi arus sebesar 10 Ampere pada 12 Volt.

3.4 Sensor – sensor Lainnya

3.4.1 Perencanaan & Perancangan Sensor Lainnya

Perencanaan dan perancangan kebutuhan sensor dilakukan dengan mempertimbangkan kebutuhan robot untuk mengenali lingkungan dengan baik.

Sistem sensor sendiri terdiri dari beberapa jenis dan tujuan yang berbeda. Kebutuhan robot mengetahui lingkungan sekitar merupakan prioritas yang cukup penting untuk melakukan navigasi. Oleh karena itu dirancangkan sensor Lidar untuk mendeteksi ruangan sekitar dan melakukan *path planning*. Selanjutnya untuk mendeteksi dan menghindari rintangan atau lawan dengan jarak dekat, dirancangkan menggunakan sensor jarak ultrasonik di beberapa sisi robot untuk mendeteksi dalam jarak dekat. Selain itu, dikarenakan robot memerlukan pendeteksian bola dan gawang, dirancangkan sistem kamera untuk melakukan pendeteksian bola dan gawang.

3.4.2 Implementasi Sensor

Berangkat dari kebutuhan pendeteksian lingkungan, dipilih sensor *Rplidar A1*, kamera *Logitech C920*, dan sensor ultrasonik *HC - SR04*. Lidar sendiri digunakan untuk memetakan lingkungan sekitar dengan bantuan laser. Pemasangan Lidar ini Berikut spesifikasi dari *RPLidar A1*.

Tabel 7 Spesifikasi RPLIAR A1[17]

Jarak Pengukuran	0,15 – 12m
Sampling Frequency	8K
Tegangan	5 VDC
Arus	100mA
Output	UART Serial



Gambar 17 RPLIDAR A1

Kamera dibutuhkan karena robot dirancang untuk melakukan *image recognition* untuk mendeteksi gawang dan bola. Kamera *Logitech C920*

dipilih karena spesifikasinya yang menawarkan *angle* yang luas hingga mencapai 78°[18].



Gambar 18 Kamera Logitech C920

Sensor ultrasonik *HC - SR04* diimplementasikan untuk melakukan *obstacle avoidance* dimana sensor terpasang di sekeliling robot agar robot mengetahui lingkungannya dan tidak terjadi tabrakan. Pengimplementasiannya sensor ini dirancang untuk membuat robot menghindar bila pembacaan sensor ini mencapai jarak tertentu. Sebanyak 7 buah sensor ditempatkan di sekeliling robot yang dihubungkan dengan mikrokontroler untuk membaca jarak tiap-tiap sensor dan memberikan instruksi menghindar ke *processor*.

Tabel 8 Spesifikasi Ultrasonik HC-SR04[19]

Jarak Pengukuran	2cm – 4m
Sampling Frequency	40Hz
Tegangan	3,3 - 5 VDC
Arus	15mA
Output	Input TTL lever signal and the range in proportion



Gambar 19 Sensor Ultrasonik HC-SR04

3.5 Sistem Pemrosesan Data

3.5.1 Perancangan Sistem Pemrosesan Data

Perancangan sistem pemrosesan data dilakukan dengan berbagai pertimbangan. Pertimbangan pertama, robot harus dapat melakukan pembacaan kamera dan memproses data dari kamera dengan *image recognition* yang membutuhkan komputasi atau perhitungan yang cukup besar [20]. Selain itu pertimbangan lainnya adalah banyaknya data yang diterima oleh sistem pemrosesan data yang perlu dikerjakan secara bersamaan dalam jumlah yang besar. Oleh karena itu dipilihlah mini PC sebagai opsi *processor* utama untuk mengoperasikan dan mengendalikan robot. Kemudian dari mini PC perlu adanya komunikasi dengan sensor-sensor dan aktuator yang ada. Oleh karena itu digunakan I/O berupa ESP 32 dan Arduino sebagai penghubung dari mini PC dengan sensor dan aktuator.

3.5.2 Implementasi Sistem Pemrosesan Data

Pengimplementasian sistem pemrosesan data dimulai dari pemilihan mini PC yang akan digunakan. *Multithreading* menjadi keperluan utama untuk melakukan proses-proses secara bersamaan. Oleh karena itu pertimbangan mini PC adalah jumlah *core* dan *thread* yang dapat digunakan. MaxMini B9 Power dipilih menjadi *processor* utama dikarenakan memiliki spesifikasi sebagai berikut.

Tabel 9 Spesifikasi Mini PC

Processor	Intel Core i9-12900HK
Frequency	Up to 5.0GHz
Cores & Threads	14 Cores & 20 Threads
Graphics	Intel® Iris® Xe Graphics
RAM	24GB LPDDR5
Storage	512GB
Tegangan	19 VDC
Arus	2,5 Ampere; 3 Ampere (Max)



Gambar 20 Mini PC

Dikarenakan mini PC memiliki tegangan operasional 19V yang lebih rendah dari sumber tegangan yang ada, maka dibutuhkan komponen penurun tegangan DC-DC *buck converter* untuk menurunkan tegangan menjadi dari 24V menjadi 19V. Dipilih DC-DC *buck converter* dengan model XL 4016 dengan spesifikasi sebagai berikut.

Tabel 10 Spesifikasi XL4016 [21]

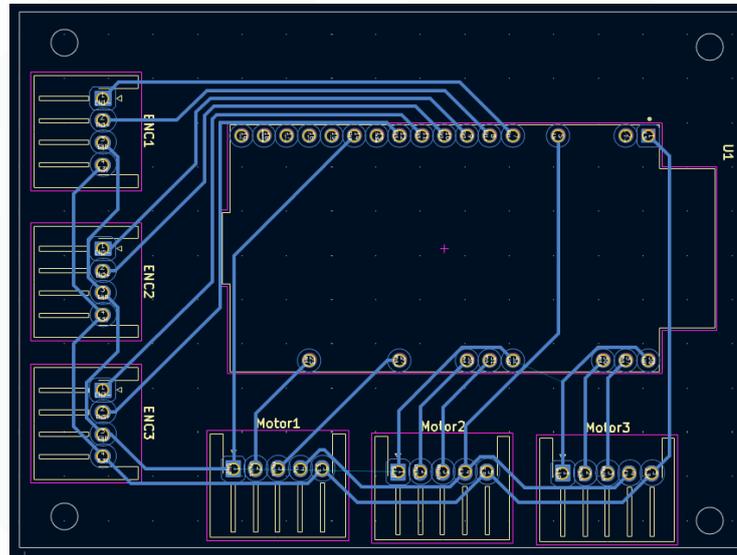
Tegangan <i>Input</i>	5 - 40 VDC
Tegangan <i>Output</i>	1,2 - 35VDC
Arus Maksimum	9 Ampere
Frekuensi	180 kHz
Efisiensi	96%



Gambar 21 DC-DC *Buck Converter* XL4016

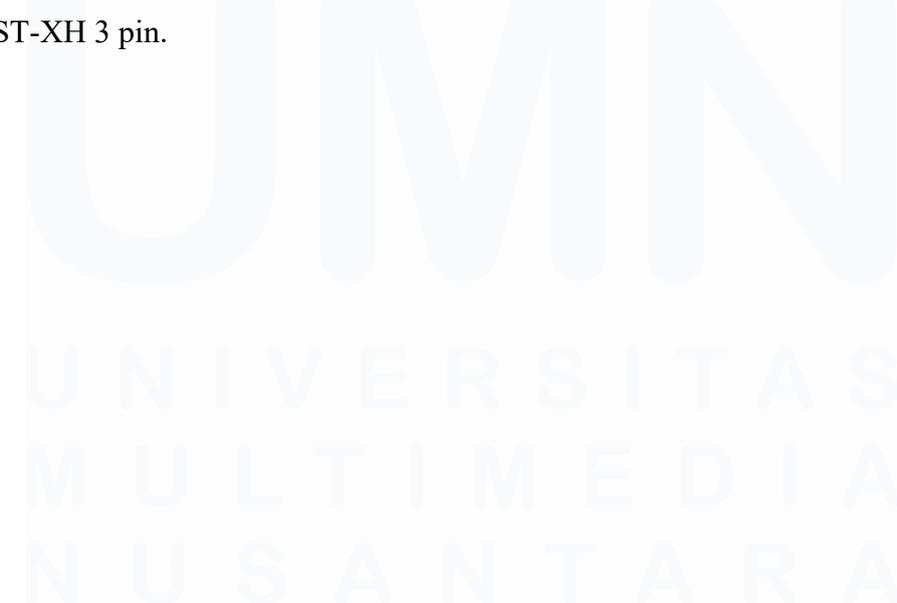
Implementasi I/O dari mini PC ke ESP32 dilakukan dengan menggunakan ROS yang dibahas pada divisi *low-level programming*. Dari segi elektrikal melakukan desain PCB untuk subsistem penggerak, penangkap/penendang, dan sensor-sensor sensor. Pada subsistem penggerak utama, PCB dibuat untuk mengakomodir 3 buah motor driver dengan JST-XH5 pin dan 3 buah *encoder*

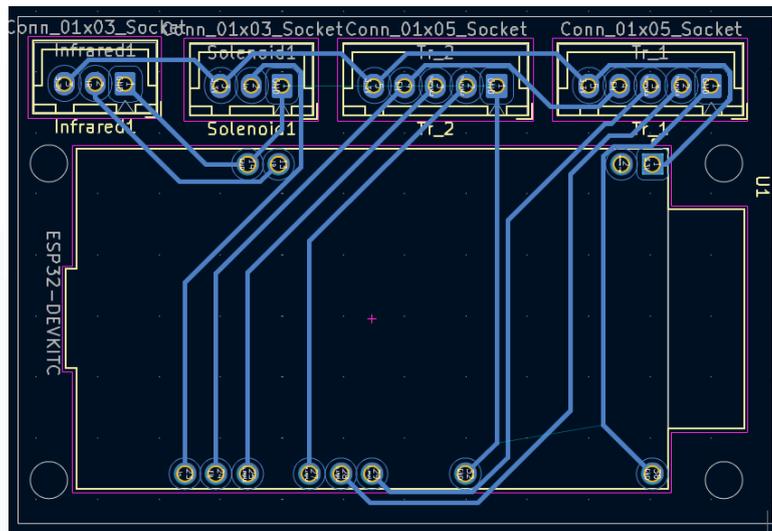
dengan JST-XH 4 pin. Pertimbangannya, seluruh motor *driver* harus dapat diatur menggunakan PWM sehingga membatasi hanya beberapa pin tertentu yang dapat digunakan.



Gambar 22 Desain PCB Penggerak Utama

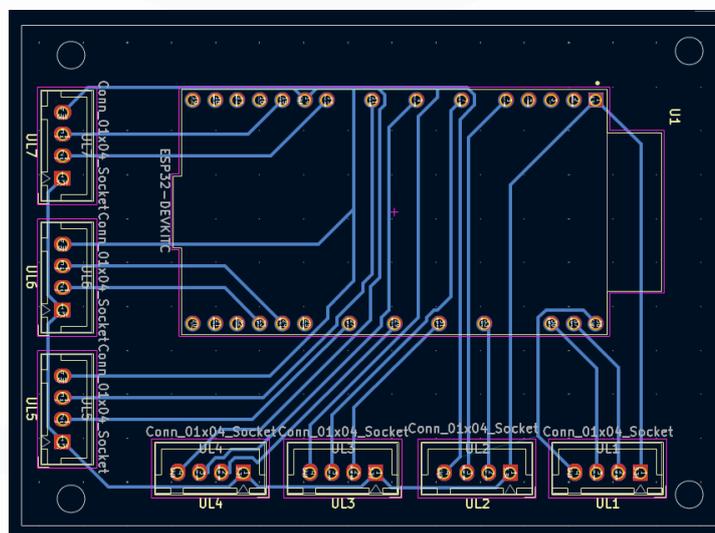
Pada subsistem penangkap dan penendang bola, PCB dirancang untuk mengakomodir 2 buah motor *driver* dengan konektor JST-XH 5 pin yang pada awalnya direncanakan dapat memiliki kecepatan yang berbeda. Selain itu PCB juga mengakomodir sensor *infrared* dan juga trigger *relay* yang menggunakan JST-XH 3 pin.





Gambar 23 Desain PCB Penangkap Pelontar

Pada subsistem sensor, PCB dirancang untuk menggabungkan 7 sensor ultrasonik dalam 1 mikrokontroler ESP 32. Masing-masing sensor dihubungkan dengan PCB menggunakan konektor JST-XH 4 pin yang meliputi VCC, GND, *Trigger*, dan *echo*.



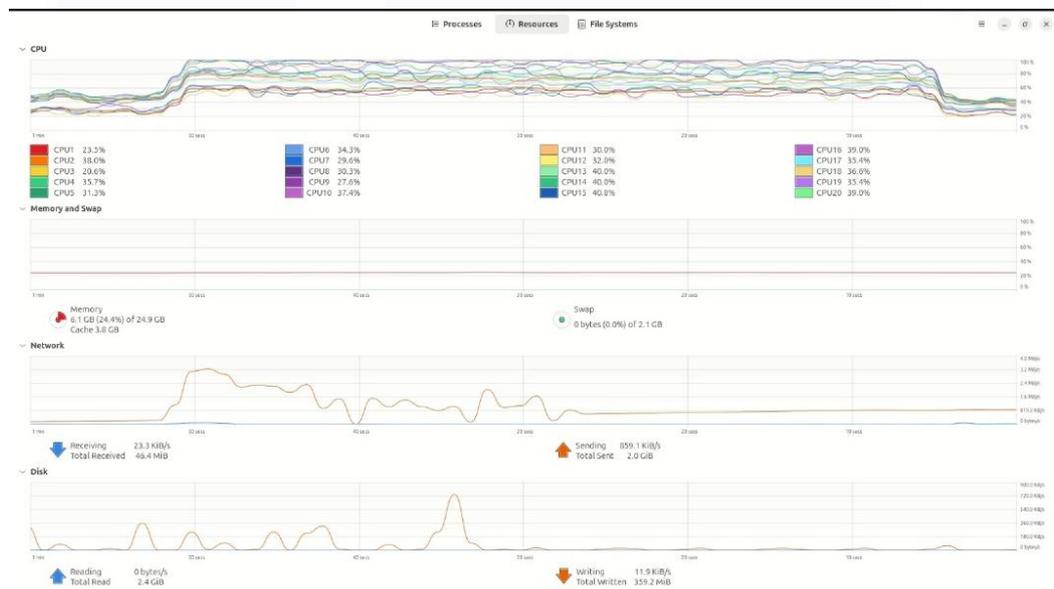
Gambar 24 Desain PCB Sensor

Pertimbangan pembuatan PCB adalah untuk merapikan dan membuat komponen lebih modular dan mudah untuk *troubleshooting*. Desain PCB mempertimbangkan aspek *rating* standar IPC-2221A. Lebar jalur minimum 0.4 mm dipilih sesuai kebutuhan arus menengah, sementara jarak antar jalur terkecil

0.5 mm disesuaikan untuk tegangan hingga 50 Volt agar mencegah risiko hubungan pendek.

3.5.3 Pengujian Sistem Pemrosesan Data

Pengujian untuk sistem pemrosesan data berupa pemakaian dan *utilisasi* mini PC, dan juga daya dari subsistem pemrosesan data. Dari pemakaian mini PC, *multithreading* dapat terbukti ketika melakukan *visual servoing* dan *image recognition*. Penggunaan *thread* yang tersedia mencapai 50-100%, namun bila pengendalian robot menggunakan *remote* penggunaan *thread* CPU hanya di angka 20-50%.



Gambar 25 Penggunaan *Thread* CPU

Pengujian daya pada mini PC dilakukan dengan menggunakan *power analyzer* yang dipasangkan dari baterai. Dalam keadaan *idle* mini PC hanya menggunakan 5 Watt daya. Namun pada keadaan maksimal mini PC dapat menggunakan 2,47 Ampere pada 24 Volt atau setara dengan 59,28 Watt.

3.6 Sistem Daya

3.6.1 Perencanaan dan Perancangan Sistem daya

Perencanaan dan perancangan sistem daya tentunya harus mengakomodir semua keperluan yang ada. Keperluan utama yang menghabiskan daya cukup

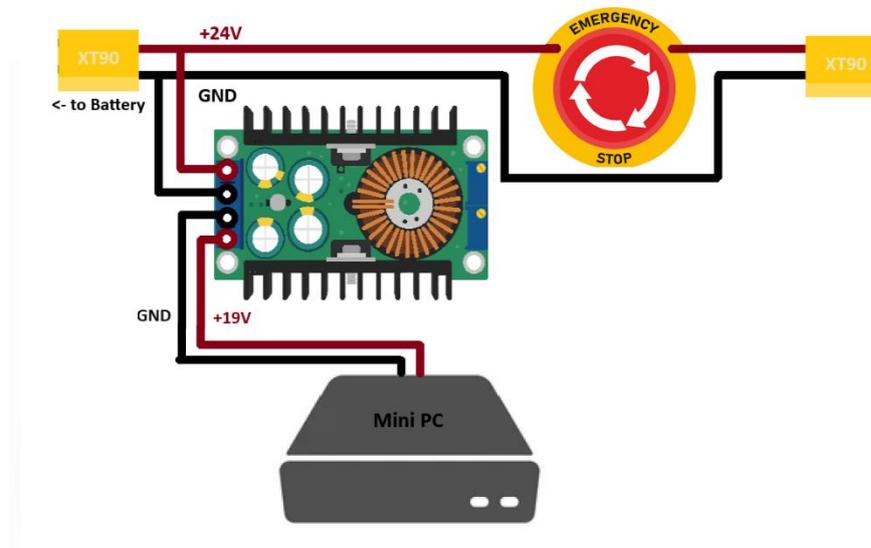
besar berupa motor DC baik pada penggerak robot maupun penangkap/pelontar bola. Keperluan lainnya adalah solenoid yang merupakan bagian dari penendang bola. Terakhir penggunaan daya besar juga terjadi pada mini PC sebagai sistem pemrosesan data.

Selain memenuhi keperluan daya, pada sistem daya juga perlu direncanakan pengabelan dan koneksi antar komponen. Terlebih lagi pada perancangan robot, robot dibagi menjadi 3 *base* untuk melakukan penempatan komponen, oleh karena itu diperlukan penghubung atau konektor yang sesuai untuk menghubungkan komponen yang diperlukan.

3.6.2 Implementasi Sistem Daya

Implementasi sistem daya dimulai dari kebutuhan daya total menurut perhitungan yaitu 333,6 watt, kemudian pemilihan baterai dilakukan untuk mengakomodir kebutuhan daya tersebut. Pemilihan baterai 24VDC, 30Ah memberikan keleluasaan untuk pengujian selama 2 jam 10 menit dalam keadaan maksimal.

Dari segi pengabelan, kabel yang digunakan dari sumber tegangan dan distribusinya merupakan kabel AWG 14. Kabel AWG14 sendiri dirancang untuk mengalirkan listrik maksimal 20 Ampere yang cukup jauh dari spesifikasi robot yang dibuat. Selanjutnya konektor yang digunakan merupakan XT90 yang bisa mengalirkan 500VDC dengan arus 90 Ampere. Sistem robot juga dilengkapi dengan *emergency button* untuk mematikan aliran listrik ke seluruh aktuator bila terjadi hal yang tidak diinginkan.



Gambar 26 Sirkuit Diagram *Emergency Button*

Sedangkan pengabelan kabel untuk tegangan kecil dan data dilakukan menggunakan kabel AWG22. Kabel AWG22 sendiri memiliki *rating* 12 VDC 7 Ampere. Kabel ini hanya digunakan untuk menyambungkan tegangan 5 Volt dan 3,3 Volt dengan arus kurang dari 2 Ampere sehingga penggunaan kabel masih di dalam batas penggunaan.

3.6.3 Pengujian Sistem Daya

Pengujian sistem daya dilakukan dengan menggunakan *power analyzer* yang dipasangkan dari baterai. Dalam melaksanakan program mencari bola dan pergerakan, konsumsi daya keseluruhan robot berada diantara 33-53 Watt, dengan rata-rata di angka 45 Watt. Dengan tambahan penggiringan bola daya dapat bertambah hingga 93 Watt.

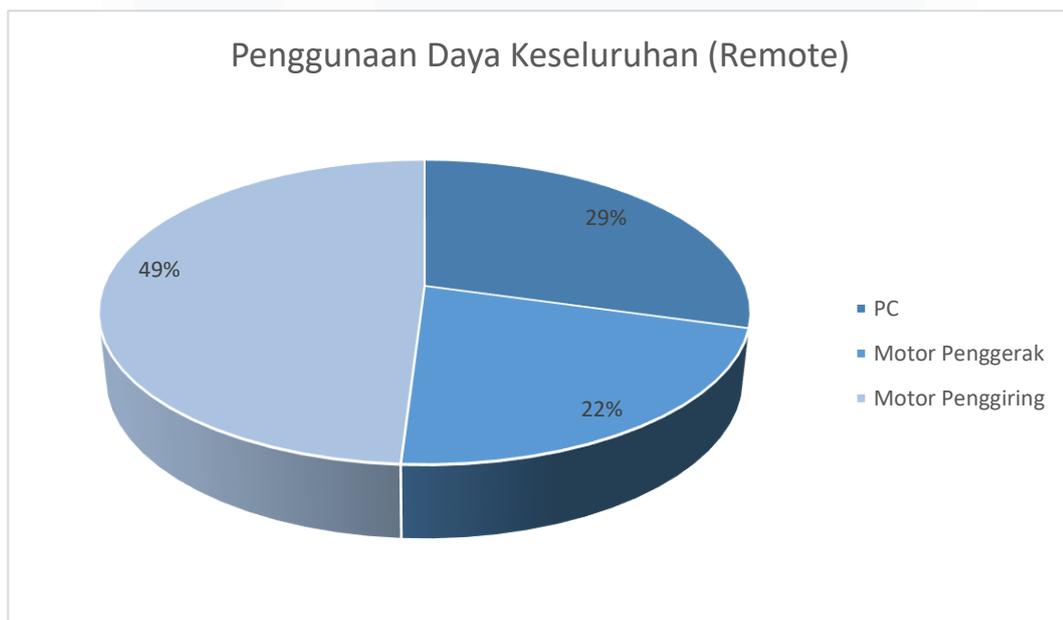


Gambar 27 *Power Analyzer* Pergerakan

Namun ketika *start* atau berganti arah, terjadi lonjakan arus hingga 4 Ampere yang memungkinkan daya melonjak menjadi 85 Watt tanpa membawa bola.

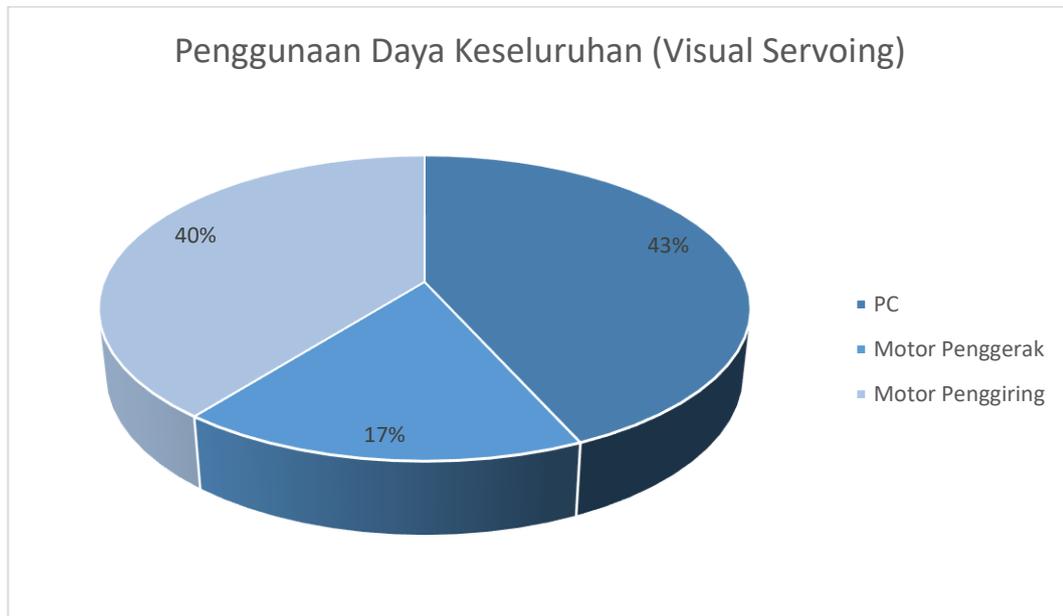


Gambar 28 *Power Analyzer Start*



Gambar 29 Grafik Penggunaan Daya menggunakan *Remote*

Dari rata-rata percobaan yang dilakukan menggunakan *remote*, penggunaan daya terbesar berada pada motor penggiring sebesar 49%. Selanjutnya diikuti oleh PC pada 29% dan motor penggerak pada 22%



Gambar 30 Grafik Penggunaan Daya *Visual Servoing*

Sedangkan ketika melakukan *visual servoing*, PC menggunakan daya yang lebih besar dikarenakan harus melakukan *image recognition* yang menyebabkan penggunaan daya keseluruhan didominasi oleh PC sebesar 43%, motor penggiring sebesar 40% dan motor penggerak 17%.

Setelah didapatkan penggunaan daya yang sebenarnya dapat dilakukan perhitungan lama penggunaan untuk kegiatan rata-rata dengan kapasitas baterai 24V 30Ah atau setara dengan 720Wh, penggunaan robot dapat mencapai waktu operasional 7 jam 40 menit.

Perhitungan daya maksimum secara teoritis hanya menghasilkan waktu operasional 2 jam 10 menit dikarenakan asumsi semua komponen berjalan dengan daya maksimal. Sedangkan pada kenyataannya penggunaan daya hanya mencapai 33% dari perkiraan awal.

Namun hal ini belum memperhitungkan keandalan baterai yang tidak sepenuhnya linear. Sehingga pada penggunaan realistiknya hanya dapat terukur waktu sekitar 4 jam 30 menit dari kondisi baterai penuh.