

Penerapan Kontrol PID dalam Penggiring Bola pada Robot Sepak Bola Beroda

Tajdar Hal Ata¹ dan Hendawan Soebhakti^{1*}

¹Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Batam, Batam, Indonesia

*Email: hendawan@polibatam.ac.id

Abstrak— Makalah ini membahas implementasi sistem kontrol dalam penggiring bola yang diterapkan untuk bersaing dalam kompetisi Liga Ukuran Menengah *RoboCup* dan Kontes Robot Indonesia. Desain visualisasi digunakan sebagai landasan untuk mengembangkan mekanisme penggiring bola yang sesuai dengan regulasi *RoboCup*. Mekanisme ini dirancang agar memiliki fleksibilitas optimal saat robot bergerak translasi. Pendekatan kontrol *Proportional Integral Derivative* (PID) diterapkan sebagai metode kontrol pada sistem penggiring, bertujuan untuk mengatur respons motor dribble dan menjaga bola tetap terkendali saat robot bergerak dengan kecepatan yang bervariasi atau dalam keadaan diam. Bagian hasil penelitian mengungkapkan respons sistem penggiring bola pada kecepatan mulai dari 20 cm/s hingga 120 cm/s pada gerak maju dan mundur, pada kecepatan 20cm/s sampai 60cm/s pada gerak lateral. Selain itu, dengan kecepatan 0.2 rad/s hingga 1.5 rad/s pada gerak berputar ke arah kanan dan kiri.

Keyword: PID Kontrol, Penanganan Penggiring Bola, RoboCup, Liga Ukuran Menengah

Abstract— This paper discusses the implementation of a control system in a dribbler applied to compete in the RoboCup Medium Size League and Indonesian Robot Contest competitions. The visualization design is used as a foundation to develop a dribbling mechanism that complies with RoboCup regulations. The mechanism is designed to have optimal flexibility when the robot moves translational. A Proportional Integral Derivative (PID) control approach is applied as a control method to the dribbling system, aiming to regulate the response of the dribble motor and keep the ball under control when the robot is moving at varying speeds or at rest. The results section reveals the response of the dribble system at speeds ranging from 20 cm/s to 120 cm/s in forward and backward motion, at speeds of 20 cm/s to 60 cm/s in lateral motion. In addition, at speeds ranging from 0.2 rad/s to 1.5 rad/s in right and left rotational motion.

Keyword: PID Control, Dribbler Handling, RoboCup, Mid-Size League

I. PENDAHULUAN

ROBOCUP adalah inisiatif internasional yang mengadakan kompetisi sepak bola robot untuk mendorong kemajuan dalam robotika dan kecerdasan buatan [1]. Dalam kategori *Middle Size League* (MSL) [2], tim robot berukuran sedang bersaing untuk mengembangkan teknologi otonomi dan strategi sepak bola yang canggih. Sedangkan secara nasional terdapat kompetisi yang diselenggarakan oleh puspernas dengan kategori robot sepak bola beroda Indonesia (KRSBI-B) [3]. Dalam MSL dan kontes robot Indonesia, aturan terkait menggiring bola secara alami menegaskan bahwa ketika robot sedang menggiring bola [4], ukuran bola yang dimasukkan tidak boleh melebihi sepertiga dari ukuran robot. Selain itu, selama pergerakan robot seperti maju, mundur, kanan, dan kiri, aturan menuntut agar bola berputar dengan cara yang mencerminkan pergerakan yang alami. Dalam konteks ini, perancangan penggiring dan dengan sistem kontrol *Proportional Integral Derivative* (PID) [5], [6], [7], [8], [9].

Mempertimbangkan sulitnya menentukan gerakan bola ketika berada dalam kontak terus menerus dengan robot, berbagai mekanisme dan sistem kontrol penggiring bola telah diterapkan oleh tim-tim lain dalam penyelesaian masalah ini [9], [10], [11], [12]. Beberapa di antaranya mengadopsi penggunaan motor di bagian depan, mendorong bola dengan tubuh robot [13], dan memanfaatkan jaring besi robot untuk mengontrol bola. Tim Tech United dan Team Hibikino, sebagai contoh, memanfaatkan model *non-linear* sebagai umpan balik dan kontrol umpan maju untuk menjaga jarak antara bola dan robot [14], [15]. Pendekatan ini melibatkan pengukuran sudut lengan dan penyesuaian posisi sesuai dengan jarak antara bola dan robot.

Strategi kontrol bola yang melibatkan pemanfaatan dua roda aktif yang diposisikan di bagian depan robot sepak bola akan dikaji pada penelitian ini. Sistem ini dirancang dengan cermat untuk fokus pada penciptaan gesekan di sisi atas bola. Pendekatan ini melibatkan penerapan kontrol PID terkait gerakan robot dan dua roda aktif, serta penyesuaian dengan aturan yang mengatur menggiring bola dalam kompetisi MSL dan Kompetisi Robot Indonesia (KRSBI-B).

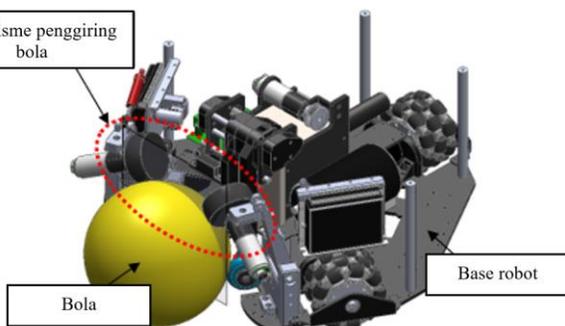
II. METODE

Penelitian ini dimulai dengan perancangan mekanisme penggiring bola secara mekanik yang mematuhi peraturan *RoboCup Middle Size League*. Selanjutnya, pengendalian *Proportional Integral Derivative* (PID) untuk menjaga kecepatan target pada motor penggiring bola. Pendekatan ini bertujuan untuk mencegah terlepasnya bola saat robot sedang dalam proses menggiring bola. Kontrol PID sering dipilih sebagai metode yang lebih baik dalam mengendalikan motor daripada metode lain karena memiliki respons cepat, mengatasi offset, dan dapat mengantisipasi perubahan cepat dalam variabel proses.

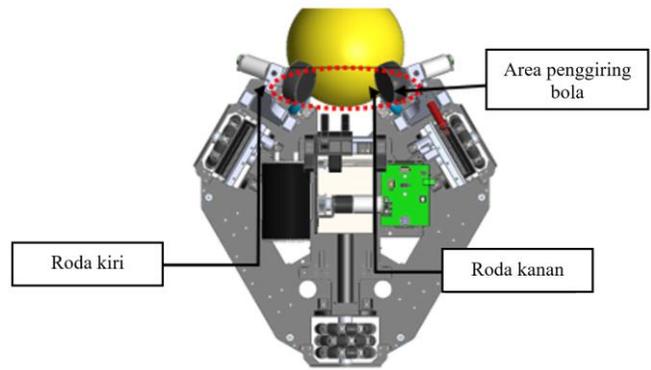
A. Pengembangan Mekanisme Penangan Bola

Banyak mekanisme penanganan bola untuk robot sepak bola telah didokumentasikan dalam literatur, terutama terbagi dalam dua kategori: satu melibatkan penggunaan dua roda aktif yang diposisikan dibagian depan robot, sementara yang lain mengandalkan penggunaan lengan robot. Seiring dengan berkembangnya pemilihan robot sepak bola, pendekatan yang menggunakan dua roda aktif telah diterima secara luas. Keuntungan utama dari mekanisme penanganan bola yang menggunakan roda aktif ini adalah kemampuannya untuk mempertahankan kontrol bola bahkan selama gerakan maju, mundur, kanan, dan kiri. Namun, hal ini memiliki kekurangan, termasuk kerumitan desain dan kebutuhan akan algoritma kontrol gerakan bola yang selaras dengan gerakan robot. Rotasi bola yang mulus dalam kaitannya dengan arah gerak robot sangat penting untuk mematuhi peraturan *RoboCup* dan untuk memastikan pergerakan robot yang mulus. Selain itu, mekanisme penanganan bola ini terbatas pada kemampuannya untuk mencakup hanya sepertiga permukaan bola.

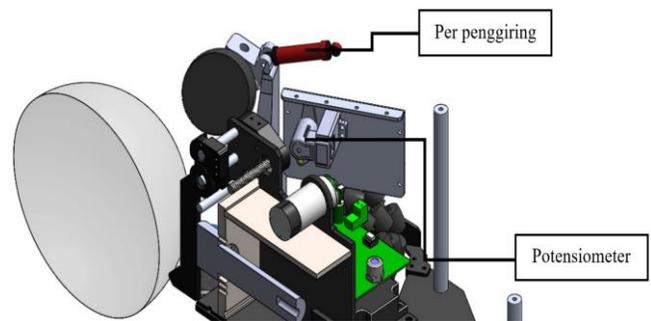
Desain mekanisme penanganan bola ditunjukkan pada Gambar. 1.(a) yaitu tampilan isometris, Gambar. 1.(b) tampilan atas, dan Gambar. 1.(c) tampilan setengah. Mekanisme ini menggunakan dua roda aktif yang terpasang pada tuas untuk memutar bola. Tuas bergerak ke atas secara pasif ketika roda aktif berputar, membawa bola ke arah tubuh robot. Pegas dan peredam dihubungkan antara tubuh dan tuas untuk menyerap dampak tabrakan bola. Omni-roda kecil dibagian bawah mekanisme bertindak sebagai rol pasif untuk mencegah bola menyentuh tubuh.



Gambar. 1.(a) Tampilan Isometris



Gambar. 1.(b) Tampilan Atas



(c) Gambar .1.(c) Tampilan setengah

B. Pengontrol *Proportional Integral Derivative* (PID)

Kontrol PID adalah sistem kontrol yang menggunakan umpan balik untuk menjaga variabel proses agar sesuai dengan target yang diinginkan. Kontrol PID bekerja dengan menghitung nilai eror sebagai selisih antara target yang diinginkan dan variabel proses yang diukur. Untuk mendapatkan kontrol yang baik, setiap parameter dari PID harus diatur agar sistem kontrol dapat bekerja dengan stabil dan presisi. Maka dari itu diberikan persamaan kontrol:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t) \tag{1}$$

Pada persamaan 1 dijelaskan sebagai berikut:

- $u(t)$ adalah penggerak yang berasal dari Pengendali, ke dalam Proses, pada waktu t
- $e(t) = y_{sp}(t) - y(t)$ adalah selisih antara setpoint dan variabel proses yang diukur pada waktu t
- K_p, K_i, K_d masing-masing adalah konstanta $P, I,$ dan D

Metode kontrol PID digunakan dalam sistem pengendalian kecepatan motor penggiring, yang berperan sebagai sistem penggiring bola pada saat robot menggiring bola. Sesuai dengan aturan permainan yang menetapkan agar bola tidak berputar saat robot berhenti, implementasi PID sebagai sistem pengendalian penggiring digunakan untuk mengatur kecepatan motor berdasarkan sudut pembacaan sensor potensiometer. PID diterapkan pada setiap motor penggiring bola sehingga respons masing-masing motor dapat disesuaikan dengan variasi pembacaan sudut. Rincian kondisi robot yang berisikan nilai eror sensor dan arah putar roda

bagian kanan dan kiri dapat ditemukan pada Tabel I di bawah ini.

TABEL I
KONDISI ROBOT

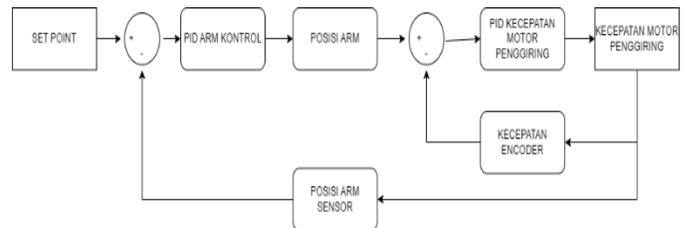
Kondisi Robot	NESPKi	NESPKa	APRKi	APRKa
Diam saat memegang bola	$= 0$	$= 0$	Stop	Stop
Bergerak maju	> 0	> 0	CCW	CW
Bergerak mundur	< 0	< 0	CW	CCW
Bergerak dan berputar kekiri	> 0	< 0	CW	CW
Bergerak dan berputar kekanan	< 0	> 0	CCW	CCW

Dapat dilihat pada Tabel I menjelaskan terkait kondisi robot, nilai eror sensor potensio kiri (NESPKi), nilai eror sensor potensio kanan (NESPKa), arah putaran roda kiri (APRKi) dan arah putaran roda kanan (APRKa). Dapat kita lihat dipada pada tabel juga menjelaskan arah putar roda yang dimana salah satunya disaan bergerak maju maka APRKi akan berputar kearah *CounterClockWise* (CCW) dan APRKa berputar kearah *ClockWise* (CW).

C. Sistem Kontrol

Bagian ini akan menguraikan mengenai sistem pengendalian penggiring bola pada robot sepak bola yang melibatkan pengendalian kecepatan pada dua motor dribble. Sensor sudut dalam bentuk potensiometer digunakan untuk membaca sudut, dengan rentang pembacaan aktual antara 0 hingga 23 derajat. Nilai-nilai sudut ini kemudian di-*mapping* menjadi rentang nilai antara -70 hingga 70 derajat. Nilai *setpoint* pada PID pertama ditetapkan pada 0, yang merupakan nilai tengah dari rentang potensiometer, untuk mengontrol posisi *arm*. Angka ini dianggap sebagai nilai optimal untuk menjaga bola pada posisi yang diinginkan.

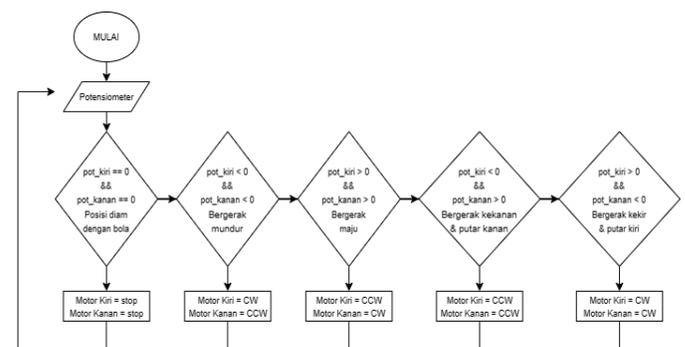
Ketika nilai eror dari PID arm mencapai atau mendekati -70, atau kurang dari 0, hal ini mengindikasikan bahwa posisi *arm* terlalu rendah. Dalam situasi tersebut, *dribble* harus menarik bola untuk mengurangi nilai eror dan mengembalikan keseimbangan. Sebaliknya, jika nilai eror melebihi 70, menunjukkan posisi *arm* terlalu tinggi, dan pada kasus tersebut, penggiring harus melepas bola untuk mengurangi nilai eror dan mengembalikan posisi *arm* ke nilai 0. Dengan pendekatan ini, sistem PID dan kendali potensiometer digunakan untuk menjaga posisi *arm* pada nilai *setpoint*, yaitu 0, dan berusaha menjaga bola pada posisi yang diinginkan. Pada Gambar 2 menunjukkan sistem kontrol penggiring bola pada robot sepak bola.



Gambar 2. Sistem kontrol penggiring

Penelitian ini menerapkan dua metode PID dalam sistem kontrol penggiring pada robot. Metode pertama adalah PID posisi yang berfungsi untuk mengontrol sudut sensor dengan nilai *setpoint* sejajar dengan 0. Output dari PID posisi menjadi *setpoint* bagi metode kedua, yaitu PID kecepatan. PID kecepatan digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor agar mendekati nilai *setpoint* tersebut. Saat robot dalam keadaan diam dan tidak memegang bola, nilai potensiometer menghasilkan angka negatif. *Output* dari PID posisi juga menjadi negatif, sehingga motor kanan berputar berlawanan arah jarum jam (CCW), sedangkan motor kiri berputar searah jarum jam (CW), mengakibatkan bola tertarik ke arah robot.

Pada tahap ketika robot berada dalam keadaan diam dan berhasil menangkap bola, motor penggiring aktif untuk menarik bola, mengakibatkan peningkatan sudut pada potensiometer. Setelah mencapai sudut nol, *output* dari PID posisi akan mencapai nilai 0. Hal ini mengakibatkan kedua motor berhenti berputar dan menjaga bola pada sudut tertentu. Selanjutnya, saat robot bergerak maju dengan bola terpegang, motor penggiring mendorong bola ke arah robot, menghasilkan nilai potensiometer yang lebih besar dari 0. Motor kanan berputar CW, sementara motor kiri berputar CCW, sehingga bola berputar sesuai dengan arah pergerakan robot.



Gambar 3. Perhitungan untuk penggiring berdasarkan nilai eror sensor Potensiometer

Pada Gambar 3 mengindikasikan hubungan proporsional antara nilai *output* dari PID posisi dengan kecepatan motor. Dalam konteks ini, semakin tinggi nilai *output* PID posisi, maka kecepatan motor juga cenderung meningkat. Fenomena ini mencerminkan keterkaitan langsung antara pengaturan PID posisi dan respons kecepatan motor pada sistem penggiring, memberikan pemahaman lebih lanjut terhadap dinamika sistem kontrol yang diterapkan pada robot.

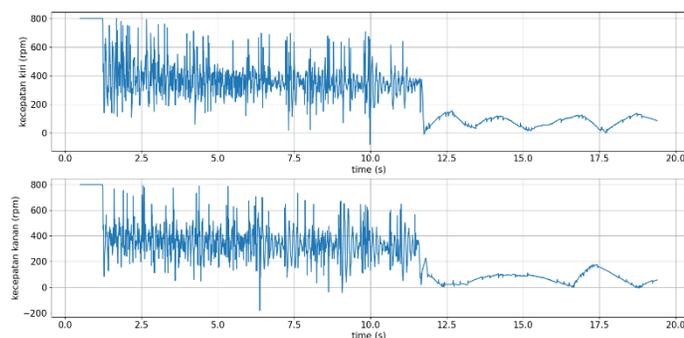
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini melaporkan hasil uji coba kontrol penggiring bola dengan variasi kecepatan mulai dari 20 cm/s hingga 120 cm/s saat robot bergerak maju dan mundur, pada gerakan lateral, kecepatan diuji mulai dari 20 cm/s hingga 60 cm/s. Selain itu, pada gerakan berputar ditempatkan ke arah kiri dan kanan, kecepatan diuji mulai dari 0.2 rad/s hingga 1.5 rad/s. Pengujian mencakup berbagai arah gerakan seperti maju, mundur, kanan, kiri, dan berputar. Pengamatan dilakukan terhadap kecepatan motor penggiring dan nilai sensor yang merefleksikan hasil uji pada setiap pergerakan robot.

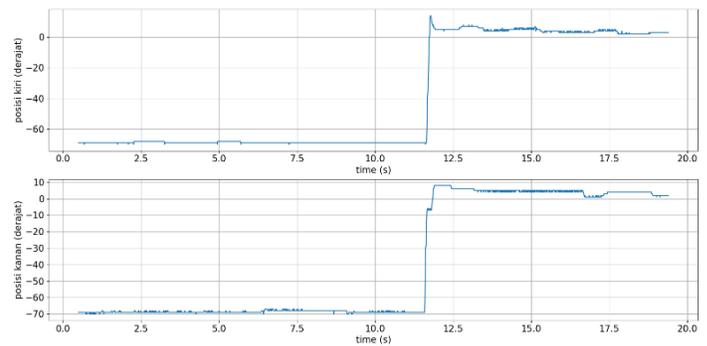
A. Pengujian saat menerima bola

Uji coba ini melibatkan skenario dimana robot menerima bola. Proses pengujian dilakukan dengan robot berada dalam keadaan diam, sementara bola dilemparkan ke arah robot. motor penggerak kanan menanggapi dengan berputar CCW, sementara motor penggerak kiri berputar CW. Seperti yang dijelaskan sebelumnya sensor sudut dalam bentuk potensiometer digunakan untuk membaca sudut, dengan rentang pembacaan aktual antara 0 hingga 23 derajat. Nilai-nilai sudut ini kemudian di-mapping menjadi rentang nilai antara -70 hingga 70 derajat. Nilai setpoint pada PID pertama ditetapkan pada 0, yang merupakan nilai tengah dari rentang potensiometer, untuk mengontrol posisi *arm*. Angka ini dianggap sebagai nilai optimal untuk menjaga bola pada posisi yang diinginkan.

Setiap peningkatan nilai sudut mengakibatkan pengurangan nilai RPM pada motor penggiring, sesuai dengan panduan yang telah dijelaskan sebelumnya dan sesuai dengan regulasi RoboCup yang menetapkan bahwa bola tidak boleh terus berputar saat robot menangkap bola untuk menghindari pelanggaran aturan. Hasil pengujian merefleksikan nilai dari setiap sensor dan kecepatan motor penggiring. Ketika robot belum menangkap bola, sensor menunjukkan nilai -70, dan saat robot mulai menangkap bola, sensor menunjukkan peningkatan nilai yang signifikan. Sebagai respons terhadap peningkatan ini, motor penggiring kanan dan kiri menunjukkan kenaikan nilai RPM seiring dengan kenaikan nilai yang diberikan oleh sensor potensiometer. Oleh karena itu, implementasi PID dalam sistem ini bertujuan untuk mengurangi kesalahan dari kecepatan penggiring. Data hasil pengujian ditampilkan sebagai berikut.



Gambar. 4. (a) Respon kecepatan motor penggiring



Gambar. 4. (b) Respon sudut lengan motor penggiring

Dari analisis Gambar. 4. (a) menampilkan data respon kecepatan motor penggiring, sedangkan Gambar. 4. (b) menampilkan data respon sudut lengan motor penggiring. Dapat dilihat bahwa setiap pergerakan robot mengacu pada nilai *setpoint* lengan yang telah ditentukan, yakni 0 derajat. Observasi terhadap posisi lengan yang berada di bawah 0 menunjukkan upaya robot dalam menarik dan menahan bola dengan kecepatan motor agar kondisi sepertiga bola sempurna masuk kedalam robot, dengan tujuan menjaga lengan robot berada pada titik *setpoint* yang telah ditetapkan sebelumnya.

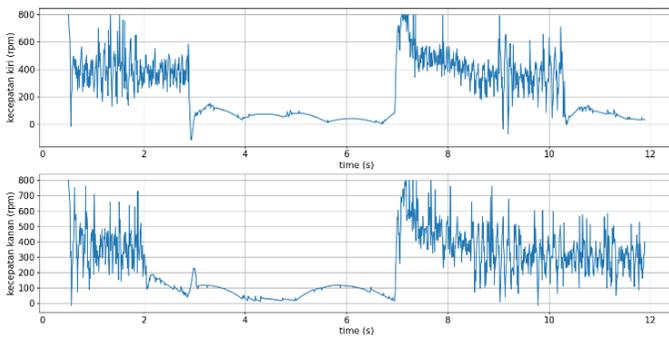
B. Pengujian saat menggiring bola ke belakang

Uji coba ini melibatkan skenario di mana robot melakukan gerakan mundur setelah menerima bola. Proses pengujian dilaksanakan dengan robot bergerak ke belakang dengan rentang kecepatan antara 20 cm/s hingga 120 cm/s. Pada saat robot mengarahkan bola ke belakang, motor penggerak kanan menanggapi dengan berputar berlawanan arah jarum jam (CCW), sementara motor penggerak kiri berputar searah jarum jam (CW). Evaluasi kesuksesan pengujian terdokumentasi dalam Tabel II, yang memuat informasi mengenai berhasil atau tidaknya robot menggiring secara natural.

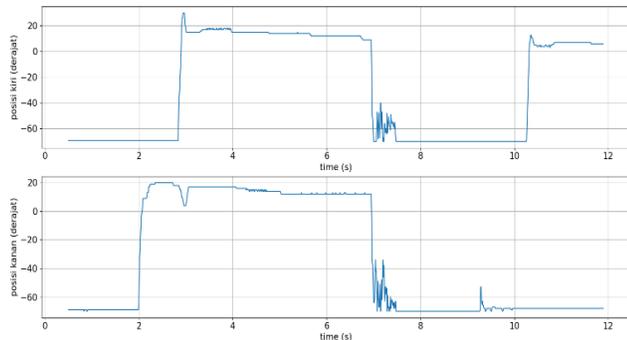
TABEL II
HASIL UJI COBA

Kecepatan Robot	MENGGIRING SECARA NATURAL
20 cm/s	Berhasil
40 cm/s	Berhasil
60 cm/s	Berhasil
80 cm/s	Berhasil
100 cm/s	Berhasil
120 cm/s	Berhasil
140 cm/s	Gagal

Pada Tabel II di atas menyajikan hasil dari berbagai kecepatan yang telah diuji, sementara pada Gambar 7 tergambar data kecepatan maksimum yaitu 120 cm/s yang berhasil dicapai oleh robot. Data tersebut mencakup kecepatan motor penggiring (rpm) dan posisi (derajat), serta informasi mengenai waktu yang diperoleh (detik). Sebagaimana tergambar berikut ini.



Gambar. 5. (a) Respon kecepatan motor penggiring



Gambar. 5. (b) respon sudut lengan motor penggiring

Dari analisis Gambar. 5.(a) menampilkan data respon kecepatan motor penggiring, sedangkan Gambar. 5.(b) menampilkan data respon sudut lengan motor penggiring. Dapat dilihat bahwa setiap pergerakan robot mengacu pada nilai *setpoint* lengan yang telah ditentukan, yakni 0 derajat. Observasi terhadap posisi lengan yang berada di bawah 0 menunjukkan upaya robot dalam menarik bola dengan kecepatan motor yang menyesuaikan dengan kecepatan robot, dengan tujuan menjaga lengan robot berada pada titik *setpoint* yang telah ditetapkan sebelumnya.

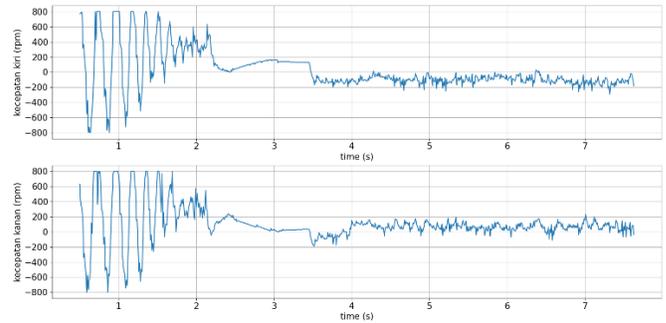
C. Pengujian saat menggiring bola ke depan

Uji coba ini melibatkan skenario di mana robot melakukan gerakan maju setelah menerima bola. Proses pengujian dilaksanakan dengan robot bergerak ke depan dengan rentang kecepatan antara 20 cm/s hingga 120 cm/s. Pada saat robot mengarahkan bola ke depan, motor penggerak kanan berputar searah jarum jam (CW), sementara motor penggerak kiri menanggapi dengan berputar berlawanan arah jarum jam (CCW). Evaluasi kesuksesan pengujian terdokumentasi dalam Tabel III, yang memuat informasi mengenai berhasil atau tidaknya robot menggiring secara natural.

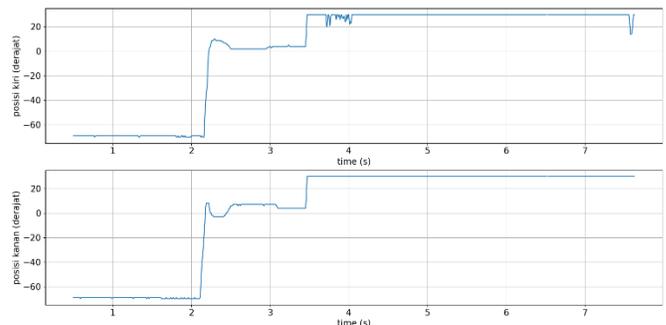
TABEL III
HASIL UJI COBA

Kecepatan Robot	MENGGIRING SECARA NATURAL
20 cm/s	Berhasil
40 cm/s	Berhasil
60 cm/s	Berhasil
80 cm/s	Berhasil
100 cm/s	Berhasil
120 cm/s	Berhasil
140 cm/s	Gagal

Pada Tabel III diatas menyajikan hasil dari berbagai kecepatan yang telah diuji, sementara pada Gambar 8 tergambar data kecepatan maksimum yaitu 120 cm/s yang berhasil dicapai oleh robot. Data tersebut mencakup kecepatan motor penggiring (rpm) dan posisi (derajat), serta informasi mengenai waktu yang diperoleh (detik). Sebagaimana tergambaran berikut ini.



Gambar. 6. (a) Respon kecepatan motor penggiring



Gambar. 6. (b) respon sudut lengan motor penggiring

Dari analisis Gambar. 6.(a) menampilkan data respon kecepatan motor penggiring, sedangkan Gambar. 6.(b) menampilkan data respon sudut lengan motor penggiring. Dapat dilihat bahwa setiap pergerakan robot mengacu pada nilai *setpoint* lengan yang telah ditentukan, yakni 0 derajat. Observasi terhadap posisi lengan yang berada di bawah 0 menunjukkan upaya robot dalam mendorong bola dengan kecepatan motor yang menyesuaikan dengan kecepatan robot, dengan tujuan menjaga lengan robot berada pada titik *setpoint* yang telah ditetapkan sebelumnya.

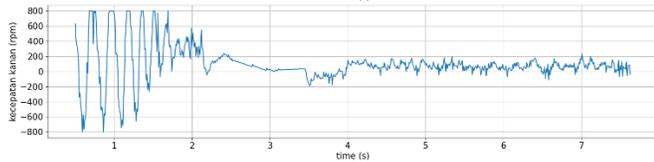
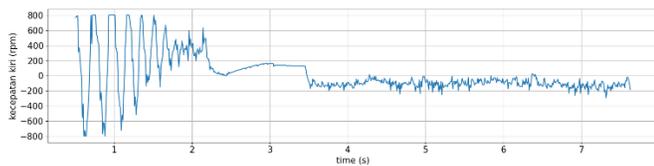
D. Pengujian saat menggiring bola ke kanan

Uji coba ini melibatkan skenario dimana robot melakukan gerakan *lateral* setelah menerima bola. Proses pengujian dilaksanakan dengan robot bergerak ke kanan dengan rentang kecepatan antara 20 cm/s hingga 60 cm/s. Pada saat robot mengarahkan bola ke kanan, motor penggerak kanan dan kiri berputar berlawanan dengan arah jarum jam (CCW). Evaluasi kesuksesan pengujian terdokumentasi dalam Tabel 4, yang memuat informasi mengenai berhasil atau tidaknya robot menggiring secara natural.

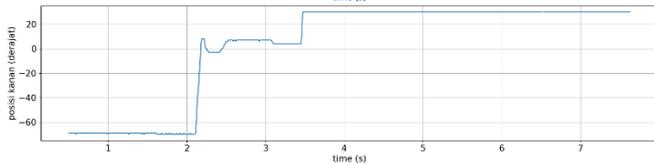
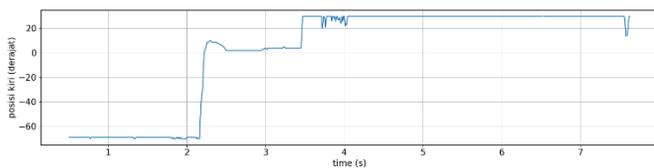
TABEL IV
HASIL UJI COBA

Kecepatan Robot	MENGGIRING SECARA NATURAL
20 cm/s	Berhasil
40 cm/s	Berhasil
60 cm/s	Berhasil
80 cm/s	Gagal

Pada Tabel IV diatas menyajikan hasil dari berbagai kecepatan yang telah diuji, sementara pada Gambar 9 tergambar data kecepatan maksimum yaitu 60 cm/s yang berhasil dicapai oleh robot. Data tersebut mencakup kecepatan motor penggiring (rpm) dan posisi (derajat), serta informasi mengenai waktu yang diperoleh (detik). Sebagaimana tergambar berikut ini.



Gambar. 7. (a) Respon kecepatan motor penggiring



Gambar. 7. (b) respon sudut lengan motor penggiring

Dari analisis Gambar. 7.(a) menampilkan data respon kecepatan motor penggiring, sedangkan Gambar. 7.(b) menampilkan data respon sudut lengan motor penggiring. Dapat dilihat bahwa setiap pergerakan robot mengacu pada nilai *setpoint* lengan yang telah ditentukan, yakni 0 derajat. Observasi terhadap posisi lengan yang berada di bawah 0 menunjukkan upaya robot dalam mengontrol bola dengan kecepatan yang menyesuaikan dengan kecepatan robot, di mana motor kanan bertanggung jawab untuk menarik bola sementara motor kiri melakukan dorongan. Dengan tujuan menjaga lengan robot berada pada titik *setpoint* yang telah ditetapkan sebelumnya.

E. Pengujian saat menggiring bola ke kiri

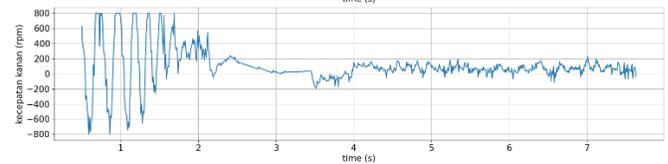
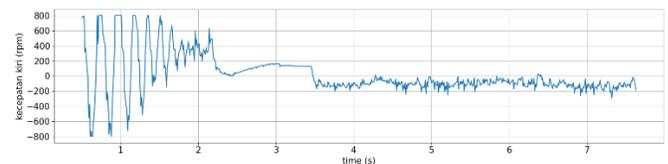
Uji coba ini melibatkan skenario di mana robot melakukan gerakan *lateral* setelah menerima bola. Proses pengujian dilaksanakan dengan robot bergerak ke kiri dengan rentang kecepatan antara 20 cm/s hingga 60 cm/s. Pada saat robot mengarahkan bola ke kanan, motor penggerak kanan dan kiri

berputar searah dengan arah jarum jam (CW). Evaluasi kesuksesan pengujian terdokumentasi dalam Tabel 5, yang memuat informasi mengenai berhasil atau tidaknya robot menggiring secara natural.

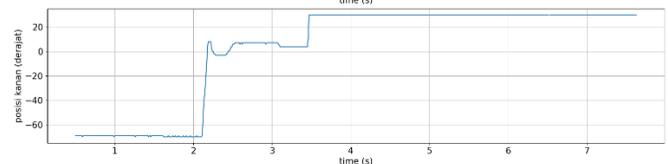
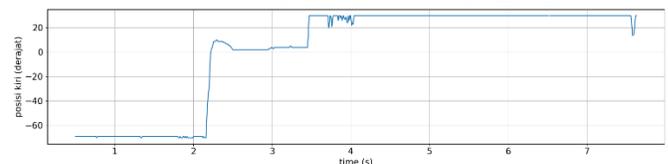
TABEL V
HASIL UJI COBA

Kecepatan Robot	MENGGIRING SECARA NATURAL
20 cm/s	Berhasil
40 cm/s	Berhasil
60 cm/s	Berhasil
80 cm/s	Gagal

Pada Tabel V diatas menyajikan hasil dari berbagai kecepatan yang telah diuji, sementara pada Gambar 10 tergambar data kecepatan maksimum yaitu 60 cm/s yang berhasil dicapai oleh robot. Data tersebut mencakup kecepatan motor penggiring (rpm) dan posisi (derajat), serta informasi mengenai waktu yang diperoleh (detik). Sebagaimana tergambar berikut ini.



Gambar. 8. (a) Respon kecepatan motor penggiring



Gambar. 8. (b) Respon sudut lengan motor penggiring

Dari analisis Gambar. 8.(a) menampilkan data respon kecepatan motor penggiring, sedangkan Gambar. 8.(b) menampilkan data respon sudut lengan motor penggiring. Dapat dilihat bahwa setiap pergerakan robot mengacu pada nilai *setpoint* lengan yang telah ditentukan, yakni 0 derajat. Observasi terhadap posisi lengan yang berada di bawah 0 menunjukkan upaya robot dalam mengontrol bola dengan kecepatan yang menyesuaikan dengan kecepatan robot, dimana motor kiri bertanggung jawab untuk menarik bola sementara motor kanan melakukan dorongan. Dengan tujuan menjaga lengan robot berada pada titik *setpoint* yang telah ditetapkan sebelumnya.

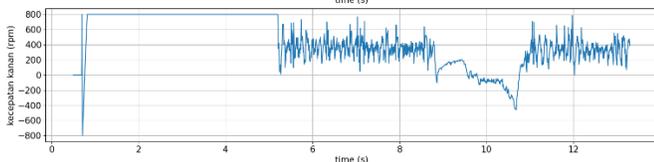
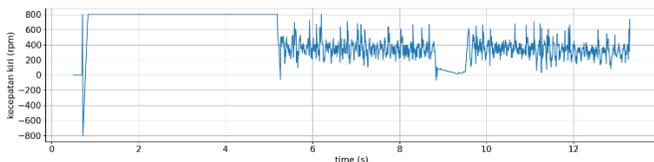
F. Pengujian saat memutar bola ke kanan

Uji coba ini melibatkan skenario dimana robot melakukan gerakan berputar ditempat ke arah kanan setelah menerima bola. Proses pengujian dilaksanakan dengan robot berputar ditempat ke arah kanan dengan rentang kecepatan antara 0.2rad/s hingga 1.5rad/s. Pada saat robot memutar bola ke kanan, motor penggerak kanan dan kiri berputar berlawanan dengan arah jarum jam (CCW). Evaluasi kesuksesan pengujian terdokumentasi dalam Tabel VI, yang memuat informasi mengenai berhasil atau tidaknya robot menggiring secara natural.

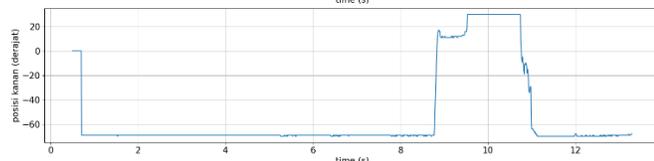
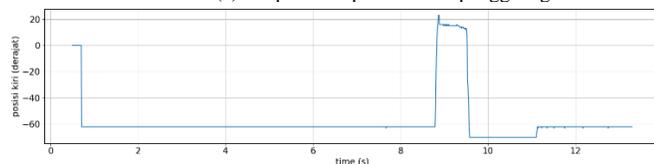
TABEL VI
HASIL UJI COBA

Kecepatan Robot	MENGGIRING SECARA NATURAL
0.2 rad/s	Berhasil
0.4 rad/s	Berhasil
0.6 rad/s	Berhasil
0.8 rad/s	Berhasil
1.0 rad/s	Berhasil
1.2 rad/s	Berhasil
1.5 rad/s	Berhasil
1.6 rad/s	Gagal

Pada Tabel VI diatas menyajikan hasil dari berbagai kecepatan yang telah diuji, sementara pada Gambar. 9.(a) dan Gambar. 9.(b) tergambar data kecepatan maksimum yaitu 1.5 rad/s yang berhasil dicapai oleh robot. Data tersebut mencakup kecepatan motor penggiring (rpm) dan posisi (derajat), serta informasi mengenai waktu yang diperoleh (detik). Sebagaimana tergambaran berikut ini.



Gambar. 9.(a) Respon kecepatan motor penggiring



Gambar. 9. (b) respon sudut lengan motor penggiring

Dari analisis Gambar. 9.(a) menampilkan data respon kecepatan motor penggiring, sedangkan Gambar. 9.(b) menampilkan data respon sudut lengan motor penggiring. Dapat dilihat bahwa setiap pergerakan robot mengacu pada nilai *setpoint* lengan yang telah ditentukan, yakni 0 derajat.

Observasi terhadap posisi lengan yang berada di bawah 0 menunjukkan upaya robot dalam mengontrol bola dengan kecepatan yang menyesuaikan dengan kecepatan robot, di mana motor kanan bertanggung jawab untuk menarik bola sementara motor kiri melakukan dorongan. Dengan tujuan menjaga lengan robot berada pada titik *setpoint* yang telah ditetapkan sebelumnya.

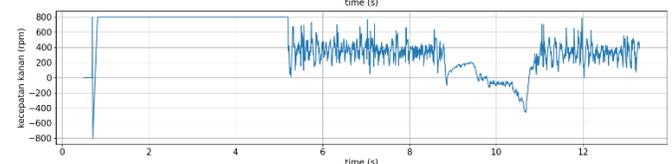
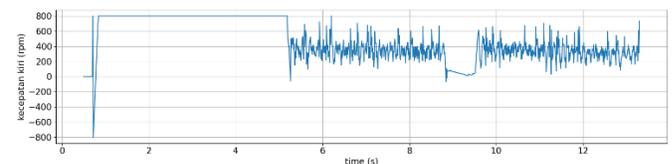
G. Pengujian saat memutar bola ke kiri

Uji coba ini melibatkan skenario dimana robot melakukan gerakan berputar ditempat ke arah kiri setelah menerima bola. Proses pengujian dilaksanakan dengan robot berputar ke arah kiri dengan rentang kecepatan antara 0.2 rad/s hingga 1.5 rad/s. Pada saat robot memutar bola ke kiri, motor penggerak kanan dan kiri berputar berlawanan dengan arah jarum jam (CCW). Evaluasi kesuksesan pengujian terdokumentasi dalam Tabel VII, yang memuat informasi mengenai berhasil atau tidaknya robot menggiring secara natural.

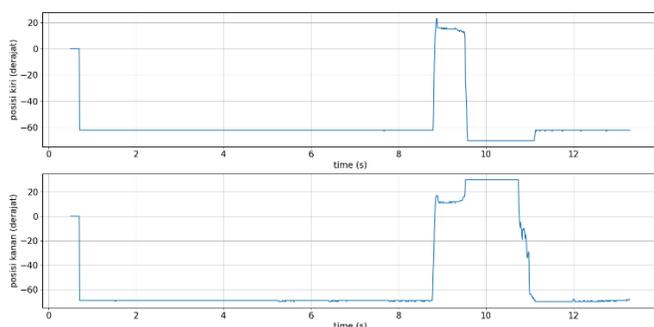
TABEL VII
HASIL UJI COBA

Kecepatan Robot	MENGGIRING SECARA NATURAL
0.2 rad/s	Berhasil
0.4 rad/s	Berhasil
0.6 rad/s	Berhasil
0.8 rad/s	Berhasil
1.0 rad/s	Berhasil
1.2 rad/s	Berhasil
1.5 rad/s	Berhasil
1.6 rad/s	Gagal

Pada Tabel VII di atas menyajikan hasil dari berbagai kecepatan yang telah diuji, sementara pada Gambar 12 tergambar data kecepatan maksimum yaitu 1.5 rad/s yang berhasil dicapai oleh robot. Data tersebut mencakup kecepatan motor penggiring (rpm) dan posisi (derajat), serta informasi mengenai waktu yang diperoleh (detik). Sebagaimana tergambaran berikut ini.



Gambar. 10. (a) Respon kecepatan motor penggiring



Gambar. 10. (b) Respon sudut lengan motor penggiring

Dari analisis Gambar. 10.(a) menampilkan data respon kecepatan motor penggiring, sedangkan Gambar. 10.(b) menampilkan data respon sudut lengan motor penggiring. Dapat dilihat bahwa setiap pergerakan robot mengacu pada nilai *setpoint* lengan yang telah ditentukan, yakni 0 derajat. Observasi terhadap posisi lengan yang berada di bawah 0 menunjukkan upaya robot dalam mengontrol bola dengan kecepatan yang menyesuaikan dengan kecepatan robot, di mana motor kiri bertanggung jawab untuk menarik bola sementara motor kanan melakukan dorongan. Dengan tujuan menjaga lengan robot berada pada titik *setpoint* yang telah ditetapkan sebelumnya.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat ditarik kesimpulan bahwa mekanisme perancangan sistem penggiring berperan besar dalam mencapai putaran bola secara alami. Keberhasilan sistem ini sangat tergantung pada penyesuaian diameter bola, karena ketidaksesuaian dapat menyebabkan bola mudah terlepas. Temuan penelitian juga menunjukkan bahwa menggiring bola dengan bergerak maju, mundur, ke kanan, ke kiri, dan berputar menggunakan kontrol PID sebagai pengatur kecepatan motor penggiring masih menghadapi tantangan stabilitas pada kecepatan robot yang beragam dalam setiap arah gerak. Tantangan tersebut terkait dengan peningkatan suhu motor penggiring ketika bola tertahan dalam keadaan tertekan selama proses penggiringan. Peran roda penggiring bola dalam eksperimen ini juga menonjol. Pada percobaan ketika robot menggiring bola mundur dan maju dengan kecepatan 140 cm/s, serta menggiring bola ke kanan dan kiri dengan kecepatan 80 cm/s, bola langsung terlepas pada awal penggiringan, hal ini disebabkan oleh batasan penapakan roda penggiring dengan permukaan bola. Oleh karena itu, dalam penelitian berikutnya, direkomendasikan untuk mengembangkan sistem kontrol yang lebih stabil agar suhu motor penggiring dapat dijaga agar tidak cepat panas. Selain itu, perlu dilakukan modifikasi pada permukaan roda agar lebih lebar, sehingga dapat meningkatkan kontak dan kekuatan gesek dengan bola, sehingga mampu menyesuaikan diri dengan kecepatan gerak robot yang lebih tinggi.

REFERENSI

- [1] H. Soebhakti, M. R. Fauzi, T. H. Ata, and W. E. Kurniawan, "Coach Application for Soccer Robot," Jan. 2024, doi: 10.4108/EAL.7-11-2023.2342934.
- [2] W. Yao, W. Dai, J. Xiao, H. Lu, and Z. Zheng, "A simulation system based on ROS and Gazebo for RoboCup Middle Size League," *2015 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, IEEEROBIO 2015*, pp. 54–59, 2015, doi: 10.1109/ROBIO.2015.7414623.
- [3] B. Kusumo Putro and et. al, *Buku Pedoman Kontes Robot Indonesia Tahun 2023*, 1st ed. Jakarta: Balai Pengembangan Talenta Nasional Pusat Prestasi Nasional, Kemendikbudristek, 2023.
- [4] M. Asada and al et, *Middle Size Robotic League Rules and Regulations for 2023*, Version 24.0 2022. France: Robocup, 2022.
- [5] A. Abdulameer, M. Sulaiman, M. S. M. Aras, and D. Saleem, "Tuning methods of PID controller for DC motor speed control," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 3, no. 2, pp. 343–349, Aug. 2016, doi: 10.11591/ijeecs.v3.i2.pp343-349.
- [6] R. P. Borase, D. K. Maghade, S. Y. Sondkar, and S. N. Pawar, "A review of PID control, tuning methods and applications," *International Journal of Dynamics and Control*, vol. 9, no. 2. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, pp. 818–827, Jun. 01, 2021. doi: 10.1007/s40435-020-00665-4.
- [7] M. A. Hariyadi, J. N. Fadila, and H. Sifaulloh, "433Mhz based Robot using PID (Proportional Integral Derivative) for Precise Facing Direction," *JOIV: International Journal on Informatics Visualization*, vol. 7, no. 3, pp. 991–999, Sep. 2023, doi: 10.30630/JOIV.7.3.1841.
- [8] P. Chotikunnan and R. Chotikunnan, "Dual Design PID Controller for Robotic Manipulator Application," *Journal of Robotics and Control (JRC)*, vol. 4, no. 1, pp. 23–34, Feb. 2023, doi: 10.18196/JRC.V4I1.16990.
- [9] F. A. Widodo and K. Mutijarsa, "Design and implementation of movement, dribbler and kicker for wheeled soccer robot," *2017 International Conference on Information Technology Systems and Innovation, ICITSI 2017 - Proceedings*, vol. 2018-January, pp. 200–205, Jul. 2017, doi: 10.1109/ICITSI.2017.8267943.
- [10] R. Barua, S. Mandal, and S. Mandal, "Motion Analysis of A Mobile Robot With Three Omni-Directional Wheels," 2015. [Online]. Available: www.ijiset.com.
- [11] J. Ren, C. Xie, J. Xiao, K. Huang, and H. Lu, "A control system for active ball handling in the RoboCup middle size league," in *Proceedings of the 28th Chinese Control and Decision Conference, CCDC 2016*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Aug. 2016, pp. 4396–4402. doi: 10.1109/CCDC.2016.7531777.
- [12] K. Kimura, S. Chikushi, and K. Ishii, "Evaluation of the Roller Arrangements for the Ball-Dribbling Mechanisms Adopted by RoboCup Teams," *Journal of Robotics, Networking and Artificial Life*, vol. 6, no. 3, pp. 183–190, Dec. 2019, doi: 10.2991/JRNAL.K.191203.002.
- [13] M. Gijts Van, "An alterable dynamic model of a ball-handling mechanism — Eindhoven University of Technology research portal." Thesis, Accessed: Jun. 19, 2024. [Online]. Available: <https://research.tue.nl/en/studentTheses/an-alterable-dynamic-model-of-a-ball-handling-mechanism>.
- [14] S. Timo van der, "Development of a low-cost solution for the ball handling mechanism for a football robot — Eindhoven University of Technology research portal", Thesis, Accessed: Jun. 19, 2024. [Online]. Available: <https://research.tue.nl/en/studentTheses/development-of-a-low-cost-solution-for-the-ball-handling-mechanism>.
- [15] S. Chikushi, T. Weerakoon, T. Sonoda, and K. Ishii, "Ball Dribbling Control for RoboCup Soccer Robot," *Proceedings of International Conference on Artificial Life and Robotics*, vol. 22, pp. 416–420, Jan. 2017, doi: 10.5954/ICAROB.2017.OS22-3.