

Pengaturan Posisi Sudut Motor DC menggunakan Proporsional Integral (PI) Control untuk Kicker Robot Sepak Bola Beroda

Yosi Riduas Hais¹, Oki Saputra², Mhd.Zahidarrifqi¹

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi

²Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pangan dan Agroindustri, Universitas Mataram

Email: yosi.riduas@unja.ac.id, okisaputrakerinci@gmail.com, arrifqizahid4@gmail.com

Info Artikel

Diterima: 7 Februari 2023

Disetujui: 22 Februari 2023

Dipublikasikan: 28 Februari 2023

Alamat Korespondensi:

yosi.riduas@unja.ac.id

Copyright © 2023 Jurnal Engineering

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

Abstrak

Penendang (*kicker*) merupakan suatu komponen pada robot sepak bola beroda yang berfungsi untuk menendang bola. *Kicker* dapat dibangun dengan berbagai cara, salah satunya dengan memanfaatkan motor DC. Untuk menghasilkan tendangan yang kuat dan stabil diperlukan *prime mover* berupa dua motor DC yang di-*couple*. Penerapan strategi ini menimbulkan masalah berupa sulitnya sinkronisasi kedua motor DC tersebut. Penelitian ini difokuskan pada penerapan PI control untuk pengaturan posisi sudut *kicker* pada dua motor DC PG45. Didapatkan hasil bahwa *kicker* mampu mencapai posisi 45°, 56°, 75° dan 91° dengan *error steady state* yang dihasilkan sebesar 1° pada posisi 55° dan 90° serta kelajuan tendangan rata – rata masing – masing parameter sebesar 21,323 m/s, 43,422 m/s, 5,169 m/s dan 4,032 m/s.

Kata Kunci: Robot sepak bola; *Kicker*; Motor DC; PI

Abstract :

Kicker is a component in a wheels soccer robot that functions to kicked ball. *Kicker* can be built in various ways, one of which is by using a DC motor. To produce strong and stable kicks, a *prime mover* is required in the form of two coupled DC motors. Implementation of this strategy raises problems in the form of difficulty in synchronizing the DC motor. The focus of this study was on the application of Proportional Integral (PI) control on two DC PG45 motors as angular position control of the *kicker*. The *kicker* could reach positions 45°, 56°, 75° and 90° with the resulting steady state error of 1° in position 55° and 90° with average kick speeds for each position of 21,323 m/s, 43,422 m/s, 5,169 m/s and 4,032 m/s.

Keywords: Wheeled Soccer Robot; *Kicker*; DC Motor; PI

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan dewasa ini berkembang begitu pesat, yang salah satu bentuk perkembangannya ialah munculnya teknologi robotika. Teknologi robotika saat ini banyak dimanfaatkan dalam berbagai lini kehidupan, mulai dari mengurangi kinerja manusia, dimanfaatkan dalam industri hingga sebagai media edukasi dan pendidikan. Dalam dunia pendidikan, robot digunakan sebagai media pembelajaran, penelitian, bahkan dimanfaatkan sebagai suatu kompetisi. Salah satu kompetisi robot yang berkembang saat ini ialah Kontes Robot Sepak Bola Indonesia Beroda (KRSBI Beroda) dalam rangkaian kegiatan Kontes Robot Indonesia (KRI) (Devid et al., 2013; Yuliansari, 2019; Zhao et al., 2006).

Kontes Robot Sepak Bola Indonesia Beroda (KRSBI Beroda) merupakan suatu kompetisi yang mempertandingkan dua tim robot untuk bermain sepak bola dengan penentuan pemenang didasarkan atas jumlah gol terbanyak (Panitia Pusat Kontes Robot Indonesia, 2018). Gol terjadi ketika robot berhasil menendang dan memasukkan bola ke gawang lawan. Untuk menghasilkan suatu tendangan, diperlukan sebuah komponen berupa *kicker* tangguh yang mampu menghasilkan tendangan tercepat (Sunan et al., 2022).

Penelitian yang dilakukan oleh (Kasaei et al., 2010) mendesain dan mengimplementasikan selenoid sebagai mekanisme penendang untuk robot sepak bola. Selain itu (Widodo & Mutijarsa, 2017) mendesain dan mengimplementasikan gerakan, penggiring, dan mekanisme penendang untuk robot sepak bola. Kemudian (Aprilianto & Irfan Perdana, 2018) merancang dan menguji tentang mekanisme penendang menggunakan servo dan pneumatik. (Sugianto et al., 2017) juga memanfaatkan motor DC sebagai mekanisme penendang, namun masih menggunakan satu motor. Sedangkan (Arya Dewangga et al., 2017) menginovasikan penggunaan motor DC *power window* untuk menggantikan mekanisme pneumatik.

Pada robot sepak bola beroda Universitas Jambi versi 2 menggunakan *kicker* dengan satu motor DC sebagai penggerak. Penggunaan satu motor DC pada *kicker* memiliki beberapa kekurangan dan permasalahan berupa, *kicker* menjadi tidak terkendali ketika dilakukan tendangan dengan kekuatan penuh. Hal tersebut menyebabkan kerusakan mekanik pada konstruksi robot. Selain itu penggunaan satu motor DC, mengakibatkan beban tendangan tertumpu hanya pada satu motor DC, yang mengakibatkan motor DC bekerja lebih keras untuk menggerakkan *kicker* yang berakibat terjadinya ketidakseimbangan pada pergerakan *kicker* (Zahidarrifqi et al., 2019).

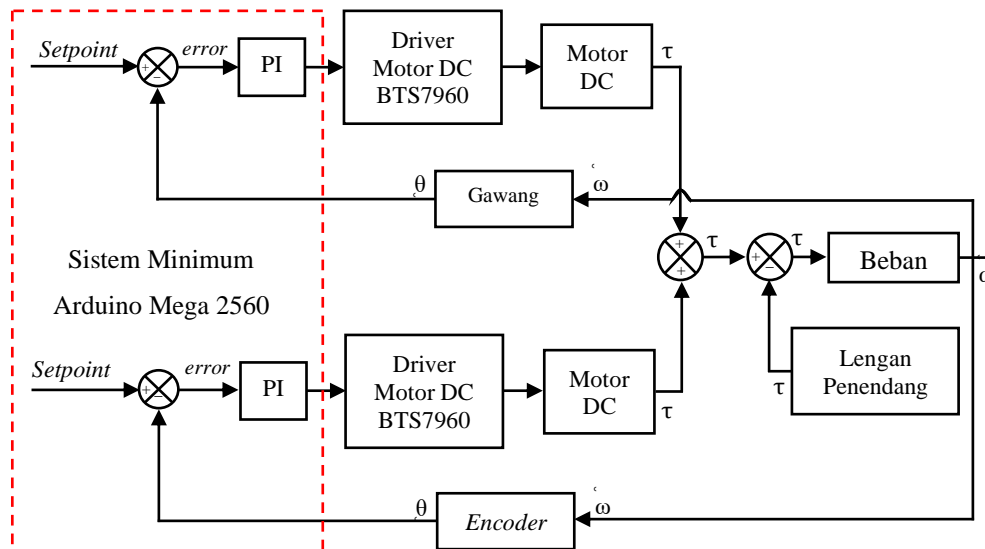
Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan suatu penelitian untuk merancang *kicker* dengan menerapkan kontrol PI pada dua motor DC PG 45 sebagai kontrol posisi lengan penendang dalam meningkatkan kelajuan tendangan.

2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini, penulis merancang *kicker* menggunakan dua motor DC PG 45 serta pengontrolan posisi lengan penendang dengan metode kontrol PI dalam meningkatkan kelajuan tendangan.

a. Diagram Blok Sistem

Konsep perancangan sistem secara umum disajikan dalam bentuk diagram blok seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1.

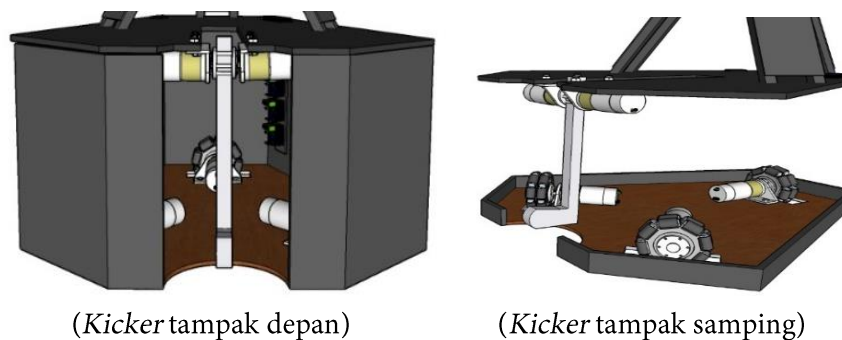


Gambar 1. Diagram Blok Kicker Robot Sepak Bola Beroda

Konsep yang digambarkan secara umum pada diagram blok Gambar 1 memperlihatkan sistem memiliki *set point* posisi (θ) yang nilainya dapat berubah – ubah yang didasarkan pada jarak yang terukur oleh kamera. *Set point* digunakan untuk menentukan aksi yang akan dilakukan oleh sistem, yang diolah terlebih dahulu melalui kontroler Proporsional Integral (PI) bersamaan dengan sudut aktual (θ), sehingga menghasilkan aksi untuk menggerakkan lengan penendang menuju *set point* yang diharapkan melalui *driver* motor BTS7960.

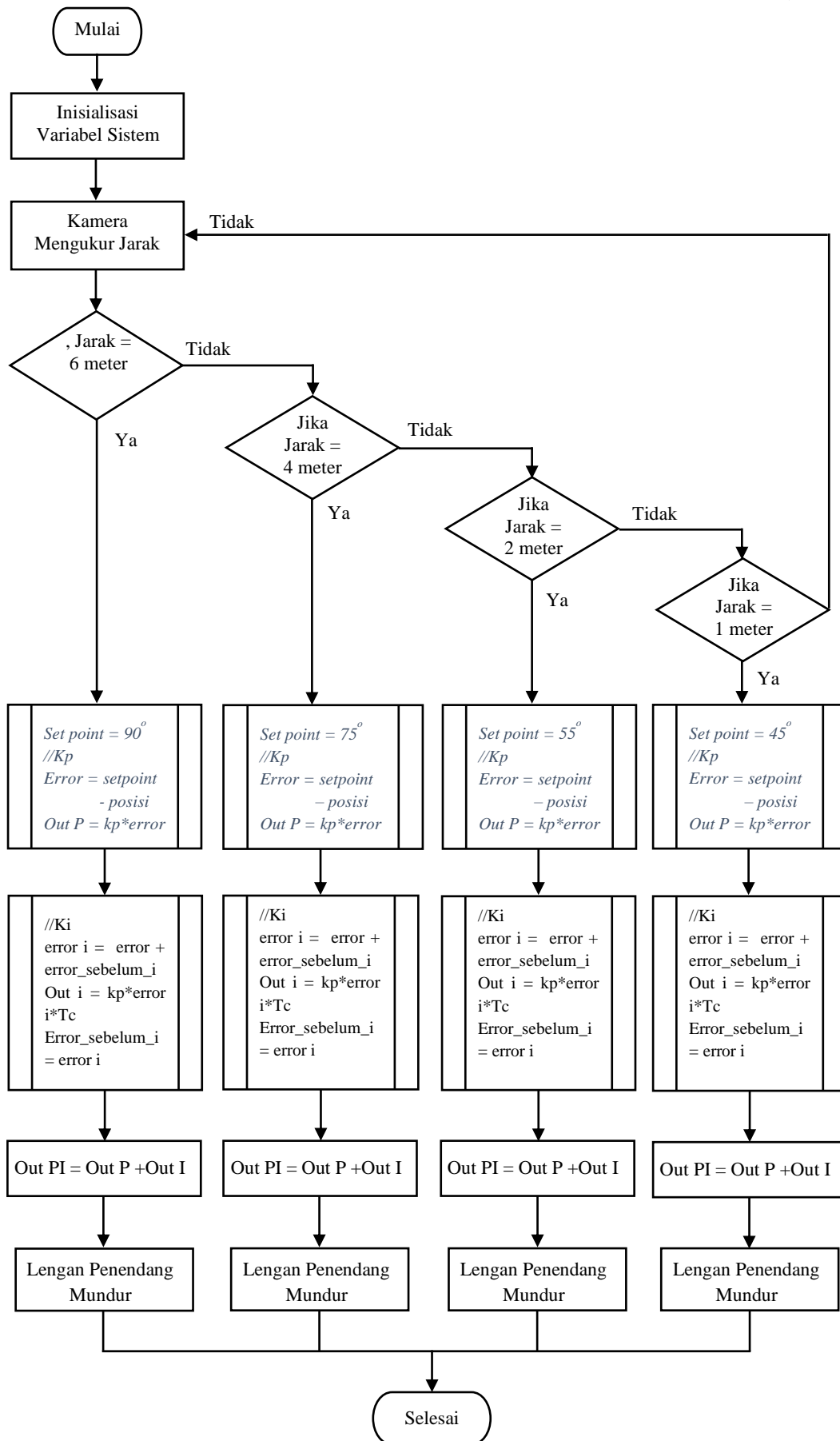
b. Rancangan Mekanisme Penendang (Kicker)

Rancangan *kicker* dilakukan dengan tujuan sebagai gambaran awal dan acuan dalam proses perakitan mekanik dari *kicker*. Rancangan *kicker* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Kicker Robot Sepak Bola Beroda

Gambar 2 merupakan bentuk robot sepak bola beroda, dimana terdapat tata letak dari *kicker* pada robot sepak bola. Motor DC di-*couple* sehingga kedua rotor saling berhubungan. *Kicker* dihubungkan pada rotor tersebut.



Gambar 3. Diagram Alir Program Utama Kontroler PI

c. Perancangan PI control

Persamaan PI control diberikan pada Persamaan (1). Persamaan ini yang kemudian akan diterapkan dalam algoritma mikrokontroler.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e_i(t) dt \quad (1)$$

Error diperoleh dari persamaan (2):

$$e(t) = \theta_{ref}(t) - \theta_{in}(t) \quad (2)$$

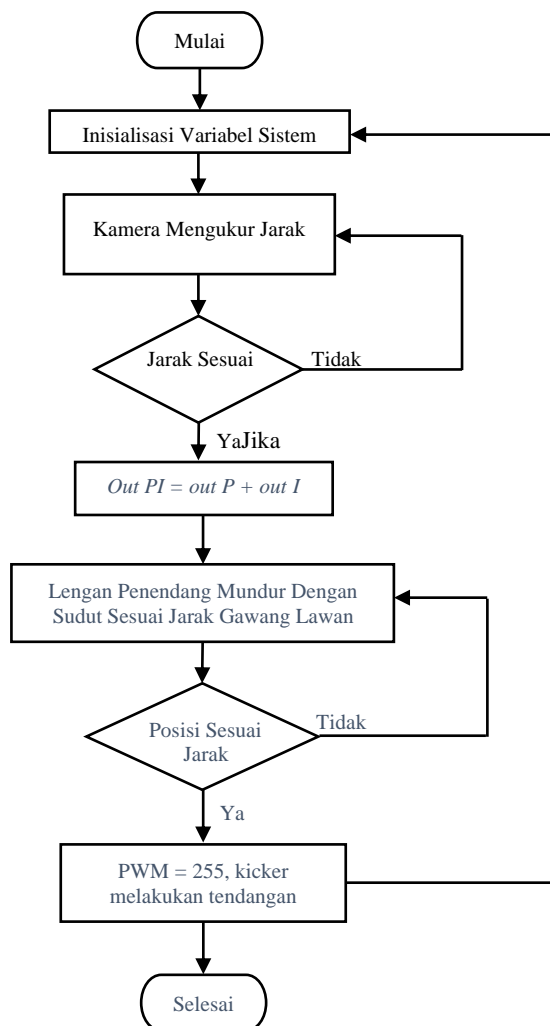
Dimana θ_{ref} merupakan set point posisi sudut dan θ_{in} merupakan keluaran sensor. Kemudian error untuk integral diperoleh dari Persamaan (3):

$$e_i(t) = e(t) - e'(t) \quad (3)$$

Program utama kontroler PI diperlihatkan pada diagram alir (flowchart) yang terdapat pada Gambar 3.

d. Perancangan Kontroler Kicker Robot Sepak Bola Beroda

Terdapat 4 parameter jarak yang digunakan untuk menentukan aksi tendangan, yaitu 6m, 4m, 2m, dan 1m dengan posisi sudut lengan penendang masing-masing 90°, 75°, 55°, dan 45°. Perancangan kontroler kicker robot sepak bola beroda diperlihatkan pada Gambar 4.

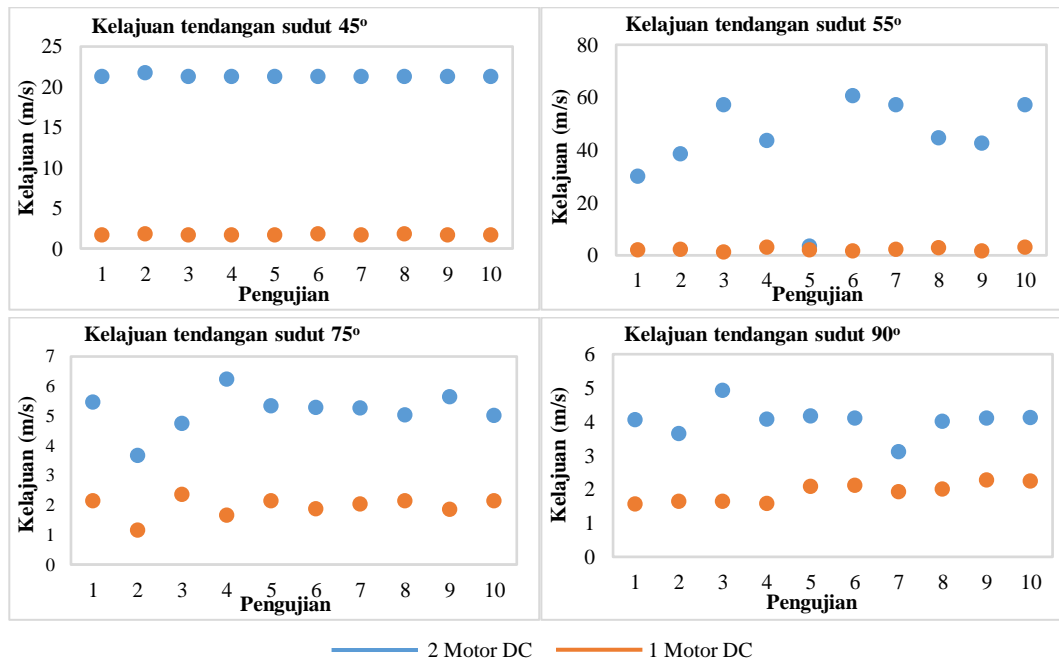


Gambar 4. Diagram Alir Kontroler Kicker Robot Sepak Bola Beroda

3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

a. Pengujian Kelajuan Tendangan Kicker Robot Sepak Bola Beroda

Pengujian kelajuan tendangan dilakukan terhadap penggunaan satu motor DC dan dua motor DC dengan posisi sudut masing – masing 45°, 55°, 75° dan 90° dengan percobaan masing – masing dilakukan sebanyak 10 kali. Pengujian bertujuan untuk mengetahui kelajuan tendangan dari masing – masing aktuator. Hasil yang didapatkan seperti yang terdapat pada Gambar 5.



Gambar 5. Kelajuan Tendangan 1 Motor DC dan 2 Motor DC

Gambar 5 memperlihatkan pengujian kelajuan tendangan dengan posisi sudut 45°, 55°, 75°, dan 90°. Hasil yang diperlihatkan keempat grafik pada gambar 5 ialah penggunaan dua motor DC mampu menghasilkan tendangan lebih baik dibandingkan dengan penggunaan satu motor DC. Pada sudut 45°, penggunaan dua motor DC mampu meningkatkan kelajuan tendangan dari 1,682 m/s menjadi 21,323 m/s. Pada sudut 55°, kelajuan yang mampu ditingkatkan oleh penggunaan dua motor DC ialah dari 2,135 m/s menjadi 43,422 m/s. Pada sudut 75°, penggunaan dua motor DC mampu meningkatkan kelajuan tendangan dari 1,947 m/s menjadi 5,169 m/s. Dan pada sudut 90°, penggunaan dua motor DC mampu meningkatkan kelajuan tendangan dari 1,906 m/s menjadi 4,032 m/s. Perbandingan kelajuan tendangan lebih mendalam terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Kelajuan Tendangan

No.	Jarak (m)	1 Motor DC		2 Motor DC	
		Waktu (s)	Kelajuan (m/s)	Waktu (s)	Kelajuan (m/s)
1.	1	0,595	1,682	0,0469	21,323
2.	2	1,033	2,135	0,0983	43,422
3.	4	2,134	1,947	0,1713	5,169
4.	6	3,210	1,906	1,506	4,032

Penggunaan 1 motor DC dan 2 motor DC memiliki kelajuan tendangan yang jauh berbeda. Penggunaan 1 motor DC sebagai penggerak memiliki kelajuan yang rendah, seperti yang diperlihatkan pada tabel 1 diatas. Hal tersebut disebabkan oleh beberapa faktor seperti konstruksi mekanik yang menopang penggerak yang tidak stabil saat tendangan dilakukan, serta posisi lengan penendang saat menyentuh bola serta beban tendangan yang hanya bertumpu pada 1 motor DC.

Permasalahan tersebut dapat teratasi dengan penggunaan 2 motor DC sebagai penggerak, hal tersebut dibuktikan dengan kelajuan rata – rata yang mampu dihasilkan oleh penggunaan 2 motor DC seperti yang diperlihatkan pada tabel 1. Selisih kelajuan yang dihasilkan dengan posisi sudut 45°, 55°, 75°, dan 90° masing – masing sebesar 19,641 m/s, 41,287 m/s, 3,222 m/s, dan 2,126 m/s. Penggunaan dua motor DC menjadikan beban tertumpu pada dua penggerak atau dengan kata lain beban tendangan terbagi pada dua motor DC (*load sharing*), serta *kicker* mendapatkan energi tambahan untuk mengeksekusi tendangan, sehingga tendangan yang dihasilkan menjadi lebih bertenaga.

b. Kalibrasi Sudut Penendang

Pembacaan dan kalibrasi sudut penendang pada robot sepak bola beroda dilakukan dengan menggunakan sensor *encoder magnetic series*. Sensor *encoder magnetic series* bekerja dengan mengkonversi putaran motor DC menjadi sinyal pulsa yang selanjutnya dikonversi menjadi sudut lengan penendang. Kalibrasi bertujuan untuk menyesuaikan sudut lengan penendang terhadap hasil pembacaan pada perangkat lunak arduino IDE.

Hasil pembacaan sudut penendang akan digunakan sebagai pembanding sudut aktual yang terbaca terhadap nilai *set point* yang diberikan, hal tersebut bertujuan untuk menentukan arah putaran motor DC, serta menentukan nilai *Pulse Width Modulation* (PWM) yang akan diberikan untuk menggerakkan motor DC.

Besaran sudut dan nilai *encoder* dapat dilihat melalui *serial monitor* pada perangkat lunak arduino IDE, dengan hasil yang didapatkan berupa sudut putar motor DC dengan nilai *encoder* seperti yang diperlihatkan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Kalibrasi Sudut Penendang

No	Sudut	Percobaan									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	45°	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
2.	55°	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
3.	75°	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
4.	90°	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
5.	360°	134	134	134	134	134	134	134	134	134	134

Tabel 2 memperlihatkan hasil pembacaan nilai *encoder* untuk masing – masing sudut yang akan digunakan dalam pengujian. Pembacaan nilai *encoder* dilakukan sebanyak 10 kali percobaan. Nilai *encoder* yang didapatkan dari masing – masing percobaan mendapatkan hasil yang sama. Oleh karena itu, dapat dipastikan bahwa sensor *encoder magnetic series* akurat untuk digunakan dalam menentukan posisi lengan penendang.

c. Pengujian Posisi Lengan Penendang

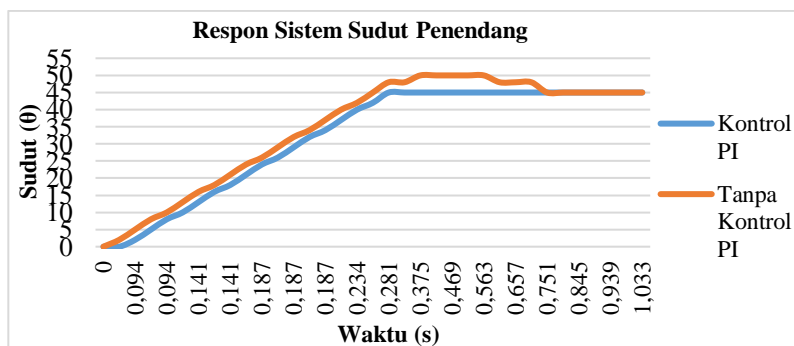
Pengujian posisi lengan penendang dilakukan dengan dua jenis pengujian yaitu, pengujian tanpa kontrol PI dan pengujian dengan kontrol PI dengan posisi sudut 45°, 55°, 75° dan 90°. Pengaturan posisi lengan penendang motor DC tanpa kontrol PI dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik dan perilaku sistem sebelum diterapkan metode kontrol. Sedangkan pengujian dengan kontrol PI dilakukan dengan tujuan untuk mengendalikan pergerakan lengan penendang sesuai dengan posisi sudut yang diharapkan dengan waktu tercepat.

Pengujian dengan menggunakan kontrol PI terlebih dahulu dilakukan dengan menentukan nilai Konstanta Proporsional (Kp) dan Konstanta Integral (Ki) yang akan diterapkan pada metode kontrol. Konstanta Proporsional (Kp) dan Konstanta Integral (Ki) yang digunakan dalam pengujian adalah seperti yang terdapat pada tabel 3.

Tabel 3. Konstanta Proporsional dan Konstanta Integral

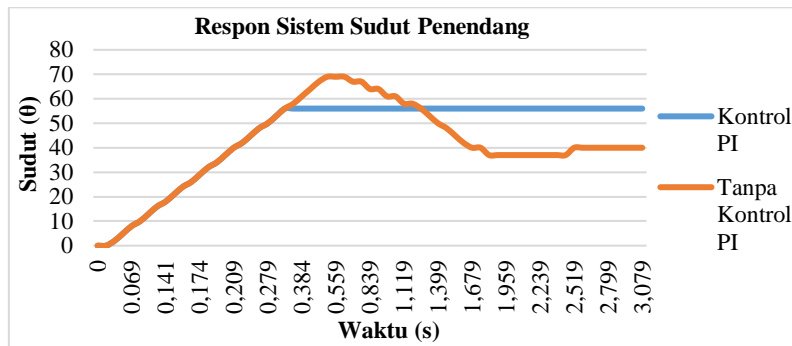
No.	Sudut	Kp	Ki
1.	45°	0,7	0,1
2.	55°	0,5602	0,47402
3.	75°	0,8157	0,258
4.	90°	0,4888959018	0,19490

Hasil pengujian sudut penendang 45°, 55°, 75°, dan 90° seperti yang diperlihatkan pada Gambar 6 – Gambar 9.



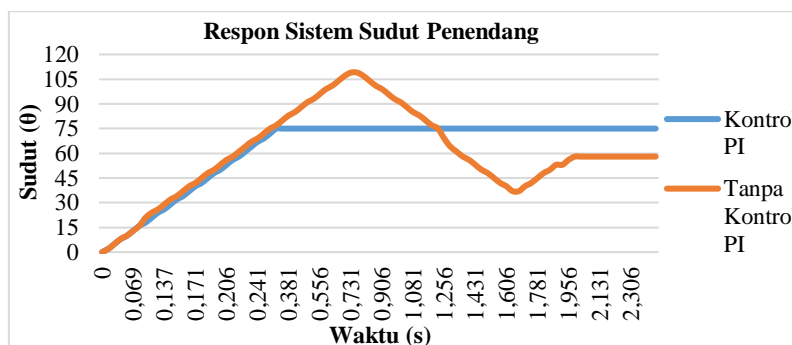
Gambar 6. Respon Sistem Sudut Penendang 45°

Gambar 6 memperlihatkan hasil pengujian sudut penendang 45°. Hasil yang diperlihatkan bahwa sebelum diterapkan kontrol PI, respon sistem mengalami *overshoot* akan tetapi tidak terlalu besar dan sistem mampu mencapai keadaan *steady state* dalam waktu 0,463 detik. Setelah diterapkan kontrol PI, *kicker* mampu memperbaiki respon sistem. Hal tersebut terlihat pada gambar 6, kontrol PI mampu menghilangkan *overshoot*. Selain itu, penggunaan kontrol PI mampu mempercepat sistem mencapai keadaan tunak (*steady state*) dalam waktu 0,281 detik dengan selisih waktu sebesar 0,182 detik.



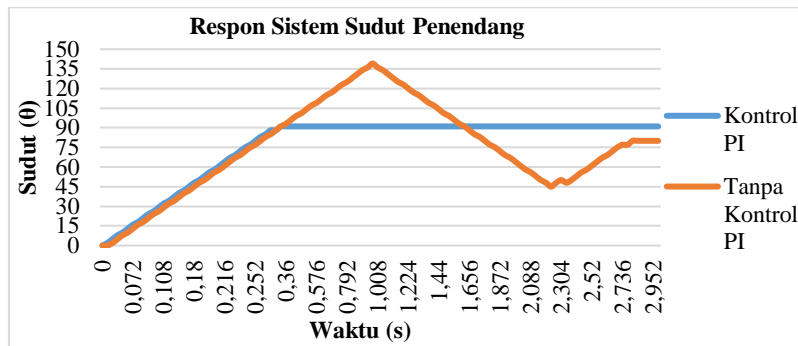
Gambar 7. Respon Sistem Sudut Penendang 55°

Gambar 7 memperlihatkan hasil pengujian sudut penendang 55°. Hasil yang didapatkan seperti pada gambar bahwa, sebelum diterapkan kontrol PI, sistem tidak mampu mencapai *set point* yang diharapkan, sehingga perilaku sistem yang diperlihatkan menimbulkan *overshoot* yang besar dan *undershoot* yang kecil. Sistem mampu mencapai keadaan tunak (*steady state*) pada sudut 40° dalam waktu 1,058 detik dengan *error steady state* sebesar 15°. Setelah diterapkan kontrol PI, sistem mampu menghilangkan *overshoot* maupun *undershoot*, serta mengecilkan *error steady state* pada sistem. Hal tersebut terbukti dengan *error steady state* yang dihasilkan 1°. *Kicker* mampu mencapai keadaan tunak (*steady state*) dalam waktu 0,314 detik pada sudut 56°.



Gambar 8. Respon Sistem Sudut Penendang 75°

Gambar 8 memperlihatkan hasil pengujian sudut penendang 75°. Hasil yang didapatkan bahwa, sebelum diterapkan kontrol PI, sistem memperlihatkan respon yang lebih cepat akan tetapi menimbulkan *overshoot* dan *undershoot* yang besar dan sistem tidak mampu mencapai *set point* yang diharapkan. Sistem mampu mencapai keadaan tunak pada sudut 58° dalam waktu 0,874 detik dengan *error steady state* sebesar 17°. Setelah diterapkan kontrol PI, respon sistem menjadi lebih stabil dan mampu mencapai *set point* yang diharapkan. Selain itu, kontrol PI mampu membuat *kicker* mencapai keadaan tunak lebih cepat dalam waktu 0,311 detik, dengan selisih waktu sebesar 0,563 detik lebih cepat dibandingkan dengan sebelum diterapkan kontrol PI.



Gambar 9. Respon Sistem Sudut Penendang 90°

Gambar 9 memperlihatkan hasil pengujian sudut penendang 90°. Hasil yang didapatkan bahwa, sistem tidak mampu mencapai *set point* yang diharapkan, dengan perilaku sistem yang diperlihatkan menimbulkan *overshoot* dan *undershoot* yang besar. Sistem mampu mencapai keadaan tunak pada sudut 80° dalam waktu 0,894 detik dengan *error steady state* sebesar 10°. Setelah diterapkan kontrol PI, respon sistem yang diperlihatkan bahwa kontrol PI mampu menghilangkan *overshoot* dan *undershoot* pada sistem, serta mempercepat respon dari sistem. Sistem mampu mencapai keadaan tunak dalam waktu 0,324 detik dengan *error steady state* 1°. Selisih waktu yang dibutuhkan untuk mencapai keadaan tunak (*steady state*) sebesar 0,57 detik lebih cepat dibandingkan dengan tanpa kontrol PI.

Perbandingan yang lebih mendalam dari hasil pengujian posisi sudut lengan penendang terdapat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan Posisi Sudut Lengan Penendang

No	Set Point	Tanpa PI Control		Kontrol PI Control	
		Sudut	Waktu (s)	Sudut	Waktu (s)
1.	45°	45°	0,571	45°	0,281
2.	55°	40°	1,058	56°	0,314
3.	75°	58°	0,874	75°	0,468
4.	90°	80°	0,894	91°	0,324

Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis dari penelitian *kicker*, maka dapat disimpulkan bahwa Penggunaan dua motor DC mampu meningkatkan kelajuan tendangan pada posisi 45°, 55°, 75°, dan 90° dengan kelajuan rata – rata yang dihasilkan masing – masing sebesar 21,323 m/s, 43,422 m/s, 5,169 m/s, dan 4,032 m/s. Kemudian berdasarkan hasil pengujian posisi 45°, 55°, 75°, dan 90°, lengan penendang mampu mencapai dan mendekati posisi yang diharapkan dengan hasil masing – masing posisi ialah 45°, 56°, 75°, dan 91°, dengan *error steady state* 1° pada posisi 55° dan 90°.

Daftar Pustaka

- [1] Aprilianto, H., & Irfan Perdana, M. (2018). Mekanika Penendang dan Penangkap Bola Berbasis Mikrokontroler Pada Robot Bola Beroda. *Jutisi: Jurnal Ilmiah Teknik Informatika Dan Sistem Informasi*, 7(2), 119–126. <https://doi.org/10.35889/JUTISI.V7I2.294>.
- [2] Arya Dewangga, D., Aria Wisesa, D., Febrinanda, E., Misbahul Arif, I., & Olga Priandana Yudi, dan.

- (2017). *Sistem Penendang Bola Mekanis pada Robot Sepakbola Beroda*. 978–602.
- [3] Devid, P., Eka Purnama, B., & Wardati, I. U. (2013). Implementasi Model Robot Edukasi Menggunakan Mikrokontroler ATmega 8 untuk Robot Pemadam Api. *Indonesian Journal on Networking and Security ISSN: 2302-5700*, 4(3), 1–7.
- [4] Kasaei, S. H. M., Kasaei, S. M. M., & Kasaei, S. A. M. (2010). Design and Implementation Solenoid Based Kicking Mechanism for Soccer Robot Applied in Robocup-MSL. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 7(4), 30. <https://doi.org/10.5772/10490>
- [5] Panitia Pusat Kontes Robot Indonesia. (2023). *Buku Panduan Kontes Robot Sepakbola Indonesia 2023*. Direktorat Kemahasiswaan, Direktorat Pembelajaran dan Kemahasiswaan Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi.
- [6] Sugianto, Z., Kantori, M. T., & Nugraha, M. I. (2017). *Dribbling and Kicking Mechanism of A Soccer Robot for “KRSBI Beroda.”* 978–602.
- [7] Sunan, Sarifhidayatullah, Fuady, S., Riduas Hais, Y., & Edi. (2022). Perancangan Omni Vision Camera sebagai Sistem Pendeteksi Objek untuk Robot Sepak Bola. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 4(2), 229–235.
- [8] Widodo, F. A., & Mutijarsa, K. (2017). Design and implementation of movement, dribbler and kicker for wheeled soccer robot. *2017 International Conference on Information Technology Systems and Innovation, ICITSI 2017 - Proceedings*, 200–205. <https://doi.org/10.1109/ICITSI.2017.8267943>
- [9] Yuliansari, S. (2019). *Robot Rangkayo Hitam Ikuti Kontes Robot Nasional Perguruan Tinggi*. Humas UNJA.
- [10] Zahidarrifqi, M., Pratama, E., Putra, A. E., & Pamungkas, P. (2019). Perancangan kicker robot KRSBI Beroda menggunakan motor pg45 500 rpm Rangkayo Hitam Universitas Jambi. *Indonesian Symposium on Robotic System and Control*, 17.
- [11] Zhao, X. J., Zhang, J. T., Li, W. J., & Li, Y. F. (2006). Research on strategy of robot soccer game based on opponent information. *Proceedings of the 2006 International Conference on Machine Learning and Cybernetics, 2006(August)*, 230–234. <https://doi.org/10.1109/ICMLC.2006.258959>