

Pengendalian Kestabilan Posisi Bola Pingpong Menggunakan Kontrol PID

Dinda Ayu Permatasari¹, Anindya Dwi Risdhayanti², Fitri³, Wahyu Tri Wahono
e-mail: dinda_ayu@polinema.ac.id, risdhayanti@polinema.ac.id, fitri@polinema.ac.id,
wahyu_tri@polinema.ac.id

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Jalan Soekarno Hatta No.9 Malang, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diterima 3 Juni 2023

Direvisi 4 Juli 2023

Diterbitkan 31 Juli 2023

Kata kunci:

Kestabilan bola
Ultrasonic
Kestabilan PID

Keywords:

Ball stability
Ultrasonic
PID stability

Penulis Korespondensi:

Dinda Ayu Permatasari,
Jurusan Teknik Elektro,
Politeknik Negeri Malang,
Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang, Jawa Timur, Indonesia, 65141.
Email: dinda_ayu@polinema.ac.id
Nomor HP/WA aktif: +6281 333 022 540

1. PENDAHULUAN

Menjaga keseimbangan suatu obyek terhadap obyek lain sering menjadi prioritas utama dalam penerapan sistem kendali, khususnya dalam aplikasi yang melibatkan gerakan seperti pada robotika. Pengendalian keseimbangan sistem merupakan aspek penting dalam berbagai masalah kontrol, terutama ketika berkaitan dengan aplikasi yang membutuhkan gerakan yang stabil dan teratur. Salah satu contoh sistem kendali keseimbangan yang

ABSTRAK

Sistem kestabilan posisi bola merupakan suatu mekanisme dimana bola dapat bergerak bebas di atas batang dan posisinya dapat diatur secara otomatis sesuai dengan nilai set point yang diinginkan. Untuk menjaga stabilitas sistem tersebut, diperlukan penggunaan pengontrol. Untuk mencapai pengontrol yang optimal, parameter dari pengontrol Proporsional Integral Derifatif (PID) disesuaikan. Penyesuaian ini melibatkan pengaturan nilai proporsional gain (K_p), waktu integral (T_i), dan waktu derivatif (T_d). Pengontrol PID akan bertindak berdasarkan selisih antara posisi bola (yang diukur oleh sensor ultrasonic) dengan nilai set point yang ditargetkan. Dengan penerapan sistem kestabilan posisi bola menggunakan pengontrol PID, hasilnya adalah sistem dapat mencapai posisi yang diinginkan untuk bola, namun bola tidak akan berhenti secara instan setelah mencapai posisi yang diinginkan. Sebaliknya, bola akan mengalami osilasi terlebih dahulu sebelum akhirnya berhenti secara stabil.

ABSTRACT

The ball position stability system is a mechanism in which the ball can move freely over the rod and its position can be adjusted automatically according to the desired set point value. To maintain the stability of the system, it is necessary to use a controller. In order to achieve the optimal controller, the parameters of the Proportional Integral Derivative (PID) controller are adjusted. This adjustment involves setting the value of proportional gain (K_p), integral time (T_i), and derivative time (T_d). The PID controller will act based on the difference between the ball position (as measured by the ultrasonic sensor) and the targeted set point value. By implementing a ball position stability system using a PID controller, the result is that the system can reach the desired position for the ball, but the ball will not stop instantly after reaching the desired position. Instead, the ball will experience oscillation before finally stopping stably.



sederhana adalah "ball and beam" [1]. Pada sistem ini, sebuah bola ping-pong ditempatkan pada sebuah batang dan menghadapi berbagai macam gangguan [2]. Dalam situasi ini, pengendali PID memiliki tanggung jawab untuk mempertahankan posisi bola agar tetap seimbang atau berada pada posisi yang diinginkan, meskipun ada gangguan yang terjadi. Posisi atau lokasi bola diukur menggunakan sensor ultrasonik, yang selanjutnya menggerakkan motor servo untuk menjaga bola berada pada titik keseimbangan yang telah ditentukan.

Terdapat banyak penelitian mengenai sistem bola dan balok yang telah dilakukan oleh berbagai peneliti [3]. Beberapa penelitian telah mencoba menggunakan metode penglihatan buatan untuk sistem ini, sementara yang lain mengadopsi logika fuzzy [4]. Selain itu, ada juga penelitian yang menggunakan kamera sebagai pengganti sensor untuk melacak posisi bola [5]. Namun, dalam penelitian ini, pendekatan yang diambil adalah menggunakan Arduino Uno dan sensor ultrasonik sebagai input untuk mengendalikan putaran motor servo. Tujuan dari penelitian adalah merealisasikan kontrol PID pada sistem ball and beam, sehingga sistem dapat mempertahankan posisi atau jarak untuk berada pada titik set point yang diinginkan, atau dengan kata lain, tetap seimbang terhadap permukaan pada bidang datar [6] [7].

Kontrol PID adalah metode umum yang digunakan dalam rekayasa kontrol untuk mengatur suatu sistem secara otomatis dengan tujuan mencapai setpoint atau nilai target. Dalam kasus pengendalian alat bola pingpong, sistem PID akan bekerja untuk menstabilkan posisi bola sehingga dapat mengikuti jalur yang diinginkan, memberikan pantulan yang konsisten, dan mengurangi fluktuasi yang tidak diinginkan.

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan solusi dalam meningkatkan akurasi dan konsistensi dalam pengendalian kestabilan posisi bola pingpong dengan menerapkan kontrol PID. Diharapkan, penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi para pemain tenis meja dan pelatih dalam meningkatkan latihan teknis serta kesiapan dalam menghadapi situasi kompetitif. Balancing ball ini bertujuan untuk menjaga bola tetap dalam keseimbangan pada tempat yang miring. Saat bola ditempatkan pada bidang miring, bola akan bergerak menuju tempat yang lebih rendah. Perlu dicatat bahwa besarnya perpindahan bola tidak dapat diprediksi dengan pasti, karena bergantung pada besar kemiringan bidang tempat bola berada. Implementasi ini akan dilakukan menggunakan arduino sebagai kontrollernya.

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, kontroler yang digunakan adalah Arduino UNO. Kontroler ini yang akan bertugas untuk melakukan system kendali dari nilai yang didapat yaitu SV (*Setpoint Value*) dan PV (*Present Value*) dengan metode PID. Untuk aktuator menggunakan Motor Servo dan sensor menggunakan sensor Ultrasonik HC-SR04.

Alat keseimbangan bola dirancang dengan mengintegrasikan beberapa perangkat keras seperti yang telah diuraikan sebelumnya. Sensor ultrasonik, motor servo, dan Arduino disusun sedemikian rupa dan dihubungkan dengan papan sterofoam sehingga membentuk satu kesatuan sistem yang terlihat. Sensor ultrasonik digunakan untuk mengukur jarak, dan dalam alat ini, bola ditempatkan pada titik keseimbangan atau pusat dengan jarak 14 cm dari sensor. Berdasarkan hasil percobaan yang dilakukan, kami menentukan nilai set point untuk menjaga jarak bola tetap pada 14 cm.

2.1 Perancangan Software

Perangkat lunak (software) yang digunakan dalam perancangan sistem ini adalah Arduino. Sementara metode kendali yang digunakan adalah metode kendali PID dengan aturan Ziegler Nichols. Bentuk flowchart dapat dilihat pada Gambar 3. Pada Gambar 3 menunjukkan diagram alir sistem kerja dari perangkat lunak untuk menstabilkan posisi bola ping-pong. Nilai setpoint diatur pada posisi tengah kemudian kontrol PID diharapkan dapat menggiring nilai keluaran dari sensor mengikuti nilai setpoint.

Perancangan kontrol PID untuk menjaga kestabilan bola pingpong pada sistem balancing ball bertujuan untuk mempertahankan posisi bola pada titik setimbang atau posisi yang diinginkan secara optimal [8]. PID adalah singkatan dari Proporsional, Integral, dan Derivatif, yang merupakan tiga komponen utama dalam pengendalian ini [9-10].



- a. Komponen Proporsional (P): Komponen Proporsional (P) berperan dalam menghasilkan keluaran kontrol yang berbanding lurus dengan selisih antara nilai variabel output dan set point. Semakin besar selisihnya, maka semakin besar pula keluaran dari kontroler. Tujuan dari komponen proporsional adalah untuk mengurangi kesalahan statis, yang merupakan perbedaan antara nilai variabel output dengan set point pada titik keseimbangan.
- b. Komponen Integral (I) berfungsi untuk mengakumulasi kesalahan yang terjadi selama periode waktu tertentu dan menghasilkan output kontroler berdasarkan nilai integral dari kesalahan tersebut. Komponen ini membantu mengatasi kesalahan statis yang dapat disebabkan oleh faktor-faktor seperti gesekan dan ketidakakuratan dalam sistem. Dengan keberadaan komponen integral, kontroler dapat menghasilkan output yang berkelanjutan untuk secara perlahan memperbaiki kesalahan selama periode waktu yang lebih panjang.
- c. Komponen diferensial (D) bertugas menanggapi perubahan cepat dalam nilai variabel output dengan menghasilkan output kontroler berdasarkan turunan dari variabel output tersebut. Tujuan dari komponen ini adalah untuk mengantisipasi perubahan mendadak atau transien dalam sistem dan membantu mengurangi osilasi atau perubahan yang terjadi secara cepat dalam nilai variabel output.

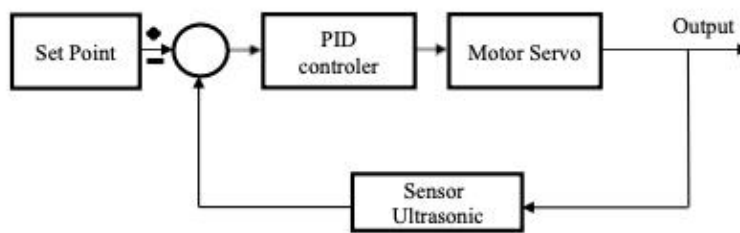


Gambar 3. Diagram alir system kerja *software*

2.2 Perancangan Kontrol PID

Metode yang digunakan dalam perancangan sebuah sistem keseimbangan bola ping-pong pada plant dengan kontrol PID. Simulasi dilakukan secara langsung dan menggunakan software Arduino. Blok diagram kontrol dapat dilihat pada Gambar 4.





Gambar 4. Blok diagram kontrol PID

PID *controller* pada Gambar 4 berfungsi untuk mengatur derajat putaran pada motor servo sesuai dengan feedback masukan dari sensor ultrasonic yang terbaca dari papan, sensor ultrasonic yang merupakan komponen input pada sistem yang berfungsi untuk mendeteksi jarak atau posisi suatu objek, dalam hal ini, bola pingpong pada sistem balancing ball yang menjadi umpanbalik untuk masukan PID *controller*. Sinyal kontrol dari PID *controller* ini digunakan untuk mengatur aktuator atau motor servo dalam sistem balancing ball. Output kontrol akan menggerakkan motor servo untuk mengatur posisi bola pingpong dan menjaga jaraknya pada nilai set point yang diinginkan.

Diagram blok PID pada sensor ultrasonic memberikan gambaran visual tentang bagaimana kontrol PID digunakan untuk mengendalikan posisi bola pingpong berdasarkan informasi yang diukur oleh sensor ultrasonic. Dengan menggunakan sistem kontrol PID ini, bola pingpong dapat tetap berada pada posisi keseimbangan yang diinginkan dan mengatasi perubahan jarak dengan respons yang sesuai.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dan analisa dilakukan untuk menganalisa apakah sistem yang telah dibuat telah bekerja sesuai dengan perancangan yang diharapkan.

3.1 Pengujian Sensor Ultrasonik

Pada pembacaan sensor ultrasonik ini membandingkan antara nilai pengukuran secara real dengan pembacaan melalui sensor ultrasonic. Alat ukur yang digunakan sebagai data pembanding adalah jangka sorong. Dimana hasil pembacaan untuk pembacaan sensor ultrasonik ini dapat dilihat pada tabel 1, untuk gambar pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengujian Pengukuran Jarak Sensor Ultrasonik

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Pengukuran Jarak Sensor Ultrasonik

	Percobaan 1		Percobaan 2		Percobaan 3		Rata2
CM	ARDUINO	CM	ARDUINO	CM	ARDUINO		
2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3



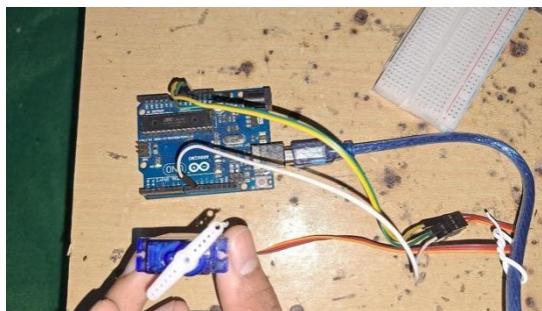
4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	Ts (4-5)	5
6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9
10	10	10	TS (9-10)	10	10	10
11	11	11	11	11	11	11
12	Ts(12-13)	12	12	12	TS(12-13)	12
13	13	13	13	13	13	13
14	14	14	Ts (13-14-15)	14	14	14
15	15	15	15	15	15	15
16	16	16	16	16	16	16
17	17	17	17	17	17	17
18	18	18	18	18	18	18
19	19	19	19	19	19	19
20	Ts (20-21)	20	20	20	Ts (20-21)	20
21	21	21	21	21	21	21
22	22	22	22	22	22	22
23	23	23	23	23	23	23
24	Ts(23-24-25)	24	TS (24-25)	24	TS (23-24)	24
25	25	25	25	25	Ts (24-25)	25

Berdasarkan data dari Tabel 1, perbandingan dengan pengukuran manual atau alat pengukur yang lebih akurat, ditemukan bahwa sensor ultrasonik memiliki tingkat akurasi yang memadai dan memberikan pembacaan yang mendekati nilai sebenarnya, sensor ultrasonik berhasil mengukur jarak antara bola pingpong dengan sensor dengan akurasi tinggi, memberikan hasil pembacaan dalam satuan sentimeter. Sensor ultrasonik memberikan respon yang cepat terhadap perubahan posisi bola pingpong. Ketika posisi bola berubah, sensor mampu mendeteksi perubahan tersebut dalam waktu yang singkat. Sifat permukaan bola pingpong dapat mempengaruhi pembacaan sensor. Permukaan yang terlalu gelap atau terlalu cerah dapat mengurangi akurasi pengukuran. Penggunaan bola dengan permukaan yang sesuai dapat meningkatkan kualitas pembacaan.

3.2 Pengujian Motor Servo

Pada penelitian ini dilakukan untuk mengaktifkan motor servo menggunakan Arduino Uno. Program yang dibuat dirancang khusus untuk menggerakkan motor servo sebesar 180 derajat, sehingga servo akan berputar dari posisi awal 0 derajat hingga mencapai posisi maksimal 180 derajat yang dapat dilihat di Gambar 6. Data pengujian motor servo perlu mencakup informasi tentang sudut putaran motor servo dan waktu yang diperlukan untuk mencapai sudut tertentu yang dapat dilihat pada Tabel 2.





Gambar 6: Pengujian motor servo

Tabel 2: Data hasil pembacaan motor servo

No	Sudut Putaran (derajat)	Waktu (milidetik)
1	0°	100
2	30°	200
3	60°	300
4	90°	400
5	120°	500
6	150°	600
7	180°	700

Data pengujian Tabel 2 menunjukkan hasil dari uji coba motor servo pada tujuh posisi sudut putaran yang berbeda. Data tersebut mencatat sudut putaran motor servo dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai sudut tersebut. Data ini dapat membantu dalam memahami kinerja motor servo dan menilai seberapa responsif dan akurat motor dalam merespons perintah pergerakan pada posisi sudut tertentu. Dengan data pengujian yang lengkap, dapat mengoptimalkan penggunaan motor servo dalam aplikasi yang lebih kompleks seperti pada sistem balancing ball untuk mencapai kestabilan posisi bola pingpong yang diinginkan.

3.3 Pengujian Sistem Tanpa PID

Pengujian sistem tanpa PID pada sistem kontrol kestabilan posisi bola pingpong bertujuan untuk melihat bagaimana sistem berperilaku dalam menjaga posisi bola pingpong tanpa menggunakan kontrol PID. Selama pengujian, berbagai sudut batang diberikan sebagai input pada sistem dan posisi bola pingpong diukur menggunakan sensor ultrasonik dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3: Data hasil pengujian sistem tanpa PID

No	Sudut Putaran (derajat)	Waktu (milidetik)
1	0	0
2	10	5
3	20	10
4	30	15
5	40	20
6	50	25
7	60	30
8	70	35
9	80	40
10	90	45

Dari hasil pengujian Tabel 3, dapat dilihat bagaimana posisi bola pingpong (output) berubah sesuai dengan sudut batang yang diberikan (input) pada sistem. Tanpa menggunakan kontrol PID, sistem mungkin tidak dapat



secara presisi menjaga bola pingpong pada posisi yang diinginkan. Terjadi selisih antara sudut batang yang diatur dan posisi bola pingpong yang terukur, menunjukkan adanya kesalahan atau gangguan dalam sistem tanpa PID. Pengujian ini menjadi dasar evaluasi untuk membandingkan kinerja sistem dengan dan tanpa kontrol PID. Dengan mengamati perbedaan hasil pengujian antara sistem dengan dan tanpa PID, dapat dipahami seberapa efektif kontrol PID dalam meningkatkan stabilitas dan akurasi sistem dalam menjaga posisi bola pingpong.

3.3 Pengujian Sistem dengan PID

Data pada Tabel 4 mencatat hasil pengujian sistem dengan kontrol PID pada sistem kestabilan posisi bola pingpong. Data tersebut mencakup sudut batang yang diberikan sebagai input, posisi bola pingpong yang terukur sebagai output, set point yang diinginkan, error (selisih antara set point dan output), serta output dari kontrol PID.

Tabel 4. Hasil Pengujian Sistem dengan PID

No	Sudut batang (Input)	Posisi bola pingpong (output)	Set point	Error	Output PID
1	0°	0	0	0.5	0.5
2	10	5	5	1.2	1.2
3	20	12	8	1.8	1.8
4	30	22	8	2.4	2.4
5	40	38	2	2.9	2.9
6	50	47	3	3.3	3.3
7	60	55	5	3.7	3.7
8	70	65	5	4.0	4.0
9	80	78	2	4.3	4.3
10	90	90	0	4.5	4.5

Pengujian ini menunjukkan bagaimana kontrol PID mempengaruhi respons sistem dalam menjaga kestabilan posisi bola pingpong. Dengan penggunaan kontrol PID, sistem dapat menyesuaikan outputnya berdasarkan error antara set point dan posisi bola pingpong. Hasilnya, sistem lebih akurat dan responsif dalam menjaga bola pingpong pada posisi yang diinginkan.

4. KESIMPULAN

Sistem kontrol kestabilan posisi bola pingpong dengan PID, menggunakan sensor ultrasonik dan motor servo, memberikan hasil yang memuaskan dalam menjaga kestabilan posisi bola pingpong pada sistem balancing ball. Dengan adanya kontrol PID, sistem dapat berfungsi secara lebih akurat dan responsif dalam mengatur posisi bola pingpong dan mencapai kestabilan yang diinginkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fadillah, E., Endryansyah, E., Rusimamto, P., & Zuhri, M. (2022). Desain Sistem Pengaturan Keseimbangan Posisi Bola pada Sistem Ball and Beam Menggunakan Metode Kendali Root Locus Berbasis MATLAB. *JURNAL TEKNIK ELEKTRO*, 11(1), 136-145.
- [2] Setiawan, Michael. 2012. Perancangan Pengendali PID untuk Sistem Ball And Beam. Jakarta: Universitas Trisakti.
- [3] Ivan Candra Utama, Abdul Kharis "Kontrol PID Untuk Keseimbangan Bola Ping-Pong Dengan Sensor Ultrasonik Dan Motor Servo Berbasis Labview", *Telekontran*, Vol. 4, No. 02, Oktober 2016.
- [4] E. P. Dadios, R. Baylon, R. De Guzman, A. Florentino, R. M. Lee and Z. Zulueta, "Vision guided ball-beam balancing system using fuzzy logic," 2000 26th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. IECON 2000. 2000 IEEE International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation. 21st Century Technologies, Nagoya, Japan, 2000, pp. 1973-1978 vol.3, doi: 10.1109/IECON.2000.972578.
- [5] Sitki KOCAOĞLU, Hilmi KUŞÇU: Design and Control of PID-Controlled Ball and Beam System. *Unitech. Int. Science Conference*, p. 41-46, Gabrovo, 2013.
- [6] Rudy S.Wahjudi. "Perancangan Sistem Kendali Untukbola Penyeimbang Pada Balok" Seminar Nasional Pakar ke 2 Tahun 2019, Buku 1 : Sains dan Teknologi, 2019.



- [7] Else Orlanda Merti Wijaya, "Perancangan Sistem Keseimbangan Ball And Beam Dengan Menggunakan Pengendali Pid Berbasis Arduino Uno", Vol 7 No 01 (2018): JTE, 2018.
- [8] Aria, M. (2011). PID control of a three-degrees-of-freedom model helicopter. *Majalah Ilmiah UNIKOM*, 9(2), 207-214 (2002)
- [9] Bindu, R., & Namboothiripad, M. K. (2012). Tuning of PID controller for DC servo motor using genetic algorithm. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2(3),310-314.
- [10] Prasad, K. T., & Hote, Y. V. (2014, May). Optimal PID controller for Ball and Beam system. In *International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE-2014)* (pp.1-5). IEEE

