

DESAIN KENDALI PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE (PID) PADA ROBOT HUMAN FOLLOWER

Dimas Rizky Andrean¹, Wira Fadlun^{2*}, MS Hendriyawan Achmad³, Satyo Nuryadi⁴

^{1,2,3,4} Universitas Teknologi Yogyakarta; Jl. Siliwangi (Ringroad Utara), Jombor, Sleman, D.I. Yogyakarta 55285

Riwayat artikel:

Received: 22 November 2022

Accepted: 29 Desember 2023

Published: 1 Januari 2024

Keywords:

Robot troli;

Kendali PID;

Ziegler-Nichols.

Correspondent Email:

wira.fadlun@staff.uty.ac.id

Abstrak. Sistem pengendalian otomatis semakin mendapatkan perhatian dalam berbagai bidang, termasuk dalam pengembangan robot bergerak mandiri. Penelitian ini membahas tentang implementasi metode *Proportional-Integral-Derivative (PID)* pada robot troli otomatis berbasis Arduino. Penetapan nilai parameter PID menggunakan metode Ziegler-Nichols II. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan suatu sistem yang mampu mempertahankan jarak antara robot troli dan pengguna pada nilai set poin yang diinginkan, dalam hal ini sebesar 30 cm. Nilai parameter kendali PID yang telah dirancang ditela menggunakan metode Ziegler-Nichols II dengan nilai yaitu $K_p = 0,42$, $K_i = 0,42$, dan $K_d = 0,105$. Berdasarkan data pengujian sistem dapat disimpulkan bahwa sistem kendali PID dapat menjaga kestabilan pada beban 0 - 3 kg.

Abstract. Automatic control systems are increasingly gaining attention in various fields, including the development of autonomous mobile robots. This research discusses the implementation of the *Proportional-Integral-Derivative (PID)* method on an Arduino-based automatic trolley robot. Determining the PID parameter values uses the Ziegler-Nichols II method. The main objective of this research is to produce a system that is able to maintain the distance between the trolley robot and the user at the desired set point value, in this case 30 cm. The PID control parameter values that have been designed are tuned using the Ziegler-Nichols II method with values namely $K_p = 0.42$, $K_i = 0.42$, and $K_d = 0.105$. Based on system test data, it can be concluded that the PID control system can maintain stability at loads of 0 - 3 kg.

1. PENDAHULUAN

Dalam beberapa dekade terakhir, robotika telah menunjukkan kemajuan yang signifikan yang mana memungkinkan terciptanya mesin cerdas yang dapat berinteraksi dengan lingkungan. Salah satu aplikasi robotika yang masih terus dikembangkan adalah robot yang dapat mengikuti manusia. Robot ini dapat melacak dan mengikuti seseorang secara mandiri, menjadikannya berguna dalam berbagai skenario seperti bantuan di daerah yang ramai, dukungan navigasi, atau bahkan sebagai teman. Beberapa penelitian tentang

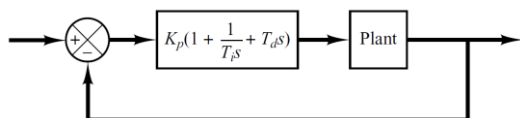
robot jenis ini telah dilakukan seperti penelitian oleh [1] yang mencoba mengembangkan sistem kereta belanja otomatis menggunakan teknologi Bluetooth dan Arduino. Sistem ini dilengkapi dengan sensor *load cell* untuk pengukuran berat dan sensor ultrasonik untuk deteksi rintangan. Sistem yang dibangun berhasil terhubung dengan aplikasi Android melalui Bluetooth. Penelitian lainnya adalah penelitian yang dilakukan oleh [2]. Pada penelitiannya, mereka membangun sebuah prototipe troli otomatis yang dapat mengikuti pergerakan manusia dengan menggunakan sensor ultrasonik sebagai

alat input utama yang mendeteksi adanya objek sehingga dapat mengikuti pengguna tersebut. Ketika objek berada di luar dari 20 cm maka ultrasonik tidak akan mendeteksi, serta motor DC akan berhenti. Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh [3] yang mencoba mengembangkan Robot *human follower* berbasis mikrokontroler menggunakan sensor ultrasonik. Fokus penelitian yang dilakukan yaitu menguji pengaruh variasi beban robot terhadap waktu tempuh robot. Penelitian yang dilakukan oleh [4] yang merancang kendali PID untuk pengaturan kecepatan gerak robot *omnidirectional* tiga roda yang mana nilai konstanta pengendalinya ditala menggunakan metode *trial-error*. Beberapa penelitian lain yang juga mengangkat masalah robot *human follower* bisa dilihat pada penelitian [5]–[12].

Pada penelitian ini dirancang sebuah kendali PID pada robot *human follower* yang dapat menjaga jarak robot dengan penggunaannya sesuai jarak yang telah ditetapkan yaitu 30 cm. Nilai parameter kendali PID diperoleh menggunakan metode Ziegler-Nichols. Hal ini untuk menghindari pencarian nilai parameter PID secara manual yang kurang efektif dari sisi waktu. Hasil perancangan kendali PID diimplementasikan langsung pada perangkat keras robot *human follower*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Kendali PID merupakan kendali yang sudah diterapkan pada sebagian besar sistem kendali. Khususnya, ketika model matematis *plant* tidak diketahui dan oleh karena itu metode desain analitis tidak dapat digunakan, pada kasus ini kendali PID terbukti paling berguna. Di bidang sistem kendali proses, diketahui bahwa skema kendali PID dasar dan yang dimodifikasi telah membuktikan kegunaannya dalam memberikan kendali yang memuaskan, meskipun dalam banyak situasi tertentu mungkin tidak memberikan kendali yang optimal. Sebuah sistem kendali PID ditunjukkan pada Gambar 1 [13].

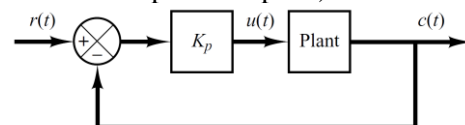


Gambar 1 Blok Kendali PID

Jika model matematis dari *plant* bisa diturunkan, maka dimungkinkan untuk menerapkan berbagai teknik desain untuk

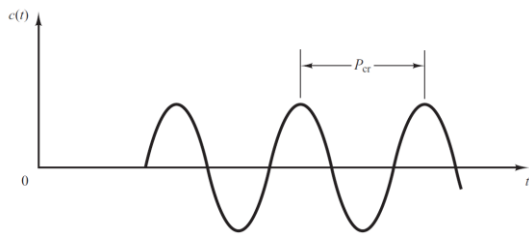
menentukan parameter kendali yang akan memenuhi spesifikasi transien dan kondisi tunak dari sistem *loop* tertutup. Namun, jika *plant* sangat rumit sehingga model matematisnya tidak dapat diperoleh dengan mudah, maka pendekatan analitis atau komputasi terhadap desain kendali PID tidak mungkin dilakukan. Sehingga kita harus menggunakan pendekatan eksperimental untuk menyetel kendali PID. Proses pemilihan parameter kendali untuk memenuhi spesifikasi kinerja yang diberikan dikenal sebagai *tuning* (penyetelan) kendali. Ziegler dan Nichols menyarankan aturan untuk menyetel kendali PID (artinya menetapkan nilai K_p , T_i dan T_d) berdasarkan tanggapan sistem terhadap sinyal *step* dalam proses eksperimental atau berdasarkan nilai yang menghasilkan kestabilan marginal ketika hanya aksi kendali proporsional yang digunakan. Aturan Ziegler-Nichols berguna ketika model matematika *plant* tidak diketahui. (Aturan ini tentu saja dapat diterapkan pada desain sistem dengan model matematis yang diketahui). Terdapat dua macam metode Ziegler-Nichols, yaitu metode Ziegler-Nichols I dan metode Ziegler-Nichols II.

Pada metode Ziegler-Nichols II, langkah pertama yang dilakukan adalah menetapkan nilai $T_i = \infty$, dan $T_d = 0$. Dengan menggunakan kendali proporsional saja (lihat Gambar 2), naikan nilai K_p dari 0 hingga mencapai nilai K_{cr} (*critical gain*). K_{cr} merupakan nilai K_p yang mana *output* sistem mulai berosilasi secara berkelanjutan dan teratur (menyerupai kurva sinusoidal) membentuk gelombang yang periodis. (Jika *output* tidak menunjukkan osilasi periodis meskipun nilai K_p diubah-ubah dengan nilai berapapun, maka metode Ziegler-Nichols kedua ini tidak dapat diterapkan).



Gambar 2 Sistem *Closed loop* dengan Kendali Proportional

Selanjutnya, setelah diperoleh nilai K_{cr} , maka kita dapat mencari nilai P_{cr} (*critical period*). Gambar *output* sistem yang menunjukkan osilasi periodis ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Osilasi Periodis dengan Periode P_{cr}

Tabel 1 Aturan Tuning Ziegler-Nichols Metode Ke-dua

Tipe Kendali	K_p	T_i	T_d
P	$0,5K_{cr}$	∞	0
PI	$0,54K_{cr}$	$\frac{1}{1,2}P_{cr}$	0
PID	$0,6K_{cr}$	$0,5P_{cr}$	$0,125P_{cr}$

Kendali PID yang di-tuning dengan metode ke-dua aturan Ziegler Nichols ditunjukkan pada Persamaan 1.

$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) = K_p \left(1 + \frac{K_i}{K_p s} + \frac{K_d}{K_p} s \right) \quad (1)$$

Dari Persamaan 1, dapat diturunkan persamaan hubungan antara T_i dan T_d dengan K_i dan K_d . Perhatikan penurunan persamaan seperti yang ditunjukkan oleh Persamaan 2 hingga Persamaan 5 berikut.

$$\frac{1}{T_i s} = \frac{K_i}{K_p s} \quad (2)$$

sehingga

$$K_i = \frac{T_i}{K_p} \quad (3)$$

sedangkan

$$T_d s = \frac{K_d}{K_p} s \quad (4)$$

menjadi

$$K_d = K_p T_d \quad (5)$$

Persamaan (3) dan (5) merupakan nilai K_i dan K_d yang akan dicari setelah nilai T_i dan T_d telah diperoleh dari perhitungan Tabel Tuning Ziegler-Nichols.

Proses pemilihan parameter kendali untuk memenuhi spesifikasi kinerja yang diberikan dikenal sebagai *tuning* (penyetelan) kendali. Ziegler dan Nichols menyarankan aturan untuk menyetel kendali PID (artinya menetapkan nilai K_p , T_i dan T_d) berdasarkan tanggapan sistem

terhadap sinyal *step* dalam proses eksperimental atau berdasarkan nilai yang menghasilkan kestabilan marginal ketika hanya aksi kendali proporsional yang digunakan. Aturan Ziegler-Nichols berguna ketika model matematika *plant* tidak diketahui. (Aturan ini tentu saja dapat diterapkan pada desain sistem dengan model matematis yang diketahui).

3. METODE PENELITIAN

3.1. Alat dan Bahan

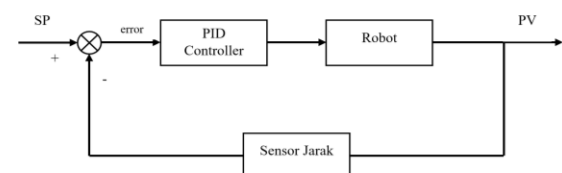
Pada penelitian ini, digunakan beberapa alat dan bahan antara lain sebagai berikut:

- Arduino IDE
- Microsoft Excel
- Personal Computer (PC)
- Tool Kit
- Arduino UNO
- Sensor ultrasonik HC-SR04
- Motor DC 12 Volt
- Motor Driver BTS 7960
- Baterai 12 Volt

3.2. Perancangan Sistem

3.2.1. Blok Diagram Sistem

Sistem kendali PID untuk pengendalian jarak antara pengguna dengan robot troli ditunjukkan pada Gambar 4.

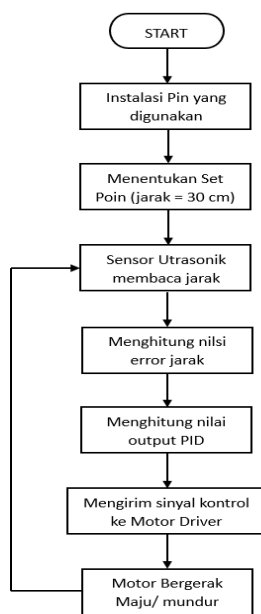


Gambar 4 Blok Sistem PID

Nilai *set point* diatur sebesar 30 cm, kendali PID dirancang untuk mempertahankan jarak tetap konstan sesuai nilai *set point* (SP) yang telah ditetapkan dengan mengatur nilai parameter PID. Sensor ultrasonik berfungsi untuk membaca jarak aktual (PV) antara pengguna dan robot troli.

3.2.2. Diagram Alir Program Sistem Kendali PID

Sistem kendali PID yang dirancang pada penelitian ini dalam bentuk *source code* ditanamkan ke dalam Arduino UNO. Diagram alir program sistem kendali PID ditunjukkan pada Gambar 5.

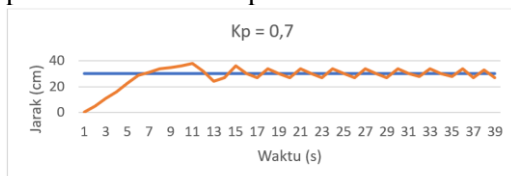


Gambar 5 Flowchart Sistem Kendali PID

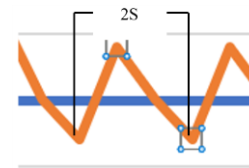
3.2.3. Perancangan Sistem Kendali PID dengan Metode Ziegler-Nichols II

Proses perancangan ini bertujuan untuk mencari nilai parameter kendali PID yaitu nilai K_p , K_i , dan K_d dengan melakukan langkah-langkah sebagai berikut:

- 1) Menyiapkan eksperimen yang mengacu pada Gambar 2 untuk mendapatkan hasil tanggapan sistem dengan mengatur nilai K_p .
- 2) Mengatur nilai K_p mulai dari nilai yang rendah kemudian dinaikkan hingga tanggapan *output* berupa gelombang periodik (menyerupai kurva sinusoidal). Kurva hasil eksperimen yang mana tanggapan sistem dalam bentuk gelombang periodik bisa dilihat pada Gambar 6.

Gambar 6 Kurva Tanggapan Sistem untuk Nilai $K_p = 0,7$

- 3) Setelah diperoleh tanggapan berupa gelombang periodik dengan nilai $K_p = 0,7$. Langkah selanjutnya adalah mencari nilai Pcr dengan cara menghitung periode (jarak setiap 1 gelombang) dengan delay pengambilan data 500 ms seperti terlihat pada Gambar 7.

Gambar 7 Nilai *Critical Period* (Pcr)

- 4) Tahap selanjutnya adalah menghitung nilai K_p , K_i , dan K_d menggunakan tabel Ziegler-Nichols II seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Berdasarkan Tabel 1 maka dapat dilakukan perhitungan untuk menentukan nilai K_p , T_i dan T_d dengan nilai $Kcr = 0,7$ dan $Pcr = 2 s$ sebagai berikut:

$$K_p = 0,6 Kcr = 0,42$$

$$T_i = 0,5 Pcr = 1$$

$$T_d = 0,125 Pcr = 0,25$$

Setelah mendapatkan nilai K_p , T_i dan T_d maka langkah selanjutnya mencari nilai K_i dan K_d menggunakan Persamaan (3) dan (5) sehingga diperoleh:

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{0,42}{1} = 0,42$$

$$K_d = K_p \cdot T_d = 0,42 \cdot 0,25 = 0,105$$

Dengan demikian nilai parameter PID yaitu K_p , K_i , dan K_d telah diperoleh.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Purwarupa Alat

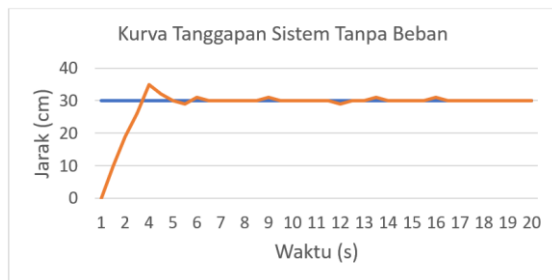
Purwarupa robot troli yang telah dibangun dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Purwarupa Robot Troli

4.2. Pengujian Sistem Tanpa Beban

Pengujian tanpa beban dilakukan dengan mengatur troli dalam keadaan kosong. Kurva tanggapan kendali PID seperti yang terlihat pada Gambar 9.

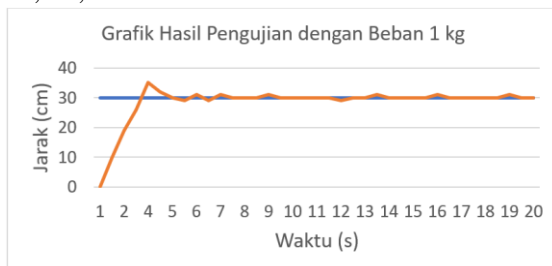


Gambar 9 Kurva Tanggapan Sistem Tanpa Beban

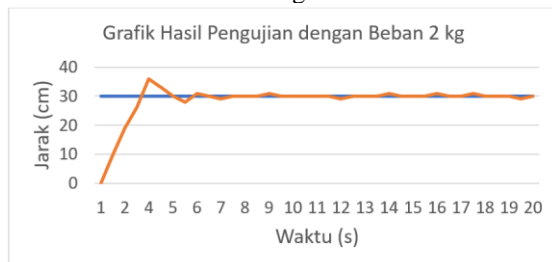
Dari kurva di atas dapat dilihat nilai *rise time* sebesar 3 s dan nilai rata-rata SSE (*Steady State Error*) cukup kecil yaitu 0,43%, sedangkan nilai % *overshoot* sebesar 16,67%.

4.3. Pengujian Sistem Dengan Beban

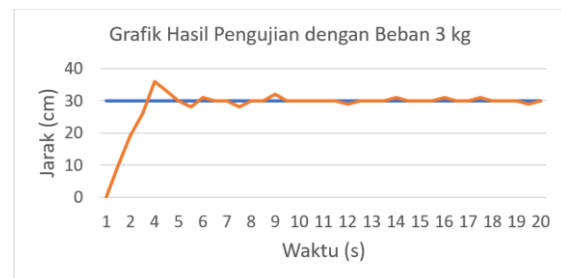
Skenario pengujian sistem dengan beban dilakukan dengan menambahkan beban ke atas troli dengan variasi beban masing-masing sebesar 1 kg, 2 kg, dan 3 kg. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui performa sistem kendali PID terhadap perubahan nilai massa yang diberikan. Hasil pengujian untuk penambahan beban sebesar 1 kg, 2 kg, dan 3 kg secara berturut-turut ditunjukkan pada Gambar 10, 11, dan 12.



Gambar 10 Grafik Hasil Pengujian dengan Beban 1 kg



Gambar 11 Grafik Hasil Pengujian dengan Beban 2 kg



Gambar 12 Grafik Hasil Pengujian dengan Beban 3 kg

Data hasil pengujian sistem tanpa beban dan dengan beban dirangkum dalam Tabel 2. Data tersebut menunjukkan performa sistem berdasarkan nilai parameter tanggapan sistem seperti *rise time*, *overshoot*, *settling time*, dan *steady state error*.

Tabel 2 Data Hasil Pengujian Sistem

No	Klasifikasi Pengujian	Rise time (s)	Overshoot (%)	Settling time (s)	Rata-rata SSE (%)
1	Tanpa Beban	3	16,67	8	0,43
2	Menggunakan Beban 1 kg	3	16,67	8	0,53
3	Menggunakan Beban 2 kg	3	20	13	0,6333
4	Menggunakan Beban 3 kg	3	20	13	1

Berdasarkan data pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa sistem kendali PID dapat menjaga kestabilan pada beban 0 - 3 kg. Hal ini dibuktikan dengan nilai *overshoot* dan rata-rata *Steady State Error* (SSE) yang relatif masih kecil masing-masing bernilai rata-rata 18,499 % dan 0,648 %. Sedangkan nilai *rise time* dan *settling time* memiliki nilai rata-rata masing-masing sebesar 3 s dan 10,5 s. Nilai tersebut cukup bagus mengingat dalam penerapannya di lapangan troli belanja yang kapasitasnya sedang seperti yang telah didesain pada penelitian ini umumnya diisi dengan beban kurang lebih 3 kg.

5. KESIMPULAN

- Nilai parameter kendali PID yang telah dirancang di-*tuning* menggunakan metode Ziegler-Nichols II dengan nilai yaitu $K_p = 0,42$, $K_i = 0,42$, dan $K_d = 0,105$.
- Berdasarkan data pengujian sistem dapat disimpulkan bahwa sistem kendali PID dapat menjaga kestabilan pada beban 0 - 3 kg.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. D. Nugrahardi, T. Gunawan, and G. I. Hapsari, "Perancangan Dan Implementasi Aplikasi Android Pada Troli Pengikut Otomatis," *eProceedings of Applied Science*, vol. 5, no. 2, 2019.
- [2] T. Wahyuni, W. Rohmanudin, and A. Bastian, "Pengembangan Prototipe Troli Otomatis Menggunakan Arduino Uno R3 Berbasis Android," 2021.
- [3] S. Maulana, "Rancang Bangun Prototype Robot Follow Me Untuk membantu Mengangkat Beban Barang Berbasis Mikrokontroler," 2019.
- [4] P. Wisnu, A. Sucipto, and A. Firasanti, "Pengendali PID untuk Pengaturan Kecepatan Gerak Robot Omnidireksional Tiga Roda PID Controller for Speed Control on Three-Wheel Omnidirectional Robot Movement," *TELKA*, vol. 6, no. 1, pp. 66–74, 2020.
- [5] P. Agarwal, P. Gautam, A. Agarwal, and V. Singh, "Human Follower Robot Using Kinect," 2017. [Online]. Available: <http://www.kinect-hacks.com>
- [6] C. Zou, "Designing an Electric Car Toy on Our Own: A Human-Following Robot Using Pixy Cam Visual Detection," 2018. [Online]. Available: www.botshop.co.za
- [7] East-West University, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Institute of Electrical and Electronics Engineers. Bangladesh Section, and IEEE Robotics and Automation Society. Bangladesh Chapter, *2019 1st International Conference on Advances in Science, Engineering and Robotics Technology (ICASERT 2019): May 3-5, 2019, Dhaka, Bangladesh*. 2019.
- [8] S. S. Honig, T. Oron-Gilad, H. Zaichyk, V. Sarne-Fleischmann, S. Olatunji, and Y. Edan, "Toward Socially Aware Person-Following Robots," *IEEE Trans Cogn Dev Syst*, vol. 10, no. 4, pp. 936–954, 2018.
- [9] W. W. Tai, B. Ilias, S. A. Abdul Shukor, N. Abdul Rahim, and M. A. Markom, "A Study of Ultrasonic Sensor Capability in Human Following Robot System," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing Ltd, Dec. 2019.
- [10] IEEE Robotics and Automation Society and Institute of Electrical and Electronics Engineers, *2018 15th International Conference on Ubiquitous Robots (UR): 26-30 June 2018*. 2018.
- [11] R. Algabri and M. T. Choi, "Deep-learning-based indoor human following of mobile robot using color feature," *Sensors (Switzerland)*, vol. 20, no. 9, May 2020.
- [12] J. Jommuangbut and K. Srirakulchai, "Development of the Human Following Robot Control System Using HD Webcam," 2018.
- [13] Katsuhiko. Ogata, *Modern control engineering*. Prentice-Hall, 2010.