

Sistem Kendali pada Pergerakan Posisi *Humanoid Robot* Beroda Menggunakan PID

Muhammad Al Daffa Tumaga T¹ dan Hera Hikmarika¹,
¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
 Palembang, Indonesia
corresponding author. daffa.tumaga@gmail.com

Abstrak— Perkembangan teknologi di masa sekarang telah berkembang dengan sangat pesat. Salah satunya adalah di bidang teknologi dengan adanya mesin dan robot yang semakin canggih. Jenis robot yang dikembangkan saat ini adalah *humanoid robot*. Robot manusia (*humanoid robot*) adalah robot yang memiliki bentuk dan diprogram untuk menyerupai manusia, salah satu bentuk robot manusia yang dikembangkan adalah robot manusia beroda, robot tersebut memiliki sistem mekanik beroda untuk berpindah posisi, untuk mencapai pergerakan yang cepat dan akurat tersebut diperlukan suatu metode sistem pengendali. Maka, pada penelitian ini dikembangkan suatu *humanoid robot* beroda yang menggunakan metode pengendali PID sebagai sistem pergerakan perpindahan posisi robot manusia beroda. Controller PID merupakan pengendali yang sederhana dan akurat dalam mempertahankan nilai *setpoint*. Sehingga, robot manusia beroda dapat melakukan perpindahan posisi secara cepat dan akurat. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah sistem kendali PID yang digunakan sebagai sistem kendali gerak dalam melakukan perpindahan posisi menggunakan aplikasi MATLAB *simulink*, menunjukkan hasil yang baik, dibuktikan dengan beberapa pengujian dimana saat melakukan perpindahan posisi menggunakan pengendali PID dengan nilai $K_p = 4,8$, $K_i = 12$, dan $K_d = 0,4608$ menunjukkan robot dapat berpindah menuju *setpoint* dengan stabil dan mendapatkan nilai error yang kecil.

Kata Kunci—*Humanoid Robot, Swerve Drive, PID, Sistem Kontrol, Posisi.*

Abstract—The development of technology today has developed very rapidly. One of them is in the field of technology with increasingly sophisticated machines and robots. The type of robot being developed at this time is a humanoid robot. humanoid robot is a robot that has a shape and is programmed to resemble a human being, One form of human robot that has been developed is a wheeled humanoid robot, the robot has a mechanical system on wheels to change its positions, in order to achieve fast and accurate movement, a control system method is needed. Thus, in this study, a wheeled humanoid robot was developed that uses the PID control method as a movement system for the movement of the wheeled human robot. The PID controller is a simple and accurate controller in maintaining the setpoint value. Thus, the wheeled human robot can move positions quickly and accurately. The results obtained from this study are the PID control system which is used as a motion control system in changing positions using MATLAB *simulink* application, shows good results, as evidenced by several tests where when changing positions using a PID controller with a value of $K_p = 4.8$, $K_i = 12$, and $K_d = 0.4608$, indicating that the robot can move to the set point stably and get a small error value.

Keywords—*Humanoid Robot, Swerve Drive, PID, Control System, Position.*

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di masa sekarang telah berkembang dengan sangat pesat. Salah satunya adalah di bidang teknologi dengan adanya mesin dan robot yang semakin canggih. Robot adalah jenis mesin yang telah diprogram sehingga dapat bergerak secara otomatis dan efisien. Jenis robot yang dikembangkan saat ini adalah *humanoid robot*. Robot manusia (*humanoid robot*) adalah robot yang memiliki bentuk dan diprogram untuk menyerupai manusia, seperti berkomunikasi dan meniru pergerakan manusia yang kompleks. Salah satu bentuk robot manusia yang dikembangkan adalah robot manusia beroda, robot tersebut memiliki sistem mekanik beroda untuk berpindah posisi. Untuk mencapai pergerakan yang cepat dan akurat tersebut diperlukan suatu metode sistem pengendalian.

Ada banyak metode sistem kendali yang telah dikembangkan untuk robot manusia, seperti metode fuzzy Logic [1], memorized omni-directional images [2], proportional-integral-derivative controller [3], metode artificial neural network (ANN) [4], metode cerebellar model articulation controller (CMAC) [5], metode genetic algorithms (GA) [6] dan lain sebagainya. Pada penelitian-penelitian sebelumnya, sistem kendali yang dibuat masih terlalu kompleks [4] dan masih memiliki tingkat akurasi yang belum tinggi. Maka, pada penelitian ini dikembangkan suatu humanoid robot yang menggunakan metode pengendali PID sebagai sistem pergerakan perpindahan posisi robot manusia beroda menggunakan simulasi MATLAB *simulink*. Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan suatu sistem kendali PID controller menggunakan kontrol P, kontrol PI, dan kontrol PID sebagai sistem kendali posisi pada pergerakan *humanoid robot* agar dapat meningkatkan nilai akurasi dan stabilitas pada navigasi dan kecepatan pergerakan *humanoid robot*.

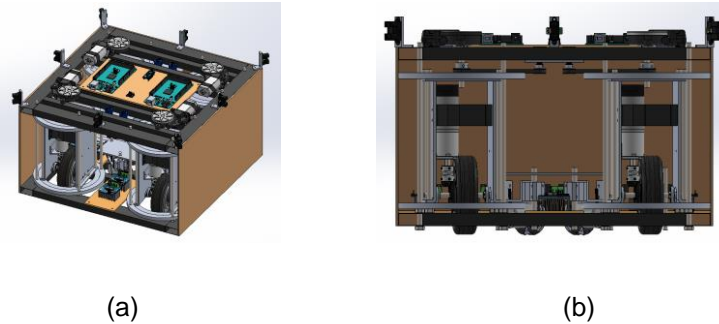
II. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini untuk mendapatkan sistem kendali pergerakan dengan akurasi dan stabilitas yang tinggi maka dilakukan beberapa langkah. Adapun langkah pertama yang dilakukan adalah mempelajari beberapa studi

literatur mengenai penelitian yang dilakukan, selanjutnya merancang sistem mekanik dan *software* yang digunakan, kemudian menguji sistem tersebut, dan terakhir melakukan analisa dan menyimpulkan hasil yang didapatkan dari penelitian ini.

A. Perancangan Hardware System

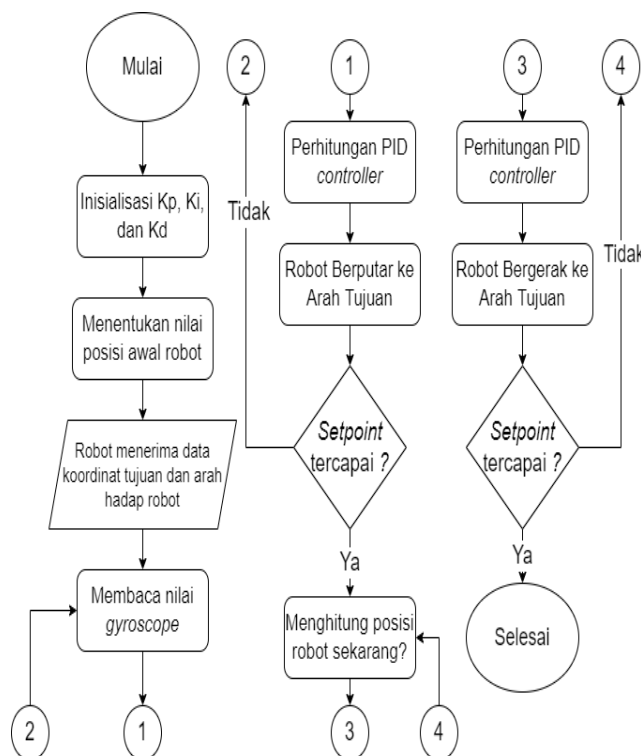
Perancangan *hardware system* sangat berpengaruh dalam penelitian ini. Sistem mekanik yang baik akan mempermudah *humanoid robot* dalam melakukan navigasi gerakan menuju posisi tujuan. Sistem penggerak pada *humanoid robot* akan menggunakan roda dengan model *swerve drive* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



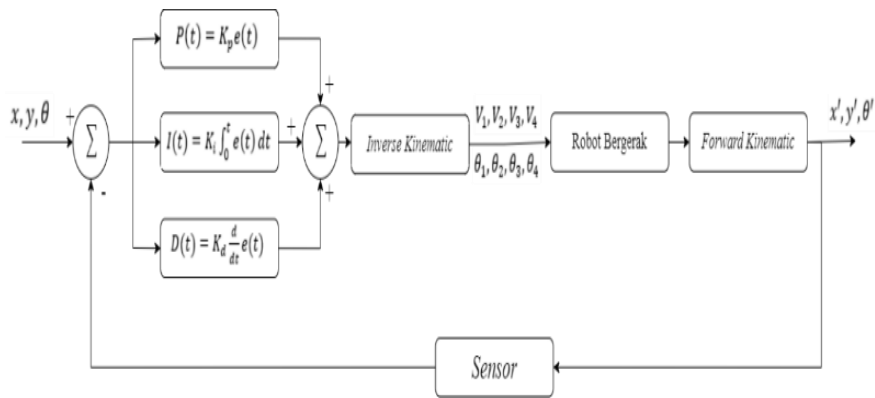
Gambar 1. Desain sistem mekanik pergerakan humanoid robot model swerve drive, (a) tampak atas, (b) tampak depan.

B. Perancangan Software System

Perancangan *software system* terdiri dari perancangan matematis pada sistem pergerakan *humanoid robot* dan pemrograman sistem kendali *humanoid robot*. Perancangan ini bertujuan untuk menghasilkan gerakan *humanoid robot* yang cepat dan akurat berdasarkan dengan metode yang diambil pada penelitian ini yaitu *PID controller*. Pada penelitian ini, program yang dirancang memiliki tujuan untuk dapat memberikan kemampuan bagi *humanoid robot* untuk dapat berpindah posisi dari satu tempat ke tempat lainnya dengan akurat. Pada dasarnya, rancangan algoritma yang akan digunakan pada *humanoid robot* dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4. dan blok diagram pergerakan dari *humanoid robot* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 2. Flowchart algoritma



Gambar 3. Blok diagram sistem kendali

C. Pengujian sistem

Dalam tahap ini dilakukan pengujian terhadap *hardware system* dan *software system* yang telah dirancang untuk melihat kemampuan *humanoid robot* dalam mencapai tujuan dengan akurasi dan stabilitas yang tinggi. Pengujian pada penelitian ini dilakukan untuk menilai kemampuan *PID controller* sebagai sistem kendali posisi dan pergerakan *humanoid robot* dengan menggunakan metode Ziegler-Nichols [10] sebagai penentu nilai koefisien P, koefisien I, dan koefisien D.

- Dengan menggunakan pengendali P sebagai perhitungan inputan *error* pada *inverse kinematic*.
- Dengan menggunakan pengendali PI sebagai perhitungan inputan *error* pada *inverse kinematic*.
- Dengan menggunakan pengendali PID sebagai perhitungan inputan *error* pada *inverse kinematic*.

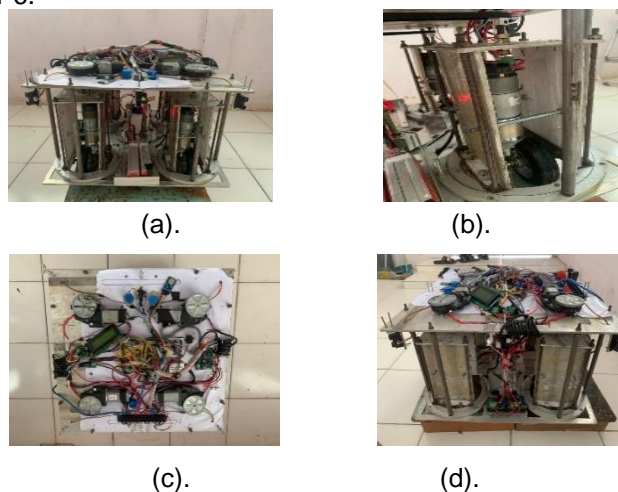
Selisih besaran poisisi yang ditempuh dengan posisi yang diinginkan akan menjadi perhitungan untuk mendapatkan seberapa besar nilai akurasi yang didapatkan *humanoid robot* dalam berpindah posisi menggunakan perhitungan *forward kinematic* dengan nilai posisi robot yang diinginkan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Adapun pembahasan pada bab ini akan meliputi perancangan alat, pengujian nilai sensor dengan nilai sebenarnya, pengimplementasian sistem PID pada simulink, dan terakhir pengujian simulasi pengendali PID pada perpindahan posisi dan arah rotasi pada *humanoid robot* beroda menggunakan *simulink*.

A. Perancangan Alat

Pembuatan alat dilakukan berdasarkan desain tiga dimensi pada Gambar 3 yang dibuat dari bahan seperti plat aluminium, besi, dan plat siku. Komponen – komponen yang diperlukan seperti *microcontroller*, sensor, dan juga sistem penggerak disusun diatas base sistem penggerak tipe *swerve drive*. Hasil dari perancangan dan pembuatan alat dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 4. Roda Penggerak *Swerve Drive* (a). Tampak Depan. (b). Roda Pemutar. (c). Tampak Atas. (d). Tampak Samping.

B. Pengujian Sensor.

Dalam tahap ini, sensor yang dipakai pada *humanoid robot* beroda akan diuji nilai akurasinya dengan nilai sebenarnya. Sensor yang diuji adalah sensor *rotary encoder*. Nilai persentase error yang didapat akan dihitung menggunakan persamaan 6.

$$\%e = \frac{\sum_0^n |mv - tv|}{n \times tv} \times 100\% \quad (6).$$

Pengujian akurasi pada sensor ini dilakukan dengan mengambil besaran nilai yang diukur oleh sensor *rotary encoder* pada pengukuran jarak X sejauh 100 cm sebanyak sepuluh kali dan akan dibandingkan dengan jarak 100 cm pada jarak sebenarnya yang dapat dilihat pada Tabel 1.

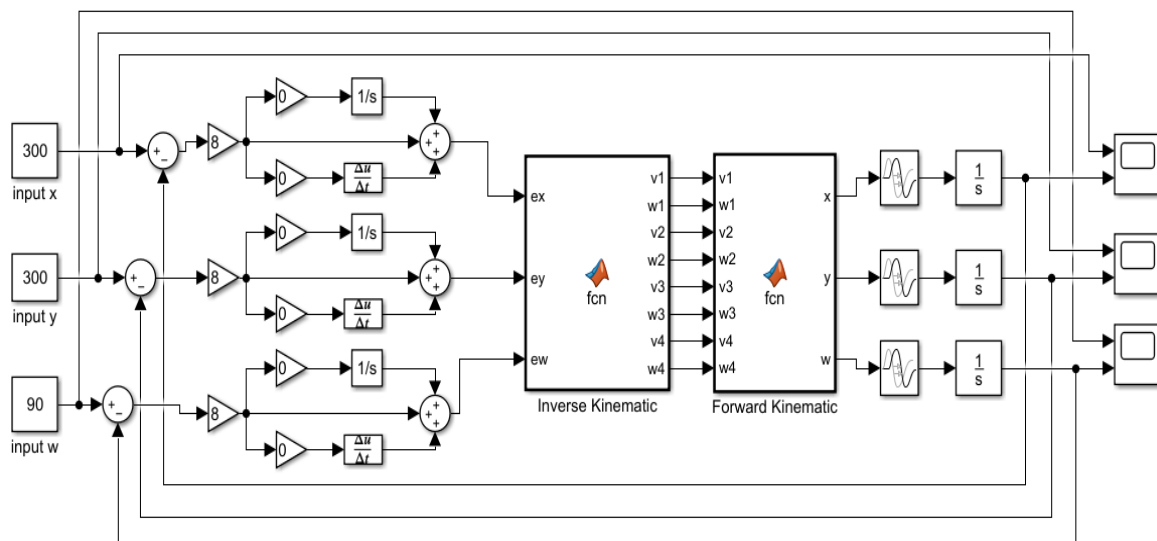
TABEL I. PENGUJIAN AKURASI SENSOR ROTARY ENCODER

Percobaan	Jarak Terukur	Jarak Sebenarnya	Error
1	100 cm	100 cm	0 cm
2	99 cm		-1 cm
3	100 cm		0 cm
4	100 cm		0 cm
5	100 cm		0 cm
6	101 cm		1 cm
7	101 cm		1 cm
8	100 cm		0 cm
9	99 cm		-1 cm
10	99 cm		-1 cm
Persentase error			0.5%

Berdasarkan tabel tersebut, didapatkan *error* dari pengukuran sensor *rotary encoder* sebesar 0.5%. maka pada pengujian selanjutnya dapat diambil kesimpulan bahwa terjadinya perbedaan nilai pengukuran sebesar ±1 cm pada perhitungan sensor *rotary encoder* dapat bernilai sama dengan nilai *setpoint* jarak sebenarnya.

C. Pengujian System.

Dalam tahap ini, pengujian untuk mendapatkan konstanta PID akan dilakukan dengan bantuan metode Ziegler-Nichols dimana nilai *Ku* dan *Tu* akan ditentukan terlebih dahulu dengan cara mencari nilai *ultimate gain*, sehingga gelombang pada grafik akan beresitasi untuk mendapatkan *Ku* dan waktu yang diperlukan agar menjadi satu gelombang untuk mendapatkan *Tu*, seperti pada Gambar 2. Pada pengujian ini, nilai konstanta PID akan didapatkan dari sistem fungsi alih yang telah dibuat di *simulink* menggunakan aplikasi MATLAB. Selanjutnya konstanta tersebut akan diuji secara *real time* pada perpindahan posisi *humanid robot* tipe *swerve drive*. Adapun fungsi alih yang telah dibuat dapat dilihat pada Gambar 7.

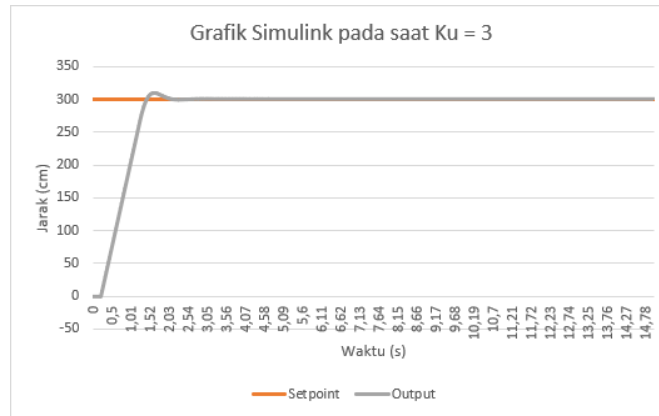


Gambar 5. Pemodelan Fungsi Alih pada Simulink.

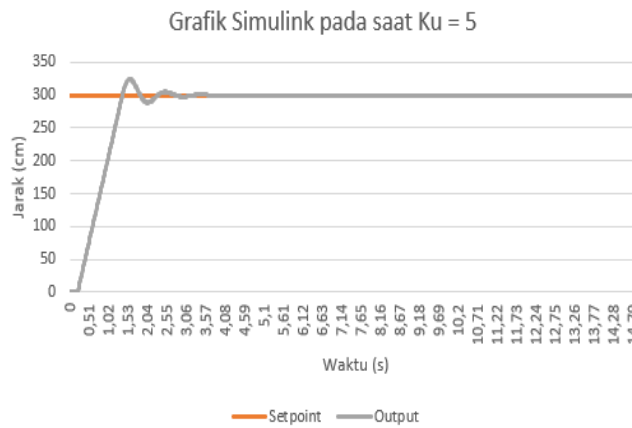
Pengujian dilakukan menggunakan fungsi alih pada aplikasi MATLAB *simulink* dengan menggunakan metode PID Ziegler-Nichols pada sumbu X dengan *setpoint* 300 cm. Pengujian dilakukan untuk mencari nilai K_u dan T_u agar dapat mencari konstanta-konstanta PID menggunakan tetapan Tabel 2 empiris Ziegler-Nichols.

TABEL II. ZIEGLER-NICHOLS.

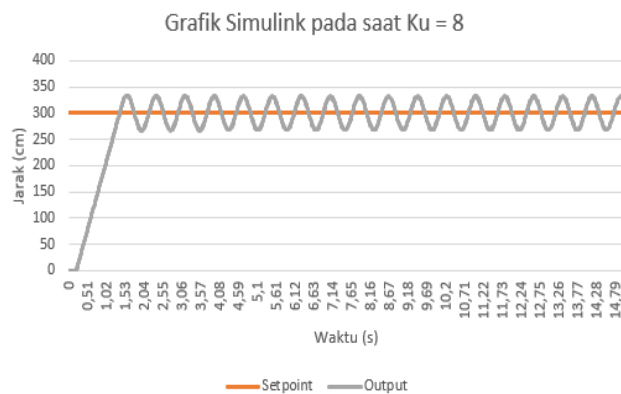
Pengendali	K_p	T_i	T_d	K_i	K_d
P	$K_u/2$	—	—	—	—
PI	$2K_u/5$	$4T_u/5$	—	K_p/T_i	—
PID	$3K_u/5$	$T_u/2$	$3T_u/25$	K_p/T_i	$K_p \times T_d$



(a)



(b)



(c)

Gambar 6. Grafik *simulink* pada sumbu X (a). Nilai $K_p = 3$. (b). Nilai K_p ketika $3 < K_p < K_u$. (c). Nilai $K_p = K_u = 8$.

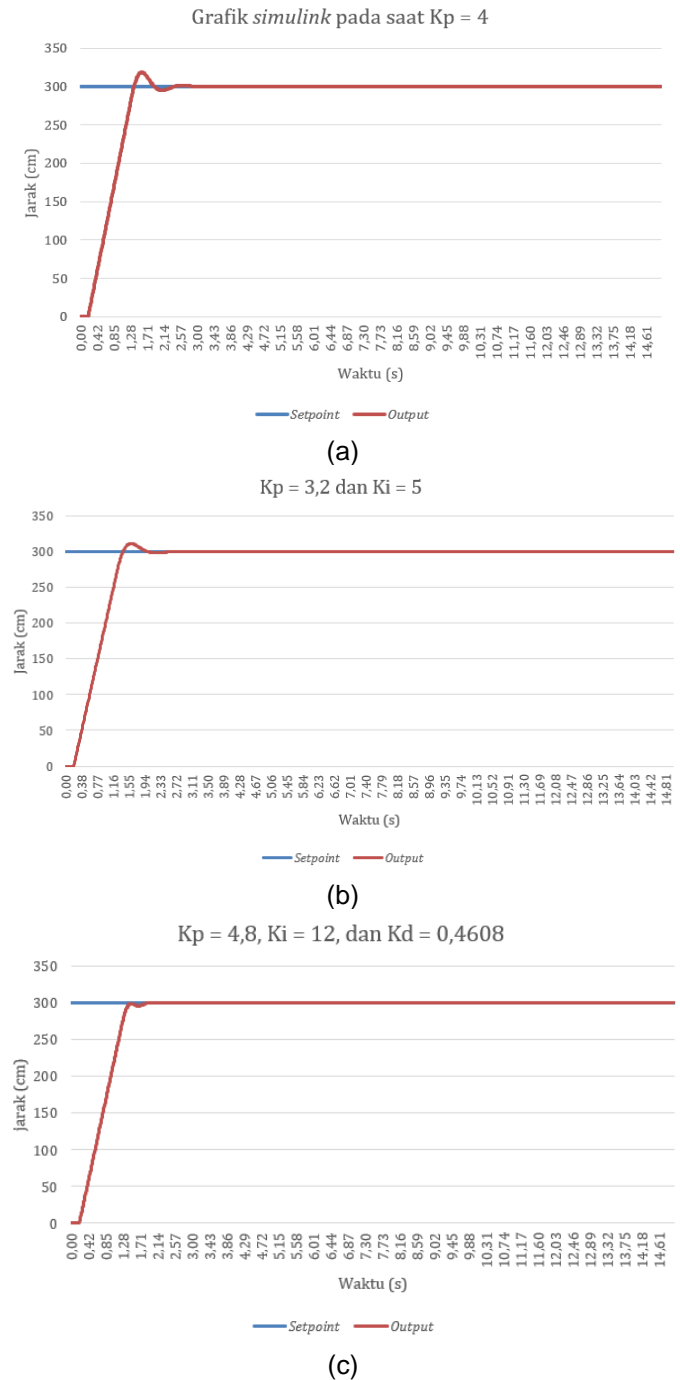
Terlihat pada Gambar 8. gelombang yang dihasilkan pada grafik pengujian sudah beresilasi maka nilai K_u yang diinginkan untuk nilai X adalah 8 dan waktu yang diperlukan untuk menghasilkan 1 gelombang adalah 0,8 detik, hasil

yang sama seperti pengujian pada sumbu X. Maka dari pengambilan data tersebut didapatkan nilai konstanta PID yang terukur sesuai dengan Tabel 3.

TABEL III. KONSTANTA PID METODE ZIEGER-NICHOLS PADA PERPINDAHAN SUMBU X DAN Y MENGGUNAKAN SIMULINK.

Pengendali	Kp	Ti	Ki	Td	Kd
P	4	—	—	—	—
PI	3,2	0,64	5	—	—
PID	4,8	0,4	12	0,096	0,4608

Dari nilai konstanta yang didapatkan, maka pada tahap selanjutnya akan dilakukan pengujian terhadap *humanoid robot* berdasarkan konstanta yang didapatkan tersebut menggunakan simulasi MATLAB *simulink*. Pengujian dilakukan dengan 3 pengendali dimana *humanoid robot* beroda tipe *swerve drive* akan diuji pada sumbu X dengan nilai *setpoint* X yang ditentukan adalah 200 cm. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 7. Grafik Uji Perpindahan Posisi Robot pada Sumbu X dan Y Menggunakan (a). Nilai Kp = 4. (b). Nilai Kp = 3,2 dan Ki = 5. (c). Nilai Kp = 4,8, Ki = 12, dan Kd = 0,4608.

Adapun hasil perbandingan 4 jenis metode Ziegler-Nichols pada perpindahan posisi robot dapat dilihat pada Tabel 4.

TABEL IV. HASIL PENGUJIAN 3 METODE PID ZIEGLER-NICHOLS PADA PERPINDAHAN POSISI ROBOT DI SUMBU XY PENGUKURAN X.

Parameter	P	PI	PID
Rise Time	0.9417 detik	0.9417 detik	0.9417 detik
Settling Time	1.8100 detik	1.8100 detik	1.3800 detik
Settling Min	271 cm	271 cm	271 cm
Settling Max	318 cm	311 cm	301 cm
Peak Time	1.5400 detik	1.5500 detik	1.9200 detik
Overshoot	6%	3.67%	0.34%
Undershoot	0%	0%	0%
Peak	318 cm	311 cm	301 cm
Error	-18 cm	-11 cm	1 cm

Terlihat pada Tabel 4, pengendali PID merupakan pengendali terbaik untuk digunakan dalam perpindahan posisi pada humanoid robot dibuktikan dari grafik uji PID pada Gambar 7, dengan waktu tercepat untuk *settling time* yaitu 1.380 detik, nilai *overshoot* yaitu 0.34%, nilai *peak* yaitu 301 cm, dan juga nilai *error* yang diperoleh menggunakan pengendali PID didapatkan sebesar 1 cm, nilai error paling kecil dibandingkan pengendali P dengan *error* -18 cm dan PI dengan *error* -11 cm. Hal tersebut didapatkan karena dengan penambahan nilai K_d dan T_d yang didapat menggunakan metode Ziegler-Nichols dapat memperbaiki grafik respon transien ketika terjadi *error* yang besar sehingga pergerakan *humanoid robot* dapat menuju nilai *setpoint* dengan waktu *rise time* yang sama dan mendapatkan nilai *error* yang kecil.

IV. KESIMPULAN

Pada pengujian sistem kendali perpindahan posisi *humanoid robot* beroda tipe *swerve drive* digunakan sistem kendali PID metode Ziegler-Nichols. Pengendali PID, dibandingkan pengendali P dan PI pada *simulink* mampu mensimulasikan robot berpindah posisi dari titik *setpoint* ke titik tujuan robot dengan *error* terbesar yang didapatkan sebesar 1 cm pada pengujian perpindahan robot. Serta pengujian stabilitas pada robot dapat dianalisa dengan cara melihat nilai grafik dari output X saat menuju dan mendekati *setpoint*, dan pada grafik dapat dilihat bahwa sistem mampu menuju nilai *setpoint* dengan *overshoot* sebesar 0.34%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem kendali PID bisa digunakan kedalam sistem pergerakan perpindahan posisi dan arah hadap robot, serta dapat membuat pergerakan yang stabil pada *humanoid robot* beroda tipe *swerve drive*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Rak Beom and H. Suck Cho, "A Sensor-Based Navigation for a Mobile Robot Using Fuzzy Logic and Reinforcement Learning," *IEEE Trans. Syst. Man. Cybern.*, vol. 25, no. 3, pp. 464–477, 1995. [Online Serial]. Available : <https://ejournal.stmiklombok.ac.id/index.php/jire/article/view/274>. [Accessed Oct. 23, 2021].
- [2] L. Tang and S. Yuta, "Indoor navigation for mobile robots using memorized omni-directional images and robot's motion," *IEEE Int. Conf. Intell. Robot. Syst.*, vol. 1, no. October, pp. 269–274, 2002. [Online Serial]. Available : <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient/article/view/9989>. [Accessed Oct. 23, 2021].
- [3] P. W. A. Sucipto and A. Firasanti, "Pengendali PID untuk Pengaturan Kecepatan Gerak Robot Omnidireksional Tiga Roda," *TELKA - Telekomun. Elektron. Komputasi dan Kontrol*, vol. 6, no. 1, pp. 66–74, 2020. [Online Serial]. Available : <http://journal.poltekad.ac.id/index.php/elka/article/view/103>. [Accessed Oct. 23, 2021].
- [4] P. A. Syahputro, J. Saputra, and A. Sridaryono, "Pada Rancang Bangun Sistem Kontrol Robot Intai Menggunakan Metode Artificial Neural Network Menggunakan Metode Artificial Neural Network," *Jurnal Elkasista*, vol.1, no.2, October, 2020. [Online Serial]. Available : <http://journal.poltekad.ac.id/index.php/elka/article/view/103>. [Accessed Oct. 23, 2021].
- [5] K. Gáti and G. Horváth, "Using CMAC for mobile robot motion control," *International Conference on Adaptive and Natural Computing Algorithms (ICANNGA)*, vol. 6594, no. 2, April, 2011. [Online Serial]. Available : https://www.researchgate.net/publication/221157275_Using_CMAC_for_Mobile_Robot_Motion_Control. [Accessed Oct. 23, 2021].
- [6] A. Alouache and Q. Wu, "Genetic algorithms for trajectory tracking of mobile robot based on PID controller," *IEEE 14th International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP)*, vol. 14, no. 1, September, 2018. [Online Serial]. Available : <https://ieeexplore.ieee.org/document/8516587>. [Accessed Oct. 23, 2021].
- [7] S. Soim, B. Joni, J. Junaidi, and F. Damsi, "Perancangan Robot Humanoid Berbasis Mikrokontroler Atmega 32," *Prosiding SEMNASTEK Fakultas Teknik UMJ*, vol. 1, no. 2, July, 2016. [Online Serial]. Available : <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/419/385>. [Accessed Oct. 24, 2021].
- [8] D. Litalien et al., "Paper: 4 wheel independent drive & independent steering ("swerve")," <https://www.chiefdelphi.com>, para. 1, Jan. 31, 2011. [Online]. Available : <https://www.chiefdelphi.com/t/paper-4-wheel-independent-drive-independent-steering-swerve/107383/1>. [Accessed Oct. 25, 2021].
- [9] B. Utomo and M. Munadi, "Analisa Forward Dan Inverse Kinematics Pada Simulator Arm Robot 5 Derajat Kebebasan," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 1, no. 3, August, 2013. [Online Serial]. Available : <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jtm/article/view/5566>. [Accessed Oct. 24, 2021].
- [10] A. Braun, "Auto-Tuning," *Optim. und Adapt. Regelung Tech. Syst.*, pp. 213–219, 2020. [Online Serial]. Available : <https://ejournal.stmiklombok.ac.id/index.php/jire/article/view/274>. [Accessed Oct. 23, 2021].