

Implementasi Metode PID dan *Inverse Kinematics* pada Pergerakan Robot Berkaki Enam (*Hexapod*)

Fauzan Faqri Wijayanto Amaral^{1*}, Joko Subur², Suryadhi³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Universitas Hang Tuah
Jl. Arief Rahman Hakim No. 150 Surabaya Indonesia

^{1*}fauzanfaqri08@gmail.com*, ²joko.subur@hangtuah.ac.id, ³suryadhi@hangtuah.ac.id

Abstract – The hexapod robot is often featured in competitions such as the Indonesian Robot Contest (KRI), particularly in the Search and Rescue Robot Indonesia (KRSRI) division. In the KRSRI division, hexapod robots are required to navigate the competition area and overcome various obstacles present in the arena. Therefore, an effective navigation motion control system is crucial for managing the robot's movements. This research addresses these challenges by implementing the PID - Inverse Kinematics method. PID - Inverse Kinematics combines the Inverse Kinematics method with the Proportional Integral Derivative (PID) control method. The PID method generates constant values of P, I, and D based on error values and error deltas, which are then utilized in the Inverse Kinematics calculations. Experimental trials with and without obstacles were successful, except for the broken road obstacle, where there was a 100% success rate in navigating the sloped road and a 20% failure rate in navigating the broken obstacle.

Keywords – Hexapod Robot, Inverse Kinematics, PID Control

Abstrak – Robot *hexapod* sering ditampilkan dalam kompetisi seperti Kontes Robot Indonesia (KRI), terutama dalam divisi Kontes Robot SAR Indonesia (KRSRI). Di divisi KRSRI, robot *hexapod* diharuskan untuk menavigasi area kompetisi dan melewati berbagai rintangan yang ada di arena. Oleh karena itu, sistem kontrol gerakan navigasi yang efektif sangat penting untuk mengelola pergerakan robot. Penelitian ini mengatasi tantangan tersebut dengan menerapkan metode PID - *Inverse Kinematics*. PID - *Inverse Kinematics* menggabungkan metode *Inverse Kinematics* dengan metode kontrol *Proportional Integral Derivative* (PID). Metode PID menghasilkan nilai konstan P, I, dan D berdasarkan nilai kesalahan dan perubahan kesalahan, yang kemudian digunakan dalam perhitungan *Inverse Kinematics*. Uji coba eksperimen dengan dan tanpa rintangan berhasil dilakukan, kecuali untuk rintangan jalan pecah, di mana terdapat tingkat keberhasilan 100% dalam menavigasi jalan miring dan tingkat kegagalan 20% dalam melewati rintangan pecah.

Kata Kunci – Robot Hexapod, Inverse Kinematics, Kontrol PID

I. PENDAHULUAN

Teknologi robotika merupakan salah satu teknologi yang penting dalam menentukan kemajuan peradaban di dunia. Robot diciptakan untuk menggantikan peran manusia dalam bekerja [1]. Dimana dengan menggunakan robot, kita dapat melakukan pekerjaan yang beresiko tinggi atau berbahaya [2], dapat digantikan oleh robot. Salah satunya adalah penyelamatan korban pasca bencana alam. Dengan bantuan teknologi robotika, robot dapat dioperasikan untuk

menemukan dan menyelamatkan korban di lokasi yang sulit dijangkau oleh tim penyelamat serta dapat mengangkut korban ke tempat yang lebih aman. Di Indonesia, kesadaran akan pentingnya teknologi robot semakin meningkat. Salah satu wujud nyata dari perhatian ini adalah Kontes Robot Indonesia (KRI).

KRI adalah kegiatan kompetisi tahunan mahasiswa dalam bidang rancang bangun dan rekayasa robotika yang diselenggarakan oleh Balai Pengembangan Talenta Indonesia (BPTI), Pusat Prestasi Nasional (Puspresnas), Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia. KRI tahun 2024 mempertandingkan 7 (tujuh) divisi seperti yang telah diselenggarakan pada tahun sebelumnya, salah satu divisi yang dilombakan adalah Kontes Robot SAR Indonesia (KRSRI). Kontes Robot SAR Indonesia (KRSRI) difokuskan untuk melewati berbagai macam variasi rintangan sebagai ilustrasi kondisi pasca bencana khususnya gempa [3].

Terdapat beberapa jenis robot KRSRI yaitu robot berkaki empat (*quadpod*), robot berkaki enam (*hexapod*), dan robot berkaki delapan (*octapod*) [4]. Robot berkaki merupakan sebuah robot yang dapat bergerak dengan leluasa karena memiliki kemampuan bergerak untuk berpindah posisi yang didukung oleh bentuk kaki yang dirancang sebagai alat penggerakannya. Robot berkaki terdiri dari aktuator pada setiap kakinya, setiap kaki robot mempunyai 3 DOF (*Degree of Freedom*) [5]. Penggunaan kaki tersebut akan disesuaikan dengan berbagai macam variasi rintangan yang akan dihadapi oleh robot nantinya. Maka dari itu, robot dituntut untuk dapat bernavigasi dan menyesuaikan pergerakan agar dapat melewati berbagai rintangan.

Robot berkaki yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis robot berkaki enam (*hexapod*) dari Universitas Hang Tuah. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh [6], yang membahas tentang kontrol PID (*Proportional Integral Derivative*) pada robot berkaki empat (*quadpod*). Dalam penelitian tersebut, perhitungan PID dikonversi menjadi nilai derajat secara langsung untuk menentukan sudut servo. Akibatnya, kestabilan pada robot masih kurang. Adapun penerapan *Trajectory Polynomial* dan *Inverse Kinematics* pada pergerakan robot berkaki enam (*hexapod*) yang pernah diuji oleh [7]. Pada penelitian tersebut, diperoleh hasil pergerakan robot yang cepat. Meskipun pergerakan robot lebih cepat, terdapat kekurangan yang perlu diperbaiki. Robot mengalami

kesulitan dalam menjaga jarak terhadap dinding berdasarkan *input* sensor yang digunakan.

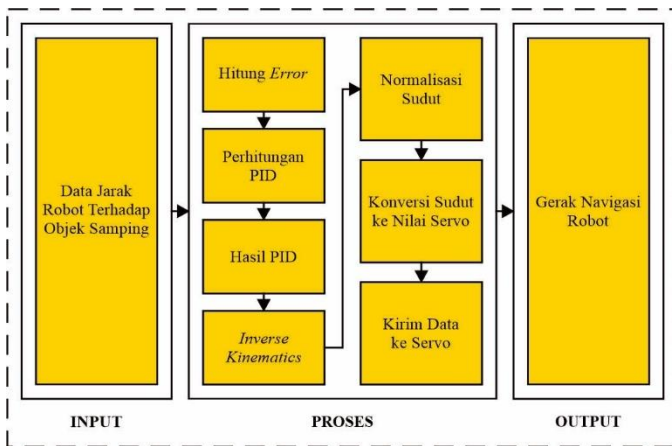
Pengembangan selanjutnya dalam penelitian ini akan difokuskan pada penerapan metode PID dan *Inverse Kinematics* untuk meningkatkan kestabilan gerak robot, terutama saat menghadapi rintangan [8]. Metode *Inverse Kinematics* difokuskan pada sistem navigasi robot, yang melibatkan pengaturan semua posisi kaki dan badan robot untuk dapat menyesuaikan rintangan yang dihadapi. Dengan penelitian sebelumnya yang mengacu pada model persamaan kinematika, seperti yang dilakukan oleh [9], selanjutnya akan mengintegrasikan kontrol PID agar robot dapat bernavigasi berdasarkan data sensor.

II. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, akan dijelaskan mengenai perancangan metode PID dan *Inverse Kinematics* yang akan diterapkan pada robot *hexapod* Universitas Hang Tuah. Robot ini menggunakan penggerak berupa aktuator servo dynamixel, di mana setiap kaki terdiri dari 3 sendi, sehingga secara keseluruhan terdapat 18 aktuator servo dynamixel yang dikendalikan oleh mikrokontroler STM32F407.

A. Diagram Blok Sistem

Secara sistem, robot dimulai dengan merancang diagram blok yang menunjukkan alur dari penerimaan data. Alur ini kemudian dilanjutkan dengan pemrosesan data hingga menghasilkan keluaran data yang telah diproses. Hasil ini kemudian diimplementasikan ke dalam aktuator servo dynamixel, yang menghasilkan gerakan pada robot. Seluruh proses ini membentuk suatu diagram blok yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

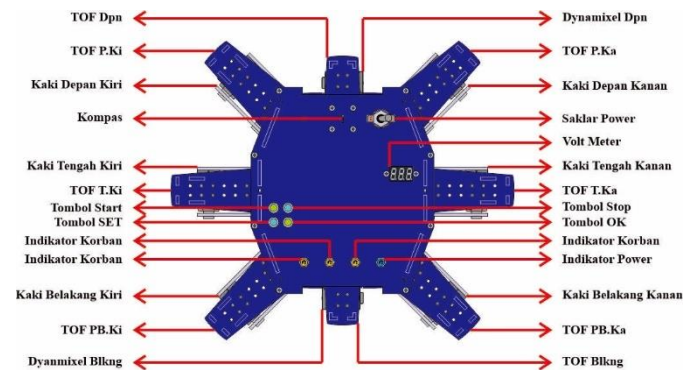
Berdasarkan Gambar 1, sistem yang dirancang pada penelitian ini terdiri dari tiga bagian utama yang menggambarkan alur kerja robot dalam menjaga jaraknya dari

objek, dalam hal ini dinding. Bagian pertama adalah masukan atau *input*, yang melibatkan delapan sensor jarak yang terpasang di robot. Tiga sensor diposisikan di sisi kiri, tiga di sisi kanan, satu di depan, dan satu di belakang. Sensor-sensor ini digunakan untuk mengukur jarak antara robot dan dinding di sekitarnya.

Setelah data jarak diperoleh, sistem menghitung *error*, yaitu selisih antara jarak yang diinginkan dengan jarak yang terdeteksi oleh sensor. *Error* ini menjadi dasar untuk mengatur pergerakan robot melalui penghitungan PID, di mana parameter kontrol seperti K_p , T_i , dan T_d disesuaikan menggunakan metode *Ziegler-Nichols 2*. Proses *Inverse Kinematics* kemudian menggunakan data *error* tersebut untuk mengatur sudut gerakan robot, yang dinormalisasi agar sesuai dengan batas gerakan fisik robot.

B. Desain Perancangan Hardware

Dari penelitian ini, desain perancangan *hardware* akan berfokus untuk merancang sebuah robot berkaki enam (*hexapod*) yang akan digunakan pada perlombaan KRSRI. Berikut ini pada Gambar 2. merupakan desain dari robot berkaki enam (*hexapod*) secara keseluruhan.



Gambar 2. Desain Keseluruhan Robot Tampak Atas

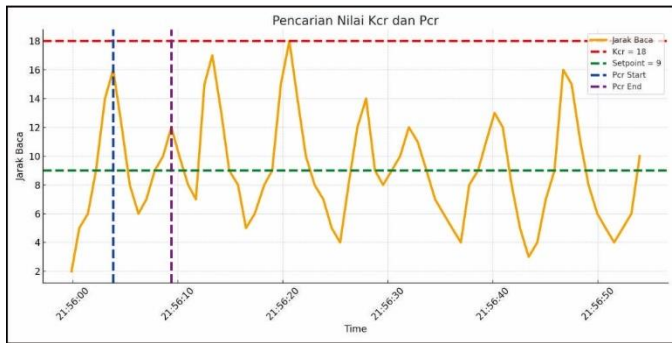
C. Penyetelan Kontrol PID

Penyetelan parameter kontroler merupakan suatu metode untuk mendapatkan parameter kontroler yang sesuai dengan respon yang diinginkan. Penentuan nilai parameter PID dilakukan dengan menggunakan aturan *Ziegler-Nichols 2* yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Aturan *Tuning Ziegler-Nichols 2*

Tipe Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	$0.50 K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45 K_{cr}$	$\frac{1}{1.2} P_{cr}$	0
PID	$0.60 K_{cr}$	$0.5 P_{cr}$	$0.125 P_{cr}$

Ketentuan nilai yang menghasilkan *osilasi* pada grafik dapat ditentukan dari penilaian K_p awal yang dapat dijadikan acuan pada penentuan jarak terjauh robot terhadap objek samping. Penilaian ini juga menjadi acuan dalam pengambilan nilai K_{cr} dan P_{cr} dengan percobaan yang ditunjukkan pada Gambar 3.

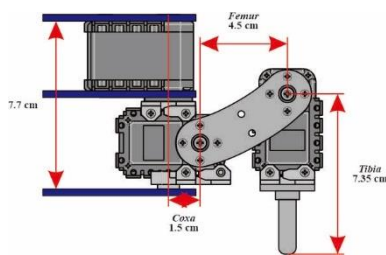


Gambar 3. Nilai K_{cr} Dan P_{cr} Pada Sistem

Berdasarkan Gambar 3. dapat dilihat bahwa nilai K_{cr} diambil dari nilai puncak yang menghasilkan *osilasi* dan P_{cr} didapatkan berdasarkan lama waktu nilai beresilasi. Dengan demikian, didapatkan nilai K_{cr} sebesar 18 dan nilai P_{cr} sebesar 4.9 s. Dari hasil tersebut maka nilai $K_p = 10.8$, $K_i = 2.45$, dan $K_d = 0.6125$.

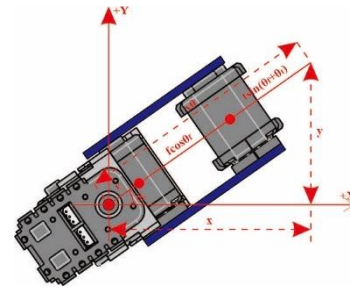
D. Perancangan Inverse Kinematics

Perancangan *Inverse Kinematics* dimulai dengan menganalisis bentuk desain struktur dari setiap kaki robot. Setelah merancang bentuk kaki, persamaan *Inverse Kinematics* dapat diperoleh. Persamaan ini memerlukan nilai dari ukuran *joint* pada tiap bagian kaki, yaitu *coxa*, *femur*, dan *tibia*, seperti yang terlihat pada Gambar 4 ukuran dan struktur kaki robot.



Gambar 4. Ukuran Dan Struktur Kaki Robot

Dengan ukuran dan struktur kaki yang telah diketahui seperti pada Gambar 4, selanjutnya, untuk menentukan nilai dari sudut tiap *joint*, perlu menganalisis bentuk kaki robot pada bidang kartesian. Berikut adalah Gambar 5 dan Gambar 6, yang merupakan ilustrasi sudut *joint* kaki pada bidang kartesian.

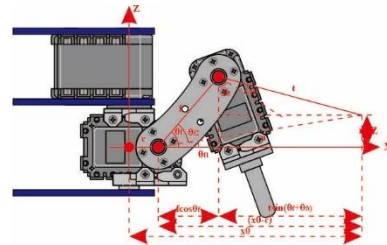


Gambar 5. Ilustrasi Bentuk Kaki Pada Bidang XY

Pada Gambar 5 merupakan ilustrasi konstruksi kaki robot pada bidang xy, dengan menganalisa ilustrasi diatas dapat ditentukan persamaan untuk mencari nilai dari sudut *coxa*. Berikut persamaan untuk menghitung sudut *coxa* dapat dilihat pada Persamaan 1 dan 2.

$$x_0 = \sqrt{x^2 + y^2} \tag{1}$$

$$\theta_c = \tan^{-1} \left(\frac{y}{x} \right) \tag{2}$$



Gambar 6. Ilustrasi Bentuk Kaki Pada Bidang XZ

Dengan Gambar 6 dapat dibuat sebagai referensi untuk mencari persamaan trigonometri dari sudut *joint femur* dan *tibia*. Untuk mencari sudut *femur* didapatkan sebuah persamaan dari analisa Gambar 6, berikut persamaan untuk menghitung sudut *femur* dapat dilihat pada Persamaan 3 hingga 7.

$$\theta f = \theta f_1 + \theta f_2 \tag{3}$$

$$\theta f_1 = \tan^{-1} \left(\frac{z}{x_0 - c} \right) \tag{4}$$

$$a = \sqrt{z^2 + (x_0 - c)^2} \tag{5}$$

$$t^2 = f^2 + a^2 - 2.a.f.\cos \theta f_2 \tag{6}$$

$$\theta f_2 = \cos^{-1} \left(\frac{f^2 + a^2 - t^2}{2.a.t} \right) \tag{7}$$

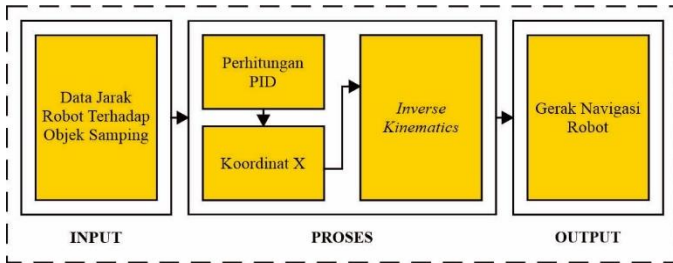
Setelah didapatkan persamaan untuk mengukur sudut *femur* seperti pada Persamaan 3, selanjutnya mencari persamaan dari sudut *tibia*. Untuk mencari persamaan sudut *tibia* diperlukan juga analisa bentuk *joint* pada bidang xz seperti pada Gambar 6, setelah di analisa didapatkan sebuah Persamaan 8 dan 9 untuk menghitung sudut *tibia*.

$$a^2 = f^2 + t^2 - 2.a.f.\cos(90^\circ + \theta_t) \tag{8}$$

$$\theta_t = \cos^{-1} \left(\frac{f^2 + t^2 - a^2}{2.f.t} \right) - 90^\circ \tag{9}$$

E. Perancangan Metode PID - Inverse Kinematics

Dari beberapa perancangan sistem kontrol di atas, maka pada perancangan terakhir adalah mengintegrasikan kedua metode tersebut yang dapat dilihat pada Gambar 7. dalam bentuk diagram blok sistem PID - Inverse Kinematics yang akan diimplementasikan untuk mengatur pergerakan robot.



Gambar 7. Daigram Blok Sistem PID - Inverse Kinematics

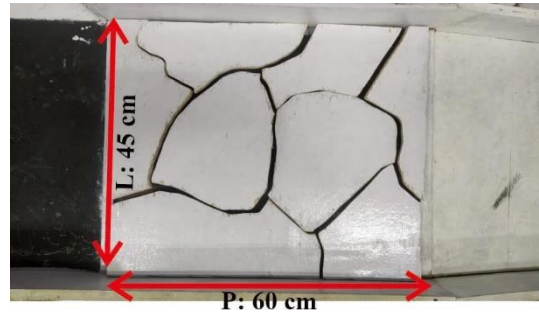
Diagram blok di atas menunjukkan alur kerja sistem navigasi robot. Sensor jarak mengukur jarak robot dari objek samping, seperti dinding, sebagai *input*. Data ini kemudian diproses menggunakan perhitungan PID untuk mengontrol posisi robot berdasarkan koordinat X. Setelah itu, *Inverse Kinematics* menghitung gerakan yang diperlukan agar robot bisa bergerak sesuai posisi yang diinginkan. Hasil akhirnya adalah gerakan robot yang disesuaikan agar tetap menjaga jarak aman dari objek di sekitarnya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini, akan dilakukan pengujian terhadap sistem yang telah dirancang. Tujuan bab ini adalah untuk mengambil data dari hasil *input* dan *output* serta mengetahui kinerja dari pergerakan robot *hexapod*, apakah sudah sesuai dengan yang diharapkan.

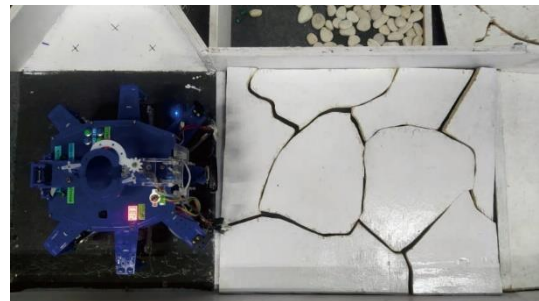
A. Pengujian Pada Rintang Jalan Pecah

Pengujian model pertama akan dilakukan pada arena yang ditunjukkan pada Gambar 8, di mana arena ini memiliki tekstur permukaan yang mudah bergerak. Pada pengujian pertama, robot akan diuji dengan menempuh jarak sejauh 60 cm. Untuk mendapatkan data yang lebih akurat dan untuk mengetahui respon robot, percobaan ini akan dilakukan sebanyak lima kali.



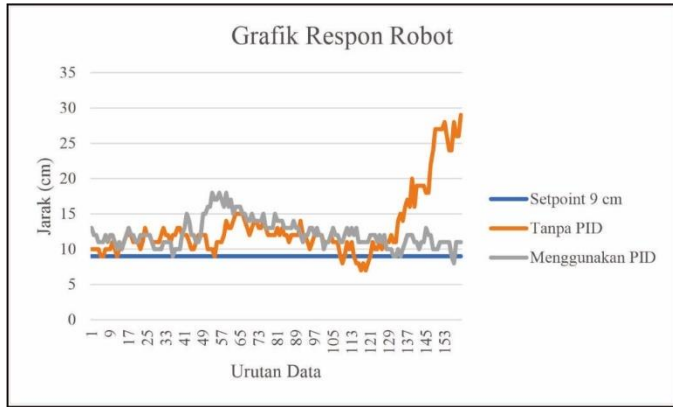
Gambar 8. Rintang Jalan Pecah

Uji coba dilakukan dengan dua metode, yaitu metode *Inverse Kinematics* dan PID - *Inverse Kinematics*. Gambar 9 menunjukkan robot yang sedang menjalani uji coba pada jalan pecah sejauh 60 cm.



Gambar 9. Uji Coba Pergerakan Robot Pada Jalan Pecah

Uji coba metode *Inverse Kinematics* menghasilkan 160 data dari pukul 06:33:52.635 hingga 06:34:09.369, dengan waktu pengambilan data selama 16.734 detik pada jarak 60 cm. *Error* antara jarak *setpoint* dan jarak baca berkisar antara 0% hingga 2.222%, dengan rata-rata pembacaan jarak 13.11 cm dan *error* rata - rata 0.457%. Sementara itu, uji coba metode PID - *Inverse Kinematics* mencatat 160 data dari pukul 06:11:50.679 hingga 06:12:10.945, dengan waktu pengambilan data selama 20.266 detik pada jarak yang sama. *Error* berkisar antara 0% hingga 1%, dengan rata-rata pembacaan jarak 12.24 cm dan *error* rata - rata 0.36%. Perbedaan hasil kedua metode ini ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik Respon Robot Pada Jalan Pecah Sejauh 60 cm

Gambar 10 membandingkan respon jarak robot menggunakan metode *Inverse Kinematics* dan PID - *Inverse Kinematics*. Tanpa menggunakan kontrol PID menunjukkan fluktuasi jarak yang lebih besar, berkisar antara sekitar 7 cm hingga 29 cm. Sebaliknya, dengan kontrol PID, menunjukkan jarak yang lebih stabil dengan kisaran yang lebih sempit, antara 8 cm hingga 18 cm. Perbandingan kedua metode, berdasarkan lima kali percobaan, dapat dilihat dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Coba Pada Jalan Pecah

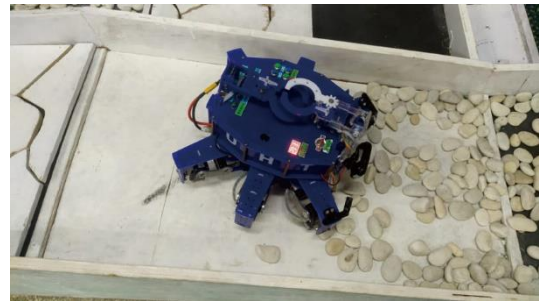
Uji Coba Pada Rintang Rintang Pecah Sejauh 60 cm				
No	Percobaan Ke-	Metode	Waktu Tempuh	Keterangan
1	1	Tanpa PID	16.734 Detik	Gagal
		Menggunakan PID	20.266 Detik	Berhasil
2	2	Tanpa PID	19.308 Detik	Gagal
		Menggunakan PID	17.455 Detik	Berhasil
3	3	Tanpa PID	24.595 Detik	Gagal
		Menggunakan PID	19.499 Detik	Gagal
4	4	Tanpa PID	13.296 Detik	Gagal
		Menggunakan PID	19.816 Detik	Berhasil
5	5	Tanpa PID	19.565 Detik	Gagal
		Menggunakan PID	20.372 Detik	Berhasil

Berdasarkan hasil uji coba pada Tabel 2, terlihat bahwa penggunaan PID memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan tanpa PID, meskipun masih ada beberapa kegagalan. Pada lima percobaan yang dilakukan, metode tanpa PID menghasilkan kegagalan dalam semua percobaan, dengan waktu tempuh yang bervariasi antara 13.296 hingga 24.595 detik. Sebaliknya, penggunaan PID berhasil dalam empat dari lima percobaan, meskipun satu percobaan tetap gagal dengan waktu tempuh 19.499 detik. Kegagalan ini disebabkan oleh rintangan pecah yang bergerak - gerak, sehingga membuat robot menjauh dari *setpoint* dan mengakibatkan ketidakmampuan robot untuk melewatinya.

B. Pengujian Pada Rintang Jalan Miring

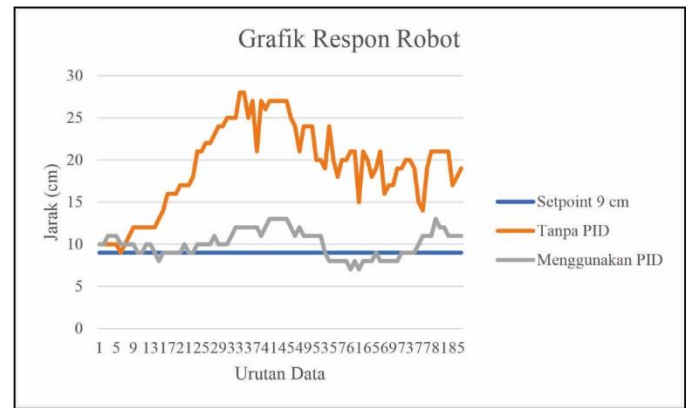
Pengujian model kedua ini, akan dilakukan pada arena yang memiliki permukaan miring dan licin, terdapat pula

puing - puing, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11. Jarak yang harus ditempuh dalam pengujian ini adalah 90 cm, dengan lima kali percobaan dengan dua metode, yaitu metode *Inverse Kinematics* dan PID - *Inverse Kinematics*. Gambar 11 menunjukkan robot yang sedang menjalani uji coba pada jalan miring sejauh 90 cm.



Gambar 11. Uji Coba Pergerakan Robot Pada Jalan Miring

Uji coba metode *Inverse Kinematics* menghasilkan 86 data dari pukul 03:39:55.484 hingga 03:40:05.156, dengan waktu pengambilan data selama 10.672 detik pada jarak 90 cm. *Error* antara jarak *setpoint* dan jarak baca berkisar antara 0% hingga 2.111%, dengan rata-rata pembacaan jarak 19.28 cm dan *error* rata - rata 1.142%. Sementara itu, uji coba metode PID - *Inverse Kinematics* mencatat 86 data dari pukul 03:43:23.529 hingga 03:43:33.348, dengan waktu pengambilan data selama 9.819 detik pada jarak yang sama. *Error* berkisar antara 0% hingga 0.444%, dengan rata-rata pembacaan jarak 10.08 cm dan *error* rata - rata 0.12%. Perbedaan hasil kedua metode ini ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Grafik Respon Robot Pada Jalan Miring Sejauh 90 cm

Pada gambar 12 membandingkan respon jarak robot menggunakan metode *Inverse Kinematics* dan PID - *Inverse Kinematics*. Tanpa menggunakan kontrol PID menunjukkan fluktuasi jarak yang lebih besar, berkisar antara sekitar 9 cm hingga 28 cm. Sebaliknya, dengan kontrol PID, menunjukkan jarak yang lebih stabil dengan kisaran yang lebih sempit,

antara 7 cm hingga 13 cm. Perbandingan kedua metode, berdasarkan lima kali percobaan, dapat dilihat dalam Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Coba Pada Jalan Miring

Uji Coba Pada Rintangan Rintangan Miring Sejauh 90 cm				
No	Percobaan Ke-	Metode	Waktu Tempuh	Keterangan
1	1	Tanpa PID	10.672 Detik	Berhasil
		Menggunakan PID	9.819 Detik	Berhasil
2	2	Tanpa PID	10.211 Detik	Berhasil
		Menggunakan PID	6.952 Detik	Berhasil
3	3	Tanpa PID	9.829 Detik	Berhasil
		Menggunakan PID	8.245 Detik	Berhasil
4	4	Tanpa PID	7.421 Detik	Berhasil
		Menggunakan PID	7.014 Detik	Berhasil
5	5	Tanpa PID	8.628 Detik	Berhasil
		Menggunakan PID	7.199 Detik	Berhasil

Berdasarkan Tabel 3, perbedaan waktu tempuh robot saat melewati rintangan bebatuan menunjukkan bahwa tanpa kontrol PID, robot kesulitan menjaga posisi terhadap dinding samping akibat pengaruh bebatuan yang mengganggu pergerakannya. Waktu tempuh tanpa PID bervariasi antara 7.421 detik hingga 10.672 detik, sedangkan dengan kontrol PID, waktu tempuh lebih konsisten dan cepat, antara 6.952 detik hingga 9.819 detik. Kontrol PID membantu robot beradaptasi dengan rintangan dan mempertahankan *setpoint*.

IV. KESIMPULAN

Penggunaan kontrol PID dalam sistem navigasi robot berkaki enam (*hexapod*) memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan tanpa PID. Uji coba menunjukkan bahwa kontrol PID lebih stabil dalam menjaga jarak robot terhadap objek samping dengan fluktuasi yang lebih kecil, serta mampu melewati sebagian besar rintangan dengan tingkat keberhasilan 80% pada rintangan pecah, meskipun terdapat satu kegagalan. Selain itu, dengan kontrol PID juga lebih cepat dan konsisten dalam melewati rintangan jalan miring dan pecah - pecah. Secara keseluruhan, kontrol PID meningkatkan stabilitas robot, dengan keberhasilan 100% pada jalan miring dan hanya 20% kegagalan pada rintangan jalan pecah.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Pratama *dkk.*, "Implementasi Kontrol PID untuk Percepatan Rotasi pada Robot Hexapod," *J. Media Inform. Budidarma*, vol. 7, hal. 1869–1876, 2023, doi: 10.30865/mib.v7i4.6433.
- [2] I. G. Malik, A. Nuraini, dan E. Wijaya, "Pembuatan Robot Cerdas Sar Pemadam Api," vol. 4, hal. 295–299, 2019.
- [3] B. Kusumoputro *dkk.*, "Panduan Kontes Robot Indonesia (KRI) Tahun 2024," hal. 164, 2024.
- [4] J. Subur, S. Suryadhi, dan E. Arohman, "Penerapan Metode Fuzzy Logic-PID Sebagai Kontrol Gerak Robot

- Berkaki Enam (Hexapod)," *Proc. Ser. Phys. Form. Sci.*, vol. 6, hal. 98–108, 2023, doi: 10.30595/pspfs.v6i.858.
- [5] E. U. Armin, "D3-2016-332025-abstract (armin dkk, 2018)," 2016.
- [6] C. Kusyairi, J. Subur, dan M. Taufiqurrohman, "Rancang Bangun Pergerakan Robot Pemadam Api Berkaki Menggunakan Metode Proportioanal Integral Derivative (PID)," *SinarFe7*, vol. 2, no. 1, hal. 79–83, 2019.
- [7] A. Wicaksono, "Penerapan Trajectory Polynomial dan Inverse Kinematics pada Pergerakan Robot Berkaki Enam (Hexapod)," *Repos. Hang Tuah*, 2022.
- [8] R. T. Yunardi, A. Muchadin, K. L. Priyanti, dan D. Arifianto, "Inverse Kinematics and Pid Controller Implementation of Hexapod Robot for Wall Follower Navigation," *Ina. Indones. J. Electr. Eletronics Eng.*, vol. 2, no. 2, hal. 57–62, 2019, doi: 10.26740/inajee.v2n2.p23-28.
- [9] I. A. Kurniawan, Feriyonika, dan S. Pramono, "Inverse dan Body Kinematics pada Robot Hexapod," *Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, vol. 9, hal. 115–123, 2018.