

Pengendali PID untuk Pengaturan Kecepatan Gerak Robot Omnidireksional Tiga Roda

PID Controller for Speed Control on Three-Wheel Omnidirectional Robot Movement

Putra Wisnu Agung Sucipto*¹, Annisa Firasanti²

^{1,2} Universitas Islam 45

Jl. Cut Mutia no. 83 Bekasi, Jawa Barat, Indonesia, 17111

wisnu@unismabekasi.ac.id*

Abstrak – Gerak robot omnidireksional dibangkitkan dengan cara mengatur kecepatan putaran pada tiga roda omnidireksional yang terpasang pada poros penggerak agar mampu bergerak ke segala arah tanpa perlu reorientasi. Pengaturan kecepatan ini membutuhkan metode dan strategi pengendalian yang tepat. Ketepatan ini berhubungan erat dengan kemampuan robot untuk tetap kokoh ketika berhadapan dengan gangguan. Penelitian ini bertujuan untuk membuat sebuah pengendali gerak robot omnidireksional menggunakan pengendali PID. Data hasil penelitian menunjukkan bahwa manuver gerak robot ini dipengaruhi oleh pengaturan arah dan besar nilai kecepatan ketiga motor penggerak yang terpasang pada robot. Berdasarkan set point sebesar 100 rpm dengan perintah arah gerak maju, catatan kriteria tanggapan peralihannya adalah waktu naik pada detik ke 2.8, waktu puncak pada detik ke 4 dan waktu keadaan mantap detik ke 4. Kesalahan keadaan mantap cenderung mendekati nol, dengan nilai sebesar 0.71 rpm, tanpa adanya lewatan dan variasi puncak-puncak tanggapan. Tanggapan ini diperoleh dengan pengaturan parameter konstanta pengendali PID untuk motor kiri dan kanan masing-masing adalah [0.000999747; -0.00002725; -50] dan [-0.000554; -0.00585; 0].

Kata Kunci: Pengendali PID, robot omnidireksional, pengaturan kecepatan.

Abstract— Omnidirectional robot motion generated by adjusting the rotation speed of three omnidirectional-wheels that mounted on the drive shaft, so it will be able to move in all directions without the reorientation. This speed regulation requires appropriate control methods and approaches. The accuracy is closely related to the robot's ability to remain sturdy when dealing with interference. This study aims to create the Omni-directional robot motion controller using a PID controller. The research results show that the robot's maneuvering motion influenced by the direction setting and the magnitude of the speed values of the three motor drives mounted on the robot. Based on the set point at 100 rpm with the forward direction command, the transient response criteria are the rise time at 2.8 seconds, the peak time at 4 seconds, and the settling time at 4 seconds. Steady-state errors tend to approach zero at 0.71 rpm without any overshoot and variations in response peaks. The response was obtained by setting the PID controller constant parameters for the left and right motors respectively [0.000999747; -0.00002725; -50] and [-0.000554; -0.00585; 0].

Keywords: PID controller, omnidirectional robot, speed control.

1. Pendahuluan

Robot omnidireksional memiliki organ yang mampu bergerak ke segala arah tanpa perlu reorientasi [1]. Gerak robot ini dibangkitkan dengan cara mengatur kecepatan putaran pada tiga roda omnidireksional yang terpasang pada poros penggerak. Pengaturan kecepatan ini membutuhkan metode dan strategi pengendalian yang tepat. Ketepatan ini berhubungan erat dengan kemampuan robot untuk tetap kokoh ketika berhadapan dengan gangguan.

Beragam metode telah digunakan untuk membangkitkan aksi pengendalian dalam pengaturan parameter kecepatan gerak robot. Kecepatan robot dapat diatur dengan menerapkan metode kontrol kecepatan adaptif [2]. Dengan menggunakan metode ini, proses pengendalian diatur dalam sebuah model referensi yang menggunakan 2 (dua) sub lapisan blok sistem kendali yaitu, lapisan kinematika dan lapisan kecepatan. Lapisan kinematika berperan dalam mengatur beragam parameter gerakan robot sedangkan lapisan kecepatan berfungsi untuk merumuskan nilai kecepatan robot. Berdasarkan pola pengendalian seperti ini, diperlukan proses penalaran nilai kecepatan selama rentang waktu tertentu agar diperoleh kinerja robot yang baik.

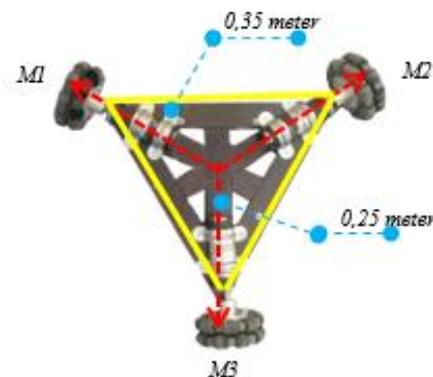
Selain itu, pemodelan fungsi untuk pengaturan kecepatan dapat pula diperoleh dengan cara menurunkan fungsi posisi robot secara matematika menggunakan *quintic-polynomial interpolation* [3]. Pemodelan ini menggunakan proses interpolasi untuk mengkonfigurasi titik awal dan akhir pergerakan robot. Pengaturan dengan pola seperti ini membuat robot dapat bergerak dengan lintasan dan arah orientasi yang dapat dikendalikan. Namun, sayangnya kecepatan robot hanya dapat dikendalikan apabila diketahui titik awal dan titik akhir pergerakan.

Oleh karena itu, diperlukan pengaturan kecepatan robot omnidireksional yang tetap memperhatikan keleluasaan gerak robot namun tetap mampu menghasilkan performa robot yang tidak lambat dan akurat karena mampu menjaga *error steady state* pada batas amannya. Pengaturan ini dapat dilakukan dengan menggunakan pengendali PID. Pengendali PID dapat bekerja dengan pendekatan penalaan parameter pengendali berdasarkan kriteria *Ziegler-Nicholas* [4] dan penalaan visual berdasarkan indikator *step response* [5]. Pendekatan ini digunakan untuk mendapatkan model aksi pengendalian yang tetap mampu memperhatikan dinamika dan kinematika sistem. Walaupun, masih membutuhkan waktu yang relatif cukup lebih lama untuk membangkitkan sebuah konstanta penalaan pengendali.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan implementasi pengendali PID untuk pengaturan kecepatan robot omnidireksional yang konstanta pengendalinya ditala menggunakan metode *trial-error*. Penalaan dengan pendekatan seperti ini tidak membutuhkan konsumsi waktu yang banyak untuk memahami seluruh aspek matematis sistem. Penalaan seperti ini tetap dapat dilakukan karena secara factual tidak dapat dihindari kemungkinan adanya ketidakpastian dan ketidakcukupan informasi dinamika lingkungan disekitar robot [6]. Sehingga, dapat mengurangi potensi timbulnya persoalan baru terkait dengan lamanya proses identifikasi model sistem yang terlalu rigid. Selain itu, proses ini perlu dilakukan agar performa robot terkait dengan tanggapan peralihan dapat dicapai dalam waktu penyelesaian yang relatif lebih cepat. Disisi lain, kinerja robot dari aspek tanggapan keadaan mantap dapat dicapai dengan baik yang ditandai dengan kesalahan keadaan mantap, % lewatan, dan total variasi keluaran saat keadaan mantap dapat dicapai mendekati nilai nol.

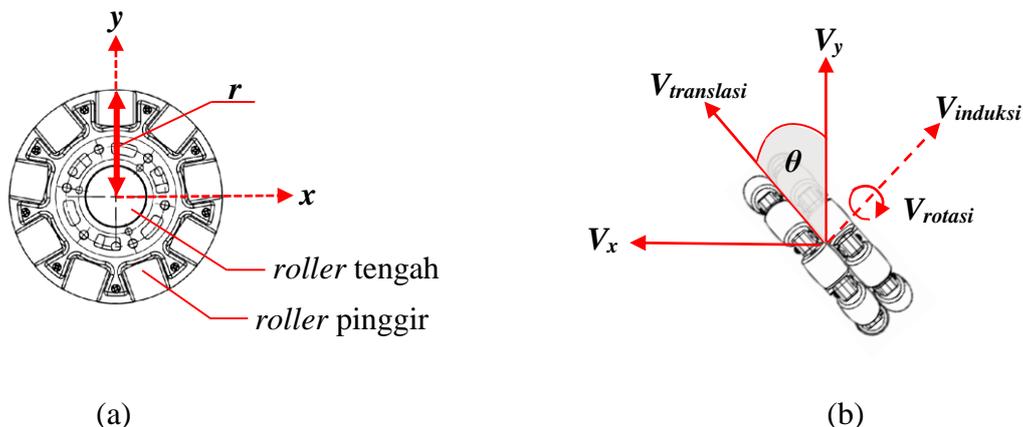
2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara eksperimen. Proses eksperimen diawali dengan penentuan struktur mekanik sistem pergerakan robot. Sistem pergerakan robot omnidireksional tiga roda yang digunakan dalam penelitian ini dijelaskan pada Gambar 1. Robot ini dilengkapi dengan tiga roda omnidireksional yang dipasang dengan jarak sudut antar poros roda sejauh 120° . Setiap roda terhubung langsung dengan sistem penggerak yang menggunakan motor dc kontinyu 24 volt. Putaran motor dan penggulung roda yang terpasang pada poros motor dc ini memiliki kesamaan orientasi arah putaran.



Gambar 1. Struktur mekanik rangka dan sistem penggerak roda omnidireksional robot.

Tahap selanjutnya dalam eksperimen ini adalah penentuan vektor kecepatan translasi dan rotasi pada robot. Proses peninjauannya diawali dengan analisa vektor vektor kecepatan sebuah roda omnidireksional dijelaskan pada Gambar 2. Roda omnidireksional disusun terdiri dari beberapa roller sebagaimana yang diilustrasikan pada Gambar 2(a). Keduanya dapat digerakan dengan arah gerak yang berlawanan. Roller tengah dapat digerakan oleh sebuah motor penggerak dengan arah putaran sejajar arah sumbu-y bidang kartesian. Sedangkan, roller pinggir dapat digerakan ketika roda omni mendapatkan kecepatan induksi [9]. Kecepatan induksi berasal dari luar roda tersebut dan mampu menggerakkan roda omni ke arah sumbu-x. Vektor kecepatan induksi dijelaskan pada Gambar 2(b).



Gambar 2. Ilustrasi vektor gerakan roda omnidireksional

Perhitungan kecepatan sebuah roda omnidireksional, mempertimbangkan adanya vektor kecepatan translasi dan rotasi pada roda tersebut. Kecepatan translasi terjadi ketika roda digelindingkan pada sebuah bidang permukaan yang menjadi pusat gelinding. Sedangkan kecepatan rotasi terjadi akibat putaran roda terhadap sumbu putarnya. Sehingga, kecepatan roda merupakan resultan penjumlahan vektor kecepatan translasi dan rotasi

$$V_{roda} = V_{translasi} + V_{rotasi} \tag{1}$$

Berdasarkan [9], persamaan *forward kinematics* yang dibentuk berdasarkan gerak rotasi dan translasi ini dapat dijelaskan sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_\omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{-\sqrt{3}}{3} & \frac{\sqrt{3}}{3} \\ \frac{2}{3} & \frac{-1}{3} & \frac{-1}{3} \\ \frac{1}{3R} & \frac{1}{3R} & \frac{1}{3R} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{m1} \\ V_{m2} \\ V_{m3} \end{bmatrix} \quad (2)$$

dengan variabel V_{m1} adalah kecepatan translasi motor satu, V_{m2} adalah kecepatan translasi motor dua, V_{m3} adalah kecepatan translasi motor tiga, V_x adalah kecepatan translasi robot terhadap sumbu x, V_y adalah kecepatan translasi robot terhadap sumbu y. V_ω adalah kecepatan rotasi robot terhadap titik pusat robot dan R adalah arak antara roda dan titik pusat robot.

Selanjutnya, proses eksperimen ini dilanjutkan dengan pembuatan pengendali PID. Pengendali PID bekerja berdasarkan pengaturan nilai konstanta pengendali, yaitu konstanta proporsional, konstanta integral dan konstanta derivatif untuk menghasilkan sinyal pengendali yang tepat [10]. Konstanta pengendali diatur dengan mempertimbangkan selisih nilai masukan dan keluaran sistem robot. Nilai selisih ini menandai adanya kesalahan proses pengendalian kecepatan robot omnidireksional yang perlu segera dievaluasi. Proses perhitungan nilai pengendali PID ini, secara keseluruhan mengacu pada persamaan (3).

$$PID = K_p e_k + K_i \Delta T \sum_{j=1}^k e_j + \frac{K_d}{\Delta T} (e_k + e_{k-1}) \quad (3)$$

dengan variabel PID adalah nilai pengendali PID, K_p adalah konstanta proporsional, e_k adalah selisih orientasi robot pada iterasi yang ke-k, K_i adalah konstanta integral, e_j adalah selisih orientasi robot pada iterasi yang ke-j, K_d adalah konstanta derivatif, $e_{(k-1)}$ adalah selisih orientasi robot pada iterasi yang ke k-1, dan ΔT adalah waktu cuplik

Proses selanjutnya dalam eksperimen ini adalah perhitungan nilai konstanta pengendali. Diawal sebelum proses perhitungan nilai pengendali PID dimulai, dilakukan penentuan nilai konstanta proporsional, integral dan derivatif. Konstanta pengendali PID ditentukan dengan cara menala konstanta tersebut. Setiap konstanta PID ditala agar diperoleh nilai pengendali PID yang terbaik. Metode yang digunakan dalam proses penalaan konstanta ini adalah metode *trial-error*.

Pada tahap akhir dalam eksperimen ini dilakukan pengujian dan analisa performa pengendali PID ketika mengatur kecepatan pergerakan robot. Proses pengujian dilakukan dengan cara memberikan sebuah misi penjelajahan pada suatu lintasan gerak kepada robot yang telah ditanamkan algoritma pengendali PID. Pada saat misi ini dijalankan, dilakukan pula secara paralel proses perekaman data unjuk kerja perilaku robot. Perekaman ini dimulai sesaat setelah robot mulai bergerak dari titik awal sampai dengan robot berhenti dititik akhir pergerakan yang telah ditentukan.

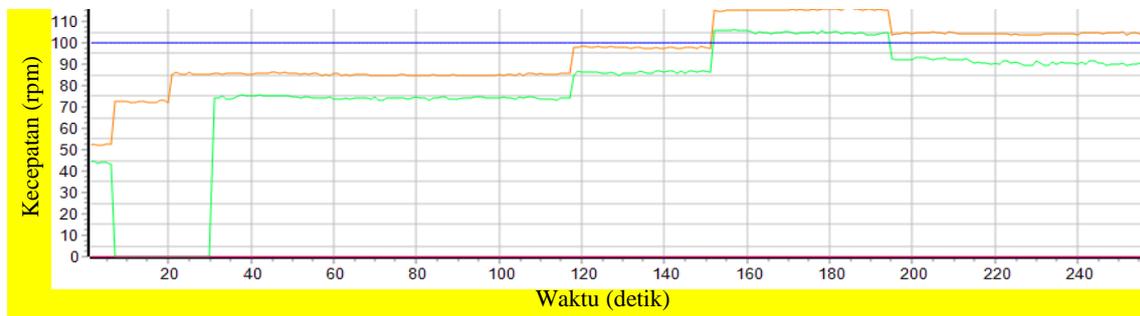
Berdasarkan data ini, proses eksperimen dilanjutkan dengan melakukan analisa performa sistem pengendali PID yang meliputi perbandingan kinerja sistem berdasarkan aspek tanggapan peralihan dan tanggapan keadaan mantap. Pada aspek tanggapan peralihan parameter yang ditinjau dalam eksperimen ini adalah waktu naik, puncak dan penyelesaian. Sedangkan pada aspek tanggapan keadaan mantap parameter yang ditinjau adalah kesalahan keadaan mantap, %lewatan, rasio redaman dan total variasi.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengaturan kecepatan robot ini diawali dengan mengidentifikasi perilaku gerakan motor penggerak untuk satu arah gerakan, yaitu maju. Hasil identifikasi menunjukkan bahwa, motor dc kontinyu 24 volt yang digunakan memiliki perbedaan nilai RPM. Walaupun memiliki tipe merk yang sama, yaitu tipe PG 36 dengan catatan putaran yang tertera pada data sheet sebesar 440 rpm, secara factual nilai ini tidak sama diantara kedua motor tersebut. Perbedaan ini ditunjukkan pada grafik pada Gambar 3.

Grafik pada Gambar 3 mengilustrasikan bahwa putaran roda kanan dan kiri yang digerakan oleh motor penggerak terdapat perbedaan walaupun nilai PWM yang diberikan adalah sama. Nilai PWM yang menandai besarnya nilai energi dalam bentuk tegangan listrik yang diterima oleh

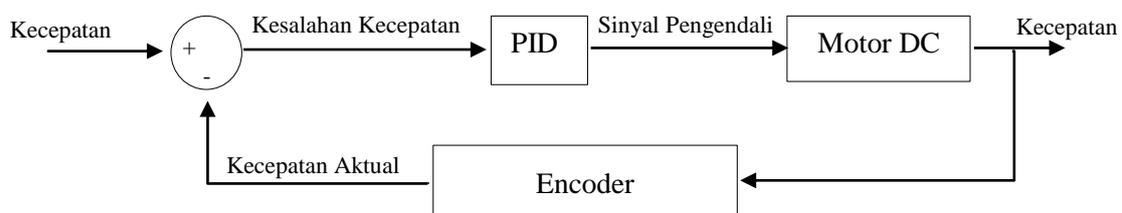
motor dikonversi dalam besaran putaran sudut yang berbeda. Selisih putaran motor ini cukup renggang dan cenderung tidak berhimpit sama di semua simulasi perubahan nilai PWM yang telah diberikan. Roda kiri jauh lebih cepat putarannya dibanding roda kanan.



Gambar 3. Grafik nilai putaran roda kanan dan kiri terhadap perubahan nilai *Pulse Width Modulation* (PWM) pada arah putaran maju.

Perubahan nilai putaran ini dapat dilihat efek faktualnya dengan adanya gerak menyerong selama robot bergerak. Walaupun telah diberikan perintah gerak arah maju dengan nilai besaran acuan putaran yang sama untuk kedua motor penggerak roda, gerakan robot tetap tidak bisa bergerak lurus karena salah satu motornya bergerak lebih lambat. Perlambatan kecepatan putaran di salah satu roda ini perlu diperbaiki agar kesamaan perintah arah gerak berimplikasi yang sama pada realisasi arah gerak robot terhadap perintah tersebut.

Persoalan ini disolusikan dengan memberikan pengendali PID pada kedua motor penggerak roda ini. Pada awalnya, putaran motor ditentukan berputar pada nilai 100 rpm sebagai acuan. Nilai ini merupakan *set point* yang menjadi acuan dalam proses koreksi perbedaan putaran motor. Beda nilai putaran motor terhadap nilai acuan ini merupakan nilai masukan bagi PID untuk melakukan proses pengendalian. Sebagaimana (3), pengendali PID akan bekerja untuk membuat putaran setiap motor pada roda kanan dan kiri mencapai putaran 100 rpm dan bertahan pada nilai tersebut. Secara ilustrasi, blok diagram pengendali kecepatan putaran roda ini dijelaskan pada Gambar 4.

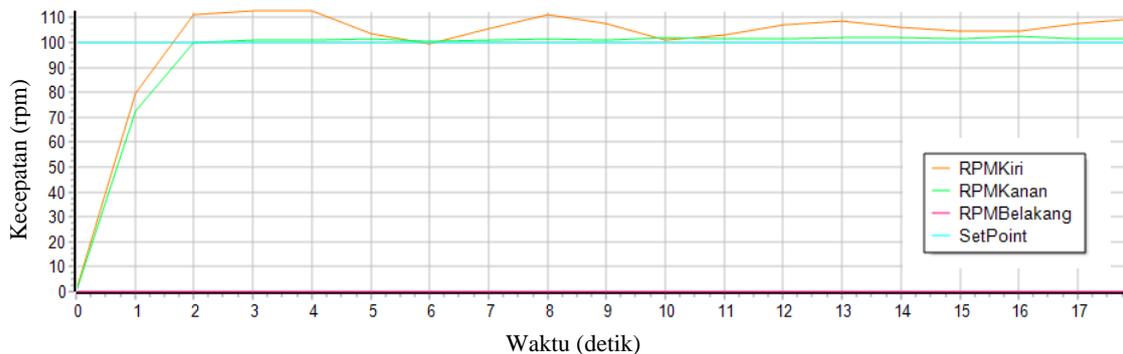


Gambar 4. Blok diagram pengendali pid untuk pengaturan putaran motor penggerak roda pada robot omnidireksional.

Berdasarkan blok diagram pada Gambar 4, kecepatan putaran motor ini dievaluasi dalam beberapa mode kerja pengendali. Sebelum pengendali PID bekerja, diujikan pengendali proporsional hanya untuk roda kiri. Pemilihan roda kiri didasarkan pada kondisi bahwa setelah diberikan nilai PWM sebesar 46 *duty cycle*, nilai roda kanan telah mampu mencapai 100 rpm. Kondisi ini berbeda dengan roda kanan yang telah mencapai putaran sebesar 109,71 rpm. Terdapat kesalahan kecepatan untuk roda kiri sebesar 9,71 rpm.

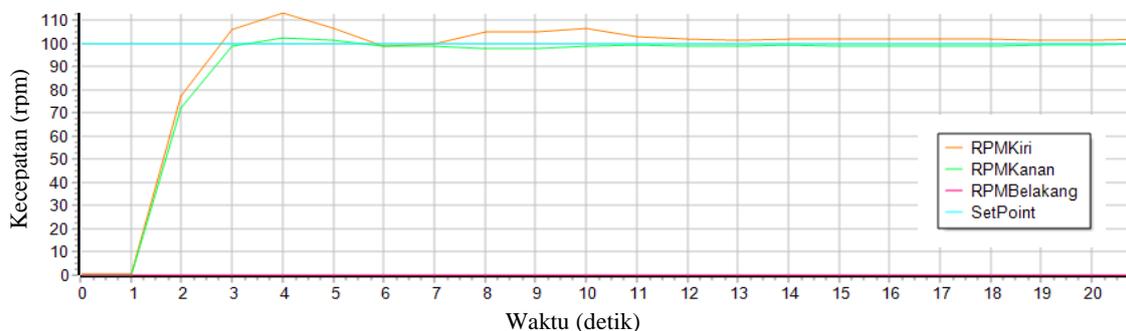
Hasil tanggapan keluaran putaran roda pada motor ini dijelaskan pada Gambar 5. Diilustrasikan pada Gambar 5, garis putaran roda kanan telah menempel pada garis *set point*. Namun, keluaran putaran roda motor kiri terdapat lewatan (*overshoot*) yang nilainya bervariasi. Kondisi keadaan mantap untuk roda kiri diperoleh pada detik ke 6 dengan waktu puncak pada detik ke 4 dan waktu naik pada detik ke 1,4. Namun, masih terdapat kesalahan keadaan mantap sebesar 10 rpm yang dimulai sejak puncak ke 2 sampai dengan ke 5 dan bahkan tidak berakhir

pada puncak-puncak selanjutnya. Kondisi ini diperoleh dengan mengatur parameter konstanta proporsional untuk roda kanan sebesar 0 dan roda kiri sebesar -0,19.



Gambar 5. Performa pengendali proporsional dengan konstanta proporsional untuk roda kanan dan kiri masing-masing 0 dan -0,19.

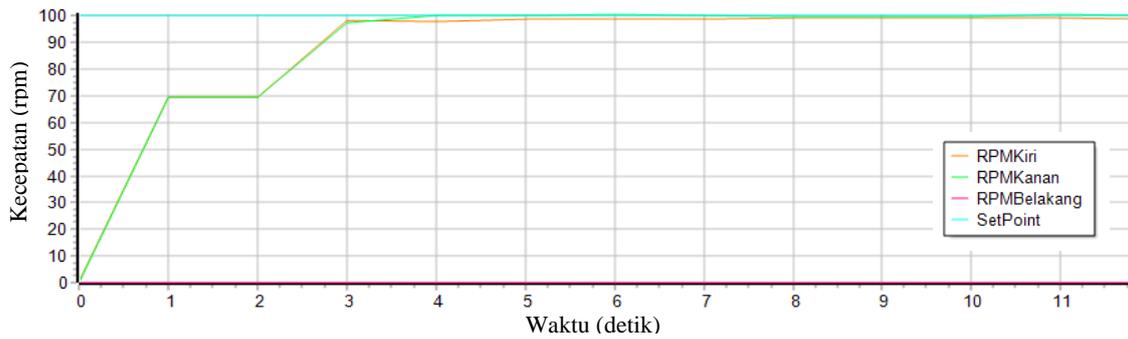
Tanggapan keluaran putaran roda berdasarkan pengendali proporsional belum memberikan hasil yang baik. Lewatan dalam bentuk variasi puncak-puncak yang muncul setelah keadaan mantap masih tetap ada dan cenderung tidak berakhir. Oleh karena itu, berdasarkan kondisi ini maka perlu digunakan pengendali PI untuk mengatur kecepatan putaran ini. Parameter konstanta proporsional yang diterapkan untuk roda kiri dan kanan masing-masing adalah -0,120001006126 dan -0,055399999618. Sedangkan konstanta integral untuk roda kiri dan kanan adalah -0,000002725 dan -0,000485000038. Ilustrasi performasi pengendali PI yang dihasilkan dengan nilai konstanta ini dijelaskan pada Gambar 6.



Gambar 6. Performa pengendali PI dengan konstanta proporsional dan integral untuk roda kiri serta kanan masing-masing -0,120001006126 dan -0,055399999618 serta -0,000002725 dan 0,000485000038.

Hasil tanggapan keluaran pengendali PI jauh lebih baik dibandingkan dengan pengendali proporsional. Jumlah variasi lewatan berkurang drastis dan hanya menyisakan 2 puncak. Kesalahan keadaan mantap bertahan mendekati nol setelah puncak kedua yang dihasilkan pada detik ke 12. Nilai lewatan pada puncak pertama adalah 112 rpm dan puncak kedua adalah 108 rpm. Kondisi ini diperoleh dengan kriteria waktu puncak pada detik ke 3, waktu naik pada detik ke 1,4 dan waktu keadaan mantap pada detik ke 5.

Namun perbaikan masih tetap diperlukan agar diperoleh tanggapan yang lebih optimal mendekati putaran 100 rpm. Langkah ini dilakukan mengingat masih adanya lewatan dan variasi pada grafik tanggapan keluaran setelah keadaan mantap ketika menggunakan pengendali PI. Proses optimalisasi ini dilakukan dengan memberikan pengendali PID pada robot. Hasil kinerja pengendali PID dijelaskan pada Gambar 7.



Gambar 7. Performa pengendali PID untuk pengaturan kecepatan robot omnidireksional.

Berdasarkan Gambar 7, dapat disimpulkan bahwa kecepatan putaran motor telah berhasil mengikuti nilai *set point*. Kriteria pencapaian ini memberikan dukungan analisa tinjauan bahwa tanggapan peralihan untuk mencapai nilai *set point*, diperoleh dengan waktu naik pada detik ke 2,8 dan waktu puncak pada detik ke 4 serta waktu keadaan mantap pada detik ke 4. Selain itu, selepas waktu keadaan mantap diperoleh kesalahan keadaan mantap yang cenderung mendekati nol pada nilai sebesar 0,71 rpm. Pada kondisi keadaan mantap ini, dapat diketahui pula secara visual pada grafik tidak terdapat lagi adanya lewatan dan variasi puncak-puncak tanggapan.

Kriteria performa pengendali PID agar diperoleh bentuk tanggapan seperti ini, diatur dengan menetapkan besar parameter konstanta PID untuk masing-masing roda adalah sebagai berikut.

- a) Konstanta PID pada motor kiri,
 - 1) Konstanta proporsional : -0.000999747
 - 2) Konstanta integral : -0.00002725
 - 3) Konstanta derivatif : -50
- b) Konstanta PID pada motor kanan,
 - 1) Konstanta proporsional : -0.000554
 - 2) Konstanta integral : -0.00585
 - 3) Konstanta derivatif : 0

Secara lengkap, data tabulasi tanggapan dan performa pengendali PID terhadap pengendali-pengendali lainnya yang digunakan pada robot ini dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1. Tanggapan dan Performa Pengendali PID Pada Robot Omnidireksional Tiga Roda

Algoritma Pengendali	Tanggapan Peralihan (detik)			Tanggapan Keadaan Mantap (rpm)			
	Waktu Naik	Waktu Puncak	Waktu Mantap	Kesalahan Keadaan Mantap	%Lewatan	Rasio Redaman	Total Variasi
P	1,4	4	6	10	100	1	Tak Terhingga
PI	1,4	3	5	5	2	0,5	2
PID	2,8	3,8	3,8	0,71	0	0	0

Jika diketahui jarak antara roda dan titik pusat robot yang terpasang pada robot memiliki nilai 0,25 meter dan sudut antar poros motor penggerak adalah 120°, maka kecepatan pergeseran robot pada sumbu x dan y sebagaimana persamaan (2) adalah

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_\omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -0,57 & 0,57 \\ 0,66 & -0,33 & -0,33 \\ 0,083 & 0,083 & 0,083 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{m1} \\ V_{m2} \\ V_{m3} \end{bmatrix} \tag{4}$$

Kecepatan sudut setiap roda pada robot ini adalah

$$\begin{bmatrix} V_{m1} \\ V_{m2} \\ V_{m3} \end{bmatrix} = r \cdot \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \end{bmatrix} \quad (5)$$

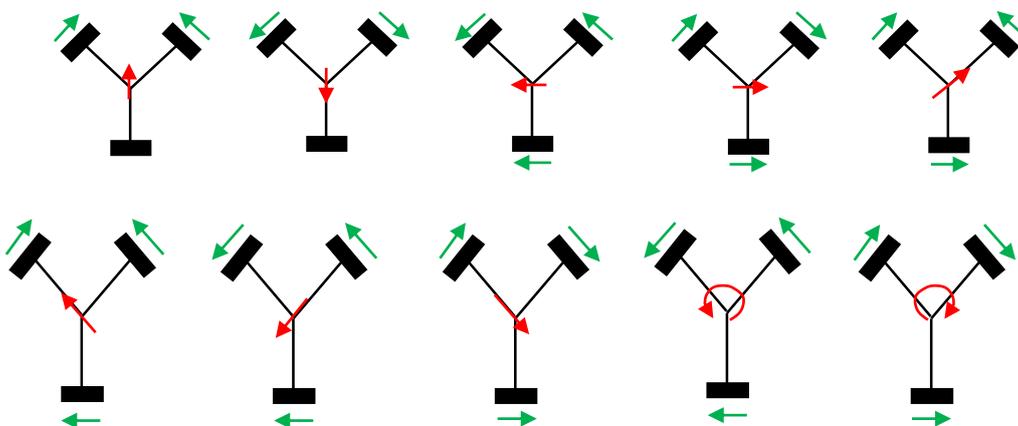
dimana r adalah jari-jari roda sebesar 0,05 meter. Maka, dengan nilai rpm sebesar 100 untuk roda kanan dan kiri pada arah maju, kecepatan translasi pada ketiga motor penggerak per detik adalah seperti (6) dengan satuan meter/detik.

$$\begin{bmatrix} V_{m1} \\ V_{m2} \\ V_{m3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,5236 \\ 0,5236 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Sehingga, kecepatan translasi robot pada bidang x dan y dinyatakan dalam (7) dengan satuan meter/detik.

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_\omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,2964 \\ 0,1704 \\ 0,0332 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Jika ditinjau berdasarkan perbedaan putaran ketiga motor pada robot ini, terdapat keunikan yang menjadi karakteristik pergerakan robot. Keunikan ini dapat dimunculkan dengan memberikan variasi arah dan besar nilai kecepatan putaran pada motor penggerak roda. Kemunculan keunikan ini menandai adanya sebuah perilaku gerakan robot yang membuat robot bermanuver ke segala arah. Variasi pola manuver ini dijelaskan pada Gambar 8.



Gambar 8. Ilustrasi manuver gerak robot (anak panah warna merah) berdasarkan pengaturan arah putaran roda (anak panah warna hijau).

4. Kesimpulan

Penelitian ini telah berhasil membuat sebuah pengendali gerak robot omnidireksional menggunakan pengendali PID. Data hasil penelitian menunjukkan bahwa performa robot ini dipengaruhi oleh pengaturan arah dan besar nilai kecepatan ketiga motor penggerak yang terpasang pada robot. Berdasarkan *set point* sebesar 100 rpm dengan perintah arah gerak maju, kriteria tanggapan peralihan untuk mencapai nilai *set point* adalah waktu naik pada detik ke 2.8, waktu puncak pada detik ke 4 dan waktu keadaan mantap pada detik ke 4. Selain itu, kesalahan keadaan mantap cenderung mendekati nol, dengan nilai sebesar 0.71 rpm, tanpa adanya lewatan dan variasi puncak-puncak tanggapan. Tanggapan ini diperoleh dengan pengaturan parameter konstanta pengendali PID untuk motor kiri dan kanan masing-masing adalah [0.000999747; -0.00002725; -50] dan [-0.000554; -0.00585; 0].

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu terselenggaranya penelitian ini. Terutama, kepada rekan-rekan di Laboratorium 1 Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Islam 45 yang telah bersedia untuk memberikan bantuan peralatan eksperimen.

Referensi

- [1] M. S. Masmoudi, N. Krichen, M. Masmoudi, and N. Derbel, "Fuzzy logic controllers design for omnidirectional mobile robot navigation," *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 49, pp. 901–919, 2016.
- [2] P. Petrov and V. Georgieva, "Adaptive velocity control for a differential drive mobile robot," *2018 20th Int. Symp. Electr. Appar. Technol. SIELA 2018 - Proc.*, no. 2, pp. 1–4, 2018.
- [3] J. Yin, G. Yang, F. Zhao, and H. Qiu, "Motion planning implemented in ROS for Omnidirectional Wheeled Mobile Robot," *2015 IEEE Int. Conf. Inf. Autom. ICIA 2015 - conjunction with 2015 IEEE Int. Conf. Autom. Logist.*, no. August, pp. 2695–2700, 2015.
- [4] Z. U. Hassan, W. U. Rahman, and U. Farooq, "Implementation of velocity control algorithm on a swerve based omni-directional robot," *Proc. - 11th Int. Conf. Front. Inf. Technol. FIT 2013*, pp. 195–198, 2013.
- [5] A. Birari, A. Kharat, P. Joshi, R. Pakhare, U. Datar, and V. Khotre, "Velocity control of omni drive robot using PID controller and dual feedback," *2016 IEEE 1st Int. Conf. Control. Meas. Instrumentation, C. 2016*, no. Cmi, pp. 295–299, 2016.
- [6] F. G. Rossomando and C. M. Soria, "Identification and control of nonlinear dynamics of a mobile robot in discrete time using an adaptive technique based on neural PID," *Neural Comput. Appl.*, vol. 26, no. 5, pp. 1179–1191, 2015.
- [7] B. K. Patle, G. Babu L, A. Pandey, D. R. K. Parhi, and A. Jagadeesh, "A review: On path planning strategies for navigation of mobile robot," *Def. Technol.*, 2019.
- [8] O. R. E. Motlagh, T. S. Hong, and N. Ismail, "Development of a new minimum avoidance system for a behavior-based mobile robot," *Fuzzy Sets Syst.*, vol. 160, no. 13, pp. 1929–1946, 2009.
- [9] N. Hacene and B. Mendil, "Motion Analysis and Control of Three-Wheeled Omnidirectional Mobile Robot," *J. Control. Autom. Electr. Syst.*, 2019.
- [10] C. G. Prince, *Book Review: Computational Principles of Mobile Robotics*, vol. 14, no. 3. 2004.