

**SISTEM GERAK ROBOT RODA EMPAT
MENGUNAKAN PENGENDALI PID
BERDASARKAN SENSOR MPU DAN *ROTARY
ENCODER***

Skripsi
Untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai
derajat Sarjana



Oleh:

**Muhamad Rian Sagita
1700022080**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS AHMAD DAHLAN
YOGYAKARTA
2024**

HALAMAN PERSETUJUAN

SKRIPSI

**SISTEM GERAK ROBOT RODA EMPAT MENGGUNAKAN
PENGENDALI PID BERDASARKAN SENSOR MPU DAN *ROTARY*
*ENCODER***

Yang diajukan oleh

Muhamad Rian Sagita

170002280

Kepada

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Ahmad Dahlan

telah disetujui untuk diajukan dalam seminar oleh:

Pembimbing,

Yogyakarta, *18* Juni 2024


Ir. Alfian Ma'arif, S.T., M.Eng.
NIPM. 19910614 201810 111 1288110

HALAMAN PENGESAHAN

SKRIPSI

**SISTEM GERAK ROBOT RODA EMPAT MENGGUNAKAN
PENGENDALI PID BERDASARKAN SENSOR MPU DAN *ROTARY
ENCODER***

Yang dipersiapkan dan disusun oleh

Muhamad Rian Sagita
170002280

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal **18** Juni 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Susunan Dewan Penguji

Ketua : Ir. Alfian Ma'arif, S.T., M.Eng.

Anggota : 1. Dr. Ir. Riky Dwi Puriyanto, S.T., M.Eng.

2. Ir. Phisca Aditya Rosyady, S.Si., M.Sc.

Dekan

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Ahmad Dahlan,



Prof. Dr. Ir. Siti Jamilatun, M.T.

NIPM. 19660812 199601 011 0784324

PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

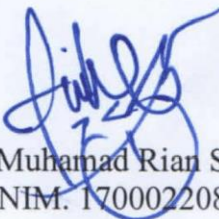
Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhamad Rian Sagita
NIM : 1700022080
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Judul Tugas Akhir : Sistem Gerak Robot Roda Empat Menggunakan
Pengendali PID Berdasarkan Sensor MPU dan
Rotary Encoder

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Hasil karya yang saya serahkan ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar Sarjana di Universitas Ahmad Dahlan maupun di institusi pendidikan lainnya.
2. Hasil karya saya ini bukan saduran/terjemahan melainkan gagasan, rumusan, dan hasil pelaksanaan penelitian/implementasi saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain. Kecuali arahan pembimbing akademik dan narasumber penelitian.
3. Hasil karya saya ini merupakan hasil revisi terakhir setelah diujikan dan disetujui oleh pembimbing.
4. Hasil karya saya ini merupakan hasil revisi terakhir setelah diujikan dan disetujui oleh pembimbing.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya. Apabila di kemudian hari terbukti ada penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya saya ini, serta sanksi lain yang sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Universitas Ahmad Dahlan.

Yogyakarta, 9 Juni 2024



Muhamad Rian Sagita
NIM. 1700022080

PERNYATAAN PERSETUJUAN AKSES

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhamad Rian Sagita
NIM : 1700022080
Email : muhamad1700022080@webmail.uad.ac.id
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Teknologi Industri
Judul Tesis : Sistem Gerak Robot Roda Empat Menggunakan
Pengendali PID Berdasarkan Sensor MPU dan
Rotary Encoder

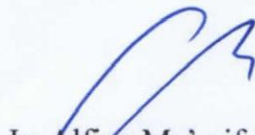
Dengan ini Saya menyerahkan hak sepenuhnya kepada Perpustakaan Universitas Ahmad Dahlan untuk menyimpan, mengatur akses serta melakukan pengelolaan terhadap karya saya ini dengan mengacu pada ketentuan akses tesis elektronik sebagai berikut (beri tanda pada kotak):

☒ Saya (~~mengijinkan~~/~~tidak mengijinkan~~)* karya tersebut diunggah ke dalam aplikasi Repository Perpustakaan Universitas Ahmad Dahlan.

Demikian pernyataan ini Saya buat dengan sebenarnya.

Mengetahui,
Dosen Pembimbing

Yogyakarta, 9 Juni 2024
Penulis


Ir. Alfian Ma'arif, S.T., M.Eng.
NPM. 19910614 201810 111 1288110


Muhamad Rian Sagita
NIM. 1700022080

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN



Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhamad Rian Sagita
NIM : 1700022080
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Universitas : Universitas Ahmad Dahlan

menyatakan bahwa skripsi/tugas akhir yang saya tulis dengan judul **“SISTEM GERAK ROBOT RODA EMPAT MENGGUNAKAN PENGENDALI PID BERDASARKAN SENSOR MPU DAN *ROTARY ENCODER*”** merupakan hasil tulisan saya sendiri dan tidak berisi materi yang ditulis orang lain sebagai persyaratan penyelesaian studi di perguruan tinggi kecuali bagian-bagian tertentu yang saya ambil sebagai acuan dengan mengikuti tata cara dan etika penulisan karya tulis ilmiah yang lazim.

Apabila dikemudian hari terbukti bahwa pernyataan ini tidak benar dan terdapat pelanggaran tertentu, maka saya bersedia menerima sanksi yang berlaku.

Yogyakarta, 9 Juni 2024
Penulis,



Muhamad Rian Sagita

MOTTO

Just do your best let God do the rest.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmaanirrahiim, Segala puji bagi Allah S.W.T yang telah memberikan rahmat, hidayah, dan inayah kepada hamba-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi, disertai dengan dukungan dan do'a dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada semua yang telah membantu hingga terselesaikannya skripsi ini, antara lain

- Kedua orang tua tercinta Bapak Harjono dan Ibu ku Ratmilah serta Adik ku tersayang Putri, yang telah memberikan segala hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
- Prof. Dr. Muchlas, M.T. Selaku Rektor Universitas Ahmad Dahlan
- Ibu Prof. Dr. Ir. Siti Jamilatun, M.T selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Ahmad Dahlan
- Bapak Dr. Ir. Riky Dwi Puriyanto, S.T., M.Eng selaku Kepala Program Studi Teknik Elektro Universitas Ahmad Dahlan.
- Dosen pssembimbing akademik bapak Prof. Ir. Tole Sutikno, S.T., M.T., Ph.D., IPM., ASEAN Eng yang telah memberikan nasihat dan motivasinya.
- Dosen pembimbing skripsi bapak Ir. Alfian Ma'arif, S.T., M.Eng yang selalu memberikan dukungan dalam menyelesaikan skripsi ini.
- Bapak Nuryono Satya Widodo, S.T., M.Eng selaku pembimbing Tim Robot Universitas Ahmad Dahlan.
- Bapak Ir. Phisca Aditya Rosyady, S.Si., M.Sc selaku pembimbing Tim Robot KRAI Universitas Ahmad Dahlan.
- Tim Robot Universitas Ahmad Dahlan yang selalu memberikan semangat dan dukungan khususnya Tim KRAI UAD SAGOTRA, Dody, Iffah, Irfan, Ali, Dea dan yang lain.
- Teman teman equality.
- Dan kepada semua pihak yang ikut terlibat dan membantu penulis yang tidak dapat disebutkan satu persatu

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum. Wr. Wb.

Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan segala rahmat dan berkahNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“SISTEM GERAK ROBOT RODA EMPAT MENGGUNAKAN PENGENDALI PID BERDASARKAN SENSOR MPU DAN *ROTARY ENCODER*”**. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu dari sebagian persyaratan untuk mencapai derajat Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Ahmad Dahlan. Selama pengerjaan skripsi ini, penulis juga ingin mengucapkan terimakasih kepada seluruh dosen Teknik Elektro Universitas Ahmad Dahlan, yang telah memberikan ilmu dan pengalaman yang berharga. Selain itu penulis juga berterimakasih kepada kedua orang tua, adik, dan teman – teman di Tim KRAI yang telah memberikan dukungan moril dan materil selama pengerjaan dan penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dan jauh dari sempurna, karena kesempurnaan hanya milik Allah S.W.T, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk menyempurnakan skripsi ini. Penulisa berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi dunia ilmu pengetahuan terutama pada bidang robotika. Semoga Allah S.W.T memberikan keberkahan atas segala usaha kita.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, 9 Juni 2024

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN AKSES	v
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	vi
MOTTO	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LISTING	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
INTISARI	xix
ABSTRACT	xx
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Identifikasi Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Rumusan Masalah	3
1.5 Tujuan Penelitian.....	4
1.6 Manfaat Penelitian.....	4
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 Kajian Hasil Penelitian Terdahulu	5

2.2	Kerangka Teori.....	8
2.2.1	Holonomic Robot.....	8
2.2.2	Kinematika Robot	9
2.2.3	Teori Pendukung <i>Odometry</i>	11
2.2.4	Kendali PID.....	14
2.2.5	Perancangan <i>Hardware</i>	23
BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN.....	37
3.1.	Subjek Penelitian.....	37
3.2.	Bahan Penelitian.....	38
3.3.	Alat Penelitian	38
3.4.	Perancangan Sistem.....	39
3.4.1.	Perancangan Mekanik (<i>Hardware</i>)	41
3.4.2.	Perancangan Elektronis Robot	46
3.4.3.	Perancangan Perangkat Lunak	49
3.4.4.	Diagram Blok Sistem Kendali Robot.....	50
3.4.5.	Diagram Alir Program.....	51
3.4.6.	Implementasi Perangkat Lunak.....	52
3.5.	Pengujian Sistem	62
3.5.1.	Pengujian Sistem <i>Hardware</i>	62
3.5.2.	Pengujian Sistem <i>Software</i>	63
3.5.3.	Pengujian Sensor MPU6050	63
3.5.4.	Pengujian Rotary Encoder.....	63
3.5.5.	Pengujian Kendali PID.....	63
3.5.6.	Pengujian Kinematika Robot	64
3.5.7.	Pengujian <i>Odometry</i>	64

3.5.8. Pengujian Gerak Robot Dengan Pola.....	64
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	65
4.1. Pengujian <i>Hardware</i>	65
4.2. Pengujian Sensor <i>Rotary Encoder</i>	66
4.3. Pengujian Sensor MPU6050	67
4.4. Pengujian Kendali PID Motor	69
4.4.1. Pengujian Tuning Pertama	69
4.4.2. Pengujian Tuning Kedua	70
4.4.3. Pengujian Tuning Ketiga.....	72
4.5. Pengujian Kinematika Robot.....	74
4.6. Pengujian <i>Odometry</i> Robot	77
4.7. Pengujian Gerak Robot Dengan Pola Tertentu	81
4.8. Analisis Pengujian Yang Telah dilakukan Secara Keseluruhan.....	84
BAB 5 PENUTUP.....	86
5.1 Kesimpulan.....	86
5.2 Saran	87
DAFTAR PUSTAKA.....	88
LAMPIRAN.....	92

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Robot <i>omnidirectional</i> dengan empat roda (Rotondo et al., 2015).....	8
Gambar 2.2 Konfigurasi robot menggunakan empat buah roda	10
Gambar 2.3 Ilustrasi posisi robot pada sumbu Kartesian sistem <i>odometry</i>	12
Gambar 2.4 Penempatan <i>Rotary Encoder External</i>	13
Gambar 2.5 Diagram blok kendali PID	14
Gambar 2.6 Contoh sistem kendali <i>loop</i> tertutup.....	17
Gambar 2.7 Grafik Pengendali <i>proportional</i>	19
Gambar 2.8 Grafik Pengendali Integral	20
Gambar 2.9 Grafik Pengendali <i>Derivative</i> (Elbani, 2010).....	22
Gambar 2.10 STM32F103C8T6 Robotdyn.....	24
Gambar 2.11 Pinout STM32F103C8T6 Robotdyn	25
Gambar 2.12 Motor DC seri PG45	27
Gambar 2.13 <i>Driver</i> BTS 7960 43A.....	28
Gambar 2.14 <i>Omnidirectional Wheel</i>	30
Gambar 2.15 Baterai Li-Po	31
Gambar 2.16 Regulator LM2596	32
Gambar 2.17 Konstruksi <i>rotary encoder</i>	33
Gambar 2.18 Konstruksi <i>rotary encoder</i>	33
Gambar 2.19 Output <i>Incremental rotary encoder</i>	34
Gambar 2.20 MPU-6050	36
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	40
Gambar 3.2 Diagram Blok	41

Gambar 3.3 Keseluruhan desain <i>Omnidirectional Wheel Robot</i>	42
Gambar 3.4 Bagian keseluruhan robot.....	43
Gambar 3.5 Bagian elektronis Robot	44
Gambar 3.6 Kontroler Akuisisi Data	44
Gambar 3.7 Motor DC dan <i>omniwheel</i> yang telah terpasang pada <i>frame</i>	45
Gambar 3.8 <i>Rotary Encoder External</i>	45
Gambar 3.9 <i>Schematic Electrical Control Unit Robot</i>	46
Gambar 3.10 <i>Layout Board STM32 Master</i>	47
Gambar 3.11 <i>Layout Board STM32 Slave</i>	48
Gambar 3.12 <i>Schematic ESP32 NRF24L01</i>	48
Gambar 3.13 <i>Layout Board ESP32 NRF24L01</i>	49
Gambar 3.14 Diagram blok sistem kendali robot	50
Gambar 3.15 Diagram alir program	51
Gambar 4.1 Pengujian Tegangan Motor	65
Gambar 4.2 Grafik Pengujian Motor	67
Gambar 4.3 Pengujian Sensor MPU6050	68
Gambar 4.4 Grafik pengujian tuning pertama	69
Gambar 4.5 Grafik pengujian <i>Tuning</i> kedua.....	71
Gambar 4.6 Grafik pengujian <i>Tuning</i> ketiga	73
Gambar 4.7 Grafik pengujian pada sumbu x	75
Gambar 4.8 Grafik pengujian pada sumbu x	76
Gambar 4.9 Hasil pengujian <i>odometry</i> ($x = 200, y = 0$)......	77
Gambar 4.10 Hasil pengujian <i>odometry</i> ($x = 0, y = 200$)......	79

Gambar 4.11 Hasil pengujian <i>odometry</i> ($x = 150, y = 150$).....	80
Gambar 4.12 Hasil pengujian pola persegi panjang	82
Gambar 4.13 Hasil pengujian pola segitiga	83
Gambar 4.14 Hasil pengujian pola dua segitiga	84

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Simbol dan Keterangan.....	11
Tabel 2.2 Parameter kerja dari nilai Kp, Ki dan Kd.....	15
Tabel 2.3 <i>Datasheet</i> Motor DC seri PG45.....	27
Tabel 4.1 Hasil pengujian Driver Motor.....	66
Tabel 4.2 Hasil pengujian <i>rotary encoder</i> Motor.....	67
Tabel 4.3 Hasil pengujian Sensor MPU6050.....	68
Tabel 4.4 Hasil pengujian Tuning Pertama.....	70
Tabel 4.5 Hasil pengujian <i>Tuning</i> Kedua.....	72
Tabel 4.6 Hasil pengujian <i>Tuning</i> ketiga	74
Tabel 4.7 Hasil pengujian kecepatan roda pada sumbu x	75
Tabel 4.8 Hasil pengujian kecepatan motor pada sumbu y	76
Tabel 4.9 Hasil pengujian <i>odometry</i> ($x = 200, y = 0$).....	78
Tabel 4.10 Hasil pengujian <i>odometry</i> ($x = 0, y = 200$).....	80
Tabel 4.11 Hasil pengujian <i>odometry</i> ($x = 150, y = 150$).....	81
Tabel 4.12 Hasil pengujian persegi panjang	82
Tabel 4.13 Hasil pengujian pola segitiga	83
Tabel 4.14 Hasil pengujian pola dua segitiga	84

DAFTAR LISTING

Listing 3.1 Inisialisasi pin <i>encoder</i> a dan pin <i>encoder</i> b	52
Listing 3.2 Program mengaktifkan pin <i>Interrupt</i>	53
Listing 3.3 Program fungsi <i>external interruption</i>	54
Listing 3.4 Program untuk mengaktifkan fungsi <i>Interrupt Service Routine</i>	55
Listing 3.5 Program untuk menghitung jarak	56
Listing 3.6 Program membaca jarak	56
Listing 3.7 Pembacaan oleh sensor MPU6050	57
Listing 3.8 Prograam PID MPU6050	58
Listing 3.9 Insialisasi dan fungsi Motor DC	59
Listing 3.10 Program Kendali PID Motor	60
Listing 3.11 Program <i>Inverse Kinematic</i> roda empat	61
Listing 3.12 Potongan program <i>odometry</i> pada robot	62

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Proses pengambilan data menggunakan Matlab 2018a.....	93
Lampiran 2 Program Robot STM32 <i>Master</i>	103
Lampiran 3 Program Robot STM32 <i>Slave</i>	112
Lampiran 4 Desain 3 Dimensi Robot <i>SolidWorks</i>	124
Lampiran 5 Foto Robot	125

Sistem Gerak Robot Roda Empat Menggunakan Pengendali Pid Berdasarkan Sensor MPU dan *Rotary Encoder*

Muhamad Rian Sagita (1700022080)

Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Ahmad Dahlan

INTISARI

Salah satu tantangan yang dihadapi dalam pembuatan dan pengembangan robot yang menggunakan roda adalah sistem geraknya. Penelitian ini mengembangkan sistem gerak robot beroda empat dengan *omnidirectional wheel* yang dikonfigurasi dengan penampatan sudut 45 derajat sehingga membentuk pola “X” agar Robot dapat bergerak ke segala arah tanpa mengubah orientasi hadapnya, atau disebut juga *holonomic*.

Untuk memaksimalkan pergerakan yang dihasilkan oleh robot maka di terapkan kinematika balik (*inverse kinematic*) untuk menentukan kecepatan sudut masing – masing roda, kontrol PID digunakan untuk mempertahankan kecepatan masing – masing motor penggerak, dan metode *odometry* diterapkan untuk mengatur dan mengetahui posisi robot dengan memberikan koordinat titik awal (X,Y,θ) dan koordiat tujuan (X,Y,θ) . Pada perancangan elektronis, robot menggunakan catu daya sebesar 12 Volt dua buah mikrokontroler STM32F103C, dengan sensor MPU6050 sebagai acuan untuk arah hadap robot, dan sensor *optical incremental rotary encoder* untuk mengetahui posisi aktual robot.

Nilai parameter PID terbaik yang didapatkan dari hasil *trial* dan *error* adalah $k_p = 0.65$, $k_i = 1.83$, $k_d = 0.3$, karena menghasilkan *rise-time* 1.0 detik, *overshoot* 7.36% dan *steady-state error* -0.5 rpm. Dari pengujian metode *odometry* untuk membuat robot bergerak lurus pada sumbu x dengan mempertahankan arah hadap robot atau $\theta = 0^\circ$, menghasilkan nilai error pada sumbu x -0.1 cm dan pada sumbu y -1.8 dan arah hadap robot 0.78° .

Kata kunci: Sistem gerak robot beroda empat, Robot beroda *omnidirectional*, *Inverse Kinematic*, *Odometry*

Motion System of a Four-Wheeled Robot Using a PID Controller Based on MPU and Rotary Encoder Sensors

Muhamad Rian Sagita (1700022080)

Electrical Engineering Faculty of Industrial Technology Universitas Ahmad Dahlan

ABSTRACT

One of the challenges in developing wheeled robots is their motion system. This research develops a motion system for a four-wheeled robot with omnidirectional wheels configured at a 45-degree angle, allowing holonomic movement.

To maximize robot movement, inverse kinematics is applied to determine each wheel's angular velocity. PID control is used to maintain motor speed, and odometry is implemented to manage and determine the robot's position by providing initial and target coordinates. The robot uses a 12-volt power supply, two STM32F103C microcontrollers, an MPU6050 sensor for orientation, and optical incremental rotary encoders for position determination.

The robot moves using inverse kinematics to control wheel rotation direction and speed on the x and y coordinates with an optimal PID control at $k_P = 0.8$, $k_I = 1.0$, $k_D = 0.08$, resulting in a rise time of 0.95 seconds, overshoot of 7.36%, and a steady-state error of -0.5 RPM at a set point of 350 RPM. The robot optimizes its movement towards specific coordinates using odometry from the rotary encoder sensor and the MPU6050 sensor, with an average error of 1.2% on the x-axis and 1.6% on the y-axis for the rectangular pattern, 2.1% on the x-axis and 2.2% on the y-axis for the zig-zag pattern, and 1.75% on the x-axis and 1.15% on the y-axis for the triangular pattern. The robot maintains its orientation using the MPU6050 sensor with an average error of 0.65% for the triangular pattern and 0.85% for the rectangular pattern. By using inverse kinematics, PID control, rotary encoder sensor, and MPU6050 sensor, the robot successfully follows predetermined reference coordinates.

Keywords: Four-wheeled robot motion system, Omnidirectional wheeled robot, Inverse Kinematics, Odometry