



**RANCANG BANGUN SISTEM NAVIGASI ROBOT MOBILE
DENGAN PENGAMBILAN KEPUTUSAN BERBASIS
REINFORCEMENT LEARNING PADA LINGKUNGAN
MULTIJALUR MENGGUNAKAN ALGORITMA *Q-LEARNING***

LAPORAN TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat menyelesaikan pendidikan pada
Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Otomasi
Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi
Universitas Diponegoro

Oleh :

Aura Damayanti
400403226050062

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNOLOGI REKAYASA OTOMASI
DEPARTEMEN TEKNOLOGI INDUSTRI SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2026**

HALAMAN PERSETUJUAN LAPORAN TUGAS AKHIR

Rancang Bangun Sistem Navigasi Robot Mobile dengan Pengambilan Keputusan Berbasis *Reinforcement learning* pada Lingkungan Multijalur Menggunakan Algoritma *Q-Learning*

Diajukan oleh :
Aura Damayanti
40040322650062

TELAH DISETUJUI DAN DITERIMA DENGAN BAIK OLEH
DOSEN PEMBIMBING



Aulia Istiqomah SST., M.T.
NIP. 199306122024062002

Semarang, 21 Juli 2026

Mengetahui,

Ketua

Program Studi S.Tr Teknologi Rekayasa Otomasi
Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi
Universitas Diponegoro



Priyo Sasmoko, ST, M.Eng
NIP. 197009161998021001

Semarang, 21 Juli 2026

HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN TUGAS AKHIR

Rancang Bangun Sistem Navigasi Robot Mobile dengan Pengambilan Keputusan Berbasis *Reinforcement learning* pada Lingkungan Multijalur Menggunakan Algoritma *Q-Learning*

Disusun oleh:

Aura Damayanti

NIM 40040322650062

Telah diujikan dan dinyatakan lulus oleh Tim Penguji

21 Juli 2026

Tim penguji,

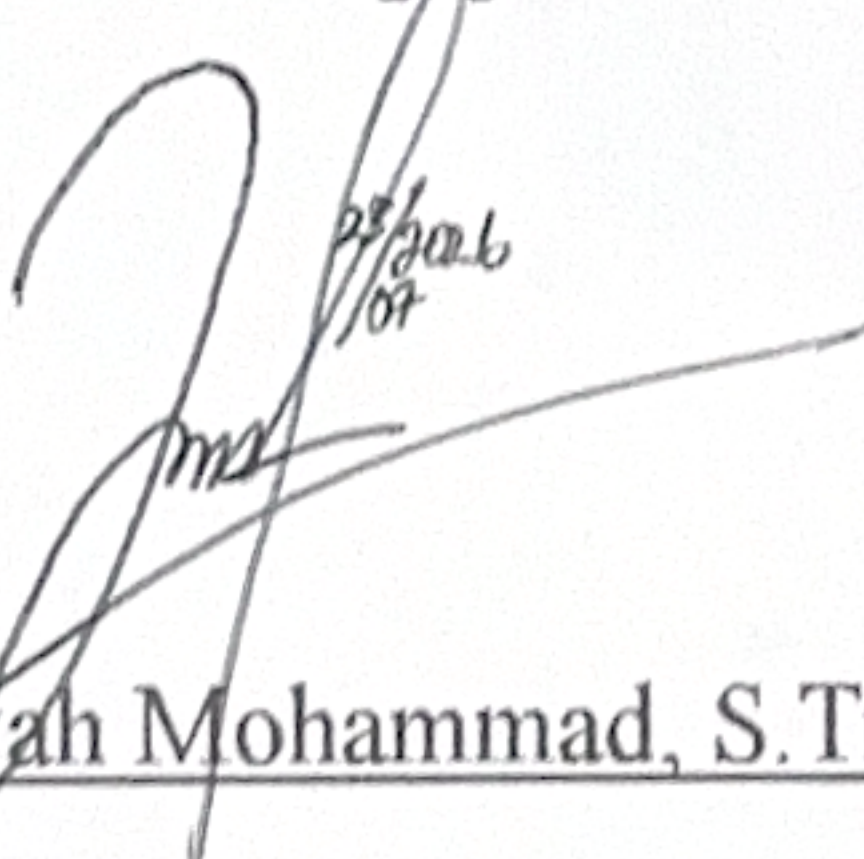
Dosen Pembimbing



Aulia Istiqomah SST., M.T.

NIP. 199306122024062002

Penguji 1



Luthfansyah Mohammad, S.Tr.T., M.T.

NIP. H.7.199609132022041001

Penguji 2



Rofiq Cahyo Prayogo, S.T., M.T.

NIP. 199505292024061001

Mengetahui

Ketua Program Studi S.Tr Teknologi Rekayasa Otomasi

Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi

Universitas Diponegoro



Priyo Sasmoko, S.T., M.Eng

NIP. 197009161998021001

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Nama : Aura Damayanti
NIM : 40040322650062
Program Studi : S.Tr Teknologi Rekayasa Otomasi
Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Sistem Navigasi Robot Mobile
dengan Pengambilan Keputusan Berbasis
Reinforcement learning pada Lingkungan Multijalur
Menggunakan Algoritma *Q-Learning*

Dengan ini menyatakan bahwa dalam tugas akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh derajat keahlian di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka. Apabila di kemudian hari terbukti plagiat dalam tugas akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan Mendiknas RI No 17 Tahun 2010 dan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Semarang 21 Juli 2026

Penulis

Aura Damayanti

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *"Rancang Bangun Sistem Navigasi Robot Mobile dengan Pengambilan Keputusan Berbasis Reinforcement Learning pada Lingkungan Multi Jalur menggunakan Algoritma Q-Learning"*. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis menyadari bahwa penyelesaiannya tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dukungan, dan doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang senantiasa memberikan rahmat, kesehatan, kekuatan, dan kemudahan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Dr. Ir. Budiyo, M.Si. selaku Dekan Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro.
3. Moh. Ridwan, S.T., M.T. selaku Ketua Departemen Teknologi Industri.
4. Priyo Sasmoko, S.T., M.Eng. selaku Ketua Program Studi D-IV Teknologi Rekayasa Otomasi, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro.
5. Aulia Istiqomah, S.ST., M.T. selaku dosen pembimbing yang dengan penuh kesabaran telah membimbing, memberikan arahan, serta kepercayaan kepada penulis selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
6. Seluruh dosen dan tenaga kependidikan Program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro, atas ilmu, bimbingan, dan bantuan yang telah diberikan.
7. Kepada yang teristimewa, kedua orang tua penulis, Ibu Komala dan Bapak Yoyok Budi Setyo, yang hingga detik ini selalu menjadi alasan terbesar bagi penulis untuk terus berjuang. Terima kasih atas segala cinta, dukungan, dan pengorbanan yang telah mengantarkan penulis hingga berada di titik ini. Di balik setiap langkah yang berhasil penulis tempuh, selalu ada doa yang tidak pernah berhenti dipanjatkan, kerja keras yang mungkin tidak pernah penulis lihat sepenuhnya, serta harapan yang terus

Bapak dan Ibu titipkan agar penulis mampu meraih masa depan yang lebih baik. Sebanyak apa pun rasa syukur yang penulis panjatkan, semuanya tidak akan pernah sebanding dengan segala yang telah Bapak dan Ibu berikan. Karya sederhana ini penulis persembahkan sebagai wujud cinta, hormat, dan terima kasih kepada Bapak dan Ibu tercinta.

8. Kepada saudara penulis, Gilang dan Genta, atas segala dukungan moril maupun materil, perhatian, serta semangat yang selalu diberikan kepada penulis selama proses penyusunan tugas akhir ini.
9. Terima kasih kepada Jasmine, Yovita, Afifah, Raisha, Lala, Alena, Jamel, dan Lujeng, yang telah menjadi bagian dari perjalanan hidup penulis jauh sebelum perkuliahan dimulai dan tetap bertahan hingga hari ini meskipun dipisahkan oleh jarak. Terima kasih telah menjadi tempat berbagi cerita, saling menguatkan, dan menemani setiap proses kehidupan. Semoga persahabatan ini senantiasa terjaga.
10. Terima kasih kepada Daffa, Zulham, Desli, Hafidz, dan Aidi, yang telah menjadi teman seperjuangan penulis sejak awal perkuliahan hingga detik ini. Terima kasih atas kebersamaan, dukungan dan bantuan yang telah dilalui bersama. Semoga kita diberikan kemudahan dalam meraih cita-cita.
11. Terima kasih kepada seluruh teman-teman angkatan SATNAYAKA yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu atas kebersamaan dan kenangan yang telah menjadi bagian dari perjalanan perkuliahan penulis. Semoga kita semua diberikan kesuksesan di masa yang akan datang.

Penulis menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini masih kurang sempurna dan banyak kekurangan. Penulis berharap semoga laporan ini dapat memberikan manfaat bagi penulis khususnya dan bagi pembaca serta perkembangan ilmu pengetahuan pada umumnya.

Semarang, 21 Juli 2026

Aura Damayanti

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN LAPORAN TUGAS AKHIR.....	i
HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN TUGAS AKHIR	ii
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
INTISARI	xiv
ABSTRACT	xv
DAFTAR SINGKATAN DAN SIMBOL	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat Tugas Akhir	4
1.5 Pembatasan Masalah.....	4
1.6 Sistematika Tugas Akhir	5
BAB II DASAR TEORI	7
2.1 Tinjauan Pustaka	7
2.2 Mobile Robot dan <i>Automated Guided Vehicle</i> (AGV)	9
2.3 Sistem Navigasi Robot Mobile	11
2.4 Sistem Gerak Robot Differential Drive	12
2.4.1 Konfigurasi Mekanik Differential Drive.....	13
2.4.2 Derajat Kebebasan Robot (<i>Degree of Freedom</i>)	15
2.4.3 Kinematika Robot <i>Differential Drive</i>	16
2.4.4 Gaya dan Torsi pada Robot Mobile.....	18
2.4.5 Pengendalian Kecepatan Motor Menggunakan PWM.....	19
2.5 Sensor pada Sistem Robot Mobile.....	21

2.5.1 Sensor Jarak E18-D80NK	22
2.5.2 MPU6050 (Inertial Measurement Unit)	22
2.5.3 Sensor KY-003 Hall Effect Magnetic	25
2.6 <i>Reinforcement learning</i>	27
2.6.1 Komponen Dasar <i>Reinforcement learning</i>	28
2.6.2 Algoritma Q-Learning	29
2.6.3 Persamaan Update Q-Learning	30
2.6.4 Q-Table	31
2.7 <i>Grid Enviroment</i>	32
2.8 Baterai <i>Lithium Iron Phosphate</i> (LiFePO ₄)	41
2.9 Buck Converter	35
2.10 Mikrokontroler ATmega2560	36
2.11 Raspberry Pi 3 Model B	37
2.12 Motor DC Permanent Magnet Worm Gear	39
2.13 Driver Motor BTS7960	40
BAB III METODE PENELITIAN	43
3.1 Blok Diagram Sistem	43
3.2 Diagram Alir Sistem	45
3.3 Gambar Konsep 3D Alat	46
3.4 Spesifikasi dan Fitur Alat	49
3.5 Teknik Fabrikasi	50
3.5.1 Perancangan Elektrikal	50
3.5.2 Perancangan Wiring	51
3.5.3 Perancangan Pemrogramman	53
3.5.4 Perancangan Mekanikal	58
3.6 Perancangan Sistem Navigasi	64
3.6.1 Model Grid Environment	64
3.6.2 Penentuan State, <i>Action</i> , <i>Reward</i>	66
3.6.3 Implementasi Algoritma Q-Learning	69

3.7 <i>Training</i> dan Simulasi <i>Reinforcement learning</i>	74
3.7.1 Parameter <i>Training</i>	75
3.8 Implementasi <i>Hardware</i>	76
3.8.1 Lingkungan dan Arsitektur Sistem	77
3.8.2 Integrasi Sensor dan State <i>Reinforcement learning</i>	79
3.8.3 Implementasi pada Robot Nyata	81
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA.....	82
4.1 Pengujian Kinerja Algoritma <i>Q-Learning</i>	82
4.1.1 Pengaruh Parameter Algoritma <i>Q-Learning</i>	82
4.1.2 Pengaruh Jumlah Episode <i>Training</i>	85
4.1.3 Analisis Proses Pembelajaran Algoritma	88
4.1.4 Analisis <i>Policy</i> Hasil Pembelajaran	91
4.2 Pengujian Sensor.....	92
4.2.1 Pengujian Hall Effect Encoder	93
4.2.2 Pengujian IMU (Inertial Measurement Unit).....	97
4.2.3 Pengujian Sensor Proximity	106
4.3 Pengujian Pembentukan State Robot Mobile	109
4.3.1 Pembentukan Posisi dan Orientasi Robot	110
4.3.2 Pembentukan State	111
4.3.3 Pengujian Sinkronisasi State	112
4.4 Pengujian Navigasi Robot Mobile.....	115
4.4.1 Pengujian Navigasi Berdasarkan <i>Policy</i>	116
4.4.2 Pengujian Kesesuaian Posisi Robot terhadap Target Navigasi	119
4.5 Pengujian Respon Robot terhadap Obstacle	132
BAB V PENUTUP	135
5.1 Kesimpulan	135
5.2 Saran	136
DAFTAR PUSTAKA.....	137
LAMPIRAN.....	142

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 State of the art.....	7
Tabel 2.2 Parameter geometri sistem differential drive.....	15
Tabel 2.3 Jenis Pergerakan Robot Differential Drive	18
Tabel 2.4 Spesifikasi Sensor E18-D80NK [24].....	22
Tabel 2.5 Spesifikasi Sensor MPU6050 [25].....	23
Tabel 2.6 Diskritisasi Arah Berdasarkan Sudut	23
Tabel 2.7 Spesifikasi Sensor KY-003 Hall Effect Magnetic [27].....	26
Tabel 2.8 Struktur Q-Table	32
Tabel 2.9 Spesifikasi Buck Converter [33].....	35
Tabel 2.10 Spesifikasi Arduino Atmega2560 [35].....	36
Tabel 2.11 Spesifikasi Raspberry PI 3 Model B [35]	38
Tabel 2.12 Spesifikasi Motor DC 5840-31ZY [38]	39
Tabel 2.12 Spesifikasi Driver Motor BTS7960 [39]	40
Tabel 2.14 Spesifikasi Baterai Lithium Iron Phosphate [40].....	41
Tabel 3.1 Spesifikasi Alat	49
Tabel 3.2 Kebutuhan Tegangan dan Arus Alat	51
Tabel 3.3 Konfigurasi Pin	52
Tabel 3.4 Dimensi Rangka Robot.....	59
Tabel 3.5 Parameter Fisik Robot	60
Tabel 3.6 Karakteristik Pergerakan Robot.....	60
Tabel 3.7 Massa Komponen	61
Tabel 3.8 Pengaturan PWM Motor.....	63
Tabel 3.9 Aksi Robot.....	67
Tabel 3.10 Nilai <i>Reward Training</i>	68
Tabel 3.11 Data Langkah 1 (Episode 1)	71
Tabel 3.12 Data Langkah 2 (Episode 1)	71
Tabel 3.13 Data Langkah 3 (Episode 1)	72
Tabel 3.14 Data Langkah 4 (Episode 1)	72
Tabel 3.15 Data Langkah 4 (Episode 1)	72
Tabel 3.16 Data Langkah 1 (Episode 2)	73

Tabel 3.17 Data Langkah 4 (Episode 1)	73
Tabel 3.18 Parameter <i>Training Reinforcement learning</i>	76
Tabel 3.19 Fungsi Komponen pada Penerapan Nyata	78
Tabel 3.20 Hubungan Sensor dan Parameter State	79
Tabel 3.21 Contoh Q-Table	80
Tabel 4.1. Parameter tetap	83
Tabel 4.2. Pengaruh Learning Rate (α) terhadap Kinerja Algoritma Q-Learning	83
Tabel 4.3. Pengaruh Discount Factor (γ) terhadap Kinerja Algoritma Q-Learning	83
Tabel 4.4. Pengaruh Epsilon Decay terhadap Kinerja Algoritma Q-Learning	84
Tabel 4.5. Hasil Pengujian Episode	86
Tabel 4.6. Hasil Evaluasi <i>Training</i> Algoritma Q-Learning	89
Tabel 4.7. Hasil Pengujian Hall Effect Encoder <i>Forward</i>	94
Tabel 4.8. Hasil Pengujian Tick Hall Effect Encoder	95
Tabel 4.9. Hasil Pengujian Heading <i>Forward</i> Robot	98
Tabel 4.10. Hasil Pengujian Heading <i>Right</i> Robot	102
Tabel 4.11. Hasil Pengujian Heading <i>Left</i> Robot	103
Tabel 4.12. Hasil Pengujian Proximity	107
Tabel 4.13. Hasil Pembentukan Posisi dan Orientasi Robot	110
Tabel 4.14. Hasil Pembentukan State	111
Tabel 4.15. Pengujian Sinkronisasi State antara Raspberry Pi dan ATmega2560	112
Tabel 4.16. Hasil Navigasi Berdasarkan <i>Policy Goal A</i>	117
Tabel 4.17. Hasil Navigasi Berdasarkan <i>Policy Goal B</i>	117
Tabel 4.18. Hasil Navigasi Berdasarkan <i>Policy Goal C</i>	118
Tabel 4.19. Perbandingan Data Sensor dan Hasil Aktual <i>Trial 1 Goal A</i>	120
Tabel 4.20. Perbandingan Data Sensor dan Hasil Aktual <i>Trial 2 Goal A</i>	122
Tabel 4.21. Perbandingan Data Sensor dan Hasil Aktual <i>Trial 1 Goal B</i>	124
Tabel 4.22. Perbandingan Data Sensor dan Hasil Aktual <i>Trial 2 Goal B</i>	126
Tabel 4.23. Perbandingan Data Sensor dan Hasil Aktual <i>Trial 1 Goal C</i>	128
Tabel 4.24. Perbandingan Data Sensor dan Hasil Aktual <i>Trial 2 Goal C</i>	130

Tabel 4.25. Hasil Pengujian Terhadap Obstacle	133
--	-----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 AMR dan AGV [16]	10
Gambar 2.2 Perbedaan Navigasi jalur dan otonom [17]	12
Gambar 2.3 Sistem penggerak differential drive [19]	13
Gambar 2.4 Roda Penyeimbang	14
Gambar 2.5 Roda Penggerak	15
Gambar 2.6 Sistem koordinat roda robot mobile[20]	16
Gambar 2.7 Sinyal PWM [23]	21
Gambar 2.8 Sensor MPU6050 [26]	24
Gambar 2.9 Sensor KY-003 Hall Effect Magnetic [27]	25
Gambar 2.10 Konsep dasar <i>Reinforcement learning</i> [28]	28
Gambar 2.11 Konsep dasar <i>Q-Learning</i> [30]	30
Gambar 2.12 Diagram Alir Q-Table	32
Gambar 2.13 Representasi Grid Environment Navigasi Robot.....	34
Gambar 2.15 Buck Converter [34]	36
Gambar 2.16 Arduino Mega 2560 [36]	37
Gambar 2.17 Rasberry PI 3 Model B [37].....	38
Gambar 2.18 Motor DC Permanent Magnet Worm Gear 5840-31Zy [38]	39
Gambar 2.19 Driver Motor BTS7960 [39]	41
Gambar 2.14 Baterai Lithium Iron Phosphate (LiFePO ₄)	42
 Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem.....	 43
Gambar 3.2 Diagram Alir Sistem	45
Gambar 3.3 Konsep 3D Alat.....	47
Gambar 3.4 3D Komponen Mekanik	48
Gambar 3.5 Diagram Wiring Elektrikal	52
Gambar 3.6 Dimensi Rangka Robot.....	59
Gambar 3.7 Panel Box Sistem	65
Gambar 3.8 Koordinat Grid.....	66
Gambar 3.9 Flowchart Algoritma <i>Q-Learning</i>	70

Gambar 3.10 Diagram Alir <i>Training Reinforcement learning</i>	75
Gambar 3.11 3D Lingkungan Warehouse.....	77
Gambar 3. 12 Layout Warehouse	78
Gambar 4.1. Hasil Testing 5 Episode Goal A.....	87
Gambar 4.2. Hasil Testing 5 Episode Goal B.....	87
Gambar 4.3. Hasil Testing 5 Episode Goal C.....	87
Gambar 4.4. Grafik Reward terhadap Episode.....	88
Gambar 4.5. Grafik Step terhadap Episode	89
Gambar 4.6. <i>Policy Map Goal B</i>	91
Gambar 4.7. <i>Policy Map Goal B</i>	91
Gambar 4.8. <i>Policy Map Goal C</i>	92
Gambar 4.9. Pengukuran Diameter Roda Robot	93
Gambar 4.10. Pemasangan Magnet pada Roda Robot	94
Gambar 4.11. Konfigurasi Magnet pada Roda Robot	94
Gambar 4.12. Pembacaan Tick Hall Effect Encoder	94
Gambar 4.13. Pengukuran Jarak Perpindahan Robot Menggunakan Meteran....	95
Gambar 4.14. Pemasangan Modul MPU6050	98
Gambar 4.15. Proses Kalibrasi MPU6050.....	98
Gambar 4.16. Grafik Heading IMU Saat Robot Lurus.....	100
Gambar 4.17. Pengujian Robot Bergerak Lurus Menggunakan Kompas	101
Gambar 4.18. Pengujian Belok Kanan Menggunakan Kompas	103
Gambar 4.19. Pengujian Belok Kiri Menggunakan Kompas	105
Gambar 4.20. Pemasangan Sensor Proximity pada Robot	107
Gambar 4.21. (a) Obstacle pada jarak 10 cm, (b) obstacle pada jarak 35 cm, (c) obstacle pada jarak 50 cm, dan (d) obstacle pada jarak 55 cm.	108
Gambar 4.22. (a) Diluar Jangkauan Sensor (b) Dalam Jangkauan Sensor.....	109
Gambar 4.23. Log Raspberry Pi	114
Gambar 4.24. Visualisasi Policy Hasil <i>Training Menuju Goal A</i>	115
Gambar 4.25. Visualisasi Policy Hasil <i>Training Menuju Goal B</i>	115
Gambar 4.26. Visualisasi Policy Hasil <i>Training Menuju Goal C</i>	116
Gambar 4.27. Robot Berhasil Mencapai <i>Goal A Trial 1</i>	120

Gambar 4.28. Grafik Heading (Yaw) <i>Trial 1 Goal A</i>	121
Gambar 4.29. Grafik Heading (Yaw) <i>Trial 1 Goal A</i>	121
Gambar 4.30. Robot Mencapai <i>Goal A Trial 2</i>	122
Gambar 4.31. Grafik Heading (Yaw) <i>Trial 1 Goal A</i>	123
Gambar 4.32. Grafik Heading (Yaw) <i>Trial 1 Goal A</i>	123
Gambar 4.33. Robot Mencapai <i>Goal B Trial 1</i>	124
Gambar 4.34. Grafik Heading <i>Trial 1 Goal B</i>	125
Gambar 4.35. Grafik Tick <i>Trial 1 Goal B</i>	125
Gambar 4.36. Robot Mencapai <i>Goal B Trial 2</i>	126
Gambar 4.37. Grafik Heading <i>Trial 2 Goal B</i>	127
Gambar 4.38. Grafik Heading <i>Trial 2 Goal B</i>	127
Gambar 4.39. Robot Berhasil Mencapai <i>Goal C Trial 1</i>	128
Gambar 4.40. Grafik Heading <i>Trial 1 Goal C</i>	129
Gambar 4.41. Grafik Tick <i>Trial 1 Goal C</i>	129
Gambar 4.42. Robot Berhasil Mencapai <i>Goal C Trial 2</i>	130
Gambar 4.43. Grafik Heading <i>Trial 2 Goal C</i>	131
Gambar 4.44. Grafik Tick <i>Trial 2 Goal C</i>	131
Gambar 4.45. Obstacle Terdeteksi.....	133
Gambar 4.46. Obstacle Tidak Terdeteksi.....	133

INTISARI

Rancang Bangun Sistem Navigasi Robot Mobile dengan Pengambilan Keputusan Berbasis *Reinforcement learning* pada Lingkungan Multijalur Menggunakan Algoritma *Q-Learning*

Aura Damayanti

Teknologi Rekayasa Otomasi, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro

Perkembangan otomasi industri meningkatkan kebutuhan robot mobile yang mampu melakukan navigasi secara mandiri tanpa bergantung pada garis pandu fisik. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menghasilkan keputusan navigasi adalah Reinforcement Learning menggunakan algoritma Q-Learning. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem navigasi robot mobile berbasis *Q-Learning* serta mengevaluasi implementasi *policy* hasil pembelajaran pada robot nyata. Proses pelatihan dilakukan pada lingkungan simulasi berbentuk *grid* berukuran 7×5 dengan representasi *state*, *action*, dan *reward* yang dibangun berdasarkan posisi robot, orientasi dari sensor MPU6050, dan tujuan navigasi, sedangkan sensor proximity digunakan sebagai *safety layer* untuk menghentikan robot ketika mendeteksi halangan. *Policy* yang dihasilkan kemudian diimplementasikan pada robot mobile berbasis Raspberry Pi 3 Model B sebagai pengendali tingkat tinggi dan Arduino Mega 2560 Pro sebagai pengendali aktuator. Hasil pelatihan menunjukkan bahwa algoritma *Q-Learning* berhasil mencapai konvergensi setelah 1000 episode dengan *reward* maksimum sebesar 338 dan jumlah langkah minimum sebanyak 29 langkah. Pengujian Hall Effect Encoder menghasilkan rata-rata *encoder estimation error* sebesar 3,57%, sedangkan sistem menghasilkan *endpoint motion error* sebesar 1,30% terhadap target perpindahan satu grid, sedangkan pengujian MPU6050 memperoleh nilai *Mean Absolute Error* (MAE) heading sebesar $0,86^\circ$. Hasil implementasi menunjukkan bahwa robot mampu menjalankan *policy* sesuai *Q-Table* dan berhasil mencapai seluruh tujuan pengujian. Meskipun masih terdapat sedikit penyimpangan posisi akibat fluktuasi pembacaan heading selama navigasi, hasil penelitian membuktikan bahwa algoritma *Q-Learning* dapat diterapkan sebagai metode pengambilan keputusan navigasi pada robot mobile di lingkungan terstruktur.

Kata Kunci: Robot Mobile, *Reinforcement learning*, *Q-Learning*, Navigasi Robot, Hall Effect Encoder, MPU6050.

ABSTRACT

Design and Development of a Mobile Robot Navigation System with Reinforcement learning-Based Decision Making in a Multi-Path Environment Using the Q-Learning Algorithm

Aura Damayanti

Teknologi Rekayasa Otomasi, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro

The rapid advancement of industrial automation has increased the demand for mobile robots capable of autonomous navigation without relying on physical guide lines. One approach that can be employed to generate navigation decisions is Reinforcement Learning based on the Q-Learning algorithm.. This research aims to design and implement a Q-Learning-based mobile robot navigation system and evaluate the implementation of the learned policy on a real mobile robot. The training process was conducted in a 7×5 grid-based simulation environment with state, action, and reward representations constructed based on the robot's position, orientation obtained from the MPU6050 sensor, and navigation goals, while the proximity sensor was employed as a safety layer to stop the robot when obstacles were detected. The resulting policy was then implemented on a mobile robot utilizing a Raspberry Pi 3 Model B as the High-Level Controller and an Arduino Mega 2560 Pro as the actuator controller. The training results showed that the Q-Learning algorithm successfully converged after 1,000 training episodes, achieving a maximum reward of 338 and a minimum of 29 steps. The Hall Effect Encoder test resulted in an average encoder estimation error of 3.57%, while the system achieved an average endpoint motion error of 1.30% relative to the target displacement of one grid., while MPU6050 testing resulted in a heading Mean Absolute Error (MAE) of $0,86^\circ$. The implementation results demonstrated that the robot successfully executed the learned policy according to the Q-table and reached all designated target locations. Although slight positional deviations were observed due to heading measurement fluctuations during navigation, the findings demonstrate that the Q-Learning algorithm can be effectively applied as a navigation decision-making method for mobile robots operating in structured environments.

Kata Kunci: Mobile Robot, Reinforcement learning, Q-Learning, Robot Navigation, Hall Effect Encoder, MPU6050.

DAFTAR SINGKATAN DAN SIMBOL

Singkatan	Keterangan
AGV	<i>Automated Guided Vehicle</i>
RL	<i>Reinforcement learning</i>
IMU	<i>Inertial Measurement Unit</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
DC	<i>Direct Current</i>
I2C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver Transmitter</i>
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
ADC	<i>Analog to Digital Converter</i>
GPIO	<i>General Purpose Input Output</i>
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
RPM	<i>Revolutions Per Minute</i>
PID	<i>Proportional Integral Derivative</i>
EEPROM	<i>Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory</i>

Simbol	Keterangan
x, y	Posisi robot pada bidang koordinat
θ	Orientasi robot
v	Kecepatan linear robot (m/s)
v_R	Kecepatan roda kanan (m/s)
v_L	Kecepatan roda kiri (m/s)
ω	Kecepatan sudut robot (rad/s)
r	Jari-jari roda (m)
L	Jarak antar roda (m)
m	Massa robot (kg)
g	Percepatan gravitasi (m/s ²)

W	Gaya berat (N)
N	Gaya normal (N)
F	Gaya (N)
μ	Koefisien gesek
T	Torsi (Nm)
$Q(s, a)$	Nilai Q pada state dan <i>action</i>
s	State
a	<i>Action</i>
r	<i>Reward</i>
α	<i>Learning</i> rate
γ	Discount factor
ε	Probabilitas eksplorasi
D	Duty cycle PWM
V_{out}	Tegangan output
V_{in}	Tegangan input
