

***REINFORCEMENT LEARNING PADA
MOBILE ROBOT OMNIDIRECTIONAL***

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Strata 1**



OLEH :

**FIKRI AULIA PARLINDUNGAN LUBIS
09011381520065**

**JURUSAN SISTEM KOMPUTER
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2020**

LEMBAR PENGESAHAN

**REINFORCEMENT LEARNING PADA MOBILE ROBOT
OMNIDIRECTIONAL**

TUGAS AKHIR

**Sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
Program Studi Sistem Komputer
Jenjang S1**

Oleh

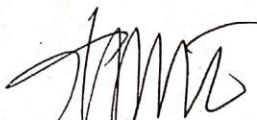
**Fikri Aulia Parlindungan Lubis
09011381520065**


Palembang, Agustus 2020

Mengetahui,

Pembimbing I Tugas Akhir

Pembimbing II Tugas Akhir


Prof. Dr. Ir. Siti Nurmaini, M.T.
NIP. 196908021994012001


Rendvansyah, S.Kom., M.T.
NIP. 198809222016011201

Ketua Jurusan Sistem Komputer


Dr. Ir. H. Sukemi, M.T.
NIP. 196612032006041001

HALAMAN PERSETUJUAN

Telah diuji dan lulus pada :

Hari : Kamis

Tanggal : 30 Juli 2020

Tim Penguji :

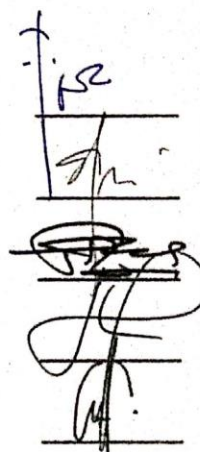
1. Ketua : Firdaus, M.Kom

2. Pembimbing I : Prof. Dr. Ir. Siti Nurmaini, M.T

3. Pembimbing II : Rendyansyah, M.T

4. Penguji I : Huda Ubaya, M.T

5. Penguji II : Ahmad Zarkasi, M.T



Mengetahui,

Ketua Jurusan Sistem Komputer




Dr. Ir. H. Sukemi, M.T.
NIP. 196612032006041001

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Fikri Aulia Parlindungan Lubis

NIM : 09011381520065

Judul : *Reinforcement learning pada mobile robot omnidirectional*

Hasil Pengecekan Software Ithenticate / Turnitin : 9%

Menyatakan bahwa laporan tugas akhir saya merupakan hasil karya sendiri dan bukan hasil penjiplakan atau plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan atau plagiat dalam laporan tugas akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dan universitas Sriwijaya. Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tidak dipaksakan.



Palembang, 12 Agustus 2020



Fikri Aulia Parlindungan Lubis

HALAMAN PERSEMBAHAN

NOW IS A TEST

Tugas Akhir ini kupersembahkan kepada :

- 1. Ibu dan Ayah Tercinta**
- 2. Adik-adikku Tercinta**
- 3. Seluruh Keluarga Besar**
- 4. Sahabat dan Teman-temanku**
- 5. Rekan Seperjuangan Sistem Komputer 2015**
- 6. Keluarga Besar Sistem Komputer**
- 7. Almamater Universitas Sriwijaya**

KATA PENGANTAR



Alhamdulillahirabbil'alamin. Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, atas segala karunia dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Proposal Tugas Akhir ini dengan judul “Reinforcement Learning Pada Mobile Robot Omnidirectional”.

Dalam laporan ini penulis menjelaskan mengenai Navigasi mobile robot omni wheel berbasis reinforcement learning dengan disertai data-data yang diperoleh penulis saat melakukan pelatihan maupun pengujian. Penulis berharap tulisan ini dapat bermanfaat bagi orang banyak, dan menjadi tambahan bahan bacaan bagi yang tertarik meneliti di pemodelan sistem dan Sistem Kendali.

Pada penyusunan laporan ini, penulis banyak mendapatkan ide dan saran serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan rasa syukur kepada Allah SWT dan terimakasih kepada yang terhormat :

1. Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga pelaksanaan kerja praktek dan penulisan laporan kerja praktek ini dapat berjalan dengan lancar.
2. Kedua orang tua beserta keluarga yang selalu mendoakan serta memberikan motivasi dan semangat.
3. Bapak Jaidan Jauhari, S.Pd. M.T selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Dr. Ir. H. Sukemi, M.T. selaku Ketua Jurusan Sistem Komputer Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya.
5. Bapak Ir. Bambang Tutuko, M.T. selaku Pembimbing Akademik di Jurusan Sistem Komputer.
6. Ibu Prof. Dr. Ir. Siti Nurmaini, M.T. selaku Pembimbing Tugas Akhir.
7. Bapak Rendyansyah, S.Kom., M.T. selaku Pembimbing Tugas Akhir.
8. Teman-teman dan semua pihak yang telah membantu.

Penulis menyadari bahwa Laporan ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun agar lebih baik lagi dikemudian hari.

Akhir kata dengan segala keterbatasan, penulis berharap semoga laporan ini menghasilkan sesuatu yang bermanfaat bagi kita semua khususnya bagi mahasiswa Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya secara langsung ataupun tidak langsung sebagai sumbangan pikiran dalam peningkatan mutu pembelajaran.

Palembang, Agustus 2020

Penulis

Fikri Aulia Parlindungan Lubis

NIM. 09011381520065

Reinforcement Learning pada Mobile Robot Omnidirectional

Fikri Aulia Parlindungan Lubis (09011381520065)

Jurusan Sistem Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Sriwijaya

Email : fikriaplubis@gmail.com

Abstrak

Mobile robot mendapatkan perhatian yang meningkat tidak hanya sebagai percobaan untuk membuktikan “kecerdasan” secara teori tetapi juga sebagai komponen penting dari otomasi industri dan komersial. Disetiap *mobile robot*, keterampilan untuk menghindari halangan sangat penting. *Four-wheeled omnidirectional mobile robot* dengan masing-masing roda memiliki penggerak independen dan tujuh buah sensor ultrasonik *HC-SR04* digunakan dalam penelitian ini. Metode *batch reinforcement learning* digunakan dalam memecahkan masalah pencarian kontrol yang optimal pada robot otonom. Algoritma *Neural Fitted Q Iteration* (NFQ) digunakan untuk mengatasi masalah terhadap kebutuhan sampel belajar yang tidak realistis dengan menyimpan dan menggunakan kembali tuple transisi sebelumnya dari sistem dalam setiap iterasi pembelajaran. *Reinforcement learning controller* berbasis jaringan saraf dipelajari dari awal hanya dengan menggunakan data transisi nyata yang dikumpulkan oleh interaksi dengan sistem yang sebenarnya. Sebagai hasil, pada lingkungan tanpa halangan, 20 *episode* interaksi dengan sistem nyata dibutuhkan sampai sistem mampu mengambil keputusan optimal dalam suatu keadaan. Secara keseluruhan, 1844 sampel belajar digunakan untuk pembelajaran, dengan tingkat keberhasilan 91%. Kemudian, pada lingkungan halangan koridor, 50 *episode* interaksi dengan sistem nyata dibutuhkan sampai sistem mampu mengambil keputusan optimal dalam suatu keadaan. Secara keseluruhan, 5566 sampel belajar digunakan untuk pembelajaran, dengan tingkat keberhasilan 86.4%. Dan pada lingkungan halangan kompleks, 60 *episode* interaksi dengan sistem nyata dibutuhkan sampai sistem mampu mengambil keputusan optimal dalam suatu keadaan. Secara keseluruhan, 4268 sampel belajar digunakan untuk pembelajaran, dengan tingkat keberhasilan 78.8%.

Kata Kunci : *Learning mobile robot, Autonomous learning robot, Batch reinforcement learning.*

Reinforcement Learning on Omnidirectional Mobile Robots

Fikri Aulia Parlindungan Lubis (09011381520065)
*Computer Engineering Department, Computer Science Faculty,
Sriwijaya University
Email : fikriaplubis@gmail.com*

Abstract

Mobile robots are gaining increasing attention not only as an experiment to prove "intelligence" in theory but also as an essential component of industrial and commercial automation. In every mobile robot, obstacle avoidance skills are very important. Four-wheeled omnidirectional mobile robot with each wheel having independent drive and seven HC-SR04 ultrasonic sensors were used in this study. Batch reinforcement learning method is used in solving the search for optimal control problems in autonomous robots. The Neural Fitted Q Iteration (NFQ) algorithm is used to solve the problem of unrealistic learning sample requirements by storing and reusing tuples of previous transitions from the system in each learning iteration. Neural network-based reinforcement learning controllers are learned from scratch using only real transition data collected by interactions with real systems. As a result, in an unobstructed environment, 20 episodes of interaction with the real system are required until the system is able to make optimal decisions in a given situation. Overall, 1844 learning samples were used for learning, with a success rate of 91%. Then, in a corridor barrier environment, 50 episodes of interaction with the real system are required until the system is able to make optimal decisions in a given situation. Overall, 5566 learning samples were used for learning, with a success rate of 86.4%. And in a complex obstacle environment, 60 episodes of interaction with the real system are needed until the system is able to make optimal decisions in a given situation. Overall, 4268 learning samples were used for learning, with a success rate of 78.8%.

Keywords : *Learning mobile robot, Autonomous learning robot, Batch reinforcement learning.*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	vi
Abstrak.....	viii
<i>Abstract</i>	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xxi
DAFTAR LAMPIRAN	
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan dan Manfaat	2
1.2.1 Tujuan	2
1.2.2 Manfaat	2
1.3 Rumusan dan Batasan Masalah.....	3
1.3.1 Rumusan Masalah.....	3
1.3.2 Batasan Masalah.....	3
1.4 Metodologi Penelitian.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	4

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pendahuluan	5
2.2 Mobilitas Robot	5
2.3 Dejarat Kebebasan Gerak (<i>Degress of Freedom</i>)	5
2.4 Holonomic dan Non-Holonomic	6
2.5 Sistem Gerak Omnidirectional.....	7
2.6 Desain Roda Omnidirectional	7
2.6.1 Desain Roda Konvensional	8
2.6.2 Desain roda Khusus	8
2.7 Omnidirectional Mobile Robot	10
2.8 Machine Learning	12
2.8.1 Supervised Learning	12
2.8.2 Unsupervised Learning	13
2.8.3 Reinforcement Learning	13
2.9 Q-Learning	16
2.9.1 Algoritma Q-Learning	17
2.9.2 Eksplorasi atau Eksploitasi	18
2.10 Batch Reinforcement Learning	20
2.11 Neural Fitted Q Iteration (NFQ)	22
2.11.1 Algoritma NFQ	22
2.12 Jaringan Saraf Tiruan.....	23
2.12.1 Fungsi Aktivasi	25
2.13 Algoritma Backpropagation	27
2.14 RMSProp.....	31

2.15 Mikrokontroler	31
2.15.1 Mikrokontroler Arduino.....	32
2.16 Sensor Ultrasonik	35
2.17 Modul Bluetooth HC-05	37
2.18 Buck Converter LM2596 (DC-DC Step Down)	38
2.19 Motor DC.....	39
2.20 DC Motor Driver	39
2.21 Baterai Li-Po	41
BAB III. METODOLOGI	42
3.1 Pendahuluan	42
3.2 Kerangka Kerja	42
3.3 Perancangan Perangkat Keras Robot Omni Wheel.....	44
3.3.1 Desain Robot Robot Omni Wheel	45
3.3.2 Perancangan Modul Driver Motor	46
3.3.3 Perancangan Modul Sensor HC-SR04	47
3.3.4 Perancangan Modul Bluetooth HC-05	51
3.3.5 Platform Robot Robot Omni Wheel	52
3.4 Pengujian Perangkat Keras Robot Omni Wheel.....	53
3.5 Perancangan Perangkat Lunak.....	53
3.5.1 Perancangan Program Arduino	54
3.5.1.1 Arduino NANO	54
3.5.1.2 Arduino UNO R3	58
3.5.2 Perancangan Algoritma Neural Fitted Q-Iteration (NFQ)	61

3.6 Pengujian Perangkat Lunak.....	75
3.7 Integrasi Perangkat Lunak dan Perangkat Keras	75
3.8 Pengujian Sistem.....	76
3.9 Pengambilan Data.....	78
3.10 Validasi Data dan Analisis	78
BAB IV . PENGUJIAN DAN ANALISA	79
4.1 Pendahuluan.....	79
4.2 Pengujian Perangkat Keras Robot Omni Wheel.....	79
4.2.1 Pengujian Modul Driver Motor DC	79
4.2.2 Pengujian Modul Sensor HC-SR04	81
4.2.3 Pengujian Modul Bluetooth HC-05	83
4.3 Pengujian Perangkat Lunak.....	84
4.4 Pengujian Sistem.....	91
4.4.1 Lingkungan Tanpa Halangan	92
4.4.1.1. Pengujian Pergerakan Robot pada Lingkungan Tanpa Halangan.....	93
4.4.1.1.1 <i>Episode Pertama Training</i>	93
4.4.1.1.2 <i>Episode Kedua Training</i>	94
4.4.2 Lingkungan Halangan Koridor.....	96
4.4.2.1 Pengujian Pergerakan Robot pada Lingkungan Halangan Koridor	97
4.4.2.1.1 <i>10 Episode Pertama Training</i>	97
4.4.2.1.2 <i>10 Episode Kedua Training</i>	98
4.4.2.1.3 <i>10 Episode Ketiga Training</i>	99

4.4.2.1.4 10 <i>Episode Keempat Training</i>	101
4.4.2.1.5 10 <i>Episode Kelima Training</i>	102
4.4.3 Lingkungan Halangan Kompleks	104
4.4.3.1 Pengujian Pergerakan Robot pada Lingkungan Halangan Kompleks.....	104
4.4.3.1.1 10 <i>Episode Pertama Training</i>	105
4.4.3.1.2 10 <i>Episode Kedua Training</i>	105
4.4.3.1.3 10 <i>Episode Ketiga Training</i>	106
4.4.3.1.4 10 <i>Episode Keempat Training</i>	108
4.4.3.1.5 10 <i>Episode Kelima Training</i>	110
4.4.3.1.6 10 <i>Episode Keenam Training</i>	111
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	114
5.1 Kesimpulan.....	114
5.2 Saran	115
DAFTAR PUSTAKA	116

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pergerakan <i>planar</i> ; 3 <i>degrees of freedom</i>	6
Gambar 2.2 (a) Sistem gerak <i>non-holonomic</i>	7
(b) Sistem gerak <i>omnidirectional</i>	7
Gambar 2.3 (a) Aktif <i>caster wheels</i>	8
(b) <i>Steered wheel</i>	8
Gambar 2.4 <i>Omni wheel</i>	9
Gambar 2.5 <i>Mecanum wheel</i>	9
Gambar 2.6 Susunan roda dan distribusi gaya pada roda 4 <i>onidirectional mobile robot</i>	10
Gambar 2.7 Rotasi roda besar dan <i>roller</i> kecil, ketika robot bergerak ke samping.....	11
Gambar 2.8 Interaksi antara agen dan lingkungan.....	14
Gambar 2.9 Contoh transisi pada aplikasi <i>mobile robot</i>	14
Gambar 2.10 Urutan kondisi, aksi dan <i>reward</i> pada agen.....	15
Gambar 2.11 Pengalaman agen.....	15
Gambar 2.12 Contoh tabel <i>Q</i>	16
Gambar 2.13 Algoritma <i>Q-Learning</i>	17
Gambar 2.14 <i>Growing batch reinforcement learning</i>	20
Gambar 2.15 Ilustrasi terhadap nilai <i>Q</i> pada setiap kombinasi kondisi dan aksi...21	
Gambar 2.16 Algoritma <i>NFQ</i>	23
Gambar 2.17 (a) <i>Biological neuron</i>	24
(b) <i>Artificial neuron</i>	24

Gambar 2.18 (a) Topologi <i>feedforward</i>	25
(b) Topologi <i>recurrent</i>	25
Gambar 2.19 Ilustrasi <i>neural network</i>	28
Gambar 2.20 Tata letak dasar mikrokontroler	32
Gambar 2.21 Bentuk fisik dan tata letak pin Arduino Uno R3	33
Gambar 2.22 Bentuk fisik dan tata letak pin Arduino Nano	34
Gambar 2.23 Pengukuran jarak sensor ultrasonik.....	36
Gambar 2.24 (a) Refleksi gelombang pada permukaan datar terhadap sensor	36
(b) Refleksi gelombang ada permukaan tidak datar terhadap sensor	36
Gambar 2.25 Bentuk fisik sensor ultrasonik HC-SR04	37
Gambar 2.26 Bentuk fisik dari modul bluetooth HC-05.....	38
Gambar 2.27 Bentuk fisik LM2596 DC-DC <i>step down</i>	38
Gambar 2.28 Bentuk fisik motor DC	39
Gambar 2.29 Ilustrasi H-bridge.....	40
Gambar 2.30 Bentuk fisik motor <i>driver 4 channels</i>	41
Gambar 2.31 Bentuk fisik baterai LiPo.....	41
Gambar 3.1 Kerangka Kerja	43
Gambar 3.2 Blok diagram perangkat keras robot <i>omni wheel</i>	44
Gambar 3.3 Lapisan bawah robot <i>omni wheel</i>	45
Gambar 3.4 Lapisan atas robot <i>omni wheel</i>	45
Gambar 3.5 Blok diagram modul <i>driver</i> motor DC.....	46
Gambar 3.6 Perancangan modul <i>driver</i> motor DC	47
Gambar 3.7 Blok diagram modul sensor HC-SR04.....	47

Gambar 3.8 Perancangan modul sensor HC-SR04	48
Gambar 3.9 Tata letak sensor HC-SR04	49
Gambar 3.10 Ilustrasi bidang pandang sensor HC-SR04.....	49
Gambar 3.11 Blok diagram modul bluetooth HC-05.....	51
Gambar 3.12 Perancangan modul bluetooth HC-05	52
Gambar 3.13 Robot <i>omni wheel</i>	52
Gambar 3.14 Proses inisialisasi program pada Arduino NANO	54
Gambar 3.15 Proses <i>setup</i> program pada Arduino NANO	55
Gambar 3.16 Program utama pada program arduino NANO	57
Gambar 3.17 Proses inisialisasi program pada Arduino UNO R3.....	59
Gambar 3.18 Proses <i>setup</i> program pada Arduino UNO R3	59
Gambar 3.19 Algoritma utama program pada Arduino UNO R3	60
Gambar 3.20 Flowchart Algoritma <i>NFQ</i>	62
Gambar 3.21 Proses inisialisasi algoritma <i>NFQ</i>	64
Gambar 3.22 Algoritma utama <i>NFQ</i>	65
Gambar 3.23 Fungsi terima data jarak	67
Gambar 3.24 Fungsi pemilihan aksi.....	68
Gambar 3.25 <i>Reward function</i>	70
Gambar 3.26 Fungsi menyimpan transisi pengalaman	72
Gambar 3.27 Fungsi pemisahan input.....	73
Gambar 3.28 Fungsi memprediksi nilai <i>Q-target</i>	74
Gambar 3.29 Lingkungan tanpa halangan	76
Gambar 3.30 Lingkungan halangan koridor	77

Gambar 3.31 Lingkungan halangan kompleks.....	77
Gambar 4.1 (a) Keempat <i>direction pin</i> diset logika 1 (<i>high</i>).....	80
(b) Keempat <i>direction pin</i> diset logika 0 (<i>low</i>).....	80
Gambar 4.2 Logika kontrol pergerakan robot.....	81
(a) Lurus kedepan.....	80
(b) Rotasi ke arah kiri.....	81
(c) Rotasi ke arah kanan.....	81
Gambar 4.3 Metode pengujian sensor ultrasonik.....	82
Gambar 4.4 (a) Data jarak dikirim dari Arduino.....	83
(b) Data jarak diterima oleh komputer.....	83
Gambar 4.5 (a) Perintah aksi dikirm dari komputer.....	84
(b) Perintah aksi diterima oleh Arduino.....	84
Gambar 4.6 Hasil pengujian program pada Arduino Nano.....	85
Gambar 4.7 Serial monitor pada Arduino Nano.....	86
Gambar 4.8 Waktu setiap perulangan program pada Arduino NANO.....	87
Gambar 4.9 Waktu setiap penerimaan data sensor.....	88
Gambar 4.10 Hasil pengujian program pada Arduino Uno R3.....	89
Gambar 4.11 Hasil pengujian fungsi eksplorasi.....	90
Gambar 4.12 Contoh bentuk data yang akan digunakan untuk pembelajaran agen.....	91
Gambar 4.13 Grafik total <i>step</i> per <i>episode</i> lingkungan tanpa halangan.....	92
Gambar 4.14 Grafik total <i>reward</i> per <i>episode</i> lingkungan tanpa halangan.....	92
Gambar 4.15 Pergerakan robot pada 10 <i>episode</i> pertama di lingkungan tanpa halangan.....	93

Gambar 4.16 Pengujian pertama pergerakan robot pada 10 <i>episode</i> kedua di lingkungan tanpa halangan	94
Gambar 4.17 Pengujian kedua pergerakan robot pada 10 <i>episode</i> kedua di lingkungan tanpa halangan	95
Gambar 4.18 Grafik total <i>step</i> per <i>episode</i> lingkungan halangan koridor	96
Gambar 4.19 Grafik total <i>reward</i> per <i>episode</i> lingkungan halangan koridor	96
Gambar 4.20 Pergerakan robot pada 10 <i>episode</i> pertama di lingkungan halangan koridor	97
Gambar 4.21 Pergerakan robot pada 10 <i>episode</i> kedua di lingkungan halangan koridor	98
Gambar 4.22 Pengujian pertama pergerakan robot pada 10 <i>episode</i> ketiga di lingkungan halangan koridor	99
Gambar 4.23 Pengujian kedua pergerakan robot pada 10 <i>episode</i> ketiga di lingkungan halangan koridor	100
Gambar 4.24 Pengujian pertama pergerakan robot pada 10 <i>episode</i> keempat di lingkungan halangan koridor	101
Gambar 4.25 Pengujian kedua pergerakan robot pada 10 <i>episode</i> keempat di lingkungan halangan koridor	101
Gambar 4.26 Pengujian pertama pergerakan robot pada 10 <i>episode</i> kelima di lingkungan halangan koridor	102
Gambar 4.27 Pengujian kedua pergerakan robot pada 10 <i>episode</i> kelima di lingkungan halangan koridor	103
Gambar 4.28 Grafik total <i>step</i> per <i>episode</i> lingkungan halangan kompleks.....	104
Gambar 4.29 Grafik total <i>reward</i> per <i>episode</i> lingkungan halangan kompleks ..	104
Gambar 4.30 Pergerakan robot pada 10 <i>episode</i> pertama di lingkungan halangan kompleks	105

Gambar 4.31 Pergerakan robot pada 10 <i>episode</i> kedua di lingkungan halangan kompleks.....	106
Gambar 4.32 Pengujian pertama pergerakan robot pada 10 <i>episode</i> ketiga di lingkungan halangan kompleks	107
Gambar 4.33 Pengujian kedua pergerakan robot pada 10 <i>episode</i> ketiga di lingkungan halangan kompleks	107
Gambar 4.34 Pengujian pertama pergerakan robot pada 10 <i>episode</i> keempat di lingkungan halangan kompleks	108
Gambar 4.35 Pengujian pertama pergerakan robot pada 10 <i>episode</i> keempat di lingkungan halangan kompleks	109
Gambar 4.36 Pengujian pertama pergerakan robot pada 10 <i>episode</i> kelima di lingkungan halangan kompleks	110
Gambar 4.37 Pengujian kedua pergerakan robot pada 10 <i>episode</i> kelima di lingkungan halangan kompleks	110
Gambar 4.38 Pengujian pertama pergerakan robot pada 10 <i>episode</i> keenam di lingkungan halangan kompleks	111
Gambar 4.39 Pengujian kedua pergerakan robot pada 10 <i>episode</i> keenam di lingkungan halangan kompleks	112

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Model Jaringan saraf.....	61
Tabel 4.1 Kombinasi arah rotasi motor.....	75
Tabel 4.2 Hasil pengujian sensor HC-SR04	76
Tabel 4.3 Tingkat keberhasilan pergerakan robot pada lingkungan tanpa halangan	95
Tabel 4.4 Tingkat keberhasilan pergerakan robot pada lingkungan halangan koridor.....	103
Tabel 4.5 Tingkat keberhasilan pergerakan robot pada lingkungan halangan kompleks	112

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1. *Code* Arduino NANO

LAMPIRAN 2. *Code* Arduino UNO R3

LAMPIRAN 3. *Code* NFQ

LAMPIRAN 4. Berkas Tugas Akhir

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mobile robot mendapatkan perhatian yang meningkat tidak hanya sebagai percobaan untuk membuktikan “kecerdasan” secara teori tetapi juga sebagai komponen penting dari otomasi industri dan komersial [1]. Ada dua jenis *mobile robot* yaitu robot yang berjalan dengan menggunakan kaki-kaki mekanik dan robot yang berjalan dengan roda. Salah satu robot beroda yang dapat bergerak secara efisien adalah *mobile robot* yang menggunakan *omni wheel* [2].

Omni wheel adalah contoh desain roda khusus yang memiliki sejumlah *roller* pasif kecil yang dipasang di pinggiran roda utama. Poros *roller* tegak lurus terhadap roda. Roda digerakkan dengan cara normal, sedangkan rol - rol memungkinkan gerakan bebas dalam arah tegak lurus terhadap roda [3]. Kemudian, disetiap *mobile robot*, keterampilan untuk menghindari halangan sangat penting. Robot harus dipercaya untuk menyelesaikan tugasnya tanpa membahayakan dirinya sendiri atau yang lainnya. Banyak metode yang bisa dilakukan untuk masalah ini, mulai dari memahami lingkungan dan merencanakan setiap gerakan hingga berkeliaran secara acak tanpa perencanaan sama sekali [4]. Untuk kasus ketika *mobile robot* tidak memiliki pemahaman sama sekali terhadap lingkungan, pendekatan dilakukan dengan menggunakan informasi lokal yang diambil oleh sensor. Selama beberapa dekade terakhir, banyak penelitian yang berurusan dengan masalah ini. Berbagai jenis solusi diusulkan salah satunya berdasarkan pada *artificial intelligence (AI)*. Dengan menggunakan *multi-layer neural network* yang mampu memetakan fungsi-fungsi *non-linear*. Fitur ini dapat digunakan bersama dengan metode *reinforcement learning* [5].

Reinforcement learning adalah metode algoritmik untuk menyelesaikan masalah dimana aksi (keputusan) diterapkan pada sistem selama periode waktu yang panjang, untuk mencapai tujuan yang diinginkan. Masalah pengambilan keputusan seperti itu muncul dalam berbagai bidang, termasuk kontrol otomatis. *Reinforcement learning* dapat diterapkan untuk memecahkan masalah pencarian kontrol yang optimal, di mana perilaku proses dievaluasi menggunakan fungsi

biaya yang memainkan peran mirip dengan hadiah. Pembuat keputusan adalah pengontrol, dan sistem adalah proses yang dikendalikan [6].

Namun, dalam penerapan di dunia nyata dengan ruang keadaan yang kontinyu, metode *reinforcement learning* sering kali mengalami masalah waktu belajar yang lama atau tidak konvergen sama sekali. Kerangka *Neural Fitted Q Iteration (NFQ)* mampu mengatasi masalah terhadap kebutuhan sample belajar yang tidak realistis dengan menyimpan dan menggunakan kembali tuple transisi sebelumnya dari sistem dalam setiap iterasi pembelajaran [7].

Menggunakan metode *NFQ*, sistem dapat mempelajari perilaku kontrol yang sangat efektif dengan diaplikasikan langsung pada robot. *Reinforcement Learning controller* berbasis jaringan saraf dipelajari dari awal hanya dengan menggunakan data transisi nyata yang dikumpulkan oleh interaksi dengan sistem yang sebenarnya [7].

Berdasarkan beberapa hal diatas maka penelitian ini akan mengimplementasikan metode *Reinforcement Learning* untuk sistem kontrol navigasi pada robot *omni wheel*.

1.2 Tujuan dan Manfaat

1.2.1 Tujuan

1. Merancang sistem kontrol navigasi pada *mobile robot omni wheel*.
2. Mengimplementasikan metode *reinforcement learning* sebagai algoritma pengambil keputusan berdasarkan data transisi pengalaman.

1.2.2 Manfaat

1. Menghasilkan suatu sistem kontrol navigasi pada *mobile robot omni wheel* dalam berbagai kondisi halangan.
2. Menghasilkan algoritma *reinforcement learning* yang mampu memilih aksi yang optimal terhadap berbagai kondisi pada *mobile robot omni wheel*.

1.3 Perumusan dan Batasan Masalah

1.3.1 Perumusan Masalah

Berdasarkan dari penjelasan latar belakang, maka rumusan masalah dari tugas akhir ini adalah bagaimana membuat suatu sistem navigasi *mobile robot omni wheel* berbasis *reinforcement learning* dengan menggunakan metode *neural fitted-Q iteration* (NFQ) yang mampu menghindari halangan.

1.3.2 Batasan Masalah

Sensor ultrasonik sebagai *input* dari metode *reinforcement learning* melakukan pembelajaran terhadap pemilihan aksi yang optimal pada kondisi tertentu. Sehingga menghasilkan pergerakan *mobile robot omni wheel* yang mampu menghindari halangan.

1.4 Metodologi Penelitian

Metode Penelitian yang akan digunakan dalam pengumpulan data untuk penulisan Laporan Tugas akhir yaitu :

1. Metode Literatur/Pustaka

Metode ini adalah mencari dan mengumpulkan sumber-sumber referensi berupa literatur yang terdapat pada buku, internet ataupun lainnya yang dapat menunjang penulisan Laporan Tugas Akhir.

2. Metode Permodelan *Learning* pada Software

Metode ini diterapkan dengan cara melakukan permodelan dengan menggunakan software untuk melihat hasil sistem kendali untuk navigasi *mobile robot*.

3. Metode Pengimplementasian pada Hardware

Metode ini diterapkan pada saat merakit berbagai komponen yang ada pada robot.

4. Metode Pengujian Program

Metode ini untuk melihat hasil pengujian dari permodelan yang telah kita buat untuk kemudian dilihat hasilnya.

5. Analisa dan Kesimpulan

Metode ini untuk menganalisa hasil dari pengujian program untuk melihat hasil penelitian.

1.5 Sistematika Penulisan

Mengenai penulisan tugas akhir ini untuk mempermudah dalam memahami masalah yang ada, penulis menguraikan dan menjelaskan tugas akhir ini menjadi 5 BAB yaitu:

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab ini membahas tentang latar belakang, ruang lingkup, tujuan dan manfaat, metodologi serta sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan kajian dari berbagai literature yang telah di publikasikan sebelumnya.

BAB 3 METODOLOGI

Pada bab ini menjelaskan bagaimana metodologi yang di gunakan menyelesaikan tugas akhir.

BAB 4 PENGUJIAN DAN ANALISA

Pada bab ini menguraikan hasil dari pengujian terhadap robot yang sudah dibuat dan analisis dari pengujian.

BAB 5 PENUTUP

Pada bab ini dirumuskan kesimpulan dan saran agar bermanfaat bagi penulis dan pembaca, serta untuk masukan bagi yang ingin mengembangkan alat ini lebih baik lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Young-kyun NA dan Se-young oh, “*Hybrid Control for Autonomous Mobile Robot Navigation Using Neural Network Based Behavior Moduler and Environment Classification*”, Departement of Electrical Engineering, Pohang University of Science and Technology (POSTECH), Pohang, 2003.
- [2] Rojas R. dan Forster A. G., “*Holonomic Control of a Robot with an Omnidirectional Drive*”, To apper in KL – Kunstliche Intelligenz, DotcherIT Verlag, 2006.
- [3] Haendel van R.P.A., “*Design of an omnidirectional universal mobile platform*”, Eindhoven, 2005
- [4] Gullstrand, G., “*Obstacle Avoidance for a Mobile Robot*”, Departement of Numerical Analisys and Computer Science, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2005.
- [5] Duguleana, M., “*Neural network basad reinforcement learning for mobile robots obstacle avoidance*”, Departement of Automotive and Transport Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, University Transilvania of Brosov, Romania, 2016.
- [6] Busoniu L., Babuska R., Schutter B. D. dan Ernst D., “*Reinforcement Learning and Dynamic Programming using Function Approximators*”, 2009
- [7] Hafner R. dan Riedmiller M., “*Neural Reinforcement Learning Controllers for a Real Robot Application*”, Neuroinformatics, University of Osnabrueck.
- [8] Siswaja H. D., “*Prinsip Kerja dan Klasifikasi Robot*”, Sekolah Tinggi Manajemen Informatika dan Komputer (LIKMI), Bandung, 2008
- [9] Zhang Y., “*Rapid Design through Virtual and Physical Prototyping*”, Carnegie Mellon University.
- [10] Holmberg R. dan Khatib O., “*Devolopment and Control of a Holonomic Mobile Robot for Mobile Manipulation Task*”, Computer Science Departement, Stanford University, CA, USA.
- [11] Barraquand J. dan Latombe J-C., “*On Nonholonomic Mobile Robots and Optimal Maneuvering*”, Computer Science Departement, Stanford University, CA, USA.
- [12] Doroftei I., Grosu V. dan Spinu V., “*Omnidirectional Mobile Robot – Design and Implementation*”, Technical University of Iasi, Romania.
- [13] Dubowsky S., Genot F., Godding S., Kozono H., Skwersky A., Yu H. & Yu L., “*A Robotic Aid to the Eldery for Mobility Assistance and Monitoring: A*

- Helping-Hand for the Elderly*”, IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2000.
- [14] Borenstein J., Everett H.R. & Feng L., “*Navigating Mobile Robots: Sensors and Techniques*”, A K Peters, Ltd, MA, USA, 1996.
- [15] Yu H., Dubowsky S. & Skwersky A., “*Omni-directional Mobility Using Active Split Offset Castors*”, Proceedings ASME Design Engineering Technical Conferences, Baltimore, 2000.
- [16] McInerney Ian, “*Simplistic Control of Mecanum Drive*”. FCR Team 2022.
- [17] Zufri M.A.R., “*Omni Directional Control Algorithm for Mecanum Wheel*”, Tugas Akhir, Universiti Teknikal Malaysia, Melaka.
- [18] Carlisle, B., “*An Omnidirectional Mobile Robot, Development in Robotics*”, Kempston, pp.79-87, 1983.
- [19] Muir, P. & Neuman, C., “*Kinematic Modeling of Wheeled Mobile Robots*”, Journal of Robotic Systems, Vol. 4, No. 2, pp. 281-340, 1987.
- [20] Rojas, R., “*Omnidirectional Control*”, Freie Universit“at Berlin, 2005.
- [21] Nilsson, N. J., “*Introduction to Machine Learning*”, Departement of Computer Science, Stanford University, California, 1998.
- [22] Suyanto, “*Artificial Intelligence : Searching, Reasoning, Planning dan Learning*”, Informatika Bandung, Yogyakarta, 2014.
- [23] Rojas, R., “*The Backpropagation Algorithm, Chapter 7: Neural Networks*”, Springer-Verlag, Berlin, pp. 151-184, 1996.
- [24] Awodele and Jegede, O., “*Neural Networks and Its Application in Engineering*”, Proceedings of Informing Science & IT Education Conference (InSITE), pp. 83-95, 2009.
- [25] Kohonen, T. & Simula, O., “*Engineering Applications of the Self-Organizing Map*”, Proceeding of the IEEE, Vol. 84, No. 10, pp.1354 – 1384, 1996.
- [26] Sathya, R. & Abraham, A., “*Unsupervised Control Paradigm for Performance Evaluation*”, International Journal of Computer Application, Vol 44, No. 20, pp. 27-31, 2012.
- [27] Barakbah, A. R., “*Reinforcement Learning Paradigma baru dalam Machine Learning*”, Soft Computation Research Group, EEPIS-ITS.
- [28] Sutton, R. S. & Barto, A. G., “*Reinforcement learning: An introduction*”, London, England: MIT press, 1998.
- [29] Poole, D. & Mackworth, A., “*Artificial Intelligence: Foundations of Computational Agents*”, Cambridge University Press, 2010.
- [30] Chen, X., “*Reinforcement Learning Overview*”, University of Hawaii, 2006.

- [31] Teknomo, K., “*Q-learning by Examples*”, 2005.
- [32] Hoye, B., Saether, A. F., Loung, K. D. dan Nygaard O. B., “*Autonomous self-learning systems*”, 2015.
- [33] Ardiansyah & Rainarli, E., “*Implementasi Q-Learning dan Backpropagation pada Agen yang Memainkan Permainan Flappy Bird*”, Universitas Komputer Indonesia, 2017.
- [34] Tokic, M., “*Adaptive ϵ -greedy Exploration in Reinforcement Learning Based on Value Differences*”, Germany.
- [35] Caelen, O., Bontempi, G., “*Improving the exploration strategy in bandit algorithms. In: Learning and Intelligent Optimization*”, Number 5313 in LNCS. Springer (2008) 56–68
- [36] Coggan, M., “*Exploration and Exploitation in Reinforcement Learning*”, McGill University, 2004.
- [37] Ernst, D., Geurts, P. & Wehenkel, L., “*Tree-Based Batch Mode Reinforcement Learning*”, Journal of Machine Learning Research 6(1):503–556, 2005.
- [38] Lange, S., Gabel, T. & Riedmiller, M., “*Batch Reinforcement Learning*”, Fakultas Teknik, Universitas Albert-Ludwigs, Freiburg, Jerman.
- [39] Reidmiller, M., “*Neural Fitted Q Iteration - First Experiences with a Data Efficient Neural Reinforcement Learning Method*”, Grup Neuroinformatics, Universitas Osnabruck, Osnabruck, 2005.
- [40] Kukreja, H., Bharath, N., Siddesh, C. S. & Kuldeep, S., “*AN INTRODUCTION TO ARTIFICIAL NEURAL NETWORK*”, Jurusan Teknik Elektro dan Elektronika, Universitas Bangalore, 2016.
- [41] Petriu, E. M., “*Neural Networks:Basics*”, University of Ottawa.
- [42] Nwankpa, C. E., Ijomah, W., Gachagan, A. & Marshall, S., “*Activation Functions: Comparison of Trends in Practice and Research for Deep Learning*”, Jurusan Teknik dan Desain Manufaktur, Fakultas Teknik, Universitas Strathclyde, UK.
- [43] Neal, R. M., “*Connectionist learning of belief networks,*” *Artificial Intelligence*”, vol. 56, no. 1, pp. 71–113, 1992.
- [44] Karlik, B. & Olgac, A. V., “*Performance Analysis of Various Activation Functions in Generalized MLP Architectures of Neural Networks*”, Jurusan Teknik Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Mevlana, Konya, Turki.
- [45] Goodfellow, I., Bengio, Y. & Courville, A., “*Deep learning.*” MIT Press, 2016.

- [46] Nair, V. & Hinton, G. E., “*Rectified linear units improve restricted boltzmann machines*”, Haifa, pp. 807–814, 2010.
- [47] Zeiler, M. D., Ranzato, M., Monga, R., Mao, M., Yang, K., Le, Q. V. & Hinton, G. E., “*On rectified linear units for speech processing*”, International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, IEEE, pp. 3517–3521, 2013.
- [48] Amardeep, R. & Swamy, K. T., “*Training Feed forward Neural Network With Backpropogation Algorithm*”, India, 2017.
- [49] Makin, J. G., “*Backpropagation*”, 2006.
- [50] Hinton, G., Srivastava, N. dan Swersky, K., “*Neural networks for machine learning lecture 6a overview of mini-batch gradient descent*”, page 14, 2012.
- [51] Oktariawan, I., Martinus & Sugiyanto, “*Pembuatan Sistem Otomasi Dispenser Menggunakan Mikrokontroler Arduino Mega 2560*”, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Bandar Lampung, 2013.
- [52] Gridling, G. & Weiss, B., “*Introduction to Microcontrollers*”, Institut Teknik Komputer, Universitas Teknologi Vienna, 2007.
- [53] <https://www.arduino.cc/en/Main/AboutUs>
- [54] Arief, U. M., “*Pengujian Sensor Ultrasonik PING untuk Pengukuran Level Ketinggian dan Volume Air*”, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, UNNES, 2011.
- [55] Webster, D., “*A Pulsed Ultrasonic Distance Measurement System based upon Phase Digitizing*”, University of Technology, Sydney, Australia, 1993.
- [56] Borenstein, J. & Koren, Y., “*Obstacle Avoidance with Ultrasonic Sensors*”, University of Michigan, 1987.
- [57] Cotta, A. & Devidas, N. T., “*WIRELESS COMMUNICATION USING HC-05 BLUETOOTH MODULE INTERFACED WITH ARDUINO*”, Don Bosco College Of Engineering, Fatorda, India, 2016.
- [58] Ali, M., Repalle, S. C. & Wahab, A., “*Buck Converter*”, Universitas Magdeburg, 2016.
- [59] _____, LM2596 Datasheet : Simple Switcher, Power Converter 150 kHz #A Step-Down Voltage Regulator, National Semiconductor Corporation, 2002.
- [60] Hidayati, Q., “*Pengaturan Kecepatan Motor DC dengan Menggunakan Mikrokontroler Atmega 8535*”, Jurusan Teknik Elektronika, Politeknik Negeri Balikpapan, Balikpapan, Indonesia.

- [61] Gottlieb & Irving, "*Practical Electric Motor Handbook*". Great Britain: Biddles Ltd., 1997.
- [62] D'sousa, A.F., "*Design of Control Systems*", Prentice Hall, New Jersey, 1988.
- [63] Boldea, I. dkk, "*Electrc Drives*", CRC Press, New York, 1998.
- [64] Rashmid, M. H., "*Spice For Power Electronics And Electric Power*", Prentice Hall, New Jersey, 1993.
- [65] Santosa, B., Taxwin, Achmad, B. & Utomo E. P., "*RANCANG BANGUN DRIVER MOTOR DC SEBAGAI AKTUA TOR SISTEM KENDALI SUMBER ELEKTRON P ADA MBE*", Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator dan Aplikasinya, 2003.
- [66] Afif, M. T. & Pratiwi I. A. P., "*ANALISIS PERBANDINGAN BATERAI LITHIUM-ION, LITHIUM-POLYMER, LEAD ACID DAN NICKEL-METAL HYDRIDE PADA PENGGUNAAN MOBIL LISTRIK – REVIEW*", Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang, 2015.
- [67] Martinez, A., "*Reinforcement learning on the Lego Mindstorms NXT Robot. Analysis and Implementation*", Departemen Teknik Sistem dan Otomasi, Universitas Malaga, 2013.