

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN PROYEK AKHIR.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
INTISARI.....	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Proyek Akhir	4
1.5. Manfaat Proyek Akhir	4
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Studi Pustaka.....	5
2.2. Dasar Teori	8
2.2.1. <i>Machine Learning</i>	8
2.2.2. <i>Reinforcement Learning</i>	9
2.2.3. <i>Deep Q-Network</i>	12
2.2.4. Kontrol Posisi.....	29
2.2.5. Algoritma <i>Braitenberg</i>	31
2.2.6. <i>Mobile Robot Khepera-IV</i>	32
BAB III METODE PROYEK AKHIR	40
3.1. Bahan	40
3.2. Peralatan	41
3.3. Tahapan Proyek Akhir.....	41
3.3.1. Pra-Penelitian	42
3.3.2. Penelitian.....	43
3.3.3. Pasca Penelitian.....	43

3.4. Perancangan Robot dan Lingkungan.....	44
3. 5. Perancangan Simulasi Kontrol Robot	47
3. 6. Perancangan Sistem Algoritma Braitenberg.....	49
3. 7. Perancangan Sistem Penyimpanan Logging Data.....	53
3. 8. Perancangan Sistem Algoritma DQN.....	55
3. 9. Perancangan Sistem Algoritma DQN-Braitenberg	63
3. 10. Perancangan Sistem Training and Testing Algoritma DQN-Braitenberg	68
3.11. Perancangan Pengujian Parameter Agen DQN-Braitenberg	72
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	73
4.1. Tahapan Pengambilan Data Pelatihan dan Pengujian Agen.....	73
4.2. Training and Testing Agen DQN-Braitenberg	73
4.3. Pengujian Parameter Model Agen DQN-Braitenberg.....	86
4.3.1. Pengujian Model Ke-1	87
4.3.2. Pengujian Model Ke-2	90
4.3.3. Pengujian Model Ke-3	93
4.3.4. Pengujian Model Ke-4	96
4.3.5. Pengujian Model Ke-5	99
4.3.6. Pengujian Model Ke-6	102
4.3.7. Pengujian Model Ke-7	105
4.4. Studi Perbandingan Hasil Training and Testing Agen	108
4.5. Studi Perbandingan Hasil Pengujian Parameter Model Agen	111
4.6. Studi Perbandingan Validasi Hasil Pengujian Parameter Model Agen	118
BAB V PENUTUP	123
5.1. Kesimpulan	123
5.2. Saran	123
DAFTAR PUSTAKA	124

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1. Bahan	40
Tabel 3. 2. Alat	41
Tabel 3. 3. Ruang Observasi Robot Khepera-IV pada <i>Platform CoppeliaSim</i>	46
Tabel 4. 1. Spesifikasi Parameter <i>Training and Testing</i> Agen DQN-Braitenberg	74
Tabel 4. 2. Nilai Pengujian Parameter Model Agen DQN-Braitenberg	86
Tabel 4. 3. Keterangan Warna dan Simbol dalam Grafik Perbandingan Hasil Pengujian.	111
Tabel 4. 4. Perbandingan Indeks Kinerja Ketujuh Model Hasil Pengujian	114
Tabel 4. 5. Perbandingan Waktu Tempuh Ketujuh Model Saat Pengujian	117
Tabel 4. 6. Perbandingan Indeks Kinerja Kedua Agen dengan Model Ke-7	122
Tabel 4. 7. Perbandingan Waktu Sampai Target Kedua Agen dengan Model Ke-7	122

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Skema Hubungan <i>Artificial Intelligence</i> , <i>Machine Learning</i> , dan <i>Reinforcement Learning</i>	9
Gambar 2. 2. Skema dan Interaksi <i>Reinforcement Learning</i>	10
Gambar 2. 3. Teknik dalam <i>Reinforcement Learning</i>	11
Gambar 2. 4. <i>Q-Learning</i> memetakan <i>State-Action</i> ke <i>Q-Value</i> dalam <i>Q-Table</i>	13
Gambar 2. 5. <i>Q-Function</i> memetakan <i>State-Action</i> ke <i>Q-Value</i>	13
Gambar 2. 6. Perkiraan <i>Q-Function</i> dengan <i>Deep Q-Network (DQN)</i>	14
Gambar 2. 7. Arsitektur dan Komponen <i>Deep Q-Network (DQN)</i>	14
Gambar 2. 8. Skema dan Alur Kerja <i>DQN</i> dalam Setiap Langkah Waktu	15
Gambar 2. 9. Fase Pertama dalam Alur Kerja <i>DQN</i>	15
Gambar 2. 10. <i>Experience Replay</i> memilih <i>Action</i> dan Menerima <i>Feedback</i> dalam Lingkungan.....	16
Gambar 2. 11. <i>Experience Replay</i> menyimpan <i>Training Data</i>	16
Gambar 2. 12. Fase Kedua dalam Alur Kerja <i>DQN</i>	17
Gambar 2. 13. <i>Q Neural Network</i> menghasilkan <i>Predicted Q-Value</i> dari <i>Training Data</i> ...	17
Gambar 2. 14. <i>Target Neural Network</i> menghasilkan <i>Target Q-Value</i> dari <i>Training Data</i>	18
Gambar 2. 15. <i>Compute Loss</i> Hasil Pelatihan <i>Q Neural Network</i> dalam <i>Training Data</i>	18
Gambar 2. 16. Tahap Inisialisasi <i>Deep Q-Network (DQN)</i>	19
Gambar 2. 17. Tahap Inisialisasi <i>Q Neural Network</i> dan <i>Target Neural Network</i>	20
Gambar 2. 18. Tahap <i>Experience Replay</i> oleh <i>Q Neural Network</i>	20
Gambar 2. 19. Tahap Menjalankan <i>Action</i> dan Menerima <i>Feedback</i> dari Lingkungan	21
Gambar 2. 20. Tahap <i>Experience Replay</i> menghasilkan <i>Training Data</i>	21
Gambar 2. 21. Tahap Pelatihan <i>DQN</i>	22
Gambar 2. 22. Tahap Memprediksi <i>Q-Value</i> untuk <i>Action</i> berdasarkan <i>Current State</i>	22
Gambar 2. 23. Tahap Memilih <i>Predicted Q-Value</i> untuk <i>Action</i>	23
Gambar 2. 24. Tahap Mencari <i>Max Q-Value</i> untuk <i>Next State</i>	24
Gambar 2. 25. Tahap Memilih <i>Target Q-Value</i> untuk <i>Next State</i>	25
Gambar 2. 26. Tahap <i>Compute Loss</i> untuk Mendapatkan Nilai <i>Mean Squared Error (MSE)</i>	26
Gambar 2. 27. Tahap Mengembalikan Nilai <i>MSE</i> ke <i>Q Neural Network</i>	27
Gambar 2. 28. <i>Update Bobot Q Neural Network</i> pada Agen <i>DQN</i>	27
Gambar 2. 29. Bobot <i>Target Neural Network</i> dan <i>Q Neural Network</i> adalah sama	28
Gambar 2. 30. Alur Kerja Kontrol Posisi dalam Algoritma Kontrol.....	29
Gambar 2. 31. Kontrol Posisi <i>Mobile Robot</i>	30
Gambar 2. 32. Desain Skematik Susunan Posisi Sensor Ultrasonik dan <i>Infrared</i> pada <i>Mobile Robot Khepera-IV</i>	34
Gambar 2. 33. <i>Datasheet Ultrasonic Sensor Transceiver Prowave 400PT12B 40 kHz</i>	35
Gambar 2. 34. Tampilan Sisi Bagian Bawah <i>Mobile Robot Khepera-IV</i>	37
Gambar 2. 35. Tampilan Sisi Bagian Atas <i>Mobile Robot Khepera-IV</i>	37
Gambar 2. 36. Tampilan Sisi Bagian Depan <i>Mobile Robot Khepera-IV</i>	37
Gambar 2. 37. Tampilan Sisi Bagian Kiri <i>Mobile Robot Khepera-IV</i>	37
Gambar 2. 38. Tampilan Sensor Ultrasonik dan <i>Infrared</i> di Sisi Kanan <i>Mobile Robot Khepera-IV</i>	38

Gambar 2. 39. Tampilan Sensor Ultrasonik dan <i>Infrared</i> di Sisi Depan <i>Mobile Robot Khepera-IV</i>	38
Gambar 2. 40. Tampilan Sensor Ultrasonik dan <i>Infrared</i> di Sisi Kiri <i>Mobile Robot Khepera-IV</i>	39
Gambar 2. 41. Tampilan Sensor Ultrasonik dan <i>Infrared</i> di Sisi Belakang <i>Mobile Robot Khepera-IV</i>	39
Gambar 3. 1. <i>Flowchart</i> Tahapan Utama Proyek Akhir	41
Gambar 3. 2. Lingkungan Simulasi <i>Mobile Robot Khepera-IV</i> pada <i>Platform CoppeliaSim</i>	44
Gambar 3. 3. <i>Flowchart Environment</i> ‘KheperaPositionObstacle-v0’	47
Gambar 3. 4. <i>Flowchart</i> Algoritma Braitenberg	49
Gambar 3. 5. Kode Inisialisasi Konstanta dan Variabel Algoritma Braitenberg	50
Gambar 3. 6. Kode Fungsi Kontrol Braitenberg	51
Gambar 3. 7. <i>Flowchart Logger</i> ‘OwnCallbacks’	53
Gambar 3. 8. <i>Flowchart</i> Algoritma <i>Deep Q-Network</i> (DQN)	55
Gambar 3. 9. Kode <i>Import Libraries</i> DQN	57
Gambar 3. 10. Kode <i>Set Gym Environment</i>	58
Gambar 3. 11. Kode <i>Set Random Seeds</i>	58
Gambar 3. 12. Kode <i>Environment Parameters</i>	58
Gambar 3. 13. Kode <i>Neural Network Model</i>	59
Gambar 3. 14. Kode <i>Memory Replay and Policy</i>	60
Gambar 3. 15. Kode <i>Evaluation</i> DQN Agent	61
Gambar 3. 16. Kode <i>Calculate Performance</i> DQN Agent	62
Gambar 3. 17. <i>Flowchart</i> Algoritma DQN-Braitenberg	63
Gambar 3. 18. Kode <i>Set Policy</i> DQN-Braitenberg Agent	65
Gambar 3. 19. Kode <i>Evaluation</i> DQN-Braitenberg Agent	65
Gambar 3. 20. Kode Algoritma DQN-Braitenberg	66
Gambar 3. 21. <i>Flowchart Training and Testing</i> DQN-Braitenberg Agent	68
Gambar 3. 22. Kode <i>Training of</i> DQN-Braitenberg Agent	71
Gambar 3. 23. Kode <i>Save Weight of Training</i> DQN-Braitenberg Agent	72
Gambar 4. 1. Cuplikan Awal <i>Training and Testing</i> Agen DQN-Braitenberg pada <i>CoppeliaSim</i>	74
Gambar 4. 2. Cuplikan Awal <i>Training and Testing</i> Agen DQN-Braitenberg pada Python	75
Gambar 4. 3. Cuplikan Agen DQN-Braitenberg Ketika <i>Training and Testing</i> pada <i>CoppeliaSim</i>	76
Gambar 4. 4. Cuplikan Agen DQN-Braitenberg Ketika <i>Training and Testing</i> pada Python	76
Gambar 4. 5. Cuplikan <i>Output Step</i> Agen DQN-Braitenberg Ketika <i>Training and Testing</i>	78
Gambar 4. 6. Perhitungan Sensor Algoritma Braitenberg dalam <i>State</i> di <i>Step</i> Agen DQN-Braitenberg	79
Gambar 4. 7. Cuplikan Akhir <i>Training and Testing</i> Agen DQN-Braitenberg pada <i>CoppeliaSim</i>	84
Gambar 4. 8. Cuplikan Akhir <i>Training and Testing</i> Agen DQN-Braitenberg pada Python	84
Gambar 4. 9. File <i>Logging</i> Data Hasil <i>Training and Testing</i> Agen DQN-Braitenberg	85

Gambar 4. 10. Cuplikan Pengujian Model Ke-1 Agen DQN-Braitenberg pada CoppeliaSim	87
Gambar 4. 11. Cuplikan Pengujian Model Ke-1 Agen DQN-Braitenberg pada Python	88
Gambar 4. 12. Hasil Pengujian Parameter Model Ke-1 Agen DQN-Braitenberg pada CoppeliaSim	89
Gambar 4. 13. Hasil Pengujian Parameter Model Ke-1 Agen DQN-Braitenberg pada Python	89
Gambar 4. 14. Cuplikan Pengujian Model Ke-2 Agen DQN-Braitenberg pada CoppeliaSim	90
Gambar 4. 15. Cuplikan Pengujian Model Ke-2 Agen DQN-Braitenberg pada Python	91
Gambar 4. 16. Hasil Pengujian Parameter Model Ke-2 Agen DQN-Braitenberg pada CoppeliaSim	92
Gambar 4. 17. Hasil Pengujian Parameter Model Ke-2 Agen DQN-Braitenberg pada Python	92
Gambar 4. 18. Cuplikan Pengujian Model Ke-3 Agen DQN-Braitenberg pada CoppeliaSim	93
Gambar 4. 19. Cuplikan Pengujian Model Ke-3 Agen DQN-Braitenberg pada Python	94
Gambar 4. 20. Hasil Pengujian Parameter Model Ke-3 Agen DQN-Braitenberg pada CoppeliaSim	95
Gambar 4. 21. Hasil Pengujian Parameter Model Ke-3 Agen DQN-Braitenberg pada Python	95
Gambar 4. 22. Cuplikan Pengujian Model Ke-4 Agen DQN-Braitenberg pada CoppeliaSim	96
Gambar 4. 23. Cuplikan Pengujian Model Ke-4 Agen DQN-Braitenberg pada Python	97
Gambar 4. 24. Hasil Pengujian Parameter Model Ke-4 Agen DQN-Braitenberg pada CoppeliaSim	98
Gambar 4. 25. Hasil Pengujian Parameter Model Ke-4 Agen DQN-Braitenberg pada Python	98
Gambar 4. 26. Cuplikan Pengujian Model Ke-5 Agen DQN-Braitenberg pada CoppeliaSim	99
Gambar 4. 27. Cuplikan Pengujian Model Ke-5 Agen DQN-Braitenberg pada Python	100
Gambar 4. 28. Hasil Pengujian Parameter Model Ke-5 Agen DQN-Braitenberg pada CoppeliaSim	101
Gambar 4. 29. Hasil Pengujian Parameter Model Ke-5 Agen DQN-Braitenberg pada Python	101
Gambar 4. 30. Cuplikan Pengujian Model Ke-6 Agen DQN-Braitenberg pada CoppeliaSim	102
Gambar 4. 31. Cuplikan Pengujian Model Ke-6 Agen DQN-Braitenberg pada Python	103
Gambar 4. 32. Hasil Pengujian Parameter Model Ke-6 Agen DQN-Braitenberg pada CoppeliaSim	104
Gambar 4. 33. Hasil Pengujian Parameter Model Ke-6 Agen DQN-Braitenberg pada Python	104
Gambar 4. 34. Cuplikan Pengujian Model Ke-7 Agen DQN-Braitenberg pada CoppeliaSim	105
Gambar 4. 35. Cuplikan Pengujian Model Ke-7 Agen DQN-Braitenberg pada Python	106

Gambar 4. 36. Hasil Pengujian Parameter Model Ke-7 Agen DQN-Braitenberg pada CoppeliaSim	107
Gambar 4. 37. Hasil Pengujian Parameter Model Ke-7 Agen DQN-Braitenberg pada Python	107
Gambar 4. 38. Grafik Perbandingan Episode <i>Reward</i> terhadap <i>Steps</i> Saat Agen <i>Training and Testing</i>	108
Gambar 4. 39. Grafik Perbandingan <i>Reward</i> Agen DQN-Braitenberg	110
Gambar 4. 40. Grafik Perbandingan Kecepatan Linear Ketujuh Model Saat Pengujian Parameter Agen	112
Gambar 4. 41. Grafik Perbandingan Kecepatan Sudut Ketujuh Model Saat Pengujian Parameter Agen	113
Gambar 4. 42. Grafik Perbandingan <i>Distance</i> Ketujuh Model Saat Pengujian Parameter Agen	115
Gambar 4. 43 Grafik Perbandingan Lintasan Ketujuh Model Saat Pengujian Parameter Agen	116
Gambar 4. 44. Cuplikan Validasi Agen DQN dengan Model Ke-7 pada CoppeliaSim	118
Gambar 4. 45. Cuplikan Validasi Agen DQN dengan Model Ke-7 pada Python	119
Gambar 4. 46. Cuplikan Validasi Agen DQN-Braitenberg dengan Model Ke-7 pada CoppeliaSim	120
Gambar 4. 47. Cuplikan Validasi Agen DQN-Braitenberg dengan Model Ke-7 pada Python	120
Gambar 4. 28 Grafik Perbandingan Lintasan Ketika Kedua Agen Menuju Target dengan Model Ke-7	121