

**PENGEMBANGAN PERANGKAT LUNAK SIMULASI
AUTOMATED GUIDED VEHICLE MENGGUNAKAN METODE
PARALLEL CASCADE FUZZY UNTUK PENCAPAIAN TARGET**



SKRIPSI

**Disusun Sebagai Salah Satu Syarat
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Komputer
pada Departemen Ilmu Komputer/Informatika**

Disusun oleh:

Benediktus Wijayanto

24010311130057

**DEPARTEMEN ILMU KOMPUTER / INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN MATEMATIKA
UNIVERSITAS DIPONEGORO**

2018

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Benediktus Wijayanto

NIM : 24010311130057

Judul skripsi : Pengembangan Perangkat Lunak Simulasi *Automated Guided Vehicle* Menggunakan Metode *Parallel Cascade Fuzzy* untuk Pencapaian Target

Menyatakan bahwa dalam tugas akhir skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi dan sejauh pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini serta disebutkan di dalam daftar pustaka.

Semarang, 23 Mei 2018



Benediktus Wijayanto
NIM. 24010311130057

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Pengembangan Perangkat Lunak Simulasi *Automated Guided Vehicle*
Menggunakan Metode *Parallel Cascade Fuzzy* untuk Pencapaian Target

Nama : Benediktus Wijayanto

NIM : 24010311130057

Telah diujikan pada sidang tugas akhir pada tanggal 3 Mei 2018 dan dinyatakan lulus pada tanggal 3 Mei 2018.



HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Pengembangan Perangkat Lunak Simulasi *Automated Guided Vehicle*
Menggunakan Metode *Parallel Cascade Fuzzy* untuk Pencapaian Target

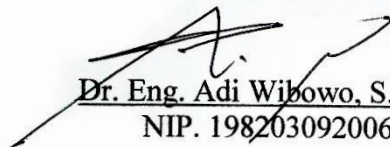
Nama : Benediktus Wijayanto

NIM : 24010311130057

Telah diujikan pada sidang tugas akhir pada tanggal 3 Mei 2018.

Semarang, 24 Mei 2018

Pembimbing



Dr. Eng. Adi Wibowo, S.Si., M. Kom.
NIP. 198203092006041002

ABSTRAK

Dalam pengembangan sistem kontrol gerak robot, suatu perangkat lunak simulasi yang mampu menggambarkan pola kerja metode tersebut dapat digunakan untuk mempermudah proses pengujian. Metode *fuzzy* sudah sangat populer digunakan dalam dunia robotika. Dalam perkembangannya, metode *fuzzy* sudah semakin ditingkatkan kemampuannya dalam memenuhi suatu kebutuhan khusus, salah satunya metode *parallel cascade fuzzy*. *Parallel cascade fuzzy* merupakan metode yang dibuat untuk menangani keadaan lingkungan operasional sistem yang berubah – ubah. Dalam hal ini, *parallel cascade fuzzy* digunakan sebagai kontrol gerak robot *Auto Guided Vehicle* untuk menghindari rintangan dan mencapai suatu tujuan. Perangkat lunak simulasi *Fuzzy Auto Guided Vehicle 1.3*, sebagai penerus *Fuzzy Auto Guided Vehicle 1.2*, diharapkan dapat mendemonstrasikan metode *parallel cascade fuzzy* sebagai kontrol pergerakan robot *Auto Guided Vehicle* dengan lebih baik.

Kata kunci : Robot, *Auto Guided Vehicle*, Simulasi, *fuzzy*, *parallel cascade fuzzy*

ABSTRACT

In the development of robot movement control system, a simulation software that able to portray a working pattern of such method can be used to facilitate the testing process. Fuzzy methods are already very popular in a robotics study. In its development, fuzzy method has been increasingly enhanced its ability to meet a special requirement, one of which is parallel cascade fuzzy method. Parallel cascade fuzzy is a specialized method that developed for volatile operating environment. In this circumstance, parallel cascade fuzzy being used by Auto Guided Vehicle robot to avoiding obstacle and reach goal area. Fuzzy Auto Guided Vehicle 1.3 simulator software, successor of Fuzzy Auto Guided Vehicle 1.2, being expected to demonstrate parallel cascade fuzzy method as a movement control system of Auto Guided Vehicle robot better.

Keywords : Robot, Auto Guided Vehicle, Simulation, fuzzy, parallel cascade fuzzy

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan atas berkat rahmat dan kemuliaan-Nya, skripsi yang berjudul “*Pengembangan Perangkat Lunak Simulasi Automated Guided Vehicle Menggunakan Metode Parallel Cascade Fuzzy untuk Pencarian Target*” dapat terselesaikan dengan baik. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana komputer pada Departemen Ilmu Komputer / Informatika Universitas Diponegoro.

Skripsi ini ditulis menurut aturan sistematika penulisan skripsi pada Departemen Informatika Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro. Pembaca dapat mengetahui pengembangan perangkat lunak dengan dua sistematika baca. Pertama, untuk mengetahui perbedaan dari kedua iterasi dari tahapan pengembangan dalam fase kedua sampai keempat, skripsi ini dibaca berurutan dari awal sampai akhir. Kedua, pembaca dapat mengetahui pengembangan perangkat lunak secara berurutan dengan membaca bagian iterasi yang sama dilanjutkan hingga tahap *feedback*, setelah itu kembali ke awal dokumentasi pengembangan perangkat lunak dan membaca bagian iterasi pengembangan selanjutnya.

Terima kasih penulis ucapkan untuk beberapa pihak yang ikut berperan dalam penyelesaian skripsi ini, antara lain :

1. Dr. Retno Kusumaningrum, S.Si, M.Kom., selaku Ketua Departemen Ilmu Komputer / Informatika Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro;
2. Helmie Arif W., S.Si., M.Cs, selaku Dosen Koordinator Tugas Akhir Departemen Ilmu Komputer / Informatika Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro;
3. Dr. Eng. Adi Wibowo, S.Si., M. Kom. yang telah memberikan peran besar serta bimbingan hingga tahap akhir pengerjaan tugas akhir ini;
4. Drs. Suhartono, M.Kom. dan Sutikno, S.T., M.Cs., selaku Dewan Penguji yang telah membantu dalam tahap akhir penyelesaian skripsi;
5. dan semua pihak yang telah memberi dukungan moral serta materi pada penulis.

Penulis menyadari bahwa dalam skripsi ini masih banyak kekurangan, baik dari materi ataupun dalam penulisan karena keterbatasan kemampuan dan pengetahuan penulis. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat penulis harapkan. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Semarang, 23 Mei 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan dan Manfaat	4
1.4. Ruang Lingkup.....	4
1.5. Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. <i>Automated Guided Vehicle</i>	7
2.2. Simulasi.....	7
2.3. Logika <i>Fuzzy</i>	8
2.2.1. Teori Dasar <i>Fuzzy</i>	9
2.2.2. Fungsi Keanggotaan <i>Fuzzy</i>	10
2.2.3. Operasi Himpunan <i>Fuzzy</i>	13
2.2.4. Aturan Implikasi.....	14
2.2.5. <i>Fuzzy Inference System</i>	15
2.2.6. Jenis – Jenis Modul Logika <i>Fuzzy</i>	17
2.3. <i>Hierarchical Fuzzy System</i>	18

2.4. <i>Parallel Cascade Fuzzy</i>	19
2.5. Perangkat Lunak Aforge.Net <i>Fuzzy Auto Guided Vehicle Sample</i>	20
2.6. Bahasa C#	22
2.7. <i>Unified Modeling Language</i>	23
2.7.1. <i>Class Diagram</i>	25
2.7.2. <i>Use Case Diagram</i>	27
2.7.3. <i>Sequence Diagram</i>	28
2.7.4. <i>Activity Diagram</i>	29
2.8. Metode <i>Prototyping</i>	31
BAB III ANALISA DAN DESAIN	33
3.1. Fase <i>Communication</i>	34
3.1.1. Deskripsi Umum.....	34
3.1.2. Perspektif Sistem	34
3.1.3. Spesifikasi Kebutuhan Perangkat Lunak	36
3.1.4. Spesifikasi Sistem Kontrol Gerak Robot.....	37
3.2. Fase <i>Quick Plan</i> dan <i>Modeling Quick Desain</i>	102
3.2.1. Iterasi I	102
3.2.2. Iterasi II	125
BAB IV IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN	141
4.1. Fase <i>Construction, Deployment, Delivery, dan Feedback</i>	141
4.1.1. Iterasi I	141
4.1.2. Iterasi II	150
4.2. Pengujian Sistem Kontrol Gerak Robot	164
BAB V PENUTUP	176
5.1. Kesimpulan	176
5.2. Saran.....	177
DAFTAR PUSTAKA	178

Lampiran 1. Grafik Komposisi Fungsi Sistem Fuzzy Kedua Pada Iterasi I untuk Contoh Kasus 1	181
Lampiran 2. Grafik Komposisi Fungsi Sistem Fuzzy Ketiga Pada Iterasi II untuk Contoh Kasus 2	187
Lampiran 3. Tabel Hasil Pengujian Iterasi I.....	191
Lampiran 4. Tabel Hasil Pengujian Iterasi II	195
Lampiran 5. Implementasi Kelas ‘MainForm’ pada <i>Construction</i> Iterasi I	198
Lampiran 6. Implementasi Kelas ‘Aboutform’ pada <i>Construction</i> Iterasi I.....	214
Lampiran 7. Implementasi Kelas ‘MainForm’ pada <i>Construction</i> Iterasi II.....	217
Lampiran 8. Kartu Bimbingan Tugas Akhir.....	242

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Representasi Linear Naik (Saiful, 2015)	11
Gambar 2. 2. Representasi Linear Turun (Saiful, 2015)	11
Gambar 2. 3. Representasi Kurva Segitiga (Saiful, 2015).....	12
Gambar 2. 4. Representasi Kurva Trapesium (Saiful, 2015).....	13
Gambar 2. 5. Modul <i>SISO</i> (Benitez & Casillas, 2013).....	17
Gambar 2. 6. Modul <i>MISO</i> (Benitez & Casillas, 2013)	18
Gambar 2. 7. Modul <i>MIMO</i> (Benitez & Casillas, 2013).....	18
Gambar 2. 8. <i>Serial Hierarchical Fuzzy Systems</i> (Benitez & Casillas, 2013)	19
Gambar 2. 9. Arsitektur <i>Parallel Cascade Fuzzy</i> (Wibowo, et al., 2012).....	20
Gambar 2. 10. Tampilan Perangkat Lunak <i>Fuzzy Auto Guided Vehicle Sample</i> (AForge.net, 2009).....	21
Gambar 2. 11. Pengelompokan Jenis Diagram pada <i>UML 2.5</i> (Object Management Group, 2015).....	25
Gambar 2. 12. Notasi <i>class</i> pada <i>Class Diagram</i> (Rumbaugh, et al., 1999).....	26
Gambar 2. 13. Contoh <i>Class Diagram</i> (Khadijah, 2011).....	27
Gambar 2. 14. Contoh Penerapan <i>Use Case Diagram</i> (Rumbaugh, et al., 1999).....	28
Gambar 2. 15. Contoh <i>Sequence Diagram</i> (Rumbaugh, et al., 1999).....	29
Gambar 2. 16. Contoh <i>Activity Diagram</i> Menggunakan <i>Swimlane</i> (Khadijah, 2011)	30
Gambar 2. 17. Siklus Pengembangan <i>Prototyping</i> (Pressman & Maxim, 2015).....	31
Gambar 3. 1. Skema Arsitektur Aplikasi.....	36
Gambar 3. 2. Arsitektur <i>Parallel Cascade Fuzzy</i> pada Perangkat Lunak <i>Fuzzy Auto</i> <i>Guided Vehicle 1.2</i>	38
Gambar 3. 3. Fungsi Keanggotaan ‘LeftDistance’, ‘RightDistance’, dan ‘FrontalDistance’ pada Sistem <i>Fuzzy</i> Pertama Iterasi I.....	40
Gambar 3. 4. Fungsi Keanggotaan ‘Road’ pada Iterasi I	41
Gambar 3. 5. Grafik Keanggotaan ‘FrontalDistance’= 57	50
Gambar 3. 6. Grafik Keanggotaan ‘LeftDistance’= 43	50
Gambar 3. 7. Grafik Keanggotaan ‘RightDistance’= 159.....	51
Gambar 3. 8. Komposisi Aturan Sistem <i>Fuzzy</i> 1 pada Iterasi I Bagian 1	53
Gambar 3. 9. Komposisi Aturan Sistem <i>Fuzzy</i> 1 pada Iterasi I Bagian 2	54
Gambar 3. 10. Grafik Fungsi Keanggotaan ‘FrontalDistance’ = 57 dengan $i = 2,41433$...	56

Gambar 3. 11. Grafik Fungsi Keanggotaan ‘RightDistance’ = 159 dengan $i = 2,41433$	57
Gambar 3. 12. Grafik Fungsi Keanggotaan ‘LeftDistance’ = 43 dengan $i = 2,41433$	58
Gambar 3. 13. Grafik Fungsi Keanggotaan ‘Angle’ untuk $i = 2,41433$	64
Gambar 3. 14. Grafik Fungsi Keanggotaan ‘Speed’ untuk $i = 2,41433$	64
Gambar 3.15. Arsitektur Metode <i>Parallel Cascade Fuzzy</i> pada <i>Fuzzy Auto Guided Vehicle 1.3</i>	65
Gambar 3. 16. Grafik fungsi Keanggotaan ‘Angle’ pada Sistem Fuzzy Ketiga Iterasi II...	71
Gambar 3. 17. Grafik Fungsi Keanggotaan ‘FrontalDistance’ = 57 dengan $i = 2$	73
Gambar 3. 18. Grafik Fungsi Keanggotaan ‘RightDistance’ = 0 dengan $i = 2$	74
Gambar 3. 19. Grafik Fungsi Keanggotaan ‘LeftDistance’ = 0 dengan $i = 2$	75
Gambar 3. 20. Grafik Fungsi Keanggotaan ‘Speed’ untuk $i = 2$	78
Gambar 3. 21. Arsitektur Metode <i>Serial Hierarchical Fuzzy System</i>	79
Gambar 3. 22. Fungsi Keanggotaan ‘LeftDistance’, ‘RightDistance’, dan ‘FrontalDistance’ pada Sistem <i>Fuzzy</i> Pertama Metode <i>Serial Hierarchical Fuzzy System</i>	82
Gambar 3. 23. Fungsi Keanggotaan ‘Road’ pada Sistem <i>Fuzzy</i> Pertama Metode <i>Serial Hierarchical Fuzzy System</i>	83
Gambar 3. 24. Fungsi Keanggotaan ‘Angle’ pada Sistem <i>Fuzzy</i> Pertama Metode <i>Serial Hierarchical Fuzzy System</i>	84
Gambar 3. 25. Fungsi Keanggotaan ‘LeftDistance’, ‘RightDistance’, dan ‘FrontalDistance’ pada Sistem <i>Fuzzy</i> Kedua Metode <i>Serial Hierarchical Fuzzy System</i>	89
Gambar 3. 26. Fungsi Keanggotaan ‘Road’ pada Sistem <i>Fuzzy</i> Kedua Metode <i>Serial Hierarchical Fuzzy System</i>	90
Gambar 3. 27. Fungsi Keanggotaan ‘Angle’ pada Sistem <i>Fuzzy</i> Kedua Metode <i>Serial Hierarchical Fuzzy System</i>	91
Gambar 3. 28. Grafik fungsi keanggotaan ‘RoadT’ pada Metode <i>Serial Hierarchical Fuzzy System</i>	93
Gambar 3. 29. Grafik Fungsi Keanggotaan ‘Speed’ pada Metode <i>Serial Hierarchical Fuzzy System</i>	94
Gambar 3. 30. Arsitektur Metode <i>Fuzzy</i>	95
Gambar 3. 31. Fungsi Keanggotaan ‘LeftDistance’, ‘RightDistance’, dan ‘FrontalDistance’ pada Sistem <i>Fuzzy</i> Pertama Metode <i>Fuzzy</i>	98

Gambar 3. 32. Grafik Fungsi Keanggotaan ‘Speed’ Sistem <i>Fuzzy</i> Pertama pada Metode <i>Fuzzy</i>	99
Gambar 3. 33. Fungsi Keanggotaan ‘Angle’ pada Sistem <i>Fuzzy</i> Pertama Metode <i>Fuzzy</i>	100
Gambar 3. 34. <i>Use Case Diagram</i>	110
Gambar 3. 35. <i>Activity Diagram</i> Jalankan Robot.....	111
Gambar 3. 36. <i>Activity Diagram</i> Menghentikan Laju Robot	112
Gambar 3. 37. <i>Activity Diagram</i> Menjalankan Robot Satu Iterasi.....	112
Gambar 3. 38. <i>Activity Diagram</i> Tambah Area Rintangan Saat Iterasi Berjalan Maupun Berhenti.....	113
Gambar 3. 39. <i>Activity Diagram</i> Tambah Area Lintasan Saat Iterasi Berjalan Maupun Berhenti.....	113
Gambar 3. 40. <i>Activity Diagram</i> Menampilkan Sensor Sonar	114
Gambar 3. 41. <i>Activity diagram</i> menghilangkan tampilan sensor sonar	114
Gambar 3. 42. <i>Activity Diagram</i> Mengembalikan Posisi Robot ke Posisi Awal dan <i>Map</i> ke Kondisi Awal	115
Gambar 3. 43. <i>Activity Diagram</i> Menampilkan Penunjuk Jalur yang Telah Dilalui Robot.....	115
Gambar 3. 44. <i>Activity Diagram</i> Menghilangkan Tampilan Penunjuk Jalur yang Telah Dilalui Robot.....	116
Gambar 3. 45. <i>Activity Diagram</i> Mengubah Interval Waktu Per Iterasi	116
Gambar 3. 46. <i>Activity Diagram</i> Mengubah Interval Waktu per Iterasi	117
Gambar 3. 47. <i>Sequence Diagram</i> Jalankan Robot.....	117
Gambar 3. 48. <i>Sequence Diagram</i> Hentikan Laju Robot.....	118
Gambar 3. 49. <i>Sequence Diagram</i> Menjalankan Robot Satu Iterasi.....	118
Gambar 3. 50. <i>Sequence Diagram</i> Tambah Area Rintangan saat Iterasi Berjalan maupun Berhenti.....	119
Gambar 3. 51. <i>Sequence Diagram</i> Tambah Area Lintasan saat Iterasi Berjalan maupun Berhenti.....	119
Gambar 3. 52. <i>Sequence Diagram</i> Menampilkan Sensor Sonar	120
Gambar 3. 53. <i>Sequence Diagram</i> Menghilangkan Tampilan Sensor Sonar	120
Gambar 3. 54. <i>Sequence Diagram</i> Mengembalikan Posisi Robot dan <i>Map</i> ke Kondisi Awal.....	121

Gambar 3. 55. <i>Sequence Diagram</i> Menampilkan Penunjuk Jalur yang Telah Dilalui Robot.....	121
Gambar 3. 56. <i>Sequence Diagram</i> Menghilangkan Tampilan Penunjuk Jalur yang Telah Dilalui Robot.....	122
Gambar 3. 57. <i>Sequence Diagram</i> Mengubah Waktu Interval per Iterasi	122
Gambar 3. 58. <i>Sequence Diagram</i> Menampilkan Informasi Pengembang Aplikasi <i>Fuzzy Auto Guided Vehicle</i>	123
Gambar 3. 59. <i>Class Diagram</i> Iterasi I.....	124
Gambar 3. 60. Desain Antarmuka aplikasi <i>Fuzzy Auto Guided Vehicle 1.2</i>	125
Gambar 3. 61. <i>Use Case Diagram</i> Iterasi II.....	131
Gambar 3. 62. <i>Activity Diagram</i> Jalankan Robot pada Iterasi II.....	132
Gambar 3. 63. <i>Activity Diagram</i> Tambah Area Rintangan pada Iterasi II.....	133
Gambar 3. 64. <i>Activity Diagram</i> Tambah Area Lintasan pada Iterasi II.....	134
Gambar 3. 65. <i>Activity Diagram</i> Mengembalikan Posisi Robot ke Posisi Awal dan <i>Map</i> ke Kondisi Awal pada Iterasi II	134
Gambar 3. 66. <i>Activity Diagram</i> Tambahkan Area Tujuan.....	135
Gambar 3. 67. <i>Activity Diagram</i> Kembalikan Posisi Robot ke Awal	135
Gambar 3. 68. <i>Sequence Diagram</i> Jalankan Robot pada Iterasi II.....	136
Gambar 3. 69. <i>Sequence Diagram</i> Hentikan Laju Robot	136
Gambar 3. 70. <i>Sequence Diagram</i> Mengembalikan Posisi Robot dan <i>Map</i> ke Posisi Awal.....	137
Gambar 3. 71. <i>Sequence Diagram</i> Tambah Area Tujuan.....	137
Gambar 3. 72. <i>Sequence Diagram</i> Kembalikan Posisi Robot.....	138
Gambar 3. 73. <i>Class Diagram</i> Iterasi II	139
Gambar 3. 74. Desain Antarmuka aplikasi <i>Fuzzy Auto Guided Vehicle 1.3</i>	140
Gambar 4. 1. Tampilan Awal Antarmuka <i>Fuzzy Auto Guided Vehicle 1.2</i>	142
Gambar 4. 2. Tampilan Masukan Lintasan pada Area Operasional Robot	143
Gambar 4. 3. Tampilan Masukan Rintangan pada Area Operasional Robot	143
Gambar 4. 4. Tampilan Antarmuka Setelah Tombol ‘Run’ Ditekan dengan ‘Track Path’ dan ‘Show Beams’ Aktif.....	144
Gambar 4. 5. Tampilan Antarmuka setelah Tombol ‘Run’ Ditekan dengan ‘Track Path’ dan ‘Show Beams’ Tidak Aktif	144

Gambar 4. 6. Tampilan Antarmuka setelah Tombol ‘Run’ Ditekan dengan ‘Track Path’ Aktif	145
Gambar 4. 7. Tampilan Antarmuka setelah Tombol ‘Run’ Ditekan dengan ‘Show Beams’ Aktif.....	145
Gambar 4. 8. Tampilan Antarmuka setelah Tombol ‘About’ Ditekan	146
Gambar 4. 9. <i>Bug</i> yang Ditemukan pada Kelas Uji 1 Hasil Uji a.	146
Gambar 4. 10. <i>Bug</i> yang Ditemukan pada Kelas Uji 1 Hasil Uji e.	147
Gambar 4. 11. <i>Bug</i> yang Ditemukan pada Kelas Uji 3.	147
Gambar 4. 12. <i>Bug</i> yang Ditemukan pada Kelas Uji 4 Hasil Uji a dan Kelas Uji 5 Hasil Uji a.....	148
Gambar 4. 13. <i>Bug</i> yang Ditemukan pada Kelas Uji 11 Hasil Uji b.	148
Gambar 4. 14. Tampilan Awal Antarmuka <i>Fuzzy Auto Guided Vehicle 1.3</i>	160
Gambar 4. 15. Tampilan masukan lintasan pada area operasional robot <i>Fuzzy Auto Guided Vehicle 1.3</i>	161
Gambar 4. 16. Tampilan masukan rintangan pada area operasional robot <i>Fuzzy Auto Guided Vehicle 1.3</i>	161
Gambar 4. 17. Tampilan masukan tujuan pada area operasional robot <i>Fuzzy Auto Guided Vehicle 1.3</i>	161
Gambar 4. 18. Tampilan Antarmuka <i>Fuzzy Auto Guided Vehicle 1.3</i> setelah Tombol ‘Run’ Ditekan dengan ‘Track Path’ dan ‘Show Beams’ Aktif dengan Sensor Depan Membaca Area Tujuan	162
Gambar 4. 19. Tampilan Antarmuka <i>Fuzzy Auto Guided Vehicle 1.3</i> setelah Tombol ‘run’ Diklik dengan Nilai ‘Move Interval’ Tidak Sesuai Ketentuan	162
Gambar 4. 20. Tampilan Antarmuka <i>Fuzzy Auto Guided Vehicle 1.3</i> setelah Tombol ‘Run’ Diklik dengan Nilai ‘Move Interval’ Kosong.....	163
Gambar 4. 21. Tampilan Peringatan Ketika Lingkaran Tidak Dapat Berjalan dan Tombol ‘Run’ atau ‘One Step’ Diklik	163
Gambar 4. 22. Perbandingan Pergerakan pada Area ‘goalA’	166
Gambar 4. 23. Perbandingan Pergerakan pada Area ‘goalB’	168
Gambar 4. 24. Perbandingan pergerakan pada area ‘goalC’	169
Gambar 4. 25. Perbandingan Pergerakan pada Area ‘circA’	170
Gambar 4. 26. Perbandingan Pergerakan pada Area ‘circB’	171
Gambar 4. 27. Perbandingan Pergerakan pada Area ‘circC’	172

Gambar 4. 28. Perbandingan Pergerakan pada Area 'laneA'	173
Gambar 4. 29. Perbandingan Pergerakan pada Area 'obsA'	173

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Jenis <i>Relationship</i> pada <i>Class Diagram</i> (Khadijah, 2011).....	26
Tabel 2. 2. Jenis <i>Relationship</i> pada <i>Use Case</i> (Khadijah, 2011).....	27
Tabel 2. 3. Notasi yang Digunakan dalam <i>Activity Diagram</i> (Rumbaugh, et al., 1999).....	30
Tabel 3. 1. Kebutuhan Fungsional.....	36
Tabel 3. 2. Kebutuhan Non Fungsional.....	37
Tabel 3. 3. <i>Use Case</i> Iterasi I.....	103
Tabel 3. 4. Detail <i>Use Case</i> 1	103
Tabel 3. 5. Detail <i>Use Case</i> 2	105
Tabel 3. 6. Detail <i>Use Case</i> 3	105
Tabel 3. 7 Detail <i>Use Case</i> 4	106
Tabel 3. 8. Detail <i>Use Case</i> 5	106
Tabel 3. 9. Detail <i>Use Case</i> 6	107
Tabel 3. 10. Detail <i>Use Case</i> 7	107
Tabel 3. 11 Detail <i>Use Case</i> 8	107
Tabel 3. 12. Detail <i>Use Case</i> 9	108
Tabel 3. 13. Detail <i>Use Case</i> 10	108
Tabel 3. 14. Detail <i>Use Case</i> 11	108
Tabel 3. 15. Detail <i>Use Case</i> 12	109
Tabel 3. 16. Tabel <i>Use Case</i> Iterasi II.	126
Tabel 3. 17. Detail <i>Use Case</i> 1 Iterasi II.	126
Tabel 3. 18. Detail <i>Use Case</i> 2 Iterasi II.	127
Tabel 3. 19. Detail <i>Use Case</i> 4 Iterasi II.	128
Tabel 3. 20. Detail <i>Use Case</i> 5 Iterasi II	128
Tabel 3. 21. Detail <i>Use Case</i> 6 pada Iterasi II.....	129
Tabel 3. 22. Detail <i>Use Case</i> 8 Iterasi II	129
Tabel 3. 23. Detail revisi <i>use case</i> 11 pada iterasi II ditunjukkan pada tabel 3.23.....	129
Tabel 3. 24. Detail <i>Use Case</i> 13	130
Tabel 3. 25. Detail <i>Use Case</i> Mengembalikan Robot ke Posisi Awal	130
Tabel 4. 1. Jenis Area Pengujian	164
Tabel 4. 2. Tabel Pengujian Metode pada Area ‘goalA’	167
Tabel 4. 3. Tabel Pengujian Metode pada Area ‘goalB’	168

Tabel 4. 4. Tabel pengujian metode pada area ‘goalC’	169
Tabel 4. 5. Tabel Pengujian Metode pada Area ‘circA’	170
Tabel 4. 6. Tabel Pengujian Metode pada Area ‘circB’	171
Tabel 4. 7. Tabel Pengujian Metode pada Area ‘circC’	172
Tabel 4. 8. Tabel Pengujian Metode pada Area ‘laneA’	173
Tabel 4. 9. Tabel Pengujian Metode pada Area ‘obsA’	174

BAB I

PENDAHULUAN

Bab ini membahas mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan dan manfaat, ruang lingkup, serta sistematika penulisan dalam tugas akhir “*Pengembangan Perangkat Lunak Simulasi Automated Guided Vehicle Menggunakan Metode Parallel Cascade Fuzzy Untuk Pencarian Target*”.

1.1. Latar Belakang

Perkembangan dunia robotika saat ini sudah semakin berkembang di berbagai bidang, seperti kesehatan, industri, dan otomotif. Bahkan, peralatan berbasis robotika sudah mulai dikomersialkan oleh perusahaan – perusahaan di dunia untuk kalangan *end-user*. Berbagai peralatan elektronika modern sudah diintegrasikan dengan *microcontroller* yang mampu mengontrol kinerja perangkat ketika menghadapi kondisi tertentu. Dengan bantuan *microcontroller* tersebut, suatu perangkat diharapkan dapat mempermudah usaha pengguna dalam mengoperasikan perangkat. Kendaraan tanpa awak sudah banyak dikembangkan oleh berbagai perusahaan otomotif maupun pembuatan alat – alat industri di dunia. Kendaraan tanpa awak tersebut biasa disebut dengan *Automated Guided Vehicle (AGV)*.

Robot AGV pertama yang tercatat dalam sejarah diproduksi oleh *Barrett Electronics* pada tahun 1954 dengan nama komersial *Guide-O-Matic* (Trebilcock, 2010). Robot AGV yang pada masa pembuatannya disebut sebagai *driverless vehicle* tersebut berjenis *line follower*. Robot tersebut bergerak sesuai dengan jalur berupa kawat elektromagnetik yang ditanamkan di lantai. *Guide-O-Matic* digunakan dalam skala industri untuk kepentingan pemindahan muatan barang.

Perkembangan robot memang berawal pada skala industri. Namun, saat ini konsep robot AGV mulai diterapkan pada peralatan bahkan kendaraan yang biasa digunakan sehari – hari. Perkembangan tersebut mengikutsertakan berbagai perangkat tambahan yang dibenamkan pada robot AGV sebagai media penerima masukan dari kondisi area operasionalnya.

Perusahaan *MOWBOT Inc.* pertama kali mencatatkan hak paten atas robot pemotong rumput otomatis yang bernama *self-propelled random motion lawnmower* pada tahun 1969. Robot AGV ini bergerak lurus dan memiliki kemampuan untuk berbelok ketika mendeteksi

batas area operasi berupa kawat beraliran listrik (Bellinger, 1969). Konsep ini masih digunakan oleh *autonomous lawn mower* kekinian.

Selain penerapan pada peralatan rumah tangga, beberapa produsen mobil sudah menerapkan konsep AGV dalam pengembangan produk mereka. Beberapa mobil yang sudah diproduksi dengan *level 3 autonomy* (International, 2016) seperti *hybrid Ford Fusion*, mobil *Ford Fusion* yang dimodifikasi oleh *Uber Advance Technology Group* (Molly, 2016), dan *Audi A8* (rilis 2019) (Goodwin, 2017). *Waymo LLC* juga merilis *autonomous car* mereka, bekerja sama dengan *Fiat Chrysler Automobiles US LLC*, *hybrid Chrysler Pacifica*, yang diklaim merupakan *autonomous car* dengan *level autonomy* mendekati *level 4* (Roose, 2017). Mobil – mobil tersebut memanfaatkan berbagai perangkat pendukung fungsi *autonomous* seperti kamera, radar, lidar, *Global Positioning System*, dan sebagainya.

Salah satu pengembangan metode gerak robot menuju suatu tujuan telah dilakukan pada tahun 2005 oleh Ren C. Luo dkk. dan dipublikasikan pada *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems* dalam artikel berjudul “*Automatic Docking and Recharging System for Autonomous Security Robot*”. Robot yang diujikan pada pengembangan tersebut adalah *security robot* dengan perangkat navigasi kamera yang digunakan untuk mengenali *landmark* area tujuan. Metode yang digunakan adalah *proposed virtual spring model*. Tujuan yang dicapai merupakan *docking station* dengan *auto recharging device*. Robot akan mencari *docking station* tersebut berdasarkan hasil keluaran dari *power prediction algorithm* yang berfungsi untuk menentukan kapan robot harus menuju *docking station*. (Luo, et al., 2005)

Logika *fuzzy* adalah salah satu metode yang populer digunakan dalam dunia robotika, termasuk dalam robot AGV. Menurut artikel ilmiah “*Fuzzy Logic Control for an Automated Guided Vehicle*” yang diterbitkan pada tahun 1998, logika *fuzzy* sudah mulai diterapkan pada sistem kontrol AGV sejak tahun 1997 secara signifikan. Logika *fuzzy* dianggap sebagai sistem yang dapat mendukung suatu unit memiliki tingkah laku individual yang kuat (Cao & Hall, 1998).

Himpunan *Fuzzy* pertama kali diperkenalkan oleh Lotfi A. Zadeh dalam jurnalnya yang berjudul “*Fuzzy Sets*”. Hingga saat ini, *fuzzy* menjadi suatu logika yang penerapan dan pengembangannya cukup luas dan populer. Suatu situs bernama aforgenet.com menyediakan *fuzzy library* yang dapat digunakan oleh semua orang yang ingin mengembangkan dan mempelajari logika *fuzzy* pada lingkungan pengembangan bahasa C# (Zadeh, 1965).

Seiring perkembangannya, *fuzzy* mengalami pengembangan metode untuk penerapan yang lebih baik pada suatu kasus. Menurut Benitez dan Casillas, suatu modul logika *fuzzy* dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu *Single Input Single Output (SISO)*, *Multiple Input Single Output (MISO)*, dan *Multiple Input Multiple Output (MIMO)* (Benitez & Casillas, 2013). *Fuzzy* juga dikembangkan dalam bentuk *hierarchical fuzzy system (HFS)* untuk menangani suatu sistem *fuzzy* dengan banyak variabel masukan, salah satunya *Serial HFS (SHFS)*. *SHFS* merupakan sistem logika *fuzzy* yang memiliki modul *fuzzy* dengan nilai masukan dari hasil keluaran modul *fuzzy* sebelumnya (Lee, et al., 2003).

Salah satu metode dikembangkan oleh Adi Wibowo dkk. dalam artikel pada *International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems (ICACSIS) proceedings* yang berjudul “*Parallel Cascade Fuzzy Inference System at The Environment Changes, Case Study: Automated Guide Vehicle Robot Using Ultrasonic Sensor*” bernama *Parallel Cascade Fuzzy Inference System* dikembangkan untuk meningkatkan kemampuan logika *fuzzy* dalam penerapannya pada robot AGV. Dalam pengujian metodenya, Adi Wibowo dkk. menggunakan aplikasi beserta *framework* yang disediakan oleh *AForge.net* bernama *Fuzzy Auto Guided Sample*. (Wibowo, et al., 2012)

Pengembangan perangkat lunak berjenis simulasi dapat dilakukan untuk mengurangi biaya pengembangan suatu metode yang diterapkan pada robot, termasuk robot AGV. Program simulasi juga dapat dimanfaatkan untuk menguji kinerja metode tanpa perlu melakukan penerapan langsung pada robot sehingga kesalahan – kesalahan yang ada dapat ditemukan dan ditangani dengan lebih mudah. Berbagai fungsi yang perlu disematkan pada robot juga dapat diujikan pada perangkat lunak simulasi tersebut.

Perangkat lunak *Fuzzy Auto Guided Sample* dikembangkan menjadi *Fuzzy Auto Guided Vehicle 1.2* untuk menyimulasikan metode *parallel cascade fuzzy*. Namun, dalam aplikasi simulasi tersebut masih terdapat beberapa *bug* yang masih perlu diperbaiki, antara lain obyek yang merepresentasikan robot masih dapat berjalan di atas area rintangan, ketidakmampuan sistem *fuzzy* yang menghasilkan keluaran jenis jalan untuk menangani beberapa jenis masukan, obyek representasi robot yang tergambar secara berulang ketika mengubah area operasional robot ketika robot beroperasi, dan perangkat lunak tidak memiliki batasan kondisi untuk masukan interval waktu iterasi. Kemampuan menghindari suatu rintangan juga dapat dikembangkan ke tingkat lanjut dengan memanfaatkan metode *fuzzy* yang sama untuk penanganan masalah pencapaian target dengan perangkat navigasi yang disimulasikan berjenis sensor jarak dan warna.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penulis mencoba untuk membuat tugas akhir yang berjudul “*Pengembangan Perangkat Lunak Simulasi Automated Guided Vehicle Menggunakan Metode Parallel Cascade Fuzzy untuk Pencarian Target*”.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah dipaparkan, maka perumusan masalahnya adalah :

1. Bagaimana memperbaiki dan mengembangkan kemampuan menemukan tujuan pada perangkat lunak simulasi *Fuzzy AGV* dengan menggunakan metode *Parallel Cascade Fuzzy*?
2. Bagaimana performa *Parallel Cascade Fuzzy* dalam penerapannya sebagai sistem kontrol gerak robot *AGV* dalam aplikasi *Fuzzy AGV* dibandingkan dengan *Fuzzy* dengan model *MIMO* dan *SHFS*?

1.3. Tujuan dan Manfaat

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah mengetahui performa *parallel cascade fuzzy* dalam penerapannya pada perangkat robot untuk mencapai suatu tujuan melalui perangkat lunak simulasi.

Adapun manfaat yang diharapkan dari pelaksanaan dan penulisan Skripsi ini adalah :

1. Bagi Penulis :
 - a. Mengetahui penerapan ilmu yang didapat selama perkuliahan dengan mengembangkan perangkat lunak simulator *AGV*.
 - b. Mengetahui performa *parallel cascade fuzzy* dalam penerapannya sebagai pengatur gerak robot *AGV* melalui perangkat lunak simulasi.
 - c. Mendapat pengalaman dalam menangani *bug* pada perangkat lunak khususnya yang berbasis bahasa *C#*.
 - d. Meningkatkan kemampuan penulis dalam bidang menulis karya ilmiah.
2. Bagi Universitas Diponegoro :
 - a. Sebagai bahan referensi untuk Universitas Diponegoro, sehingga dapat digunakan untuk mencari solusi permasalahan yang serupa sebagai bahan acuan.

1.4. Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari pelaksanaan tugas akhir ini antara lain :

1. Perangkat lunak simulasi yang dibuat berbasis *desktop* dan dijalankan pada *platform* Windows menggunakan bahasa C#.
2. Pengembangan yang dilakukan pada perangkat lunak berupa penambahan target berhenti robot dan penanganan *bug*.
3. Metode yang digunakan sebagai perbandingan performa dengan *parallel cascade fuzzy* adalah *SHFS* dan metode *Fuzzy* dengan model *MIMO*. Metode perbandingan diterapkan pada perangkat lunak terpisah.
4. Perangkat lunak merepresentasikan pergerakan robot yang memiliki kemampuan menghindari area rintangan dan bergerak menuju area target.

1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam tugas akhir ini terbagi dalam beberapa pokok bahasan, yaitu:

1. BAB I. Pendahuluan. Bab ini membahas mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan dan manfaat, ruang lingkup, serta sistematika penulisan dalam tugas akhir “*Pengembangan Perangkat Lunak Simulasi Automated Guided Vehicle Menggunakan Metode Parallel Cascade Fuzzy Untuk Pencarian Target*”
2. BAB II. Dasar Teori. Bab ini menyajikan tentang dasar teori yang berhubungan dengan topik tugas akhir. Dasar teori yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir ini meliputi *Automated Guided Vehicle*, *Logika Fuzzy*, *Hierarchical Fuzzy System*, *Parallel Cascade Fuzzy*, *Perangkat Lunak Aforge.Net Fuzzy Auto Guided Vehicle Sample*, *Bahasa C#*, *Unified Modeling Language*, dan *Metode Prototyping*.
3. BAB III. Analisa dan Desain. Bab ini menyajikan tentang tahapan proses pembangunan perangkat lunak menggunakan model pengembangan *prototyping* yang berisi tentang dua fase awal yaitu fase analisis sebagai fase untuk pengumpulan kebutuhan (*requirement*) dan fase desain pada iterasi I dan iterasi II tahapan pengembangan.
4. BAB IV. Implementasi dan Pengujian. Bab ini menyajikan tentang tahapan proses pembangunan perangkat lunak menggunakan model pengembangan *prototyping* yang berisi tentang fase implementasi sebagai fase untuk penerjemah ke dalam bahasa mesin dan fase tes perangkat lunak yang telah dihasilkan pada

iterasi I dan iterasi II tahapan pengembangan. Pengujian metode gerak *AGV* juga disajikan di dalam bab ini.

5. BAB V. Penutup. Bab ini menyajikan tentang kesimpulan dari pengerjaan penelitian Tugas Akhir dan saran - saran penulis untuk pengembangan lebih lanjut dari penelitian serupa.