

SISTEM AUTOPILOT PADA UNMANNED GROUND VEHICLE (UGV) MENGUNAKAN KENDALI LOGIKA FUZZY

Ezufatrin^{*)}, Aris Triwiyatno, and Budi Setiyono

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: ezu.marzuki@gmail.com

Abstrak

Unmanned Ground Vehicle (UGV) merupakan perangkat mekanik yang bergerak di atas permukaan tanah dan berfungsi sebagai sarana membawa atau mengangkut sesuatu, namun tidak disertai manusia didalamnya. UGV banyak digunakan didalam berbagai medan yang sulit ditempuh ataupun berbahaya bagi keselamatan manusia, misal untuk lokasi bencana alam, radiasi, ataupun untuk menjinakkan bom dalam dunia militer. UGV terkadang harus beroperasi pada rentang waktu yang lama, oleh karena itu dibutuhkan suatu sistem yang dapat mengakomodir hal tersebut, sistem ini disebut dengan sistem autopilot. Pada penelitian tugas akhir ini UGV dilengkapi Sensor yang digunakan dalam bernavigasi, sensor tersebut adalah GPS, magnetometer dan rotary encoder. Data dari GPS digabungkan dengan data posisi dari rotary encoder dan magnetometer dengan menggunakan complementary filter, sehingga didapat data posisi yang lebih baik. sistem kendali yang dirancang dalam penelitian ini adalah sistem kendali logika fuzzy. Implementasi perancangan logika fuzzy dalam penelitian ini menghasilkan data yang cukup baik. Hal ini dapat dilihat dengan kemampuan UGV mencapai titik target, selain dari itu persimpangan yang dibentuk adalah 0.74m-1.52m. Nilai ini tidak lebih besar dari rentang akurasi GPS yaitu 2.5m.

Kata Kunci : UGV, autopilot, GPS, Fuzzy

Abstract

Unmanned Ground Vehicle (UGV) is a mechanical device that moves on the ground and serves as a means to carry or transport something, without the present of humans to drive it. UGV is mostly utilized in many difficult and danger area for human safety, natural disaster, radiation, and defusing bomb in the military. In a specified situation UGV has to use in long duration of operation therefore an autopilot system is required. The sensors that used in navigation are GPS, magnetometer and a rotary encoder in this work. Data from the GPS receiver, rotary encoder and magnetometer were combined using the complementary filter, in order to get better data position. Control system designed in this research was fuzzy logic control system. Data result from fuzzy logic design in this research were good enough. It could be seen from the capability of UGV that it could reach the target point with error 0.74m – 1.52m. This error is not bigger than 2.5m as GPS's error.

Keywords: UGV, autopilot, GPS, Fuzzy.

1. Pendahuluan

Dalam era modern ini, perkembangan teknologi yang digunakan masyarakat semakin canggih, Penemuan-penemuan baru semakin banyak bermunculan termasuk dalam bidang sistem kontrol, dengan ditemukannya sistem kontrol baik yang berbasis *on-off* hingga kecerdasan buatan sudah banyak diterapkan, salah satu sistem kontrol yang cukup populer saat ini adalah sistem pengontrolan *fuzzy*. Sistem pengontrolan *fuzzy* semenjak ditemukan pada tahun 1965[1] himpunan dan logika *fuzzy* semakin banyak diminati oleh para peneliti baik untuk diaplikasikan pada bidang ilmu tertentu maupun pada pengembangan terhadap konsep yang telah diberikan.

Logika *fuzzy* ini dapat juga diaplikasikan pada sistem otomatisasi pada pengoperasian UGV (*Unmanned Ground Vehicle*). UGV merupakan perangkat mekanik yang dioperasikan baik itu secara manual maupun otomatis di atas permukaan tanah untuk membawa atau mengangkut sesuatu tanpa adanya kontak secara langsung oleh manusia [2]. Pengendalian UGV memiliki kesulitan dalam pengontrolan maupun pengawasan dari jarak jauh, sehingga dibutuhkan suatu sistem untuk mengatasi kesulitan tersebut. Sistem yang dapat digunakan untuk mengatasi kesulitan dalam pengawasan dan pengamatan pekerjaan pada UGV adalah sistem *autopilot* [3]. Sistem navigasi *autopilot* merupakan suatu sistem yang dapat

memandu pergerakan atau sistem kemudi robot tanpa adanya campur tangan manusia [4].

Penelitian tentang sistem *autopilot* pada UGV telah dilakukan pada penelitian tugas akhir mahasiswa teknik elektro sebagaimana yang tercantum dalam referensi [3] dengan judul desain kontrol *autopilot* Pada UGV (*Unmanned Ground Vehicle*) berbasis GPS (*Global Positioning System*). Sensor yang digunakan pada penelitian tersebut adalah GPS dan kompas digital, menghasilkan simpangan sebesar 3,56 meter - 4,45 meter pada saat mencapai target, simpangan ini cukup besar dikarenakan akurasi sensor GPS yang digunakan kurang baik yaitu sebesar 2.5m. Perancangan penelitian tersebut dilanjutkan dengan mengganti sensor GPS dengan akurasi yang lebih baik yaitu 2.5m dan menambahkan sensor *rotary encoder*, Data dari GPS dan *rotary encoder* tersebut digabungkan dengan menggunakan *complementary filter* agar didapat data yang lebih baik, selain dari itu pada penelitian ini juga dilakukan pendesainan sistem kontrol logika *fuzzy* sebagai sistem kontrolnya dalam beroperasi secara *autopilot*. Pada kompas digital dan mikrokontroler juga dilakukan perubahan namun dengan spesifikasi yang sama dengan perancangan penelitian sebelumnya yaitu akurasi kompas 1-2° dan mikrokontroler memiliki dua buah serial. Modul pengiriman data yang digunakan juga tidak dilakukan perubahan sama sebagaimana perancangan pada penelitian sebelumnya, sedangkan pada aplikasi pemantauan menggunakan aplikasi yang sama sebagaimana pada penelitian sebelumnya namun dilakukan perubahan pada sisi desain sehingga nampak lebih menarik dan mudah digunakan.

Pada sistem *autopilot*, diperlukan sensor yang dapat mengetahui lokasi dan orientasi robot. Sensor tersebut ialah sensor GPS (*Global Positioning System*), magnetometer dan *rotary encoder*. GPS digunakan untuk mengetahui posisi robot pada orientasi bumi yaitu garis lintang dan bujur sedangkan magnetometer untuk mengetahui orientasi robot terhadap bumi dan *rotary encoder* dapat memberikan informasi lokasi dengan lebih detil hingga tingkat sentimeter. GPS mengirimkan data tersebut menggunakan antarmuka komunikasi serial dalam format protokol tertentu, diantara format yang biasa digunakan adalah format protokol NMEA. Data yang dikirim oleh GPS ada banyak namun yang paling dibutuhkan dari data-data tersebut adalah data lintang dan bujur.

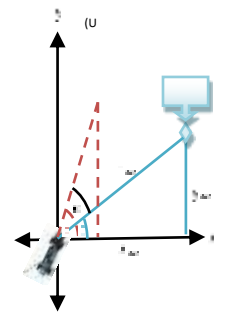
Data orientasi UGV juga mutlak diperlukan untuk membantu proses navigasi. Magnetometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur kekuatan medan magnet [5], salah satu medan magnet yang dibaca adalah medan magnet bumi sehingga dapat diketahui orientasi UGV. Jika UGV telah mengetahui posisi dirinya maka UGV dapat melakukan perhitungan antara dirinya dengan target, sehingga didapat *error* jarak dan *error* orientasi,

dari kedua *error* tersebut akan dilakukan perhitungan dengan menggunakan logika *fuzzy* sehingga dapat dilakukan pengiriman sinyal pada aktuator UGV untuk mencapai target sesuai dengan toleransi yang telah tertanam pada UGV. Pusat kontrol pada sistem *autopilot* ini terdapat pada mikrokontroler, adapun mikrokontroler yang digunakan ialah mikrokontroler yang memiliki dua buah USART (*Universal Synchronous Asynchronous Serial Receiver and Transmitter*) sehingga mikrokontroler tidak hanya berkomunikasi dengan GPS, akan tetapi juga dapat berkomunikasi dengan komputer.

2. Metode

2.1 Navigasi *Autopilot*

Navigasi *autopilot* adalah suatu sistem pergerakan dari titik koordinat awal terhadap koodinat titik tujuan pada bidang-xy secara otomatis tanpa adanya campur tangan manusia[4].



Gambar 1. Navigasi *autopilot*

Pada Gambar 2.3 dapat dilihat bahwa jarak antara posisi UGV dengan target (r_{target}) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 1.

$$r_{target} = \sqrt{x_{target}^2 + y_{target}^2} \quad (1)$$

Dimana x_{target} dan y_{target} merupakan koodinat lintang dan bujur yang dituju. Arah yang harus ditempuh UGV (ω) didapat dari persamaan 3.

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{y_{target}}{x_{target}} \quad (2)$$

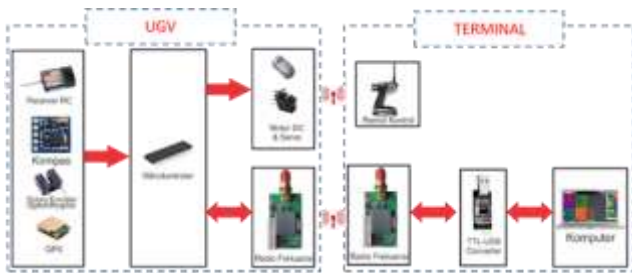
$$\omega = \alpha - \emptyset \quad (3)$$

Dimana α merupakan sudut antara UGV terhadap target, yang didapat setelah menentukan titik target dan \emptyset merupakan sudut pada UGV yang didapat dari sensor kompas digital.

2.2 Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras terbagi menjadi dua komponen utama yaitu UGV dan terminal. UGV yang digunakan adalah UGV tipe *offroad* dengan ukuran 1:10

sistem penggerak ackermen 4WD. Pada UGV terdapat sensor-sensor berupa GPS, magnetometer dan rotary encoder selain dari itu juga terdapat motor DC dan servo sebagai aktuator penggerak, dan juga terdapat modul radio frekuensi sebagai modul komunikasi data dengan terminal. Pada terminal terdapat modul radio frekuensi beserta TTL -USB converter agar UGV mampu berkomunikasi dengan operator melalui GUI yang telah dirancang pada komputer, selain dari itu pada terminal juga dilengkapi remote kontrol untuk mengendalikan UGV secara manual. Secara umum perancangan perangkat-keras pada penelitian ini adalah sebagaimana blok diagram pada Gambar 2.



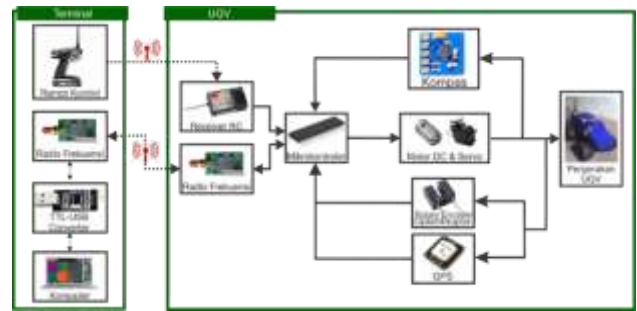
Gambar 2. Blok diagram perancangan perangkat-keras.

2.3 Perancangan Perangkat Lunak

Pada tugas akhir ini digunakan dua perangkat lunak yaitu, Visual C# 2010 yang dijalankan pada komputer sebagai pembuatan GUI. Perangkat lunak satunya adalah CodeVision AVR 2.05 sebagai bahasa penerjemah dari bahasa c kepada bahasa mesin dan secara langsung ditanamkan pada mikrokontroler UGV, hal ini berguna untuk navigasi, pembacaan sensor dan pengendalian UGV.

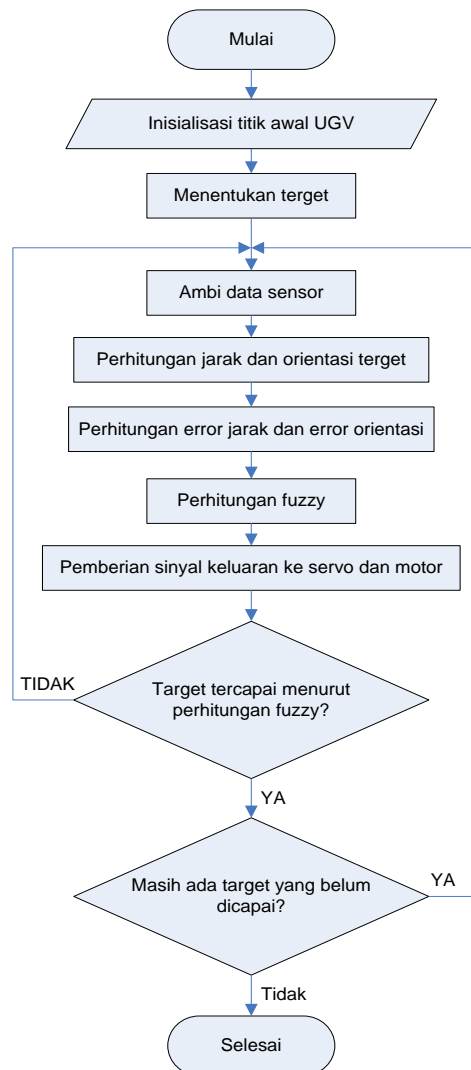
2.3.1 Perancangan Sistem Navigasi

Sistem navigasi pada UGV memanfaatkan data dari berbagai macam sensor yang telah terintegrasi pada UGV diantaranya adalah GPS, rotary encoder dan magnetometer. Sebagai otak dari semua sistem maka digunakan mikrokontroler yang berguna untuk membaca sensor, dan mengeksekusi algoritma yang tertanam padanya. Pengolahan data GPS menghasilkan x dan y, selain dari itu rotary encoder dan magnetometer juga menghasilkan data posisi x dan y, lalu masing-masing data x dan y yang didapat dari semua sensor tersebut digabungkan dengan menggunakan complementary filter sehingga didapat data x dan y yang baru dan lebih presisi. Diagram blok perancangan perangkat keras pada sistem navigasi autopilot UGV dapat dilihat pada Gambar 3



Gambar 3. Diagram blok sistem kontrol autopilot pada UGV

Diagram blok perancangan sistem navigasi autopilot UGV dapat dilihat pada Gambar 3. UGV dapat dikendalikan dengan dua mode kendali, manual atau otomatis. Gambar 4 merupakan diagram alir navigasi pada UGV.



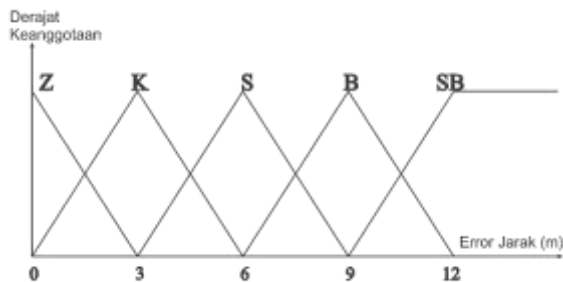
Gambar 4. Diagram Alir Navigasi UGV

2.4 Perancangan Logika Fuzzy

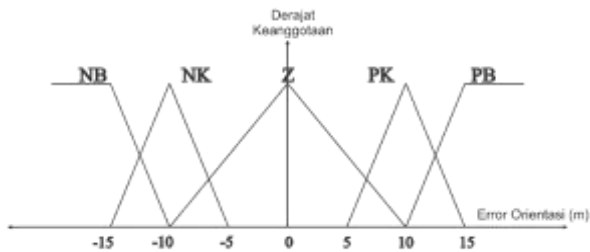
Kendali *fuzzy* dirancang dengan dua masukan, *error* jarak dan *error* orientasi. Masukan yang berupa *error* jarak dan *error* orientasi diolah melalui serangkaian proses mulai dari fuzzifikasi hingga defuzzifikasi dan menghasilkan sinyal kendali untuk mengendalikan UGV. Serangkaian proses kendali *fuzzy* tersebut membutuhkan dua parameter utama yaitu fungsi keanggotaan (*membership function*) dan aturan dasar (*rule base*).

2.4.1 Perancangan Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan *fuzzy* untuk masukan *error* jarak dan *error* orientasi, masing-masing dibagi menjadi 3 *membership functions* untuk *error* jarak dan 5 *membership functions* untuk *error* orientasi. Gambar 5. menunjukkan perancangan bentuk dan batasan masukan *error* jarak, dan Gambar 6. menunjukkan perancangan bentuk dan batasan masukan *error* orientasi.



Gambar 5. Perancangan keanggotaan *error* jarak



Gambar 6. Perancangan keanggotaan *error* orientasi

Perancangan masukan *error* jarak dipetakan dalam 3 nilai linguistik yaitu Zero (Z), K(Kecil), S(Sedang), B(Besar), SB(Sangat Besar), sedangkan masukan *error* orientasi dipetakan dalam 5 nilai linguistik yaitu Negatif Besar (NB), Negatif Kecil (NK), Zero (Z), Positif Kecil (PK), Positif Besar (PB).

2.4.2 Perancangan Basis Pengetahuan

Pada tugas akhir ini perancangan *rule base* dan pengambilan keputusan terdiri dari dua masukan dan dua keluaran. Eksekusi aturan diproses menggunakan implikasi yang akan mengambil nilai paling minimal dari

kedua masukan yaitu sinyal derajat keanggotaan *error* jarak dan *error* orientasi dan juga menentukan konstanta parameter keluaran yang digunakan. Input *error* jarak memiliki 3 *membership functions* dan *error* orientasi mempunyai 5 *membership functions* dan keluaran yaitu sinyal motor dan sinyal servo. Tabel 1. perancangan aturan logika *fuzzy*

Tabel 1. Perancangan aturan logika *fuzzy*

		ERROR JARAK					
		Z	K	S	B	SB	
ERROR ORIENTASI	NB	V	Z	K	K	S	S
		θ	Z	PK	PK	PB	PB
	NK	V	Z	K	S	B	B
		θ	Z	PK	PK	PK	PB
	Z	V	Z	S	B	SB	SB
		θ	Z	Z	Z	Z	Z
	PK	V	Z	K	S	B	B
		θ	Z	NK	NK	NK	NB
	PB	V	Z	K	K	S	S
		θ	Z	NK	NK	NB	NB

2.4.3 Perancangan Mekanisme Defuzzifikasi

Perancangan mekanisme defuzzifikasi pada tugas akhir ini menggunakan *output* berupa konstanta. Keluaran dari logika *fuzzy* ini dibagi menjadi dua bagian, pertama keluaran sinyal motor dan yang kedua sinyal servo. Keluaran sinyal motor dibagi menjadi 5 tingkatan diskrit yaitu, Zero (Z)= 0, Kecil (K)= 0.5, Sedang (S)= 0.7, Besar (B)= 0.8, Sangat Besar (SB)= 0.95. Keluaran sinyal servo dibagi menjadi 5 tingkatan diskrit yaitu, Zero (Z)= 0, Negatif Kecil (NK)= -0.5, Negatif Besar (NB)= -0.9, Positif Kecil (PK)= 0.5, Positif Besar (PB)= 0.9.

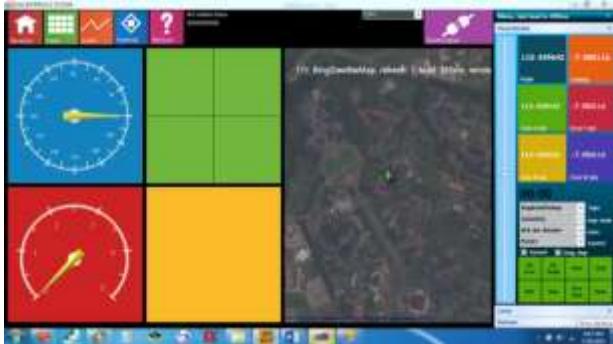
Untuk mendapatkan nilai *crisp output* dari himpunan *fuzzy* ini dapat digunakan metode rata-rata berbobot (*Center average defuzzifier*). Pada metode ini nilai *crisp* keluarannya diperoleh berdasarkan titik berat dari kurva hasil proses pengambilan keputusan yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Output = \frac{\sum_{i=1}^N w_i z_i}{\sum_{i=1}^N w_i} \tag{4}$$

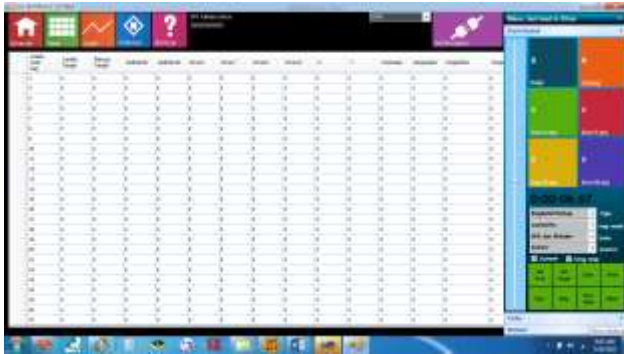
2.5 Perancangan GUI

Perangkat lunak Visual C# 2010 menyediakan beberapa fasilitas yang dapat digunakan untuk perancangan sistem pada tugas akhir ini, salah satunya adalah komunikasi serial antara mikrokontroler dengan komputer baik dalam menerima data maupun mengirim perintah ke mikrokontroler.. Visualisasi data yang dikirim oleh mikrokontroler akan ditampilkan oleh GUI dalam bentuk grafik, peta, *gauge* dan tabel. Adapun tampilan GUI pada

terminal dapat dilihat pada Gambar 7, Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 7. Tampilan beranda GUI Terminal



Gambar 8. Tampilan tab tabel GUI Terminal



Gambar 9. Tampilan tab grafik GUI Terminal

3. Hasil dan Analisa

Pengujian yang akan dilakukan pada penelitian ini meliputi pengujian sistem yaitu berupa pengujian sensor GPS dan *rotary encoder* dan magnetometer. Pengujian juga dilakukan pada logika *fuzzy* yang telah dirancang terhadap unjuk kerja UGV dalam menuju target.

3.1 Pengujian GPS sebagai sensor posisi

Pengujian dinamis GPS dilakukan dengan cara UGV yang didalamnya telah terpasang modul GPS digerakkan secara

manual dengan menggunakan remot kontrol mengelilingi paping pinggir jalan pada taman segi tiga didepan widya puraya Universitas Diponegoro Tembalang. Pada beberapa titik dibaca selisih antara data sebenarnya dengan data yang terbaca oleh GPS. Gambar 10 merupakan hasil pembacaan GPS saat dilakukan uji dinamis.



Gambar 10. Pengujian GPS sebagai sensor posisi

Dari kedua hasil uji coba GPS baik statis maupun dinamis, menghasilkan *error* pembacaan GPS yang cukup besar yaitu berkisar -4,3 meter hingga 7,25 meter.

3.2 Pengujian *Rotary Encoder* sebagai sensor posisi

Pada pengujian *rotary encoder* dilakukan dengan cara UGV yang pada rodanya telah terpasang *rotary encoder* digerakkan secara manual menggunakan remot kontrol mengelilingi paping pinggir jalan pada taman segi tiga didepan widya puraya Universitas Diponegoro Tembalang. Pada beberapa titik dibaca selisih antara data sebenarnya dengan data yang terbaca oleh *rotary encoder*.



Gambar 11. Pengujian GPS sebagai sensor posisi

Dari hasil Gambar 11 tampak bahwa lintasan yang dibentuk oleh GPS sudah cukup bagus, *error* yang terjadi pada garis bujur adalah sebesar 1,99 meter sedangkan pada garis lintang sebesar -3,01 meter.

3.3 Pengujian *complementary filter* GPS dan *rotary encoder*

Pengujian *complementary filter* sebagai *fusi* data GPS dan *rotary encoder* juga dilakukan pada tempat dan cara yang

sama sebagaimana pada pengujian GPS mandiri dan rotary encoder mandiri.



Gambar 12. Pengujian GPS sebagai sensor posisi

Pada Gambar 12 hasil pengujian *complementary filter* GPS dan *rotary encoder* memiliki unjuk kerja terbaik. Pada garis bujur *error* yang dihasilkan sebesar 2,66 meter sedangkan pada garis lintang *error* yang dihasilkan sebesar 0,15 meter. *Error* yang dihasilkan dari pengujian *complementary filter* merupakan *error* terkecil diantara pengujian GPS maupun *rotary encoder* mandiri, sehingga data *complementary filter* layak digunakan sebagai data dalam navigasi UGV.

3.3 Hasil Implementasi Kendali logika Fuzzy pada Sistem Autopilot UGV

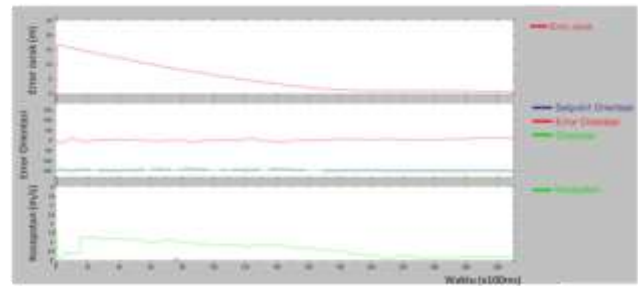
Proses pengujian implementasi kendali logika fuzzy pada sistem *autopilot* UGV terbagi dalam beberapa variasi jumlah titik target. Adapun hasil Implementasi kontrol *autopilot* dalam berbagai variasi adalah sebagai berikut.

3.3.1 Target berjumlah 1 titik

A. UGV menghadap target

Jarak antara UGV dengan titik target adalah 17.53 meter sedangkan *error* orientasi -5 derajat. Pada pengujian 1 titik target dengan posisi awal menghadap target ini, UGV berhasil mencapai target dengan nilai simpangan 0.97 meter dan waktu tempuh 19 detik.

Kecepatan UGV berkisar dari 0-1.3 m/s, dan nampak kecepatan UGV paling tinggi pada saat *error* orientasi kecil dengan jarak target masih jauh, sedangkan saat mendekati target kecepatan semakin berkurang hingga berhenti. Gambar 13 adalah grafik *error* jarak, *error* orientasi dan kecepatan.

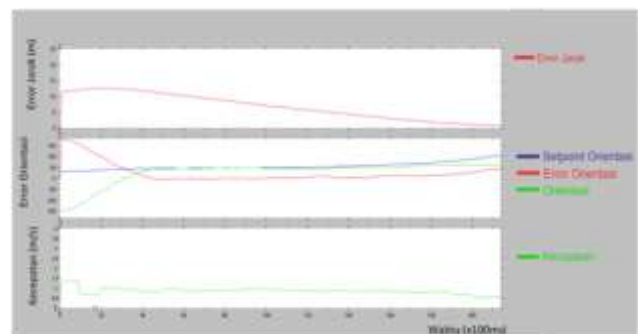


Gambar 13. Grafik *error* jarak, *error* orientasi dan kecepatan 1 target dengan posisi awal menghadap target

B. UGV membelakangi target

Jarak antara UGV dengan titik target adalah 11.52 meter sedangkan *error* orientasi 176 derajat. Pada grafik nampak, *error* jarak semakin menjauh pada awal UGV berangkat, hal ini dikarenakan UGV hendak mencapai orientasi yang layak agar bisa bergerak mendekati titik target. Pada pengujian 1 titik target dengan posisi awal membelakangi target ini UGV berhasil mencapai target dengan nilai simpangan 0.98 meter dengan waktu tempuh 21 detik.

Kecepatan UGV berkisar dari 0-1.4 m/s, dan nampak kecepatan UGV paling tinggi pada saat *error* orientasi kecil dengan jarak target masih jauh, sedangkan saat mendekati target kecepatan semakin berkurang hingga berhenti. Gambar 14 adalah grafik *error* jarak, *error* orientasi dan kecepatan.



Gambar 14. Grafik *error* jarak, *error* orientasi dan kecepatan 1 target dengan posisi awal membelakangi target

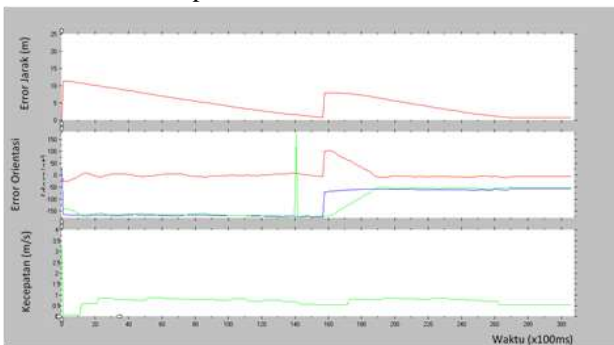
3.3.2 Target berjumlah 2 titik

A. UGV menghadap target pertama

Pengujian dilakukan dengan 2 titik target dan arah awal UGV menghadap titik target pertama. Jarak antara UGV dengan titik target pertama adalah 11.43 meter sedangkan jarak antara titik target pertama dan kedua adalah 8.02 meter. *Error* orientasi saat berangkat adalah -25.22 derajat. Target pertama dicapai oleh UGV dalam 15.4

detik sedangkan target kedua dicapai selama 11.6 detik. Pada pengujian 2 titik target dengan posisi awal menghadap target pertama ini UGV berhasil mencapai target dengan nilai simpangan 0.74 meter dengan waktu tempuh total 27 detik.

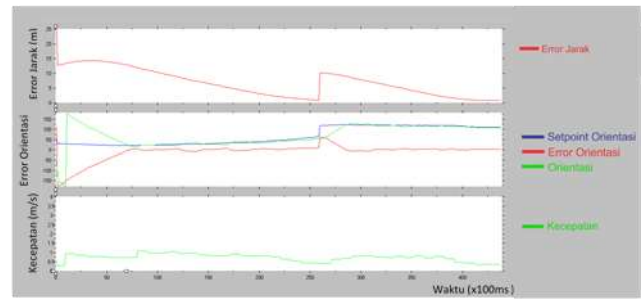
Kecepatan UGV berkisar dari 0-0.9 m/s, dan nampak kecepatan UGV paling tinggi pada saat *error* orientasi kecil dengan jarak target masih jauh, sedangkan saat mendekati target kecepatan semakin berkurang hingga berhenti. Gambar 15 adalah grafik *error* jarak, *error* orientasi dan kecepatan.



Gambar 15. Grafik *error* jarak, *error* orientasi dan kecepatan 2 target dengan posisi awal menghadap target

A. UGV membelakangi target pertama

Jarak antara UGV dengan titik target pertama adalah 12.83 meter sedangkan jarak antara titik target pertama dan kedua adalah 10.25 meter. Pada grafik nampak, *error* jarak semakin menjauh pada awal UGV berangkat menuju target pertama, hal ini dikarenakan UGV hendak mencapai orientasi yang layak agar bisa bergerak mendekati titik target. *Error* orientasi saat berangkat adalah -173.26 derajat. Target pertama dicapai oleh UGV dalam 25.8 detik sedangkan target kedua dicapai selama 15.4 detik. Pada pengujian 2 titik target dengan posisi awal membelakangi target ini UGV berhasil mencapai target dengan nilai simpangan 1.01 meter dengan waktu tempuh total 41.2 detik. Kecepatan UGV berkisar dari 0-1.09 m/s, dan nampak kecepatan UGV paling tinggi pada saat *error* orientasi kecil dengan jarak target masih jauh, sedangkan saat mendekati target kecepatan semakin berkurang hingga berhenti. Gambar 16 adalah grafik *error* jarak, *error* orientasi dan kecepatan.



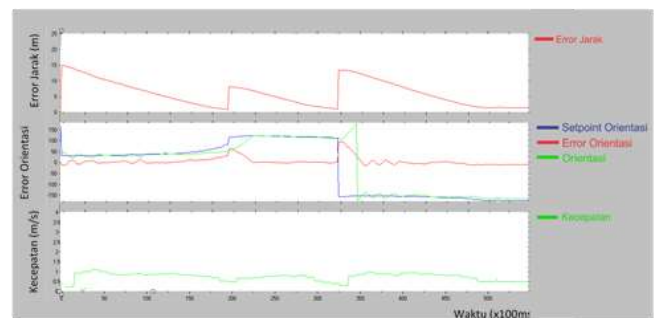
Gambar 16. Grafik *error* jarak, *error* orientasi dan kecepatan 2 target dengan posisi awal membelakangi target pertama

3.3.2 Target berjumlah 3 titik

A. UGV menghadap target pertama

Jarak antara UGV dengan titik target pertama adalah 14.97 meter, jarak antara titik target pertama dan kedua adalah 8.14 meter sedangkan jarak antara titik target kedua dan ketiga adalah 13.43. *Error* orientasi saat berangkat adalah -12.62 derajat. Target pertama dicapai oleh UGV dalam 19.6 detik, target kedua dicapai selama 12.9 detik sedangkan target ketiga selama 17.2 detik. Pada pengujian 3 titik target dengan posisi awal menghadap target ini UGV berhasil mencapai target dengan nilai simpangan 1.52 meter dengan waktu tempuh total 49.7 detik.

Kecepatan UGV berkisar dari 0-1.09 m/s, dan nampak kecepatan UGV paling tinggi pada saat *error* orientasi kecil dengan jarak target masih jauh, sedangkan saat mendekati target kecepatan semakin berkurang hingga berhenti. Gambar 17 adalah grafik *error* jarak, *error* orientasi dan kecepatan.



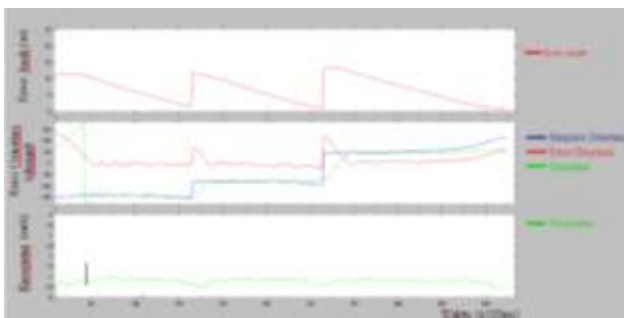
Gambar 17. Grafik *error* jarak, *error* orientasi dan kecepatan 3 target dengan posisi awal menghadap target pertama

B. UGV membelakangi target pertama

Pengujian dilakukan dengan 3 titik target dan arah awal UGV membelakangi titik terget pertama. Jarak antara UGV dengan titik terget pertama adalah 10.69 meter, jarak antara titik terget pertama dan kedua adalah 11.84 meter sedangkan jarak antara titik terget kedua dan ketiga adalah 13.23. *Error* orientasi saat berangkat adalah 161.8 derajat.

Target pertama dicapai oleh UGV dalam 16.4 detik, target kedua dicapai selama 14.9 detik sedangkan target ketiga selama 20.1 detik. Pada pengujian 3 titik target dengan posisi awal membelakangi target ini UGV berhasil mencapai terget dengan nilai simpangan 0.92 meter dengan waktu tempuh total 51.4 detik.

Kecepatan UGV berkisar dari 0-0.99 m/s, dan nampak kecepatan UGV paling tinggi pada saat error orientasi kecil dengan jarak terget masih jauh, sedangkan saat mendekati target kecepatan semakin berkurang hingga berhenti. Gambar 18 adalah grafik *error* jarak, *error* orientasi dan kecepatan.



Gambar 18. Grafik *error* jarak, *error* orientasi dan kecepatan 3 target dengan posisi awal membelakangi target pertama

Keseluruhan hasil implementasi kontrol *autopilot* dengan menggunakan logika *fuzzy* dalam berbagai variasi jumlah target dan arah hadap posisi awal pada UGV dapat dilihat pada Tabel 2.

Dari hasil pengujian yang terdapat pada Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa sistem navigasi kontrol *autopilot* dengan menggunakan kendali logika *fuzzy* dapat berjalan dengan baik. Sistem navigasi dapat dikatakan baik karena nilai simpangan yang didapat kurang dari 2.5 meter yaitu 0.74m-1.52m, dimana 2.5 meter merupakan batas simpangan yang terdapat pada sensor GPS.

Tabel 2 Hasil Implementasi Kontrol *Autopilot* pada UGV menggunakan logika *fuzzy*

No	Arah hadap awal	Target ke	Jarak Target (meter)	Waktu (detik)	Simpangan (meter)
1	Menghadap Target	1	17.53	19	0.97
	Membelakangi Target	1	11.52	21	0.98
2	Menghadap Target Pertama	1	11.43	15.4	0.74
		2	8.02	11.6	
	Membelakangi Target Pertama	1	12.83	25.8	1.01
		2	10.25	15.4	
3	Menghadap Target Pertama	1	14.97	19.6	1.52
		2	8.14	12.9	
		3	13.43	17.2	
	Membelakangi Target Pertama	1	10.69	16.4	0.92
		2	11.84	14.9	
		3	13.23	20.1	

4. Kesimpulan

Pada pengujian GPS, *rotary encoder* dan magnetometer sebagai sensor posisi dan orientasi pada UGV menghasilkan data yang cukup bagus dan mampu membentuk pola sebagaimana yang terdapat pada pembatas jalan pada jalan di depan pemukiman Universitas Diponegoro Tembalang.

Kendali menggunakan logika *fuzzy* memberikan performa yang bagus karena nilai simpangan yang didapat sekitar 0.74 meter – 1.52 meter, sedangkan batas simpangan yang terdapat pada sensor GPS sebesar 2,5 meter.

Referensi

- [1]. Kusumadewi, sri dkk, fuzzy multi-attribute decision making (fuzzy madm), penerbit graha ilmu, Yogyakarta, 2006
- [2]. Goge, Douglas W., A Brief History of Unmanned Ground Vehicle (UGV) Development Efforts, Unmanned System Magazine, United States of America, 1995.
- [3]. Anshori, Muhammad Ikhsan, Desain Kontrol Autopilot Pada UGV (Unmanned Ground Vehicle) Berbasis GPS (Global Positioning System), Tugas Akhir Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Semarang, 2012
- [4]. Wahyu, Fahmi, Desain Kontrol Autopilot menggunakan GPS pada Kapal, Jurusan Teknik Elektronika, PENS-ITS, Surabaya, 2011

- [5]. -----,magnetometer,
<http://www.engineersgarage.com/articles/magnetometer>
- [6]. Goge, Douglas W., *A Brief History of Unmanned Ground Vehicle (UGV) Development Efforts*, Unmanned System Magazine, United States of America, 1995.
- [7]. Luthfa, M Fairuz, *Perancangan sistem pemantauan posisi untuk pejalan kaki menggunakan fusi data mems sensor accelerometer, magnetometer dan GPS*, Tugas Akhir Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Semarang, 2014.
- [8]. Kuswandi, Son., *Kendali Cerdas Teori dan Aplikasi praktisnya*, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2007.
- [9]. Hidayat,Rohmat, *Aplikasi fuzzy logic untuk tuning parameter kontrol pid pada pengaturan suhu cairan shell and tube heat exchanger*, Tugas Akhir Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Semarang, 2013.
- [10].Putra, Agfianto Eko, *Belajar Mikrokontroler Teori & Aplikasi*, Gava Media Yogyakarta, 2006.
- [11].Rohde, Mitchell M., Victor E. Perlin, Karl D. Iagnemma, Robert M. Lupa, Steven M. Rohde, James Overholt, dan Graham Fiorani, *Semi Autonommous UGV Control with Intuitive Interface*, Robotic Mobility Group, Massachusetts Institute of Technology, United State of America.2008.
- [12].Stefan, Jeff, *Navigating with GPS*, Circuit Cellar Magazine, USA, 2000.