

IMPLEMENTASI KONTROL GERAK PENJEJAKAN PADA AUTONOMOUS DRONE BOAT MENGGUNAKAN FUZZY LOGIC CONTROL

IMPLEMENTATION OF MOTION CONTROL IN AUTONOMOUS DRONE BOAT USING FUZZY LOGIC CONTROL

ErickFurqon A. ¹, Dr. ERWIN SUSANTO, S.T, M.T. ², Dr, Ing. FIKY YOSEF
SURATMAN, S.T, M.T. ³

^{1,2,3} Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
¹erickfa@student.telkomuniversity.ac.id, ²erwinelektro@telkomuniversity.ac.id,
³fysuratman@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Indonesia merupakan salah satu negara dengan luas wilayah lautan terluas di dunia. Namun, karena kondisi laut yang luas tersebut menjadikan negara Indonesia memiliki tantangan tersendiri, yaitu sulitnya melakukan pengawasan terhadap kondisi kelautan yang diakibatkan kurangnya sumber daya manusia. Oleh karena itu diperlukan suatu alat penunjang yang dapat mengawasinya sekaligus memantau secara real time.

Unmanned Surface Vehicle (USV) merupakan robot kapal dimana robot tersebut lebih mengikuti objek lain seperti kapal yang dikontrol oleh fuzzy logic. Fuzzy logic dipilih karena dapat digunakan hampir ke semua jenis aplikasi kendali. Fuzzy logic sendiri merupakan suatu metodologi matematika yang dikembangkan untuk mendekati kecerdasan manusia dimana dalam melakukan sesuatu selalu berasal dari kesamaran suatu pemikiran dengan mengkodekan pemikirannya dalam aturan linguistik. Pada desain sistem Sensor LIDAR digunakan untuk membaca objek kapal tertentu. Kemudian objek tersebut akan diikuti dari belakang dan menyesuaikan dengan fuzzy rules. Setelah data jarak dan objek didapatkan, mikrokontroler akan mengatur motor BLDC agar bergerak sesuai posisi yang didapatkan.

Keluaran pada sistem ini, Fuzzy Logic dapat diimplementasikan ke dalam USV Autonomous Boat sehingga dapat mengikuti suatu objek. Pengaplikasiannya mampu membaca situasi dari kesamaran linguistik. **Kata Kunci** — USV, Fuzzy Logic, Autonomous Boat.

Abstract — Indonesian is one of the countries with the largest ocean area in the world. However, due to the vast sea conditions, Indonesia has its own challenges, namely the difficulty of supervising marine conditions due to a lack of human resources. Therefore we need a supporting tool that can monitor it as well as monitor it in real time.

Unmanned Surface Vehicle (USV) is a ship robot where the robot is more closely following other objects such as ships which are controlled by fuzzy logic. Fuzzy logic was chosen because it can be used in almost all types of control applications. Fuzzy logic itself is a mathematical methodology developed to approach human intelligence where doing something always comes from the disguise of a thought by encoding its thinking in linguistic rules. In the design of the LIDAR sensor system is used to read certain ship objects. Then the object will be followed from behind and adjusting to the fuzzy rules. After the distance and object data are obtained, the microcontroller will adjust the BLDC motor to move according to the position obtained.

The output of this system, Fuzzy Logic, can be implemented into the USV Autonomous Boat so that it can follow an object. Its application is able to read situations from a linguistic disguise **Keywords** — USV, Fuzzy Logic, Autonomous Boat.

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki wilayah lautan terluas di dunia. Namun, karena kondisi laut yang luas tersebut menjadikan negara Indonesia memiliki tantangan tersendiri, yaitu sulitnya melakukan pengawasan terhadap kondisi kelautan itu sendiri. Oleh karena itu diperlukan suatu

alat penunjang yang dapat mengawasinya sekaligus memantau secara real time sehingga dapat di pantau pada segala aspek baik hanya melihat bahkan hingga melindunginya dari serangan musuh .

Di dunia modern ini berbagai hal yang beroperasi secara otomatis merupakan hal yang lumrah di sekeliling kita. Salah satu contohnya adalah Unmanned Surface Vehicle (USV) yakni sebuah wahana tanpa awak yang dapat dioperasikan di permukaan air . USV dapat dikendalikan secara otomatis, maksudnya tanpa bantuan manusia maupun secara manual, yaitu dengan bantuan manusia yang mengendalikan dari jarak jauh. Penggunaan USV sudah merambah di berbagai bidang, bahkan dimanfaatkan untuk hal militer sebagai pelindung negara.

Oleh karena itu Indonesia sangat diuntungkan jika mau mengadopsi alat otomatis ini untuk perlindungan negara sekaligus melakukan pengawasan terhadap kapal asing yang masuk ke wilayah suatu negara terutama bagian kelautannya yang sangat luas karena kemungkinan adanya korban manusia akan berkurang drastis. Saat ini sudah ada teknologi otomatis yang mendukung ide tersebut yaitu Autonomous Boat. Autonomous Boat atau USV adalah suatu kapal yang bekerja secara otomatis tanpa adanya bantuan manusia dengan memiliki misi yang sulit dicapai oleh manusia .

Namun, Autonomous Boat ini memiliki kelemahan yaitu pengaturan posisi USV untuk mengikuti objek kapal lainnya sering tidak sesuai dengan jarak yang ideal sehingga seringkali kapal USV terlalu dekat dengan target kapal. Oleh karena itu pengaturan posisi kapal USV terhadap target kapal akan dicoba secara optimal menggunakan fuzzy logic control.

Fuzzy logic control ini dipilih karena dapat digunakan hampir ke semua jenis aplikasi kendali. Karena pada dunia nyata banyak masalah dengan informasi yang sulit direpresentasikan ke dalam sebuah model rumus atau angka yang pasti karena informasi tersebut bersifat kualitatif dan tidak bisa dihitung secara kuantitatif. Oleh karena itu, diharapkan dari alat ini dapat mengejar target kapal lain dengan jarak yang ideal.

Berdasarkan latar belakang masalah, didapatkan rumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana implementasi algoritma kontrol gerak USV pada Autonomous Boat untuk mengikuti objek USV yang telah ditentukan?
2. Bagaimana jarak USV dengan objek lain yang ideal agar tetap mampu diikuti?

2. Landasan Teori

2.1 Robot

Robot merupakan suatu alat untuk mempermudah pekerjaan manusia yang sangat berat dan sulit dilakukan agar efisien dalam mengurangi tenaga manusia. Pada dasarnya robot memiliki 3 unsur utama, yaitu programable, automatic, dan manipulator. Suatu alat atau benda dapat dikatakan robot apabila robot tersebut memiliki persamaan seperti manusia, yaitu mampu merasakan lingkungan, mengolah data, dan bergerak [3]. Dari pengertian robot dan unsur itu sendiri, dapat terlihat jelas bahwa robot bukan merupakan peralatan biasa, namun alat khusus yang memiliki kemampuan khusus seperti manusia untuk menjalankan tugas tertentu.

Sistem pengontrolan dari robot dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu [3]:

a. Kontrol otomatis

Kontrol otomatis yaitu saat melaksanakan suatu tugas robot akan memiliki beberapa kemampuan untuk bergerak dengan sendirinya tanpa bantuan manusia. Biasanya robot otomatis memiliki sensor yang berfungsi sebagai indra pada manusia untuk merasakan atau masukan agar menjadi titik acuan gerak robot. Umumnya jenis robot kontrol otomatis ini dibuat agar mampu menjalankan tugas tertentu untuk mempermudah sekaligus mengurangi tenaga manusia.

b. Kontrol manual

Kontrol manual yaitu robot yang gerakannya ditentukan berdasarkan perintah manusia agar mengurangi kesalahan manusia dan mempermudah pengontrolan yang digunakan oleh manusia. Pada dasarnya, robot jenis ini tidak akan bergerak kecuali mendapat perintah dari pengguna.

Pada dasarnya, robot dibuat agar mampu memenuhi kebutuhan dari pembuatnya. Robot yang diinginkan akan dipertimbangkan kebutuhannya dan disesuaikan berdasarkan klasifikasinya masing-masing.

Berikut merupakan beberapa contoh robot kapal :

- a. Unmanned Surface Vehicle (USV)

Sebuah kendaraan Unmanned Surface Vehicles (USV) memiliki banyak aplikasi dalam penelitian serta bidang komersial. Biasanya USV memiliki fungsi agar mampu pergi ke tempat di mana mustahil bagi manusia untuk mencapainya. Mereka digunakan dalam penelitian kelautan untuk sampel dan air koleksi sebagai contoh dan pengawasan terhadap suatu objek tak dikenal, untuk membimbing kapal kargo besar untuk memandu ke dermaga dengan aman di pelabuhan dan juga dapat membantu patroli perbatasan untuk menjaga menonton di perbatasan.[4]. Sekarang USV banyak dikembangkan untuk berbagai aplikasi untuk membantu perusahaan maupun pengguna pemerintah. USV sering digunakan untuk membantu bahkan menggantikan pekerjaan manusia yang sulit dilakukan. Berikut merupakan



USV yang Gambar II-1. Unmanned Surface Vehicle (USV) [2]

ditunjukkan pada gambar II-1.

b. Swarm Boat

Swarm boat adalah kumpulan USV yang saling berkomunikasi yang dapat menentukan salah satu USV untuk menjadi pemimpin agar dapat menentukan jalur serta formasi yang akan digunakan. USV leader maupun follower dapat bergantian secara otomatis sesuai keadaan lingkungan sekitar [4]. Swarm boat biasa digunakan oleh angkatan laut untuk melindungi kapal angkatan laut sekaligus melakukan penyerangan pada kapal musuh

2.2 Sistem Kendali

Sistem kendali merupakan suatu proses pengendalian terhadap satu atau beberapa besaran sehingga tetap berada pada suatu kondisi tertentu yang menjadi target atau acuan [5]. Ada beberapa parameter yang dapat mempengaruhi kerja sistem kendali, yaitu: pengukuran, membandingkan, perhitungan, dan perbaikan. Dalam sistem kendali ada dua jenis yaitu kendali open loop dan kendali close loop. Perbedaanya adalah antar kedua kendali tersebut salah satunya memiliki blok umpan balik (feedback). Sistem kendali open loop tidak memiliki blok feedback namun close loop memiliki blok feedback, sehingga memiliki pengaruh dalam output sistem. Sistem kendali close loop sinyal error dapat diketahui dari perbedaan antara sinyal input dan sinyal feedback, dimana kontroler dapat mengurangi error dan akan memberikan output sistem sesuai yang diinginkan [5]. Berikut merupakan Gambar II-2 diagram blok sistem kendali closed loop.



Gambar II-2. Diagram Blok Sistem Kendali closed loop

Berikut keterangan dari diagram blok sistem kendali close loop :

a. Set point (Input)

Nilai variabel yang telah ditentukan sebelumnya oleh pengguna sebagai nilai acuan dasar dari sistem.

b. Output

Nilai output dari sebuah variabel kontroler merupakan nilai asli yang direalisasikan terhadap yang dihasilkan untuk mengendalikan plant.

c. Umpan balik (feedback)

Blok ini terdapat pada sistem kendali close loop yang berfungsi untuk melakukan pengukuran keluaran yang dikontrol untuk memberi informasi atau data kepada kontroler berupa kondisi output secara real time. Blok umpan balik ini sangat identik dengan sensor karena sensor memiliki fungsi yang serupa dengan blok umpan balik.

d. Kontroler

Kontroler atau yang sering disebut sebagai otak dari sistem merupakan proses untuk memperbaiki kesalahan (error) sehingga didapatkan system yang stabil dengan hasil manipulasi. Hasil manipulasi tersebut diharapkan agar error mendekati nol.

e. Plant

Plant adalah objek fisik yang dikendalikan, biasa terdiri dari beberapa alat yang bekerja satu sama lainnya pada system kendali.

f. Aktuator

Bagian dari keluaran kontrol untuk mengubah energi sumber catuan menjadi energi kerja agar dihasilkan suatu tujuan dari sistem kendali tersebut.

2.3 Fuzzy Logic Control

Fuzzy logic merupakan suatu metodologi matematika yang diperkenalkan oleh Lotfi A. Zadeh yang mengembangkan logika boolean kedalam nilai riil. Dalam proses kontrol, fuzzy digunakan hampir ke semua proses. Fuzzy logic digunakan untuk menangani fuzziness (kesamaran) yaitu dengan cara menerapkan suatu nilai yang bersifat linguistik [6]. Fuzzy logic control dikembangkan untuk mendekati kecerdasan manusia dimana dalam melakukan sesuatu selalu berasal dari kesamaran suatu pemikiran dengan mengkodekan pemikirannya dalam aturan linguistik. Contohnya seperti besar, kecil, tinggi, pendek, gelap, terang, dan lain – lain.

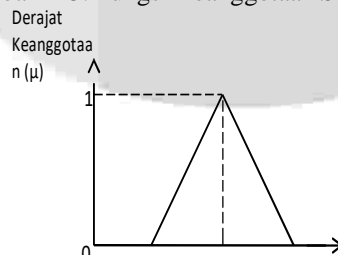
Suatu permasalahan tidak dapat dilihat sebagai suatu nilai yang jelas merupakan hal yang sering terjadi dalam dunia nyata sehingga untuk memperhitungkan nilai tersebut dibutuhkan perhitungan yang lebih adil. Fungsi keanggotaan (Membership Function) himpunan fuzzy logic control merupakan kurva yang menunjukkan titik dimana nilai masukan dipetakan ke dalam nilai keanggotaannya yang sering disebut dengan derajat keanggotaan dengan interval nilai antara 0 sampai 1. Rentang ini menunjukkan kondisi dimana suatu nilai dapat bernilai benar dan salah secara bersamaan tergantung bobot keanggotaan yang dimilikinya

Fungsi keanggotaan dalam himpunan *fuzzy logic control* yang sering digunakan yakni:

- Fungsi Segitiga

Fungsi keanggotaan segitiga ditunjukkan pada gambar II-3 berikut.

Gambar II-3. Fungsi Keanggotaan Segitiga



Persamaan fungsi keanggotaan segitiga ditunjukkan pada persamaan II-1 berikut.

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & , x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & , a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & , b \leq x \leq c \\ 0 & , x \geq c \end{cases} \quad (II-1)$$

Keterangan :

a adalah nilai domain terkecil yang mempunyai derajat keanggotaan nol.

b adalah nilai domain yang mempunyai derajat keanggotaan satu.

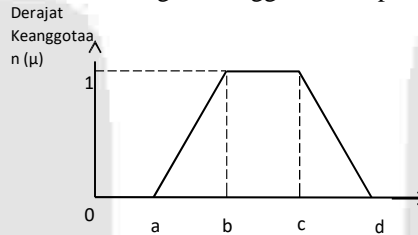
c adalah nilai domain terbesar yang mempunyai derajat keanggotaan nol.

X adalah nilai input yang akan di ubah ke dalam bilangan fuzzy.

- Fungsi Trapesium

Fungsi keanggotaan Trapesium ditunjukkan pada gambar II-4 berikut

Gambar II-4. Fungsi Keanggotaan Trapesium



Persamaan fungsi keanggotaan trapesium ditunjukkan oleh persamaan II-2 berikut.

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \text{ or } x \geq d \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x < b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c < x < d \end{cases} \quad (II-2)$$

Keterangan :

a adalah nilai domain terkecil yang mempunyai derajat keanggotaan nol.

b adalah nilai domain terkecil yang mempunyai derajat keanggotaan satu.

c adalah nilai domain terbesar yang mempunyai derajat keanggotaan satu.

d adalah nilai domain terbesar yang mempunyai derajat keanggotaan nol.

X adalah nilai input yang akan di ubah ke dalam bilangan fuzzy.

Secara umum dalam *fuzzy logic control* sendiri terdapat tiga proses utama yaitu [6]:

1. *Fuzzification*

Fuzzification yaitu suatu proses untuk mengubah suatu masukan dari bentuk tegas (*crisp*) menjadi fuzzy (variabel linguistik) yang biasanya disajikan dalam bentuk himpunan-himpunan fuzzy dengan suatu fungsi keanggotaannya masing-masing.

- *Fuzzy Rules*

Fuzzy rules terdiri dari kumpulan aturan yang berbasis logika fuzzy untuk menyatakan suatu kondisi. Penyusunan aturan sangat berpengaruh pada presisi model, pada tahap pengambilan keputusan ditentukan berdasarkan rancangan aturan. Aturan *If-then* yang dihubungkan dengan logika operasi *AND* dan *OR*.

- *Defuzzyfication*

Defuzzyfication merupakan proses untuk mengubah besaran fuzzy yang disajikan dalam bentuk himpunan-himpunan fuzzy keluaran dengan fungsi keanggotaannya untuk mendapatkan kembali bentuk tegasnya (*crisp*). Hal ini diperlukan sebab dalam aplikasi nyata yang dibutuhkan adalah nilai tegas (*crisp*).

Terdapat dua model dalam *fuzzyfication* yakni:

Model Sugeno

Pada model ini memiliki sistem yang lebih sederhana dibandingkan model mamdani karena himpunan keluarannya berupa pulsa atau single tone. Pada model ini memiliki tiga tahap pengerjaan yakni mencari nilai minimum menggunakan operator *OR*, lalu mencari nilai minimal dengan menggunakan operator *AND*, dan terakhir adalah mencari nilai weight average (WA).

Model Mamdani

Model ini memiliki sistem yang lebih rumit namun menghasilkan keluaran yang lebih presisi. Himpunan berbentuk segitiga dan trapezium menjadi keluaran dari model ini. Pada model ini terdapat dua tahap pengerjaan yakni mencari nilai center of area (COA) yang merupakan nilai tengah pada irisan himpunan keluaran sistem dan mencari nilai *min of maximum* (MOM) yang merupakan nilai luas dari keseluruhan himpunan keluaran sistem.

2.4 Pulse Width Modulation (PWM)

Pulse width modulation (PWM) merupakan suatu cara untuk memanipulasi lebar pulsa pada satu siklus periode. PWM dapat mengatur lebar pulsa mulai dari 0% hingga 100% terhadap 1 siklus. Perbandingan lebar pulsa tersebut terhadap 1 siklus disebut *duty cycle* [7]. Semakin lebar pulsa tersebut terhadap 1 siklus, maka tegangan keluaran juga semakin tinggi. PWM banyak digunakan untuk mengendalikan kecepatan putar motor BLDC. Semakin tinggi tegangan keluaran, maka semakin tinggi kecepatan putar dari motor BLDC. PWM dikendalikan oleh mikrokontroler dengan nilai yang diperoleh dari metode FLC. PWM sendiri memiliki rumus yang dipresentasikan sebagai *duty cycle*. Berikut merupakan rumus PWM itu pada persamaan II-3.

$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T} \tag{II-3}$$

Tegangan keluaran dapat dirumuskan dengan *duty cycle* sebagai berikut.

$$V_o = \frac{t_{on}}{T} V_i \tag{II-4}$$

$$V_o = D V_i \tag{II-5}$$

Keterangan:

- D : *Duty Cycle*, presentase logika 1 terhadap 1 siklus
- t_{on} : Waktu selama pulsa berlogika 1 (s)

t_{off} : Waktu selama pulsa berlogika 0 (s)

Waktu siklus atau periode, yang juga dapat disebut
 T : Tegangan masukan (Volt)
 V : Tegangan keluaran (Volt)

Pengaturan PWM dilakukan untuk memanipulasi tegangan keluaran dari 0-5V pada mikrokontroler. Tegangan 0-5V merepresentasikan 0-24V tegangan keluaran dari driver motor untuk menggerakkan motor DC maupun BLDC.

2.5 Electronic Speed Control (ESC)

Penggunaan motor dc dengan 3 fasa membutuhkan suatu pengontrol motor dengan keluaran 3 fasa. Motor BLDC atau brushless DC ini kemudian diimplementasikan untuk digunakan pada sumber DC sebagai sumber energi utama. Dalam penggunaan motor ini memerlukan inverter 3 fasa, sehingga dari catu daya DC kemudian diubah menjadi tegangan AC [8]. Tujuan dari pemberian tegangan AC 3 fasa pada stator BLDC adalah menciptakan medan magnet putar pada stator. Untuk menarik magnet rotor diperlukan pensaklaran pada motor BLDC yang dikendalikan secara digital. Pada saat memutar motor BLDC, belitan stator harus diberi tegangan dengan suatu urutan pensaklaran sesuai dengan operasi 6 langkah yang sesuai dari pembacaan yang dirancang [9]. ESC (Elektronik Speed Control) juga memiliki fungsi sebagai pengatur kecepatan motor, selain itu juga berfungsi untuk menaikkan jumlah arus yang diperlukan oleh motor. ESC dapat dikatakan juga sebagai Drive motor dengan mengeluarkan pulsa untuk brushless motor yang berasal dari mikrokontroler.

2.6 Sensor LIDAR (Light Detection and Ranging)

Sensor LIDAR merupakan sebuah teknologi peraba jarak jauh optik yang mengukur properti cahaya yang tersebar untuk menemukan jarak dan/atau informasi lain dari target yang jauh. Lidar yang sering diaplikasikan pada kendaraan otomatis sebagian besar menggunakan metode TOF. TOF sendiri merupakan pulsa laser yang dikirim secara diskrit maupun kontinyu ke target berdasarkan kecepatan cahaya. Prinsip kerjanya mirip dengan sensor ultrasonic, namun gelombang cahaya yang ditransmisikan dalam bentuk laser hanya memiliki sedikit *noise* sehingga memiliki tingkat keakuratan mencapai 99%. Prinsip kerja dari sensor lidar yang pertama membidik target, kemudian laser tersebut memancarkan cahaya ke target dengan sistem pemancar cahaya. Setelah itu sinyal pemancar akan dikumpulkan dalam bentuk sampler sebagai sinyal gema. Sinyal gema tersebut kemudian diubah menjadi pulsa listrik yang kemudian dihitung untuk mendapat nilai jarak dari target[9]. Rumus yang digunakan pada sensor lidar ditunjukkan pada persamaan II-6 sebagai berikut.

$$D = \frac{ct}{2} \tag{II-6} [10]$$

Keterangan:

D : Jarak (m)

c : Konstanta kecepatan cahaya (3×10^8 m/s)

t : waktu tempuh pulsa laser pada saat ditembakkan dari sensor dan diterima kembali oleh sensor (s).

2.7 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah serangkaian komponen seperti *central processing unit* (CPU), memori, port *input output* (I/O) dan beberapa unit pendukung seperti *analog to digital converter* (ADC) dan *pulse width modulation* (PWM). Kelebihan utama dari mikrokontroler adalah tersedianya RAM dan peralatan I/O pendukung sehingga ukuran board tergolong ringkas. Beberapa contoh mikrokontroler adalah Intel 8081, Motorola 68HC11, Atmel AVR, Arduino, dan lainnya [11]. Berikut merupakan contoh Gambar II-5 Arduino.



Gambar II-5. Arduino

Arduino Uno berfungsi sebagai pengontrol utama dalam sistem ini. Mulai dari menerima masukan jarak hingga mengendalikan kecepatan motor BLDC untuk mengatur posisi jarak kapal dengan target. Kecepatan motor BLDC akan dikendalikan dengan metode *Fuzzy Logic Controller* (FLC).

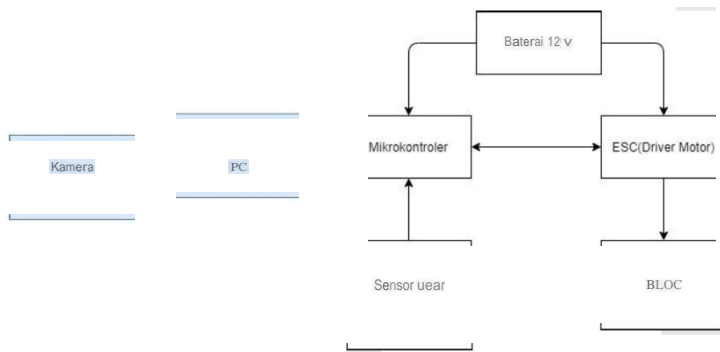
3. Pembahasan

3.1 Desain Sistem

Pada bab ini akan dibahas tentang desain purwarupa dari USV sebagai objek *follower* menggunakan sistem *fuzzy logic*. Adapun yang akan dibahas adalah desain sistem, desain perangkat keras, dan desain perangkat lunak. Tahap pertama dari sistem ini adalah pembacaan jarak USV dari sensor LIDAR dan pembacaan objek dari kamera. LIDAR memiliki fungsi yang sama seperti sensor ultrasonik yaitu membaca jarak, namun pembacaan dari sensor LIDAR sedikit berbeda karena menggunakan gelombang cahaya tepatnya laser sebagai media untuk menghitung jarak. Kemudian setelah mendapat pembacaan sensor LIDAR, maka akan menjadi nilai masukan dan diproses menggunakan FLC. Keluaran FLC akan menjadi nilai *PulseIn* dan diproses pada ESC yang kemudian diteruskan ke motor BLDC.

3.1.1 Diagram Blok

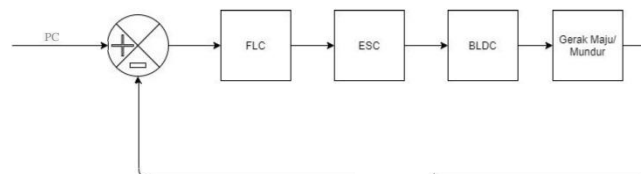
Pada sistem secara keseluruhan dapat dipresentasikan dengan diagram blok pada Gambar III-1.



Gambar III-1 Desain Sistem Keseluruhan Keseluruhan

Pada gambar III-1 diagram tersebut, terlihat bahwa sistem dihidupkan menggunakan daya baterai DC 12V. Kemudian daya baterai tersebut dialirkan ke mikrokontroler dan ESC. Kemudian dari ESC aliran listrik searah (DC) akan diubah menjadi AC tiga fasa untuk menghidupkan BLDC. Sedangkan 5V dari mikrokontroler sebagai sumber tegangan untuk sensor lidar. Mikrokontroler sebagai pengontrol utama dari sistem untuk menerima masukan dari sensor lidar berupa data jarak dan PC dalam bentuk data objek yang akan diikuti. Kemudian akan diolah dalam bentuk *fuzzy logic* yang kemudian akan menjadi data keluaran berupa nilai *pulseIn*. Setelah ada nilai keluaran akan diteruskan ke ESC sebagai pengontrol BLDC.

Masukan dari metode FLC adalah nilai dari jarak posisi sensor LIDAR. Jarak posisi sensor didefinisikan sebagai seberapa jauh posisi sensor LIDAR dengan objek. Keluaran dari FLC berupa nilai *pulseIn*. Nilai *pulseIn* akan menjadi masukan pada driver motor ESC untuk mengendalikan



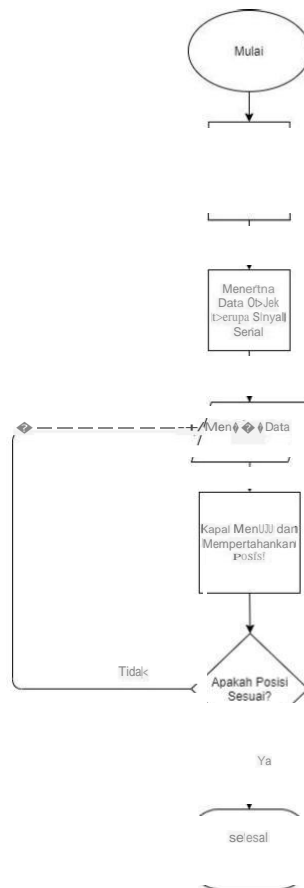
Gambar III-2 Diagram Blok Sistem

kecepatan motor BLDC. Adapun diagram blok dari kontrol gerak dengan metode FLC dapat ditunjukkan oleh Gambar III-2.

Pada gambar III-2 ditunjukkan bahwa nilai masukan tersebut berasal dari PC sebagai deteksi objek yang akan diikuti yang kemudian akan dikirim ke mikrokontroler. Apabila ada objek tersebut maka USV tersebut akan bergerak. Agar posisi USV tersebut dapat diikuti maka digunakan sensor LIDAR sebagai pengatur jarak jauh atau dekatnya objek yang diikuti. Setelah ada nilai dari sensor LIDAR kemudian akan diproses pada FLC. Untuk nilai *feedback* pada diagram blok adalah nilai jarak dari sensor LIDAR . pada blok FLC terdapat proses *fuzzyfication*, *fuzzy inference*, dan *defuzzyfication*.

3.1.2 Diagram Alir

Diagram alir yang telah dirancang dapat dilihat pada gambar III-3 berikut.



Gambar III-3 Diagram Alir Sistem

Untuk mengaktifkan sistem diatas maka kapal dihidupkan terlebih dahulu, kemudian kapal akan menginisialisasikan pin masukan dan keluaran. Kemudian setelah terinisialisasi, maka kapal akan mendapatkan data masukan berupa jarak dan yang akan menentukan seberapa jauh posisi kapal dengan objek yang sesuai agar objek yang diikuti tetap pada posisi yang telah ditentukan. Dengan mengolah data yang berupa jarak, maka *fuzzy logic control* akan bertindak sebagai pengendali untuk mengatur kapal agar selalu berada pada posisi yang telah ditentukan serta mempertahankan posisi tersebut. Setelah posisi yang diinginkan terpenuhi maka proses akan diulangi lagi dari awal secara terus menerus. Posisi akan selalu dipertahankan hingga ada perintah untuk berhenti atau

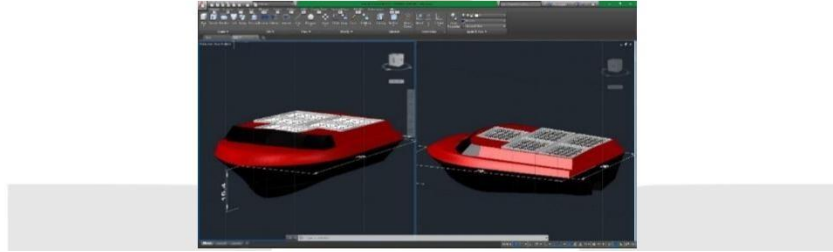
tidak ada lagi objek yang diikuti.

3.2 Desain Perangkat Keras

Desain perangkat keras meliputi desain mekanik sistem dan spesifikasi komponen. Penjelasan lebih lanjut adalah sebagai berikut.

Desain Mekanik Sistem

Desain mekanik sistem USV dalam bentuk 3D ditunjukkan pada gambar III-4 berikut ini.



Pada gambar III-4, terlihat desain kapal USV dijadikan purwarupa untuk mengikuti objek lain.

Gambar III- 4 Desain 3D USV

Dimensi kapal USV tersebut memiliki ukuran 70 cm x 50 cm x 15 cm. USV tersebut didesain cukup besar agar memiliki ruang untuk menaruh komponen dan luas permukaan dari lambung agar seimbang saat USV tersebut dijalankan. Untuk lebih jelasnya akan dicantumkan pada lampiran A. Pada perancangan perangkat keras yang direalisasikan, digunakan beberapa komponen sebagai berikut :

- Sensor LIDAR

Sensor LIDAR memiliki fungsi yaitu sebagai *feedback* dan masukan pada sistem yang digunakan.

- Arduino UNO

Arduino Uno memiliki fungsi sebagai pengolah nilai masukan jarak untuk diproses dalam nilai FLC yang kemudian dikeluarkan dalam bentuk nilai *Pulsein*

- ESC (*Electronic Speed Control*)

ESC adalah rangkaian elektronik yang memiliki fungsi sama seperti driver motor yaitu sebagai piranti untuk menjalankan motor *brushless*.

- Motor Brushless DC

Motor Brushless berfungsi sebagai aktuator yang bekerja menggerakkan baling-baling kapal untuk mengatur kecepatan gerak kapal.

Spesifikasi Komponen

Spesifikasi komponen meliputi komponen-komponen yang digunakan pada purwarupa USV sebagai objek *follower*. Komponen-komponen yang digunakan dan spesifikasinya adalah sebagai berikut.

Arduino Uno

Arduino Uno adalah *board* mikrokontroler dengan ATmega328P sebagai mikrokontrolernya. Arduino Uno ditunjukkan oleh Gambar III-8 dan spesifikasi Arduino Uno disajikan pada Tabel III-1.



Gambar III- 5 Arduino Uno

Pin Analog <i>Input</i>	6 Pin Analog <i>Input</i>
Pin Digital	14 Pin Digital
Pin PWM	6 Pin PWM
Tegangan Input	7V – 12V (<i>recommended</i>)
Tegangan Operasi	5 Volt
Arus per pinI/O	20Ma
Mikrokontroler	ATMega328P
Dimensi	60 mm x 70 mm x 10 mm
<i>Flash Memory</i>	32KB, 5KB sebagai <i>bootloader</i>
SRAM	2KB
EEPROM	1KB

Tabel III- 1 Spesifikasi Arduino Uno

Dari spesifikasi tersebut, jumlah pin digital yang digunakan adalah 5 pin. Penggunaan pin digital meliputi 2 pin *interrupt* untuk sensor *LIDAR*, 1 pin *pulsein* untuk driver motor ESC, 1 pin PWM untuk motor servo, dan 2 pin *pulsein* dari *receiver remote control*.

Sensor Mini LIDAR

Pada penelitian ini digunakan sensor yang bisa membaca jarak yang cukup jauh yaitu sensor mini lidar. Sensor ini memiliki pembacaan yang mirip dengan sensor ultrasonik, namun menggunakan



Gambar III-6 Mini LIDAR

gelombang cahaya. Sensor ini digunakan sebagai masukan dari sistem kapal USV yang akan dibuat. Adapun sensor ini ditunjukkan pada Gambar III-6 dan spesifikasinya dapat dilihat pada Tabel III-2.

Tabel III- 2 Spesifikasi Sensor Mini LIDAR

Working Voltage	4.5VDC - 6VDC
Konsumsi Daya	0,6W
Sensor <i>angle</i>	2.3°
Jarak jangkauan	0.3m - 12m
Akurasi	1% (<6m), 2% (6 - 12m)
<i>Refresh</i> Frekuensi	100Hz
Panjang Gelombang	850nm

Dari spesifikasi tersebut, sensor tersebut memiliki jarak jangkauan yang cukup jauh jika dibandingkan sensor ultrasonik. Hal ini dikarenakan sensor mini lidar menggunakan cahaya sebagai media rambat sehingga kecepatannya jauh lebih cepat jika dibandingkan dengan sensor ultrasonik.

Driver Motor ESC

Pada penelitian ini driver motor yang digunakan untuk mengendalikan motor *brushless* adalah ESC Hobbywing 50A, penggunaan komponen ini menyesuaikan dengan ukuran dari arus yang digunakan pada motor *brushless* sebesar 30 A, sehingga driver motor membutuhkan arus dua kali lebih besar untuk menggerakkan motor *brushless*. Adapun driver motor yang digunakan ditunjukkan pada Gambar III-7 dengan spesifikasinya pada Tabel III-3.



Gambar III-7 ESC 50 A

<i>Burst Current</i>	50A/70A
<i>Motor Type</i>	Sensorless Brushless
<i>Resistance</i>	0,0003 ohm
<i>Voltage Input</i>	5.5v / 4A
<i>BEC</i>	1% (<6m), 2% (6 - 12m)
<i>Cooling</i>	Watercooled
<i>EPP Output</i>	External Programming port has direct voltage
<i>Weight</i>	105g

Tabel III- 3 Spesifikasi Driver Motor ESC

Motor *Brushless*

Motor *Brushless* digunakan sebagai aktuator penggerak pada kapal USV. Pada umumnya cara kerja dari aktuator ini akan bekerja jika terdapat arus listrik, maka medan magnet akan memutar kumparan



Gambar III-8 *Brushless* Motor

yang berada di dalam aktuator. Motor *brushless* yang digunakan akan berputar searah jarum jam apabila frekuensi sinyal yang diberikan lebih besar dan motor akan berputar berlawanan arah jarumnya apabila frekuensi dari inverter kurang dari nilai *set point*. Aktuator yang digunakan adalah Hobbywing Seaking 3180 KV ditunjukkan pada Gambar III-8 dan spesifikasinya pada Tabel III- 4.

Power	1579.2 Watt
-------	-------------

Kv	3060 (rpm/v)
Max Voltage	16.8V
Max Current	94A

Tabel III- 4 Spesifikasi Brushless Motor

Baterai LIPO 3s 11.1 V

Catu daya yang digunakan pada alat ini adalah baterai dengan bahan polymer dengan tegangan 11.1 VDC dan berkapasitas 3,5 Ah. Pemilihan catu daya ini sangat penting karena saat menjalankan kapal USV dibutuhkan daya tahan dengan waktu yang lama sehingga sistem berjalan secara maksimal. Baterai yang digunakan pada kapal USV ditunjukkan pada Gambar III-9 dan memiliki spesifikasi pada Tabel III- 5.



Gambar III-9 Baterai Lipo

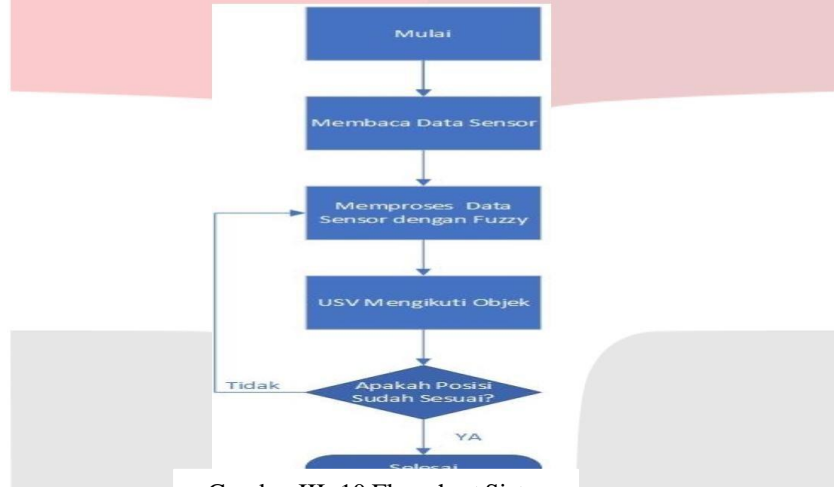
Tegangan <i>Constant</i> Tiap Cell	3.7 V
Tegangan <i>Constant</i> Total	11.1 V
C Point <i>Discharge</i>	35C
C Point <i>Charge</i>	5C
Kapasitas	3,5 Ah

Tabel III- 5 Spesifikasi Baterai Lipo Tiger 11.1v

Dari spesifikasi tersebut, baterai yang digunakan memiliki C point discharge, artinya baterai mampu mengeluarkan arus secara maksimal dalam waktu yang singkat. Dalam hal ini, baterai yang digunakan dapat mengeluarkan arus hingga 105 A secara singkat dengan aman.

3.3 Desain Perangkat Lunak

Pada tahap ini dilakukan perancangan perangkat lunak dengan sistem pengontrolan *fuzzy logic* pada kapal USV untuk mengikuti objek lain. Berikut adalah Gambar III-10 flowchart sistem pengontrolan FLC.



Gambar III- 10 Flowchart Sistem

Pada gambar III-10 dijelaskan bagaimana cara kerja dari sistem FLC. Proses FLC itu kemudian dirancang sendiri yang terdiri dari *fuzzyfication*, *fuzzy inference*, dan *defuzzyfication*

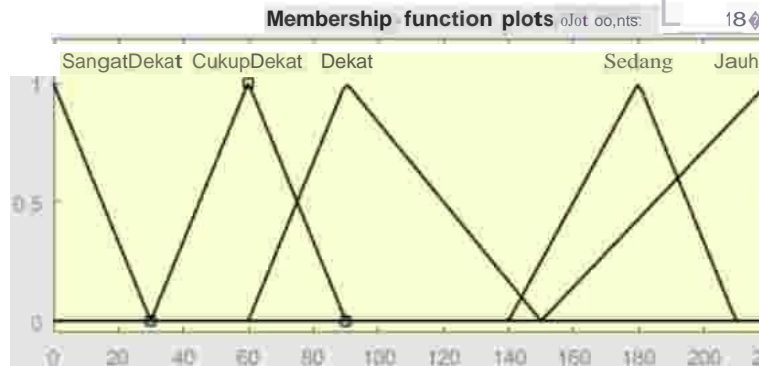
Perancangan Fuzzyfication

Data yang berupa jarak dari sensor LIDAR yang dikirim ke mikrokontroller merupakan sebuah data yang masih bernilai tegas (*crisp*) yang akan diubah menjadi himpunan *fuzzy* menurut fungsi keanggotaannya. Berikut merupakan diagram alir dari *fuzzy logic control* ditunjukkan pada gambar III-11.



Gambar III- 11 Flowchart FLC

Proses yang dilakukan oleh fuzzyfikasi yaitu membuat fungsi keanggotaan (*membership function*) dari masukan data, juga menentukan banyaknya variabel linguistik dalam fungsi keanggotaan tersebut. Dari fungsi keanggotaan maka nilai derajat keanggotaan dari masing-masing variabel dalam himpunan fuzzy dapat diketahui. Pada sistem ini masukan yang diterima berupa jarak yang kemudian akan dikonversi menjadi nilai PulseIn yang digunakan untuk mengatur kecepatan motor BLDC. Dari perencanaan sistem tersebut, dibuat variabel linguistik masukan jarak. Terdapat 5 variabel linguistik pada masukan jarak, yaitu SangatDekat(SD), CukupDekat(CD), (Dekat), Sedang(S), dan Jauh(J) dengan fungsi keanggotaan seluruhnya adalah segitiga. Fungsi keanggotaan masukan jarak ditunjukkan oleh gambar III-12 berikut.



Gambar III- 12 Membership Function FLC

Berdasarkan Gambar III-12, terdapat 5 fungsi keanggotaan pada himpunan fuzzy dengan masukan jarak yaitu Sangat Dekat(SD), Cukup Dekat (CD), Dekat (D), Sedang (S), dan Jauh (J). Untuk memperoleh rumus setiap fungsi keanggotaan pada Gambar III-20, digunakan rumus persamaan garis singgung sebagai berikut.

$$\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{x - x_1} \tag{III-1}$$

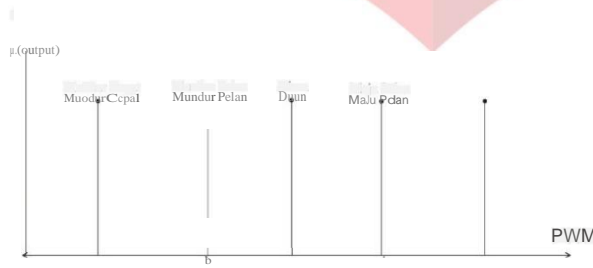
Penurunan rumus fungsi keanggotaan dapat dilihat pada lampiran. Pada fungsi keanggotaan Sangat Dekat (SD) memiliki derajat keanggotaan 1 saat jarak (e) kurang dari 30 cm, derajat keanggotaan $\frac{-e + 30}{30}$ saat jarak (e) antara 0 cm hingga 30 cm, dan derajat keanggotaan 0 saat jarak (e) lebih dari 30 cm.

Pada fungsi keanggotaan Cukup Dekat (CD) memiliki derajat keanggotaan 0 saat jarak (e) kurang dari 30 cm atau lebih dari 90 cm, derajat keanggotaan $\frac{e - 30}{60}$ saat jarak (e) antara 30 cm hingga 60 cm, dan derajat keanggotaan $\frac{-e + 150}{60}$ saat jarak (e) antara 60 cm hingga 90 cm.

Pada fungsi keanggotaan Dekat (D) memiliki derajat keanggotaan 0 saat jarak (e) kurang dari 50 cm atau lebih dari 150 cm, derajat keanggotaan $\frac{e - 50}{40}$ saat jarak (e) antara 50 cm hingga 90 cm, dan derajat keanggotaan $\frac{-e + 150}{60}$ saat jarak (e) antara 90 cm hingga 150 cm.

Pada fungsi keanggotaan *Sedang* (S) memiliki derajat keanggotaan 0 saat jarak (e) lebih dari 210 cm atau kurang dari 140 cm, derajat keanggotaan $\frac{x-140}{70}$ saat jarak (e) antara 140 cm hingga 180 cm, dan derajat keanggotaan $\frac{-x+210}{30}$ saat jarak (e) antara 180 cm hingga 210 cm.

Pada fungsi keanggotaan *Jauh* (J) memiliki derajat keanggotaan 0 saat error (e) kurang dari 150 cm, derajat keanggotaan $\frac{x-150}{70}$ saat jarak (e) antara 150 cm hingga 220 cm, dan derajat keanggotaan 1 saat jarak (e) lebih dari 220 cm. Untuk nilai membership dari dError jarak adalah sama dengan keanggotaan dari jarak(e) karena dError adalah hasil dari Error saat ini – Error sebelumnya. Adapun himpunan fungsi keanggotaan keluaran *PulseIn* ditunjukkan oleh Gambar III-13 berikut.



Gambar III- 13 Membership Function *PulseIn*

Berdasarkan Gambar III-13, terdapat 5 fungsi keanggotaan yaitu Mundur Cepat, Mundur *Pelan*, Diam, Maju Pelan dan Maju Cepat. Nilai keluaran *PulseIn* pada masing-masing fungsi keanggotaan diperoleh dari metode *trial and error*

Perancangan Fuzzy Inference

Fuzzy inference system atau sistem inferensi fuzzy merupakan suatu kerangka komputasi yang memiliki dasar pada rule himpunan fuzzy dan aturan fuzzy yang berbentuk IF-THEN. Pada tahap ini, nilai fuzzy yang telah diperoleh pada tahap fuzzification akan diolah sesuai dengan aturan-aturan (rules) yang telah dibuat. Aturan tersebut akan menentukan keluaran dari sistem tersebut. Rules pada sistem yang akan digunakan pada FLC posisi ditunjukkan pada tabel III-6 berikut.

Tabel III-6 Fuzzy Logic Rules

	SD	CD	D	S	J
ΔdSD	Mundur	Mundur	Maju	Maju	Maju
	Cepat	Cepat	Pelan	Pelan	Cepat
ΔdCD	Mundur	Mundur	Diam	Diam	Maju
	Pelan	Pelan			Pelan
ΔdD	Mundur			Maju	Maju
	Pelan	Diam	Diam	Pelan	Pelan

ΔS	Diam	Diam	Maju Pelan	Maju Pelan	Maju Cepat
ΔJ	Diam	Maju Pelan	Maju Pelan	Maju Cepat	Maju Cepat

Perancangan Defuzzyfication

Tahap akhir dari suatu proses FLC adalah *defuzzification*. Setelah FLC menerima masukan dari proses inferensi fuzzy, pada tahap ini nilai variabel linguistik akan dikonversi menjadi nilai tegas (*crisp*). *Defuzzification* diperlukan karena dalam implementasinya merupakan aplikasi nyata dalam bentuk nilai tegas(*crisp*). Metode yang digunakan pada sistem ini adalah *weight average* dan keluaran dari tahap *defuzzification* berupa nilai PWM yang digunakan untuk mengendalikan kecepatan putar motor BLDC

$$\mu = \frac{\mu_1 + \mu_2 + \dots + \mu_n}{1 + 2 + \dots + n} \tag{III-2} \quad [12]$$

4. Hasil dan Analisis

Pada bab ini akan dibahas mengenai pengujian dan analisis terhadap realisasi dari alat berdasarkan dari perencanaan perancangan sistem yang telah dibuat pada bab sebelumnya. Pengujian ini meliputi pengujian *software* dan *hardware* yang terdapat pada sistem. Pengujian ini juga ditujukan untuk mengetahui keandalan dari suatu sistem. Pengujian ini terdiri dari perbandingan nilai keluaran antara Matlab dan Arduino, pengujian sensor LIDAR, pengujian keberhasilan mengikuti objek diam, dan pengujian waktu yang dibutuhkan untuk mencapai target.

Perbandingan Nilai Output antara Matlab dan Arduino

Tujuan Pengujian:

Pengujian ini dilakukan untuk membuktikan hasil *output* yang diberikan apakah sesuai dengan *rules* dan pengolahan *fuzzy* yang telah dibuat. Pengujian ini juga ditujukan untuk membandingkan nilai *output* yang dihasilkan dari program dengan nilai dari *software* matlab.

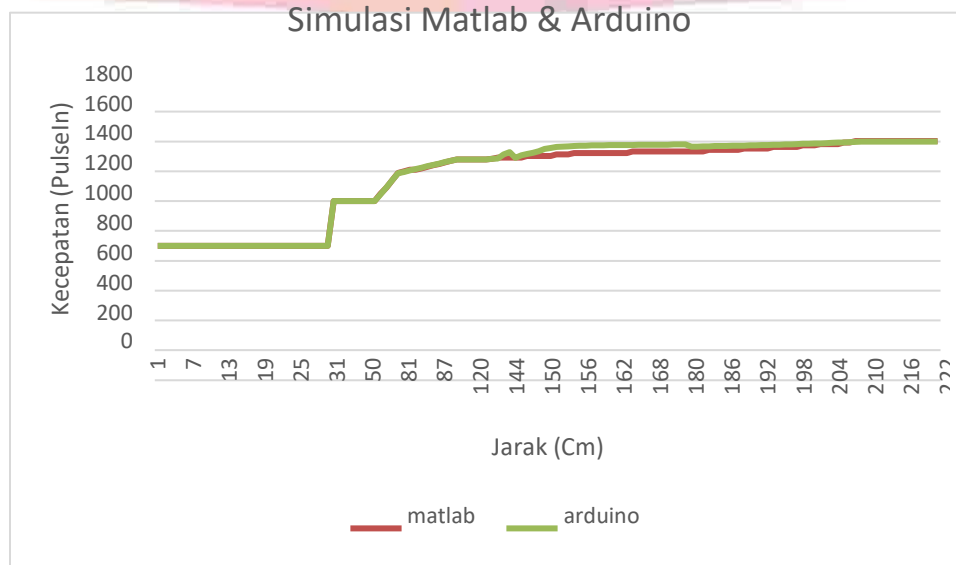
Alat Uji:

- Arduino UNO
- Laptop
- Kabel *peripheral* USB
- Matlab

Cara Pengujian:

Algoritma yang telah dibuat pada arduino akan diberikan berbagai macam masukan nilai jarak untuk mengetahui nilai keluaran dari sistem yang telah dibuat. Lalu nilai yang sama akan disimulasikan menggunakan *software* matlab. Nilai output keduanya kemudian akan dibandingkan untuk mengetahui apakah algoritma yang telah dibuat memiliki respon yang ideal.

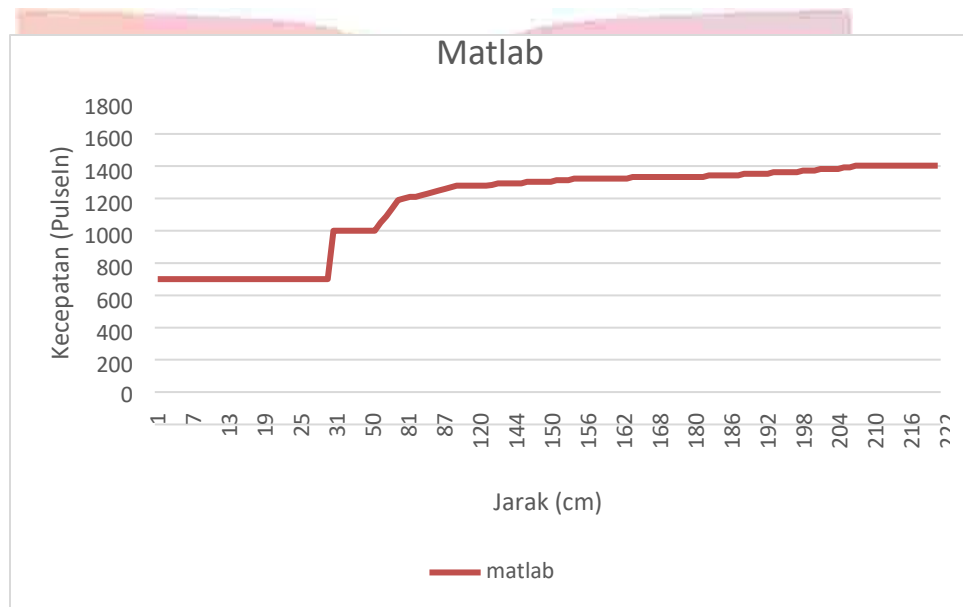
Hasil Pengujian dan Analisis:



Gambar IV-1 Grafik Perbandingan Nilai Kecepatan Matlab dan Arduino

Pada gambar IV-1 berikut akan menampilkan perbedaan nilai output *fuzzy logic control* pada simulasi Matlab dan Arduino. Untuk tabel perbedaan nilai output akan dilampirkan pada lampiran C.

Berdasarkan pada gambar IV-1 dapat dilihat bahwa nilai keluaran yang disimulasikan pada matlab dan arduino memiliki hasil yang kurang lebih sama. Namun, terjadi sedikit penyimpangan nilai pada jarak 140 cm sampai 180 cm. Akan tetapi, nilai keluaran tersebut tidak terlalu jauh penyimpangannya sehingga nilai kecepatan *PulseIn* masih sesuai dengan *fuzzy rules* yang telah ditentukan pada awal perancangan. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa program *fuzzy logic control* pada arduino sudah sesuai. Grafik perbandingan nilai rata program pada Arduino dan matlab dapat dilihat pada gambar IV-2, dan IV-3



Gambar IV-2 Grafik Nilai Kecepatan Pada Matlab



Gambar IV-3 Grafik Nilai Kecepatan Pada Arduino

Pengujian Sensor LIDAR(Light Detection and Range)

Tujuan Pengujian :

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui akurasi dari sensor *LIDAR*. Pengujian ini dilakukan dengan cara menggeser posisi sensor secara horizontal dengan target diam, kemudian nilai sensor yang ditampilkan pada serial monitor akan dicatat dan dikonversi ke dalam satuan cm. Hasil konversi tersebut akan dibandingkan dengan nilai yang terukur pada penggaris dan meteran.

Alat Uji:

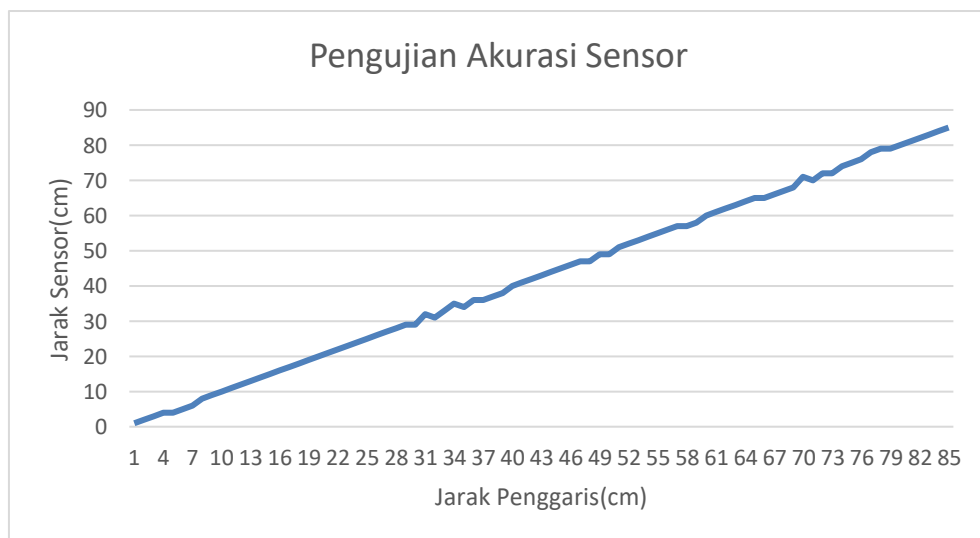
- Arduino UNO
- Laptop
- Kabel *peripheral* USB
- Sensor LIDAR

Cara Pengujian:

Pada pengujian ini posisi sensor akan diubah setiap 1 cm dari posisi target secara horizontal untuk mendapat keluaran berupa jarak. Kemudian hasil keluaran dari sensor tersebut akan dibandingkan dengan penggaris dan meteran agar di dapat penyimpangannya.

Hasil Pengujian dan Analisis:

Hasil pengujian sensor LIDAR dapat di lihat pada Gambar IV-4 berikut.



Gambar IV-4 Hasil Pengujian Sensor Lidar

Gambar IV-4 menunjukkan hasil pembacaan jarak pada sensor dan penggaris. Berdasarkan gambar grafik tersebut, terdapat sedikit penyimpangan. Akurasi sensor lidar yang diperoleh yaitu 99,47%. Karena nilai akurasi yang mendekati 100 % dapat disimpulkan bahwa Sensor Lidar memiliki akurasi yang sangat baik.

Pengujian Waktu Mencapai Target

Tujuan Pengujian:

Untuk mengetahui kesesuaian algoritma yang tertanam pada sistem dan pengaruh kecepatan motor brushless terhadap pergerakan kapal, serta ketepatan dari algoritma tersebut.

Alat uji:

1. Autonomous Boat
2. Baterai Lippo 11.1V
3. Target kapal yang diikuti

Cara Pengujian:

Pada pengujian ini setiap kapal akan diubah ubah posisi mulainya namun posisi yang ditujunya tidak mengalami perubahan. Pada setiap posisi mulai akan dicatat waktu menuju posisi target yang telah ditentukan sebelumnya agar didapatkan waktu kejar target.

Hasil Pengujian dan Analisis:

Hasil pengujian dari autonomous boat dalam mengejar target yang ditentukan ditunjukkan pada Tabel IV-1 sebagai berikut.

Posisi 1			
No.	Percobaan Ke-	Jarak(cm)	Waktu Kejar Target
1.	1	300	04.11'
2.	2	340	04.30'
3.	3	360	04.78'
4.	4	380	05.41'
5.	5	400	05.89'
6.	6	420	05.58'
7.	7	450	06.42'
8.	8	490	08.06'
9.	9	500	08.12'
10.	10	550	10.80'

Tabel IV-1 Waktu Kejar Target posisi 1

Berdasarkan tabel IV-1 hasil pengujian ini memiliki rata rata waktu 6,347' detik untuk mencapai posisi target. Untuk percobaan tipe kedua dilakukan pada posisi yang berbeda pada posisi 2. Berikut merupakan Tabel IV-2 hasil percobaan pada posisi kedua berikut.

Posisi 2			
No.	Percobaan Ke-	Jarak(cm)	Waktu Kejar Target
1.	1	350	04.52'
2.	2	380	05.38'
3.	3	400	05.89'
4.	4	420	05.72'
5.	5	450	06.30'
6.	6	480	07.58'
7.	7	500	08.18'
8.	8	520	08.70'
9.	9	550	10.77'
10.	10	600	11.02'

Tabel IV-2 Waktu Kejar Target posisi 2

Berdasarkan tabel IV-2 hasil pengujian ini memiliki rata rata waktu 7.40 detik untuk mencapai posisi target. Untuk percobaan tipe ketiga dilakukan pada posisi yang berbeda yaitu pada posisi 3. Berikut merupakan Tabel IV-3 hasil percobaan pada posisi ketiga berikut.

Posisi 3			
No.	Percobaan Ke-	Jarak(cm)	Waktu Kejar Target
1	1	300	04.11'
2	2	320	04.22'
3	3	340	04.32'
4	4	360	04.79'
5	5	380	05.23'
6	6	400	05.89'
7	7	420	06.41'
8	8	450	06.93'
9	9	500	08.16'
10	10	550	10.88'

Tabel IV-3 Waktu Kejar Target posisi 3

Berdasarkan Tabel IV-3 hasil pengujian ini memiliki rata rata waktu 6,094 detik untuk mencapai posisi target. Untuk percobaan tipe keempat dilakukan pada posisi yang berbeda yaitu pada posisi 4. Berikut merupakan Gambar IV-8 hasil percobaan pada posisi keempat berikut.

Posisi 4			
No.	Percobaan Ke-	Jarak(cm)	Waktu Kejar Target
1	1	330	04.25'
2	2	350	04.56'
3	3	370	04.89'
4	4	390	05.88'
5	5	410	06.03'
6	6	430	06.56'
7	7	460	07.00'
8	8	490	08.05'
9	9	510	08.26'
10	10	610	11.32'

Tabel IV-4 Waktu Kejar Target posisi 4

Berdasarkan Tabel IV-4 hasil pengujian ini memiliki rata rata waktu 6,68 detik untuk mencapai posisi target. Sehingga pengujian dari empat posisi di dapat rata-rata waktu kejar target adalah 6,61025 detik. Dapat disimpulkan bahwa jarak paling ideal untuk mengejar target adalah dari posisi 400 cm-500 cm.

Pengujian Pengejaran Target Bergerak

Tujuan Pengujian:

Untuk mengetahui kesesuaian algoritma yang tertanam dalam sistem terhadap pengejaran target bergerak agar didapatkan hasil berupa jarak kapal dalam mengikuti target yang bergerak setiap detiknya.

Alat uji:

1. Autonomous Boat
2. Baterai Lippo 11.1V

3. Target kapal yang diikuti

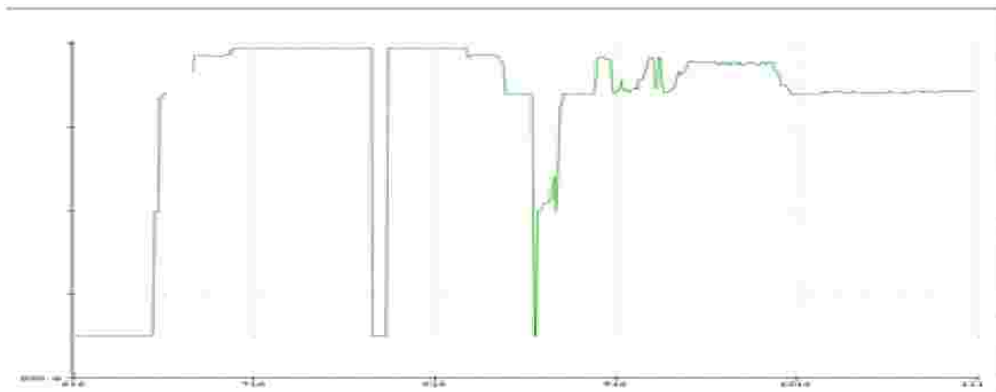
4. PC

Cara Pengujian:

Pada pengujian ini kapal akan posisikan pada jarak awal yang ditentukan adalah 500 cm, Kemudian posisi kapal akan dicatat setiap waktu dalam bentuk jarak dan kecepatan (*PulseIn*) dengan target yang bergerak dan hasilnya akan dicatat pada *serial plotter* Arduino di PC.

Hasil Pengujian dan Analisis:

Hasil pengujian dari autonomous boat dalam pengejaran target kapal ditunjukkan pada Gambar IV-5 sebagai berikut.



Gambar IV-5 Pengujian Kejar Target Bergerak

Berdasarkan gambar IV-5 hasil pengujian tersebut kapal dapat mengejar target yang bergerak pada jarak awal 500 cm. Kemudian pada sistem akan diolah sehingga mengeluarkan kecepatan yang sesuai untuk mengejar target kapal tersebut yang digerakkan. Ketika posisi target di ubah ke jarak kedua yaitu 400 cm dan seterusnya maka kecepatan akan selalu berubah hingga mendekati nilai diam yaitu 1480. Proses pengujian ini dilakukan selama dua menit sehingga kapal tersebut dapat mengikuti target sesuai dengan kecepatan yang ditentukan tanpa ada hambatan. Dapat disimpulkan bahwa FLC pada purwarupa kapal USV mampu digunakan untuk mengejar target kapal yang bergerak.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian, dan analisis yang telah dilakukan pada tugas akhir ini, dapat ditarik beberapa kesimpulan, diantaranya:

1. Metode Fuzzy Logic Control telah berhasil digunakan dalam sistem dan telah berjalan dengan lumayan baik untuk mengikuti posisi target dengan kecepatan yang diinginkan.
2. Sensor LIDAR yang digunakan memiliki nilai akurasi yang mendekati 100% sehingga nilai akurasi tersebut sangat baik.
3. Respon sistem sudah baik ketika masih di dalam batasan jarak yang telah ditentukan yaitu 400-500 cm, namun ketika sudah mendekati batas atau bahkan keluar dari batas maka respon akan berkurang drastis. Hal ini dikarenakan keterbatasan sensor yang digunakan sehingga respon sistem menjadi berkurang.
4. Sistem dapat bereaksi dengan baik jika target memiliki pergerakan yang diam maupun hanya bergerak maju atau mundur. Jika target bergerak keluar dari sudut baca sensor LIDAR dan berbelok maka sistem kesulitan untuk mengikuti gerakan target. Hal ini dikarenakan sudut baca sensor LIDAR lebih sempit.

Daftar Pustaka

- [1] [<https://nasional.kompas.com/read/2010/08/15/21203566/Pengawasan.Laut.Indonesia.Belum.Ideal-5>] (Pengawasan Laut Indonesia Belum Ideal) diakses tanggal 5 Agustus 2020.
- [2] DEPARTMENT OF THE NAVY, THE NAVY UNMANNED SURFACEVEHICLE (USV) MASTER PLAN. USA, 2007
- [3] Miftahul Fathan,Aulian : “DESAIN DAN IMPLEMENTASI ALGORITMA MAPPING MENGGUNAKAN SENSOR ULTRASONIK DAN KOMPAS PADA AUTONOMOUS QUADRUPEL ROBOT”. Bandung : Universitas Telkom 2016.
- [4] David Smalley,” Navy's Autonomous Swarmboats Can Overwhelm Adversaries “ Release Date: 10/6/2014 (Di akses pada tanggal 29 September 2019).
- [5] Ogata, Katsuhiko. “Modern Control Engineering”. Prentice Hall, 2002
- [6] Dewa Satria Irawan,” KONTROL POSISI PADA SWARM BOAT MENGGUNAKAN FUZZY LOGIC CONTROL “ Bandung : Universitas Telkom 2018.
- [7] Silvirianti : “PERANCANGAN SISTEM KONTROL KECEPATAN AUTOMATED GUIDED VEHICLE DENGAN VARIASI BEBAN MENGGUNAKAN FUZZY-PID”. Bandung : Universitas Telkom 2014.
- [8] A. Fachrul, P. Josaphat, F. Ali : “PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI PENGATURAN KECEPATAN MOTOR BRUSHLESS DC MENGGUNAKAN METODE MODEL PREDICTIVE CONTROL (MPC)” Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember 2015.
- [9] L. Jingyun, S. Qiao, J. Yudong :” TOF Lidar Development in Autonomous Vehicle”. Optoelectronics Global Conference, Beijing 2018.
- [10] <https://www.handalselaras.com/apa-itu-lidar/> (Apa itu LiDAR?) di akses tanggal 22 Agustus 2020
- [11] Holomoan, Junarto, “Pengenalan μ C AVR,” 2010.
- [12] Risnanda Satriatama, “ SISTEM KONTROL TROLI ROTARI SEBAGAI TEMPAT PENITIPAN BARANG OTOMATIS BERBASIS RFID MENGGUNAKAN FUZZY LOGIC”. Bandung : Universitas Telkom 2020.