

**PERANCANGAN DAN PENERAPAN *STABILIZED* KAMERA 2-AXIS
PADA PERAHU**
*DESIGN AND APPLICATION OF 2-AXIS STABILIZED CAMERA ON THE
BOAT*

Kristian Garente¹, Dr. Rizki Ardianto Priramadhi, S.T., M.T.², Agung Surya Wibowo,
S.T., M.T.³

1,2,3Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
elchristian@student.telkomuniversity.ac.id, 2rizkia@telkomuniversity.co.id,
3agungsw@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Sistem digital banyak digunakan dalam aplikasi kendali komponen kapal, salah satunya kamera pengintai kapal, kamera pengintai kapal harus dibuat sestabil mungkin terhadap horizon untuk mengambil citra yang akurat, akan tetapi stabilisasi kamera terganggu oleh gelombang laut.

Kamera ini mempunyai 1 buah lensa kamera yang digerakkan oleh *Motor Stepper*, dan mempunyai 2 sudut pergerakan yaitu pitch dan yaw, kedua masukan sudut dan arah diproses pada mikrokontroler untuk dilakukan pemrosesan sinyal kendali menggunakan metode FLC (*Fuzzy Logic Control*) dan menghasilkan sinyal gerakan untuk menggerakkan dan melakukan stabilisasi untuk 2 sumbu axis agar presisi dalam mengarahkan pada sudut objek yang diinginkan. Dari keluaran sudut pandang kamera tersebut apabila belum stabil, akan di deteksi oleh feedback sensor IMU yang berupa sensor *gyroscope*, *sensor accelerometer*, dan kompas setelah itu akan di proses kembali oleh mikrokontroler sampai didapatkan hasil yang sesuai.

Dari perancangan ini menghasilkan sistem yang dapat mengintegrasikan sensor IMU disumbu 0 *COG (center of Gravity)* kamera, dengan akurasi $\pm 0,1268^\circ$, kemudian pada sistem kestabilan memakai *fuzzy logic* didapatkan *error steady-state* $3,688^\circ$. Dengan menggunakan VnC dan *remote WiFi* sistem dapat menerima masukan perintah gerakan 100% namun dengan delay 3 detik serta sistem gimbal dapat melakukan sapuan sudut hingga $0^\circ-180^\circ$.

Kata kunci: *2-Axis camera, Kestabilan, Fuzzy Logic controller, IMU*

Abstract

Digital systems are widely used in ship component control applications, one of which is ship surveillance cameras, ship surveillance cameras must be made as stable as possible against the horizon to take accurate images, but camera stabilization is disturbed by ocean waves.

This camera has 1 camera lens that is driven by a Stepper Motor, and has 2 angles of movement, namely pitch and yaw, both input angles and directions are processed on the microcontroller for processing control signals using the FLC (Fuzzy Logic Control) method and generate motion signals to move and perform stabilization for 2 axes for precision in pointing at the desired object angle. From the output point of view of the camera, if it is not stable, it will be detected by the IMU's feedback sensor in the form of a gyroscope sensor, accelerometer sensor, and compass after which the microcontroller will process it again until the appropriate results are obtained.

This design produces a system that can integrate the IMU sensor on the 0 COG (Center of Gravity) axis of the camera, with an accuracy of $\pm 0.1268^\circ$, then the stability system using fuzzy logic gets a steady-state error of 3.688° . By using VnC and remote WiFi the system can receive 100% motion command input but with a 3 second delay and the gimbal system can do angle sweeps of up to $0^\circ-180^\circ$.

Keywords : *2-Axis camera, stability, Fuzzy Logic controller*

1. Pendahuluan

Indonesia dijuluki sebagai negara maritim karena luas perairannya lebih luas daripada luas daratan. Menurut WWF (*World Wildlife Fund*), Salah satu permasalahan maritim yang terjadi di Indonesia adalah banyaknya kasus penangkapan ikan ilegal dan berlebihan. Umumnya lokasi penangkapan tersebut berada di wilayah timur Indonesia dan perairan Pulau Natuna sebagai akibat ketimpangan infrastruktur, terutama armada patroli laut Indonesia[1]. Bukan hanya itu, penangkapan ikan ilegal tersebut juga berdampak pada kehancuran 27% batu karang dunia, dan diperkirakan 30 tahun kedepan menjadi 60% jika masih terus berlanjut. Hal ini dapat berdampak pada kemiskinan dan penurunan ketersediaan bahan makanan dikarenakan berkurangnya stok ikan[2]. Oleh karena masalah tersebut dibutuhkan sebuah alat untuk memonitoring kondisi perairan di Indonesia secara *real time*.

Salah satu solusi untuk monitoring laut Indonesia adalah menggunakan kapal tanpa awak yang

dilengkapi oleh kamera secara real time. Kamera ini diharapkan dapat merekam gambar dengan stabil karena terdapat berbagai hambatan seperti ombak, atau beberapa gerakan yang akan membuat gambar menjadi tidak stabil. Gerakan yang tidak stabil ini akan mempengaruhi hasil pengambilan video, yang menjadi efek blur atau bergoyang-goyang. Pada kali penelitian ini, penulis berfokus pada pembuatan sistem stabilisasi gimbal kamera. Dari penelitian sebelumnya [3] akan dibuat pengembangan kamera yang dapat digunakan untuk memonitoring kondisi pada lingkungan perairan yang berombak secara nirkabel. Alat ini akan memakai konsep *gyro-accelerometer*, sama seperti yang digunakan pada *gimbal* stabilizer yang bisa mempertahankan sudut pandang terhadap getaran. *Gimbal* merupakan alat pengendali gerakan kamera yang dapat menggerakkan kamera pada sumbu *x*, *y*, dan *z*. *Gimbal* sangat cocok jika digunakan pada sistem yang umum dipakai pada kamera. Sistem kamera sering disebut *Pan Tilt Zoom (PTZ)*, yaitu *Pan* merupakan pengendalian sumbu *Yaw* kamera. *Tilt* merupakan pengendalian kemiringan kamera baik berupa *Pitch* maupun *Roll*. *Zoom* merupakan pengendalian perbesaran gambar pada kamera. Pada sistem *PTZ*, *Gimbal* digunakan untuk menggerakkan kamera sudut *Pitch*, *Roll*, dan *Yaw*, sehingga kamera dapat mempertahankan sudut pandang, pada penelitian sebelumnya sudah menerapkan stabilisasi sumbu *pitch* tetapi belum menerapkan kompas *lock* untuk mengunci stabilisasi di sumbu *yaw*.

Solusi yang ditawarkan, kamera ini akan dipasangkan sistem kendali menggunakan mikrokontroler dan metode logika fuzzy agar pengambilan citra dapat tetap stabil terhadap horizon walaupun terdampak oleh gelombang air sehingga sistem kamera dapat melakukan stabilisasi mandiri disumbu *pitch* untuk menstabilkan terhadap ombak dan *yaw* untuk mengunci arah kamera terhadap input arah rotasi kamera yang diberikan operator. Kamera ini juga akan diberikan antarmuka agar operator dapat melihat citra dari kamera secara nirkabel.

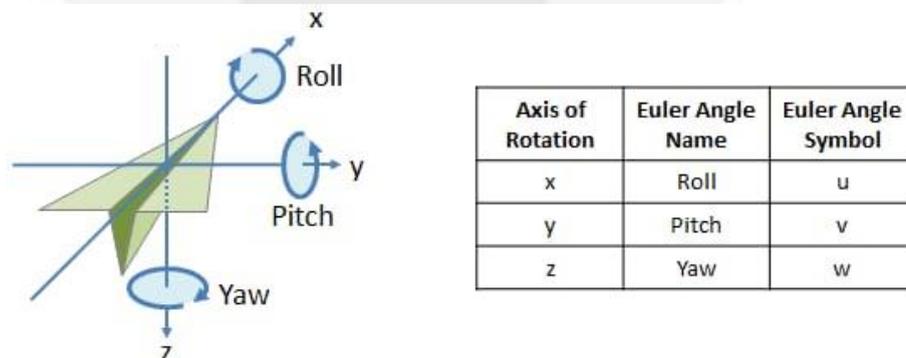
Berdasarkan latar belakang tersebut, berikut rumusan masalah yang dirumuskan pada penelitian ini:

1. Bagaimana mengintegrasikan sensor IMU 9 axis dengan mikrokontroler.
2. Bagaimana membuat sistem stabilisasi berbasis fuzzy logic untuk kamera
3. Bagaimana membuat antarmuka kendali kamera untuk operator.

2. Dasar Teori

2.1 Prinsip Kerja Ide

Konsep ide pada tugas akhir ini yaitu, membuat kamera 2-axis yang terstabilisasi secara otomatis yang dapat mengambil gambar stabil sesuai dengan sudut yang di input oleh pengguna dan dapat dilihat melalui aplikasi yang terhubung dengan *WiFi*. Alat yang akan dibuat dapat melakukan penstabilisasian secara otomatis apabila sudut pengambilan gambar terdistraksi dari luar. Gambar yang diterima dapat di monitoring melalui aplikasi *VNC* secara *nirkabel* melalui perangkat yang tersambung dengan *Wifi*. Untuk membantu pengerjaan tugas akhir ini, penulis menggunakan metode *FLC (Fuzzy Logic Controller)* yang dibantu dengan *Complementary filter* agar didapatkan hasil gambar yang terstabilisasi maksimal. Adapun 2 gerak *Axis* yang dapat distabilisasikan yaitu gerak *Yaw* dan *Pitch*.



Gambar 2.1 Derajat kebebasan

Gambar 2.1 Menjelaskan dimensi gerak derajat kebebasan, pada tugas akhir kali ini akan menggunakan 2 Dimensi saja yang akan distabilkan yaitu *Pitch* dan *Yaw*. Hal ini dikarenakan kamera yang digunakan dikhususkan dalam kondisi 2 gerak tersebut dan pengaplikasian *Roll* yang tidak efektif pada kapal dikarenakan sudah memiliki sistem stabilisasi sendiri.

2.2 Sensor IMU

Inertial measurement unit (IMU) sensor adalah perangkat MEMS (*Micro Electro Mechanical Systems*) yang mampu mengukur dan melaporkan percepatan, kecepatan, orientasi dan gaya gravitasi. IMU sensor umumnya terdiri atas konfigurasi dan menggunakan kombinasi dari *accelerometer*, *Gyroscope*, dan *magnetometer*[9].

2.3 Complementary filter

Pada dasarnya *Complementary filter* adalah jumlah sudut antara pembacaan *accelerometer* yang melewati LPF (*Low Pass Filter*) dan sudut dari pembacaan *gyroscope* setelah melewati HPF (*High Pass Filter*).

Complementary filter digunakan untuk menggabungkan bacaan dari sensor *accelerometer* dan sensor *gyroscope*. Tujuannya adalah untuk mendapatkan hasil pengukuran sudut yang lebih akurat. Sensor *accelerometer* dapat memberi sudut kemiringan yang akurat saat sistem dalam keadaan diam (statis), tetapi keakuratannya berkurang saat sistem sedang bergerak (dinamis) karena sensor *accelerometer* tidak mampu mengikuti gerakan yang cepat karena memiliki respon yang lambat dan juga memiliki *noise* dalam pengukuran. Sementara itu, sensor *gyroscope* dapat memberikan nilai kemiringan sudut saat bergerak (dinamis) tetapi menjadi tidak akurat dalam keadaan jangka panjang terhadap efek bias (*drift*) yang dihasilkan oleh *gyroscope*[14]. Secara umum persamaan yang berlaku untuk Algoritma *Complementary filter* adalah:

$$\text{Angle} = (a) * (\text{Angle} + \text{Nilai Gyroscope} * dt) + (1-a) * (\text{Nilai Sudut Perhitungan Accelerometer}) \dots\dots\dots (II-1)$$

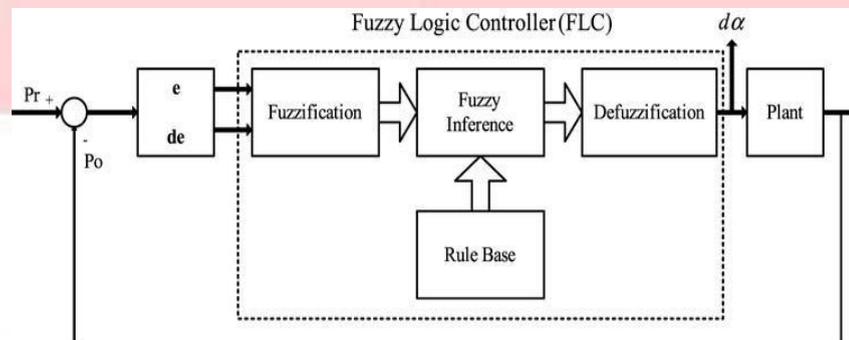
Dimana:

1. a = Koefisien *Filter*
2. dt = Waktu *Sampling*
3. angle = sudut keluaran *filter* pelengkap
4. nilai *gyroscope* = Sudut kecepatan dari keluaran sensor *gyroscope*
5. nilai sudut perhitungan *accelerometer* = keluaran sensor *accelerometer* yang memiliki sudut

2.4 Fuzzy Logic

Logika *fuzzy* merupakan sebuah teori yang pertama kali diperkenalkan pada tahun 1965 oleh Prof. lotfi A. Zadeh. Dasar logika *fuzzy* adalah teori himpunan *fuzzy*, dimana peranan derajat keanggotaan sebagai penentu keberadaan elemen dalam suatu himpunan sangatlah penting. Nilai keanggotaan atau derajat keanggotaan menjadi ciri utama dari penalaran dengan logika *fuzzy* tersebut. Logika *fuzzy* dapat dianggap sebagai kotak hitam yang menghubungkan antara ruang input menuju ruang output. Kotak hitam tersebut berisi cara atau metode yang dapat digunakan untuk mengolah data input menjadi output dalam informasi yang lebih baik.

Logika *fuzzy* memberikan nilai yang spesifik pada setiap nilai diantara pernyataan benar atau salah dengan menentukan nilai keanggotaan bagi setiap nilai input dari proses *fuzzy* dan derajat keanggotaan yaitu derajat dari input sesuai membership function 0 – 1. Logika *fuzzy* juga mampu memodelkan fungsi-fungsi nonlinear yang sangat kompleks dan dapat bekerjasama dengan teknik-teknik kendali secara konvensional.[15].

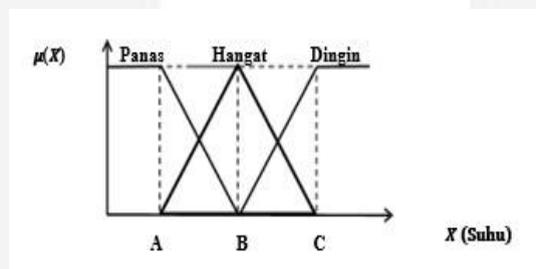


Gambar 2.1 Fuzzy Logic Control Block Diagram.

2.4.1 Fuzzyfication

Fuzzyfication adalah proses perubahan nilai tegas yang bersifat pasti ke dalam nilai linguistik yang bernilai samar. Nilai tegas tersebut dipetakan dalam himpunan *fuzzy*. Fuzzyfikasi memiliki nilai masukan yang akan diubah dalam nilai *fuzzy* (μ) menggunakan grafik keanggotaan yang telah dibuat. Contoh himpunan *fuzzy* berdasarkan suhu nilai samarnya yaitu Dingin, Hangat dan Panas

2.4.2 Fuzzy Rule



Gambar 2.2 Himpunan Fuzzy

Fuzzy Rule adalah proses pengolahan nilai dari fungsi keanggotaan variabel masukan dengan fungsi keanggotaan variabel keluaran. Nilai dari hasil pemetaan pada *fuzzy rule* akan menjadi aturan-aturan untuk menentukan respon sistem terhadap *set point*.

Tabel 2.1 Tabel Rule

e Δ e	N	Z	P
N	N	N	N
Z	N	Z	P
P	P	P	P

2.4.3 Deffuzification

Deffuzification adalah proses pemetaan dari hasil pengolahan data pada *fuzzy rule* ke dalam nilai-nilai kuantitatif. Terdapat dua jenis model aturan *fuzzy* untuk keluaran sistem, yaitu :

a. Model Sugeno

Dapat dikatakan model sugeno memiliki sistem yang lebih sederhana dibandingkan model mandani karena himpunan keluarannya berupa *single tone* atau pulsa. Jika sistem membutuhkan respon yang cepat maka model sugeno adalah pilihan yang tepat. Pada model sugeno terdapat tiga metode yang harus dikerjakan, yaitu mencari nilai *weight average* (WA), mencari nilai maksimal

menggunakan operator *OR* dan mencari nilai minimal dengan menggunakan operator *AND*. Metode sugeno hanya mempunyai 1 cara saja yaitu *weight average*. Berikut persamaannya

$$\square = \frac{\square\square + \square\square\square\square}{\square\square + \square\square} \dots\dots\dots (II-2)$$

b. Model Mamdani

Himpunan keluaran pada model mamdani berupa himpunan berbentuk segitiga dan trapesium. Keuntungan menggunakan model mamdani adalah keluaran sistem yang lebih presisi dibandingkan model sugeno. Terdapat dua metode pengerjaan model mamdani, yaitu mencari nilai center of area (COA) yang merupakan nilai tengah pada irisan himpunan keluaran sistem dan mencari nilai minimum of maximum (MOM) yang merupakan nilai luas keseluruhan himpunan keluaran sistem. [16].

3 Perancangan Sistem

Pada tugas akhir ini dibuat sistem stabilisasi kamera otomatis. Stabilisasi kamera 2-axis ini mempunyai beberapa sistem pendukung yang meliputi dua *Motor Stepper* di mana *Motor Stepper* pertama untuk menggerakkan kamera secara vertikal, *Motor Stepper* kedua untuk menggerakkan kamera secara horizontal, untuk melihat gambar yang disiarkan menggunakan kamera *Raspberry Pi*, Serta *Raspberry Pi* sebagai *Microcomputer* dan *Arduino Nano* sebagai *Microcontroller*. Kamera 2-axis yang terstabilisasi menjadi lingkup kerja yang akan dikerjakan dalam penyelesaian tugas akhir ini.

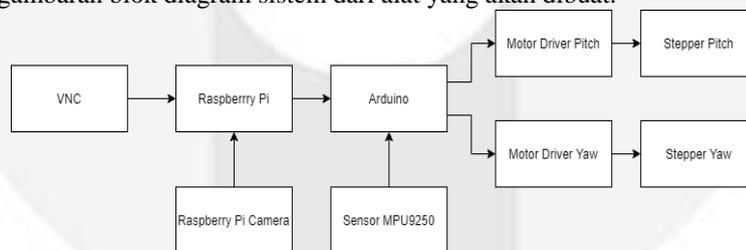


Gambar 3.1 Gambaran Umum Sistem

Dapat dilihat pada Gambar 3.1 menyatakan Gambaran Umum Sistem ini, kedua masukan sudut diproses pada mikrokontroler untuk dilakukan pemrosesan sinyal kendali menggunakan metode FLC (Fuzzy Logic Control) dan menghasilkan sinyal gerak untuk *Driver* motor mengendalikan *Motor Stepper* yang menggerakkan kamera bekerja dengan optimal serta presisi dalam mengarahkan pada sudut objek yang diinginkan. Dari keluaran sudut pandang kamera tersebut apabila belum stabil, akan di deteksi oleh sensor IMU yang berupa sensor *gyroscope* dan sensor *accelerometer* dan akan di proses kembali oleh mikrokontroler sampai didapatkan hasil yang sesuai.

3.1 Blok Diagram Sistem

Berikut gambaran blok diagram sistem dari alat yang akan dibuat.



Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem

3.2 Fungsi dan Fitur

Berdasarkan pemaparan masalah yang telah dipaparkan pada latar belakang maka akan dirancang alat yang dapat menjadi solusi permasalahan dengan fungsi sebagai berikut.

1. VNC sebagai *interface* yang dapat dipakai oleh pengguna untuk melihat dan mengontrol gambar yang didapatkan oleh kamera melalui *Wi-Fi*.
2. *Raspberry Pi* sebagai *Microcomputer* yang menjadi penerima data gambar dari kamera dan memberikan perintah terhadap *Microcontroller*.
3. *Arduino Nano* sebagai *Microcontroller* yang menerima informasi berupa data dari sensor dan mengolahnya menjadi perintah terhadap *Motor Driver*.
4. Modul L298N sebagai *Motor Driver* yang menjadi pengendali *Aktuator*.
5. *Motor Stepper* Nema 17 sebagai *Aktuator Bipolar* yang melanjutkan sinyal dari *Arduino*.

3.3 Desain Perangkat Keras

Pembuatan perangkat keras merupakan hal yang sangat penting dalam tugas akhir ini. Karena dengan adanya perangkat keras maka tujuan yang ingin dicapai akan terpenuhi. Desain perangkat keras pada tugas akhir ini terbagi atas 2 bagian yaitu mekanik dan elektronik, untuk penjelasan lebih lanjut akan dijelaskan pada sub bab 3.2.1 dan 3.2.2.

3.3.1 Desain Mekanik

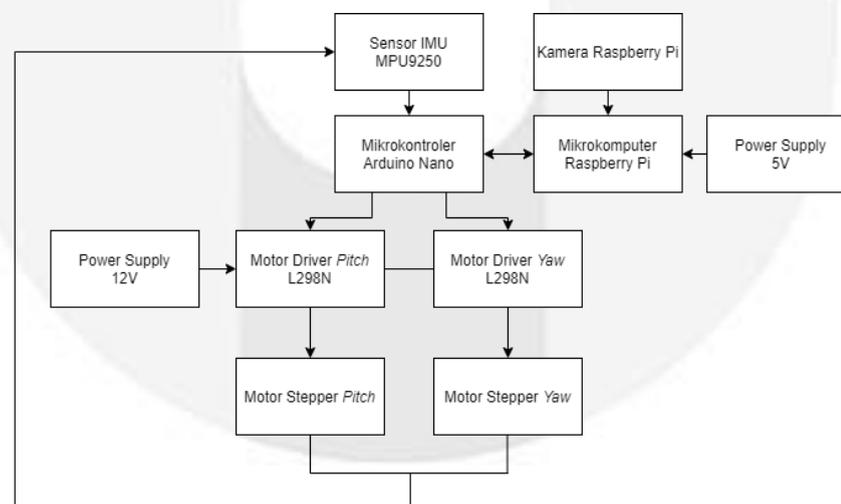
Pada sistem ini terdapat 2 buah penggerak sumbu, yaitu *pitch* dan *yaw*, dimana penggerak sumbu *yaw* berada tepat diatas kedudukan sistem dan penggerak sumbu *Pitch* berada pada bagian sebelah kanan sistem. Pada bagian penggerak sumbu *Pitch* terdapat lensa yang terletak di bagian depan dan kedudukan sensor pada bagian atas yang berbahan baku busa agar meredam getaran yang disebabkan oleh *Motor Stepper* dan diletakkan pada bagian luar sistem *Pitch* agar pembacaan *magnetometer* tidak terdistraksi dengan *frame* kamera yang terbuat dari logam. Berikut desain mekanik dari Stabilisasi kamera 2-axis pada perahu ini.



Gambar 3.3 Desain Mekanik

3.3.2 Desain Elektrikal

Pemetaan *wiring* diagram diperlukan untuk mempermudah instalasi sistem elektronika apabila terjadi kerusakan pada bagian tertentu. Secara garis besar, Kamera 2-axis dihubungkan ke mikrokontroler dan catu daya. Penggunaan catu daya 12V sebagai sumber daya untuk motor yang menghubungkan *Motor Stepper* pada badan kamera dan catu daya 5V sebagai sumber daya untuk mikrokomputer yang terhubung pada mikrokontroler. Untuk kebutuhan persinyalan sensor dan aktuator dihubungkan ke pin digital mikrokontroler. Berikut wiring diagram dari Stabilisasi kamera 2-Axis pada perahu ini.



Gambar 3.4 Desain Elektrikal

Kamera akuisisi data citra tersambung melalui *port CSI raspberry pi*, sensor *mpu9250* menggunakan antarmuka *i2c*, komunikasi antara *raspberry pi* dan *Arduino* menggunakan protokol serial *USB*, masing-masing 4 pin untuk mengendalikan *coil motor* dari *Arduino* untuk *stepper motor* nema 17, sistem kontroler dan mikrokomputer ditenagai 5v sementara sistem aktuator ditenagai 12v.

3.4 Desain Perangkat Lunak

Desain perangkat lunak pada tugas akhir ini digunakan untuk membuat program mikrokontroler dengan menggunakan Bahasa pemrograman C. Desain perangkat lunak diselesaikan dengan cara membuat *flowchart* terlebih dahulu. Setelah itu, program dibuat mengikuti *flowchart* yang ada pada Gambar 3.2.

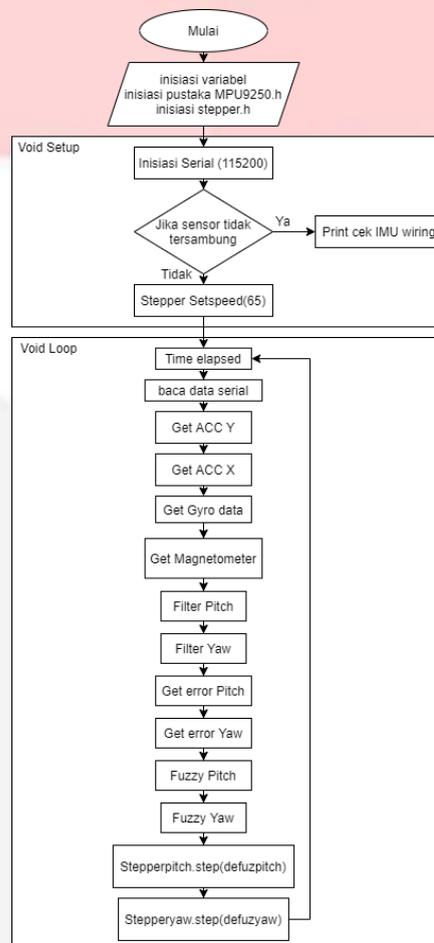
Program diawali dengan menginisialisasi variabel, pustaka, dan stepper yang akan digunakan.

Variabel terdiri dari penggunaan pin input output mikrokontroler, variabel konstanta dan nilai dari langkah-langkah program yang akan dijalankan.

Pada *void setup*, langkah yang dilakukan adalah menginisialisasi jalur komunikasi serial dengan baud rate 115200 untuk komunikasi antar MPU9250 dan Arduino Nano. Langkah selanjutnya ialah menginisialisasi sensor, apabila sensor tidak tersambung akan dilakukan *Print* cek IMU *wiring* dan bila tersambung pindah ke langkah selanjutnya.

Pada *void loop* terdapat *time elapsed* untuk selanjutnya membaca data serial dan mendapatkan data ACC Y, ACC X, Gyro, dan *Magnetometer* yang di *filter* dan menjadi *input fuzzyfikasi* berupa *error pitch* dan *error yaw*. Selanjutnya data tersebut di lakukan proses *defuzzyfikasi* dan akan terus berlanjut hingga didapatkan data yang stabil.

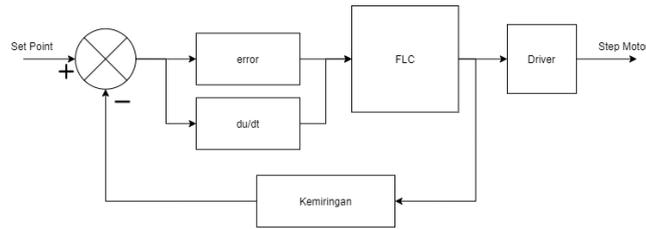
3.5 Flowchart desain perangkat lunak



Gambar 3.5 Flowchart Perangkat Lunak

3.6 Fuzzy Logic Controller

Pada tugas akhir ini akan dirancang sebuah sistem yang mengimplementasikan metode *Fuzzy Logic Controller* model Sugeno (*IF-THEN*) pada sebuah kamera 2-axis. Metode *Fuzzy Logic Controller* Model Sugeno pada sistem ini digunakan karena mempunyai nilai keluaran berupa konstanta atau persamaan *linear*. Berdasarkan blok diagram pada gambar 3.12, dapat dilihat bahwa terdapat 2 nilai input yang akan masuk ke proses *Fuzzifikasi*. Input yang pertama yaitu nilai *error* yang didapatkan dari selisih antara nilai *set point* (posisi seharusnya) dan nilai *present value* (posisi saat ini). Nilai posisi tersebut didapatkan dari nilai sensor yang dipasang pada sistem. *Input* yang kedua yaitu *delta error* ($error - last-error$). *Output* dari proses *Fuzzy Logic Controller* berupa nilai *Step* yang akan mengatur pergerakan motor dari posisi sistem (saat ini). Nilai dari sensor MPU9250 yang ada pada sistem (saat ini) akan digunakan sebagai *feedback* untuk mengetahui nilai *error* pada setiap iterasi yang telah dijalankan.

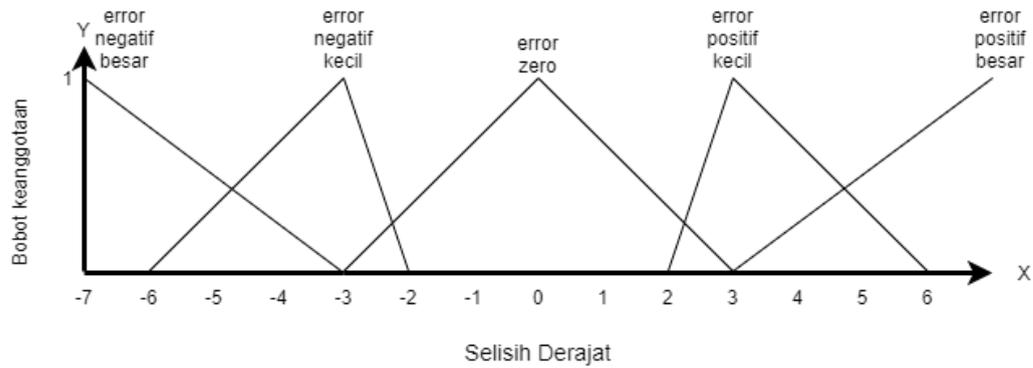


Gambar 3.6 Diagram Blok

a. Fuzzyfikasi

- (MF) Membership Function error

Fungsi keanggotaan (Membership Function/MF) masukan nilai error terdiri dari 5 himpunan, yaitu error negatif besar (-eb), error negatif kecil (-ek), error zero (e0), error positif kecil (+ek), error positif besar (+eb).



Gambar 3.13 Membership Function Error

Berdasarkan diagram diatas, adapun aturan persamaan yang diterapkan pada Membership Function Error adalah sebagai berikut :

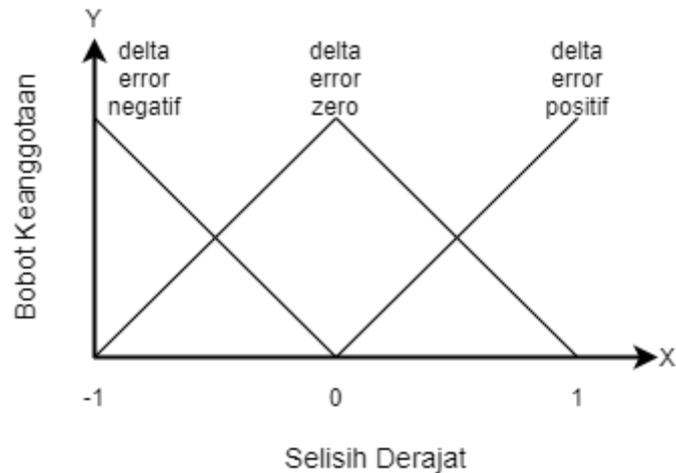
Tabel 3.1 Aturan persamaan Membership Function Error

	(-7) ~ (-6)	(-6) ~ (-3)	(-3) ~ (-2)	(-2) ~ (0)	(0) ~ (2)	(2) ~ (3)	(3) ~ (6)	(6) ~ (7)
ENB	$\frac{-7 - error}{-3 - (-7)}$	$\frac{-7 - error}{-3 - (-7)}$	0	0	0	0	0	0
ENK	0	$\frac{error - (-6)}{-3 - (-6)}$	$\frac{-3 - error}{-2 - (-3)}$	0	0	0	0	0
EZ	0	0	$\frac{error - (-3)}{0 - (-3)}$	$\frac{error - (-3)}{0 - (-3)}$	$\frac{0 - error}{3 - 0}$	$\frac{0 - error}{3 - 0}$	0	0
EPK	0	0	0	0	0	$\frac{error - 2}{3 - 2}$	$\frac{3 - error}{6 - 3}$	0
EPB	0	0	0	0	0	0	$\frac{error - 3}{7 - 6}$	$\frac{error - 3}{7 - 6}$

Terlihat pada tabel diatas dimana tiap baris menyatakan batas wilayah error dan kolom menyatakan kelompok himpunan Membership Function Error, memiliki persamaan yang berbeda-beda bila error berada pada nilai tertentu.

- MF masukan “delta_error”

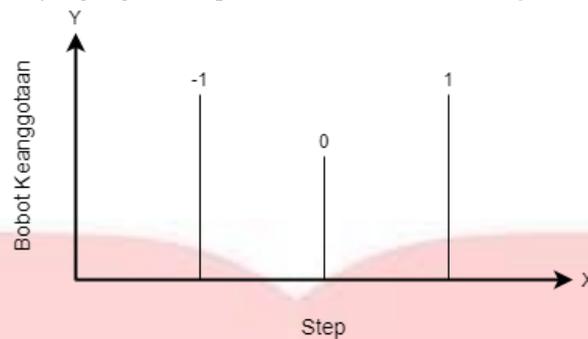
Fungsi keanggotaan input nilai delta error terdiri dari 5 himpunan, yaitu delta error negatif (delta e-), delta error zero (delta e0), delta error positif (delta e+).



Gambar 3.14 Membership Function *delta_error*

- MF keluaran “Step”

Fungsi keanggotaan *Output* nilai *Step* terdiri dari 5 himpunan yaitu -1 (mundur), 0 (*stop*), 1 (maju). Jenis fungsi keanggotaan yang digunakan pada keluaran ini adalah *singleton*.



Gambar 3.9 Membership Function keluaran “Step”

b. Rule Base

Setelah menentukan fungsi keanggotaan masing-masing masukan dan keluaran, selanjutnya ditentukan *Rules* (aturan) yang akan diterapkan pada kontroler.

Tabel 3.1 Rule Base

error delta error	-eb	-ek	e0	+ek	+eb
delta e-	-1	0	0	0	+1
delta e0	-1	0	0	0	+1
delta e+	-1	0	0	0	+1

c. Defuzzifikasi

Metode *Defuzzifikasi* yang digunakan pada program ini adalah metode WA (Weighted Average) dengan persamaan sebagai berikut :

WA=

$$\begin{aligned}
 & (W(-eb)(\Delta e -) \times (-1)) + (W(-ek)(\Delta e -) \times 0) + (W(e0)(\Delta e -) \times 0) + \\
 & (W(+ek)(\Delta e -) \times 0) + (W(+eb)(\Delta e -) \times (+1)) + (W(-eb)(\Delta e 0) \times (-1)) + \\
 & (W(-ek)(\Delta e 0) \times 0) + (W(e0)(\Delta e 0) \times 0) + (W(+ek)(\Delta e 0) \times 0) + (W(+eb)(\Delta e 0) \times \\
 & (+1)) + (W(-eb)(\Delta e +) \times (-1)) + (W(-ek)(\Delta e +) \times 0) + (W(e0)(\Delta e +) \times 0) + \\
 & (W(+ek)(\Delta e +) \times 0) + (W(+eb)(\Delta e +) \times (+1))
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & (W(-eb)(\Delta e -)) + (W(-ek)(\Delta e -)) + (W(e0)(\Delta e -)) + (W(+ek)(\Delta e -)) \\
 & + (W(+eb)(\Delta e -)) + (W(-eb)(\Delta e 0)) + (W(-ek)(\Delta e 0)) + (W(e0)(\Delta e 0)) \\
 & + (W(+ek)(\Delta e 0)) + (W(+eb)(\Delta e 0)) + (W(-eb)(\Delta e +)) \\
 & + (W(-ek)(\Delta e +)) + (W(-eb)(\Delta e +)) + (W(e0)(\Delta e +)) \\
 & + (W(+ek)(\Delta e +)) + (W(+eb)(\Delta e +))
 \end{aligned}$$

..... (III-1)

4 Hasil Pengujian dan Analisis

Pada bab ini akan dipaparkan mengenai hasil pengujian dan analisis sistem dari perancangan alat di bab sebelumnya. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar keberhasilan alat yang sudah dibuat dan untuk memenuhi tujuan pada bab sebelumnya.

4.1 Pengujian efektifitas filter

Tabel 4.1 Hasil Rata-rata pengujian efektifitas filter

Pengujian	Mentah	Setelah difilter
1	0,043	0,016
2	0,19	0,187
3	0,18	0,176
4	0,095	0,094
5	0,163	0,161
rata-rata	0,1342	0,1268

Dari 5 kali pengujian didapatkan nilai rata-rata *error* sistem saat dilakukan pengujian efektifitas *filter* mempunyai *error* sinyal mentah $0,1342^\circ$ dan *error* sinyal yang sudah difilter $0,1268^\circ$. Berdasarkan hasil pengujian efektifitas *filter* diatas dapat disimpulkan bahwa *Complementary filter* sudah cukup stabil dalam memfilter sinyal mentah yang didapatkan dari sensor MPU9250.

4.2 Pengujian keakuratan sistem stabilisasi Pitch tanpa diberi gangguan

Dari hasil pengujian keakuratan sistem stabilisasi *Pitch* tanpa diberi gangguan, didapatkan hasil berikut

Tabel 4.2 Hasil Rata-rata Pitch tanpa gangguan

percobaan	rise time	maximum overshoot	settling time	steady-state error
1	1,2	10,1	2,8	3,8
2	1	8,7	2,5	4,39
3	0,93	9,4	2,4	3,19
4	0,9	9,7	1,9	4,66
5	0,93	9,87	2,4	4,28
rata-rata	0,992	9,554	2,4	4,064

Dari 5 kali pengujian didapatkan nilai rata-rata *Rise Time* sebesar 0,992 detik, *Maximum overshoot* sebesar $9,554^\circ$, *Settling time* 2,4 detik, dan *Steady-state error* $4,064^\circ$. secara visual sistem stabilisasi dapat bekerja dengan baik, akan tetapi masih terdapat delay yang cukup signifikan terlihat dari settling time dan rise timenya, hal ini disebabkan aplikasi *Motor Stepper* yang tidak dapat digunakan dalam kecepatan tinggi.

4.3 Pengujian Pitch dengan gangguan

Tabel 4.3 Hasil Rata-rata Pitch dengan gangguan

percobaan	rise time	maximum overshoot 1	settling time 1	error steady-state 1	maximum overshoot 2	settling time 2	error steady-state 2
1	0,93	7,95	1,83	4,04	6,18	1,75	3,39
2	0,99	10,35	1,55	4,18	6,57	4,64	3,97
3	0,63	10,4	1,98	5,63	14,77	1,55	4,9
4	0,97	8,82	1,06	4,13	7,55	0,41	1,15
5	0,96	9,84	1,89	5,62	10,94	1,43	5,03
rata-rata	0,896	9,472	1,662	4,72	9,202	1,956	3,688

Dari 5 kali pengujian didapatkan nilai rata-rata saat sistem di sudut 10° mempunyai *rise time* selama 0,896 detik, *maximum overshoot* pada sudut $9,472^\circ$, *settling time* selama 1,662 detik, dan *error steady-state* sebanyak $4,72^\circ$, dan pada saat sudut sistem diubah ke 170° *maximum overshoot* $9,202^\circ$, waktu yg diperlukan untuk kembali stabil 1,956 detik dan *error steady-state* sebanyak $3,688^\circ$. Berdasarkan hasil pengujian keakuratan sistem stabilisasi *Pitch* yang diberi gangguan diatas dapat disimpulkan bahwa secara visual sistem stabilisasi dapat bekerja dengan baik, akan tetapi masih terdapat delay yang cukup signifikan terlihat dari settling time dan rise timenya, hal ini disebabkan aplikasi *Motor Stepper* yang tidak dapat digunakan dalam kecepatan tinggi.

4.4 Pengujian Gerak Yaw

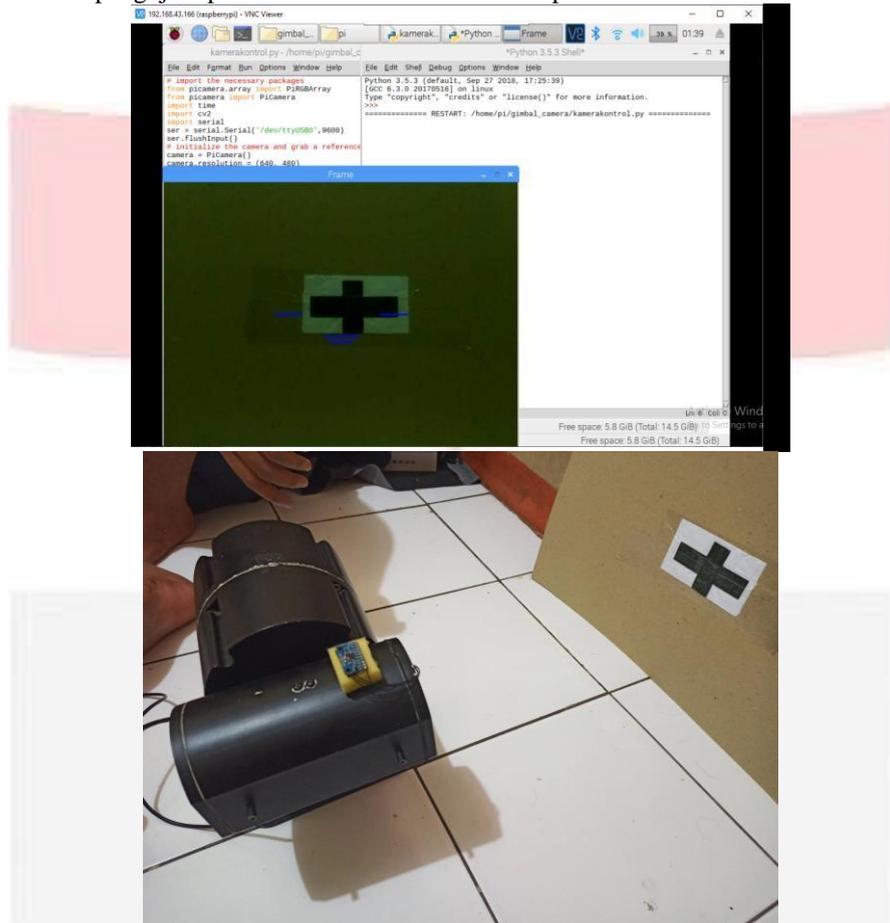
Tabel 4.4 Hasil Rata-rata Yaw

pengujian	rise time	maximum overshoot	settling time	error steady-state
1	1	8,26	4	2,95
2	0,6	9,07	2	2,38
3	0,5	7,49	4	1,15
4	3	8,23	5	2,05
5	2	9,78	5	3,16
rata-rata	1,42	8,566	4	2,338

Dari 5 kali pengujian didapatkan nilai rata-rata *Rise Time* sebesar 1,42 detik, *Maximum overshoot* sebesar 8,566°, *Settling time* 4 detik, dan *Steady-state error* 2,338°. secara visual sistem stabilisasi dapat bekerja dengan baik, akan tetapi masih terdapat delay yang cukup signifikan terlihat dari settling time dan rise timenya, hal ini disebabkan aplikasi *Motor Stepper* yang tidak dapat digunakan dalam kecepatan tinggi.

4.5 Pengujian performa sistem

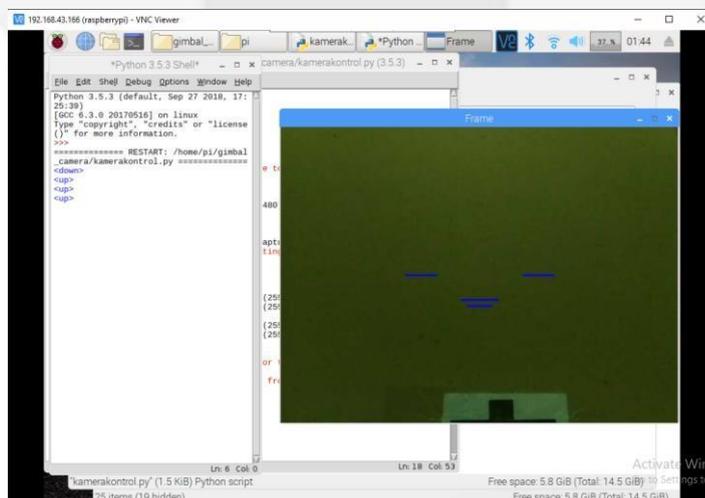
1. Berikut hasil pengujian performa sistem sebelum diberi perintah



Gambar 4.1 Hasil pengujian performa sebelum diberi perintah

Gambar 4.1 menyatakan kondisi sistem sebelum diberi perintah yang mengarah lurus ke target melalui aplikasi *VnC*.

2. Berikut hasil pengujian performa sistem bila diberi perintah ke atas(w)





Gambar 4.2 Hasil pengujian performa bila diberi perintah ke atas(w)

Gambar 4.2 menyatakan hasil pengujian performa sistem bila diberi perintah ke atas(w) sebanyak 3° melalui aplikasi VnC membutuhkan waktu 3 detik untuk bergerak ke sudut yang di inginkan.

3. Berikut hasil pengujian performa sistem bila diberi perintah ke bawah(x)



Gambar 4.3 Hasil pengujian performa bila diberi perintah ke bawah(x)

Gambar 4.3 menyatakan hasil pengujian performa sistem bila diberi perintah ke bawah(x) sebanyak 3° melalui aplikasi VnC membutuhkan waktu 3 detik untuk bergerak ke sudut yang di inginkan.



Gambar 4.5 Hasil pengujian performa bila diberi perintah ke kiri(a)

Gambar 4.5 menyatakan hasil pengujian performa sistem bila diberi perintah ke kiri(a) sebanyak 3° melalui aplikasi *VnC* membutuhkan waktu 3 detik untuk bergerak ke sudut yang di inginkan.

Berdasarkan hasil pengujian performa sistem diatas dapat disimpulkan bahwa sistem sudah cukup responsif terhadap perintah masukan tetapi membutuhkan waktu 3 detik untuk mengarahkan kamera pada posisi yang diinginkan. Hal ini disebabkan koneksi *internet* yang kurang memadai.

4.6 Pengujian kestabilan sistem

Berikut hasil pengujian performa kestabilan sistem dalam mengambil gambar



Gambar 4.6 Hasil pengujian performa kestabilan sistem dalam mengambil gambar

Gambar 4.6 menyatakan hasil pengujian performa kestabilan sistem diatas dan dapat disimpulkan bahwa sistem cukup responsif terhadap gangguan dan akan menstabilkan diri saat menerima gangguan agar didapatkan gambar yang stabil.

6. Kesimpulan

Berdasarkan perancangan, pengujian dan analisis pada Tugas Akhir diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Sistem dapat mengintegrasikan sensor IMU disumbu 0 *COG* (*center of Gravity*) kamera, dengan akurasi +/- 0,1268°
2. Sistem dapat membuat stabilisasi memakai *fuzzy logic* dengan *error steady-state* 3,688
3. Dengan menggunakan VnC dan *remote WiFi* sistem dapat menerima masukan perintah gerakan 100% namun dengan delay 3 detik.
4. Sistem gimbal dapat melakukan sapuan sudut hingga 0°-180°

7. Saran

Berdasarkan perancangan, pengujian dan analisis pada Tugas Akhir ini terdapat kekurangan yang dapat dijadikan saran untuk pengembangan Tugas Akhir ini kedepannya. Berikut saran dari penulis.

1. Perlu memakai motor servo atau penggerak lainnya yang memiliki respon yang cepat
2. Perlu dibuatkan sistem *routing data WiFi* yang dapat meminimalisir *delay* perintah masukan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Agatha, C. (2018). *INDONESIA, NEGARA MARITIM DENGAN SEGALA PERMASALAHANNYA*. Binus University.
- [2] Coral reefs are threatened worldwide. (n.d.). *Problem*. Retrieved from Coral Gardening: <https://www.coralgardening.org/problems/>
- [3] Dey, S., Halder, S., & Nandakumar, M. P. (2014). *GYROSCOPI*
- [4] Kazuki NISHI and Tsubasa ONDA. *EVALUATION SYSTEM FOR CAMERA SHAKE AND IMAGE STABILIZERS*. The University of Electro-Communications, Tokyo 182-8585, Japan.
- [5] Yo Egusa, Hiroshi Akahori, Atsushi Morimura, and Noboru Wakami. *An Application of Fuzzy Set Theory for an Electronic Video Camera Image Stabilizer*.
- [6] J. V. T. Arias, P. J. L. Eguia, N. T. H., C. Z. M. Lacorte, A. L. P. de Ocampo. *Gyroscopic Stabilizer for 3D Mapping Device on Unmanned Ground Vehicle*. Electronics, Instrumentations and Mechatronics Engineering Department. Batangas State University.
- [7] Agus Herawan, Chusnul Tri Judianto. *OPTIMALISASI AKURASI ANTENA PENJEJAK SATELIT ORBIT RENDAH MENGGUNAKAN MOTOR STEPPER HYBRID 2 FASA*. Peneliti bidang satelit komunikasi, Pusat Teknologi Satelit, Lapan.
- [8] Admin-Kece, "Tutorial Arduino mengakses *Driver* motor L298N" Available: <https://www.nyebarilmu.com/tutorial-arduino-mengakses-Driver-motor-l298n/> [Diakses 27 agustus 2017]
- [9] Fahmizal, Georgius Yoga Dewantama, Donny Budi Pratama, Fahmi Fathuddin, Winarsih. *RANCANG BANGUN SISTEM PENSTABIL KAMERA (GIMBAL) DENGAN LOGIKA FUZZY UNTUK PENGAMBILAN GAMBAR FOTO DAN VIDEO*. Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada. 2017
- [10] Muhammad Riyadi, Wahyudi, Iwan Setiawan. *Pendeteksi Posisi Menggunakan Sensor Accelerometer MMA7260Q Berbasis Mikrokontroler ATmega 32*. Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang.
- [11] Yuga Aditya Pramana. *IMPLEMENTASI SENSOR ACCELEROMETER, GYROSCOPE DAN MAGNETOMETER BERBASIS MIKROKONTROLER UNTUK MENAMPILKAN POSISI BENDA MENGGUNAKAN INERTIAL NAVIGATION SYSTEM (INS)*. Program Studi Teknik Elektro, Universitas Komputer Indonesia.
- [12] Muhammad Syamsudin, Agus Tri Sutanto. *PERANCANGAN DAN PEMBUATAN AEROSONDE BERBASIS MULTIROTOR (QUADROPTER)*. Taruna Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jakarta. 2015
- [13] Eko Saifulloh Noor, Mochammad Rif'an, ST., MT., dan Ir. Ponco Siwindarto, M.Eng.Sc. *Implementasi Sensor Magnetometer dan Akselerometer Untuk Memonitor Arah Muatan Roket*.
- [14] Huda Ubaya, Hanipah Mawarni. *Sensor Fusion and Fuzzy Logic for Stabilization System of Gimbal Camera on Hexacopter*. Dept. Computer Engineering, Faculty of Computer Science, Sriwijaya.
- [15] K.S.Suparsa, "RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL SUHU DAN KELEMBAPAN INKUBATOR BAYI DENGAN MODUL THERMOELECTRIC DAN METODE FUZZY LOGIC," Fakultas Teknik Elektro Universitas Telkom, 2016

[16] LUTHFIA TRI HERFITRA, (2017). PERANCANGAN SMART TROLLEY MENGGUNAKAN SENSOR IMU (INERTIAL MEASUREMENT UNIT) BERBASIS FUZZY LOGIC. Telkom University.

[17] <https://www.savetheroyalnavy.org/the-electro-optical-director-eyes-of-the-royal-navy-fleet/> [Diakses Desember 2020].

[18] ELECTRO OPTICAL SYSTEMS FOR SURFACE SHIPS. Ultra Electronics. Command & Sonar Systems. Ultra Electronics Maritime.

