

RANCANG BANGUN SISTEM PENSTABIL KAMERA (GIMBAL) DENGAN LOGIKA FUZZY UNTUK PENGAMBILAN GAMBAR FOTO DAN VIDEO

Fahmizal¹, Georgius Yoga Dewantama², Donny Budi Pratama³, Fahmi Fathuddin⁴, Winarsih⁵

^{1,2,3,4,5}Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada

Email: ¹fahmizal@ugm.ac.id, ²georgius.yoga.d@mail.ugm.ac.id, ³donny.budi.p@mail.ugm.ac.id
⁴fahmy.fathuddin@ugm.ac.id, ⁵winarsih0210@ugm.ac.id

(Naskah masuk: 22 April 2018, diterima untuk diterbitkan: 4 Juni 2018)

Abstrak

Pada makalah ini memaparkan perancangan sistem penstabil kamera (gimbal) untuk mengurangi getaran maupun gerakan yang akan mengganggu kamera saat pengambilan gambar foto dan video. Sistem gimbal ini sangat penting digunakan dalam dunia fotografi dan videografi. Sistem gimbal yang dirancang pada penelitian ini adalah dengan tiga buah joint pergerakan yaitu *roll*, *pitch*, *yaw* (RPY). Sensor orientasi yang digunakan pada rancangan sistem gimbal ini menggunakan sensor *inertia measurement unit* (IMU) MPU 6050 dengan *Kalman filter* (KF) sebagai pengkondisi pembacaan sudut RPY. Untuk memperoleh hasil gambar yang baik pada sistem gimbal diperlukan suatu kendali, sehingga pada penelitian ini dikembangkan suatu kendali logika *fuzzy* yang diimplementasikan dalam sebuah mikrokontroler untuk menggerakkan aktuator gimbal. Sistem aktuator pada rancangan gimbal menggunakan motorservo. Nilai *setpoint* sudut gimbal yang diberikan merupakan sudut elevasi gimbal terhadap tiga sumbu sudut RPY. Selanjutnya, nilai keluaran pembacaan sensor IMU dibandingkan dengan nilai *setpoint* pada masing-masing sumbu. Setelah itu, nilai kesalahan (*error*) dan nilai perubahan kesalahan (*delta error*) yang didapat akan digunakan sebagai nilai masukan logika *fuzzy*. Terdapat tiga buah *loop* tertutup pada kendali logika *fuzzy* untuk masing-masing sudut RPY. Hubungan relasi masukan *fuzzy* diselesaikan menggunakan aturan *Mamdani* dan keluaran dari logika *fuzzy* diselesaikan dengan menggunakan metode *weight average* (WA). Dari hasil pengujian diketahui bahwa kendali logika *fuzzy* yang diimplementasikan pada sistem gimbal mampu mengurangi efek getaran sehingga diperoleh gambar yang baik dan tidak blur.

Kata kunci: Gimbal kamera, Logika Fuzzy, Sensor IMU, Kalman filter.

Design a Camera Stabilizer System (Gimbal) with Fuzzy Logic for Photo and Video Taking

Abstract

This paper describes the design of the camera stabilizer system (gimbal) to reduce vibration or movement that will disturb the camera when take a picture and video. This gimbal system is very important used in the world of photography and videography. Gimbal system that designed in this research is gimbal with three joints movement that is roll, pitch, yaw (RPY). The orientation sensor that used in this gimbal system design uses an inertial measurement unit sensor (IMU) MPU 6050 with Kalman filter (KF) as RPY angle reading conditioner. To obtain a good image on the gimbal system required a control, so in this research developed a fuzzy logic control that is implemented in a microcontroller to drive gimbal's actuators. The actuators system on gimbal design uses motorservo. The given setpoint value of the gimbal is the elevation angle of gimbal against the three RPY angle axes. Furthermore, the output value of the IMU sensor is compared with the setpoint of each axis. Moreover, the error value and the change of error value (delta error) will be used as fuzzy logic input. There are three closed loops on the fuzzy logic control for each RPY angle. The relation of fuzzy input is solved with Mamdani rule and the output of fuzzy logic is solved with weight average (WA). From the test results obtained that fuzzy logic control applied to the gimbal system is able to reduce the effects of vibration so as to obtain a good image and not blur.

Keywords: Gimbal Camera, Fuzzy Logic, IMU Sensor, Kalman Filter.

1. PENDAHULUAN

Penstabil kamera atau familier dengan nama gimbal adalah alat penstabil kamera yang berfungsi untuk menghasilkan gambar atau video tanpa terpengaruh oleh kemiringan atau guncangan yang terjadi ketika pengambilan gambar atau video berlangsung. Penggunaan gimbal sering digunakan ketika pengambilan gambar dengan pesawat tanpa awak *unarmed aerial vehicle* (UAV) (Ubaya and Mawarni, 2014). Selain itu di dunia per-film-an, gimbal menjadi *key point* untuk memperoleh suatu gambar dan video yang baik. Hasil gambar dan video dapat dipengaruhi oleh berbagai gangguan-gangguan sehingga menghasilkan gambar dan video yang kurang fokus dan terjadi efek *blur* atau bisa juga menyebabkan hasil video menjadi berguncang dan tidak stabil (Knoblauch, Tuma and Schnettler, 2015). Maka dari itu, pada makalah ini dilakukan penelitian untuk merancang dan mengimplementasikan suatu sistem gimbal yang dapat menstabilkan posisi kamera saat dibawa bergerak dan menerima berbagai macam gangguan.

Penelitian yang dilakukan oleh (Priyambodo, 2017) memanfaatkan gimbal dengan dua sumbu gerak untuk rancangan sistem penstabil kamera. Pada penelitian tersebut, sistem kendali yang diterapkan menggunakan PID kontroler dengan *tuning* Ziegler-Nichols. Penelitian ini menggunakan motor *brushless* sebagai aktuatornya dengan alasan memiliki respon yang lebih baik. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini baru menyelesaikan persoalan gerak pada dua sumbu saja. Oleh karena itu perlu dilanjut pada pergerakan yang lebih dari dua sumbu. Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh (Haris, 2017) juga menerapkan sistem gimbal dengan dua sumbu gerak, namun pada penelitian ini sistem kendali yang diterapkan menggunakan PID *fuzzy*.

Dari tinjauan literatur penelitian tentang sistem gimbal lebih banyak membahas pada pergerakan dua sumbu. Maka dari itu, pada makalah ini akan menyajikan sebuah paparan perancangan sistem gimbal dengan memiliki pergerakan tiga buah sumbu. Sistem gimbal yang dirancang pada penelitian ini adalah dengan tiga buah sumbu pergerakan yaitu *roll*, *pitch*, *yaw* (RPY). Sensor orientasi yang digunakan pada rancangan sistem gimbal ini menggunakan sensor *inertia measurement unit* (IMU) MPU 6050 dengan *Kalman filter* (KF) sebagai pengkondisi pembacaan sudut RPY.

Untuk memperoleh hasil gambar yang baik pada sistem gimbal diperlukan suatu kendali, sehingga pada penelitian ini dikembangkan suatu kendali logika *fuzzy*. Sistem aktuator pada rancangan gimbal menggunakan motorservo. Nilai *setpoint* sudut gimbal yang digunakan adalah sudut elevasi gimbal terhadap tiga sudut RPY. Selanjutnya, nilai keluaran pada sensor IMU dibandingkan dengan nilai *setpoint* yang telah ditetapkan pada masing-masing sumbu.

Selanjutnya, nilai kesalahan (*error*) dan nilai perubahan kesalahan (*delta error*) yang dihasilkan akan digunakan sebagai nilai masukan logika *fuzzy*. Hubungan relasi masukan *fuzzy* diselesaikan menggunakan aturan *Mamdani* dan keluaran dari logika *fuzzy* diselesaikan dengan menggunakan metode *weight average* (WA).

2. METODE PENELITIAN

2.1 KINEMATIKA SISTEM GIMBAL

Pada sub bab ini dijelaskan penurunan kinematika dari sistem gimbal yang disajikan pada Gambar 1. Kinematika sistem gimbal diamati secara maju (*forward kinematics*) dan dengan cara perhitungan geometri serta diasumsikann bahwa sistem gimbal dapat dilihat sebagai sistem *multi body* yang kaku (Croce et al., 2014). Untuk mendeskripsikan pergerakan rotasi sumbu *x*, *y*, *z* atau sumbu sudut *roll*, *pitch*, *yaw* disajikan pada persamaan (1) dan pergerakan tranlasi sistem gimbal disajikan pada persamaan (2).

$$R_x(\theta_3) = R_3^2(\theta_3) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_3 & -\sin \theta_3 \\ 0 & \sin \theta_3 & \cos \theta_3 \end{bmatrix}$$

$$R_y(\theta_2) = R_2^1(\theta_2) = \begin{bmatrix} \cos \theta_2 & 0 & \sin \theta_2 \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta_2 & 0 & \cos \theta_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$R_z(\theta_1) = R_1^0(\theta_1) = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & -\sin \theta_1 & 0 \\ \sin \theta_1 & \cos \theta_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$d_1^0(\theta) = \begin{bmatrix} L \sin \theta_1 \\ L \cos \theta_1 \\ H \end{bmatrix}$$

$$d_2^1(\theta) = \begin{bmatrix} B \cos \theta_2 \\ L \\ B \sin \theta_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$d_3^2(\theta) = \begin{bmatrix} -B \\ H \sin \theta_3 \\ H \cos \theta_3 \end{bmatrix}$$

Untuk mengendalikan pergerakan dari sistem gimbal dengan kinematika maju dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Denavit Hartenberg* atau lebih dengan nama metode DH (Shah, Saha and Dutt, 2012). Dengan menggabungkan matriks rotasi dan vektor translasi menghasilkan matriks transformasi homogen dari *frame nol* menuju *end effector* (*frame* ke tiga) seperti yang ditampilkan pada Gambar 1. Dengan menggabungkan vektor pergerakan rotasi dan translasi kedalam bentuk matriks transformasi homogen seperti yang disajikan pada persamaan (3).

$$T_1^0 = \begin{bmatrix} R_1^0 & d_1^0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Dengan mengetahui hubungan semua hubungan matriks transformasi homogen dari *frame* ke nol menuju *frame* ke tiga maka bentuk matriks transformasi homogen sistem gimbal secara keseluruhan disajikan pada persamaan (4-6).

$$T_1^0 = T_1^0 T_2^1 T_3^2 \begin{bmatrix} R_3^0 & d_3^0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

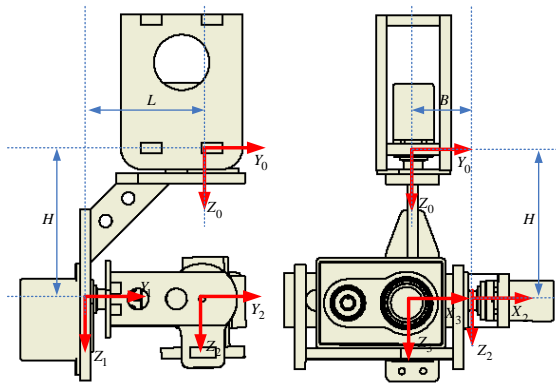
Dimana R_3^0 adalah

$$R_3^0 = \begin{bmatrix} c_1 c_2 & c_1 s_2 s_3 - c_3 s_1 & s_1 s_3 + c_1 c_3 s_2 \\ c_2 s_1 & c_1 c_3 + s_1 s_2 s_3 & c_3 s_1 s_2 - c_1 s_3 \\ -s_2 & c_2 s_3 & c_2 c_3 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Dan d_3^0 adalah

$$d_3^0 = \begin{bmatrix} c_1 c_3 H_3 s_2 - H_3 s_1 s_3 \\ 2c_1 L_1 + c_1 H_3 s_3 + c_3 H_3 s_1 s_2 \\ H_1 + 2B_1 s_2 + c_2 c_3 H_3 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Penulisan *subscript* dari *c* dan *s* merupakan indikasi dari *cos* dan *sin* dari sudut pada $\theta_1, \theta_2, \theta_3$.



Gambar 1. Geometri sistem gimbal

2.2 SENSOR IMU DAN KALMAN FILTER

Inertial measurement unit (IMU) merupakan komponen elektronika yang memiliki kemampuan mengukur dan menampilkan kecepatan, orientasi, dan gaya gravitasi menggunakan kombinasi dari *accelerometer* dan *gyroscope* (Fahmizal, 2017). GY-521 merupakan modul sensor berinti *motion processing unit* (MPU) seri 6050 yang terdiri dari enam *axis* dengan penambahan regulator tegangan dan beberapa komponen pelengkap lainnya yang membuat modul ini siap dipakai dengan tegangan supply sebesar 3-5VDC. Modul ini memiliki antarmuka I2C yang dapat disambungkan langsung ke mikrokontroler yang memiliki fasilitas I2C. Sensor MPU-6050 berisi sebuah MEMS Accelerometer dan sebuah MEMS Gyro yang saling terintegrasi. Sensor ini mampu membaca sudut secara akurat dengan fasilitas *hardware internal* 16 bit *analog digital converter* (ADC) untuk setiap kanalnya. Sensor ini akan membaca nilai kanal *axis* *x*, *y* dan *z* bersamaan dalam satu waktu. Gambar 2

merupakan tampilan fisik dari sensor IMU MPU 6050.



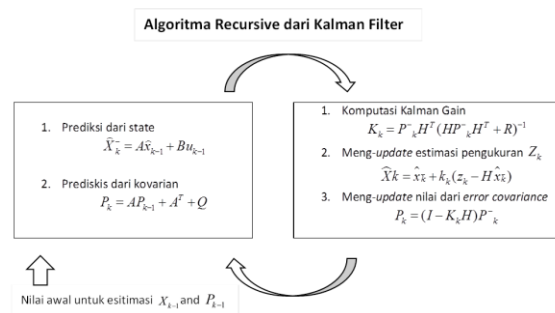
Gambar 2. Sensor IMU MPU 6050

Tabel 1. Spesifikasi dari modul IMU MPU 6050

Spesifikasi	Operasi
Chip	MPU-6050
Vin	3V ~ 5V
Communication	I2C
Gyroscopes ranges	+/- 250 500 1000 2000 degree/sec
Acceleration ranges	+/- 2g, +/- 4g, +/- 8g, +/- 16g
Pin Spacing	2.54mm (0.1in)
Built-in 16bit AD converter	16 bit data output

Dalam penggunaan sensor IMU, *noise* adalah suatu gangguan yang perlu diperhatikan. Oleh karena itu, untuk mendapatkan sinyal sebenarnya yang terpisah dari sekumpulan *noise*, teknik penyaringan (*filtering*) sangat dibutuhkan. Pada penelitian ini, Kalman filter (KF) digunakan untuk menghilangkan *noise*. KF merupakan sebuah *recursive filter* yang memiliki estimasi *state* pada *linear dynamics system* dari rentetan pengukuran *noise*. Teknik filter ini dinamakan berdasarkan penemunya, Rudolf E. Kalman (Kalman, 1963).

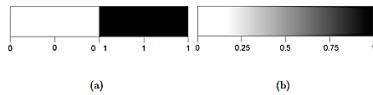
Terdapat dua kelompok pada persamaan KF, persamaan *time update* dan persamaan *measurement update*. *Time update* dapat dikenal dengan proses *predict*, yaitu menggunakan estimasi *state* dari satu waktu sebelumnya untuk mendapatkan sebuah estimasi *state* pada saat ini. Sedangkan *measurement update* disebut juga sebagai proses *correct*, yaitu informasi pengukuran pada saat ini digunakan untuk memperbaiki prediksi dengan harapan akan didapatkan *state* estimasi yang lebih akurat. Sehingga dalam aplikasinya algoritma KF akan menggunakan proses perulangan dari *predict* dan *correct* seperti yang disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Algoritma Kalman filter

2.3 SISTEM KENDALI FUZZY

Logika *fuzzy* merupakan bagian prinsip matematika untuk menggambarkan pengetahuan berdasarkan derajat keanggotaan (*degree of membership*), berbeda dengan anggota krip (crisp membership) pada logika biner klasik (Omar, 2010). Lain halnya dengan logika biner, logika *fuzzy* memiliki banyak nilai dan dipengaruhi dengan derajat keanggotaan dan derajat kebenaran (*degree of truth*). Logika biner menggunakan nilai krip 0 (salah) atau 1 (benar), sementara logika *fuzzy* menggunakan nilai logika kontinum (berlanjut) antara 0 dan 1. Seperti pada Gambar 4 bukan hanya hitam dan putih, namun logika *fuzzy* menggunakan gradasi spektrum warna hitam menuju putih (Omar, 2010).



Gambar 4. (a) Rentang nilai logika Boolean (b) Logika *fuzzy*

2.3.1 Aturan Dasar

Aturan dasar (*rule base*) menjadi komponen utama dari sistem *fuzzy* yang membawa beberapa tingkat kecerdasan dalam sistem. Ini berisi seperangkat aturan *fuzzy* yang terhubung anteseden (*antecedents*) dan konsekuensi (*consequences*), atau kondisi dengan aksinya (Omar, 2010). Dalam hal ini, pengetahuan dan pengalaman perancang harus diinterpretasikan dengan benar dan diatur dalam seperangkat aturan yang sesuai aturan *fuzzy* yang dapat didefinisikan sebagai pernyataan kondisional dalam bentuk:

IF x is A THEN y is B

dimana x dan y adalah *input* dan *output* variabel yang mewakili nilai linguistik A dan B masing-masing. Nilai linguistik A dan B diwakili oleh himpunan *fuzzy* pada setiap semesta pembicaraannya. Dalam aturan *fuzzy* IF-THEN, bagian IF pada aturan (x adalah A) dikenal sebagai aturan anteseden (kondisi), sedangkan bagian THEN pada aturan (y adalah B) dikenal sebagai aturan konsekuensi (aksi).

2.3.2 Fuzzifikasi

Fuzzifikasi merupakan proses perubahan variabel numerik menjadi variabel linguistik. Fuzzifikasi berfungsi untuk mengubah nilai masukan krip, misal $a \in B$, ke himpunan *fuzzy* C dengan nilai keanggotaan a (Omar, 2010). Fuzzifikasi diharapkan dapat membantu menyederhanakan komputasi yang harus dilakukan oleh sistem tersebut dalam proses inferensinya.

2.3.3 Inferensi Fuzzy

Inferensi *fuzzy* merupakan proses perumusan pemetaan dari input yang diberikan ke hasil output. Proses ini memiliki dua bagian yang berbeda, bagian pertama adalah mengevaluasi aturan anteseden dan

bagian kedua adalah implikasi atau penerapan hasilnya ke dalam konsekuensi (aksi).

2.3.4 Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan proses transformasi besaran *fuzzy* yang ditampilkan dalam bentuk himpunan-himpunan *fuzzy* keluaran dengan fungsi keanggotaannya untuk menghasilkan kembali bentuk bilangan krip (Genther, Runkler and Glesner, 1994). Hal ini berfungsi dalam implementasi nyata yang dibutuhkan adalah nilai krip. Terdapat beberapa metode yang tersedia dalam defuzzifikasi, namun yang paling banyak digunakan adalah teknik *weight average* (WA), *centroid*. Teknik *centroid* memiliki konsep serupa dengan metode mencari nilai titik tengah suatu area (Liu, 2008).

3. PERANCANGAN SISTEM GIMBAL

Secara menyeluruh sistem gimbal terdiri dari sistem mekanika, sistem elektronika dan sistem kendali. Dari ketiga bagian sistem ini, semuanya memiliki peran yang penting dalam perancangan sistem gimbal, oleh karena itu desain sistem mekanika gimbal yang memperhatikan letak *center of gravity* (CoG) adalah suatu keharusan seperti yang disajikan pada Gambar 5. Untuk sistem elektronika pada sistem gimbal, kestabilan pembacaan sensor IMU adalah suatu peranan yang penting yang nantinya akan digunakan untuk data masukan dalam perancangan sistem kendalinya.

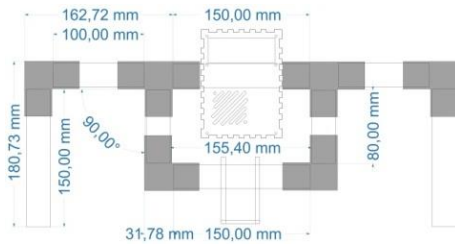


Gambar 5. Sistem gimbal kamera

3.1 PERANCANGAN MEKANIKA

Sistem gimbal memiliki konfigurasi mekanik dimana kamera sebagai titik tengah dari mekanik secara keseluruhan. Pada penelitian ini perancangan sistem gimbal menggunakan pipa paralon PVC berdiameter 25mm dengan bentuk menyerupai huruf "M" dengan tujuan mempermudah dalam *handling* sistem gimbal seperti yang ditampilkan pada Gambar 6 dan Gambar 7. Selain itu dapat memperkokoh *handling* dalam memegang gimbal agar tidak mudah terjatuh ketika digunakan. Pengkabelan dimasukkan melalui bagian rongga dalam pipa PVC agar lebih rapih dan terisolasi dengan baik. Hasil rancangan 3D CAD mekanik *handling* pada penelitian ini disajikan pada Gambar 9. Dan rancangan 3D CAD mekanik sistem gimbal

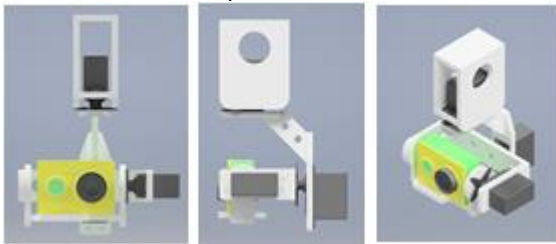
dengan tiga sumbu gerak serta hasil fisik rancangannya disajikan pada Gambar 8 dan Gambar 10.



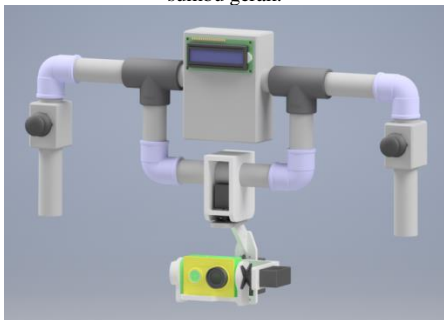
Gambar 6. Dimensi sistem mekanik *handling* kamera.



Gambar 7. Desain 3D CAD *handling* kamera dengan bahan paralon PVC.



Gambar 8. Desain 3D CAD sistem gimbal dengan tiga buah sumbu gerak.



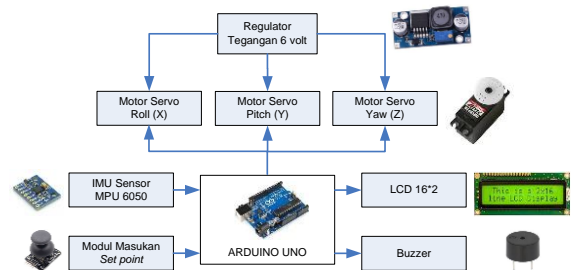
Gambar 9. Desain 3D CAD sistem gimbal secara keseluruhan.



Gambar 10. Hasil fisik rancangan sistem gimbal.

3.2 PERANCANGAN ELEKTRONIKA

Sistem elektronika yang terdapat pada gimbal ialah terdiri dari perangkat dari sensor IMU MPU 6050, modul masukan *setpoint* dengan *thumb analog button*, perangkat Arduino Uno dan motorservo sebagai actuator pergerakan disetiap sumbu. Diagram blok dari sistem elektronika rancangan gimbal pada penelitian ini secara menyeluruh disajikan pada Gambar 11.

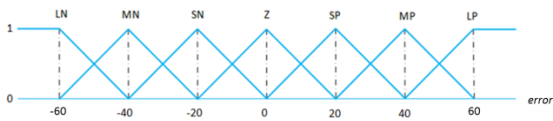


Gambar 11. Sistem elektronika gimbal.

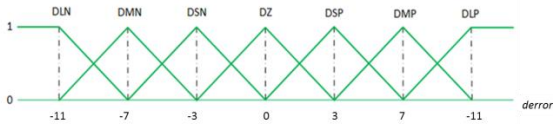
3.3 PERANCANGAN SISTEM KENDALI FUZZY

Logika *fuzzy* yang diimplementasikan pada sistem gimbal ditanam kedalam Arduino Uno dengan istilah *embeded fuzzy*, artinya semua tahapan *fuzzy* diolah komputasinya dalam sebuah *chip*. Diagram blok sistem kendali fuzzy yang diimplementasikan pada sistem gimbal disajikan pada Gambar 12. Pada sistem gimbal ini variabel masukan untuk fuzzifikasi diperoleh dari hasil pembacaan sensor IMU yang berupa sudut kemiringan pada setiap sumbunya, yaitu x , y , z . Selisih dari *setpoint* (posisi stabil) dan pembacaan sensor IMU adalah nilai *error* dan perubahan nilai *error* setiap waktu disebut *delta error*. Lebih lanjut, *error* dan *delta error* ini yang kemudian menjadi masukan ke dalam fuzzifikasi dan merupakan fungsi keanggotaan masukan. Adapun penjelasan dari fungsi keanggotaan masukan dijabarkan sebagai berikut:

- a) Fungsi keanggotaan *error* terdiri dari *Large Negative* (LN), *Medium Negative* (MN), *Small Negative* (SN), *Zero* (Z), *Small Positive* (SP), *Medium Positive* (MP), *Large Positive* (LP). Untuk nilai dari masing-masing fungsi keanggotaan *error* disajikan pada Gambar 13.
- b) Fungsi keanggotaan *derror* terdiri dari *Derror Large Negative* (DLN), *Derror Medium Negative* (DMN), *Derror Small Negative* (DSN), *Derror Zero* (DZ), *Derror Small Positive* (DSP), *Derror Medium Positive* (DMP), *Derror Large Positive* (DLP). Untuk nilai dari masing-masing fungsi keanggotaan *derror* disajikan pada Gambar 14.



Gambar 13. Fuzifikasi keanggotaan *error*.



Gambar 14. Fuzifikasi keanggotaan *derror*.

Setelah didapatkan nilai linguistik berupa derajat keanggotaan dari setiap fungsi, selanjutnya nilai linguistik tersebut akan diolah pada tahapan proses inferensi. Dari fungsi keanggotaan fuzzifikasi yang terdiri dari tujuh derajat keanggotaan maka untuk aturan dasar terdiri dari 49 aturan dimana aturan tersebut antara lain dijelaskan pada Tabel 2 dengan mengacu pada aturan *MacVicar Whelan*. Berdasarkan daftar aturan tersebut maka dibentuk tabel komposisi aturan yang menjadi acuan implikasi dari masukan impunan *fuzzy error* dan *derror*. Aturan *fuzzy* yang digunakan pada implementasi quadrotor ini menggunakan inferensi dengan metode Mamdani (Mamdani, 1975) seperti yang dijelaskan pada persamaan (7).

Tabel 2. Tabel aturan *fuzzy* menggunakan konfigurasi dari *MacVicar Whelan*.

		error						
		LN	MN	SN	Z	SP	MP	LP
Delta error (derror)	DLN	NB	NB	NM	NM	NS	NS	Z
	DMN	NB	NM	NM	NS	NS	Z	PS
	DSN	NM	NM	NS	NS	Z	PS	PM
	DZ	NM	NS	NS	Z	PS	PM	PM
	DSP	NS	NS	Z	PS	PM	PM	PB
	DMP	NS	Z	PS	PM	PM	PB	PB
	DLP	Z	PS	PM	PM	PB	PB	PB

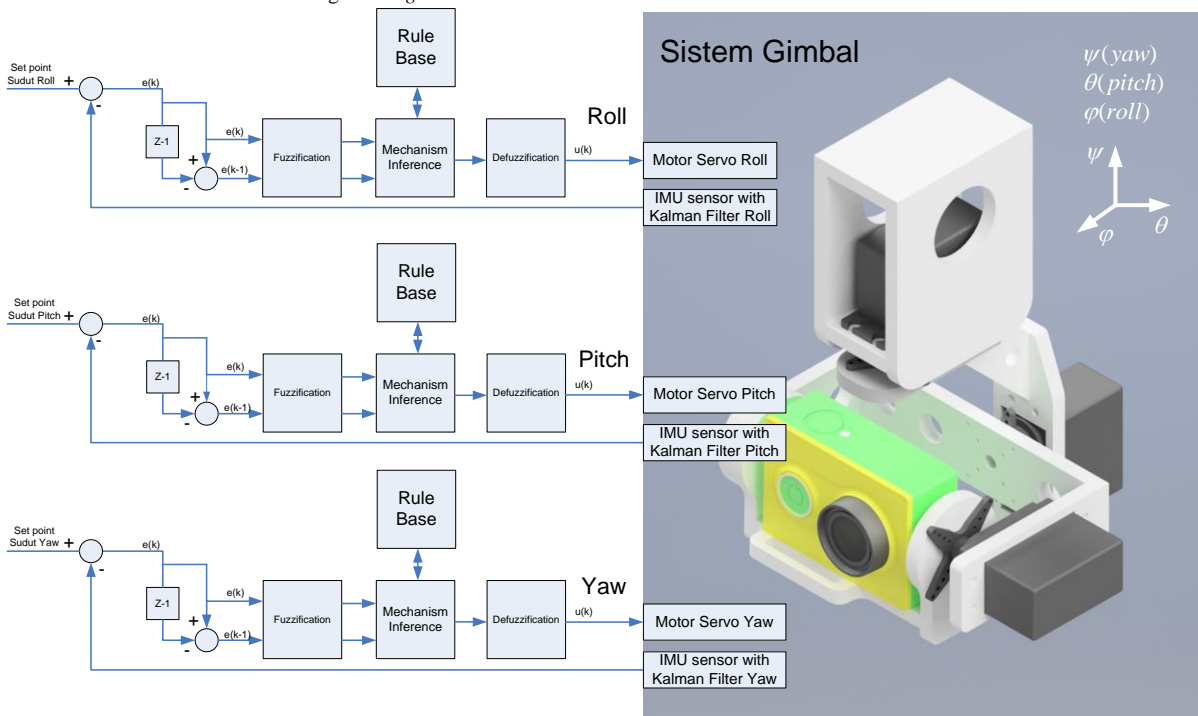
$$\mu_y(k) = \max [\min \{ \mu_u(k), \mu_r(\text{error}(i), \text{derror}(j)) \}] \quad (7)$$

Nilai hasil pemetaan dari inferensi *fuzzy* tersebut akan diteruskan menuju tahap terakhir pada kendali logika *fuzzy* (Yoneyama, 2000). Pada tahap ini, nilai keluaran inferensi akan diubah kembali menjadi nilai krisp agar dapat diimplementasikan kembali pada sistem gimbal. Metode yang digunakan adalah *weight average* (WA) yang dijelaskan pada persamaan (8). Untuk mengubah nilai linguistik tersebut diperlukan fungsi yang disesuaikan dengan rentang yang diperlukan oleh aktuator. Pada penelitian ini, tahapan defuzzifikasi menggunakan *singleton* sebanyak tujuh buah. Nilai keluaran dari defuzzifikasi inilah yang digunakan sebagai nilai derajat sumbu putar pada ketiga servomotor. Pada setiap motor dapat dipengaruhi dari ketiga sudut *roll*, *pitch*, dan *yaw*. Himpunan keluaran krisp dari defuzzifikasi ini dijelaskan pada Gambar 15.

$$WA = \frac{\mu(k1) \times k1 + \mu(k2) \times k2 + \dots + \mu(k7) \times k7}{\mu(k1) + \mu(k2) + \dots + \mu(k7)} \quad (8)$$



Gambar 15. Defuzifikasi dengan 7 *singletons*.

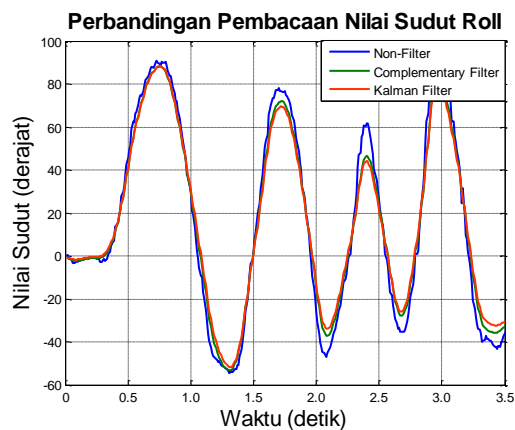


Gambar 12. Diagram blok kendali logika *fuzzy* pada sistem gimbal.

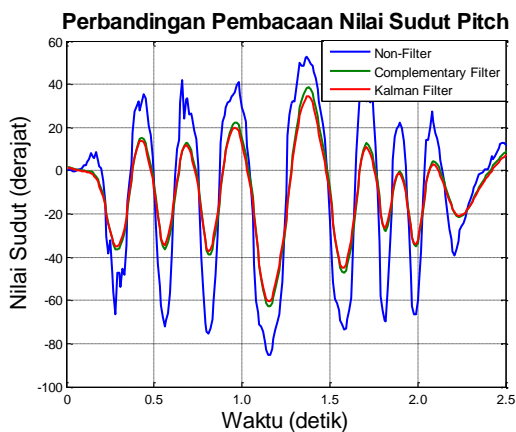
4. PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 PENGUJIAN FILTER KALMAN

Hasil filter KF merupakan fundamental dalam mencapai kestabilan sistem gimbal. Setelah dilakukan pengujian dengan membandingkan dengan algoritma *complementary filter* (CF) maka diperoleh suatu sinyal sensor IMU pada sumbu *roll* dan *pitch* seperti yang disajikan pada Gambar 16 dan Gambar 17. Pada Gambar merupakan grafik hasil pembacaan nilai sudut *roll* yang sudah diolah dengan CF dan KF. Hasil yang ditampilkan pada setiap keluaran memiliki nilai yang hampir sama, namun pada saat perubahan yang besar terjadi perbedaan yang besar pula. Dari grafik perbandingan pembacaan ini dapat dilihat bahwa KF memiliki kelebihan dalam teknik penyaringan. Pada pengujian *non-filter* terdapat *noise* yang cukup besar pada saat terjadi perubahan sudut yang cepat. Hal ini dapat diketahui bahwa bila pembacaan sudut tanpa menggunakan *filter* akan mengalami perubahan nilai yang sangat cepat yang akan membuat *noise* pada hasil pembacaan.



Gambar 16. Pembacaan sensor IMU pada sumbu *roll*.



Gambar 17. Pembacaan sensor IMU pada sumbu *pitch*.

4.2 PENGUJIAN LOGIKA FUZZY PADA SISTEM GIMBAL

Pengujian dilakukan dengan menggunakan *action camera* B-Pro yang diletakan di titik kamera pada sistem gimbal. Kamera yang digunakan memiliki kualitas 4K sehingga kualitas gambar dalam segi ketajaman tidak diperhitungkan disini melainkan kualitas sedikitnya blur dan melencengnya titik fokus kamera terhadap objek. Pada pengujian hasil pengambilan foto dan video, baik yang menggunakan sistem penstabil kendali logika *fuzzy* maupun yang tidak. Adapun item pergerakan sumbu yang diuji ialah sebagai berikut:

- Pengujian pengambilan saat sistem gimbal digerakkan pada sumbu *x* (*pitch axis*) seperti yang disajikan pada Tabel 3.
- Pengujian pengambilan saat sistem gimbal digerakkan pada sumbu *y* (*roll axis*) seperti yang disajikan pada Tabel 4.
- Pengujian pengambilan saat sistem gimbal digerakkan pada sumbu *z* (*yaw axis*) seperti yang disajikan pada Tabel 5.
- Pengujian pengambilan saat sistem gimbal digerakkan pada sumbu *x, y* dan *z* (semua *axis*) seperti yang disajikan pada Tabel 6.

Tabel 3. Pengujian pengambilan foto dan video saat sistem gimbal digerakkan pada sumbu *pitch*.

Tanpa kendali	Dengan sistem kendali logika <i>fuzzy</i>

Tabel 4. Pengujian pengambilan foto dan video saat sistem digerakkan pada sumbu *roll*.

Tanpa kendali	Dengan sistem kendali logika <i>fuzzy</i>
	
	
	

Tabel 5. Pengujian pengambilan foto dan video saat sistem digerakkan pada sumbu *yaw*.

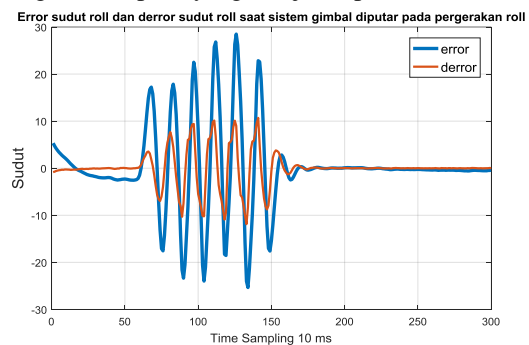
Tanpa kendali	Dengan sistem kendali logika <i>fuzzy</i>
	
	
	

Dari hasil pengujian yang dilakukan, terlihat bahwa sistem gimbal yang telah diimplementasikan sistem kendali *fuzzy* mampu mempertahankan posisi

kamera di tengah. Jika sistem gimbal digerakkan pada sumbu *pitch*, maka hasil pengambilan gambar juga akan bergerak naik dan turun mengikuti gerakan yang diberikan. Jika sistem digerakkan pada sumbu *roll*, maka hasil pengambilan gambar akan bergerak miring ke kiri dan ke kanan. Begitu pula saat sistem digerakkan pada sumbu *yaw*, maka hasil pengambilan gambar akan bergerak menghadap ke kanan dan ke kiri.

Pada Gambar 18 menyajikan data *error* dan *derror* sudut gimbal pada sumbu pergerakan *roll*. Data yang disajikan merupakan hasil pergerakan gimbal pada pengujian pengambilan foto dan video saat sistem digerakkan pada sumbu *roll* seperti yang disajikan pada Tabel 4. Disini terlihat pergerakan *error* sudut gimbal bergerak pada range +25 derajat dan -25 derajat. Bila *error* sudut gimbal bernilai negatif maka gimbal berputar miring ke kiri dan kekanan bila positif. Dan data perubahan *derror* bergerak pada range +10 derajat dan -10 derajat.

Selanjutnya, hasil dari proses fuzzifikasi *error* dan *derror* sudut gimbal diteruskan dan diproses pada sistem *rule inference* pada Tabel 2. Setelah itu dilakukan proses defuzzifikasi menggunakan metode WA seperti yang disajikan pada persamaan (8). Hasil dari defuzzifikasi ini merupakan sudut servo *roll* pada gimbal seperti yang disajikan pada Gambar 19.



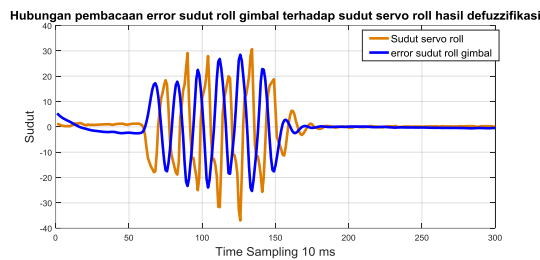
Gambar 18. *Error* sudut *roll* dan *derror* sudut *roll* saat sistem diputar pada pergerakan *roll* dengan waktu cuplik setiap 10 ms selama 3 detik.



Gambar 19. Sudut servo *roll* dari hasil defuzzifikasi saat pergerakan gimbal pada sumbu *roll*.

Bila diperhatikan hubungan antara sudut servo *roll* dengan *error* sudut gimbal saat digerakkan pada sumbu putar *roll* maka dapat ditarik simpulan bahwa pergerakan servo gimbal akan melawan arah dari *error* sudut *roll* seperti yang disajikan pada Gambar 20. Hasil ini mengakibatkan posisi kamera akan

berada ditengah. Sehingga pengambilan gambar foto dan video akan berada pada posisi tengah.



Gambar 20. Hubungan antara sudut servo roll dengan error sudut gimbal saat digerakan pada sumbu putar roll.

Dari hasil percobaan implementasi kendali logika fuzzy pada sistem gimbal diperoleh hasil bahwa sistem ini mampu menahan posisi kamera pada posisi tengah gimbal, sehingga apabila terjadi guncangan saat pengambilan gambar dapat diminimalisir. Namun hasil yang diperoleh pada penelitian ini masih mengalami sedikit guncangan. Hal ini berhubungan dengan perilaku motor servo yang bergerak sedikit terlambat menuju setpoint. Hal ini dapat dilakukan dengan menggantikan motor servo dengan sebuah motor brushless.

Tabel 6. Pengujian pengambilan saat sistem gimbal digerakkan pada sumbu x, y dan z (semua sumbu).

Tanpa kendali	Dengan sistem kendali logika fuzzy

5. KESIMPULAN

Dari serangkaian pengujian, dan analisis yang telah dilakukan pada sistem gimbal dapat disimpulkan bahwa sistem gimbal telah berhasil dibuat menggunakan sistem kendali logika fuzzy. Respon motor servo masih sedikit terlambat dalam melakukan koreksi posisi. Selanjutnya, sistem gimbal dengan dilengkapi kendali logika fuzzy mampu meningkatkan kualitas pengambilan gambar foto dan video bila dibanding dengan tidak menggunakannya. Semakin extreme gangguan yang diterima gimbal maka akan mempengaruhi kesempurnaan hasil pengambilan gambar foto dan video.

6. DAFTAR PUSTAKA

LIU, F. 2008. An efficient centroid type-reduction strategy for general type-2 fuzzy logic system.

Information Sciences, 178(9), pp.2224-2236.

CROCE, A., POSSAMAI, R., SAVORANI, A., & TRAINELLI, L. 2014. Modelling and characterization of a novel gimbal two-blade helicopter rotor. In *40th European Rotorcraft Forum 2014*.

FAHMIZAL, SETYAWAN, G., ARROFIQ, M. & MAYUB, A., 2017. Logika Fuzzy pada Robot Inverted Pendulum Beroda Dua. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 4(4), pp.244-252.

GENTHER, H., RUNKLER, T. A. & GLESNER, M. 1994. Defuzzification Based on Fuzzy Clustering. In *Proceedings of the Third IEEE Conference on Fuzzy Systems, 1994. IEEE World Congress on Computational Intelligence*.

HARIS, M.S., DHARMAWAN, A. & ATMAJI, C., Sistem Kendali Gimbal 2-Sumbu Sebagai Tempat Kamera Pada Quadrotor Menggunakan PID Fuzzy. *IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems)*, 7(2), pp.185-196.

KALMAN, R.E.1963. New methods in Wiener filtering theory. In *Proceedings of the First Symposium on Engineering Applications of Random Function Theory and Probability, edited by JL Bogdanoff and F. Kozin, John Wiley & Sons, New York*.

KNOBLAUCH, H., TUMA, R. & SCHNETTLER, B. 2014. Videography. Peter Lang.

MAMDANI, EBRAHIM H., & SEDRAK ASSILIAN. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller." *International journal of man-machine studies* 7, no. 1 (1975): 1-13.

OMAR, Z. M. E. 2010. *Intelligent Control of a Ducted-Fan VTOL UAV with Conventional Control Surfaces, System*. RMIT University.

PRIYAMBODO, T.K. 2017. Implementasi Sistem Kendali PID pada Gimbal Kamera 2-sumbu dengan Aktuator Motor Brushless. *IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation System)*, 7(2), pp.117-126.

SHAH, S.V., SAHA, S.K. AND DUTT, J.K. 2012. Denavit-Hartenberg Parameterization of Euler Angles. *Journal of Computational and Nonlinear Dynamics*, 7(2), p.021006.

UBAYA, H. AND MAWARNI, H. 2015. Sensor Fusion and Fuzzy Logic for Stabilization System of Gimbal Camera on Hexacopter. *ICON-CSE*, 1(1), pp.25-32.

YONEYAMA, JUN, MASAHIRO NISHIKAWA, HITOSHI KATAYAMA, & AKIRA ICHIKAWA. Output stabilization of Takagi-Sugeno fuzzy systems. *Fuzzy sets and Systems* 111, no. 2 (2000): 253-266.

Halaman ini sengaja dikosongkan

