

Rancang Bangun Penstabil Drone S2GA Berbasis Metode Fuzzy Logic Menggunakan Arduino

Design of S2GA Drone Stabilizer Base on Fuzzy Logic Methods Using Arduino

Wahyu Pambudi^{1*}, Yudhi Darmawan², Priska Choirina³

Jurusan Teknik Telekomunikasi Poltekad Kodiklatad

Jalan Ksatrian Pusdik Arhanud, Pendem, Batu 65324

komd4214@gmail.com^{1*}, yudhipk8@gmail.com², Priskachoirina17@gmail.com³

Abstrak – UAV merupakan wahana teknologi canggih yang sering digunakan di bidang militer untuk misi pengintaian. UAV terdiri dari beragam jenis, salah satunya yaitu quadcopter. Quadcopter yang digunakan dalam misi militer biasanya mempunyai masalah ketidakstabilan ketika quadcopter tersebut terbang membawa senjata. Oleh karena itu, maka diperlukan sebuah sistem untuk mengatur kestabilan dari percepatan motor quadcopter. Pada paper ini dipaparkan sebuah desain system dari stabilizer drone dengan metode logika fuzzy menggunakan 3 derajat. Penelitian ini bertujuan untuk mengkonfigurasi kontrol kestabilan quadcopter yang optimal setelah diterapkan metode fuzzy logic inferensi Tsukamoto. Input dari system ini adalah percepatan dan perubahan percepatan. Sedangkan output yang dihasilkan berupa kecepatan motor. Untuk mengetahui error dilakukan pengujian ketepatan posisi 5 kali pada ketinggian 1-3 meter. Sedangkan untuk mendapatkan waktu quadcopter untuk kembali ke posisi semula dapat menggunakan stopwatch. Penelitian ini bertujuan untuk mengkonfigurasi kontrol kestabilan quadcopter yang optimal setelah diterapkan metode fuzzy logic inferensi Tsukamoto. Hasil penelitian dengan logika fuzzy untuk kestabilan menunjukkan nilai rise time sebesar 0,7 detik, settling time 2,55 detik, overshoot sebesar 15 % ketika menerima gangguan sebesar 45cm, dan nilai steady-state 69,55 cm dengan simpangan baku sebesar $\pm 1,775$ cm. Hasil tersebut memberikan akurasi dalam menentukan kestabilan yang lebih baik pada quadcopter.

Kata Kunci: UAV, Quadcopter, Kestabilan, Fuzzy Logic, Tsukamoto.

Abstract – UAV is one of the advanced technology that used in the military for reconnaissance missions. UAV consists of various types, one of them is a quadcopter. Since the quadcopter in military missions has an instability problem when they fly with a weapon, they needed to stabilize the acceleration of a quadcopter motor. This paper presents a design system of drone stabilizer using fuzzy logic method based on 3 degrees of freedom to improve stability. Fuzzy logic that used to configure optimal quadcopter stability control is Tsukamoto's inference fuzzy logic method. The input of this system are acceleration and acceleration change. While, the output of this system is the speed of motor. We did 5 times experiment to find out the accuracy of this system at an altitude of 1-3 meters. Furthermore, to get the quadcopter time from return to its original position we used a stopwatch. Based on the experiments, we obtained a rise time value of 0.7 seconds, settling time of 2.55 seconds, overshoot of 15% when receiving interference of 45cm,

and a steady-state value of 69.55 cm with a standard deviation of ± 1.775 cm. These result show that fuzzy logic provide a better accuracy in determining stability on quadcopter.

Keywords: UAV, Quadcopter, Stabilize, Fuzzy Logic, Tsukamoto.

1. Pendahuluan

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) atau pesawat tanpa awak saat ini mengalami perkembangan yang pesat untuk keperluan umum atau keperluan militer. *UAV* mempunyai beragam jenis diantaranya adalah *quadcopter*. *Quadcopter* memiliki kemampuan untuk melakukan pendaratan dan lepas landas secara vertikal atau bisa di sebut dengan *Vertical Take-Off and Landing (VTOL)*. Dalam proses membuat *quadcopter* ditemukan beberapa permasalahan antara lain seperti keempat baling-balingnya yang tidak mempunyai daya angkat, karena 2 motor masih dirancang berputar secara *counterclockwise (CCW)* dan 2 motor dirancang berputar *Counter Wise (CW)*, khususnya ketika terbang stabil membawa beban.

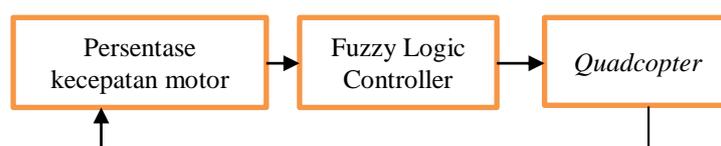
Pengendalian kestabilan ketinggian pada penerbangan *quadrotor* dengan metode *PID Fuzzy* pernah dilakukan oleh P.A Kusuma tahun 2017[1]. Penelitian P.A Kusuma menunjukkan metode kendali *PID fuzzy* menghasilkan tanggap waktu yang lebih baik dibandingkan dengan metode *PID*. Penelitian serupa tentang pengendalian kestabilan terbang robot penjelajah udara dengan metode *hybrid PID fuzzy* juga pernah dilakukan oleh Nur yanti tahun 2018[2]. Penelitian Nuryanti menunjukkan bahwa penggunaan *hibrid PID-fuzzy* mampu mengatasi berbagai masalah kendali saat terbang dengan mengubah nilai *gain Kp, Ki, dan Kd*, sehingga dihasilkan kestabilan terbang robot yang baik sesuai dengan ketinggian. Kemudian Ardy Seto Priambodo melakukan penelitian tentang perancangan sistem kendali *PD* untuk kestabilan terbang melayang *UAV Quadcopter*[3]. Penelitian yang dilakukannya membahas tentang model sebuah *quadcopter* dan sistem kendali linier yang bekerja pada *quadcopter* terbang melayang sehingga *quadcopter* tersebut mampu terbang dengan stabil. Pada penelitian tersebut sistem kendali linier yang digunakan adalah Sistem kendali *PD*. Sistem ini disimulasikan dengan menggunakan *software matlab* sehingga di peroleh hasil nilai parameter *Kp* dan *Kd* yang didapatkan dari penelitian tersebut adalah *Kp = 25* dan *Kd = 35* sedangkan *settling time* adalah 4,66 detik tanpa *overshoot*, sehingga hasil respon dinyatakan baik.

Dari [1] dan [2], dapat dianalisis bahwa dengan menggunakan nilai algoritma *non-linier* seperti logika *fuzzy*, lebih baik untuk diimplementasikan pada *quadcopter* dibanding dengan nilai algoritma yang linear seperti *arduino*. Hal ini disebabkan karena *quadcopter* mempunyai dinamika *non-linier* sehingga nilai algoritma yang bersifat *non-linier* lebih tepat diimplementasikan. Pada penelitian yang dilakukan, variabel yang dikaitkan bukan tentang ketinggian dan perubahan ketinggian tetapi membahas tentang percepatan dan perubahan percepatan motor. Penelitian dilakukan untuk mengatur kecepatan putaran motor agar menjaga kestabilan dan keseimbangan pada waktu *take-off* serta dapat menjaga kestabilan pada ketinggian tertentu, karena penyebab dari tidak stabilnya *quadcopter* ketika berada di ketinggian yang ditetapkan adalah adanya perubahan kecepatan.

2. Metode Penelitian

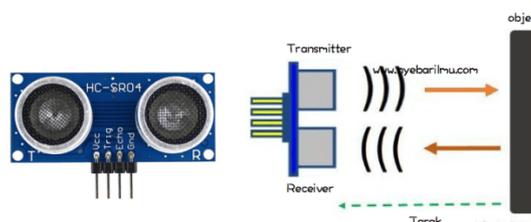
2.1. Analisis Sistem

Metode penelitian pada Analisis sistem yang akan dibuat adalah untuk mengatur kecepatan putaran motor pada *quadcopter* agar dapat menjaga kestabilan pada waktu membawa beban dengan menggunakan algoritma *fuzzy Tsukamoto*. Sebelumnya seperti yang diketahui algoritma *fuzzy* ada 3 yaitu algoritma *Tsukamoto, mamdani dan sugeno*. Tetapi pada penelitian ini menggunakan metode *Tsukamoto*[4]. Penelitian ini menggunakan blok sistem seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram blok sistem.

Quadcopter yang digunakan juga menggunakan logika *fuzzy* untuk memaksimalkan nilai konstanta Arduino. Logika *fuzzy* akan bertugas sebagai penalar otomatis konstanta arduino yang digunakan untuk mengontrol kestabilan pada *Quadcopter* digunakan sistem berdasarkan umpan balik berupa nilai *error* dan *delta error*. Sistem ini mempunyai nilai konfigurasi (+) yang mengarahkan gerak *roll* dan *pitch*-nya dengan dipengaruhi oleh 2 motor yang dirangkai secara seimbang dan simetris. *Drone* yang akan dibuat mempunyai 4 motor dengan memanfaatkan nilai konfigurasi (+) secara seimbang dan simetris. Kemudian untuk mengetahui nilai ketinggian jarak dapat dengan menggunakan sensor ketinggian yang terpasang pada *drone* maka dapat dipasang sensor ultrasonik yang terletak tegak lurus dengan sumbu horizontal drone ini. Sensor ultrasonik yang digunakan yaitu *sensor ultrasonik tipe HC-SRF04*[5]. Cara sensor *ultrasonic* membaca jarak ketinggian diperlihatkan seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Sensor ultrasonik HC-SRF04 ketika membaca jarak ketinggian.

Sensor ultrasonik ini memiliki tingkat akurasi sensor yang paling optimal dengan nilai rentang 17 hingga 200 cm. Metode kendali percepatan motor dengan menggunakan *arduino*. Penalaran yang akan dilakukan untuk mendapatkan nilai konstanta *arduino* yang akan mempengaruhi karakteristik sistem seperti *rise time*, *settling time*, *overshoot*, dan *steady state error*. Untuk memperoleh nilai konstanta arduino dapat dilaksanakan dengan penggunaan metode teori *Ziegler-Nichols*[6]. Teori *Ziegler-Nichols* bisa diimplementasikan pada sistem seperti pada drone *quadcopter* tanpa memerlukan model matematikanya. Nilai yang dihasilkan pada gain dapat menghasilkan nilai tanggapan yang kurang baik sehingga membutuhkan *fine tuning* untuk mendapatkan nilai tanggapan sistem yang sesuai dengan apa yang diharapkan. Kekurangan pada metode ini adalah karena *arduino* bekerja optimal pada sistem yang berpatokan pada persamaan nilai matematis, sedangkan *quadcopter* adalah sistem *non-linier*. Ketidaklinieran sistem *quadcopter* dapat disebabkan hal-hal seperti karakter motor yang kita pakai, baterai yang digunakan, dan lain sebagainya.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka pada penelitian ini, dengan mengimplementasikan sistem *fuzzy logic* dengan kendali *arduino* dapat membantu, meminimalkan dan mengatasi nilai ketidaklinieran sistem dengan memanfaatkan logika *fuzzy*. Logika *fuzzy* adalah metode komputasi dengan variabel kata-kata yang dikemukakan oleh Dr. Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965. Logika ini memanfaatkan menggunakan pendekatan alamiah seperti penalaran manusia dalam menentukan suatu keputusan. Logika *fuzzy* dapat digunakan untuk memaksimalkan nilai respon dari sistem kendali pada Arduino[7]. Aturan *fuzzy* untuk memaksimalkan kerja sistem dengan nilai dasar sebagai berikut;

1. Apabila *steady-state* memiliki nilai besar maka naikkan konstanta proporsional.
2. Apabila respon beresilasi maka naikkan konstanta *derivative*.

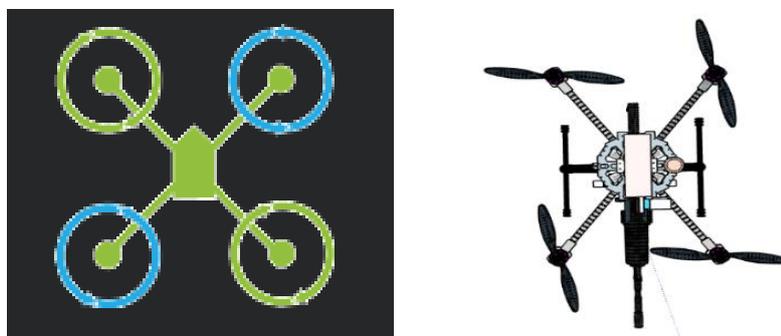
3. Apabila respon lambat maka naikan konstanta proporsional.
4. Apabila *steady-state error* terlalu besar maka sesuaikan konstanta integral.
5. Apabila *overshoot* menghasilkan nilai yang terlalu besar maka turunkan nilai konstanta proporsional.

Aturan *fuzzy* yang dibuat dan diproses dengan memanfaatkan sudut dan nilai ketinggian *quadcopter*. Berdasarkan nilai hasil *set point* yang dihasilkan oleh sudut dan ketinggian yang telah ditetapkan maka akan didapat hasil nilai *error* dan *delta error* yang merupakan indikator keadaan *quadcopter*. Berdasarkan uraian di atas maka dapat dirumuskan pokok-pokok sistem yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Sistem kestabilan yang diterapkan untuk membantu *quadcopter* untuk mempertahankan kestabilan dan ketinggiannya dengan baik berdasarkan jarak dengan permukaan tanah dengan nilai *steady-state error* maksimum sebesar 5 cm. Kendali tersebut juga harus mempertahankan *steady state error* sudut *roll* dan *pitch* sebesar 5% agar pembacaan sensor ultrasonik masih dapat bekerja dengan baik.
2. *Risetime* yang diperoleh akan di gunakan pada sudut *pitch* dan *roll* lebih cepat atau sama dengan 0,5 detik dan pada sudut *yaw* menghasilkan ketinggian lebih cepat dari 3 detik.
3. *Settling time* yang diperoleh menghasilkan sudut *pitch* dan *roll* sebesar 3 detik, dan nilai sudut *yaw* serta *altitude* sebesar 6 detik.
4. Maximum pada nilai *overshoot pitch* dan *roll* adalah 10%, dan nilai *yaw* serta *altitude* memiliki 20%.
5. Metode kendali yang digunakan dioptimalkan dengan logika *fuzzy* yang dapat menalar secara mandiri nilai konstanta K_p , K_i , dan K_d pada arduino sehingga respon sistem lebih baik.

2.2. Rancangan Arsitektur System

Rancangan arsitektur dari sistem *quadcopter* yang dirancang diperlihatkan seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Rancangan arsitektur *system quadcopter*.

Dalam penelitian ini *pixhawk* bertugas sebagai pemroses masukan dan keluaran sistem. *Pixhawk* digunakan karena memiliki bit penyimpanan yang cukup besar serta mampu bekerja dengan clock yang tinggi agar metode *fuzzy* yang digunakan dapat berjalan dengan baik. Pada *pixhawk* mempunyai 3 buah sensor yaitu IMU 6 DOF[8] yang terdiri dari *Accelerometer* dan *Gyroscope* yang memiliki fungsi untuk memberikan masukan pada kondisi ketika drone bergerak secara *pitch* dan *roll*. Selain itu ada ada *magnetometer* atau kompas yang digunakan sebagai penunjuk arah atau *heading*, serta memiliki sensor ultrasonik yang digunakan untuk menunjukkan nilai besaran ketinggian *quadcopter* terhadap permukaan tanah. Sistem kendali dan pemantauan data menggunakan *Remote Control (RC)* dan *GCS* berupa sebuah komputer yang terhubung dengan *drone quadcopter* memanfaatkan modul telemetri. Daya yang diperoleh sistem ini adalah baterai *LiPo*[9].

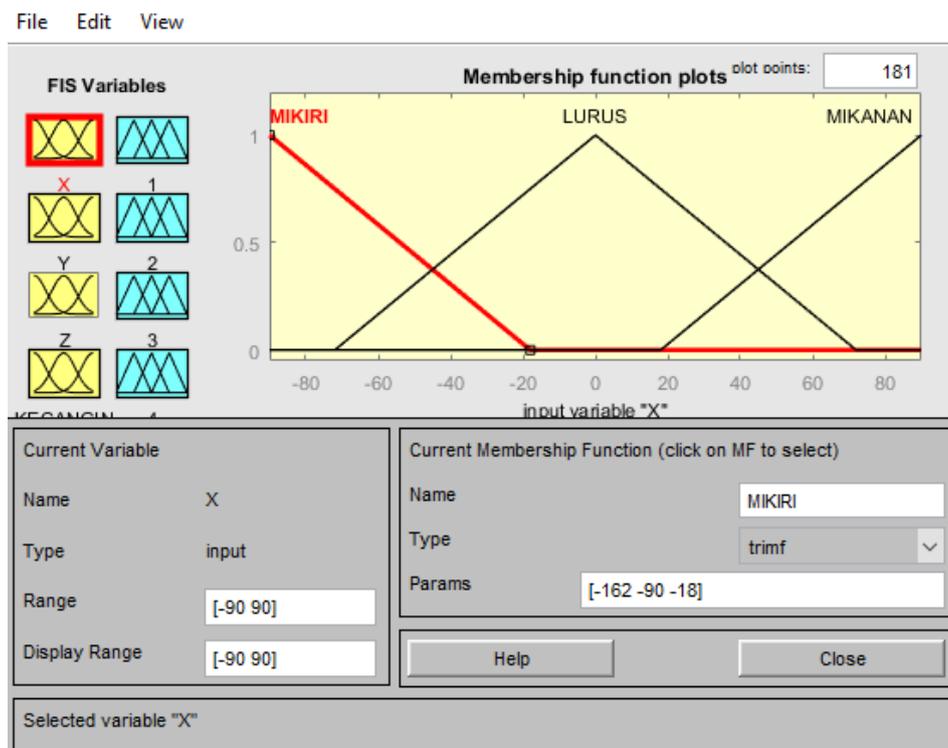
2.3. Rancangan Fungsi keanggotaan *Fuzzy*

Fungsi keanggotaan *fuzzy* adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik input ke dalam derajat keanggotaan yang nilainya 0 hingga 1. Salah satu cara yang dapat digunakan adalah dengan melakukan pendekatan fungsi keanggotaan *fuzzy*. Penelitian ini menggunakan *Fuzzy Logic Tsukamoto* dengan mengambil nilai rerata (Z) dan dituangkan dalam persamaan,

$$Z = \frac{\alpha_1 * z_1 + \alpha_2 * z_2 + \dots + \alpha_n * z_n}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n} \quad (1)$$

dimana α_n adalah derajat keanggotaan dari aturan ke- n dan z_n = nilai dari aturan ke- n .

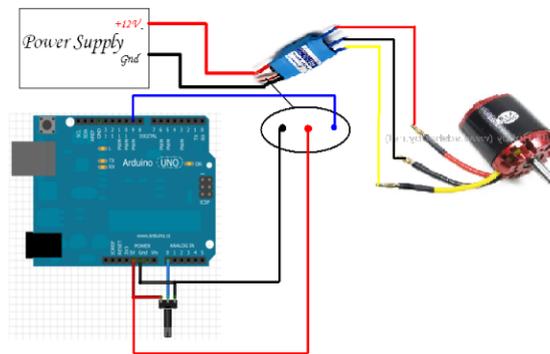
Kemudian hasilnya akan disimulasikan dengan perhitungan Matlab yang menghasilkan kurva seperti Gambar 4.



Gambar 4. Kurva fungsi keanggotaan *fuzzy*.

2.4. Rancangan Sistem Kendali Kestabilan

Pada penelitian ini dapat di masukkan tambahan untuk sistem *quadcopter* yang berupa sensor ketinggian. Dengan sensor ini, kendali untuk ketinggian yang stabil dapat dihitung dengan cara menghitung selisih nilai ketinggian dengan nilai setpoint ketinggian yang diinginkan. Kendali seperti ini untuk mendapatkan kestabilan yang optimal sehingga pilot atau operator tidak perlu mengatur throttle. Logika *fuzzy* pada rancangan sistem kendali kestabilan ini akan menghitung nilai konstanta proporsional (Kp), integral (Ki), dan derivatif (Kd) terbaik yang bisa di masukkan nilainya untuk memperbaiki nilai sistem. Logika *fuzzy* ini di gunakan untuk mengatur besaran nilai persentase kecepatan motor dan untuk kendali motor menggunakan Arduino, seperti diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram kerja Arduino motor menggunakan *software* Arduino.

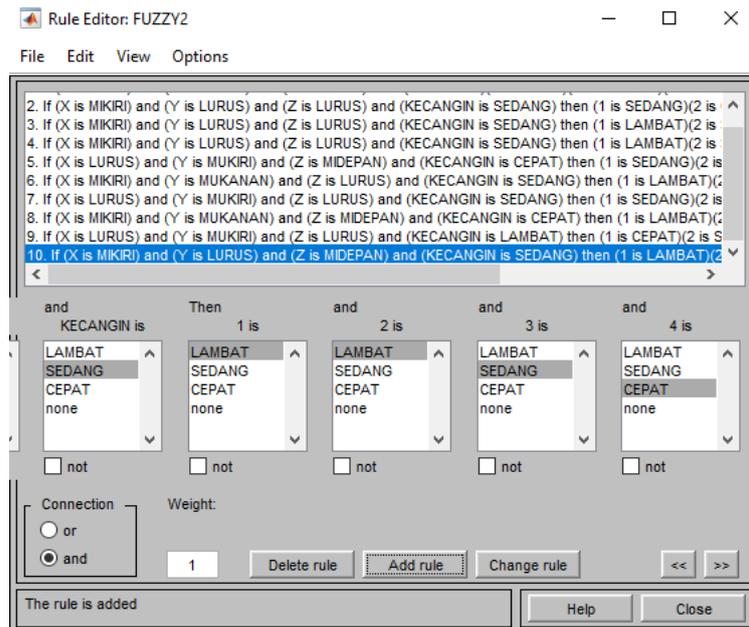
Dan sketch pemrograman untuk mengatur kecepatannya dibuat menggunakan Arduino IDE seperti pada Gambar 6.

```
KONTROL_KECEPATAN | Arduino 1.8.10
File Edit Sketch Tools Help

KONTROL_KECEPATAN
1 // Koneksikan basis transistor
2 const int transistorPin = 9;
3
4 void setup() {
5   // set sebagai output:
6   pinMode(transistorPin, OUTPUT);
7 }
8
9 void loop() {
10  // baca potensiometer:
11  int sensorValue = analogRead(A0);
12  // map nilai sensor menjadi 0 - 255:
13  int outputValue = map(sensorValue, 0, 1023, 0, 255);
14  // gunakan nilai tersebut utk mengontrol putaran:
15  analogWrite(transistorPin, outputValue);
16 }
```

Gambar 6. *Sketch* arduino untuk mengatur kecepatan.

Dari bahasa pemrograman *arduino* yang di terapkan maka akan mendapatkan variabel variabel linguistik yang digunakan pada *pitch* dan *roll* yaitu NB (Negatif Besar), N (Negatif), O (Nol), P (Positif) dan PB (Positif Besar) untuk memasukkan nilai error yang disebut dengan himpunan fuzzy error. Kemudian untuk memasukkan delta error menggunakan DNB (Delta Negatif Besar), DN (Delta Negatif), DO (Delta Nol), DP (Delta Positif) dan DPB (Delta Positif Besar) yang disebut dengan himpunan *fuzzy delta error*. Pada setiap variabel diatas akan mempunyai nilai rentan masing masing yang berdasar pada nilai yang didapatkan dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh program. Kemudian nilai input ini dianalisa oleh *Fuzzy Inference system* dengan menggunakan aturan *fuzzy* (rule-base) yang telah disusun. Aturan aturan *fuzzy* (rule base) memiliki bentuk dasar “if” X= A, “Then” Y = B, sehingga aturan fuzzy sering disebut aturan “If-Then”. Aturan yang kita buat dengan “if-then” bisa di lihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Rules pada himpunan fuzzy untuk menstabilkan drone quadcopter.

Kemudian pada sistem quadcopter ini aturan fuzzy yang digunakan berdasarkan rancangan himpunan fuzzy untuk nilai error, delta error, Kp, Ki dan Kd. Dengan begitu terdapat 25 aturan fuzzy yang akan digunakan. Aturan dibuat berdasar pada pengaruh perubahan nilai konstanta kecepatan motor yang dikontrol menggunakan Arduino Uno dan derivatif terhadap nilai error dan data error. Aturan untuk Kp dan Ki dibuat sama karena memang dampak kedua kendali terhadap nilai yang di hasilkan sama. Nilai error dari data error dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Menunjukkan nilai error.

| | | Error | | | | |
|-------|-----|-------|---|---|---|----|
| | | NS | N | O | P | SP |
| Data | DNS | T | M | S | S | S |
| error | DN | M | S | B | B | T |
| | DO | S | B | H | M | M |
| | DP | T | S | B | M | S |
| | DPS | S | M | M | S | T |

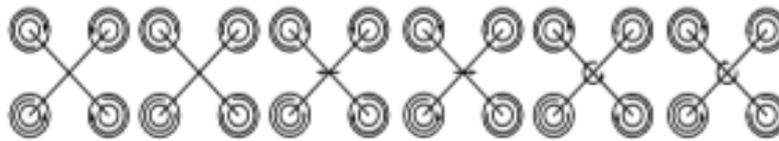
Keterangan:

- | | | | |
|----|-----------------|----|-----------------|
| NB | : Negatif Besar | P | : Positif |
| T | : Sangat Kecil | B | : Besar |
| N | : Negatif | PB | : Positif Besar |
| S | : Kecil | H | : Sangat Besar |
| O | : Tengah | | |
| M | : Sedang | | |

Nilai negatif dan positif pada error dan deltaerror akan menghasilkan nilai Kp dan Ki yang sama, kemudian akan di gunakan karena hal tersebut akan tergantung pada orientasi quadcopter. Jika nilai error besar (NB dan PB) maka nilai Kp dan Ki yang digunakan yang paling besar (H). nilai delta error yang terbaca akan menunjukkan kecepatan respon sistem.

2.5. Rancangan Pergerakan UAV

Drone S2GA ini merupakan *drone* yang di gerakkan dengan menggunakan 4 buah motor[10]. Empat motor tersebut ditempatkan pada ke empat sisinya dan saling berhadapan antar motornya. Kemudian tiap motor berputar dengan arah masing masing yang berbeda. Sepasang motor berputar searah dengan jarum jam dan 2 pasang lagi berlawanan dengan arah jarum jam. Kemudian dengan mengubah besaran kecepatan putar dari masing masing motor tersebut, kita akan mendapatkan daya angkat yang berbeda beda yang mempengaruhi elevasi, arah terbang dan manuver dari *Quadcopter*[3]. Bentuk dan arah pergerakan perputaran dari motor dapat dilihat seperti pada Gambar 8.



(a)keatas, (b)kebawah, (c)kekiri, (d)kekanan, (e)berputar kekiri, (f)berputar kekanan.

Gambar 8. Bentuk dan arah pergerakan perputaran motor.

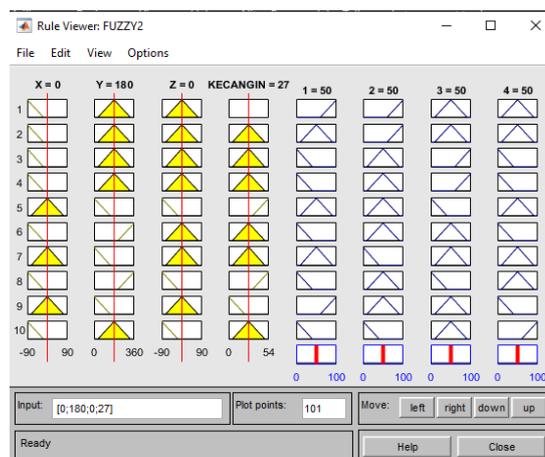
3. Hasil dan Pembahasan

Pada Penelitian sistem kendali kestabilan ini dilakukan pada sudut *pitch* dan *roll*, yang dilakukan dengan memberikan gangguan sebesar kurang lebih 45 cm dari *set point* ketinggian sebesar 200 cm. kemudian *Risetime* atau waktu yang dibutuhkan untuk kembali ke posisi semula yaitu sebesar 0,7 detik, *settling time* sebesar 2,55 detik, dan dengan *overshoot* sebesar 6,5 cm atau 15% dari total gangguan. Sementara pengujian tanpa gangguan didapatkan nilai pembacaan rata-rata nilai *steady state* sebesar 69,55 cm dengan simpangan baku sebesar $\pm 1,775$ cm. Nilai rentang yang dihasilkan dari logika *fuzzy logic* kestabilan yang digunakan pada pengujian ini dapat di lihat pada Tabel 2 rentang nilai konstanta ketinggian.

Tabel 2. Nilai konstanta.

| Konstanta | Nilai Min | Nilai tengah | Nilai Max |
|-----------|-----------|--------------|-----------|
| Kp | 0,110 | 0,113 | 0,113 |
| Ki | 0,019 | 0,023 | 0,024 |
| Kd | 0,029 | 0,032 | 0,035 |

Hasil dari nilai konstanta *arduino* yang di hasilkan oleh logika *fuzzy* akan terlihat pada perubahan nilai konstanta yang awal gangguan hingga tidak terjadi gangguan. Kemudian hasil dari himpunan *fuzzy* yang di hitung dengan menggunakan matlab menghasilkan grafik seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Hasil *rules fuzzy* untuk himpunan untuk kestabilan.

4. Kesimpulan

Dari hasil metode penelitian dapat diperoleh kesimpulan untuk menstabilkan *drone quadcopter* ini adalah mengatur kecepatan motor penggerak yang di hasilkan. Dengan menggunakan *fuzzy logic tsukamoto* yang memiliki tingkat akurasi untuk menentukan kestabilan *drone quadcopter* dengan mengontrol kecepatan keempat motor penggerak. Nilai yang dihasilkan oleh logika *fuzzy tsukamoto* tersebut lebih mendekati hasil yang lebih baik dalam mengontrol kestabilan *quadcopter*. Kestabilan ini cenderung untuk mempertahankan posisi tertentu ketika drone ini mengalami gangguan, sehingga *drone* ini akan menstabilkan dengan menggunakan logika *fuzzy* tersebut.

Ucapan Terima Kasih

Saya mengucapkan terimakasih kepada tim telka yang telah menyelenggarakan dan membuat template ini kemudian saya mengucapkan terimakasih kepada jurusan telekomunikasi militer poltekad yang mendukung penelitian ini.

Referensi

- [1] P. A. Kusuma and A. Dharmawan, "Pengendalian Kestabilan Ketinggian pada Penerbangan Quadrotor dengan Metode PID Fuzzy," *IJEIS (Indonesian J. Electron. Instrum. Syst.*, vol. 7, no. 1, p. 61, 2017, doi: 10.22146/ijeis.15456.
- [2] N. Yanti and F. Z. Rachman, "Pengendalian Kestabilan Terbang Robot Penjelajah Udara Dengan Metode Hybrid Pid-Fuzzy Stability Control Flying the Air Conditioning Robot With Hybrid Pid-Fuzzy Method," vol. 5, no. 6, pp. 705–710, 2018, doi: 10.25126/jtiik51134.
- [3] A. S. Priambodo, A. I. Cahyadi, and S. Herdjunanto, "Perancangan Sistem Kendali PD untuk Kestabilan Terbang Melayang UAV *Quadcopter*," no. July 2017, pp. 117–121, 2019.
- [4] S. Lukas, A. Aribowo, and Y. S. Tjia, "Simulasi Kecepatan Kendaraan Dengan Menggunakan Logika Fuzzy," *SNATI*, 2008.
- [5] Y. M. Arif *et al.*, "Implementation Of Ultrasonic Sensor And Fuzzy Logic On Safety And Control Drone System (*QUADCOPTER*)," vol. 8, no. 1, pp. 454–460, 2018.
- [6] Z. Jamal, "Implementasi Kendali Pid Penalaan Ziegler-Nichols Menggunakan Mikrokontroler," *J. Inform.*, vol. 15, no. 1, pp. 81–88, 2015, doi: 10.30873/ji.v15i1.410.
- [7] R. Maulana, F. M. Ula, and G. E. Setyawan, "Sistem Kendali Take-Off *Quadcopter* Ar.Drone Menggunakan Logika Fuzzy," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput. Univ. Brawijaya*, vol. 2, no. 9, pp. 3060–3066, 2018.
- [8] S. Lins, M. Garratt, A. Lambert, and P. Li, "6DoF Motion estimation for UAV landing on a moving shipdeck using real-Time on-board vision," *Australas. Conf. Robot. Autom. ACRA*, 2015.
- [9] M. Thowil Afif and I. Ayu Putri Pratiwi, "Analisis Perbandingan Baterai Lithium-Ion, Lithium-Polymer, Lead Acid dan Nickel-Metal Hydride pada Penggunaan Mobil Listrik - Review," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 6, no. 2, pp. 95–99, 2015, doi: 10.21776/ub.jrm.2015.006.02.1.
- [10] A. Hendriawan, G. P. Utomo, and H. Oktavianto, "Sistem Kontrol Altitude Pada UAV Model *Quadcopter* Dengan Metode PID," *14th Ind. Electron. Semin. 2102 (IES 2012)*, vol. 2012, no. Ies, pp. 12–16, 2012.