

# APLIKASI LOGIKA FUZZY SEBAGAI AUTO TUNING PARAMETER KONTROLER PID PADA PENGENDALIAN ANTENA TRACKER BERBASIS GPS

Ahmad Riyandi<sup>\*)</sup>, Sumardi, Teguh Prakoso

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

<sup>\*)</sup>E-mail: [ahmad.ian.riyandi@gmail.com](mailto:ahmad.ian.riyandi@gmail.com)

## Abstrak

Wahana bergerak yang memiliki area jelajah luas seperti roket atau *unmanned aerial vehicle* (UAV) membutuhkan antena untuk dapat melakukan komunikasi. Antena ditempatkan di wahana dan di stasiun bumi (*ground control station*, GCS). Umumnya GCS menggunakan antena direksional yang dilengkapi dengan sistem penggerak. Agar antena dapat diarahkan dengan akurasi tinggi ke objek dibutuhkan suatu sistem kendali. Sistem kendali antena biasanya menggunakan metode Proporsional, Proporsional-Integral, Proporsional-Integral-Derivatif (PID) konvensional, maupun algoritma *step-tracking* berbasis *received signal strength indicator* (RSSI). Penelitian ini mengendalikan antena dengan metode kontrol PID yang ditala menggunakan logika fuzzy berbasis Global Positioning System (GPS). Sistem antena tracker yang dihasilkan mampu menjejak objek dengan galat minimal  $0^\circ$  pada sudut azimut dan elevasi, dan memiliki galat maksimal  $49^\circ$  pada sudut azimut dengan objek berecepatan 60 km/jam. Sistem ini mempunyai waktu naik rata-rata 0,7 detik pada sudut azimut dan 1,08 detik pada sudut elevasi. Pengujian menunjukkan bahwa metode fuzzy PID adalah lebih baik dibandingkan metode PID konvensional dengan waktu naik rata-rata lebih cepat 0,53 detik pada sudut azimut dan 0,66 detik pada sudut elevasi.

*Kata kunci: Antenna Tracker, self-tuning fuzzy-PID, UAV, GPS.*

## Abstract

Moving vans with wide ranges of space such as a rocket or unmanned aerial vehicle (UAV) require an antenna to communicate. The antenna is placed in the rides and on the ground station (*ground control station*, GCS). Generally GCS uses a directional antenna equipped with drive system. A control system is required to direct the antenna to the object with a high accuracy. Antenna control systems typically use the Proportional, Proportional-Integral, Conventional Proportional-Integral-Derivative (PID), and step-tracking algorithms based on the received signal strength indicator (RSSI). This research controls the antenna with the PID control method that is tuned using fuzzy logic based on Global Positioning System (GPS). The resulting antenna tracker system is capable of tracking objects with a minimal error of  $0^\circ$  at azimuth and elevation angle, and has a maximal error of  $49^\circ$  for a 49 km/hour speed object. The system has an average rise time of 0.7 seconds at an azimuth angle and 1.08 seconds at an elevation angle. Tests show that the fuzzy-PID method is better than the conventional PID method with an average rise time of 0.53 seconds faster at an azimuth angle and 0.66 seconds faster at the elevation angle.

*Keywords: Antenna Tracker, self-tuning fuzzy-PID, UAV, GPS.*

## 1. Pendahuluan

Pada wahana bergerak yang memiliki area jelajah luas seperti roket, atau *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV), dibutuhkan antena pada sisi objek dan pada stasiun bumi atau *base station* atau *Ground Control Station* (GCS) untuk dapat melakukan komunikasi. Pada GCS umumnya terdapat sistem yang dapat menggerakkan antena ke arah objek pada waktu-nyata di kisaran sudut azimut dan sudut elevasi, tujuannya adalah untuk mengatasi kekurangan dari

antena *directional* yang memiliki sudut pancar yang sempit. Antena yang digunakan GCS umumnya berjenis *directional* karena memiliki jarak jangkauan yang lebih jauh dibanding antena *omnidirectional* dengan penggunaan daya yang sama [1]. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk melacak objek adalah dengan menggunakan *Global Positioning System* (GPS) yang dipasang pada GCS dan juga objek sehingga diketahui koordinat, perubahan ketinggian, dan sudut diantara keduanya [2]. Metode lain yang dapat digunakan adalah

dengan menggunakan *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) yakni menentukan kuat sinyal transmisi yang dipancarkan objek terhadap minimal 2 buah antenna pada GCS [3].

Penelitian dan pengembangan sistem penggerak antenna yang telah dilakukan antara lain sebagai penerima data *video link* dari sebuah UAV menggunakan 5 kanal antenna *monopulse* [3], penelitian menggunakan metode kontrol seperti kontroler *Proportional* [2], kontroler *Proportional-Integral* (PI) [4], kontroler *Proportional, Integral, Derivative* (PID) konvensional [5], algoritma *step-tracking* dengan kontroler  $H_{\infty}$  untuk desain *tracking loop* tertutup [6], hingga menggunakan *Fuzzy-PD* [7], [8]. Namun metode pelacakan yang banyak digunakan adalah metode RSSI.

Pada penelitian ini, dirancang sistem kendali penggerak antenna sebagai pelacak objek menggunakan metode kontrol PID yang parameternya ditala menggunakan logika *fuzzy*, diharapkan sistem ini memiliki kinerja yang cepat dan memiliki akurasi tinggi.

## 2. Metode

Sistem *antenna tracker* terdiri atas antenna Yagi-Uda 433MHz, perangkat pengendali gerak antenna, dan objek pengirim data ke antenna.

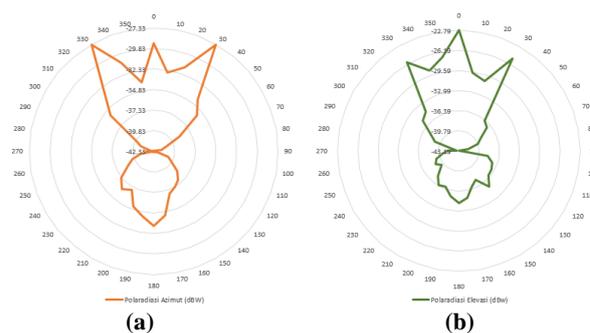
### 2.1 Perangkat Keras

#### 2.1.1 Antena Yagi-Uda 433 MHz

Perancangan antenna Yagi-Uda 433 MHz dilakukan pada program simulasi CST Studio Suite sebelum kemudian dipabrikasi seperti gambar 1. Antena yang dirancang harus memenuhi parameter pembuatan antenna, diantaranya adalah nilai  $VSWR \leq 2$ , nilai toleransi *reflection coefficient* antenna  $\leq -10$  dB, nilai *link budget*  $\geq 15$  dBm, dan pola radiasi antenna yang sesuai dengan antenna direksional. Pola radiasi antenna ditunjukkan oleh gambar 2 (a) dan 2 (b).



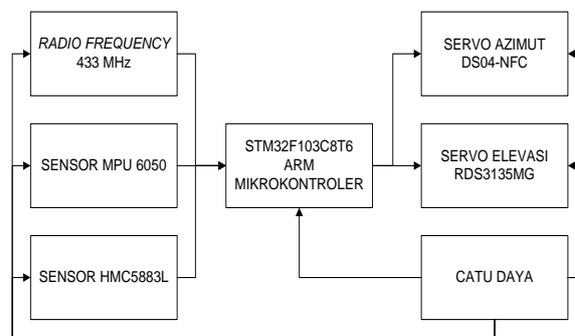
Gambar 1. Antena Yagi – Uda 433MHz yang telah dipabrikasi.



Gambar 2. Grafik hasil pengujian polaradiasi antenna, a. Secara horizontal, b. Secara vertikal.

#### 2.1.2 Perangkat Keras Pengendali Antena

Perangkat pengendali gerak antenna terdiri dari mekanik,, dan perangkat keras yang ditunjukkan oleh gambar 3.

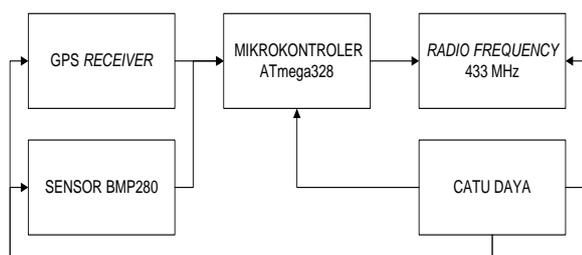


Gambar 3. Blok diagram perancangan elektronika perangkat pengendali antenna.

Pada perangkat ini digunakan dua buah motor servo sebagai aktuator, masing-masing sebagai penggerak antenna pada sudut azimut dan sudut elevasi. Sensor *magnetometer* HMC5883L berfungsi sebagai pemberi umpan balik dan patokan bagi servo azimut untuk bergerak ke sudut yang benar. Sensor MPU-6050 terdiri dari sensor *accelerometer* dan *gyroscope* yang dapat digunakan untuk membaca sudut elevasi dan digunakan sebagai umpan balik bagi servo elevasi agar bergerak ke sudut yang benar. Sebuah radio telemetri 433 MHz yang terhubung dengan antenna Yagi-Uda 433 MHz digunakan untuk menerima data dari objek yang kemudian dikirim ke mikrokontroler STM32F108C untuk diolah dan dijadikan referensi masukan bagi sistem pengendali antenna ini. Semua komponen tersebut mendapatkan suplai tegangan dari sistem catu daya yang terdiri dari satu baterai 11,1 V dan beberapa regulator tegangan sesuai dengan level tegangan yang dibutuhkan setiap komponen.

#### 2.1.3 Perangkat Keras Objek

Perancangan objek terdiri dari perancangan perangkat keras seperti ditunjukkan oleh gambar 4.



Gambar 4. Blok diagram perancangan elektronika perangkat keras objek.

Perangkat objek ini berfungsi untuk mengirim data lokasi aktual ke pengendali antenna. Informasi lokasi aktual ini diperoleh melalui pembacaan sensor barometrik BMP280 dan GPS receiver. Sensor barometrik BMP280 digunakan untuk mengukur ketinggian (*altitude*) objek, sedangkan GPS receiver berfungsi untuk mendapatkan koordinat aktual objek, yaitu *latitude* dan *longitude*. Data *latitude*, *longitude*, dan *altitude* diproses oleh mikrokontroler ATmega328 dan kemudian dikirimkan ke perangkat pengendali antenna melalui radio telemetri 433 MHz. Semua komponen tersebut disuplai oleh sistem catu daya yang terdiri dari baterai 7,4 V dan rgulator tegangan.

## 2.2 Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak terdiri dari perancangan perangkat lunak untuk objek, pengendali gerak antenna, dan GUI. Perangkat lunak menggunakan arduino IDE untuk *programming*. Pada sisi objek program yang dirancang adalah pembacaan data sensor BMP280, parsing data dan perubahan satuan koordinat GPS dari *degree minute* ke *degree decimal*, dan pengiriman data ke GCS melalui radio frekuensi 433 MHz menggunakan komunikasi serial dengan baudrate 9600 bps. Pada sisi pengendali antenna program yang dirancang adalah pembacaan sensor HMC5883L, pembacaan dan tapis filter sensor MPU6050, penentuan *setpoint* sudut azimut dan elevasi, algoritma sistem kontrol PID, dan algoritma *tuning* PID menggunakan logika *fuzzy*. Perancangan perangkat lunak untuk graphic user interface menggunakan Visual studio C# dengan fitur dapat memonitor respon pengendali antenna dalam mengikuti *setpoint* dari objek. Perancangan Visual Studio C# mengambil data melalui komunikasi serial dengan *baudrate* 57600.

### 2.2.1 Penentuan *Setpoint* Azimut

Nilai *setpoint* azimut diperoleh menggunakan persamaan *bearing* yang keluarannya adalah sudut azimut. Perhitungan sudut *bearing* menggunakan persamaan 1 sampai dengan persamaan 4.

$$X = \cos \varphi_o * \sin \Delta\lambda \quad (1)$$

$$Y = \cos \varphi_a * \sin \varphi_o - \sin \varphi_a * \cos \varphi_o * \cos \Delta\lambda \quad (2)$$

$$\Delta L = \lambda_o - \lambda_a \quad (3)$$

$$z = \text{atan}(X, Y) \quad (4)$$

Dimana  $z$  = sudut azimut,  $\lambda_a$  = *longitude* antenna,  $\lambda_o$  = *longitude* objek,  $\varphi_a$  = *latitude* antenna, dan  $\varphi_o$  = *latitude* objek.

### 2.2.1 Penentuan *Setpoint* Elevasi

*Setpoint* elevasi antenna diperoleh dari perhitungan trigonometri segitiga, yaitu menggunakan informasi nilai *latitude* dan jarak dari GCS ke titik proyeksi objek di permukaan bumi (Haversine). Perhitungan Haversine pada permukaan bumi dihitung menggunakan persamaan 5 sampai dengan persamaan 9.

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 \quad (5)$$

$$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 \quad (6)$$

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right) + \cos \varphi_1 * \cos \varphi_2 * \sin^2\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right) \quad (7)$$

$$c = 2 * \text{atan}(\sqrt{a}, \sqrt{1-a}) \quad (8)$$

$$d = R * c \quad (9)$$

Dimana  $\varphi_o$  = *latitude* objek,  $\varphi_a$  = *latitude* GCS,  $\lambda_o$  = *longitude* objek,  $\lambda_a$  = *longitude* GCS,  $R$  = radius bumi (6,371km), dan  $d$  = haversine. Setelah didapat nilai haversine dan ketinggian objek dari GCS, digunakan rumus trigonometri segitiga untuk mencari sudut antara GCS dan objek terhadap permukaan bumi.

Dari nilai *setpoint* yang telah diperoleh di atas, maka dapat dicari nilai *error* dan  $\Delta error$  yang merupakan masukan bagi sistem kontrol *fuzzy* PID. Perhitungan nilai *error* dan  $\Delta error$  ditunjukkan oleh persamaan 10 dan 11.

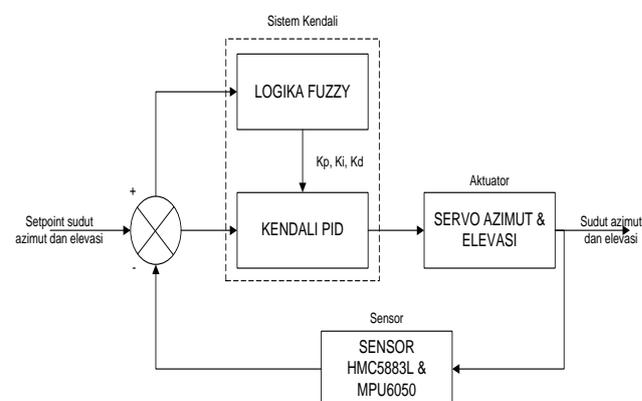
$$error = \text{Setpoint} - \text{Aktual} \quad (10)$$

$$\Delta error = error_1 - error_0 \quad (11)$$

Dimana  $error_1$  = galat aktual, dan  $error_0$  = galat sebelum.

## 2.3 Metode Kontrol

Diagram kontrol *self tuning* PID sistem pengendalian antenna ditunjukkan oleh Gambar 5.



Gambar 5. Diagram kontrol sistem antenna tracker.

### 2.3.1 Kontrol PID

Dengan mengacu pada persamaan matematis PID, versi diskret yang di tanam dalam sistem digital akan memiliki bentuk seperti nampak pada persamaan 12 sampai 15.

$$Up(k) = Kp \cdot e(k) \tag{12}$$

$$Ui(k) = Ui(k - 1) + Ki \cdot Tc \cdot e(k) \tag{13}$$

$$Ud(k) = Kd \frac{e(k) - e(k-1)}{Tc} \tag{14}$$

$$U(k) = Up(k) + Ui(k) + Ud(k) \tag{15}$$

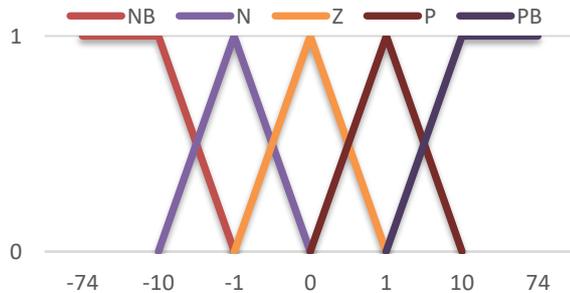
Dimana  $Up(k)$  = kontrol proporsional,  $Ui(k)$  = kontrol integral,  $Ud(k)$  = kontrol derivatif, dan  $U(k)$  = kontrol PID. Persamaan inilah yang digunakan pada algoritma pengendalian servo azimuth dan elevasi.

### 2.3.2 Logika Fuzzy

Pada penelitian ini *fuzzy* mendapat masukan dari sensor berupa nilai elevasi dan azimuth. Pada penentuan *membership function*, dilakukan pengujian pada beberapa tingkat galat yang dapat dilalui, sehingga dapat ditentukan sudut minimum hingga maksimumnya.

#### A. Membership Function

Masukan yang digunakan sebagai *membership function* adalah nilai *error* dan  $\Delta error$  pada sudut elevasi, dan nilai *error* dan  $\Delta error$  pada sudut azimuth sehingga diperoleh empat fungsi keanggotaan yang terdiri dari tiga segitiga dan dua trapesium. Salah satu fungsi keanggotaan adalah masukan *error* pada sudut elevasi seperti gambar 6.



Gambar 6. Himpunan keanggotaan masukan *error* pada sudut elevasi.

#### B. Rule Base

Basis aturan dibuat sesuai dengan keluaran yang diinginkan sebagai masukan parameter PID. Basis aturan dibagi menjadi 3 yaitu basis aturan untuk nilai  $Kp$  seperti pada tabel 1, basis aturan untuk nilai  $Ki$ , dan basis aturan untuk nilai  $Kd$ . Penentuan *rule base* didasarkan pada karakteristik respon PID terhadap nilai parameter  $Kp$ ,  $Ki$ , dan  $Kd$  yang di butuhkan sistem.

Tabel 1. Basis aturan *fuzzy tuning Kp* pada sudut *pitch* dan *azimuth*

Error $\Delta Error$	Negative Big	Negative	Zero	Positive	Positive Big
Negative Big	KS	B	B	K	B
Negative	K	B	B	K	BS
Zero	BS	S	S	S	BS
Positive	BS	K	B	B	K
Positive Big	B	K	B	B	KS

Nilai-nilai parameter *rule base* didapatkan melalui *tuning* PID diperoleh dengan metode *trial and error*. Adapun makna dari variabel “KS” adalah sangat kecil, “K” adalah kecil, “S” adalah sedang, “B” adalah besar, dan “BS” adalah sangat besar. Parameter *singleton* didapatkan dari hasil *tuning* PID *trial and error*.

#### C. Defuzzifikasi

Dalam perancangan *fuzzy* metode sugeno, untuk mendapatkan nilai keluaran *fuzzy* digunakan metode *weighted average* untuk semua nilai keluaran masing-masing aturan. Metode *weighted average* dilakukan dengan menjumlahkan hasil kali masing-masing bobot dengan nilai keluaran kemudian dibagi dengan jumlah bobot seperti ditunjukkan persamaan 16.

$$z = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_i(x) \times k_n}{\mu_i(x)} \tag{16}$$

Dimana  $z$  = defuzzifikasi,  $\mu_i$  = Bobot, dan  $k_n$  = nilai keluaran.

### 3. Hasil dan Analisis

Hasil dari penelitian ini diperoleh melalui serangkaian pengujian, di antaranya adalah pengujian sensor, validasi GPS, dan pengujian metode kontrol. Implementasi dari semua komponen tersebut diperoleh saat pengujian sistem secara keseluruhan, yaitu dengan menggunakan objek berupa *quadcopter*.

#### 3.1 Pengujian Metode Kontrol

Pengujian ini bertujuan untuk membandingkan respon kontroler PID konvensional dengan PID *self tuning fuzzy*.

##### 3.1.1 Pengujian sudut elevasi

Pengujian pada sudut elevasi dilakukan pada *setpoint* 10°, 30°, dan 70° yang disajikan dalam tabel seperti pada tabel 2. Dari ketiga pengujian PID diperoleh waktu naik pada ketiga masukan sudut di atas adalah 2,76 detik. Pada kendali *fuzzy* PID pertambahan nilai waktu naik seiring dengan peningkatan *setpoint* tidak signifikan. Rata-rata waktu naik pada kendali *fuzzy* PID adalah 2,1 detik.

Tabel 2. Hasil pengujian sudut elevasi.

No	Waktu Naik (detik)
----	--------------------

	Sudut Pengujian (°)	PID Konvensional	PID self tuning fuzzy	Selisih (detik)
1	10	2,5	2,1	0,4
2	30	2,6	1,9	0,7
3	70	3,2	2,3	0,9
Rata - rata		2,76	2,1	0,67

### 3.1.2 Pengujian sudut azimut

Pengujian gerak servo azimut dilakukan pada dua arah putaran. Putaran searah jarum jam (CW) diuji pada sudut 30°, 90°, dan 180°. Putaran berlawanan arah jarum jam (CCW) diuji pada sudut 210°, dan 270°. Hasil pengujian disajikan dalam tabel 3. Dari tiga pengujian putaran CW dan dua pengujian putaran CCW tersebut terlihat bahwa waktu naik pada kendali fuzzy PID masih memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan kendali PID. Rata-rata waktu naik pada ketiga masukan sudut CW di atas adalah 1,56 detik untuk kendali PID dan 0,9 untuk kendali fuzzy PID. Pada masukan sudut CCW, Rata-rata waktu naik untuk kendali PID adalah 1,45 detik dan kendali fuzzy PID adalah 1,05 detik. Jadi logika fuzzy dapat mengoptimalkan kendali PID yang dibuktikan dengan hasil yang lebih baik karena mampu mencapai setpoint dalam waktu yang lebih singkat tanpa overshoot.

Tabel 3. Hasil pengujian sudut azimut.

No.	Sudut Pengujian (°)	Waktu Naik (detik)		Selisih (detik)
		PID Konvensional	PID self tuning fuzzy	
1	30	1,4	0,7	0,7
2	90	1,4	0,8	0,6
3	180	1,9	1,2	0,7
4	210	1,4	1,2	0,2
5	270	1,5	0,9	0,6
Rata - rata		1,52	0,96	0,56

Pengujian gerak servo CCW dilakukan pada sudut 210° dan 270°. Hasil pengujian disajikan dalam bentuk grafik seperti pada gambar 8. Dari kedua pengujian tersebut ditemukan bahwa rata-rata rise time pada kendali PID konvensional adalah 1,45 detik, sedangkan rata-rata rise time pada kendali fuzzy PID adalah 1,05 detik.

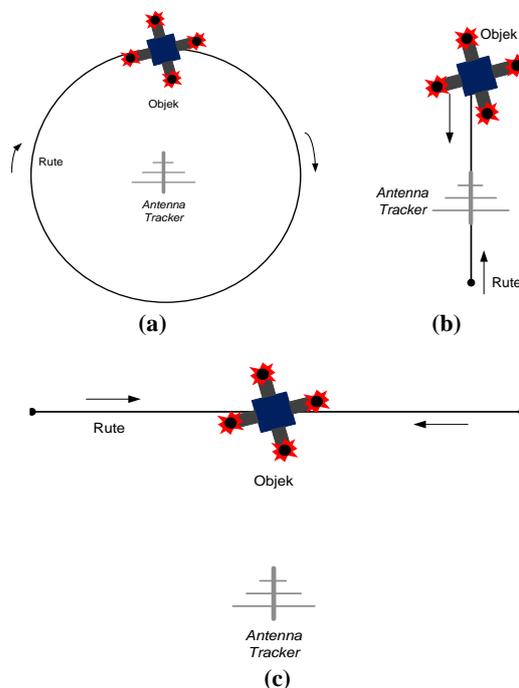
## 3.2 Pengujian Keseluruhan

Pengujian ini merupakan implementasi dari seluruh komponen yang digunakan pada sistem antenna tracker. Pengujian ini dibagi dua, yaitu pengujian menggunakan objek tak terukur dan pengujian menggunakan objek terukur..

### 3.2.1 Pengujian dengan Objek Tidak Terukur

Pengujian ini menggunakan quadcopter sebagai objek yang akan dijejak oleh antenna tracker. Pengujian ini dikatakan tidak terukur karena objek yang digunakan dibiarkan bergerak dengan kecepatan bebas dan lintasan yang tidak tetap. Pengujian ini menggunakan beberapa variasi lintasan quadcopter untuk menguji kinerja sistem.

Variasi lintasan itu adalah gerakan melingkar seperti gambar 7 (a), gerak lurus horizontal seperti gambar 7 (b), dan gerak lurus melintasi antenna seperti pada gambar 7(c).



Gambar 7. Rute objek (a) gerak melingkar, (b) gerak lurus melintasi antenna, dan (c) gerak lurus horizontal.

Data hasil ketiga percobaan tersebut dirangkum dalam tabel 4 dan 5. Dari tabel dapat disimpulkan bahwa sistem dapat mengikuti objek pada berbagai variasi rute yang ditandai dengan galat minimal semua percobaan adalah 0°. Sistem juga masih bisa mengikuti objek tanpa kehilangan data meskipun mengalami galat maksimal hingga 91° sudut azimut dan 38° sudut elevasi. Besarnya nilai galat maksimal ini terjadi karena objek berubah arah secara drastis sebelum GPS memperbarui data nya.

Tabel 4. Hasil pengujian tidak terukur pada sudut azimut.

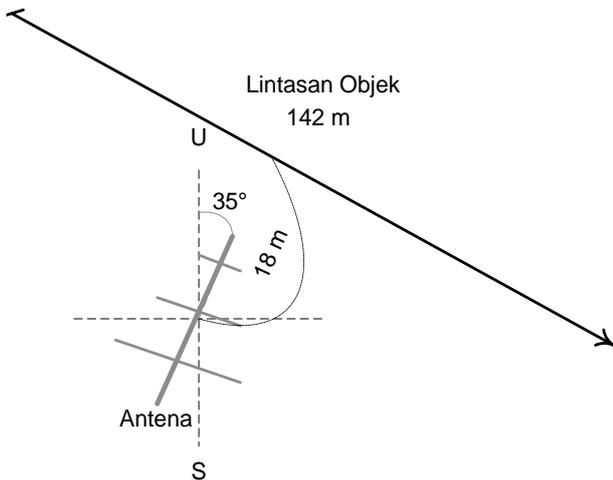
No	Pengujian	Waktu Naik (detik)	Galat Maks (°)	Galat Min (°)	Galat Rerata (°)
1	Gerak Melingkar	0,5	91	0	9,76
2	Gerak Lurus Horizontal	0,7	83	0	4,4
3	Gerak Lurus Melintasi Antena	0,4	76	0	10,2

Tabel 5. Hasil pengujian tidak terukur pada sudut elevasi.

No	Pengujian	Waktu Naik (detik)	Galat Maks (°)	Galat Min (°)	Galat Rerata (°)
1	Gerak Melingkar	1	38	0	6,47
2	Gerak Lurus Horizontal	1,08	36	0	3,27
3	Gerak Lurus Melintasi Antena	1	38	0	9,6

### 3.2.2 Pengujian dengan Objek Terukur

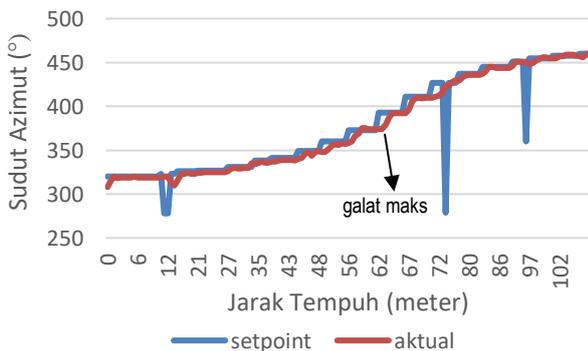
Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan objek yang kecepatannya dapat diukur, yaitu menggunakan sepeda motor. Pada pengujian ini sepeda motor dikendarai pada lintasan seperti pada Gambar 8 dengan tiga variasi kecepatan. Pengujian difokuskan pada respon servo azimuth dengan sudut pengujian antara 320° sampai 100° untuk memudahkan analisis ketiga variasi kecepatan.



Gambar 8. Lintasan objek pada pengujian terukur.

A. Kecepatan Objek 20 km/jam

Pada pengujian ini, objek diletakkan pada sepeda motor yang bergerak pada lintasan dengan kecepatan 20 km/jam. Berdasarkan data hasil pengujian diperoleh nilai galat rata-rata 2,4°, galat maksimal 19°, dan waktu penjejakan 14,4 detik. Pada grafik hubungan sudut dengan jarak seperti pada gambar 9 terlihat bahwa galat maksimal tersebut sebanding dengan jarak tempuh obek sejauh 6,5 meter.

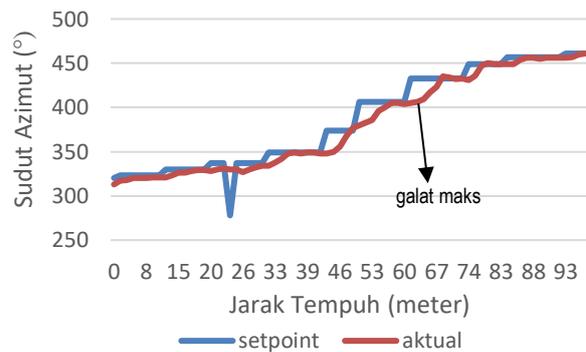


Gambar 9. Pengujian dengan objek berkecepatan 20 km/jam.

Pada grafik terlihat beberapa lonjakan nilai setpoint yang disebabkan oleh kesalahan data GPS, namun kesalahan ini tidak diikuti oleh sistem karena terjadi pada waktu yang sangat singkat.

B. Kecepatan Objek 40 km/jam

Pada pengujian ini, objek diletakkan pada sepeda motor yang bergerak pada lintasan dengan kecepatan 40 km/jam. Berdasarkan data hasil pengujian diperoleh nilai galat rata-rata 6,8°, galat maksimal 28°, dan waktu penjejakan 7,3 detik. Pada grafik hubungan sudut dengan jarak seperti pada gambar 10 terlihat bahwa galat maksimal tersebut sebanding dengan jarak tempuh obek sejauh 9,7 meter.

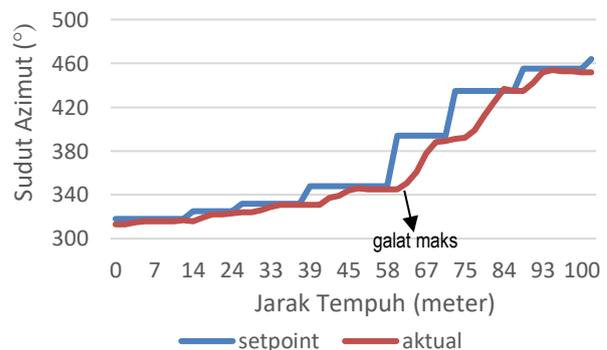


Gambar 10. Pengujian dengan objek berkecepatan 40 km/jam.

Pada grafik terlihat beberapa lonjakan nilai setpoint yang disebabkan oleh kesalahan data GPS, namun kesalahan ini tidak diikuti oleh sistem karena terjadi pada waktu yang sangat singkat.

C. Kecepatan Objek 60 km/jam

Pada pengujian ini, objek diletakkan pada sepeda motor yang bergerak pada lintasan dengan kecepatan 60 km/jam. Berdasarkan data hasil pengujian diperoleh nilai galat rata-rata 9,3°, galat maksimal 49°, dan waktu tracking 5,6 detik. Pada grafik hubungan sudut dengan jarak seperti pada gambar 11 terlihat bahwa galat maksimal tersebut sebanding dengan jarak tempuh obek sejauh 17,6 meter.



Gambar 11. Pengujian dengan objek berkecepatan 60 km/jam.

Hasil pengujian dengan objek terukur dirangkum dalam tabel 6. Dari ketiga pengujian tersebut terlihat bahwa sistem dapat mengikuti objek meskipun kecepatannya dinaikkan. Hal ini dibuktikan oleh waktu penjejakan yang

semakin kecil ketika kecepatan diperbesar. Galat sudut maupun jarak semakin besar seiring dengan membesarnya kecepatan objek. Implikasi komunikasi atau penalti pada galat maksimal diketahui dengan menghitung nilai SNR antena. Perhitungan SNR menggunakan data pola radiasi antena di mana kekuatan relatif medan antena pada posisi aktual dikurangi dengan kekuatan relatif medan antena pada arah galat maksimalnya. Peningkatan kecepatan mengakibatkan nilai galat rata-rata dan galat maksimal semakin besar. Hal ini terjadi karena nilai *update rate* GPS maksimal 5 Hz yang artinya data posisi objek diperbarui maksimal setiap 0,2 detik sekali.

**Tabel 6. Hasil pengujian terukur pada sudut azimuth.**

No	Laju (km/jam)	Waktu Penjejakan (detik)	Galat Maks (°)	Jarak pada Galat Maks (m)	Galat Rerata (°)	Penalti (dB)
1	20	14,4	19	6,5	2,4	2,22
2	40	7,3	28	9,7	6,8	-1,89
3	60	5,6	49	17,6	9,3	6,37

Dari data tabel terlihat penalti pada laju 40 km/jam bernilai negatif. Hal ini terjadi karena pola radiasi antena yang tidak ideal di mana kekuatan relatif medan terbesar tidak berada di sudut 0°, melainkan di sudut  $\pm 30^\circ$  (lih. Gambar 2).

#### 4. Kesimpulan

Telah berhasil dibuat sistem *antenna tracker* yang dapat mengikuti gerakan objek. Hasil pengujian sistem kontrol menunjukkan bahwa pengendalian PID *self tuning fuzzy* lebih baik dari pada PID konvensional dengan rata-rata waktu naik pada sudut elevasi adalah 2,1 detik (0,6 detik lebih cepat), pada sudut azimuth CW adalah 0,9 detik (0,7 detik lebih cepat), dan pada sudut azimuth CCW adalah 1,05 detik (0,4 detik lebih cepat) tanpa *overshoot*. Pengujian menggunakan objek tidak terukur menghasilkan kesimpulan bahwa sistem dapat mengikuti objek pada berbagai variasi rute yang ditandai dengan galat minimal semua percobaan adalah 0°, sistem juga masih bisa mengikuti objek tanpa kehilangan data meskipun mengalami galat maksimal hingga 91° sudut azimuth dan 38° sudut elevasi. Besarnya nilai galat maksimal ini terjadi karena objek berubah arah secara drastis sebelum GPS memperbarui datanya. Pengujian menggunakan objek terukur menghasilkan kesimpulan bahwa sistem dapat mengikuti objek meskipun kecepatannya dinaikkan yang dibuktikan oleh waktu *tracking* yang semakin kecil ketika kecepatan diperbesar. Namun peningkatan kecepatan mengakibatkan nilai galat rata-rata dan galat maksimal semakin besar. Hal ini terjadi karena nilai *update rate* GPS maksimal 5 Hz yang artinya data posisi objek diperbarui maksimal setiap 0,2 detik sekali.

#### Referensi

- [1]. Y. Guo dan S. D. Prior, "Development of active gimbal system for directional antenna on a small Remotely Piloted Aircraft (RPA)," dipresentasikan di RPAS Today - Opportunities and Challenges, United Kingdom, Jun. 10-12, 2014.
- [2]. E. R. Juma, H. Wijanto, dan U. Sunarya, "Implementasi dan Analisis Kinerja Sistem Automatic Tracking Control Polarisasi Antena Penerima Frekuensi 433 Mhz Berbasis Gps Implementation And Analysis Of System Automatic Tracking Control Performance 433Mhz Frequency Receiver Antenna Polarization Based," e-Proceeding Eng., vol. 2, no. 1, hal. 185–192, Apr. 2015.
- [3]. S. Jenvey, J. Gustafsson, dan F. Henriksson, "A Portable Monopulse Tracking Antenna For Uav Monash UAVs," dalam Unmanned air vehicle systems: 22nd International Conference, Bristol, United Kingdom, 2007.
- [4]. M. Kim, J. Kim, dan O. Yang, "Precise attitude control system design for the tracking of parabolic satellite antenna," Int. J. Smart Home, vol. 7, no. 5, hal. 275–290, Agt. 2013.
- [5]. Y. Yalçın dan S. Kurtulan, "A rooftop antenna tracking system: Design, simulation, and implementation," IEEE Antennas Propag. Mag., vol. 51, no. 2, hal. 214–224, Apr. 2009.
- [6]. C.-H. Cho, S.-H. Lee, T.-Y. Kwon, dan C. Lee, "Antenna Control System using Step Tracking Algorithm with  $H_\infty$  Controller," Int. J. Control. Autom. Syst., vol. 1, no. 1, hal. 83–92, Mar. 2003.
- [7]. J. M. Lin dan P. K. Chang, "Intelligent PD-type fuzzy controller design for mobile satellite antenna tracking system with parameter variations effect," dalam Computational Intelligence in Control and Automation (CICA)- 2011 IEEE Symposium, vol. 1, hal. 1–5, Apr. 2011.
- [8]. P. K. Chang dan J. M. Lin, "Mobile satellite antenna tracking system design with intelligent controller," WSEAS Trans. Syst. Control, vol. 3, no. 5, hal. 435–446, Mei 2008.