

# PERANCANGAN ALAT PENGGERAK ANTENA MENGGUNAKAN METODE KONTROL *PROPORTIONAL, INTEGRAL, DERIVATIVE* (PID) UNTUK MELACAK OBJEK BERGERAK

Bagus Bernadi Saputra<sup>\*)</sup>, Wahyudi, dan Sudjadi

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

<sup>\*)</sup>E-mail: bagus.bernadi@gmail.com

## Abstrak

Base station atau Ground Control Station (GCS) umumnya menggunakan antena directional untuk dapat berkomunikasi dengan objek bergerak seperti roket dan Unmanned Aerial Vehicle (UAV). Antena directional memiliki jarak jangkauan yang jauh, namun memiliki sudut pancar yang sempit. Untuk mengatasi kekurangan dari antena directional, diperlukan alat yang dapat menggerakkan antena ke arah objek bergerak secara nyata pada kisaran sudut azimut dan elevasi. Pada penelitian ini, dirancang alat penggerak antena menggunakan metode kontrol Proportional, Integral, dan Derivative (PID) untuk melacak objek bergerak berbasis Global Positioning System (GPS) dan sensor barometer. Dari hasil perancangan dengan menggunakan nilai parameter PID yang digunakan pada sudut elevasi ( $K_p=0,03$ ,  $T_i=150$ , dan  $T_d=0,22$ ) menghasilkan plant yang mampu mencapai setpoint ( $74^\circ$ ) dalam waktu 2 detik. Parameter PID yang digunakan pada sudut azimut ( $K_p=3,5$ ,  $T_i=100$ , dan  $T_d=0,09$ ) menghasilkan plant yang mampu mencapai setpoint ( $180^\circ$ ) dalam waktu 1,1 detik. Dari hasil pengujian, diketahui antena dapat mengikuti objek bergerak (drone) dengan waktu terlama 1 detik pada plant azimut dan 1,5 detik pada plant elevasi. Plant elevasi memiliki Mean Absolute Error (MAE) =  $6,54^\circ$  dan plant azimut memiliki MAE =  $8,04^\circ$ .

*Kata Kunci:* alat penggerak antena, kontrol PID, pelacak objek bergerak, Ground Control Station, GPS

## Abstract

Generally, base station or Ground Control Station (GCS) use directional type of antennas to communicate with the moving object such as a rocket and an Unmanned Aerial Vehicle (UAV). Directional antenna has a long transmission range but narrow transmission angle. In order to overcome this shortcoming, a device that can move the antenna towards a moving object is needed. This research designs a device which can control antenna motion on the azimuth and elevation axis. This device is using Proportional, Integral, dan Derivative (PID) control method to track moving object base on Global Positioning System (GPS) and barometer sensor. From the PID parameter that used at elevation angle ( $K_p=0.03$ ,  $T_i=150$ , and  $T_d=0.22$ ), the plant can reach the setpoint ( $74^\circ$ ) within 2 second. From the PID parameter that used at azimuth angle ( $K_p=3.5$ ,  $T_i=100$ , and  $T_d=0.09$ ), the plant can reach the setpoint ( $180^\circ$ ) within 1.1 second. Based on the test result, antenna can move to follow object (drone) with the longest time 1 second on the azimuth plant and 1.5 second on the elevation plant. The Mean Absolute Error (MAE) at the azimuth plant is  $6.54^\circ$  and the MAE at the elevation plant is  $8.04^\circ$ .

*Keywords:* antenna motion controll, PID controll, moving object tracker, Ground Control Station, 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. Antena yang digunakan GCS umumnya berjenis *directional* karena memiliki jarak jangkauan yang lebih jauh dibanding antena *omnidirectional* dengan penggunaan daya yang sama [1]. Pada GCS, umumnya terdapat sistem yang dapat menggerakkan antena ke arah objek bergerak pada waktu-nyata di kisaran

sudut azimut dan sudut elevasi, tujuannya adalah untuk mengatasi kekurangan dari antena *directional* yang memiliki sudut pancar yang sempit. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk melacak objek bergerak adalah dengan bantuan *Global Positioning System* (GPS) *receiver* yang dipasang pada GCS dan juga objek bergerak sehingga diketahui koordinat, ketinggian terhadap permukaan laut, dan sudut diantara keduanya [2].

Penelitian dan pengembangan alat penggerak antena yang telah dilakukan antara lain sebagai penerima data *video link* dari sebuah UAV menggunakan 5 kanal antena *monopulse*

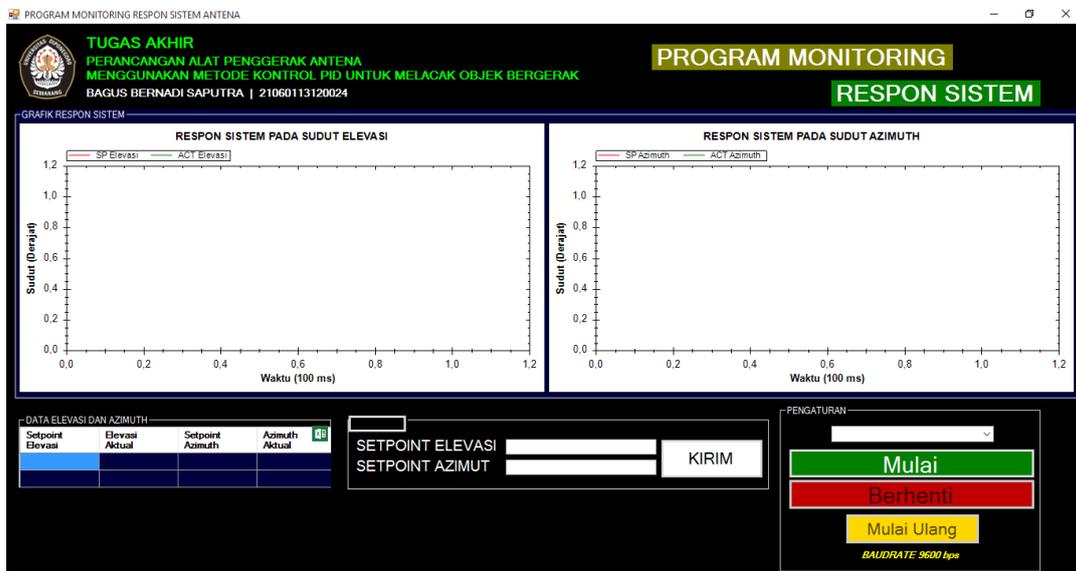
[3], penelitian menggunakan metode kontrol seperti kontroler *Proportional* [2], kontroler *Proportional-Integral* (PI) [4], kontroler *Proportional, Integral, Derivative* (PID) [5], [6], algoritma *step-tracking* dengan kontroler  $H_{\infty}$  untuk desain *tracking* loop tertutup [7], hingga menggunakan *Fuzzy-PD* [8], [9]. Dari penelitian yang telah dilakukan, metode pelacakan yang banyak digunakan adalah *Received Signal Strength Indicator* (RSSI). Pada penelitian ini, dirancang alat penggerak antenna menggunakan metode kontrol PID untuk melacak muatan objek bergerak berbasis GPS.

## 2. Metode

Perancangan sistem alat penggerak antenna terdiri atas perancangan *Graphical User Interface* (GUI), antenna Yagi-Uda 433MHz, muatan objek bergerak, dan alat penggerak antenna.

## 2.2. Perancangan Antena Yagi-Uda 433MHz

Perancangan antenna Yagi-Uda 433 MHz dilakukan menggunakan perangkat lunak *CST Studio Suite* hingga terpenuhi syarat  $VSWR \leq 2$  dan  $return\ loss \leq -10$  dB. Spesifikasi antenna yang didapatkan dari hasil perancangan ditunjukkan pada Tabel 1, diketahui  $\lambda = 69,3$ cm. Penentuan rumus umum didapat melalui metode *trial and error* berdasarkan dari referensi [10], [11]. Kemudian antenna dipabrikasi. Hasil pabrikasi antenna dapat dilihat pada Gambar 2. Dari hasil pabrikasi, dilakukan pengujian dengan hasil  $VSWR = 1,078$ ,  $return\ loss = -28,436$  dB, impedansi =  $49,352 \Omega$ , dan  $gain = 10,63$  dB. pola radiasi antenna dapat dilihat pada Gambar 3. Dari hasil perhitungan *link budget*, didapatkan nilai *link budget* untuk jarak transmisi antenna sejauh 1km = 63,46 dBm (nilai minimal *link budget* = 15 dBm).



Gambar 1. GUI pembacaan respon sistem alat penggerak antenna

### 2.1. Perancangan GUI

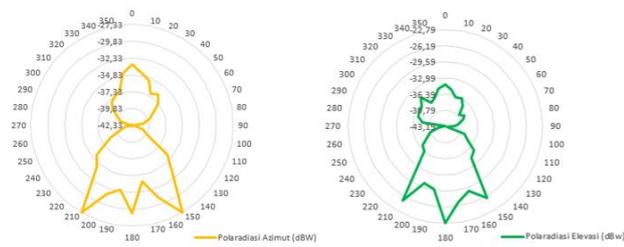
Pada penelitian ini, GUI digunakan untuk menampilkan 4 data (data aktual dan *setpoint* penggerak pada sumbu azimuth dan elevasi) dalam bentuk grafik dan tabel, kemudian terdapat fitur *save* sehingga data dapat disimpan kedalam *file* Ms. Excel. GUI ini dirancang dengan menggunakan perangkat lunak Visual Studio C#. Perancangan GUI bertujuan untuk mempermudah pembacaan respon sistem alat penggerak antenna yakni dengan menampilkan 4 data (data aktual dan *setpoint* penggerak pada sumbu azimuth dan elevasi) dalam bentuk grafik dan tabel, *input setpoint* elevasi dan azimuth, serta terdapat fitur *save* sehingga data dapat disimpan kedalam *file* Ms. Excel. Tampilan GUI pembacaan respon sistem alat penggerak antenna dapat dilihat pada Gambar 12.

Tabel 1. Spesifikasi antenna Yagi-Uda 433MHz

No	Elemen	Rumus umum	Hasil
1	Panjang <i>reflector</i>	$0,475\lambda$	32,917 cm
2	Panjang <i>driven</i>	$0,425\lambda$	29,452 cm
3	Panjang <i>director</i> 1	$0,375\lambda$	25,987 cm
4	Panjang <i>director</i> 2	$0,325\lambda$	22,522 cm
5	Panjang <i>director</i> 3	$0,275\lambda$	19,057 cm
6	Jarak antar elemen	$0,2\lambda$	13,86 cm
7	Diameter elemen	10mm	1 cm



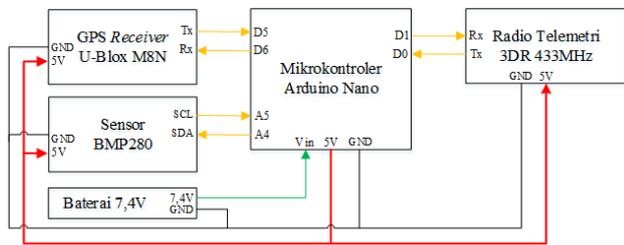
Gambar 2. Hasil pabrikasi Antena Yagi – Uda 433MHz



Gambar 3. Grafik hasil pengujian polaradiasi antena

### 2.3. Perancangan Muatan Objek Bergerak

Cara kerja dari perangkat ini adalah data koordinat dari GPS Receiver yang masih berformat NMEA diolah oleh mikrokontroler menjadi representasi koordinat *latitude* dan *longitude* muatan objek bergerak. Data ketinggian dari sensor BMP-280 dikirimkan ke mikrokontroler untuk dijadikan representasi ketinggian muatan objek bergerak. Selanjutnya, data ketinggian, *latitude*, dan *longitude* muatan objek bergerak dikirim oleh mikrokontroler ke alat penggerak antena melalui modul radio telemetry 3DR 433MHz menggunakan format yang dapat dimengerti oleh alat penggerak antena. Blok diagram perancangan elektronika dan hasil perancangan muatan objek bergerak dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Blok diagram perancangan elektronika muatan objek bergerak

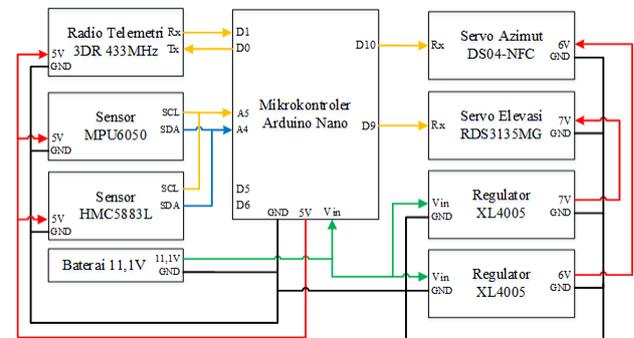


Gambar 5. Hasil rancangan muatan objek bergerak

### 2.4. Perancangan Alat Penggerak Antena

Cara kerja dari alat penggerak antena berbasis GPS ini adalah, modul radio telemetry 3DR 433MHz mengirimkan data *latitude*, *longitude*, dan ketinggian yang diterima dari muatan objek bergerak ke mikrokontroler ATmega328. Data *latitude*, *longitude*, dan ketinggian antena

diinisialisasikan secara manual ke dalam senarai program. Data *latitude*, *longitude*, serta ketinggian muatan objek bergerak dan antena dimasukkan kedalam persamaan *bearing*, *haversine*, dan trigonometri sehingga menghasilkan nilai *setpoint* sudut azimuth, dan *setpoint* sudut elevasi. *Setpoint* sudut azimuth kemudian dibandingkan dengan sudut hadap antena (sudut aktual) yang direpresentasikan oleh sudut kompas pada sensor HMC5883L sehingga diketahui nilai *error* azimuth. *Setpoint* sudut elevasi dibandingkan dengan sudut elevasi antena yang direpresentasikan oleh sudut *pitch* pada sensor MPU-6050 sehingga diketahui nilai *error* elevasi. *Error* elevasi dan *error* azimuth kemudian diolah menggunakan metode kontrol PID yang selanjutnya dijadikan nilai PWM pada masing-masing servo elevasi dan servo azimuth. Blok diagram perancangan elektronika dan hasil perancangan alat penggerak antena dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6. Blok diagram perancangan elektronika alat penggerak antena

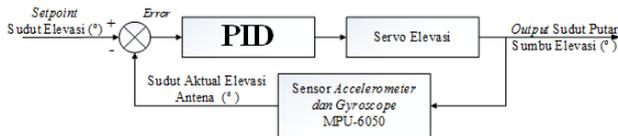


Gambar 7. Hasil perancangan alat penggerak antena

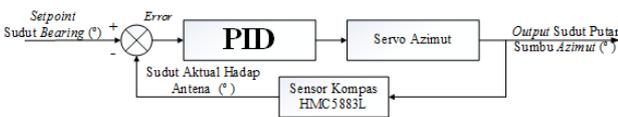
### 2.5. Perancangan Kontrol PID

Dalam penelitian ini, digunakan dua kontrol PID yang masing-masing berfungsi untuk mengontrol motor servo elevasi dan azimuth. Masing-masing *plant* ini bekerja dengan *error* elevasi dan *error* azimuth sebagai *input*-nya. Diagram kontrol PID pengendalian gerak antena pada sumbu elevasi dan azimuth masing-masing dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9. Kontrol PID dimasukkan ke dalam mikrokontroler menggunakan senarai program. Nilai periode *sampling* ( $T_s$ ) ditentukan berdasarkan dari interval proses *looping* pada mikrokontroler yakni 50ms

atau 0,05 detik. Nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  diperoleh melalui *tuning trial and error* [12]. *Setpoint* sudut elevasi didapat dari perhitungan sudut elevasi antara objek bergerak dan antena (sebelumnya dihitung selisih ketinggian dan jarak keduanya). *Setpoint* azimuth didapat dari perhitungan sudut *bearing* antara objek dan antena.



Gambar 8. Diagram kontrol servo elevasi

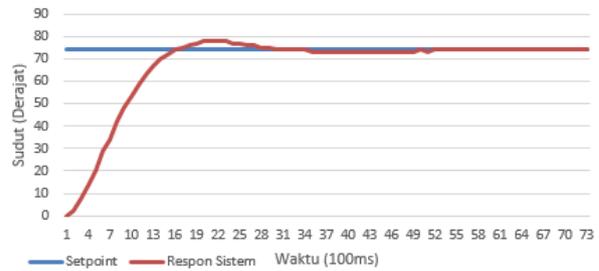


Gambar 9. Diagram kontrol servo azimuth

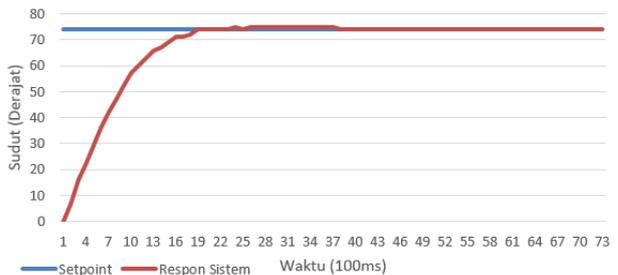
### 2.5.1. Perancangan kontrol PID pada plant elevasi

Perancangan kontrol PID pada sumbu elevasi alat penggerak antena dilakukan untuk menentukan nilai  $K_p$ ,  $T_i$ , dan  $T_d$  yang menghasilkan respon sistem yang memiliki *rise time* cepat, tanpa *overshoot*, dan *error steady state* kecil. Respon sistem yang diuji adalah respon saat antena berada di sudut  $0^\circ$  dengan *setpoint*  $74^\circ$ .

*Tuning* parameter PID dilakukan secara bertahap dari penentuan nilai  $K_p$  (didapat nilai  $K_p = 0,03$  dengan hasil *plant* memiliki *rise time* = 1600ms, *overshoot*  $4^\circ$ , *error steady state* =  $1^\circ$ , dan *settling time* = 3000ms), kemudian ditentukan nilai  $T_d$  (didapat nilai  $T_d = 0,22$  dengan hasil *plant* memiliki *risetime* dan *settling time* = 2300ms, tidak memiliki *overshoot*, dan *error steady state* =  $1^\circ$ ), kemudian ditentukan nilai  $T_i$  (didapat nilai  $T_i = 150$  dengan hasil *plant* memiliki *rise time* dan *settling time* = 2000ms, tidak memiliki *overshoot*, dan *error steady state* =  $0^\circ$ ). Dari hasil *tuning* parameter PID, ditentukan nilai parameter PID untuk *plant* elevasi alat penggerak antena adalah dengan nilai  $K_p = 0,03$ ,  $T_i = 150$ , dan  $T_d = 0,22$  dengan hasil sistem yang mampu mencapai *setpoint*  $74^\circ$  dalam waktu 2000ms tanpa *overshoot*. Grafik respon *plant elevasi* dengan nilai parameter  $K_p = 0,03$ ,  $K_i = 0$ , dan  $K_d = 0$  dapat dilihat pada Gambar 10. Grafik respon *plant elevasi* dengan nilai parameter  $K_p = 0,03$ ,  $T_i = 150$ , dan  $T_d = 0,22$  dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 10. Respon sistem elevasi hanya dengan  $K_p = 0,03$ ,  $K_d = 0$ , dan  $K_i = 0$

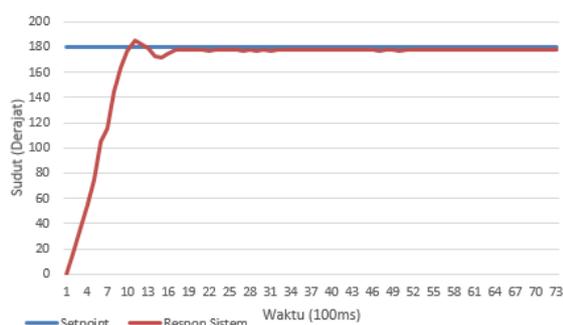


Gambar 11. Respon sistem elevasi dengan  $K_p = 0,03$ ,  $T_d = 0,22$ , dan  $T_i = 150$

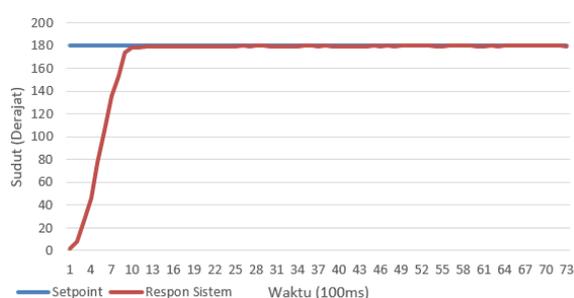
### 2.5.2. Perancangan kontrol PID pada plant azimuth

Perancangan kontrol PID pada sumbu azimuth alat penggerak antena dilakukan untuk menentukan nilai  $K_p$ ,  $T_i$ , dan  $T_d$  yang menghasilkan respon sistem yang memiliki *rise time* cepat, minim *overshoot*, dan *error steady state* = 0. Respon sistem yang diuji adalah respon saat antena berada di sudut  $0^\circ$  dengan *setpoint*  $180^\circ$ .

*Tuning* parameter PID dilakukan secara bertahap dari penentuan nilai  $K_p$  (didapat nilai  $K_p = 3,5$  dengan hasil *plant* memiliki *rise time* = 1000ms, *overshoot*  $5^\circ$ , *error steady state* =  $2^\circ$ , dan *settling time* = 1700ms), kemudian ditentukan nilai  $T_d$  (didapat nilai  $T_d = 0,09$  dengan hasil *plant* memiliki *risetime* = 1100ms, *settling time* = 1500ms, tidak memiliki *overshoot*, dan *error steady state* =  $3^\circ$ ), kemudian ditentukan nilai  $T_i$  (didapat nilai  $T_i = 100$  dengan hasil *plant* memiliki *rise time* dan *settling time* = 1100ms, tidak memiliki *overshoot*, dan *error steady state* =  $1^\circ$ ). Dari hasil *tuning* parameter PID, ditentukan nilai parameter PID untuk *plant* azimuth alat penggerak antena adalah dengan nilai  $K_p = 3,5$ ,  $T_i = 100$ , dan  $T_d = 0,09$  dengan hasil sistem yang mampu mencapai *setpoint*  $180^\circ$  dalam waktu 1100ms tanpa *overshoot*. Grafik respon *plant elevasi* dengan nilai parameter  $K_p = 3,5$ ,  $K_i = 0$ , dan  $K_d = 0$  dapat dilihat pada Gambar 12. Grafik respon *plant elevasi* dengan nilai parameter  $K_p = 3,5$ ,  $T_i = 100$ , dan  $T_d = 0,09$  dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 12. Respon sistem elevasi dengan  $K_p = 3,5$ ,  $K_i = 0$ , dan  $K_d = 0$



Gambar 13. Respon sistem elevasi dengan  $K_p = 3,5$ ,  $T_i = 100$ , dan  $T_d = 0,09$

### 3. Hasil dan Analisis

Hasil penelitian ini diperoleh melalui serangkaian pengujian seperti pengujian sensor-sensor, pengujian alat penggerak antenna terhadap *setpoint* yang berubah-ubah, pengujian alat penggerak antenna terhadap jarak yang ditentukan, dan pengujian antenna terhadap jarak yang tidak ditentukan.

#### 3.1. Pengujian Sensor

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai akurasi tiap-tiap sensor yang digunakan pada sistem alat penggerak antenna.

##### 3.1.1. Pengujian sensor MPU-6050

Pengujian sensor *accelerometer* dan *gyroscope* MPU-6050 dilakukan dalam rentang sudut  $0^\circ$  hingga  $74^\circ$  (batas sudut kerja alat penggerak antenna) dengan pengambilan data tiap  $5^\circ$ . Nilai *error* sensor didapat dengan membandingkan nilai sudut keluaran sensor MPU-6050 dengan nilai sudut dari pembacaan busur. Dari hasil pengujian, diketahui bahwa sensor MPU-6050 yang digunakan untuk membaca arah hadap antenna di sudut elevasi memiliki *error* terbesar =  $1^\circ$ .

##### 3.1.2. Pengujian sensor HMC5883L

Pengujian sensor *magnetometer* HMC5883L dilakukan dalam rentang sudut  $0^\circ$  hingga  $180^\circ$  (batas sudut kerja alat

penggerak antenna) dengan pengambilan data tiap  $10^\circ$ . Nilai *error* sensor didapat dengan membandingkan nilai sudut keluaran sensor HMC5883L dengan nilai sudut dari pembacaan busur. Dari hasil pengujian, diketahui bahwa sensor HMC5883L yang digunakan untuk membaca arah hadap antenna di sumbu azimuth memiliki *error* rata-rata =  $8^\circ$  dengan *error* terbesar =  $16^\circ$ .

#### 3.1.3. Pengujian sensor BMP280 dan GPS receiver U-Blox M8N

Pengujian sensor *barometric pressure* BMP280 dan GPS *receiver* U-Blox M8N dilakukan secara bersamaan pada kondisi diam dan diletakkan pada sebuah batu penanda koordinat suatu lokasi (*benchmark*) seperti ditunjukkan pada Gambar 14. Nilai *error* sensor BMP280 didapatkan dengan membandingkan nilai ketinggian keluaran sensor BMP280 dengan nilai ketinggian pada *benchmark* yang telah diketahui nilainya. Nilai *error* pengujian GPS *receiver* didapatkan dengan membandingkan koordinat *output* GPS *receiver* dengan koordinat posisi *benchmark* yang telah diketahui nilainya. Pengambilan data dilakukan selama 10 detik (sebagai referensi bahwa muatan objek bergerak tidak diam dalam waktu lama) dengan interval pengiriman data 100ms. Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali pada *benchmark* yang berbeda-beda. Dari hasil pengujian, diketahui sensor BMP280 memiliki *error* maksimal = 39m dan GPS *receiver* memiliki *error* maksimal = 10m.



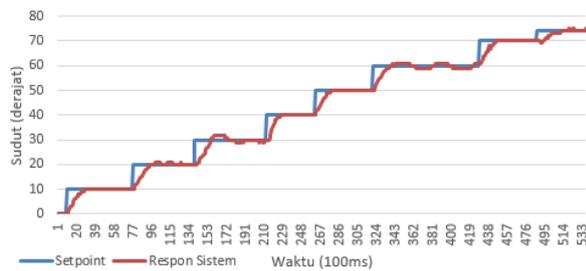
Gambar 14. Pengujian BMP280 dan GPS receiver pada *benchmark*

#### 3.2. Pengujian Alat Penggerak Antena

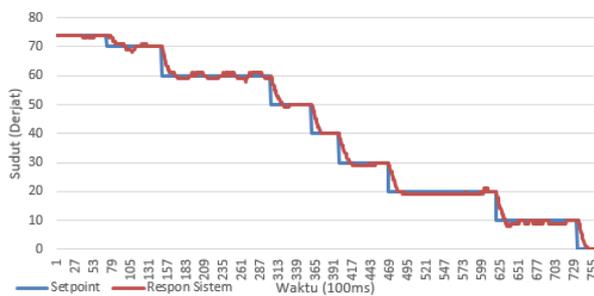
##### 3.2.1. Pengujian alat penggerak antenna terhadap *setpoint* yang berubah-ubah

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui respon alat penggerak antenna pada saat diberikan *setpoint* yang berubah-ubah. nilai *setpoint* di-input-kan melalui GUI. Pengujian pada sudut elevasi dilakukan pada rentang  $0^\circ$  sampai  $74^\circ$ . Pengujian dilakukan pada perubahan *setpoint*  $0^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $70^\circ$ , dan  $74^\circ$  dengan perubahan *setpoint* diturunkan dan dinaikkan. Pengujian pada sudut azimuth dilakukan pada rentang  $0^\circ$  sampai  $360^\circ$ . Pengujian dilakukan pada perubahan *setpoint* dengan kelipatan 30 dari  $0^\circ$  sampai  $360^\circ$  dengan perubahan *setpoint* diturunkan dan dinaikkan. Pengujian *plant* elevasi

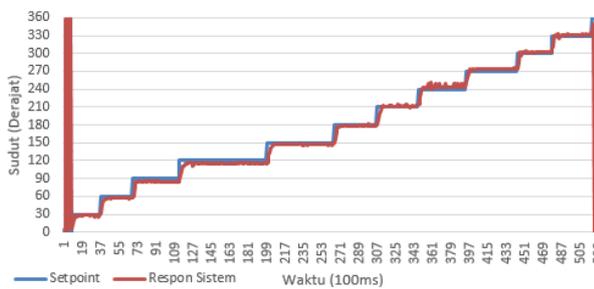
dapat dilihat pada Gambar 15 dan Gambar 16. Pengujian *plant* azimut dapat dilihat pada Gambar 17 dan Gambar 18.



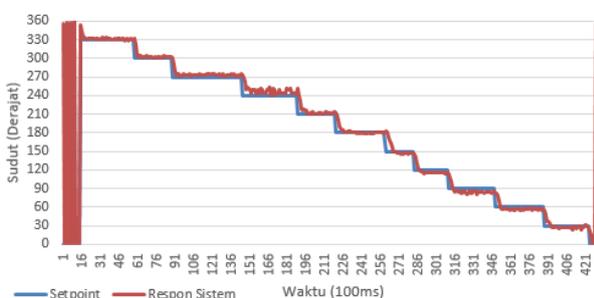
Gambar 15. Respon *plant* elevasi dengan *setpoint* berubah naik



Gambar 16. Respon *plant* elevasi dengan *setpoint* berubah turun



Gambar 17. Respon *plant* azimut dengan *setpoint* berubah naik



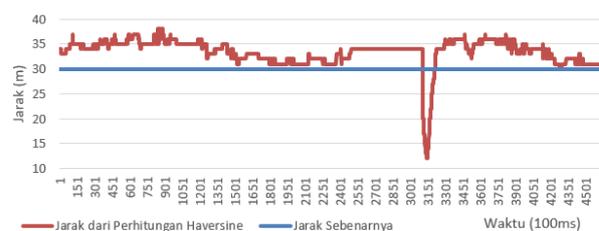
Gambar 18. Respon *plant* azimut dengan *setpoint* berubah turun

Dari hasil pengujian diatas, terdapat waktu yang berbeda-beda untuk *plant elevasi* mencapai tiap *setpoint*. Hal ini dikarenakan terdapat gaya gravitasi yang mengakibatkan

beban antenna lebih besar atau lebih kecil untuk digerakkan servo (tergantung dari nilai *setpoint*). Pengaruh gaya gravitasi juga dapat dilihat pada perbedaan *risetime* yang cenderung lebih cepat pada saat pengujian *setpoint* berubah turun. Dari pengujian *plant* azimut, dapat dilihat bahwa terdapat karakteristik yang sama pada saat *setpoint* berubah turun dengan *setpoint* berubah naik. Diketahui pada saat *setpoint* = 180°, *error steady state* = 1, namun pada *setpoint* > 180° respon sistem cenderung berada diatas *setpoint* dan pada *setpoint* < 180° respon sistem cenderung berada dibawah *setpoint*. Hal ini dikarenakan perancangan parameter PID dilakukan pada *setpoint* 180°, sehingga respon sistem terbaik hanya pada saat *setpoint* = 180°. Perbedaan *risetime* pada kedua pengujian ini (*setpoint* berubah naik dan berubah turun) sebesar 100ms hingga 400ms dikarenakan adanya perbedaan kecepatan gerak *servo* pada saat *setpoint* berubah turun (*servo* bergerak *counter-clockwise*) dan *setpoint* berubah naik (*servo* bergerak *clockwise*).

### 3.2.2. Pengujian alat penggerak antenna terhadap objek bergerak dengan jarak yang ditentukan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui respon alat penggerak antenna terhadap gerak muatan objek yang telah ditentukan jaraknya (30m). Pengujian ini dilakukan di Lapangan Sepak Bola Undip, Semarang. Dari hasil pengujian, diketahui bahwa GPS *receiver* memiliki *error* penunjukkan lokasi objek hingga 18m. Hal ini dikarenakan berbagai macam faktor seperti kondisi cuaca, geometri satelit, metode penentuan posisi, ataupun jumlah satelit yang diterima [13]. Dari besarnya nilai *error* GPS ini dapat disimpulkan bahwa GPS tidak menunjukkan lokasi objek yang sebenarnya. Perbandingan jarak perhitungan objek dan jarak sebenarnya objek dapat dilihat pada Gambar 19.

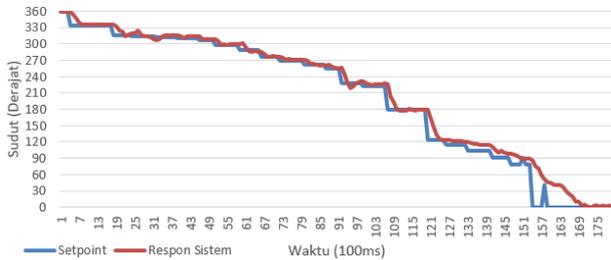


Gambar 19. Perbandingan jarak GPS dengan jarak sebenarnya.

### 3.2.3. Pengujian alat penggerak antenna terhadap objek bergerak dengan jarak yang tidak ditentukan

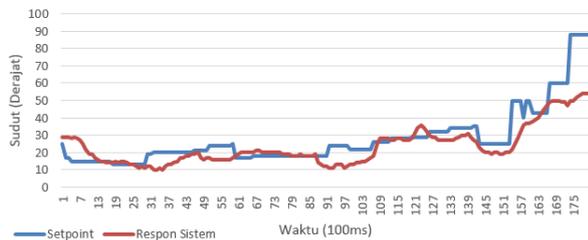
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui respon alat penggerak antenna terhadap objek bergerak (*drone*). Pada pengujian antenna terhadap muatan objek yang bergerak melingkar di sumbu azimut dari sudut 360° ke 0°. Dapat dilihat pada Gambar 20, *plant* mampu mencapai *setpoint* dalam waktu rata-rata 500ms dan memiliki *Mean Absolute Error* (MAE) = 9,31°. Pada perubahan *setpoint* terbesar =

57° (180° ke 123°), *plant* membutuhkan waktu 600ms untuk mencapai *setpoint*.



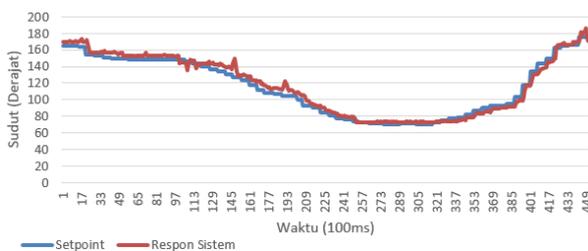
**Gambar 20. Respon *plant* azimut pada objek bergerak melingkar**

Pada pengujian antenna terhadap muatan objek bergerak melingkar di sumbu elevasi dari sudut 17° ke 88°. Dapat dilihat pada Gambar 21, *plant* mampu mencapai *setpoint* dalam waktu 500ms hingga 1500ms dengan MAE = 6,47°. Pada waktu ke 17300ms *plant* tidak mengikuti *setpoint* dikarenakan batasan sudut kerja antenna yang hanya dapat memproses *setpoint*  $\leq 74^\circ$  (*setpoint* objek = 88°) sehingga *plant* tidak bergerak dari posisi *setpoint* terakhir. Dikarenakan perubahan *setpoint* yang berubah-ubah dalam waktu cepat dengan perubahan *setpoint* yang kecil sehingga *plant* tidak dapat bekerja dengan baik.



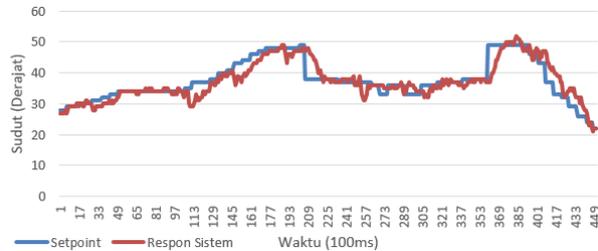
**Gambar 21. Respon *plant* elevasi pada objek bergerak melingkar**

Pada pengujian antenna terhadap muatan objek bergerak horizontal di sumbu azimut dari sudut 180° ke 72° kemudian ke 171° (bergerak bolak-balik). Dapat dilihat pada Gambar 22, *plant* mampu mencapai *setpoint* dalam waktu rata-rata 500ms dengan MAE = 4,62°.



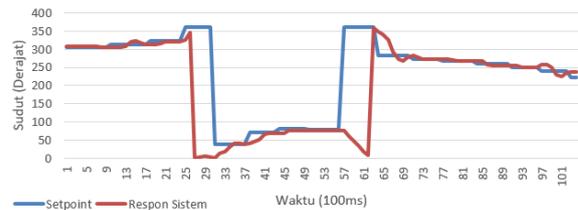
**Gambar 22. Respon *plant* azimut pada objek bergerak horizontal**

Pada pengujian antenna terhadap muatan objek bergerak horizontal di sumbu elevasi bergerak fluktuatif dari sudut 80° berakhir di sudut 21°. Dapat dilihat respon *plant* elevasi pada Gambar 23, *plant* mampu mencapai *setpoint* dalam waktu 500ms hingga 1500ms dan MAE = 2,04°.



**Gambar 23. Respon *plant* elevasi pada objek bergerak horizontal**

Pada pengujian antenna terhadap muatan objek bergerak melintasi alat penggerak antenna, dapat dilihat pada Gambar 24 objek bergerak berputar dari sudut 346°-39°-76°-360° kemudian ke 282°. Pada pengujian ini, *plant* azimut mampu mencapai *setpoint* dalam waktu 500ms hingga 1000ms dan MAE = 10,21°.



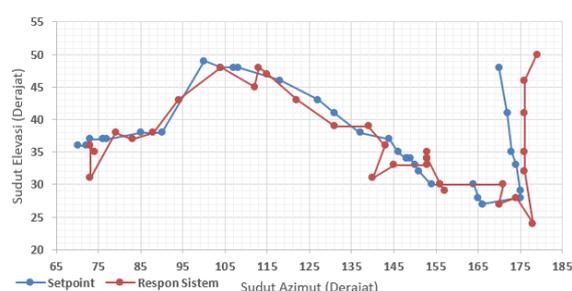
**Gambar 24. Respon *plant* azimut pada objek bergerak melintas**

Pada pengujian antenna terhadap muatan objek bergerak melintasi alat penggerak antenna, dapat dilihat pada Gambar 25 objek bergerak dari sudut 21°, naik ke 57°, kemudian turun kembali setelah muatan objek bergerak menjauh dari antenna. Pada pengujian ini, *plant* mampu mencapai *setpoint* dalam waktu 1000ms dan MAE = 9,91°. Pada waktu ke 57 terlihat bahwa sistem tidak mencapai *setpoint* (*setpoint* = 80, aktual = 57). Hal ini dikarenakan batasan sudut kerja antenna yang hanya memproses *setpoint*  $\leq 74^\circ$ .



**Gambar 25. Respon *plant* elevasi pada objek bergerak melintas**

Dari 6 data hasil pengujian diatas dapat disimpulkan bahwa, *plant* azimut mampu mencapai *setpoint* dalam waktu 500ms sampai 1000ms dan *plant* elevasi mampu mencapai *setpoint* dalam waktu 500ms sampai 1500ms. Masing-masing *plant* memiliki MAE =  $8,04^\circ$  pada *plant* azimut dan  $6,14^\circ$  pada *plant* elevasi. Dari pengujian diatas, dapat dibuat grafik gabungan untuk mengetahui respon kedua *plant* pada waktu yang sama. Gambar 26 adalah gambar gabungan dari *plant* azimut dan elevasi pada saat objek bergerak secara horizontal. Dari Gambar tersebut dapat dilihat bahwa respon sistem dapat mengikuti *setpoint*. Terdapat *error* (respon sistem tidak sesuai dengan *setpoint*) dikarenakan perbedaan waktu perubahan *setpoint* dan waktu respon pada masing-masing *plant*.



Gambar 26. Grafik gabungan respon sistem alat penggerak antenna (azimut dan elevasi)

#### 4. Kesimpulan

Telah berhasil dirancang alat pengendali gerak antenna yang dapat mengikuti objek bergerak (*drone*) dengan waktu terlama 1000ms pada *plant* azimut dan 1500ms pada *plant* elevasi. MAE alat penggerak antenna dalam mengikuti objek adalah  $6,54^\circ$  pada *plant* elevasi dan  $8,04^\circ$  pada *plant* azimut. Terdapat kesalahan arah hadap antenna pada sudut elevasi dan azimut terhadap objek sebenarnya di lapangan dikarenakan sensor-sensor penyusun alat penggerak antenna dan objek seperti HMC5883L, BMP280, dan GPS U-Blox M8N yang tidak presisi dalam merepresentasikan posisi objek dan antenna. Respon sistem Alat penggerak antenna ini tidak memiliki *overshoot* dengan *settling time* yang maksimal untuk design mekanik yang digunakan (mampu mencapai  $74^\circ$  dalam waktu 2 detik pada *plant* elevasi dan mencapai  $180^\circ$  dalam waktu 1,1detik pada *plant* azimut).

#### Referensi

- [1] Y. Guo and S. D. Prior, "Development of active gimbal system for directional antenna on a small Remotely Piloted Aircraft ( RPA )," no. Figure 3.
- [2] E. R. Juma, U. Sunarya, F. T. Elektro, and U. Telkom, "IMPLEMENTASI DAN ANALISIS KINERJA SISTEM AUTOMATIC TRACKING CONTROL POLARISASI ANTENA PENERIMA FREKUENSI 433 MHz BERBASIS GPS."
- [3] S. Jenvey, J. Gustafsson, and F. Henriksson, "A PORTABLE MONOPULSE TRACKING ANTENNA FOR UAV Monash UAVs," in *22nd International Unmanned Air Vehicle System Conference*.
- [4] M. Kim, J. Kim, and O. Yang, "Precise attitude control system design for the tracking of parabolic satellite antenna," *Int. J. Smart Home*, vol. 7, no. 5, pp. 275–290, 2013.
- [5] Y. Yalçın and S. Kurtulan, "A rooftop antenna tracking system: Design, simulation, and implementation," *IEEE Antennas Propag. Mag.*, vol. 51, no. 2, pp. 214–224, 2009.
- [6] M. B. Nugraha and R. Sumiharto, "Penerapan Sistem Kendali PID pada Antena Pendeteksi Koordinat Posisi UAV," *IJEIS*, vol. 5, no. 2, pp. 187–198, 2015.
- [7] C.-H. Cho, S.-H. Lee, T.-Y. Kwon, and C. Lee, "Antenna Control System using Step Tracking Algorithm with  $H_\infty$  Controller," *Int. J. Control. Autom. Syst.*, vol. 1, no. 1, pp. 83–92, 2003.
- [8] J. M. Lin and P. K. Chang, "Intelligent PD-type fuzzy controller design for mobile satellite antenna tracking system with parameter variations effect," *IEEE SSCI 2011 - Symp. Ser. Comput. Intell. - CICA 2011 - 2011 IEEE Symp. Comput. Intell. Control Autom.*, vol. 1, pp. 1–5, 2011.
- [9] P. K. Chang and J. M. Lin, "Mobile satellite antenna tracking system design with intelligent controller," *WSEAS Trans. Syst. Control*, vol. 3, no. 5, pp. 435–446, 2008.
- [10] S. D. Murali *et al.*, "Size Reduction of Yagi-Uda Antenna by Altering the Diameter and Spacing between the Elements," *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 9, no. 22, pp. 12011–12022, 2014.
- [11] C. P. Frekuensi, S. Asyura, and A. H. Rambe, "Rancang Bangun Antena Yagi-Uda," pp. 109–114.
- [12] S. Whan Sung, J. Lee, and I.-B. Lee, *PROCESS IDENTIFICATION AND PID CONTROLL*. Singapore: John Wiley & Sons, 2009.
- [13] P. Ayu, "Pendeteksi dan Pelacakan Keberadaan Manusia Menggunakan Global Positioning System (GPS) Berbasis Android Melalui Google Maps Server," Politeknik Negeri Sriwijaya, 2014.