

PERANCANGAN SISTEM KONTROL POSISI SUMBU ELEVASI GUN PADA *TURRET-GUN* MENGGUNAKAN KONTROLER PID BERBASIS ARDUINO MEGA

R. Herlambang Tryan Wicaksono

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
e-mail : r.wicaksono@mhs.unesa.ac.id

Puput Wanarti Rusimanto

Dosen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
e-mail : puputwanarti@unesa.ac.id

Abstrak

Pertahanan negara merupakan bentuk upaya untuk melindungi kedaulatan Negara dan dapat didukung dengan kecanggihannya sarana dan prasarana. Untuk meningkatkan strategi pertahanan, salah satunya adalah dengan menciptakan senjata militer yang akurat dan presisi yaitu *Turret gun*. *Turret gun* adalah sistem senjata laras panjang yang dapat bergerak untuk mengenai target dengan pergerakan arah dan sudut sesuai dengan target dan sistem ini dapat dipasang pada sebuah bangunan atau struktur kendaraan tempur. Semakin besar *gun* dan kaliber yang akan digunakan maka semakin sulit *turret gun* dikendalikan. Maka dari itu pada penelitian ini menggunakan kontroler PID (*Proporsional Integral Derivative*) berbasis arduino mega yang bertujuan untuk mempercepat respon kecepatan motor serta dapat mempresisikan posisi sumbu *elevasi* pada *turret gun*. Hasil Penelitian menunjukkan bahwa dengan mengimplementasikan kendali PID pada *turret gun* dapat memperbaiki respon gerak *turret* dengan nilai maksimum *overshoot* = 1,117 % , $E_{ss} = 0,492$ % , $t_r = 2,414$ s , $t_s = 4,1$ s dengan nilai $K_p=12,8$, $K_i=18,57$, dan $K_d = 4,318$

Kata Kunci : *Turret gun*, Sumbu *Elevasi*, PID (*Proporsional Integral Derivative*).

Abstract

National Defense is a form of an effort to protect the country and can be supported by the sophistication of facilities and infrastructure. To improve the defense strategy, one of them is to create accurate and precise military weapons such as gun turrets. *Gun tower* is a long-barreled weapon system that can move to target the movement with direction and angle following the target and this system can be installed on buildings or structures of combat vehicles. the bigger the *gun* and caliber to use, the harder the *gun tower* is pushed. Therefore in this study, the Arduino mega-based PID (*Proportional Integral Derivative*) controller was used to increase motor speed response and to position the *elevation axis* on the *turret gun*. The results showed that by implementing PID on the *turret gun* it could improve the *turret* motion response with the maximum overshoot = 1,117%, $E_{ss} = 0.492\%$, $t_r = 2,414$ s, $t_s = 4.1$ s with the value $K_p = 12,8$, $K_i = 18,57$, and $K_d = 4,318$

Keywords: *Turret gun*, *Elevation axis* , PID (*Proportional, Integral, Derivative*).

PENDAHULUAN

Pertahanan negara merupakan bentuk upaya untuk melindungi kedaulatan Negara, keutuhan wilayah NKRI dan keselamatan segenap bangsa dari segala bentuk ancaman. (Kunto,2016).

Pertahanan Negara dapat didukung dengan kecanggihannya sarana dan prasarana. Untuk meningkatkan strategi pertahanan, salah satunya adalah dengan menciptakan senjata militer yang akurat dan presisi yaitu *Turret gun*.(Mushonnifah,2016).

Turret gun adalah sistem senjata laras panjang yang dapat bergerak untuk mengenai target dengan pergerakan

arah dan sudut sesuai dengan target, yang dioperasikan menggunakan *remote control*. (Kunto,2016).

Sistem ini dapat dipasang pada sebuah bangunan atau struktur kendaraan tempur. *Turret gun* dapat dipersenjantai oleh meriam, senjata kaliber, machine *gun* atau peluncuran rudal. (Tamara,2018).

Sistem *turret gun* mempunyai 2 sumbu gerak, yaitu sumbu *azimuth* dan sumbu elevasi. Sumbu *azimuth* meliputi gerak rotasi *turret* sebesar 360° terhadap horizontalnya, sedangkan sumbu elevasi meliputi gerak rotasi laras senjata 70° terhadap vertikalnya. (Kunto,2016).

Dalam penelitian kali ini yang menjadi fokus utama adalah perancangan kendali pada gerak sumbu *elevasi* pada *turret gun*. Salah satu aspek penting yang dikembangkan pada *turret gun* adalah ketepatan dan kecepatan dalam mencapai posisi atau target. (Tamara,2018).

Dimensi pada *turret gun* disesuaikan berdasarkan kebutuhan penggunaannya. Semakin makin besar *gun* dan kaliber yang akan digunakan maka semakin sulit *turret gun* dikendalikan. Maka dari itu pada penelitian kali ini, peneliti mengembangkan penelitian mengenai *turret gun* dengan menerapkan kendali PID bertujuan untuk mempercepat respon kecepatan motor pada *turret gun* serta dapat mempresisikan posisi sumbu *elevasi* pada *turret gun*. Dengan menerapkan Kendali PID dengan nilai parameter fisik yang berbeda, diharapkan pergerakan arah hadap *turret gun* dapat responsif dan stabil.

Kendali PID merupakan sebuah gabungan metode kendali yang terdiri dari 3 macam, yaitu kendali *Proporsional* (P), kendali *Integral* (I), dan kendali *Derivatif* (D) yang masing masing kendali tersebut memiliki keunggulan tertentu. Kendali *proporsional* memiliki keunggulan waktu naik yang cepat dan stabil, kendali *integral* memiliki keunggulan untuk memperkecil kesalahan atau error, dan kendali *derivatif* memiliki keunggulan meredam kekurangan tanggapan atau kelebihan tanggapan. (Gunterus, 1994).

Adapun langkah-langkah dalam merancang pengendalian PID *turret gun* diawali dengan studi literatur serta studi lapangan mengenai mekanisme dan parameter-parameter yang terdapat pada *turret gun*. (Kunto,2016).

Langkah pertama dalam perancangan sistem kontrol adalah menentukan model matematis dari sistem *turret gun*. Berikutnya adalah merancang sistem kontrol yang sesuai dengan menggunakan kontrol PID. Selanjutnya diakhiri dengan pengujian kestabilan dari sistem yang telah dikontrol tersebut. Hasil yang didapat berupa nilai gain *proporsional*, *integral* dan *derivatif* dari metode tuning yang dipakai untuk merancang kontrol PID dari sistem *turret-gun*. (Wisnu, 2016).

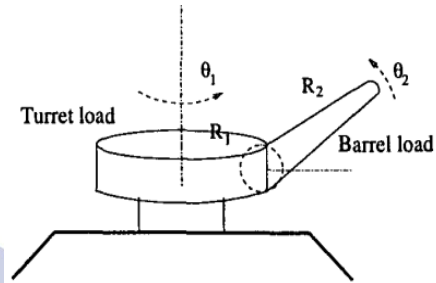
KAJIAN TEORI

Pengertian *Turret Gun*

Turret gun adalah sistem senjata laras panjang yang dapat bergerak untuk mengenai target dengan pergerakan arah dan sudut sesuai dengan target, yang dioperasikan menggunakan *remote control*. (Kunto,2016).

Sistem ini dapat dipasang pada sebuah bangunan atau struktur kendaraan tempur. *Turret gun* juga dapat dipersenjatai dengan satu atau lebih senapan mesin, meriam otomatis, senjata kaliber besar, atau peluncur rudal. (Tamara,2018).

Sistem Kerja *Turret gun* memiliki 2 sumbu pergerakan, yaitu sumbu *azimuth* dan sumbu *elevasi*. Sumbu *azimuth* meliputi gerak rotasi *turret* sebesar 360° secara horizontal, sedangkan sumbu *elevasi* meliputi gerak rotasi *gun* sebesar 70° secara vertikal. (Kunto,2016). Sistem kerja pada *turret gun* dapat ditunjukkan pada Gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Sistem Kerja dan Design *Turret Gun*
(Sumber: Tamara ,2018)

Prinsip kerja *turret gun* adalah dengan menggerakkan *turret* dan *gun* sesuai target dengan pergerakan arah dan sudut yang sesuai dengan pergerakan target. *Turret gun* otomatis karena dikendalikan dari jarak jauh menggunakan *remote control*, sehingga operator terhindar dari ancaman dan bahaya musuh saat mengoprasikannya. (Wisnu,2016).

Dinamika Sistem

Dari Gambar 1 Pada sistem tersebut ada dua alat yang bekerja yaitu *turret* dan *gun*. *Turret* alat yang pergerakannya memutar dan *gun* adalah alat yang pergerakannya naik turun. Dalam penelitian ini yang menjadi fokus utama adalah perancangan kendali pada gerak *gun* . Maka persamaan sistem dinamik dari *turret gun* dapat dituliskan sebagai berikut :

$$T_{turret} = D\ddot{\theta} + C\dot{\theta} + G \quad (1)$$

dimana

$$D_{11} = \frac{1}{2}m_1R_1^2 + m_2R_1^2 + m_2R_1R_2 \cos(\theta_2) \frac{1}{3}m_2R_2^2 (\cos\theta_2)^2 \quad (2)$$

$$D_{22} = \frac{1}{3}m_2R_2^2 \quad (3)$$

$$C_{11} = -m_2R_1R_2 \sin(\theta_2)\dot{\theta}_2 \quad (4)$$

$$\dot{C}_{12} = -\frac{1}{3}m_2R_2^2 \sin(2\theta_2)\dot{\theta} \quad (5)$$

$$C_{21} = -\frac{1}{2}(-m_2R_1R_2 \sin(\theta_2) - \frac{1}{3}m_2R_2^2 \sin(2\theta_2))\dot{\theta}_1 \quad (6)$$

$$G_{21} = \frac{1}{2}m_2gR_2 \cos \theta_2 \quad (7)$$

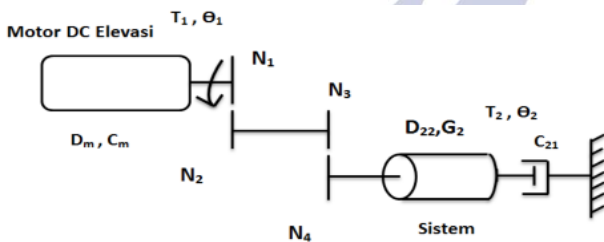
$$C_{22} = G_{11} = 0 \quad (8)$$

Dimana $D\ddot{\theta}$ adalah inersia sistem $C\dot{\theta}$ adalah efek gaya coriolis dan sentrifugal dan G adalah pengaruh gravitasi. Maka didapat persamaan sebagai berikut :

$$\ddot{\theta}_1 = \frac{T_{azimut} h - C_{11}}{D_{22}} \quad (9)$$

$$\ddot{\theta}_2 = \frac{T_{elevasi} - C_{21} - G}{D_{22}} \quad (10)$$

Input dari sistem dinamik berupa posisi sudut *turret* (θ_1), Kecepatan putar *turret* ($\dot{\theta}_1$), dan percepatan sudut *turret* ($\ddot{\theta}_1$), serta posisi *gun* (θ_2), dan kecepatan putar *gun* ($\dot{\theta}_2$). Dimana $\dot{\theta}_1$ digunakan pada sistem *azimuth turret gun* dan $\dot{\theta}_2$ digunakan untuk sistem *elevasi turret gun*. (Mushonnifah,2015).



Gambar 2. Diagram Sistem Elevasi *Turret-gun* (Sumber: Kunto,2016)

Dari Persamaan 10 diatas dan Gambar 2 diatas maka dapat disimpulkan Persamaannya sebagai berikut.

$$\ddot{\theta}_2 = \frac{E_a K_t - K_b \dot{\theta}_2 K_t - \frac{1}{2} m_2 g R_2 \cos \theta_2 R_a}{R_a D_{eq}} \quad (11)$$

Dari Persamaan 11 selanjutnya dilinearisasikan menggunakan metode *jacobian* menghasilkan persamaan matriks sebagai berikut.

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{\frac{1}{2} m_2 g R_2 R_a \sin a_2}{R_a D_{eq}} & -\frac{K_b K_t}{R_a D_{eq}} \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{K_t}{R_a D_{eq}} \end{pmatrix}$$

$$C = (1 \ 0)$$

$$D = (0) \quad (12)$$

Persamaan diatas merupakan model *State Space* $\dot{x} = Ax + Bu$ dan $y = Cx + Du$ yang didapat dari metode *Jacobian*.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{\frac{1}{2} m_2 g R_2 R_a \sin a_2}{R_a D_{eq}} & -\frac{K_b K_t}{R_a D_{eq}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{K_t}{R_a D_{eq}} \end{bmatrix} E_a(t)$$

$$[y] = [1 \ 0] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Keterangan

- D_{22} = Inersia Sistem *Turret*
- C_{11} = Konstanta Damping Sistem
- C_{12} = Efek Koriolis *gun* dengan *turret*
- T_{turret} = Torsi Sistem Elevasi
- $\dot{\theta}_1$ = Perubahan Kecepatan Sistem *Azimuth*
- $\dot{\theta}_2$ = Perubahan Kecepatan Sistem Elevasi
- $\ddot{\theta}_1$ = Perubahan Kecepatan Sistem *Azimuth*
- m_1 = Massa *turret*
- m_2 = Massa *Gun*
- R_1 = Radius *turret*
- R_2 = Panjang *Gun*
- N = Perbandingan Gear/Rasio Transmisi
- R_a = Resistansi Motor
- E_a = Tegangan Motor
- K_b = *Back EMF*
- K_t = Konstanta Motor DC
- A = Matriks *State*
- B = Matriks Input
- C = Matriks Output
- D = Matriks Transmisi langsung
- x = Input
- y = Output
- \dot{x}_1 = Posisi sumbu *turret*
- \dot{x}_2 = Kecepatan sumbu *turret*
- u = *feedback*

Analisis Karakteristik Sistem Orde Dua

Sistem orde dua mempunyai fungsi alih dengan pangkat s tertinggi dua. Respon sistem ini didapatkan dengan mengamati respon sistem terhadap sinyal uji step.

$$G(s) = \frac{K \omega_n^2}{s^2 + 2\xi \omega_n s + \omega_n^2} \quad (14)$$

- Keterangan:
- K : Gain Overall (V)
 - ω_n : Frekuensi Alami (dB)
 - ξ : Rasio Redaman (rad/s)

Karakteristik keluaran sistem orde dua terhadap masukan unit step.

- 1. Delay Time**
Waktu ketika respon 50% dari respon steady state (s).
- 2. Rise Time**
Waktu ketika respon memotong sumbu steady state pertama (s).
- 3. Settling Time**
Waktu ketika respon mencapai steady state (s).

4. Maksimum Overshoot

Nilai puncak output kurva respon diukur dari satuan (%).

5. Error Steady State

Nilai error saat keadaan steady state (%).

METODE PENELITIAN

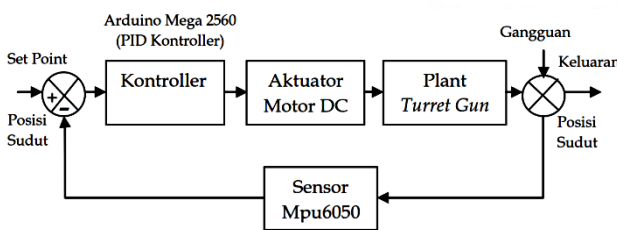
Pendekatan Penelitian

Pada penelitian ini, pendekatan penelitian yang digunakan adalah penelitian kuantitatif. Kasiram (2008:149) dalam bukunya Metodologi Penelitian Kualitatif dan Kuantitatif, mendefinisikan penelitian kuantitatif adalah suatu proses menemukan pengetahuan yang menggunakan data berupa angka sebagai alat menganalisis keterangan mengenai apa yang ingin diketahui.

Pada penelitian ini mikrokontroler yang digunakan ialah Arduino MEGA 2560 dengan Arduino IDE sebagai software pemrogramannya. Matlab 2009 digunakan untuk mencari transfer function dari Turret gun, mendesain kontrollernya, yaitu kontroler PID (Proporsional-Integral-Derivatif) dengan metode Analitis yang akan diterapkan pada plant. Dan membuat rancang bangun plant yang akan menghasilkan respon posisi sudut elevasi gun pada Turret gun.

Desain Sistem

Desain sistem yang digunakan pada alat ini menggunakan kontroler PID dengan berbasis arduino mega 2560. Block rancangan pengolahan data yang dihasilkan sistem terintegrasi menjadi satu kesatuan yang utuh seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



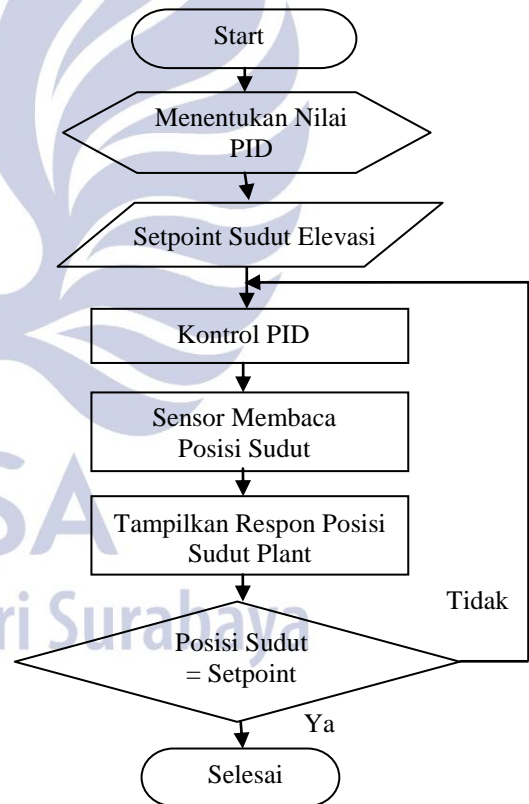
Gambar 3.Diagram Blok Sistem Pengendali

Gambar 3 adalah diagram blok sistem kontrol dari perangkat hardware pada Turret gun. Nilai masukan (Setpoint) sistem berupa posisi sudut. Kontroler Proporsional-Integral-Derivatif menggunakan metode Analitis, akan diproses pada Arduino yang nantinya akan membantu proses pengendalian sumbu elevasi gun pada Turret gun. Hasil dari keluaran controller berupa tegangan yang akan masuk ke driver motor yang dikonversi ke nilai PWM kemudian mengatur arah putar dan kecepatan Motor DC guna untuk mengatur posisi

sudut pada plant. Sensor MPU6050 akan bekerja untuk mengukur nilai dari derajat kemiringan plant setelah adanya gerakan akibat perputaran motor dan kemudian menjadikan nilai pembacaan sudut sebagai nilai umpan balik.

Perancangan Software

Pertama, nilai dari parameter kontroler PID (Kp, Ki, dan Kd) diinisialisasikan terlebih dahulu. Nilai setpoint sudut elevasi pada turret-gun secara manual sebagai pergerakan posisi motor dc. Setelah mendapatkan setpoint sudut, maka motor dc akan bergerak secara cepat mengikuti setpoint sudut yang telah ditentukan. Setiap pergerakan motor dc, sensor akan membaca nilai sudut yang nantinya akan dibandingkan dengan setpoint. Jika sudut pembacaan dari motor dc sama dengan setpoint maka motor dc tidak akan bergerak. Namun apabila nilai dari sudut motor dc belum sama dengan setpoint maka motor akan bergerak sampai setpoint sama dengan nilai sudut pergerakan motor dc.



Gambar 4. Flowchart Software

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan membahas tentang Hasil Perancangan Plant, Perancangan Kontroler PID dan Hasil Respon Dinamik Sistem.

Rancangan Plant Turret Gun

Turret gun memiliki tinggi keseluruhan 30 cm. Dilengkapi dengan box kendali dengan panjang 40 cm, lebar 25 cm, tinggi 10 cm dan terdapat saklar on off serta tombol reset.



Gambar 5.Desain *Plant Turret Gun*

Berdasarkan *datasheet* dari motor DC yang digunakan dalam penelitian ini, didapatkan parameter fisik yang ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1.Parameter Fisik *Plant*

Paramter	Nilai
Rasio perbandingan Transmisi (N)	1 / 1,5
Tegangan Motor (Kb)	12 V
Torsi Motor (Kt)	0,98 Nm
Resistansi Motor (Ra)	90,5 Ω
Massa <i>Gun</i> (m2)	0,167 Kg
Panjang <i>Gun</i> (R2)	0,22 m
Tegangan Jangkar (Ea)	27,693 V
Gravitasi (g)	9,8 m/s ²

Dari Tabel 1. Parameter Fisik *Plant* akan dimasukkan ke dalam persamaan 12.

Uji Sistem Gerak *Turret-Gun*

Permodelan Sistem *Turret-Gun*

Dari Parameter Tabel 1. Nilai $N = 1 / 1,5 = 0,667$ Maka didapatkan Matriks A,B,C,D sebagai berikut.

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -0,508 & -2,62 \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} 0 \\ 0,022 \end{pmatrix}$$

$$C = (1 \ 0)$$

$$D = (0)$$

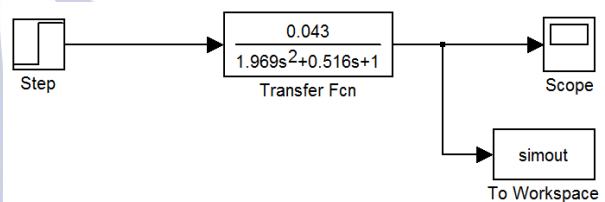
Untuk merubah persamaan *state space* kedalam persamaan *transfer function* digunakan fungsi pada Command Window Matlab yaitu,

$$[num, den] = ss2tf(A, B, C, D)$$

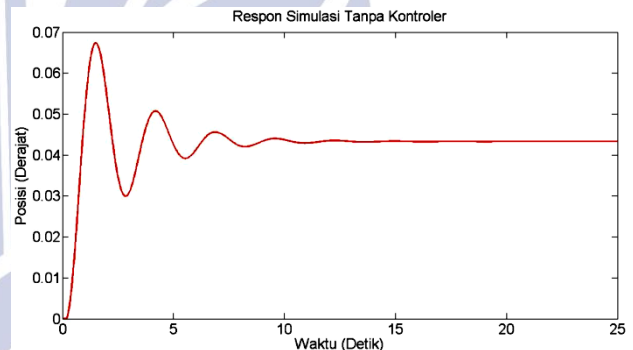
Sehingga didapatkan *Transfer Function* sebagai berikut,

$$TF = \frac{0,043}{1,969s^2 + 0,516s + 1}$$

Kemudian simulasi dilakukan secara open loop tanpa kontroler seperti ditunjukkan pada Gambar 6 dan hasil responnya ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 6. Blok Diagram Pengujian Respon Sistem



Gambar 7. Respon pada Simulasi Sistem *Turret-gun* Tanpa Kontroler

Dari Gambar 7. Menunjukkan bahwa respon masih memiliki osilasi yang besar dan waktu menuju steady state yang terlalu lama sehingga memerlukan kontroler dan tuning yang baik untuk memperbaiki respon tersebut.

Model TF atau *transfer function* tersebut akan digunakan untuk mendesain kontroler PID untuk *tuning* nilai Kp, Ki, dan Kd menggunakan metode Analitis.

Uji Sistem Kendali PID

Penentuan Parameter PID

Untuk menentukan nilai parameter PID, gerakan *turret-gun* pada Gambar 7 menunjukkan respon dengan karakteristik sistem orde dua sehingga untuk mempermudah dalam menentukan parameter PID maka perlu dianalisa menggunakan pendekatan sistem orde 2 pada persamaan 14. Sehingga didapatkan Kp = 12,8 , Ki = 18,57 dan Kd = 4,318

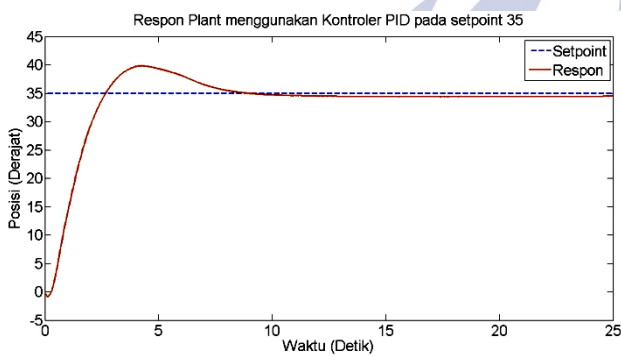
Pengujian Respon *Hardware Turret-Gun*

Setelah diketahui nilai kontroler PID (*proportional-integral-derivative*) dari metode analitis, nilai tersebut dimasukkan kedalam pemrograman Arduino.

Percobaan respon *hardware turret-gun* dilakukan dengan cara tanpa gangguan dan juga memberikan gangguan sentuhan pada *turret-gun* ketika sudah dalam keadaan steady state (seimbang) pada saat diberikan setpoint yang ditentukan. Berikut adalah beberapa percobaan dengan memberikan kondisi awal pada *Turret-gun*.

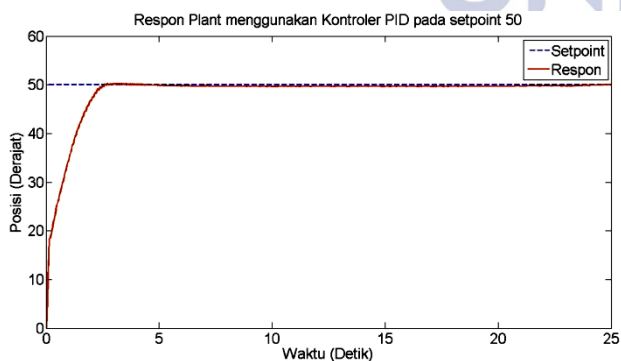
1. Tanpa Gangguan

Berikut ini merupakan respon *real plant* menggunakan Kontroler PID dengan setpoint 35° dan 50°



Gambar 8. Respon Posisi *Turret-gun* pada Setpoint 35 derajat

Hasil respon *real Turret-gun* menunjukkan bahwa, waktu *plant* untuk mencapai keadaan Steady State yaitu sebesar 7,29 detik dengan waktu naik sebesar 4,293 detik. Berdasarkan respon pada Gambar 8 dapat diamati bahwa *Turret-gun* mampu mengikuti perubahan setpoint yang diberikan dengan *Error Steady State* sebesar 1,37% dan Maksimum *Overshoot* sebesar 13,74%.



Gambar 9. Respon Posisi *Turret-gun* pada Setpoint 50 derajat

Hasil respon *real Turret-gun* menunjukkan bahwa, waktu *plant* untuk mencapai keadaan Steady State yaitu sebesar 4,1 detik dengan waktu naik sebesar 2,414 detik.

Berdasarkan respon pada Gambar 9 dapat diamati bahwa *Turret-gun* mampu mengikuti perubahan setpoint yang diberikan dengan *Error Steady State* sebesar 0,492% dan Maksimum *Overshoot* sebesar 0,62%.

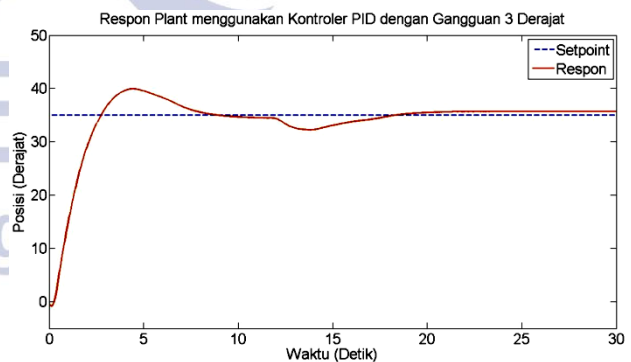
Tabel 2. Tabel Pengujian *Real Plant* Pada Setpoint Tetap

Respon Dinamik	Setpoint 35°	Setpoint 50°
tr (5%-95%)	4,293 s	2,414 s
ts 0,5%	7,29 s	4,1 s
Ess	1,37%	0,492%
M0%	15,328%	1,117%

Pada Tabel 2 menunjukkan bahwa dari pengujian setpoint tetap pada setpoint 50° memiliki respon dan waktu yang cepat daripada setpoint 35°, dikarenakan waktu respon pada saat naik relatif cepat sebesar 2,414 detik, waktu respon pada saat steady state juga relatif cepat sebesar 4,1 detik. Untuk error pada saat steady state memiliki error yang sangat kecil sebesar 0,492 % dan maksimum overshootnya juga kecil yaitu sebesar 1,117 %, untuk maksimum overshoot terbilang masih sangat kecil karena untuk batas tertinggi maksimum overshoot yaitu sebesar 25%.

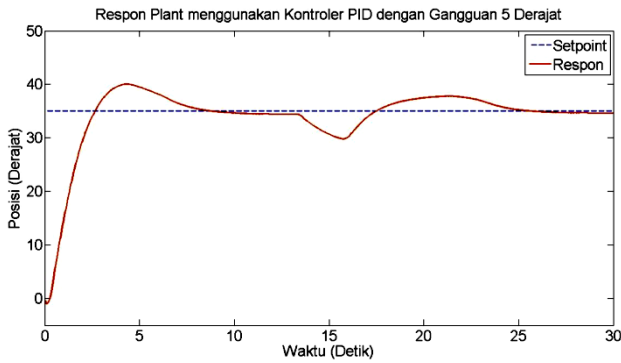
2. Dengan Gangguan

Berikut ini merupakan respon *real plant* menggunakan setpoint 35° dengan gangguan 3°, 5° dan 8°



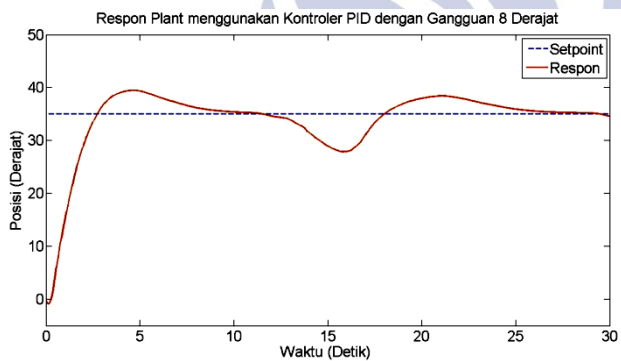
Gambar 10. Respon Posisi *Turret-gun* pada Setpoint 35 derajat Dengan Gangguan 3 derajat

Hasil respon *real Turret-gun* menunjukkan bahwa, waktu *plant* untuk mencapai keadaan Steady State yaitu sebesar 7,22 detik dengan waktu naik sebesar 4,252 detik. Berdasarkan respon pada Gambar 10 dapat diamati bahwa *Turret-gun* mampu mengikuti perubahan setpoint yang diberikan dengan *Error Steady State* sebesar 0,377% dan Maksimum *Overshoot* sebesar 14,14%.



Gambar 11. Respon Posisi *Turret-gun* pada Setpoint 35 derajat Dengan Gangguan 5 derajat

Hasil respon *real Turret-gun* menunjukkan bahwa, waktu *plant* untuk mencapai keadaan Steady State yaitu sebesar 7,21 detik dengan waktu naik sebesar 4,243 detik. Berdasarkan respon pada Gambar 11 dapat diamati bahwa *Turret-gun* mampu mengikuti perubahan setpoint yang diberikan dengan *Error Steady State* sebesar 0,514% dan Maksimum *Overshoot* sebesar 14,37%.



Gambar 12. Respon Posisi *Turret-gun* pada Setpoint 35 derajat Dengan Gangguan 8 derajat

Hasil respon *real Turret-gun* menunjukkan bahwa, waktu *plant* untuk mencapai keadaan Steady State yaitu sebesar 7,2 detik dengan waktu naik sebesar 4,24 detik. Berdasarkan respon pada Gambar 12 dapat diamati bahwa *Turret-gun* mampu mengikuti perubahan setpoint yang diberikan dengan *Error Steady State* sebesar 0,569% dan Maksimum *Overshoot* sebesar 14,63%.

Tabel 3. Tabel Pengujian *Real Plant* Dengan Gangguan

Respon Dinamik	Gangguan 3°	Gangguan 5°	Gangguan 8°
Setpoint 35°			
tr (5%-95%)	4,252 s	4,243 s	4,24 s
ts 0,5%	7,22 s	7,21 s	7,2 s
Ess	0,377%	0,514%	0,569%
M0%	14,575%	14,963%	15,284%

Pada Tabel 3 menunjukkan bahwa dari pengujian setpoint 35° dengan beban 3° memiliki respon dan waktu yang cepat daripada dengan beban 5° dan 8°, dikarenakan waktu respon pada saat naik relative cepat yang selisihnya tidak beda jauh dengan beban 5° dan 8° sebesar 4,252 detik, waktu respon pada saat steady state juga relatif cepat yang selisihnya tidak beda jauh dengan beban lainnya yaitu sebesar 7,22 detik. Untuk error pada saat steady state memiliki error yang sangat kecil sebesar 0,377 % dan maksimum overshootnya yaitu sebesar 14,575 %, untuk maksimum overshoot terbilang masih kecil karena untuk batas tertinggi maksimum overshoot yaitu sebesar 25%.

PENUTUP

Simpulan

Dalam merancang sistem pengendali sumbu elevasi *gun* pada *Turret-gun* menggunakan kontroler PID dengan metode Analitis melalui beberapa tahapan yakni dengan penurunan model matematis *plant* untuk mengetahui *Transfer Function* dari *Turret-gun*. Menguji *plant* tanpa kontroler, mencari nilai K , ω_n , ζ , kemudian yang terakhir adalah mencari dan memasukkan nilai τ_i dan τ_d sebagai parameter yang digunakan untuk mendapatkan nilai K_p , K_i dan K_d .

Hasil pengujian yaitu sistem dapat mencapai posisi sudut yang sesuai dengan target yang telah ditentukan. Dengan mengimplementasikan kontroler PID pada *turret-gun*, pengujian pada saat setpoint 50° merupakan pengujian terbaik dikarenakan dapat memperbaiki respon gerakan *turret-gun* dengan nilai Maksimum Overshoot sebesar 1,117% , nilai *Error Steady State* sebesar 0,492%, nilai *Rise Time* sebesar 2,414 detik dan nilai *Settling Time* sebesar 4,1 detik, dengan nilai $K_p = 12,8$, $K_i = 18,57$ dan $K_d = 4,318$

Saran

Berdasarkan hasil pengujian, ada beberapa saran yang dapat dilakukan untuk mengembangkan sistem agar didapatkan hasil yang lebih maksimal yaitu dengan menggunakan sensor dengan spesifikasi yang lebih baik agar dapat menentukan target lebih akurat , menggunakan motor servo sebagai pengembangan penelitian berikutnya, mengembangkan penelitian pada posisi *azimuth* sehingga *turret-gun* dapat bergerak secara vertikal dan horizontal, dapat dikembangkan dengan metode dan kontroler yang lain dengan respon yang lebih baik daripada PID, misal PD, PI-Fuzzy, LQR, PD-Fuzzy, dll.

Daftar Pustaka

- Adriansyah, Andi, Hidayatama, Oka.2013. "RancangBangun Prototipe Elevator Menggunakan Microcontroller Arduino ATMEGA 328P". Jurnal Teknologi Elektro, Universitas Mercu Vol. 4, No 3. September.
- Astari, Mauli Agusti Ratih.2018. "Rancang Bangun Sistem Pengendali Posisi Azimuth Antena Tracker Berbasis Global Positioning System (GPS) Dengan Kendali PID". Jurnal Teknik Elektro, Universitas Negeri Surabaya. Vol. 8 No 3: Hal. 201-209.
- Gunterus, F. 1994, Falsafah Dasar: Sistem Pengendalian-Proses. Elex Media Komputindo, Jakarta.
- Kasiram, Moh. 2008. Metodologi Penelitian Kualitatif dan Kuantitatif. Malang : UIN Maliki Press.
- Kunto, Dimas., Wahjudi, Arif., Nurhadi, Hendro. 2016. "Perancangan Sistem Kontrol PID Untuk Pengendalian Sumbu Elevasi *Gun* Pada *Turret-Gun* Kaliber 20mm". Jurnal Teknik ITS Vol. 5, No.2.
- Mushonnifah, Siti. 2016. "*Resolved Acceleration Control (RAC) dan Active Force Control (AFC) Pada Sistem Turret-Gun Kaliber 20 Milimeter*". ICAMIMIA 2015.
- Ogata, Katsuhiko. 2010. Modern Control Engineering International Edition. Fifth Edition . New Jersey: Prentice Hall.
- Pratama, Fauzi Yuda. 2018. "Rancang Bangun Pengendalian Kecepatan Brushless DC Motor Tipe A2212/10t 1400 Kv Menggunakan Kontroler PID Berbasis Labview". Jurnal Teknik Elektro, Universitas Negeri Surabaya Vol. 7 No 3: Hal. 157-166.
- Suroso, Satya Hadi.2018. "Pengendalian Posisi Azimuth Antena Tracker Berbasis Global Positioning System (GPS) Dengan Kendali Fuzzy". Jurnal Teknik Elektro. Vol7 No 3: Hal. 191-200.
- Tamara, Mohamad Nasyir., Pramuji, Bambang., Nurhadi, Hendro. Pitowo, Endra.2018. "Simulasi Dan Eksperimen Kontrol Automatic *Turret Gun*". Jurnal ELTEK, Vol. 16, No 1. April.
- Wisnu, Danu., Wahjudi, Arif., Nurhadi, Hendro. 2016. "Perancangan Sistem Kontrol PID Untuk Pengendalian Sumbu *Azimuth Turret* Pada *Turret-Gun* Kaliber 20mm". Jurnal Teknik ITS Vol. 5, No.2.