

SISTEM PENGENDALIAN POSISI SUMBU *AZIMUTH* PADA *TURRET GUN* MENGGUNAKAN SIMULASI MATLAB PID TUNING COHEN-COON

Tyas Arumningsih

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
e-mail : tyas.17050874067@mhs.unesa.ac.id

Puput Wanarti Rusimanto, Bambang Suprianto, Lilik Anifah

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
e-mail : puputwanarti@unesa.ac.id, bambangsuprianto@unesa.ac.id, lilikanifah@unesa.ac.id

Abstrak

Dari waktu ke waktu perkembangan teknologi semakin berkembang di berbagai bidang, begitu pula dengan teknologi di bidang militer. Peralatan militer yang digunakan saat ini semakin canggih dan lebih modern. Salah satu peralatan militer yang diproduksi di Indonesia adalah *turret gun*. *Turret gun* dapat berputar ke berbagai arah, dikarenakan senjata proyektil ini bersumbu *azimuth* dan elevasi. Kecepatan dan ketepatan *turret gun* untuk mencapai posisi targetnya merupakan aspek penting kinerja *turret gun*. Besar ukuran *turret gun* juga mempengaruhi dalam pengendaliannya. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem pengendalian dengan metode sistem kontrol PID (*Proporsional*, *Integral* dan *Derivative*). Ada beberapa metode penalaan untuk parameter kontroler PID salah satunya adalah metode tuning Cohen-Coon. Keunggulan metode tuning Cohen-Coon ini adalah memiliki nilai *overshoot* minimal, namun memiliki kelemahan nilai *settling time* yang didapatkan lebih besar jika dibandingkan metode tuning Ziegler Nichols. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan mempercepat gerakan *turret gun* untuk mencapai posisi target serta memberikan hasil gerak respon yang dimiliki *turret gun* menjadi lebih baik dibandingkan dengan penelitian-penelitian sebelumnya menggunakan sistem kontrol PID metode tuning Cohen-Coon. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan nilai parameter $K_p = 20,08709$, $K_i = 0,02457$ dan $K_d = 0,00367$ memberikan respon gerak *turret gun* lebih cepat dan menghasilkan nilai $Ess = 0,056\%$, maksimal *overshoot* = 0,00652, $t_r = 0,0194$ s dan $t_s = 0,0350$ s.

Kata Kunci: *turret gun*, sumbu *azimuth*, PID Cohen-Coon.

Abstract

Over time technological developments are increasingly developing in various fields, as well as technology in the military field. The military equipment used today is increasingly sophisticated and more modern. One of the military equipment produced in Indonesia is the *turret gun*. The *turret gun* can rotate in various directions, because this projectile weapon has an *azimuth* and elevation axis. The speed and accuracy of the *turret gun* to reach its target position is an important aspect of the *turret gun*'s performance. The large size of the *turret gun* also affects its control. Therefore, a control system is needed with the PID (Proportional, Integral and Derivative) control system method. There are several tuning methods for PID controller parameters, one of which is the Cohen-Coon tuning method. The advantage of this Cohen-Coon tuning method is that it has a minimal overshoot value, but has a disadvantage that the settling time value obtained is greater than the Ziegler Nichols tuning method. This research was carried out with the aim of accelerating the *turret gun* movement to reach the target position and giving the results of the response motion of the *turret gun* being better than previous studies using the PID control system with the Cohen-Coon tuning method. Based on the results of the study, it shows that the parameter values $K_p = 20,08709$, $K_i = 0,02457$ and $K_d = 0,00367$, the provide a faster *turret gun* motion response and produce $Ess = 0.056\%$, maximum overshoot = 0.00652, $t_r = 0,0194$ s and $t_s = 0,0351$ s.

Keywords: *turret gun*, *azimuth* axis, Cohen-Coon PID .

PENDAHULUAN

Dari waktu ke waktu perkembangan teknologi semakin berkembang di berbagai bidang, begitu pula dengan teknologi di bidang militer. Peralatan militer yang digunakan saat ini semakin canggih dan lebih modern.

Peralatan militer ini disebut juga dengan alat utama sistem pertahanan sistem pertahanan utama (Alutsista). Salah satu Alutsista yang diproduksi di Indonesia adalah

Turret gun. Alutsista yang disebut *turret gun* dapat berputar ke berbagai arah, dikarenakan senjata proyektil yang satu ini bersumbu *azimuth* dan elevasi. (Ashari, 2019). Alat ini bertujuan untuk dapat menembakkan peluru dari jarak tertentu dengan menggunakan pengendali. (Pradana, 2020). Untuk memaksimalkan kegunaannya *turret gun* dapat dipasang pada kendaraan tempur maupun bangunan

tertentu seperti tank, kapal tempur atau benteng. (Afifah, 2019)

Untuk dapat berputar ke segala arah, *turret gun* memiliki sumbu *azimuth* dan sumbu elevasi. Di mana sumbu *azimuth* terbentuk oleh garis lurus yang menuju arah utara dan garis lurus lainnya yang menuju titik target. Secara horizontal sumbu ini mempunyai gerak rotasi sebesar 360°. Sedangkan sumbu elevasi terbentuk oleh permukaan bumi dan arah vertikal laras. Sumbu ini mempunyai sudut 0° hingga 70°. (Wisnu, 2016).

Kecepatan dan ketepatan *turret gun* untuk mencapai posisi targetnya merupakan aspek penting yang mempengaruhi kinerja *turret gun*. Untuk mengarahkan laras ke target dengan akurasi tertentu bukan suatu hal yang mudah bagi *turret gun* ditambah lagi dengan besar ukuran *turret gun* juga mempengaruhi kesulitan dalam pengendaliannya. (Ashari, 2019). Oleh karena itu, dibutuhkan sistem pengendalian dengan metode sistem pengendalian konvensional. Sistem ini terdiri dari sistem kontrol *proporsional* (P) *integral* (I) dan *derivative* (D). Ada beberapa metode penalaan untuk parameter kontroler PID salah satunya adalah metode tuning Cohen-Coon. Keunggulan metode tuning Cohen-Coon ini adalah dapat memiliki nilai *overshoot* minimal, namun hasil nilai *settling time* lebih lama dibandingkan metode tuning Ziegler Nichols. (Suharti, Dkk, 2019).

Pada penelitian ini pencarian referensi dilakukan dengan tiga kriteria diantaranya adalah *turret gun*, kontroler PID dengan metode tuning Cohen-Coon dan posisi sumbu *azimuth*. Referensi yang penulis ambil salah satunya adalah penelitian yang dilakukan oleh Moh. Rizal Ashari pada tahun 2019. Penelitian ini bertujuan menjadikan kecepatan motor memiliki respon lebih cepat dan menjadikan laras *turret gun* dapat mengarah ke target dengan lebih presisi pada posisi sumbu *azimuth*. Dilihat dari hasil penelitian, *plant* yang digunakan yaitu *turret gun* di kendalikan menggunakan kontrol PID dengan metode tuning *Chien-Hrones-Reswick* (CHR) dapat memberikan respon gerak lebih baik dan menghasilkan nilai $Ess = 0$, $MO = 4,4\%$, $tr = 2,197$ s, $ts = 1,281$ s.

Referensi yang kedua didapatkan dari penelitian yang ditulis oleh Nur Afifah, penelitian ini dilakukan pada tahun 2019 dengan menggunakan *plant* yang sama dengan Moh. Rizal Ashari yaitu menggunakan *turret gun* dan mengendalikan gerak laras *turret gun* pada sumbu *azimuth*. Pada penelitian ini untuk memperbaiki respon gerakan yang dimiliki *turret gun* dengan mengimplementasikan kontrol PI (*Proporsional* dan *integral*) menggunakan metode tuning Ziegler-Nichols. Setelah dilakukan penelitian hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa *turret gun* dapat bergerak dengan baik mengikuti target dan respon gerak menjadi lebih baik dengan nilai analisis $Ess =$

0, maksimal *overshoot* = 4,4 %, $td = 0,527$ s, $tr = 1,672$ s, $ts = 3,805$ s.

Untuk referensi kontrol PID dengan metode tuning Cohen-Coon penulis menggunakan penelitian yang dilakukan oleh Sayyuda Faradisa pada tahun 2020 sebagai referensi. Sayyuda Faradisa menggunakan kontrol PID metode Cohen-Coon bertujuan untuk mengendalikan temperature yang ada di dalam inkubator bayi. Setelah dilakukan penelitian didapatkan suhu bergerak lebih cepat untuk mencapai *setpoint* dan memiliki nilai Ess yang relative kecil dengan nilai tidak lebih dari 1% setiap *setpoint*nya.

Dari referensi-referensi yang telah di paparkan sebelumnya, penelitian ini akan dilakukan dengan menggunakan *plant* yang sama dengan referensi pertama dan kedua, namun menggunakan sistem kontrol yang berbeda yaitu sistem kontrol PID dengan metode tuning Cohen-Coon. Sehingga penulis akan membahas mengenai Sistem kontrol posisi sumbu *azimuth* pada *turret gun* menggunakan simulasi Matlab PID tuning Cohen-Coon dengan tujuan mempercepat gerakan *turret gun* untuk mencapai posisi target serta menghasilkan respon gerak *turret gun* yang lebih cepat lagi dibandingkan dengan penelitian sebelumnya.

METODE

Pendekatan Penelitian

Metode *Research and Development* menurut Sukmadinata dan Nana Syaodih (2009), merupakan serangkaian tahapan yang harus dilalui dengan tujuan untuk mengembangkan atau menyempurnakan penelitian-peelitian sebelumnya dan dapat dipertanggung jawabkan. Sedangkan dari referensi buku yang ditulis oleh Sugiyono (2011), *Research and Development* (R&D) merupakan metode penelitian yang biasa diimplementasikan dengan tujuan untuk membuat sebuah produk dan melakukan pengujian keefektifan dan kelayakan produk.

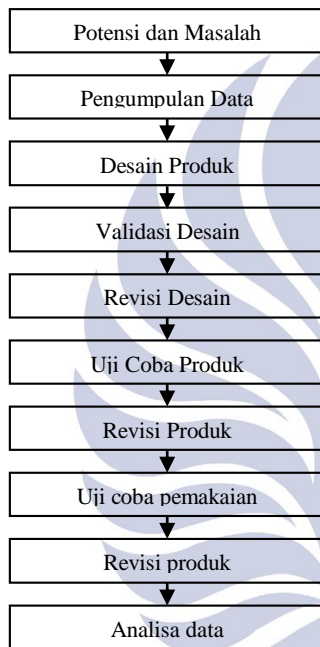
Dari beberapa pendapat tersebut, maka didapatkan pengertian dari metode ini adalah metode penelitian yang bertujuan untuk membuat atau menyempurnakan produk tertentu yang sudah ada melalui suatu pengujian keefektifan dan kelayakan produk dan dapat dipertanggung jawabkan. Penelitian kali ini, produk yang ciptakan harus diuji keefektifan dan kelayakan yang dimilikinya. Berdasarkan penjelasan di atas, metode ini layak untuk diimplementasikan sebagai metode pendekatan pada penelitian ini. Pada penelitian ini produk diuji cobakan dengan menggunakan laptop (PC) yang telah terinstall *software* matlab menggunakan simulink. Langkah-langkah penelitian dengan metode ini mengacu pada langkah-langkah penelitian yang kemukakan oleh Sugiyono.

Instrumen Pengumpulan Data

Penggunaan instrumen pengumpulan data bertujuan untuk mempermudah dalam mengumpulkan data-data penelitian. Penelitian ini menggunakan instrumen pengumpulan data berupa laptop (PC) dan *software* Matlab 2018a yang berguna untuk melakukan pengujian dan analisis respon dari sistem kontrol untuk gerak laras pada *turret gun* posisi sumbu *azimuth* dengan menjalankan simulasi.

Rancangan Penelitian

Seperti yang dijelaskan pada metode penelitian, metode *Research and Development* (R&D) memiliki 10 langkah untuk melakukan penelitian, langkah-langkah penelitian tersebut dijelaskan seperti pada Gambar 1. di bawah ini :



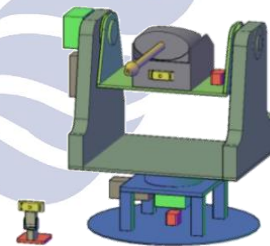
Gambar 1. *Flowchart* Rancangan Penelitian (Sumber : Sugiono, 2011)

pada diagram blok sistem ini adalah posisi sudut. Kontrol PID dengan metode tuning Cohen-Coon digunakan sebagai kontroler. Driver motor L298N dan motor DC faulhaber sebagai aktuator yang berfungsi mengarahkan *turret* sesuai dengan target atau *setpoint* yang telah ditentukan. Sedangkan *plant* yang digunakan adalah *turret gun*. Pada desain sistem ini sensor encoder berfungsi untuk membaca sudut putaran pada motor.

Pemodelan Dinamik

Pemodelan sistem merupakan aspek penting untuk mencari kestabilan gerakan pada *turret gun* dan menolak gangguan saat muncul yang berasal dari struktur mekanik *turret gun*, komponen-komponen yang bergerak sehingga menimbulkan friksi dan keadaan tidak menentu dari medan tempur. Tak hanya itu, yang perlu dipertimbangkan lagi adalah faktor vibrasi pada sistem karena terjadi secara berulang-ulang dengan frekuensi dan amplitude terentu. (Ashari, 2019).

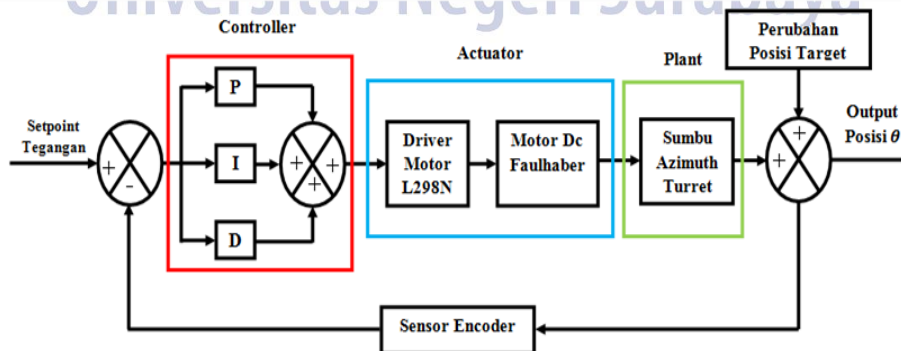
Turret gun memiliki prinsip kerja yaitu senapan akan bergerak sesuai dengan pergerakan target atau akan mengikuti pergerakan arah dan sudut dari *setpoint* yang telah ditentukan. (Wisnu dkk, 2016). Model sistem *turret gun* memiliki *base* yang berputar (*turret*) dan laras (*gun*). Struktur mekanik seperti ini diilustrasikan sama dengan robot manipulator dengan dua joint. Dilihat dari Gambar 3. Yang menggambarkan ilustrasi mekanik *turret gun*.



Gambar 3. Desain *Turret Gun* (Sumber: Tamara dkk, 2018)

Desain Sistem

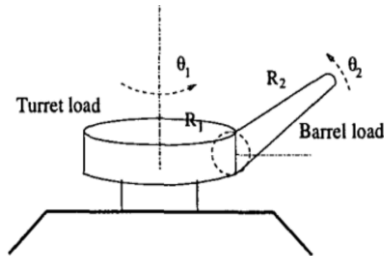
Desain sistem dari pengendalian *turret gun* posisi sumbu *azimuth* dapat dijelaskan berdasarkan Gambar 2. seperti berikut ini :



Gambar 2. Diagram Model Matematika

Gambar 2. Merupakan diagram blok (Sumber: Asmari, 2019) Muhammad Naszir Tamara, dan kawan-kawan pengendalian *turret gun* posisi sumbu *azimuth*. *Setpoint* (2014) menyatakan bahwa stuktur *turret gun* terdiri *turret*

dan *gun* yang masing-masing digerakkan oleh motor. Model matematis *turret gun* dibangun dengan asumsi bahwa struktur *turret* berbentuk rigid dan pejal, dimana silinder berotasi pada pusat lingkaran. Sedangkan struktur *gun* berbentuk rigid dan pejal, dimana silinder berotasi dengan sebagai poros putarnya. Sistem kerja *turret gun* berdasarkan pada Gambar 4. di bawah ini.



Gambar 4. Sistem Kerja *Turret Gun*
(Sumber: Tamara dkk, 2018)

Dari gambar sistem kerja *turret gun* di atas, didapatkan persamaan sistem dinamik dari sistem. Persamaan sistem tersebut dituliskan sebagai berikut :

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

Dimana

$$D(\theta) = \begin{pmatrix} D_{11} & 0 \\ 0 & D_{22} \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$C(\theta, \dot{\theta}) = \begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} \\ C_{21} & C_{22} \end{pmatrix} \quad (3)$$

Dimana

$$G(\theta) = ((0, \frac{1}{2}m_2gR_2 \cos(\theta_2))^T \quad (4)$$

$$D_{11} = \frac{1}{2}m_1R_1^2 + m_2R_1^2 + m_2R_1R_2 \cos(\theta_2) \frac{1}{3}m_2R_2^2 \cos^2(\theta_2) \quad (5)$$

$$D_{22} = \frac{1}{3}m_2R_2^2 \quad (6)$$

$$C_{11} = (-m_2R_1R_2 \sin(\theta_2)\dot{\theta}_2) \quad (7)$$

$$C_{12} = (-\frac{1}{3}m_2R_2^2 \sin(2\theta_2)\dot{\theta}_2) \quad (8)$$

$$C_{21} = (\frac{1}{2}m_2R_1R_2 \sin(\theta_2) + \frac{1}{6}m_2R_2^2 \sin(\theta_2))\dot{\theta}_1^2 \quad (9)$$

$$C_{22} = 0 \quad (10)$$

Keterangan

m_1 = Massa *Turret* (kg)

m_2 = Massa *gun* (kg)

R_1 = Jari-jari *turret* (cm)

R_2 = Jari-jari *gun* (cm)

θ_1 = Sudut *Azimuth* ($^\circ$)

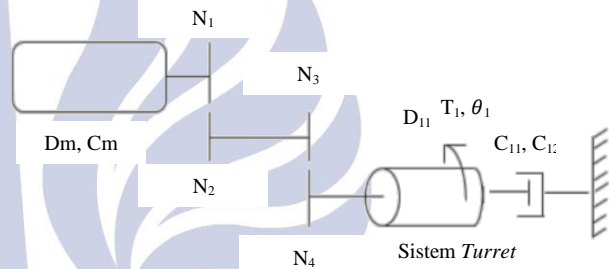
θ_2 = Sudut *Elevasi* ($^\circ$)

Dari persamaan diatas dapat diketahui bahwa inersia sistem adalah $D(\theta)$, vektor coriolis dan efek torsi

sentrifugal adalah $C(\theta, \dot{\theta})$ dan gravitasi adalah $G(\theta)$. Selanjutnya dengan menurunkan sistem tersebut dengan persamaan Euler-Lagrange, sehingga menjadi $L = EK_{tot} - EP_{to}$. Dimana L didapatkan dari energi kinetik total yang dikurangi oleh energi potensial total. Sedangkan sistem tersebut berpacu pada jumlah torsi yang digunakan untuk memposisikan laras pada sistem *turret gun* dan selanjutnya diubah menjadi persamaan berikut:

$$\ddot{\theta}_1 = \frac{T_{turret} - C_{11}\dot{\theta}_1 - C_{12}\dot{\theta}_2}{D_{22}} \quad (11)$$

Untuk sistem kontrol sumbu *azimuth* pada *turret gun* menggunakan persamaan 11 di atas, (Mushonnifah dkk, 2015). *Turret* berpacu pada torsi, sehingga dapat diketahui bahwa torsi yang di kurangi dengan gaya sentrifugal dan koriolis dibagi dengan inersia *turret* berbanding lurus dengan perubahan kecepatan *turret*.



Gambar 5. Ilustrasi Rangkaian Motor, Transmisi dan *turret*
(Sumber : Wisnu dkk,2016)

Berdasarkan Gambar 5. di atas menjelaskan bahwa keluaran torsi dari motor DC di atas merupakan torsi yang masuk pada sistem yang dipengaruhi oleh transmisi roda gigi. (Wisnu dkk,2016) :

$$T_{turret} = T_{motor} \times N \quad (12)$$

Diketahui N berasal dari rasio roda gigi dari keseluruhan pada transmisi penggerak dan T_{motor} merupakan torsi yang dihasilkan oleh motor DC. Maka dari itu dari persamaan 13 harus diubah dalam bentuk $\ddot{\theta}_1$ terlebih dahulu agar sistem dapat dilinearisasikan dan menghasilkan persamaan sebagai berikut :

$$\ddot{\theta}_1 = \frac{K_t E_a N - [(R_a m_2 R_1 R_2 \sin(\theta_2) + R_a \frac{1}{3} m_2 R_2^2 \sin(2\theta_2)) \dot{\theta}_2 - N K_t K_b] \dot{\theta}_1}{R_a (\frac{1}{2} m_1 R_1^2 + m_2 R_1^2 + m_2 R_1 R_2 \cos(\theta_2) \frac{1}{3} m_2 R_2^2 \cos^2(\theta_2))} \quad (13)$$

Keterangan :

T_{turret} = Torsi Sistem *Azimuth*

$\dot{\theta}_1$ = Perubahan kecepatan sistem *azimuth*

Dari Persamaan 13 kemudian dilinearkan dengan menggunakan metode *Jacobian*. Dari langkah tersebut sehingga hasil linearisasi disekitar titik kesetimbangan menjadi persamaan sebagai berikut sebagai berikut:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & \frac{NK_t K_b}{R_a(\frac{1}{2}m_1 R_1^2 + m_2 R_1^2 + m_2 R_1 R_2 \cos(\theta_2) \frac{1}{3} m_2 R_2^2 \cos^2(\theta_2))} \end{pmatrix} \quad (14)$$

$$B = \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{NK_t E_a}{R_a(\frac{1}{2}m_1 R_1^2 + m_2 R_1^2 + m_2 R_1 R_2 \cos(\theta_2) \frac{1}{3} m_2 R_2^2 \cos^2(\theta_2))} \end{pmatrix} \quad (15)$$

$$C = (1 \ 0) \quad (16)$$

$$D = (0) \quad (17)$$

Kontrol PID

Kontrol PID sering dijumpai pada bidang industri. Dalam sebuah survey menyatakan bahwa 97 % industri dalam bidang proses pengontrolannya menggunakan PID. Kesederhaan struktur yang dimiliki kontrol PID menjadikan pengontrolan ini banyak digunakan. (Setiawan, 2008).

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (18)$$

Keterangan:

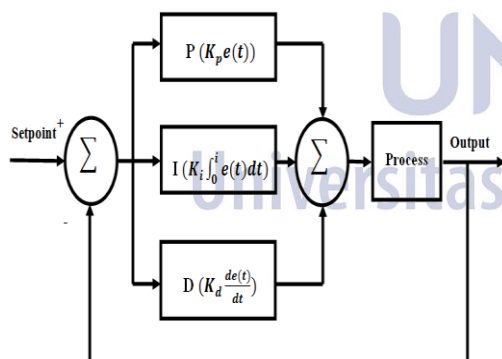
$u(t)$ = Sinyal output kontroler

K_p = Proportional gain

T_i = Waktu integral

T_d = Waktu derivative

$e(t)$ = Sinyal eror yang dihasilkan



Gambar 6. Blok diagram Kontrol PID (Sumber: Wisnu dkk, 2016)

Gambar 6 menjelaskan blok diagram dari sistem kontrol PID yang biasa digunakan pada bidang industri saat ini. Kontrol PID didapat dari gabungan sistem dan pengaturan antara lain : *P (Proportional)*, *I (Integral)* dan *D (Derivative)* yang dapat digunakan secara bersamaan

dengan paralel maupun terpisah dan tidak menggunakan salah satu komponen saja. Untuk dapat beroperasi dengan baik, setiap parameter harus diatur. Perubahan setiap parameter PID yang diatur akan mempengaruhi kerja pengontrolan suatu proses, Pengaruh tersebut dapat kita lihat lebih jelas pada Tabel 1. di bawah ini :

Tabel 1. Pengaruh Tuning Satu Parameter PID

	<i>Rise Time</i>	<i>Overshoot</i>	<i>Settling Time</i>	<i>Error Steady State</i>
K_p	Berkurang	Bertambah	Sedikit bertambah	Menurun
K_i	Sedikit berkurang	Bertambah	Bertambah	Menurun
K_d	Sedikit berkurang	Berkurang	Berkurang	Meningkat

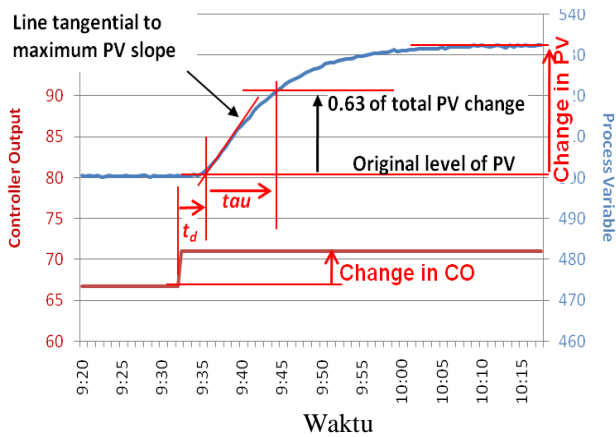
(Sumber : Setiawan, 2008)

Metode Tuning Cohen-Coon

Penalaan parameter kontrol PID didapatkan dari karakteristik fisik yang dimiliki oleh *plant*. Oleh karena itu, karakteristik metode penalaan dilakukan dengan tujuan untuk menghasilkan kinerja sistem sesuai dengan spesifikasi perancangan. Atau disebut alat kontrol (*controller tuning*) (Ogata, 2003).

Terdapat beberapa metode penalaan untuk menentukan nilai parameter kontrol PID salah satunya adalah metode tuning Cohen-Coon. Berdasarkan referensi yang peneliti dapatkan. Menurut Suharti dan kawan-kawan (2020), keunggulan yang dimiliki metode tuning Cohen-Coon adalah memiliki nilai *overshoot* minimal, namun memiliki kelemahan nilai *settling time* yang didapatkan lebih besar jika dibandingkan metode tuning Ziegler Nichols. Meskipun hampir mirip dengan metode Ziegler Nichols, namun perbedaan yang dimiliki metode tuning Cohen-Coon adalah waktu naik yang lebih baik. (Faradisa, 2020)

Untuk mencari parameter menggunakan metode tuning ini dengan melihat respon sistem tanpa pengendali, dengan respon sistem tersebut perubahan langkah secara manual akan diketahui. Metode tuning Cohen-Coon, menggunakan respon orde pertama yang selanjutnya ditambah waktu mati yang berasal dari respon sistem dengan dimodelkan ke perubahan langkah. Berdasarkan respon tersebut, parameter K_p , τ_i , dan τ_d dapat diketahui. g_p merupakan keadaan mapan keluaran yang dibagi dengan perubahan langkah masukan, sedangkan τ merupakan konstanta waktu efektif yang berasal dari respons orde pertama, dan t_d merupakan waktu mati. Untuk penjelasannya dapat dilihat pada Gambar 7. Di bawah ini.



Gambar 7. Step Test untuk Proses Tuning Cohen-Coon (Sumber : Opti Control, 2011)

Setelah didapatkan g_p , tau dan t_d , langkah selanjutnya dengan mencari nilai parameter PID dengan rumus aturan tuning Cohen-Coon, yang dijelaskan pada Tabel 2. di bawah ini.

Tabel 2. Rumus Aturan Tuning Cohen-Coon

	K_c	T_i	T_d
Kontrol P	$\frac{K_c}{g_p} \left(\frac{\tau}{t_d} + 0.34 \right)$		
Kontrol PI	$\frac{K_c}{g_p} \left(\frac{\tau}{t_d} + 0.092 \right)$	$T_i = 3.33 t_d \frac{\tau + 0.092 t_d}{\tau + 2.22 t_d}$	
Kontrol PD	$\frac{K_c}{g_p} \left(\frac{\tau}{t_d} + 0.129 \right)$		$T_d = 0.27 t_d \frac{\tau - 0.324 t_d}{\tau + 0.129 t_d}$
Kontrol PID	$\frac{K_c}{g_p} \left(\frac{\tau}{t_d} + 0.185 \right)$	$T_i = 2.5 t_d \frac{\tau + 0.185 t_d}{\tau + 0.611 t_d}$	$T_d = 0.37 t_d \frac{\tau}{\tau + 0.185 t_d}$

(Sumber : Opti Control, 2011)

Pada penelitian ini menggunakan kontrol PID dengan metode tuning Cohen-Coon, maka akan digunakan rumus aturan tuning dengan kontrol PID.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada tahap akhir ini akan menerangkan mengenai pengujian dan analisis respon sistem kontrol PID metode tuning Cohen-Coon dan membandingkan hasil respon sistem tersebut dengan sistem kontrol dari beberapa penelitian terdahulu. Pengujian dan analisis ini dilakukan dengan simulasi menggunakan Simulink pada Matlab 2018a.

Proses Pengujian dengan Kontrol PID Metode Tuning Cohen-Coon

Untuk dapat melakukan simulasi terlebih dahulu harus melakukan penyusunan model matematis dari sistem. Model matematis untuk *plant turret gun* posisi sumbu azimuth didapatkan dari pemodelan sistem yang dimilikinya. Dengan mengetahui spesifikasi hardware yang dimiliki *turret gun* dapat menentukan transfer fungsinya. Berikut tabel parameter fisik *turret gun* sumbu azimuth :

Tabel 3. Parameter Fisik *Turret Gun* Sumbu Azimuth

Parameter	Simbol	Spesifikasi
Rasio Perbandingan transmisi	N	1 : 2,5
Torsi motor	K_t	0,0134
Tegangan konstan	K_b	2,117
Resistansi motor	R_a	1,9
Massa turret	m_1	0,025
Massa gun	m_2	0,01
Jari-jari turret	R_1	0,06
Jari-jari gun	R_2	0,22
Tegangan motor	E_a	12

Berdasarkan Tabel 3. parameter fisik fisik *turret gun* sumbu azimuth di atas, kemudian memasukkan parameter-parameter tersebut ke dalam persamaan hasil linearisasi menggunakan metode *Jacobian*. Dari persamaan 14, persamaan 15 didapatkan nilai sebagai berikut :

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -15,9541 \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} 0 \\ 90,4345 \end{pmatrix}$$

Variabel A, B di atas dan dari persamaan 16 dan persamaan 17 selanjutnya diubah menjadi *state space model* menggunakan matlab dengan fungsi *mathscript* sebagai berikut :

$$State Space = ss(A, B, C, D)$$

Dari langkah tersebut menghasilkan keluaran *state space model* yaitu :

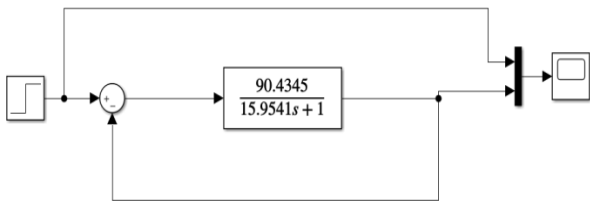
$$\frac{dx}{dt} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -15,9541 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ 90,4345 \end{bmatrix} u(t)$$

$$y(t) = [1 \ 0]x(t) + [0]u(t)$$

Sehingga mendapatkan transfer fungsi sebagai berikut :

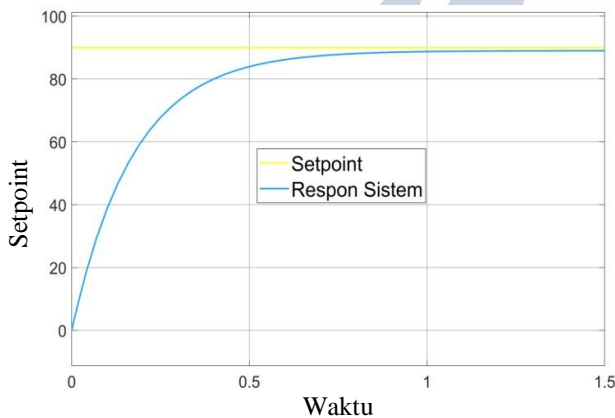
$$TF = \frac{90,4345}{15,9541s + 1}$$

Setelah mendapatkan persamaan transfer fungsi dari *plant*, selanjutnya mensimulasikan sistem tanpa kontroler (*open loop*) untuk mengetahui grafik hasil sistemnya.



Gambar 8. Diagram Blok Simulasi *Open Loop*

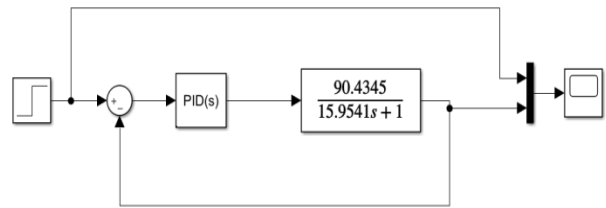
Seperti Gambar 8. Diagram blok simulasi *open loop* di atas setelah disimulasikan didapatkan grafik hasil respon sistem dengan *setpoint* 45° dapat dilihat pada blok *Scope* 1, grafik hasil respon seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik Hasil Respon Sistem Tanpa Kontroler (*Open Loop*)

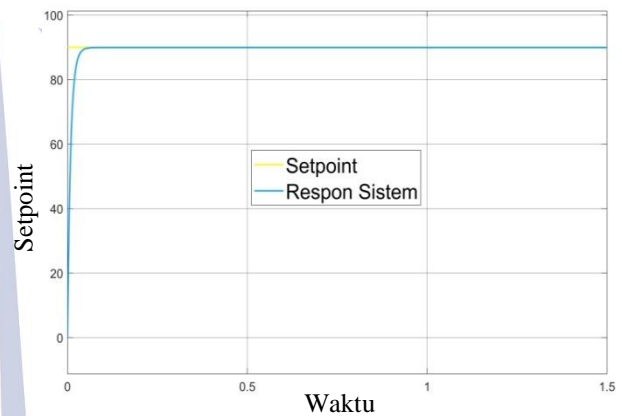
Setelah mendapatkan grafik hasil respon sistem *open loop* seperti di atas, untuk mendapatkan nilai g_p , tau dan t_d langkah selanjutnya dapat melakukan *step test* yaitu dengan mencari garis tangen pada grafik hasil respon sistem *open loop* tersebut. Hasil dari langkah tersebut didapatkan nilai tau (τ) sebesar 0,24, t_d sebesar 0,1 dan nilai g_p yang didapatkan dari perhitungan keadaan mapan keluaran dibagi dengan perubahan langkah masukan menghasilkan nilai 1,58928.

Dengan didapatkannya nilai g_p , tau dan t_d , maka tahap selanjutnya adalah mencari nilai parameter PID yaitu nilai K_C , T_I dan T_D , dengan memasukkan ke persamaan PID sesuai dengan rumus aturan metode tuning Cohen-coon pada Tabel 2. Sehingga diperoleh nilai. Berdasarkan perhitungan dengan rumus aturan tersebut dapat diketahui nilai parameter K_C sebesar 20,08709, nilai parameter T_I sebesar 0,02457 dan nilai parameter T_D sebesar 0,00367. Dengan menggunakan parameter PID tersebut disimulasikan dengan rangkaian kontrol PID seperti pada Gambar 10. di bawah ini.



Gambar 10. Diagram Blok Simulasi Kontrol PID

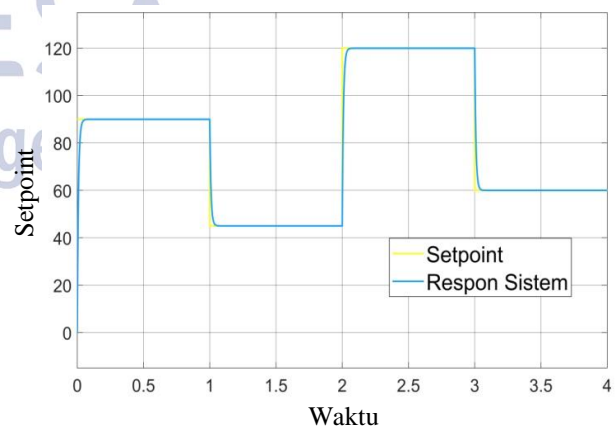
Dari hasil simulasi yang dilakukan dengan diagram blok simulasi dengan kontrol PID metode tuning Cohen-Coon, maka didapatkan grafik hasil respon sistem seperti pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik Hasil Respon Sistem menggunakan Kontrol PID Metode Tuning Cohen-Coon

Pengujian dengan *Setpoint* Berubah

Pengujian selanjutnya dilakukan dengan memasukkan nilai *setpoint* berubah-ubah dalam satu percobaan. Nilai *setpoint* yang digunakan yaitu 90° , 45° , 120° dan 60° . Dari pengujian tersebut didapatkan grafik hasil respon sistem seperti pada gambar di bawah ini.

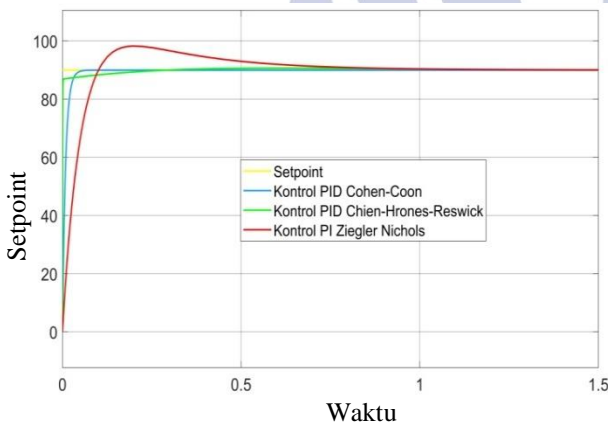


Gambar 12. Grafik Respon Sistem dengan *Setpoint* Berubah

Pengujian Perbandingan Grafik Hasil Respon Sistem dengan Penelitian sebelumnya

Untuk membandingkan grafik hasil respon sistem kontrol yang telah dibuat menggunakan kontrol PID metode tuning Cohen-Coon, maka penulis membandingkan dengan beberapa penelitian yang telah dilakukan. Penulis memilih penelitian yang dilakukan oleh Moch Azhari (2019) yaitu menggunakan sistem pengendalian PID dengan metode tuning *Chien-Hrones-Reswick* (CHR) dan penelitian yang oleh Nur Afifah (2019) dengan kontrol PI metode tuning Ziegler Nichols karena menggunakan plant yang sama yaitu *turret gun* dengan posisi sumbu *azimuth*.

Pada kontrol PID dengan metode tuning *Chien-Hrones-Reswick* (CHR) didapatkan $K_p = 24,66$, $K_i = 62,58$ dan $K_d = 4,4$. Sedangkan pada kontrol PI metode tuning Ziegler Nichols parameter PI yang digunakan adalah $K_p = 4,165$ dan $K_i = 14,5$. Setelah dilakukan simulasi, didapatkan grafik hasil respon sistem seperti pada Gambar 13. Berikut ini :



Gambar 13. Grafik Respon Sistem Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Berdasarkan hasil simulasi di atas, menunjukkan bahwa pada *setpoint* 90° didapatkan hasil perbandingan grafik respon sistem dengan variabel-variabel maksimal *overshoot*, *Error Stady State*, waktu naik (*rise time*) dan *settling time* seperti pada Tabel 4. Sebagai berikut :

Tabel 4. Perbandingan Variabel Karakteristik Respon Sistem

	PID CHR	PI Z-N	PID C-C
MO	4,4	4,4	0,00652
Ess	-	0 %	0,056 %
t_r	2,197 s	1,672 s	0,0194 s
t_s	1,281 s	3,805 s	0,0350 s

Dapat dilihat dari Tabel 4. di atas, bahwa dengan menggunakan kontrol PID dengan metode tuning Cohen-Coon menghasilkan maksimal *Overshoot* lebih kecil

dibandingkan dengan kontrol PID *Chien-Hrones-Reswick* (CHR) maupun kontrol PI Ziegler Nichols. Nilai waktu naik (*rise time*) yang dihasilkan dari kontrol PID Cohen-Coon juga lebih cepat dibandingkan dengan metode kontrol yang digunakan pada penelitian sebelumnya. Dari Tabel 4. perbandingan variabel karakteristik respon sistem di atas menunjukkan bahwa kontrol PID metode tuning Cohen-Coon memiliki hasil gerak respon yang lebih baik dibandingkan dengan sistem kontrol PID *Chien-Hrones-Reswick* (CHR) maupun kontrol PI Ziegler Nichols dan dapat digunakan untuk mempercepat respon sistem serta menurunkan *overshoot* sehingga dapat memperbaiki kekurangan yang ada pada penelitian-penelitian sebelumnya.

PENUTUP

Simpulan

Setelah penelitian yang telah dilakukan, kontrol PID dengan metode tuning Cohen-Coon dapat digunakan dengan baik untuk mengendalikan gerakan *turret gun* pada posisi sumbu *azimuth*. Setelah dilakukan pencarian parameter-parameter PID dengan rumus aturan metode tuning Cohen-Coon pada Tabel 2. didapatkan nilai K_p sebesar 20,08709, nilai K_i sebesar 0,02457 dan nilai K_d sebesar 0,00367. Hasil perbandingan kontrol PID metode tuning Cohen-Coon dengan kontrol PID *Chien-Hrones-Reswick* (CHR) dan kontrol PI Ziegler Nichols didapatkan nilai waktu naik (*rise time*) yang lebih cepat, nilai maksimal *overshoot* yang lebih kecil yaitu dengan nilai maksimal *overshoot* = 0,00652, $t_r = 0,0194$ s dan $t_s = 0,0350$ s. Nilai-nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 4. Maka dari itu, dapat disimpulkan bahwa kontrol PID metode tuning Cohen-Coon lebih baik dibandingkan dengan penelitian sebelumnya.

Saran

Setelah penelitian perubahan kecepatannya enulis dilakukan, terdapat saran yang penulis berikan untuk penelitian selanjutnya yaitu agar menggunakan kontrol lainnya seperti kontrol *hybrid* atau kontrol cerdas lainnya sehingga dapat memiliki nilai *Error Stady State* yang lebih kecil lagi. Dan untuk pengembangannya bisa ditambah dengan pemantauan jarak jauh agar dapat dilakukan pemantauan jarak jauh.

Pada penelitian ini hanya dilakukan dengan menggunakan simulasi, maka dari itu diharapkan untuk penelitian selanjutnya bisa dilakukan secara riil pada *plant turret gun* agar hasil yang didapatkan data riil dari sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- Afifah, Nur. 2019. Sistem Pengendalian Posisi Sumbu Azimut pada *Turret Gun* menggunakan Kendali PI berbasis Arduino Mega 2560. *Jurnal Teknik Elektro*. Vol. 08, No. 03, Hal. 549:555.
- Afikah, Nur. 2019. Sistem Pengendalian Posisi Sumbu Azimuth pada *Turret Gun* Menggunakan Fuzzy Logic Controller Berbasis Arduino Mega 2560. *Jurnal Teknik Elektro*. Vol. 09, No. 02, Hal. 259267
- Ashari, Moch. Rizal. 2019. Perancangan Sistem Kontrol Posisi Sumbu Azimuth *Turret Gun* menggunakan Kendali PID berbasis Arduino Mega 2560. *Jurnal Teknik Elektro*. Vol. 08, No. 03, Hal. 541:548.
- Faradisa, Sayyuda. 2020. Perancangan Kontroler PI dengan Metode Tuning Cohen-Coon untuk Kendali Suhu pada Inkubator Bayi berbasis Labview 2014. *Jurnal Teknik Elektro*. Vol. 09, No. 02 Hal. 293:301
- Kunto, Dimas., Wahjudi, Arif., dan Nurhadi, Hendro., 2016. Perancangan Sistem Kontrol PID untuk Pengendali Sumbu Elevasi Gun pada *Turretgun* Kaliber 20 Milimeter. *Jurnal Teknik ITS*. Vol. 5, No. 2,
- Ogata, Katsuhiko. 2010. *Modern Control Engineering Fifth Edition*. Pearson Education, Inc. USA
- Opti Control. 2011. *Cohen-Coon Tuning Rules*. (Online).
- Pradana, Achmad B. 2020. Sistem Pengaturan Sumbu Elevasi *Gun* Pada *Turret – Gun* menggunakan Kontroler PI. *Jurnal Teknik Elektro*. Vol. 09, No. 01, Hal. 773:781.
- Rohmah, Puja A. 2021. Pengendalian Vibrasi pada Single Link Flexible Manipulator menggunakan Simulasi Matlab PID Cohen-Coon. *Jurnal Teknik Elektro*. Vol. 10, No. 01 Hal.1:8.
- Setiawan, iwan. 2008. *Kontrol PID untuk Proses Industri*. Surabaya. PT Elex Media Komputindo.
- Siagian, Pandapotan. 2011. Simulasi Matlab untuk Perancangan PID *Controller*. *Jurnal Processor*. Vol. 6, No. 1. Hal. 51:60
- Sugiyono. (2011). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung: PT Alfabet.
- Suharti, Profiyanti H., Sa'diyah, Khalimatus., Hernanda, M. Rizky., Sarida, Rania Mirantika. 2019. Aplikasi Tuning Metode Cohen-Coon pada Pengendali pH di Tangki Netralisasi, Unit Pengolahan Limbah. Politeknik Negeri Malang. Malang.
- Sukmadinata, Nana Syaodih. 2009. *Metode Penelitian Pendidikan*. Bandung : Remaja Rosdakarya
- Sulistiyadi, rahmad., Sugiarto., Oni Yuliani. 2020. Metode Penalaan Kontrol PID. *JTME*. Vo. 01, No. 01, Hal. 67:79.
- Tamara, Mohamad Nasyir., Pramuji, Bambang., Nurhadi, Hendro. Pitowo, Endra. 2018. "Simulasi dan Eksperimen Kontrol *Automatic Turret Gun*". *Jurnal ELTEK*, Vol. 16, No 1.
- UNESA. 2000. *Pedoman Penulisan Artikel Jurnal*, Surabaya: Lembaga Penelitian Universitas Negeri Surabaya.
- Wisnu, Danu., Wahyudi, Arif., Nurhadi, Hendro. 2016. "Perancangan Sistem Kontrol PID Untuk Pengendali Sumbu Azimuth *Turret* Pada *Turretgun* Kaliber 20mm". *Jurnal Tenik ITS*. Vol. 5, No. 2, Hal. 2337:3539.