

SISTEM PENGATURAN SUMBU ELEVASI GUN PADA TURRET – GUN MENGUNAKAN KONTROLER PI

Achmad Bayu Pradana

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

Puput Wanarti R

Dosen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
e-mail : puput_wr@yahoo.com

Abstrak

Turret gun adalah alat pertahanan yang bertujuan untuk menembakkan peluru dari jarak yang cukup jauh. Terdapat 2 sumbu putar pada *turret gun*, sumbu *elevasi* dan sumbu *azimuth*. Penelitian ini akan membahas sumbu *elevasi gun* atau gerak vertikal dari *gun*. Permasalahan rancang kendali yang menjadi fokus utama yaitu ukuran dimensi *gun* yang besar. Dimensi yang besar membuat sistem sulit bergerak (posisi tetap) dan tidak presisi. Hasil penelitian menunjukkan sistem pengaturan sumbu *elevasi gun* dapat menghasilkan respon dinamik yang stabil. LabVIEW 2014 digunakan sebagai *interface* berupa grafik hasil respon, tombol serta *input* nilai sudut. Kontroler PI pada sistem pengaturan sumbu *elevasi gun* pada *Turret gun* dengan nilai respon dinamik adalah dengan parameter PI dengan nilai yang didapat dari simulasi tuning *Ziegler-Nichols* yaitu $K_p=18$, dan $K_i=4$. Respon terbaik dihasilkan pada data dengan *setpoint* 10° , yang mana mempunyai waktu tunda (*td*) sebesar 7,63 detik, waktu naik (*tr*) sebesar 24,189 detik, waktu tunak (*ts*) sebesar 44,036 detik, dan *error steady state (Ess)* sebesar 0.0881° .

Kata Kunci: *Turret-gun*, sumbu *elevasi gun*, kontroler PI, LabVIEW, *Ziegler-Nichols*.

Abstract

Turret gun is a defense tool that aims to fire bullets from a considerable distance. There are 2 rotary axes on the turret gun, the elevation axis and the azimuth axis. This study will discuss the gun elevation axis or vertical motion of the gun. The problem of control design which is the main focus is the size of the large gun dimensions. Large dimensions make the system difficult to move (fixed position) and not precise. The results showed that the gun elevation axis regulation system can produce a stable dynamic response. LabVIEW 2014 is used as an interface in the form of graphs of response results, buttons and input angle values. The PI controller in the gun elevation axis control system in the *Turret gun* with the dynamic response value is the PI parameter with the values obtained from the *Ziegler-Nichols* tuning simulation, $K_p = 18$, and $K_i = 4$. The best response is generated on data with a setpoint of 10° , which has a delay time (*td*) of 7.63 seconds, up time (*tr*) of 24.189 seconds, steady time (*ts*) of 44.036 seconds, and steady state error (*Ess*) of 0.0881° .

Keywords: *Turret-gun*, gun elevation axis, Controller PI, LabVIEW, *Ziegler-Nichols*.

PENDAHULUAN

Negara bisa dikatakan kuat apabila memiliki pertahanan yang canggih (Wahjudi. Arif, 2016). Penggunaan senjata, menjadi prioritas dalam mempertahankan negara dari serangan musuh. Dalam (Undang – Undang Dasar 1945 pasal 30 ayat 1 dan 2) mengatakan setiap warga negara Indonesia berhak dan wajib ikut serta dalam usaha bela negara. Salah satu perwakilan rakyat dalam membela tanah air adalah TNI dan Polri. Apabila dua komponen pertahanan tanah air ini berkurang, maka negara akan mengalami kerugian. Menurut Kunto,Dimas (2016) *Turret gun* diciptakan

sebagai alat utama sistem pertahanan utama (Alutsista) dengan tujuan untuk menembakkan peluru dengan menggunakan pengendali (remote kontrol) dari jarak jauh. *Turret-gun* termasuk salah satu contoh sistem persenjataan otomatis. *Turret-gun* adalah sistem senapan bergerak yang berfungsi untuk menembak target dengan pergerakan arah dan sudut yang mengikuti pergerakan target (Wisnu.Danu, 2016). Menurut Kunto,Dimas (2016) Terdapat dua sumbu gerak pada sistem *turret-gun*, antara lain; Sumbu gerak *azimuth* dan sumbu gerak *elevasi*. Sumbu gerak *azimuth* adalah gerak rotasi *turret* yang dapat berputar *horizontal* sebesar 360° sedangkan sumbu gerak

elevasi adalah gerak vertikal laras senjata dari 0° hingga 70° . Dalam penelitian ini yang menjadi fokus utama adalah perancangan kendali pada gerak *elevasi* rotasi laras senjata, karena ukuran dimensi *gun* peluru yang besar menjadi bahan pertimbangan. Dimensi yang besar membuat sistem sulit bergerak dengan presisi sehingga dibutuhkan kontroler *Proportional-Integral*.

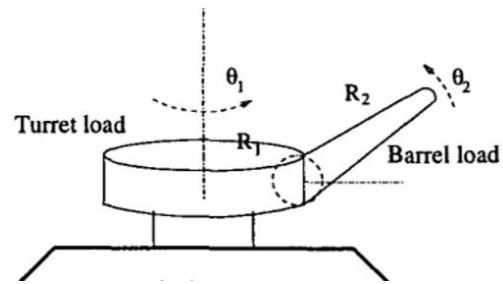
Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Kunto, Dimas pada tahun 2016 yaitu “perancangan sistem kontrol PID untuk pengendali sumbu *elevasi gun* pada *turret-gun* kaliber 20 milimeter” membahas simulasi kontrol PID metode *Root Locus* dan metode *Ziegler Nichols*, dapat disimpulkan kontroler PID metode *Ziegler Nichols* menghasilkan respon *transient* yang memenuhi kriteria desain, sedangkan metode *Root Locus* belum memenuhi kriteria desain. Pada penelitian ini, peneliti akan merancang perangkat keras sistem sumbu *elevasi turret-gun* menggunakan motor DC sebagai *aktuator* dan *encoder* sebagai sensor untuk mengontrol posisi sudut derajat laras senjata. Kontroler PI metode *Ziegler Nichols* digunakan pada Arduino Mega untuk pengaturan sistem sumbu *elevasi turret-gun*. Kontroler PI memiliki kelebihan yaitu mempercepat respon sistem berupa *rise time* tanpa memperdulikan *osilasi* pada saat *steady state*. Hal ini selaras dengan fungsi dari komponen kontroler yaitu mereduksi sinyal kesalahan untuk mendapatkan sinyal aktual yang sama dengan *setpoint*. Data hasil pembacaan dari sensor *encoder* berupa kurva hasil respon akan ditampilkan melalui *Graphical User Interface (GUI)* yang di buat pada *software LabVIEW 2014*.

Tujuan penelitian ini adalah menghasilkan dan menganalisis respon dinamik sistem pengaturan sumbu *elevasi gun* pada *turret gun* menggunakan kontroler PI. Penelitian ini menggunakan sensor MPU6050, Arduino Mega sebagai mikrokontroler, motor DC sebagai *actuator* dan juga *software LabVIEW 2014* sebagai *Graphic User Interface*.

KAJIAN PUSTAKA

Turret gun

Menurut Mushonnifah-Siti (2016) model dari *turret-gun* diperkenalkan oleh Ling pada tahun 1999. Gambar 1 memperlihatkan ilustrasi dari sistem *turret-gun*. Pada sistem tersebut terdapat 2 sumbu gerak, sumbu *azimuth* dan sumbu gerak *elevasi*. Sumbu gerak *azimuth* merupakan pergerakan *turret-gun* secara memutar (*horizontal* sebesar 360°) sedangkan sumbu gerak *elevasi* mempunyai pergerakan naik turun (0° hingga 70°). Sumbu gerak *azimuth* dan sumbu gerak *elevasi* menggunakan parameter *massa*, *radius* dan posisi *angular*. Sedangkan barrel load digunakan sebagai penembak peluru pada *turret gun*. Untuk lebih jelasnya dapat dijelaskan pada Gambar 1.



Gambar 1. Sistem Turret gun
(Sumber : Nasyir, M. T. 2014)

Dari Gambar 1. didapatkan persamaan dasar untuk gerak dinamis sebagai berikut:

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

Dimana $D(\theta)$ merupakan matriks inersia, $C(\theta, \dot{\theta})$ adalah efek gaya sentrifugal dan gaya koriolis, $G(\theta)$ adalah gaya gravitasi, dan τ adalah torsi. Keterangan $D(\theta)$, $C(\theta, \dot{\theta})$, dan $G(\theta)$ sebagai berikut (Mushonnifah, Siti, 2016).

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

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

$$G = \left(0, \frac{1}{2} m_2 g R_2 \cos(\theta_2) \right)^T \quad (4)$$

$$D_{11} = \frac{1}{2} m_1 R_1^2 + m_2 R_1 R_2 \cos(\theta_2) + \frac{1}{3} m_2 R_2^2 \cos^2(\theta_2) \quad (5)$$

$$D_{22} = \frac{1}{3} m_2 R_2^2 \quad (6)$$

$$C_{11} = (-m_2 R_1 R_2 \sin(\theta_2) \dot{\theta}_2) \dot{\theta}_1 + \left(-\frac{1}{3} m_2 R_2^2 \sin(2\theta_2) \dot{\theta}_1 \right) \dot{\theta}_2 \quad (7)$$

$$C_{21} = \left(\frac{1}{2} m_2 R_1 R_2 \sin(\theta_2) \right) + \left(\frac{1}{6} m_2 R_2^2 \sin(\theta_2) \right) \dot{\theta}_1^2 \quad (8)$$

Keterangan:

θ_1 = posisi sumbu *azimuth*

θ_2 = posisi sumbu *elevasi*

m_1 = massa *turret*

m_2 = massa *gun*

R_1 = jari - jari *turret*

R_2 = panjang *gun*

g = gaya gravitasi

Sistem tersebut di turunkan menggunakan persamaan *Euler-Lagrange* menjadi $L = EK_{tot} - EP_{tot}$. L adalah energi kinetik total di kurangi dengan energi potensial total pada *turret-gun*. Mengacu pada persamaan 1 di dapatkan bentuk hubungan percepatan sudut dan torsi untuk komponen *turret-gun*. Mengasumsikan bahwa *turret* berbentuk silinder rigid yang di putar pada pusat lingkaran dan *gun* berupa silinder yang di putar pada ujung silinder sebagai poros putar. Sistem dinamik ini mengacu pada jumlah torsi untuk menggerakkan sistem *turret-gun* yang kemudian di ubah menjadi (Mushonnifah.Siti, 2016).

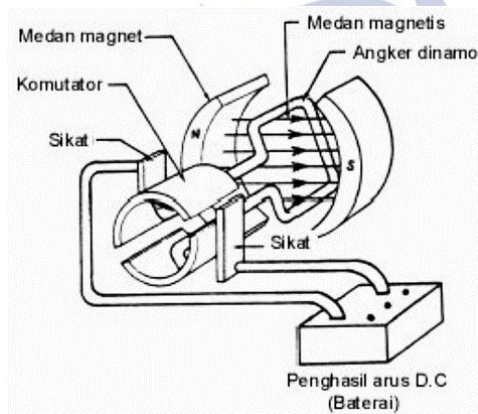
$$\ddot{\theta}_1 = \frac{T_1 - C_{11}}{D_{11}} \quad (9)$$

$$\ddot{\theta}_2 = \frac{\tau_2 - C_{21} - G}{D_{22}} \quad (10)$$

Pada sumbu *azimuth* (9), *turret* mengacu pada torsi, mengakibatkan perubahan kecepatan berbanding lurus dengan torsi di kurangi dengan gaya *sentrifugal* dan *koriolis* yang dibagi dengan inersia *turret*. Untuk sumbu *elevasi*. Prinsipnya sama dengan sumbu *azimuth*, berdasarkan persamaan 1. sumbu *elevasi* di pengaruhi oleh gaya gravitasi sehingga perlu di kurangi dengan gaya gravitasi oleh *gun* (Mushonnifah.Siti, 2016)

Motor DC

Motor DC adalah motor yang memerlukan suplai tegangan searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik (Anthoinete.P.Y.Waroh, 2014). Motor DC pada penelitian ini menggunakan motor dengan tegangan sebesar 12V, arus sebesar 0,6 A, dan daya sebesar 7,2 watt. Kumparan medan pada motor DC disebut stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar disebut rotor (bagian yang berputar). Jika terjadi putaran pada kumparan jangkar dalam medan magnet, maka akan timbul tegangan (GGL) yang berubah-ubah arah pada setiap setengah putaran. Bentuk Motor paling sederhana adalah motor yang memiliki kumparan satu lilitan yang bisa berputar bebas di antara kutub-kutub magnet permanen. Struktur dari Motor *Brushless DC* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur Motor DC
(Sumber : Izal, Fahmi. 2005)

Modul Driver Motor L298N

Motor DC tidak dapat dikendalikan secara langsung oleh mikrokontroler, karena kebutuhan arus listrik yang besar pada Motor DC (Ikhsanudin. 2018). Sedangkan arus keluaran pada mikro sangat kecil. Jika Motor langsung dihubungkan ke mikrokontroler, maka hal ini akan menyebabkan kerusakan pada mikrokontroler tersebut. *Driver Motor* merupakan pilihan alternatif yang harus digunakan untuk mengendalikan Motor DC.

Sensor Gyroscope dan Accelerometer

Modul MPU6050 merupakan sensor yang berfungsi sebagai *accelerometer* dan *gyroscope* yang dikemas dalam 1 modul yang kompatibel dengan arduino (Kadir, Abdul. 2013). *Accelerometer* merupakan sensor yang berfungsi sebagai pengukur percepatan benda atau objek yang bergerak, bersifat *dynamic* maupun *static*. Pengukuran *dynamic* merupakan pengukuran percepatan objek benda yang bergerak, sedangkan pengukuran *static* merupakan pengukuran percepatan objek terhadap gravitasi bumi. *Gyroscope* merupakan sensor yang berfungsi untuk menentukan orientasi gerak dengan bertumpu pada roda yang berotasi dengan cepat pada sumbu yang berdasarkan momentum sudut.

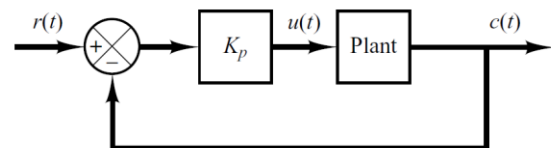
Kontroler PI

Kontroler PI merupakan kontroler mekanisme umpan balik yang bertujuan untuk mempercepat respon sistem berupa *rise time* tanpa memperdulikan *osilasi* pada saat *steady state*. Sebuah kontroler PI dalam kondisi *close loop* secara berkelanjutan menghitung nilai kesalahan sebagai beda antara *setpoint* yang diinginkan dan variabel proses terukur. Kontroler akan meminimalkan nilai kesalahan setiap waktu dengan penyetelan variabel kontrol (Ogata, Katsuhiko. 2010).

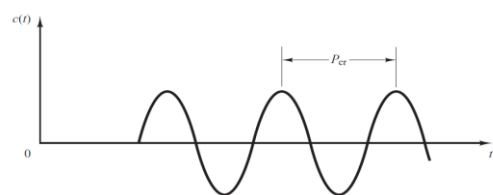
Tuning Ziegler-Nichols Metode Kedua

Metode *Ziegler Nichols* adalah aturan yang bertujuan untuk menentukan nilai gain *Proporsional* K_p , waktu *Integral* T_i berdasarkan karakteristik respon *transient* pada *plant* (Ogata, Katsuhiko. 2010).

Pada metode kedua, pertama-tama kita Memperoleh respon dari konfigurasi *close loop* terhadap *plant*, dengan mengatur nilai $T_i = \infty$, sehingga hanya menggunakan kontroler *Proporsional* seperti pada Gambar 4 (Ogata, Katsuhiko. 2010).



Gambar 4. Sistem Loop Tertutup
(Ogata, Katsuhiko. 2010)



Gambar 5. Osilasi Berkelanjutan dengan Periode
(Ogata, Katsuhiko. 2010)

Ziegler dan Nichols menyarankan agar kita menetapkan nilai parameter K_p dan T_i , sesuai dengan rumus yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Aturan tuning Ziegler-Nichols Metode 2

Tipe Kontroler	K_p	T_i
P	0,5 K_{cr}	∞
PI	0,45 K_{cr}	0,83 P_{cr}

(Sumber: Ogata, 1985)

Keterangan

P : Proporsional

PI : Proporsional-Integral

K_p : Parameter untuk Proporsional

T_i : Parameter untuk Integral

K_{cr} : Konstanta Kritis

P_{cr} : Waktu Kritis

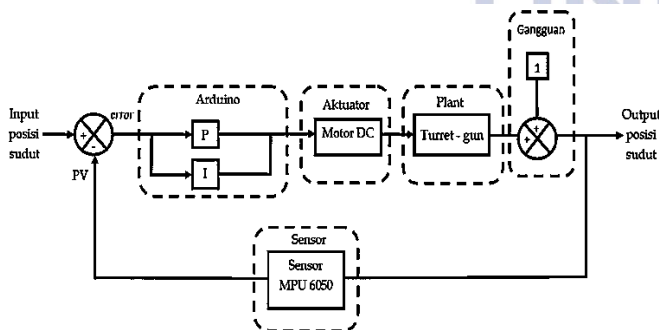
METODE PENELITIAN

Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif. Yaitu melibatkan perhitungan angka atau kuantifikasi data. Pengumpulan data dilakukan melalui pengukuran dengan menggunakan alat yang objektif dan baku. Dalam penelitian kuantitatif terdapat suatu proses menemukan pengetahuan yang menggunakan data berupa angka sebagai alat menganalisis keterangan mengenai apa yang ingin diketahui. (Kasiram, 2008 : 149).

Desain Sistem

Desain diagram blok sistem pengendalian posisi sudut pada sumbu *elevasi gun* menggunakan sensor MPU 6050 untuk mengatur posisi sudut dengan kendali PI ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram Blok Sistem

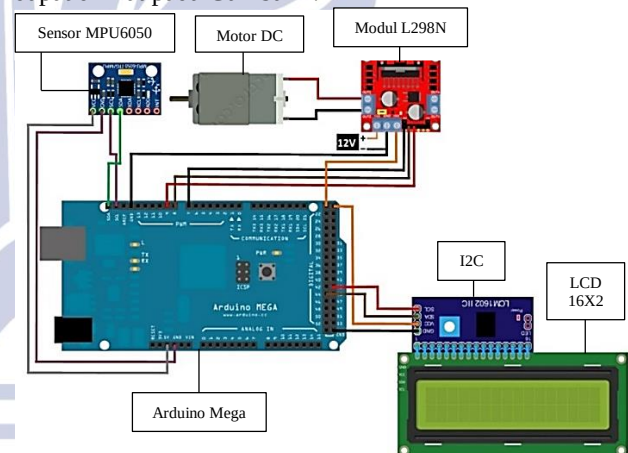
Gambar 6. adalah diagram blok sistem kendali dari perangkat *hardware* sumbu *elevasi gun*. *Setpoint* sistem berupa posisi sudut. Kontroler *Proporsional-Integral* menggunakan *tuning Ziegler Nichols*, akan diproses pada Arduino. Hasil dari keluaran kontroler berupa tegangan

yang akan masuk ke modul L298N yang dikonversi ke nilai PWM dan modul L298N akan mengatur arah putar dan kecepatan motor DC. Sensor MPU6050 akan bekerja untuk mengukur nilai posisi sudut berupa nilai dalam satuan derajat pada *plant* setelah adanya gerakan akibat perputaran motor dan kemudian menjadikan nilai pembacaan sudut sebagai nilai umpan balik.

Pada penelitian ini menggunakan *software* LabVIEW 2014 dan Arduino IDE 1.8.5. *Software* LabVIEW 2014 digunakan untuk mencari nilai parameter PI (*Proportional Integral*) serta menampilkan respon sistem dari *hardware* sumbu *elevasi gun*. Sedangkan *software* Arduino IDE digunakan untuk memprogram *hardware* sumbu *elevasi gun*.

Rancang bangun Hardware

Perancangan perangkat keras (*Hardware*) merupakan proses desain bagian-bagian penyusun dari sistem sumbu *elevasi gun*. Bagian tersebut meliputi komponen yang digunakan, seperti motor DC, MPU6050, Arduino dan L298N. Perancangan perangkat keras sistem dapat dilihat pada Gambar 7.

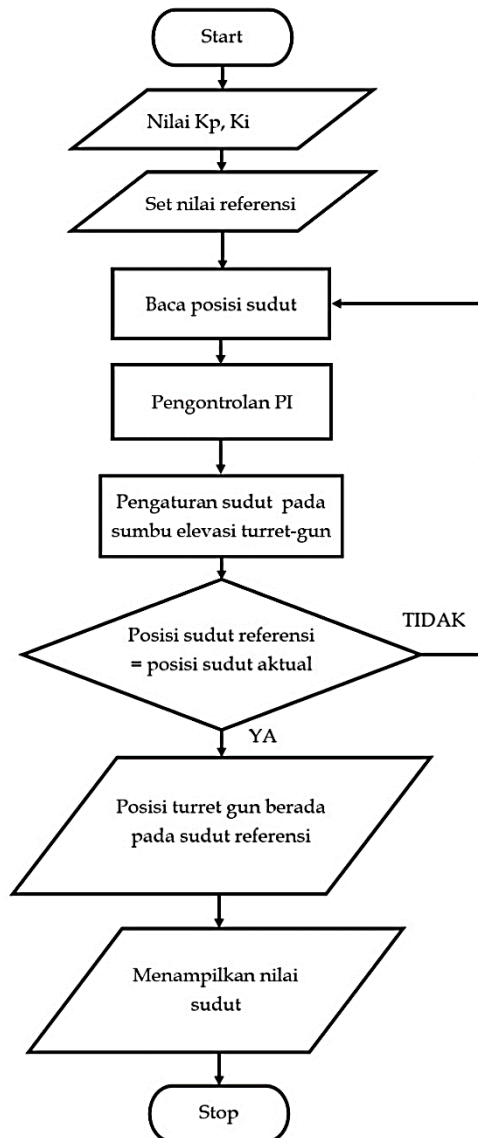


Gambar 7. Skema Rangkaian Hardware Sumbu Elevasi Gun

Rancang bangun Software

Berikut adalah rancangan diagram alir dari perancangan *software* Arduino IDE : yang ditunjukkan pada Gambar 8. Berdasarkan Gambar 8 mula – mula memasukkan nilai K_p , K_i dan nilai referensi (*setpoint*) berupa nilai sudut. Arduino Mega akan memproses masukan dan akan dikirimkan ke modul L298N untuk menggerakkan motor. Motor akan menggerakkan sumbu *elevasi turret-gun* dan sensor MPU 6050 akan membaca sudut. Sensor MPU 6050 akan mengirimkan sinyal hasil pembacaan ke Arduino Mega. Arduino Mega sebagai pemroses akan melakukan perbandingan nilai *setpoint* dengan nilai pembacaan sensor MPU 6050. Kontroler PI

dimasukkan kedalam Arduino Mega untuk mengatur sudut sesuai dengan *setpoint*. Apabila sudut sudah sesuai *setpoint* yang ditentukan maka motor akan berhenti sehingga sumbu *elevasi turret-gun* berada pada sudut yang diinginkan, jika belum mencapai *setpoint* maka sistem akan *looping* kembali ke pembacaan sudut.



Gambar 8. Flowchart Software

LabVIEW 2014 digunakan sebagai GUI *Graphic User Interface*) dari sistem sumbu *elevasi gun*. LabVIEW akan mengambil data yang terbaca oleh *hardware* Arduino Mega. Nilai input yang berupa data akan ditampilkan dalam bentuk grafik dan angka.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan dijelaskan serta ditampilkan *hardware system* dan hasil pengujian diagram Vi pada *software* LabVIEW 2014. Pengujian ini dilakukan dengan dua tahap yaitu adalah pengujian simulasi dari fungsi alih

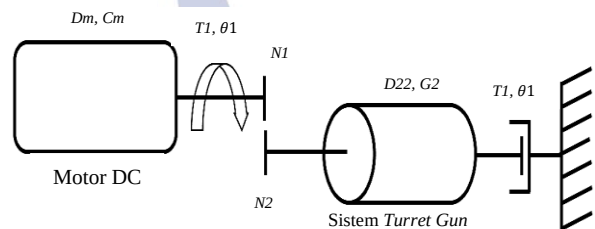
sumbu *elevasi gun* dan pengujian terhadap GUI (*Graphic User Interface*) hasil dari pembacaan sensor MPU6050 pada *hardware* sumbu *elevasi gun*.

1. Pengujian Simulasi Sistem

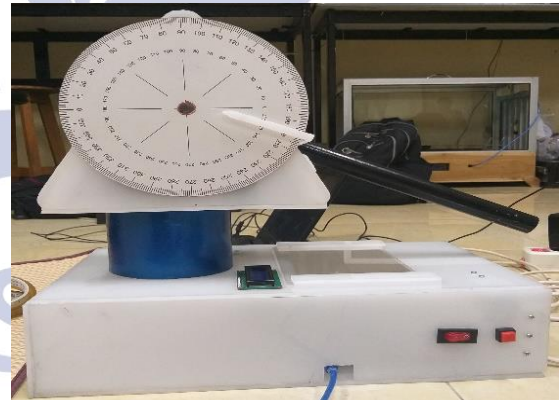
Pemodelan sistem dihitung dengan menggunakan perhitungan matematis dan akan dicoba pada simulasi. Hasil dari respon simulasi akan dihitung menggunakan metode kedua *Ziegler Nichols* untuk menentukan nilai parameter kontroler PI.

Pemodelan Sistem Sumbu Elevasi Gun

Menentukan fungsi alih dari sistem dilakukan dengan mencari spesifikasi *hardware*. Gambar 9, Gambar 10, Gambar 11 merupakan tampilan *hardware* dan Tabel 2 merupakan spesifikasi *hardware* sistem sumbu *elevasi gun*.



Gambar 9. Free Body Diagram Sistem Elevasi Gun



Gambar 10. Tampilan Hardware Dari Samping



Gambar 11. Tampilan Hardware Dari Atas

Tabel 2. Spesifikasi Sistem Sumbu *Elevasi Gun*

No	Nama Alat	Simbol	Spesifikasi	Satuan
1.	Panjang Gun	R_2	0,36	m
2.	Massa Gun	m_2	0,167	Kg
3.	Gear 1	N_1	20	gigi
4.	Gear 2	N_2	30	gigi
5.	Momen inersia	J	0,01	Kg.m ²
5.	Percepatan gravitasi	g	9,8	m/s ²
6.	Voltage Constant	K_b	12	V
7.	Torque Constant	K_t	1	Nm/A
8.	Armature Resistance	R_a	0,61	ohm

Setelah diketahui spesifikasi dari *hardware* sumbu *elevasi gun*, langkah selanjutnya adalah memasukkan nilai yang sudah didapatkan dari Tabel 2. ke dalam persamaan 10 dan didapatkan hasil fungsi alih pemodelan sistem sebagai berikut.

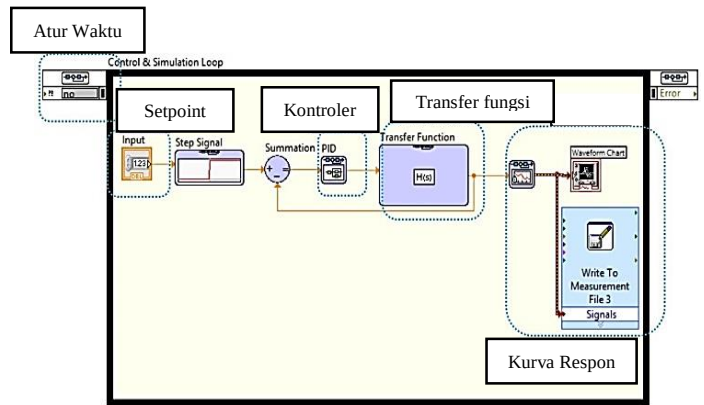
$$G(s) = \frac{0,022}{s^2 + 0,2620s + 0,508}$$

Keterangan:

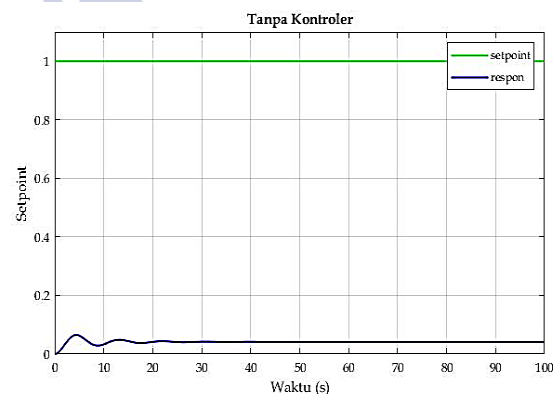
$G(s)$ = Fungsi alih pemodelan sistem

Blok Diagram LabVIEW untuk Simulasi Sistem

Program pada LabVIEW 2014 dikenal dengan sebutan Vi-Diagram atau *Virtual Instruments Diagram* karena bahasa pemrograman pada LabVIEW berbasis blok diagram yang dapat meniru sebuah *instrument*. Vi-diagram pada penelitian ini digunakan untuk mensimulasikan respon sistem dari sumbu *elevasi gun* dan mencari nilai parameter kontroler PI (*Proportional Integral*) dengan tuning *Ziegler-Nichols second methods* yang digunakan untuk pengaturan posisi sudut agar sesuai *setpoint* yang diinginkan. Terdapat blok pemrograman yang di jelaskan dalam Gambar 12.

**Gambar 12.** Diagram Vi Loop Tertutup dengan Kontrol PI

Blok atur waktu yang ada diluar *control simulation loop* berfungsi untuk memberikan pilihan *loop* program. Blok atur waktu akan diprogram agar berjalan selama 100 detik setelah itu akan otomatis berhenti. Pada diagram blok sistem tersebut *setpoint* adalah *step signal* yang dapat kita ubah-ubah nilainya. Untuk merubah nilai *setpoint* digunakan sebuah *knop*. Untuk *tuning* digunakan blok kontroler PID dengan nilai masukannya adalah K_p , dan K_i . Kemudian *transfer function* dari sistem sumbu *elevasi gun* akan masuk ke blok *transfer function* yang terdapat di dalam *control and simulation loop*. Keluaran respon sistem akan ditampilkan menggunakan *waveform chart* dalam bentuk grafik. Data hasil simulasi sistem selain ditampilkan dalam grafik juga akan disimpan dalam bentuk *file* dengan blok *write to measurement file*. *File* respon sistem tersebut bisa dibuka menggunakan *microsoft excel* dan memuat respon pengontrolan, *setpoint* dan waktu dari respon sistemnya. Dari fungsi alih yang didapatkan maka diketahui respon sistem dari sumbu *elevasi gun* ditunjukkan pada Gambar 13.

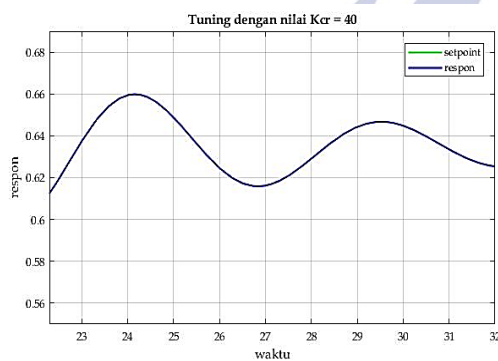
**Gambar 13.** Simulasi Respon Tanpa Kontroler

Pada Gambar 13. terlihat bahwa respon sistem dari sumbu *elevasi gun* tidak bisa mengikuti *setpoint* yang diberikan. Respon sistem tidak dapat mencapai

setpoint, ini bukti bahwa sumbu *elevasi gun* tidak bisa mencapai posisi *setpoint*. Dari respon sistem yang tidak bisa mencapai posisi *setpoint* tersebut maka perlu dirancang suatu kontroler yang dapat membuat sistem mempertahankan posisinya sesuai *setpoint*.

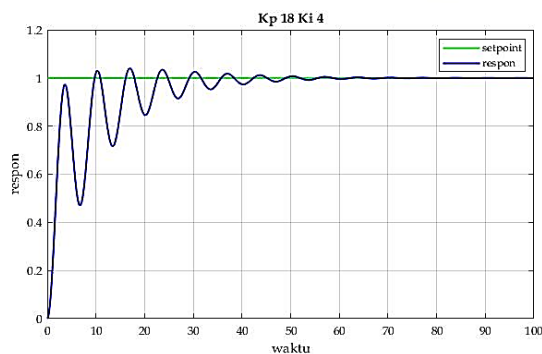
Merancang Kontroler PI

Pada penelitian ini digunakan kontroler PI (*proportional integral*). Kemudian untuk *tuning* kontrol PI digunakan metode *tuning second method Ziegler-Nichols*. Metode *tuning* Ziegler-Nichols pertama-tama diberikan nilai Kcr sampai output pertama menunjukkan osilasi berkelanjutan. Berikut adalah hasil *tuning* nilai Kcr=40, dengan *setpoint* =1 yang ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Hasil Respon Sistem

Setelah didapatkan nilai Kcr maka langkah selanjutnya adalah mencari nilai Kp (*konstanta proportional*), dan Ti (*Integral Time*) dengan rumus *second method Ziegler-Nichols*. Dari rumus tersebut maka akan dapat dihitung nilai kontroler PI yaitu Kp, dan Ki, yaitu Kp= 40, dan Ki=18. Kemudian dimasukkan pada diagram Vi simulasi dan didapatkan respon sistem yang ditunjukkan pada Gambar 15.



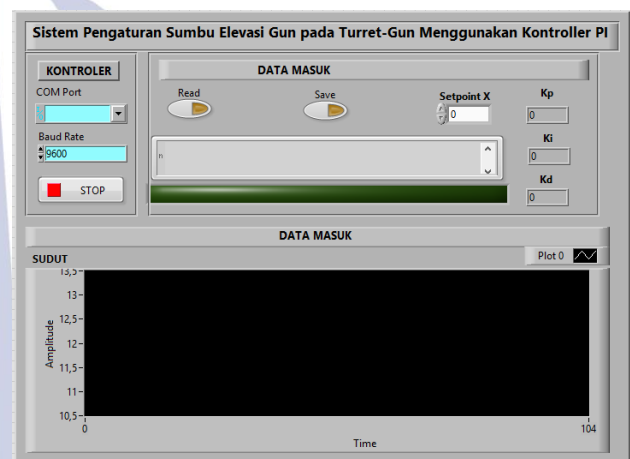
Gambar 15. Respon Sistem dengan Kontroler PI

Pada Gambar 15. ditampilkan respon sistem dengan kontroler PI (*proportional integral*) dengan *tuning second method Ziegler-Nichols*. Terlihat sistem

lebih stabil dengan osilasi yang kecil dan sesuai *setpoint*. Respon sistem sesuai dengan karakteristik dari kontroler PI (*proportional integral*) yaitu sistem memiliki respon atau tanggapan yang cepat.

2. Pengujian Hardware Sumbu Elevasi Gun

Setelah diketahui nilai kontroler PI (*Proportional Integral*) dari hasil simulasi, kemudian nilai tersebut dimasukkan kedalam *script pemrograman* Arduino. Respon *real-time* sumbu *elevasi gun* dengan kontroler PI akan disimpan dalam file dan ditampilkan pada GUI Labview 2014. Berikut adalah tampilan GUI untuk menampilkan data dari sumbu *elevasi gun* yang ditunjukkan pada Gambar 16.



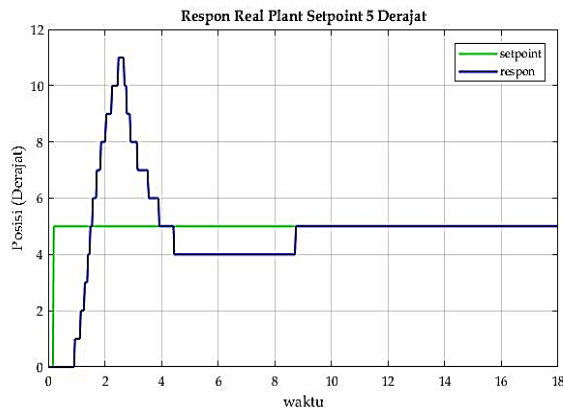
Gambar 16. GUI LabVIEW 2014

Pada Gambar 16. terlihat ada 4 sub tampilan untuk GUI sumbu *elevasi gun*. Pertama adalah “Serial Port”, dalam kotak menu ini pengguna dapat mengatur Port COM Arduino yang akan digunakan, perlu diingat bahwa COM harus tepat pada *usb* laptop. Jika tidak tepat maka *gun* tidak dapat bekerja. kemudian mengatur *Baudrate* dengan nilai 115200 agar grafik dapat terlihat pada *GUI interface* serta dapat menghentikan program yang sedang berjalan dengan tombol *Stop*. Kedua adalah “Data Masuk”, dalam kotak menu ini pengguna bisa mengatur pembacaan dengan tombol *Read* selain itu juga dapat diatur penyimpanan data yang masuk dengan tombol *Save*. Selain itu juga dapat mengatur *setpoint* yang diinginkan. Ketiga adalah “Parameter PI”, pada kotak menu ini ditampilkan nilai dari parameter PID dengan nilai Kp sebesar 18, Ki sebesar 4, dan Kd di isi dengan nilai 0. Keempat adalah “Respon Sistem”, dalam kotak menu ini ditampilkan hasil respon posisi sudut dalam bentuk grafik.

Pengujian respon *hardware* sumbu *elevasi gun* dilakukan dengan beberapa cara yaitu: pertama, pengujian dengan *setpoint* tetap. Kedua, pengujian

dengan *setpoint* berubah. Dan ketiga, pengujian dengan beban. Pengujian ini dilakukan dengan kontroler PI dengan nilai parameter $K_p=18$, dan $K_i=4$. Berikut adalah beberapa pengujian untuk *hardware sumbu elevasi gun*:

Pengujian dengan Setpoint Tetap



Gambar 17. Respon Sistem pada Setpoint 5°



Gambar 18. Respon Sistem pada Setpoint 10°

Dari 2 percobaan terhadap pengujian dengan setpoint tetap dapat diasumsikan bahwa sistem bekerja dengan cukup baik. Namun responnya masih lama untuk mencapai setpoint. Kemudian digunakanlah rumus analitik untuk perhitungan parameter respon yang akan dijelaskan pada Tabel 3, sebagai berikut :

1. Waktu tunda (td)
 $td = \tau \ln 2$ (7)
2. Waktu naik (tr) (10%-90%)
 $tr = \tau \ln 9$ (8)
3. Waktu Tunak (ts) (5%)
 $ts = 3\tau$ (9)
4. Persentasi *Error Steady State* (Ess)

$$Ess = \left| \frac{Y_{ss} - X_{ss}}{X_{ss}} \right| \times 100\% \quad (10)$$

Keterangan

τ : Waktu saat respon mencapai 63.2%

X_{ss} : Setpoint

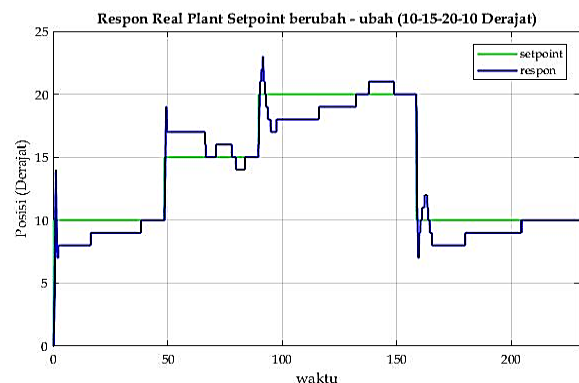
y_{ss} : Rata-rata respon saat steady-state

Tabel 3. Hasil Pengujian *Hardware Sumbu Elevasi Gun*

Setpoint	5°	10°	
<i>Overshoot Maximum (Mp)</i>	120	70	%
Waktu Puncak (tp)	2,364	1,81	Detik
Waktu Tunda (td)	13,147	7,63	Detik
Waktu Naik (tr)	41,676	24,189	Detik
Waktu Tunak (ts)	75,872	44,036	Detik
<i>Error Steady State</i>	0,025	0,0881	Derajat

Berdasarkan Tabel 3. maka dapat diketahui parameter-parameter dari hasil respon berupa waktu puncak (tp), waktu tunda (td) saat 10%-90%, waktu naik (tr), waktu tunak (ts) saat 5% dan *Error Steady State*. Pada sistem dengan *setpoint* 5°, nilai tp yang dihasilkan yaitu 2,364 detik, nilai td sebesar 13,147 detik, nilai tr sebesar 41,676 detik, nilai ts sebesar 75,872 detik dan mempunyai *Error Steady State* sebesar 0.025 derajat. Sedangkan pada sistem dengan *setpoint* 10°, nilai tp yang dihasilkan yaitu 1,81 detik, nilai td sebesar 7,63 detik, nilai tr sebesar 24,189 detik, nilai ts sebesar 44,036 detik dan mempunyai *Error Steady State* sebesar 0.0881 derajat.

Pengujian dengan Setpoint Berubah

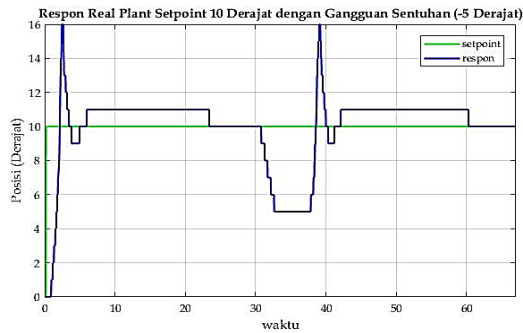


Gambar 19. Respon Sistem dengan Setpoint Berubah

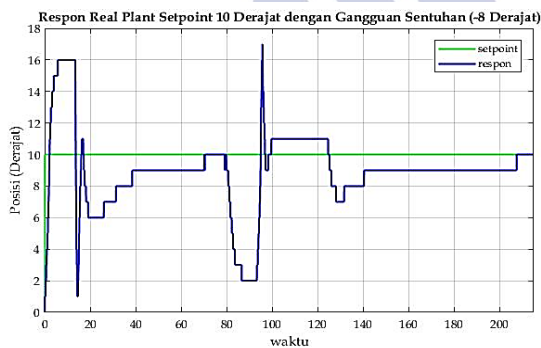
Pengujian kedua dilakukan dengan mengubah *setpoint* yang telah ditentukan dalam satu percobaan

untuk melihat kestabilan respon yang dimiliki *hardware* sumbu *elevasi gun*. *Setpoint* yang diberikan adalah 10° kemudian diubah menjadi 15° , 20° dan akhirnya kembali ke 10° . *Setpoint* diubah-ubah dalam kurun waktu 230 detik.

Pengujian dengan Menggunakan Beban



Gambar 20. Respon Sistem pada Setpoint 10° dengan Beban Sentuhan Tangan -5°



Gambar 21. Respon Sistem pada Setpoint 10° dengan Beban Sentuhan Tangan -8°

Tabel 4. Hasil Pengujian *Hardware* Sumbu *Elevasi Gun* dengan Beban

<i>Setpoint</i>	<i>Error Steady State</i>
-5°	0.04° derajat
-8°	0.096° derajat

Berdasarkan Tabel 4. maka dapat disimpulkan dari pengujian ketiga yang dilakukan dengan *setpoint* 10 diberikan beban sentuhan tangan sebesar -5° . Menghasilkan nilai *Error Steady State* sebesar 0.04 derajat. Sedangkan pada *setpoint* 10° dengan gangguan -8° mempunyai *Error Steady State* sebesar 0.096 derajat.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan analisis dari hasil pengujian pada sistem pengaturan sumbu *elevasi gun* pada *turret-gun* menggunakan kontroler PI (*Proportional Integral*), maka

dapat diambil simpulan sebagai berikut; Perancangan sistem pengaturan sumbu *elevasi gun* menggunakan kontroler PI dapat menghasilkan respon dinamik yang stabil. Penerapan kontroler PI metode *Ziegler Nichols* pada sumbu *elevasi gun* menghasilkan respon dinamik yang stabil dengan nilai *Error Steady State* terkecil yaitu 0,013 derajat pada pengaturan *setpoint* 10 derajat yang diberikan gangguan sentuhan tangan sebesar 5 derajat. *Rise time* terkecil pada *setpoint* 10 derajat dengan nilai 24,189 detik. *Delay time* terkecil yaitu *setpoint* 10 derajat dengan nilai 7,63 detik. *Maximum overshoot* terkecil yaitu pada *setpoint* 10 derajat.

Saran

Setelah penelitian dilakukan, terdapat saran yang diberikan untuk perbaikan maupun pengembangan sistem pengaturan sumbu *elevasi gun* pada *turret-gun* selanjutnya sebagai berikut; *Aktuator* motor DC dapat diganti dengan motor servo yang mempunyai nilai daya, tegangan, dan arus yang sama dengan motor DC yang digunakan. Nilai tegangan motor sebesar 12 V DC, nilai arus sebesar 0,6 A, dan nilai daya sebesar 7,2 watt. Menggunakan metode pengendalian yang lain seperti PID (*Proportional Integral Derivative*), PD, PIFuzzy, LQR, dan lain sebagainya untuk mendapatkan nilai *maximum overshoot* dan kesalahan yang lebih rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- Astrom, Karl J. 1995. PID Controller 2nd Edition. Instrument Society of America.
- Izal, Fahmi. 2005. "Pengaturan Kecepatan Motor DC". Bandung: Grasindo
- Kadir, Abdul. 2013. "Panduan Mempelajari Arduino". Jogjakarta. Andi offside.
- Kasiram, Moh. 2008. "Metodologi Penelitian". Malang: UIN Malang.
- Kunto, Dimas., Wahjudi, Arif., Nurhadi, Hendro. 2016. "Perancangan Sistem Kontrol PID untuk Pengendalian Sumbu Elevasi Gun pada Turret-gun Kaliber 20 Milimeter. Jurnal Teknik ITS, Vol 5, No 2.
- Muruganandhan, S., Jayabaskaran, G., Bharathi, P., 2013. "LabVIEW –NI ELVIS II based Speed Control of DC Motor. International Journal of Engineering Trends and Tecnology (IJETT), Vol 4, Issue 4.
- Mushonnifah.Siti, 2016. "Resolved Acceleration Control (RAC) dan Active Force Control (AFC) pada Sistem Turret-Gun Kaliber 20 Milimeter. Thesis no 142501 ITS.
- Ogata, Katsuhiko. 2010. "Modern Control Engineering fifth edition". New York: Prentice-Hall, Inc.
- Tamara, Muhammad Nasyir., Pramujati, Bambang., Nurhadi, Hendro., Pitowarno, Endra. 2018. "Simulasi dan Eksperimen Kontrol Automatic Turret Gun. Journal ELTEK. Vol 16, No 1.