

Desain Kontrol *Proportional-Integral-Derivative* (PID) untuk Simulator Meriam Artilleri Serangan Udara (ARSU) 57mm

Munadi¹⁾, Farika Tono Putri²⁾, Joga Dharma Setiawan²⁾

¹⁾Lab. Komputasi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²⁾Lab. Kontrol dan Robotika, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH, Tembalang, Semarang 50275

E-mail: munadi@undip.ac.id

Abstrak

Kepresisan yang tinggi dalam pengontrolan sistem peralatan persenjataan sangat dibutuhkan. Dalam tulisan ini, peneliti menjadikan meriam ARSU (Artilleri Serangan Udara) 57 mm sebagai objek penelitian karena menjadi salah satu peralatan persenjataan TNI yang sering digunakan tetapi masih secara manual dalam pengoperasiannya. Pada meriam ARSU 57 mm terdapat dua sudut yang harus dikontrol yaitu sudut putar (*traverse*) baringan meriam dan sudut elevasi laras meriam (*barrel*) itu sendiri dalam membidik sasaran. Untuk menghasilkan kontrol yang presisi, peneliti membuat simulator meriam ARSU 57 mm sebagai model, dan menggunakan bantuan *software* MATLAB khususnya *toolbox* Simulink untuk mensimulasikan pendekatan matematis dan SimMechanics Second Generation untuk mensimulasikan pendekatan secara fisik. Sedangkan mikrokontroller dipilih sebagai *hardware* dalam mengaplikasikan kontrol pada aktuator berupa DC motor yang digunakan pada masing-masing *joint* simulator. Dalam penelitian ini, metode kontrol *proportional-integral-derivative* (PID) didesain dan digunakan dengan tujuan agar simulator meriam ARSU 57 mm dapat merespon *tracking* sasaran dengan cepat dan presisi sehingga tingkat akurasi sebagai peralatan persenjataan akan lebih baik. Kontroller yang didesain sudah mempertimbangkan beberapa faktor seperti massa laras dan gangguan angin sehingga kesalahan (*error*) yang dihasilkan dapat diminimalkan sekecil mungkin. Hasil simulasi akan memverifikasi kinerja kontrol PID.

Keywords: ARSU 57 mm, MATLAB, Kontrol PID, Simulink, SimMechanics.

Pendahuluan

Indonesia yang merupakan salah satu negara kepulauan di dunia yang mempunyai wilayah geografis yang cukup luas membutuhkan pertahanan dan keamanan khususnya alutsista untuk melindungi wilayahnya. Tentu saja biaya yang diperlukan untuk membeli alutsista tersebut cukup tinggi, untuk itu Indonesia perlu mengembangkan dan memproduksi sendiri sistem alutsista tersebut agar tidak tergantung negara lain (Annie K., 2005).

Meriam ARSU 57 mm adalah salah satu bagian besar dalam sistem senjata TNI Angkatan Darat dan Angkatan Laut, dimana laras meriam merupakan tempat keluarnya proyektil yang ditembakkan. Meriam ARSU 57 mm masih digerakkan secara manual oleh tenaga manusia dalam mengarahkan laras pada saat menghadapi arah datangnya musuh, kapal, pesawat (target). Gambar 1 menunjukkan gambar meriam ARSU 57 mm.

Dalam pengoperasian ARSU 57 mm saat ini masih dilakukan dengan memutar poros engkol (putaran) untuk menggerakkan posisi sudut elevasi laras meriam. Karena dilakukan secara manual, maka

parameter akan berubah-ubah dari setiap operator yang dapat menyebabkan ketidaklinieran gerakan posisi sudut meriam sehingga sering tidak sesuai yang diinginkan.



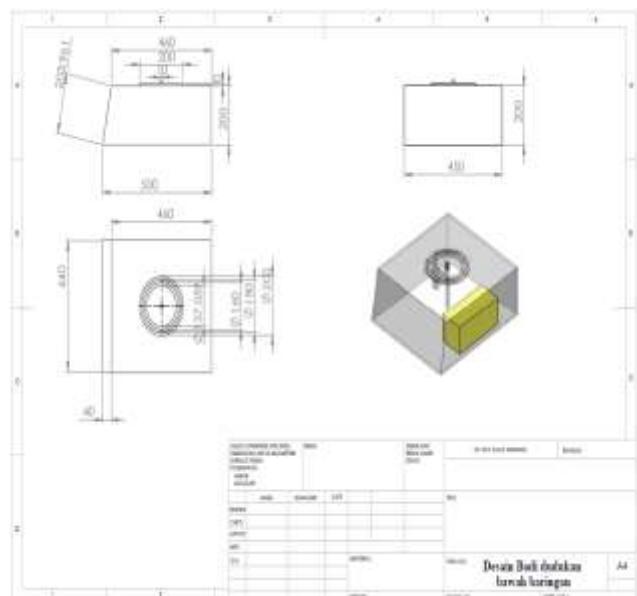
Gambar 1. Meriam ARSU 57 mm.

Untuk mengatasi hal tersebut maka dibuat suatu sistem control yang dapat membantu mengarahkan posisi putar

barangan dan sudut elevasi laras meriam pada posisi yang dikehendaki. Sistem kontrol tersebut adalah sistem kontrol *proportional integral derivative* (PID). Pengembangan kontrol PID pernah dilakukan untuk turret tank sebagai senjata artileri TNI AD (Munadi, 2007) yang dikembangkan berdasarkan penelitian di Centro Tecnologico do Exercito (Marcio DSG dkk, 2006) tentang control pada senjata laras meriam yang terdapat pada sebuah kendaraan lapis baja. Selain itu penelitian di Lehigh University (Gautam K. dkk, 2009) mengembangkan sebuah strategi kontrol yang diterapkan pada laras meriam dimana sistem tersebut harus mampu menghindari hambatan (*constraint*) yang ada. Selain itu, penelitian ini akan dikembangkan dengan metode control selain PID misal *adaptive control* (Munadi dkk, 2012) bila hasilnya masih kurang presisi dan akurat.

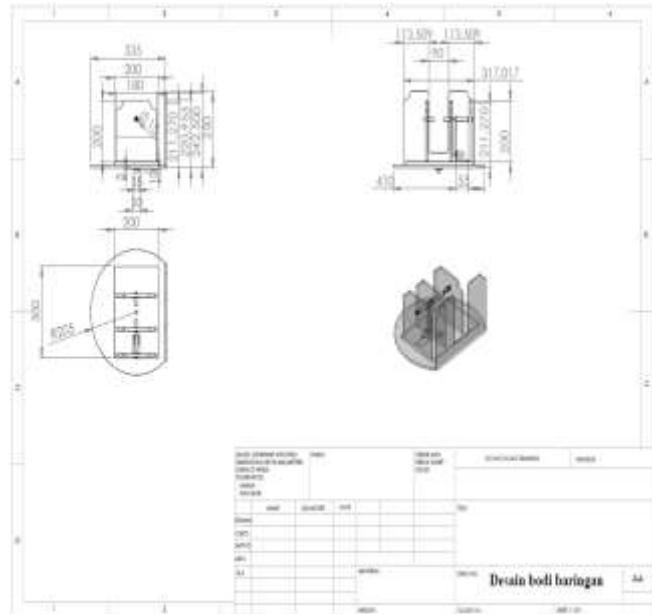
Desain Mekanik Simulator ARSU 57 mm

Langkah pertama dalam pembuatan simulator meriam ARSU 57 mm ini yaitu dengan mendesain simulator ARSU 57 mm menggunakan bantuan software CAD, dalam hal ini SolidWorks. Simulator didesain dengan skala 1:5 dari meriam aslinya. Gambar 2-4 menunjukkan desain simulator ARSU 57 mm. Gambar 2 menunjukkan ukuran dari mekanik dudukan baringan dimana bahan yang digunakan dalam pembuatan adalah akrilik. Fungsi bagian ini adalah untuk menahan/meredam mekanik bodi baringan dan bodi laras (*barrel*) meriam.



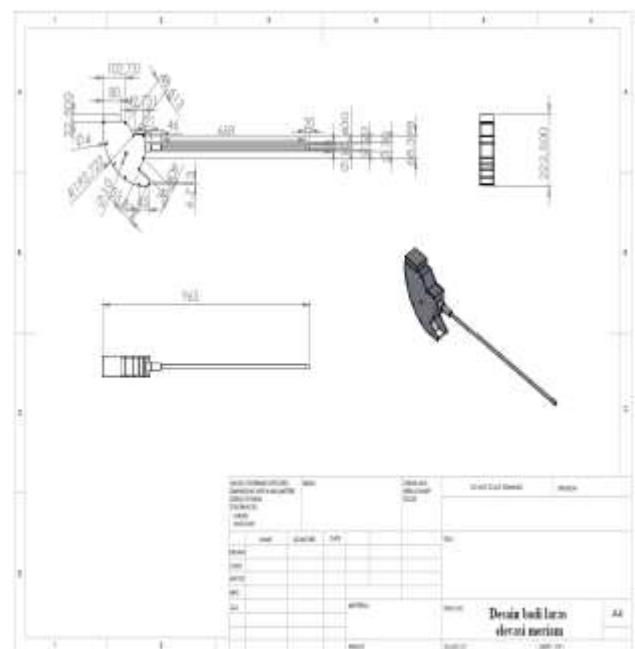
Gambar 2. Dimensi dudukan *body* baringan

Selanjutnya Gambar 3 menunjukkan dimensi *body* baringan. Sudut putar (*traverse*) kenyataan meriam ARSU 57 mm adalah 360° , sedangkan padapenelitian ini besarnya sudut putar baringan adalah 0° s/d 135° dan 0° s/d -135° .

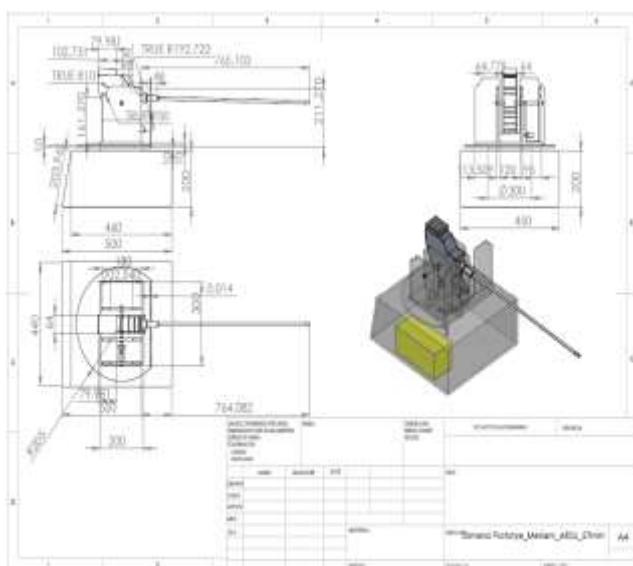


Gambar 3. Dimensi *body* baringan.

Gambar 4 berikut menunjukkan desain *body* laras (*barrel*) meriam. Sudut jangkauan elevasi nyata meriam ARSU 57 mm sebesar $+87^\circ/-2^\circ$, dan untuk penelitian ini prototype memiliki sudut elevasi $+87^\circ/-5^\circ$. Bahan yang digunakan untuk laras meriam adalah pipa alumunium dan bahan bodi yang lainnya adalah akrilik.



Gambar 4. Desain *body* elevasi laras meriam.

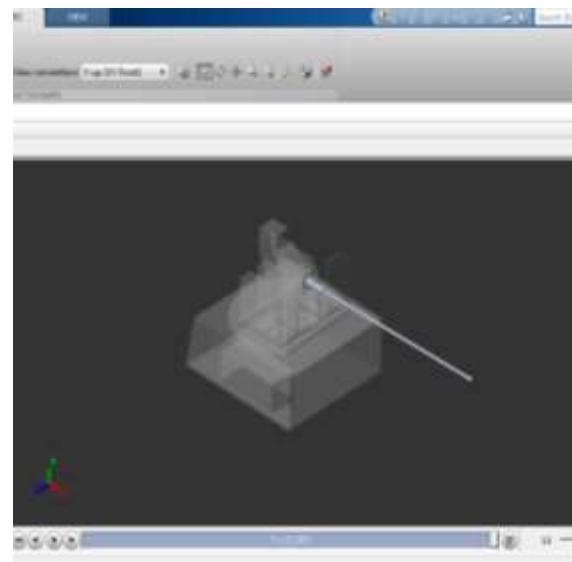


Gambar 5. Desain mekanik keseluruhan meriam ARSU 57 mm.

Pemodelan Fisik Sistem

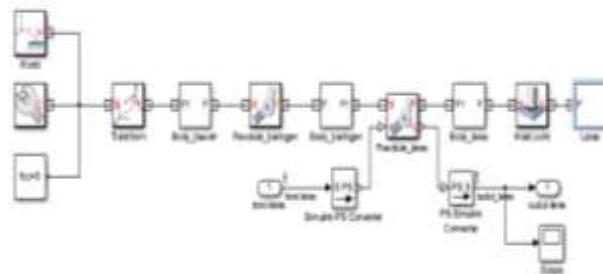
Tahap selanjutnya adalah pemodelan sistem. Padadasarnya, pemodelan system dapat didekatkan ke pemodelan matematis atau pemodelan fisik system. Pada penelitian ini, sistem pada prototipe meriam ARSU 57 dimodelkan ke pendekatan fisik menggunakan perangkat lunak yaitu Simulink yang terdapat dalam MATLAB. Selanjutnya didalam Simulink terdapat berbagai macam *toolbox* yang dapat digunakan untuk merangkai sistem dinamik. Untuk memodelkan fisik sistem, pada penelitian ini menggunakan *toolbox* SimMechanics Second Generation. Dengan SimMechanics Second Generation dapat digunakan untuk merangkai sistem dinamik prototipe meriam ARSU 57 mm yang berguna mensimulasikan sistem dinamik secara *realtime*. Cara penggunaan SimMechanics Second Generation untuk memodelkan adalah dengan menghubungkan *block-block* yang ada sesuai dengan desain mekanik prototipe meriam ARSU 57 mm dan mensimulasikannya dengan parameter tertentu.

Pada tahap ini, simulasi pemodelan fisik simulator meriam ARSU 57 mm masih menggunakan metode open loop. Model fisik yang dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 6. Gambar simulasi tersebut diimport dari gambar 3D CAD (Solidworks) ke dalam SimMechanics dengan setting sudut baringan 0° dan sudut elevasi 0° menggunakan SimMechanics Link.



Gambar 6. Pemodelan fisik menggunakan *software* SimMechanics Second Generation.

Identifikasi parameter simulator meriam ARSU 57 mm menggunakan bantuan perangkat lunak MATLAB, yaitu dengan *generate* model 3D CAD ke MATLAB/Simulink. Langkahnya, dari pengembangan model fisik gambar 3D meriam ARSU 57 mm diexport menjadi file xml, kemudian file xml tersebut diolah dan dibaca oleh MATLAB/Simulink kedalam bentuk blok diagram SimMechanics Second Generation. Hasil konversi dari gambar 3D menjadi blok diagram ditunjukkan pada Gambar 7, dimana gambar tersebut merepresentasikan dinamika gerak dari meriam ARSU 57 mm.



Gambar 7. Blok-blok pada Simulink yang mewakili pemodelan fisik ARSU 57 mm.

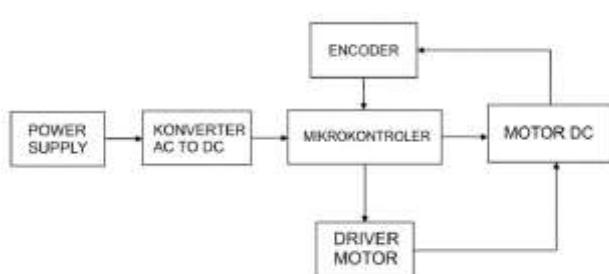
Blok-blok tersebut mewakili bagian-bagian *body* meriam ARSU 57 mm dan *joint-joint* yang ada pada meriam tersebut. Blok revolute baringan mewakili joint baringan pada prototipe ARSU, blok revolute laras mewakili joint laras atau turret pada prototipe ARSU. Selain mewakili bagian *body* dan *joint*, blok-blok tersebut juga mewakili parameter-parameter yang diperlukan untuk mensimulasikan pemodelan meriam ARSU 57 mm. Berikut merupakan data-data parameter pada meriam ARSU 57 mm.

Tabel 1. Tabel data-data parameter meriam ARSU 57 mm.

Body Meria m	Mas sa (gr)	Momen Inersia (kg/mm ²)			Pusat Massa (mm)		
		Ixx	Iyy	Izz	x	y	z
Duduk an	853	20	31	18	26	-	287,
Baring an	81,49	63	44	78	4,1	116,	1
Body baring an	374 8,51	51 7,9	57 4,5	39 0,6	4,1 7	55,0 7	16,2 3
Body laras	635, 90	34 64,	24 68,	51 37,	84, 56	154, 48	32
Laras	250, 226	15 0,9	15 0,9	9,8 0	0,0 0,00	0,00 016	282, 46
					- 10	- 3	2

Sistem Kontrol PID

Kontrol otomatis saat ini memberikan peran yang sangat besar dalam kehidupan manusia, terutama dalam bidang ilmu pengetahuan dan industri. Desain sistem kontrol baik dalam hal teori maupun praktik akan menghasilkan suatu sistem dengan respon yang sesuai dengan kebutuhan dimana sistem kontrol yang dirancang, perlu dianalisa terlebih dahulu untuk mendapatkan gambaran respon sistemnya. Sebelum mendiskusikan lebih lanjut tentang sistem kontrol, Gambar 8 menunjukkan komponen hardware yang dibutuhkan untuk implementasi sistem kontrol. Aktuator yang digunakan dalam penelitian ini adalah motor DC (Raul O., dkk, 2000).



Gambar 8. Diagram komponen utama sistem kontrol untuk simulator ARSU 57 mm

Kontrol PID merupakan salah satu jenis pengatur yang banyak digunakan. Pada penelitian ini, tahap pertama untuk sistem control yang digunakan adalah kontrol PID dan tahap selanjutnya akan dikembangkan dengan metode lain seperti sistem

fuzzy logic. Kontrol PID terdiri dari 3 jenis cara pengaturan yang saling dikombinasikan, yaitu P (proportional) controller, I (integral) controller, dan D (derivative) controller. Masing-masing memiliki parameter tertentu yang harus diset untuk dapat beroperasi dengan baik, yang disebut sebagai *konstanta*. Parameter-parameter tersebut, tidak bersifat independen, sehingga pada saat salah satu nilai konstantanya diubah, maka mungkin sistem tidak akan bereaksi seperti yang diinginkan. Yang jelas, tujuan yang hendak dicapai dengan penggunaan control PID adalah memiliki rise time yang cepat, overshoot sekecil mungkin, dan tidak memiliki steady state error.

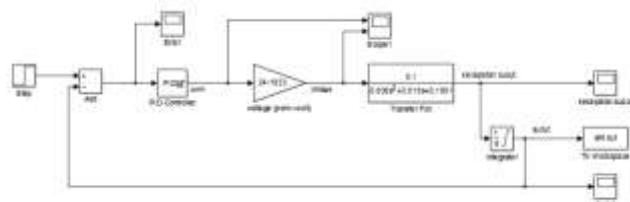
Selanjutnya, untuk merancang sistem kontrol PID dicari transfer function sistem. Transfer Function untuk motor baringan dinyatakan dengan:

$$G(s) = \frac{0,1}{0,005 s^2 + 0,06s + 0,1001}$$

Untuk transfer function motor elevation *barrel* dinyatakan dengan:

$$G(s) = \frac{0,1}{0,005 s^2 + 0,04s + 0,1}$$

Selanjutnya Gambar 9 menunjukkan blok diagram sistem kontrol PID dengan menggunakan Simmulink.



Gambar 9. Blok diagram sistem kontrol PID

Adapun sinyal kontroler dengan kontrol PID seri dinyatakan melalui persamaan berikut:

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right)$$

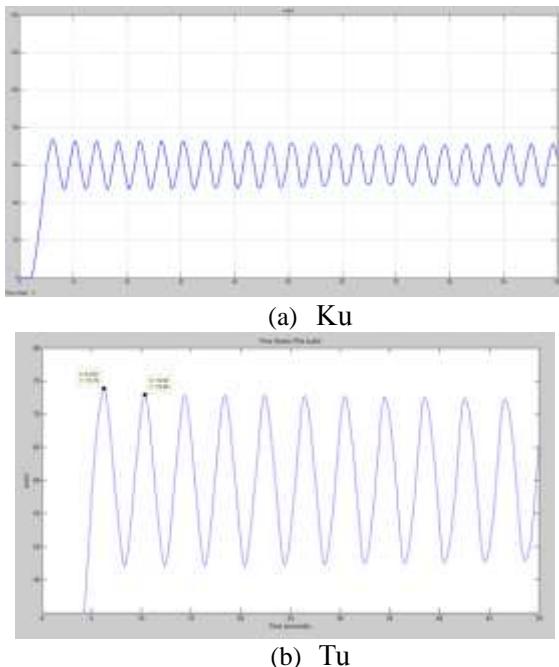
$$U(s) = K_p \left(E(s) + \frac{1}{T_i s} E(s) + T_d s E(s) \right)$$

$$U(s) = K_p E(s) + \frac{K_i}{s} E(s) + K_d s E(s)$$

Permasalahan terbesar dalam desain kontroler PID adalah tuning, yaitu menentukan nilai K_p, K_i, dan K_d. Selama ini metode-metode *tuning* yang dilakukan berdasarkan pada model matematika plant/system, tetapi jika model tidak diketahui, maka dilakukan eksperimen terhadap sistem. Pada penelitian ini, cara *tuning* kontroler PID dilakukan mengikuti metode tuning Ziegler-Nichols dilakukan dengan eksperimen dimana bertujuan untuk pencapaian maximum overshoot (MO):

25 % terhadap masukan *step*.

Dengan menggunakan metode Ziegler Nichols untuk sudut baringan, berdasarkan hasil percobaan didapat K_p kritis (K_u) untuk sistem adalah: 98 (Gambar 10 (a)). Dan diperoleh T_u (merupakan periода dari satu puncak ke puncak yang lain) sebesar 4,04 (Gambar 10 (b)).



Gambar 10. Sistem respon saat Ku dan Tu

Maka di dapat nilai K_p , untuk Kontroler PID:

$$\begin{aligned} K_p &= 3K_u/5 & T_i &= T_u/2 & T_d &= 3T_u/25 \\ &= 3(98)/5 & &= 4,04/2 & &= 3(4,04)/25 \\ &= 58,8 & &= 2,02 & &= 0,4848 \end{aligned}$$

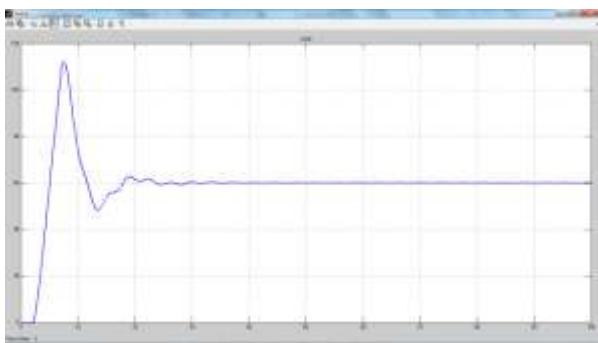
Dan berdasarkan nilai K_p , T_i , dan T_d diperoleh:

$$U(s) = 58,8E(s) + \frac{29,1089}{s} + 28,506s E(s)$$

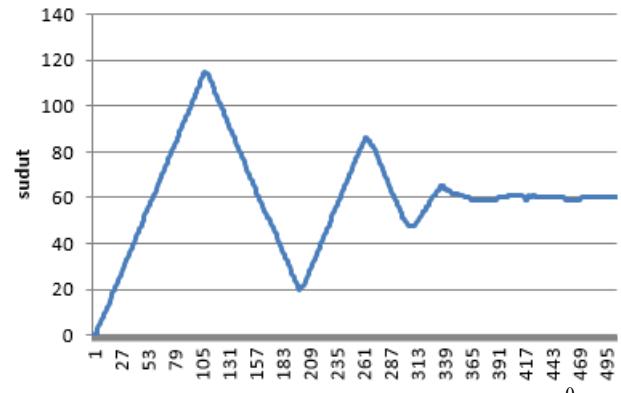
sehingga nilai :

$$K_p = 58,8 ; K_i = 29,10 ; K_d = 28,50$$

Untuk ujicoba dilakukan simulasi dan aplikasi pada hardware. Gambar 11 (a) menunjukkan simulasi ketika setpoint untuk sudut baringan sebesar 60° , sedangkan Gambar 11 (b) menunjukkan hasil aplikasi pada hardware.



(a). Simulasi sudut baringan 60° .



(b). Aplikasi hardware sudut baringan 60°
Gambar 11. Hasil simulasi dan aplikasi sudut baringan 60° .

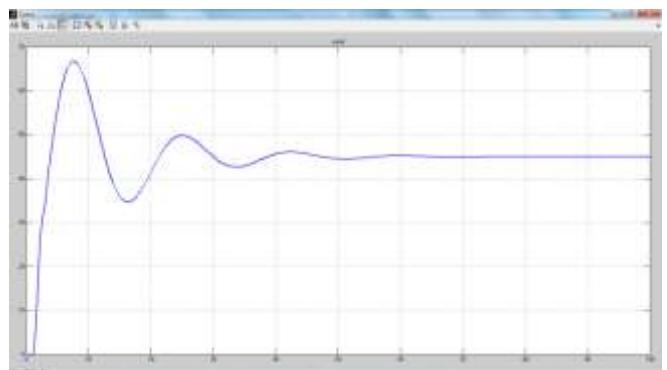
Selanjutnya dengan cara yang sama dengan metode Ziegler Nichols untuk sudut elevasi barrel simulator meriam ARSU 57 mm, diperoleh:

$K_p = 15$, $T_i = 2,02$, $T_d = 0,48$. Selanjutnya dengan memasukkan nilai K_p , T_i , dan T_d pada persamaan sinyal diperoleh:

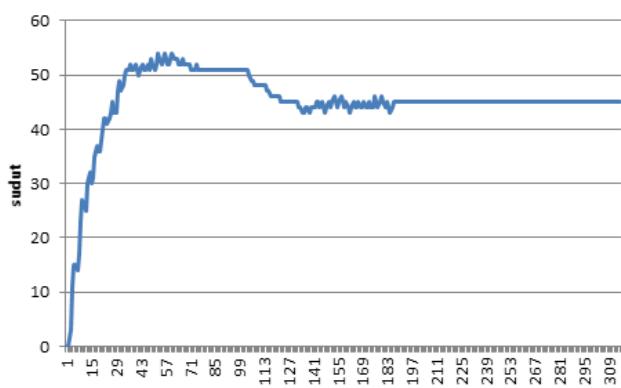
$$U(s) = 15E(s) + \frac{7,425}{s} + 7,272E(s)$$

Maka nilai $K_p = 15$, $K_i = 7,425$, dan $K_d = 7,272$.

Selanjutnya hasil ujicoba simulasi dan aplikasi hardware ditunjukkan pada Gambar 12 dimana sudut setpoint elevasi barrel adalah 45° .



(a). Simulasi sudut elevasi barrel 45°



(b). Aplikasi hardware sudut elevasi barrel 45°
Gambar 12. Hasil simulasi dan aplikasi sudut elevasi barrel 45° .

Berdasarkan hasil simulasi dan aplikasi pada hardware, hasil menunjukkan respon system yang cukup cepat, dan tidak memiliki steady-state error, tetapi masih terjadi overshoot.

Robot Manipulators, Advanced Robotics, Vol. 26, No. 1-2, pp. 45-61 (2012).

Raul O., Jon Z., Jeffrey T.S., and Kevin M.P., Modelling and Fuzzy Control of DC Drive, 14-th European Simulation Multiconference, pp186-190, Poland (2000).

Kesimpulan

Simulator meriam ARSU 57 mm didesain untuk memodelkan meriam ARSU yang memiliki kontrol PID agar dapat akurat dan presisi dalam mencapai target. Berdasarkan hasil simulasi dan eksperimen didapat kesimpulan dengan menggunakan kontrol PID bahwa peranan tuning gain K_p , K_i , dan K_d sangat penting dimana pada penelitian ini telah digunakan metode Ziegler Nichols untuk membantu mendapatkan nilai kontanta tersebut yang memberikan sistem kontrol PID akurat. Adapun hasilnya adalah respon sistem cepat dan tidak adanya steady-state error, sedangkan overshoot masih terjadi walaupun dalam range yang aman. Pengembangan selanjutnya akan dilakukan aplikasi metode kontrol fuzzy logic.

Ucapan Terima kasih

Terima kasih atas kepada DIKTI atas penugasan penelitian MP3EI dengan nomor 253/SP2H/PL/DIT.LITABMAS/VII/2013 yang telah mendukung penuh pelaksanaan penelitian ini.

Referensi

- Anne K., Sebuah Pemikiran Tentang Pembangunan Industri Pertahanan Dalam Kemandirian Pertahanan Negara, *Buletin Balitbang No 14*, Departemen Pertahanan Republik Indonesia, Jakarta (2005).
- Gautam K., Pradeep Y.T., Vincent M. and Mayuresh V.K., A Study of a Gun-Turret Assembly in an Armored Tank using Model Predictive Control, American Control Conference, USA (2009).
- Marcio D.S.G., Armando M.F., Gun-Turret Modelling and Control, 18th International Congress of Mechanical Engineering, Vol. 2, pp. 60-67, Rio de Janeiro, Brazil (2006).
- Munadi, Perancangan Sistem Kendali Turret, Master Tesis, Institut Teknologi Bandung (2007).
- Munadi, T. Naniwa, An Adaptive Controller Dominant-Type Hybrid Adaptive and Learning Controller for Trajectory Tracking of