

# RANCANG BANGUN SIMULATOR PENGENDALIAN POSISI CANNON PADA MODEL TANK MILITER DENGAN PENGENDALI PD (PROPOSIONAL – DERIVATIVE)

Heru Triwibowo<sup>[1]</sup>, Iwan Setiawan<sup>[2]</sup>, Budi Setiyono<sup>[2]</sup>

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jln. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia

## Abstrak

Perkembangan teknologi memberikan dampak positif di berbagai bidang, salah satunya adalah bidang militer. Peralatan militer yang digunakan dari tahun ke tahun semakin canggih dan modern. Salah satu peralatan tersebut adalah tank militer. Pengendalian posisi diperlukan untuk mengendalikan posisi sudut cannon pada tank agar dapat sesuai dengan sasaran yang diinginkan. Kendali posisi sudut cannon menyerupai dengan kendali posisi pada manipulator lengan robot, hanya saja pada kendali posisi cannon hanya mempunyai 2 derajat kebebasan.

Tugas Akhir ini bertujuan mengimplementasikan kendali proporsional derivative (PD) pada suatu pengendalian posisi cannon pada tank militer. Kendali PD digunakan untuk mengendalikan motor horisontal dan vertikal dari cannon agar pergerakan cannon dapat mengikuti pergerakan dari simulator/joystick. Perubahan posisi sudut yang terjadi diketahui dari sensor potensiometer. Dengan demikian posisi sudut akhir cannon selalu sama dengan posisi sudut pada simulator.

Dari hasil pengujian didapatkan bahwa pengendali posisi cannon mempunyai respon yang lambat, tetapi posisi akhir cannon selalu sama dengan posisi akhir simulator. Pada pengujian pergerakan simulator yang cepat maka pergerakan cannon selalu tertinggal. dikarenakan kecepatan maksimal cannon lebih kecil dari pada kecepatan gerak simulator simulator. Parameter pengendali proporsional ( $K_p$ ) sangat berpengaruh pada kecepatan gerakan cannon untuk mengikuti gerakan simulator, sedangkan parameter pengendali derivative kurang berpengaruh pada sistem.

**Kata kunci :** Simulator, Cannon, Potensiometer, Proporsional-Derivative(PD)

Perkembangan teknologi memberikan dampak positif di berbagai bidang, salah satunya adalah bidang militer. Peralatan militer yang digunakan dari tahun ke tahun semakin canggih dan modern. Salah satu peralatan tersebut adalah tank militer. Pengendalian posisi diperlukan untuk mengendalikan posisi sudut cannon agar dapat sesuai dengan sasaran yang diinginkan. Kendali posisi sudut cannon menyerupai dengan kendali posisi pada manipulator lengan robot, hanya saja pada kendali posisi cannon hanya mempunyai 2 derajat kebebasan.

Tujuan yang ingin dicapai pada tugas akhir ini adalah membangun sistem pengendalian posisi cannon pada model tank militer dengan pengendali PD (Proporsional – Derivative). Pada dasarnya kendali proporsional sudah cukup untuk mengendalikan posisi cannon. Penambahan pengendali derivative ini disebabkan karena sifat dari pengendali derivative yang dapat membantu memperbaiki respon dan memprediksi galat yang akan terjadi.

Perancangan simulator ini menggunakan mikrokontroler ATMega8535 sebagai pusat pengendalian, potensiometer sebagai sensor posisi dan motor DC sebagai penggerak cannon.

## DASAR TEORI

### Pengendali Proporsional – Derivative (PD)

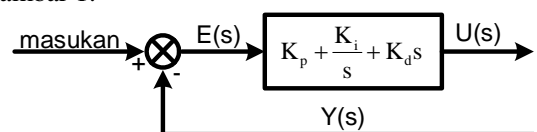
Pengendali PID adalah suatu sistem pengendali yang merupakan gabungan antara pengendali proporsional, integral, dan turunan (derivative). Dalam kawasan kontinyu, sinyal keluaran pengendali PID dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t).dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

Dalam kawasan diskret dirumuskan sebagai berikut:

$$u(k) = K_p \cdot e(k) + K_i \cdot T \cdot \sum_{i=0}^{k-1} (e(i)) + K_d \frac{(e(k) - e(k-1))}{T} \quad (2)$$

Diagram blok pengendali PID dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram blok pengendali PID

<sup>1</sup> Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro UNDIP

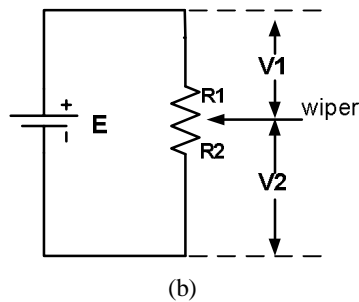
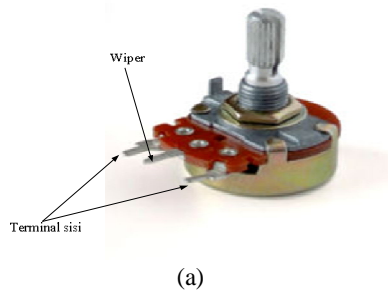
<sup>2</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro UNDIP

Tabel 1. Efek dari pengendali P, I, dan D

K	Rise time	Over shoot	Settling time	Steady State Error
Kp	menurun	meningkat	perubahan kecil	menurun
Ki	menurun	meningkat	meningkat	menurun
Kd	perubahan kecil	menurun	menurun	perubahan kecil

### Potensiometer Sebagai Sensor Posisi

Potensiometer dapat digunakan sebagai sensor posisi dengan menfungsikan potensiometer sebagai pembagi tegangan. Prinsip kerja potensiometer sebagai pembagi tegangan ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Potensiometer sebagai pembagi tegangan

Pada gambar 2 berlaku persamaan :

$$E = V1 + V2 \quad (3)$$

$$V1 = \frac{R1}{R1+R2} E \quad (4)$$

$$V2 = \frac{R2}{R1+R2} E \quad (5)$$

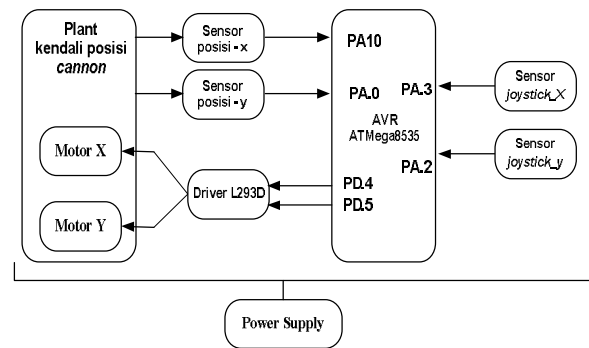
- Dimana, E : Sumber tegangan (Volt)  
 V1 : Tegangan pada R1 (Volt)  
 V2 : Tegangan pada R2 (Volt)  
 R1 : Tahanan atas (Ohm)  
 R2 : Tahanan bawah (Ohm)

Apabila posisi potensiometer berubah maka terjadi perubahan nilai resistansi R1 dan R2, sehingga tegangan keluaran pada terminal *wiper* akan berubah pula. Perubahan posisi potensiometer berbanding lurus dengan perubahan nilai resistansi, sedangkan perubahan nilai resistansi berbanding lurus dengan perubahan tegangan keluaran *wiper*, sehingga dapat dikatakan bahwa perubahan posisi potensiometer berbanding lurus dengan tegangan keluaran *wiper*.

## PERANCANGAN PERANGKAT KERAS DAN PERANGKAT LUNAK

### Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Perancangan simulator pengendalian posisi *cannon* pada tank militer digunakan sebuah mikrokontroler ATmega8535 sebagai pusat pengendalian, masukan referensi berasal dari sensor potensiometer pada *joystick*, dan sarana keluaran berupa *driver* motor DC yang akan menggerakkan motor DC. Sedangkan umpan balik sistem berasal dari sensor posisi *cannon* yang berupa potensiometer. Diagram blok perangkat keras secara keseluruhan ditunjukkan gambar 3.

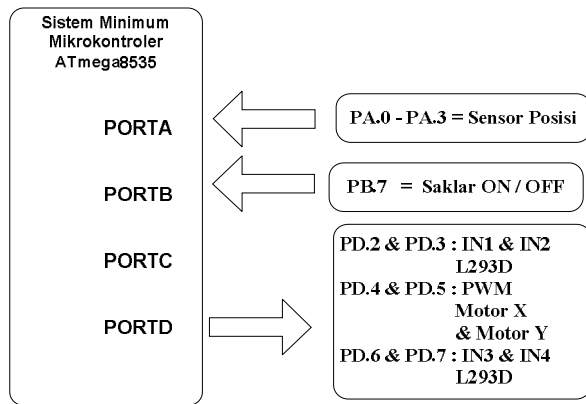


Gambar 3. Diagram blok perancangan perangkat keras

### Mikrokontroler ATmega8535

Fitur – fitur dari mikrokontroler AVR ATmega8535 yang digunakan pada perancangan tugas akhir ini meliputi portA (ADC) yaitu PA0 - 3 sebagai masukan dari sensor posisi yang berupa tegangan analog. Port D sebagai keluaran, yaitu PD.2 dan PD.3 sebagai sinyal kendali arah putaran motor X / *direction* motor (1A dan 2A), PD.4 dan PD.5 sebagai keluaran PWM yang digunakan untuk mengatur pemberian tegangan ke motor DC , PD.6

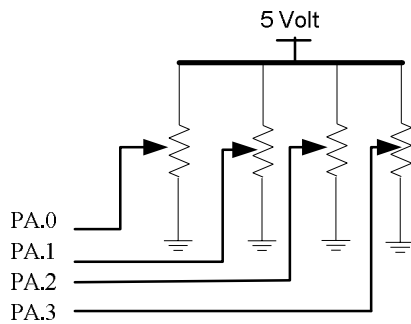
dan PD.7 sebagai sinyal kendali arah putaran motor Y/ *direction* motor (1B dan 2B).



Gambar 4. Alokasi port pada sistem minimum mikrokontroler ATmega8535

### Perancangan Sensor Posisi

Sensor posisi yang digunakan pada perancangan ini adalah potensiometer 10 kΩ. Sudut perputaran posisi joystick pada sumbu horisontal berada pada range - 90° sampai 90° dan pada sumbu vertikal pada range 0° sampai 60°. Agar dapat berfungsi sebagai sensor posisi maka potensiometer dirangkai sebagai pembagi tegangan. Konfigurasi potensiometer sebagai sensor posisi joystick ditunjukkan pada gambar 5.

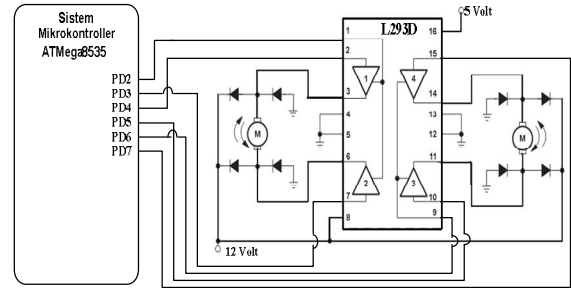


Gambar 5. Potensiometer sebagai sensor posisi

### Driver Motor L293D

Keluaran sinyal PWM dari mikrokontroler berada pada PIND.4 dan PIND.5, karena pada pemrograman PWM menggunakan timer 1. Sinyal PWM akan mengatur tegangan masukan ke motor dengan mengatur lebar pulsanya. PIND.2 dan PIND.3 digunakan sebagai kombinasi untuk menentukan arah perputaran motor untuk motor dc ke-1 dan PIND.6 dan PIND.7 untuk menentukan arah motor dc yang lainnya. Untuk satu motor

digunakan dua masukan arah yang berbeda yaitu (logika 0 dan 1).

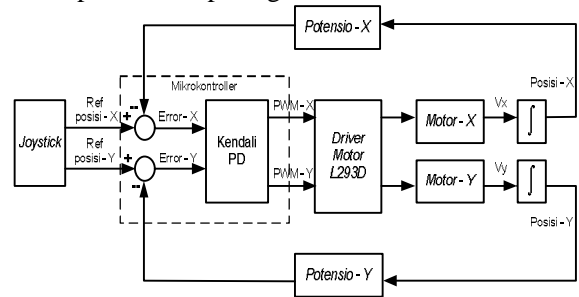


Gambar 6. Rangkaian Driver motor L293D

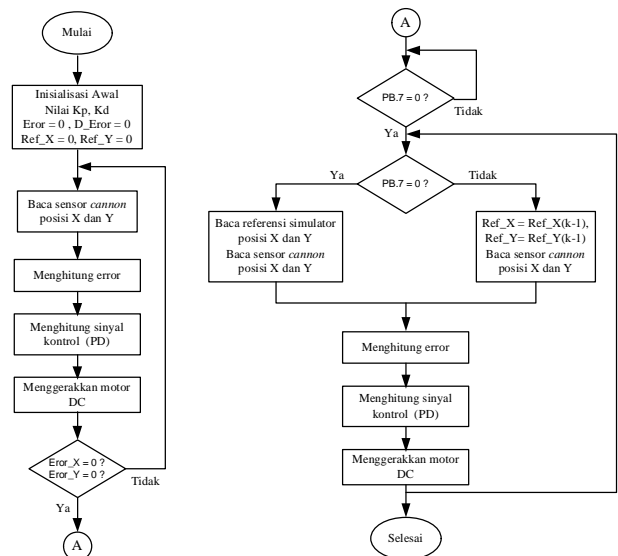
### Perancangan perangkat Lunak (Software)

Pengendalian posisi cannon pada tugas akhir ini menggunakan kendali proporsional – derivative (PD). Masukan dari kendali PD adalah error posisi cannon terhadap posisi pada simulator. Kemudian error akan diolah oleh pengendali PD sehingga menghasilkan sinyal kontrol yang diumpangkan ke motor DC melalui driver motor. Putaran motor DC akan menggerakkan cannon, yang berarti akan mengubah posisi cannon sehingga posisi cannon mengikuti posisi pada simulator.

Blok diagram pengendalian secara umum dapat dilihat pada gambar 7, sedangkan Diagram alir diperlihatkan pada gambar 8.



Gambar 7. Blok Diagram Pengendalian posisi cannon



Gambar 8. Diagram alir program utama

## PENGUJIAN DAN ANALISIS

### Pengujian Sensor Potensiometer

Pengujian terhadap sensor potensiometer dilakukan dengan mengukur perubahan sudut pada *cannon* dan mengamati hasil konversi data ADC ke besaran sudut pada komputer melalui komunikasi serial. Data hasil pengukuran yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor Potensiometer

No	Sudut (°)	Pembacaan Potensiometer (°)		Kesalahan pembacaan sudut (°)	
		X	Y	X	Y
1	0	0	0	0	0
2	30	29,52	29,82	0,48	0,28
3	60	60,80	60,52	- 0,80	- 0,52
4	90	90,82	90,57	- 0,82	- 0,57
5	120	120,82	120,82	- 0,82	- 0,82
6	150	151,32	151,15	- 1,32	- 1,15
7	180	181,23	181,52	- 1,23	- 1,52

Pada tabel 3 terlihat bahwa sudut yang terbaca potensiometer mendekati besarnya sudut yang sesungguhnya, dengan hal ini dapat disebabkan karena pembulatan angka pada perhitungan konversi data ADC ke besaran sudut.

### Pengujian Driver Motor DC

Driver motor L293D ini mendapat masukan dari PWM yang dihasilkan oleh timer 1 mikrokontroler. Keluaran sinyal PWM didapat pada PIND.4 dan PIND.5 dengan cara mengatur nilai dari register OCR1A dan OCR1B.  $V_{motor}$  yang digunakan adalah 12 Volt (terukur 11.81 Volt).

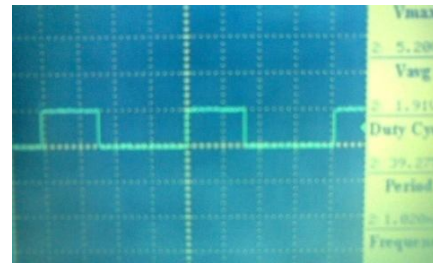
Tabel 3. Hasil Pengujian Driver L293D

Nilai OCR1	$V_{keluaran}$ channel 1 (volt)	$V_{keluaran}$ channel 2 (volt)	$V_{keluaran}$ Hitung (volt)
25	1,82	1,82	1,16
50	2,72	2,72	2,32
75	3,96	3,96	3,47
100	5,09	5,09	4,63
125	5,86	5,86	5,79
150	7,43	7,43	6,95
175	8,55	8,55	8,11
200	10,2	10,2	9,26
225	10,9	10,9	10,42
255	11,7	11,7	11,81

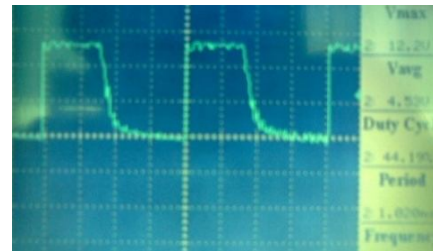
Hasil pengujian menunjukkan bahwa ketika nilai OCR1A dan OCR1B diberi nilai besar maka motor dc berputar cepat, ketika diberi nilai

sedang maka motor dc berputar sedang, dan ketika diberi nilai kecil maka motor dc berputar lambat dan bahkan berhenti. Hal ini dikarenakan tegangan efektif (Vrms) keluaran driver berbanding lurus dengan nilai OCR1.

Tabel 3 menunjukkan bahwa tegangan efektif keluaran *driver* berbeda dengan nilai tegangan hasil perhitungan, hal ini dikarenakan oleh karakteristik keluaran *driver* motor L293D. Sinyal kotak keluaran dari motor dc tidak dapat sama sepenuhnya dengan sinyal kotak keluaran PWM mikrokontroler (masukan *driver* motor dc). Perbedaan sinyal kotak hasil keluaran driver L293D dan keluaran PWM mikrokontroler diperlihatkan pada gambar 9 dan 10.



Gambar 9 Sinyal keluaran PWM mikrokontroler dengan OCR1 = 100



Gambar 10. Keluaran driver motor dc Sinyal PWM dengan OCR1 = 100

### Pengujian ADC internal ATmega 8535

Pengujian ini dilakukan dengan mengukur tegangan keluaran sensor potensiometer (masukan ADC) dan mengamati data digital hasil konversi dari ADC pada komputer melalui komunikasi serial. Pada tugas akhir ini digunakan ADC dengan *fidelitas* 10 bit, clock ADC 31,250 kHz, tegangan referensi yang digunakan adalah  $V_{cc}$  (4,99 volt).

Pada pengujian ADC diperoleh hasil sebagaimana ditunjukkan pada tabel 4. Dari pengujian terlihat bahwa data hasil konversi ADC internal sebagian besar sama dengan hasil perhitungan. Beberapa perbedaan yang terjadi dikarenakan pada data hasil perhitungan terjadi pembulatan angka.

Tabel 4. Hasil pengujian ADC internal ATmega8538

No.	Tegangan masukan ADC (Volt)	Data digital keluaran ADC	Data digital hasil perhitungan
1	0	0	0
2	0.5	101	103
3	1	205	205
4	1.5	307	308
5	2	410	410
6	2.5	513	513
7	3	616	616
8	3.5	719	718
9	4	821	820
10	4.5	923	923
11	4.99	1023	1023

**Pengujian Timer 1 sebagai PWM**

Pengujian PWM dilakukan dengan memasukkan nilai PWM tertentu memperlihatkan pengaruh perubahan data pada register OCR1AL dan OCR1BL terhadap lebar *duty cycle*.

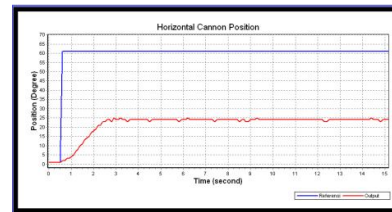
Tabel 5. Hasil Pengujian *duty cycle* PWM

Nilai OCR1	<i>Duty cycle</i> channel 1 (%)	<i>Duty cycle</i> channel 2 (%)	<i>Duty cycle</i> Perhitungan (%)
25	9,82	9,82	9,80
50	19,62	19,62	19,61
75	29,44	29,44	29,41
100	39,31	39,31	39,22
125	49,04	49,04	49,02
150	58,60	58,60	58,82
175	68,65	68,65	68,63
200	78,43	78,43	78,43
225	88,32	88,32	88,24
255	100	100	100

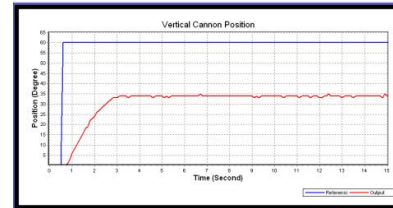
Pada tabel 5 di atas terlihat bahwa semakin besar nilai PWM yang diberikan maka semakin besar pula nilai *duty cycle* yang diperoleh. Besarnya nilai *duty cycle* OCR1AL dan OCR1BL yang terukur hampir sama dengan hasil perhitungan yang didapatkan.

**Pengujian Pengendali Proporsional – Derivative**

Kendali PD digunakan untuk mengontrol perubahan posisi sudut *cannon*, agar mampu mengikuti nilai referensi dari simulator. Pengujian pada pengontrolan posisi sudut terdapat dua parameter kontrol yaitu konstanta proporsional ( $K_p$ ) dan konstanta derivative ( $K_d$ ). Pengujian dilakukan dengan memberikan sudut referensi  $60^0$  dengan variasi nilai  $K_p$  dan  $K_d$ .



(a) Posisi horisontal



(b) Posisi vertikal

Gambar 11. Respon sistem untuk  $K_p = 1, K_d = 0$

Pengaruh perubahan nilai  $K_p$  ditunjukkan pada tabel 6.

Tabel 6. Pengaruh perubahan  $K_p$  terhadap respon sistem

$K_p$	<i>Rise time</i> (s)		<i>Setling time</i> (s)	
	horisontal	vertikal	horisontal	vertikal
5	-	-	-	-
10	2,75	2,25	-	-
15	2,5	2,00	-	2,75
20	2,5	2,00	3,50	2,75
25	2,5	1,75	3,50	2,50
30	2,25	1,75	3,25	2,50
35	2,25	1,75	3,25	2,50

Sedangkan pengaruh perubahan nilai  $K_d$  ditunjukkan pada tabel 7.

Tabel 7. Pengaruh perubahan  $K_d$  terhadap respon sistem

$K_p$	$K_d$	<i>Rise time</i> (s)		<i>Setling time</i> (s)	
		Hori sontal	Verti kal	Hori sontal	Verti kal
30	1	2,50	2,00	3,50	2,75
	5	2,50	1,75	3,25	2,50
	10	2,25	1,75	3,25	2,25

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan terlihat bahwa sistem dengan nilai  $K_p$  yang semakin besar akan memberikan respon keluaran yang lebih cepat, yang ditunjukkan dengan nilai *rise time* yang lebih kecil walaupun perbedaannya tidak terlalu signifikan. Sistem dengan nilai  $K_p$  sebesar 5 menghasilkan respon keluaran yang tidak pernah mencapai 90% dari nilai

referensi yang diinginkan sehingga nilai *rise time* tidak diketahui. Sistem dengan nilai  $K_p$  dibawah 15, respon keluaran sistem jauh dari nilai referensi yang diinginkan. Sedangkan untuk nilai  $K_p$  lebih besar sama dengan 20, keluaran sistem mulai mencapai pada titik referensi tetapi terjadi osilasi.

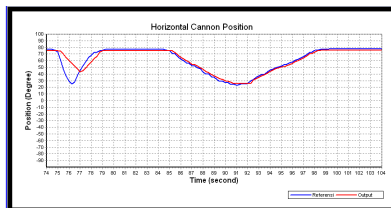
Perubahan kontroler derivative berpengaruh pada sensitivitas sistem terhadap perubahan referensi. Semakin besar nilai  $K_d$  maka sistem lebih cepat merespon setiap perubahan nilai referensi dari simulator.

### Pengujian Kecepatan Maksimum Cannon

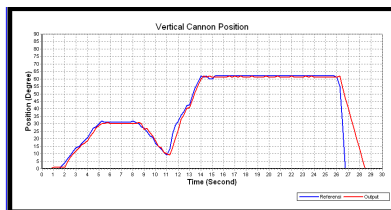
Pada pengujian kecepatan maksimal *cannon* dapat dilakukan dengan memberikan sinyal kontrol maksimal. Karena mode PWM yang digunakan adalah mode PWM 8 bit, maka nilai sinyal kontrol maksimal yang dapat diberikan adalah 255 sehingga mikrokontroler akan memberikan pulsa dengan *duty cycle* 100%.

Dari hasil pengujian kecepatan maksimum *cannon*, didapatkan bahwa kecepatan maksimal untuk posisi horisontal sebesar 0,31 rad/s, sedangkan posisi vertikal sebesar 0,45 rad/s. Oleh karena itu, *cannon* akan tetap dapat mengikuti pergerakan simulator dengan kecepatan kurang dari 0,31 rad/s untuk posisi horisontal dan 0,45 rad/s untuk posisi vertikal.

### Pengujian Aksi Cannon Terhadap Referensi dari Simulator



(a) Posisi X



(b) Posisi Y

Gambar 12. Respon sistem dengan referensi berubah – ubah

Pada gambar 12 terlihat bahwa pada pergerakan simulator dengan kecepatan lebih dari 0,31 rad/s, maka gerakan *cannon* selalu tertinggal. Akan tetapi pada keadaan stabil posisi *cannon* sama dengan posisi simulator. Untuk pergerakan

simulator yang relatif lambat (kecepatan kurang dari 0,31 rad/s), posisi *cannon* selalu mengikuti posisi dari simulator. Untuk perubahan posisi simulator yang relatif kecil dan sesaat, maka *cannon* tidak mampu mengikuti perubahan simulator. Hal ini dikarenakan respon sistem yang lambat dan motor yang kurang sensitif, sehingga sebelum sistem memberikan respon atas perubahan posisi yang terjadi, posisi dari simulator sudah terjadi perubahan lagi.

## PENUTUP

### Kesimpulan

Berdasarkan perancangan, pengujian dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Pengujian dengan kontroler proporsional ( $K_p$ ) mempercepat keluaran respon menuju nilai referensi. Semakin besar nilai  $K_p$ , maka respon keluaran sistem semakin cepat. Tetapi untuk  $K_p$  yang kecil ( $K_p \leq 5$ ) menghasilkan respon dengan *error steady state* cukup besar. Hal ini dikarenakan keadaan motor yang kurang sensitif ( motor dapat berputar dengan nilai PWM  $\geq 100$ ).
2. Penambahan kontroler derivative berpengaruh pada sensitivitas sistem terhadap perubahan referensi. Semakin besar nilai  $K_d$  maka sistem lebih cepat merespon setiap perubahan nilai referensi dari simulator.
3. Berdasarkan percobaan empiris nilai konstanta proporsional dan derivative yang baik untuk sistem ini adalah 30 dan 5.
4. Kecepatan sudut maksimum *cannon* sebesar 0,31 rad/s untuk posisi horisontal dan 0,45 rad/s untuk posisi vertikal, sehingga *cannon* dapat mengikuti pergerakan simulator dengan kecepatan sudut kurang dari 0,31 rad/s untuk posisi horisontal dan 0,45 rad/s untuk posisi vertikal.

### Saran

Pengembangan sistem lebih lanjut dapat dilakukan, maka penulis memberikan saran-saran sebagai berikut :

1. Penambahan mekanisme penembakan *cannon* dan pengendalian posisi sudut elevasi akan dapat menyempurnakan sistem *cannon* ini.
2. *Tuning* parameter PD dapat dilakukan dengan beberapa metode *tuning* yang ada.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Candra, Isma, *Perancangan Simulator pengendalian posisi Turret pada mobil pemadam kebakaran*, Skripsi S-1, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, 2007.
- [2] Handyarso, Accep, *Rancang Bangun Robot Mobil Penjejak Dinding Berbasis Pengendali PD Menggunakan mikrokontroler AVR ATmega 8535*, Skripsi S-1, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, 2007.
- [3] Heryanto, M. Ary & Wisnu Adi P., *Pemrograman Bahasa C untuk Mikrokontroler ATMEGA8535*, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2008.
- [4] Jacquot, Raymond G, *Modern Digital Control System*, New York, Marcel Dekker, 1981.
- [5] Ogata, Katsuhiko, *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1*, Jakarta, Erlangga : 1994.
- [6] -----, *ATmega8535 Data Sheet*, <http://www.atmel.com>.
- [7] -----, *L293D Data Sheet*, <http://www.ti.com>.
- [8] -----, *Potensiometer*, <http://en.wikipedia.org>.

## BIODATA PENULIS



**Heru Triwibowo**, lahir di Sleman tahun 1987. Menempuh pendidikan dasar (SD), SMP, dan SMU di Klaten. Setelah lulus SMU dengan hasil yang cukup memuaskan, pada tahun 2004 melanjutkan ke jenjang perguruan tinggi di Universitas Diponegoro Semarang, tepatnya di Jurusan Elektro dengan konsentrasi Teknik Kontrol.

Email : [hru\\_mintorogo@yahoo.com](mailto:hru_mintorogo@yahoo.com)

Mengetahui dan mengesahkan,

Dosen Pembimbing I      Dosen Pembimbing II

Iwan Setiawan, ST, MT  
NIP. 132 283 183  
Tanggal: \_\_\_\_\_

Budi Setiyono, ST, MT  
NIP. 132 283 84  
Tanggal: \_\_\_\_\_