

## Makalah Seminar Tugas Akhir

# PERANCANGAN *BIPEDAL ROBOT* PENJEJAK DINDING RUANG MENGGUNAKAN KENDALI PD

Mohroji<sup>[1]</sup>, Sumardi, ST, MT<sup>[2]</sup>, Iwan Setiawan, ST, MT<sup>[2]</sup>  
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jln. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia

### ABSTRACT

Nowadays, world's robotic move to high advance. Not only manipulator robot and wheeled robot but also research about legged robot have been done. It was proof with so many kind of legged robot made in colleges or companies area. There are many kind of legged robot like one legged robot, bipedal legged robot, tripod legged robot, quadruped legged robot, hexapod legged robot and multi legged robot. Bipedal robot is kind of legged robot that has the most difficulty to build but the most interesting to learnt because this robot walks with two legs like human so it also called humanoid robot. The big problem to make bipedal robot are automatic navigation system, realiable and balancing.

The aim of this final project is designing and building bipedal robot that can follow the wall using PD control. This robot using *PING)))*<sup>TM</sup> parallax ultrasonic sensor as range sensor, servo motor as actuator and microcontroller ATmega 8535 and ATmega 32 and also C language as control unit.

Based on result, bipedal robot can follows the wall well with  $K_p=10$ ,  $K_d=0,5$  and setting point 20 cm. Higher  $K_p$  value make bipedal robot turn right even rotation in the place. Bipedal robot can follows the wall with angle  $90^\circ - 210^\circ$ . Length step maximal of bipedal robot may not more than 8 cm so it still controllable.

**Keyword:** Bipedal robot, PD control, ATmega 8535, ATmega 32

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dewasa ini bidang robotika khususnya *bipedal robot* telah mengalami perkembangan yang sangat pesat. Topik-topik penelitian yang berkaitan dengan *bipedal robot* banyak dilakukan di negara-negara luar. Semakin maju dan semakin tinggi jenjang pendidikan di suatu negara maka semakin maju pula penelitian mereka tentang robot khususnya *bipedal robot*. Di Indonesia sendiri, penelitian-penelitian mengenai *bipedal robot* masih jarang dilakukan.

Pengendali PID merupakan pengendali yang telah banyak digunakan pada aplikasi-aplikasi kendali. Ketiga bagian (Proposional-Integral-Derivative) memenuhi kebutuhan performasi yang diperlukan dalam sistem pengendalian. Pada Tugas Akhir ini digunakan pengendali PD (Proposional-Derivative) untuk menggerakkan *bipedal robot* penjejak dinding. Pada dasarnya pengendali proporsional sudah mencukupi untuk mengendalikan pergerakan *bipedal robot* penjejak dinding. Penambahan pengendali derivative ini disebabkan karena sifat dari pengendali derivative yang dapat membantu memperbaiki error dan memprediksi error yang akan terjadi.

### 1.2 Tujuan

Tujuan dari pembuatan tugas akhir ini adalah merancang dan membuat sebuah *bipedal robot* yang dapat menjejaki dinding ruang dengan sebuah sistem kendali umpan balik berbasis kendali PD

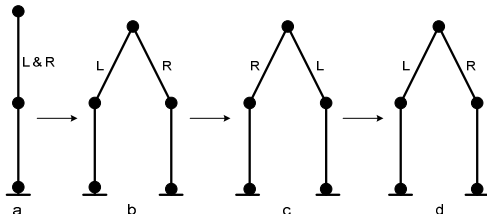
yang diimplementasikan ke dalam bentuk perangkat keras dan perangkat lunak (sistem mikrokontroler).

### 1.3 Pembatasan Masalah

- Pembatasan masalah pada tugas akhir yaitu:
1. Mikrokontroler yang digunakan adalah mikrokontroler ATmega 8535 dan ATmega 32.
  2. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah bahasa C yang dikompilasi oleh *compiler* CodeVision AVR.
  3. Sensor jarak yang digunakan adalah sensor *PING)))*<sup>TM</sup> buatan Parallac dengan range 3 – 300 cm.
  4. *Bipedal robot* yang dibuat menggunakan penggerak motor servo.
  5. Pergerakan robot mengabaikan massa, percepatan, gaya, gesekan karena *bipedal robot* yang dibuat berukuran kecil.
  6. *Bipedal robot* dibuat hanya untuk menjejak atau mengikuti dinding pada lintasan yang sudah disediakan.
  7. Lantai pada tempat pengujian robot dibuat datar tanpa gangguan.
  8. Teknik kendali yang digunakan adalah kendali PD.
  9. Tidak membahas mekanik robot secara mendalam.

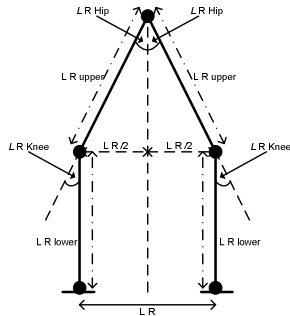
## II. DASAR TEORI

### 2.1 Kinematika Balik *Bipedal Robot*



Gambar 2.1 Gait Transition of Bipedal Robot

Dalam perancangan ini satu langkah (*step*) adalah transisi dari posisi b ke posisi d.

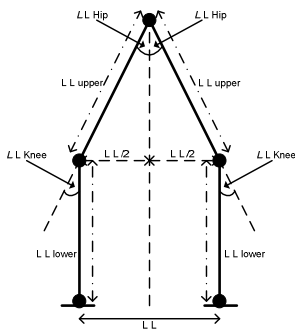


Gambar 2.2 Analisa kaki kanan *bipedal robot* [7]

Agar simetris maka  $\angle R_{Hip} = \angle R_{Knee}$  sehingga :

$$\sin(\angle R_{Hip}) = \frac{L_R/2}{L_{upper}}$$

$$L_R = 2 * L_{upper} * \sin(\angle R_{Hip}) \dots \dots \dots (2.1)$$



Gambar 2.3 Analisa kaki kiri *bipedal robot* [7]

Begitu pula untuk kaki kiri, agar simetris maka  $\angle L_{Hip} = \angle L_{Knee}$  sehingga

$$\sin(\angle L_{Hip}) = \frac{L_L/2}{L_{upper}}$$

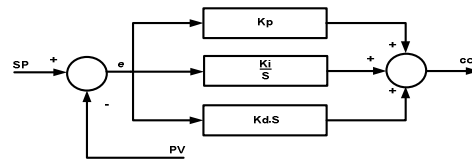
$$L_L = 2 * L_{upper} * \sin(\angle L_{Hip}) \dots \dots \dots (2.2)$$

Besarnya  $\angle R_{Hip}$  dan  $\angle L_{Hip}$  tergantung besarnya lebar pulsa yang diberikan pada motor servo.

## 2.2 Pengendali PID (Proporsional, Integral dan Derivative)

Kontrol PID merupakan gabungan dari tiga macam metode kontroler, yaitu pengontrol proporsional (*Proportional Controller*), pengontrol

integral (*Integral Controller*), dan pengontrol turunan (*Derivative Controller*) [5].



Gambar 2.4 Struktur kontrol PID ideal bentuk *independent* [5]

Persamaan (2.3) memperlihatkan bentuk umum dari kontrol PID ideal bentuk *independent* tersebut dalam dalam kawasan kontinyu.

$$CO(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dalam kawasan Laplace, persamaan (1) tersebut dapat ditulis:

$$CO(s) = \left[ K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \right] e(s) \dots \dots \dots (2.4)$$

Dari persamaan (2) tersebut dapat diperoleh fungsi alih kontroler PID (dalam domain s) sebagai berikut:

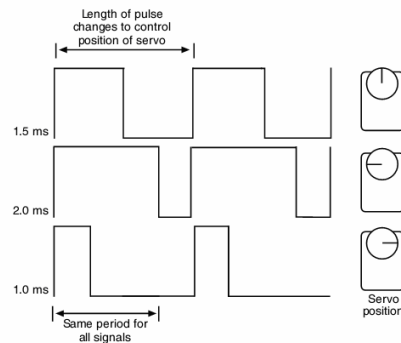
$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \dots \dots \dots (2.5)$$

Aksi kontrol PID ideal bentuk *independent* dalam kawasan sistem diskret dapat dituliskan pada bentuk persamaan (2.6) sebagai berikut:

$$CO(k) = K_p \cdot e(k) + K_i \cdot T_c \cdot \sum_{i=0}^k (e(i)) + K_d \cdot \frac{(e(k) - e(k-1))}{T_c} \dots (2.6)$$

### 2.2.1 Motor Servo

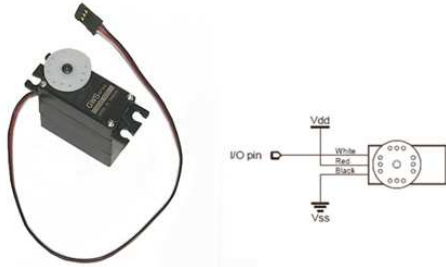
Motor servo adalah sebuah motor dengan *system closed feedback* di mana posisi dari motor akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada di dalam motor servo.



Gambar 2.5 Teknik PWM untuk mengatur sudut motor servo [8]

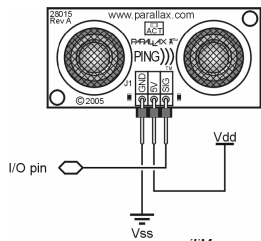
Tampak pada gambar 2.5 dengan pulsa 1.5 ms pada periode selebar 20 ms maka sudut dari sumbu motor akan berada pada posisi tengah. Semakin lebar pulsa *off* maka akan semakin besar gerakan sumbu ke arah jarum jam dan semakin kecil pulsa *off* maka akan semakin besar gerakan sumbu ke arah yang berlawanan dengan jarum jam.

Berikut ini adalah bentuk fisik dari motor servo yang digunakan yaitu GWS S30T 2BB.



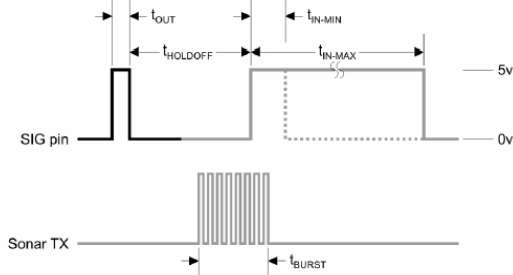
Gambar 2.6 GWS standard motor servo [14]

### 2.3 Sensor Ultrasonik PING)))<sup>TM</sup>



Gambar 2.7 Sensor PING)))<sup>TM</sup> Ultrasonik [13]

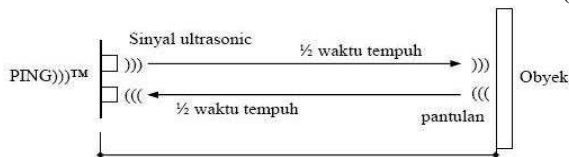
Range jarak yang dapat diukur oleh sensor PING)))<sup>TM</sup> adalah 3 – 300 cm. Sensor PING)))<sup>TM</sup> mendeteksi jarak objek dengan cara memancarkan gelombang ultrasonik (40 kHz) selama waktu pemancaran kemudian mendeteksi pantulannya.



Gambar 2.8 Sensor PING)))<sup>TM</sup> Ultrasonik timing diagram [13]

Sensor PING)))<sup>TM</sup> memancarkan gelombang ultrasonik sesuai dengan pulsa *trigger* dari mikrokontroler sebagai pengendali. Lebar pulsa *high* ( $t_{IN}$ ) akan sesuai dengan lama waktu tempuh gelombang ultrasonik untuk 2x jarak ukur dengan objek seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9, maka jarak yang diukur dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\text{Jarak} = \left[ \frac{t_{IN} \times 344 \text{ m/s}}{2} \right] \text{ meter} \quad \dots \dots \dots (2.7)$$

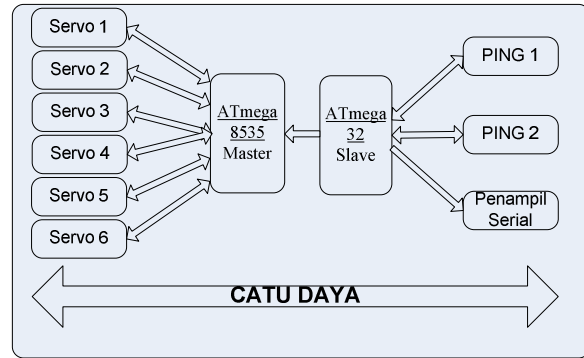


Gambar 2.9 Ilustrasi cara kerja sensor PING)))<sup>TM</sup> [13]

## III. PERANCANGAN SISTEM

### 3.1 Perancangan Perangkat Keras

Secara umum perancangan yang akan dibuat dapat dijelaskan pada gambar 3.1 di bawah ini.

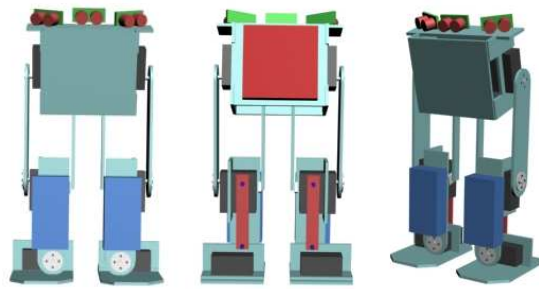


Gambar 3.1 Blok diagram sistem

Perancangan perangkat keras pada *bipedal robot* ini meliputi mekanik robot, mikrokontroler AVR ATmega 8535 dan ATmega 32, sensor PING)))<sup>TM</sup>, Penampil serial, motor servo dan catu daya.

#### 3.1.1 Mekanik Robot

Berikut ini adalah desain mekanik bipedal robot yang dibuat menggunakan *software* 3DS Max versi 8. *Body* robot dibuat menggunakan bahan *acrylic* dengan ketebalan 3 mm dan penggerak robot menggunakan 6 buah motor servo sehingga robot ini memiliki 6 DOF.

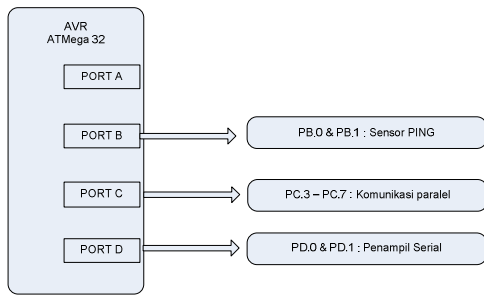


a. Depan b. Belakang c. Samping

Gambar 3.2 Desain *bipedal robot*

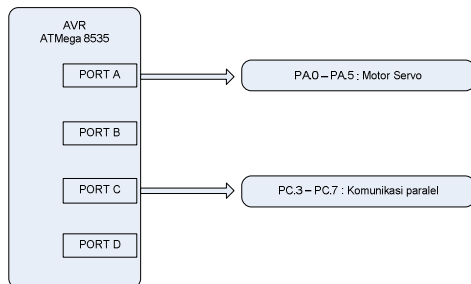
#### 3.1.2 Sistem Minimum ATmega 32 dan ATmega 8535

Mikrokontroler AVR ATmega 32 berfungsi sebagai *slave*. Fitur-fitur dari mikrokontroler ATmega 32 yang digunakan dalam pembuatan Tugas Akhir ini meliputi PINB.0 dan PINB.1 yang digunakan untuk mengukur jarak dengan dinding dengan menggunakan sensor PING)))<sup>TM</sup>, PINC.3 – PINC.7 yang digunakan sebagai komunikasi paralel dan PIND.0 – PIND.1 yang digunakan sebagai penampil serial.



Gambar 3.3 Alokasi port pada ATmega 32

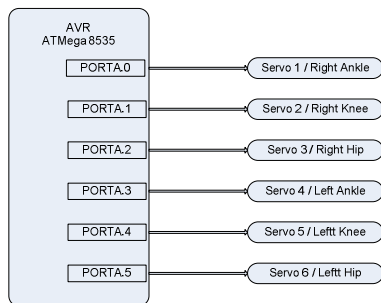
Adapun mikrokontroler AVR ATmega 8535 berfungsi *master*. Fitur-fitur dari mikrokontroler ATmega 8535 yang digunakan dalam pembuatan Tugas Akhir ini meliputi PORTA yang digunakan untuk mengontrol motor servo dan PINC.3 – PINC.7 yang digunakan sebagai komunikasi paralel.



Gambar 3.4 Alokasi port pada ATmega 8535

### 3.1.3 Motor Servo

Motor servo berfungsi sebagai penggerak. Tiap kaki digerakkan oleh tiga buah motor servo. Untuk kaki kanan dimulai dari servo *Ankle* pada PORTA.0, servo *Knee* pada PORTA.1 dan servo *Hip* pada PORTA.2. Sedangkan pada kaki kiri servo *Ankle* pada PORTA.3, servo *Knee* pada PORTA.4 dan servo *Hip* pada PORTA.5.

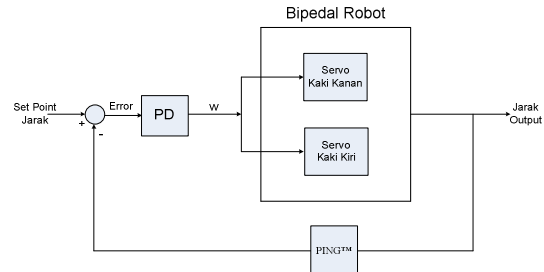


Gambar 3.5 Alokasi port motor servo pada sistem mikrokontroler

## 3.2 Perancangan Perangkat Lunak

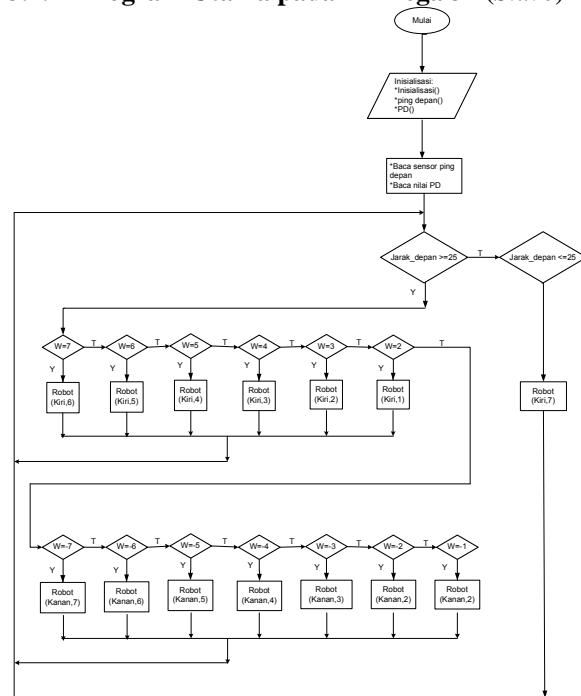
*Bipedal robot* yang dibuat pada Tugas Akhir ini adalah robot yang mampu mengikuti dinding sebelah kanan dengan mempertahankan jarak dan orientasinya terhadap dinding tersebut. Robot ini

dikendalikan dengan menggunakan pengendali PD. Keluaran dari pengendali PD ini berupa sinyal kontrol dalam hal ini adalah kecepatan *angular* ( $\omega$ ) yang selanjutnya digunakan untuk mengendalikan *bipedal robot*. Motor servo digunakan sebagai penggerak yang akan menggerakkan seluruh bagian robot agar selalu dapat mengikuti dinding sesuai dengan sinyal kontrol yang diberikan.



Gambar 3.6 Blok diagram sistem kendali

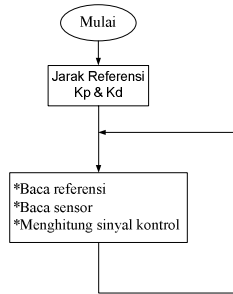
### 3.2.1 Program Utama pada ATmega 32 (Slave)



Gambar 3.7 Diagram alir program utama ATmega 32

Berdasarkan Gambar 3.7 dapat diketahui bahwa pengendalian *bipedal robot* dimulai dengan inisialisasi ATmega 32 kemudian membaca nilai sensor ping depan untuk mengetahui jarak depan dan membaca sensor ping kanan untuk mengetahui jarak robot dengan dinding sebagai masukan kendali PD. Selanjutnya melakukan komputasi kendali PD untuk mendapatkan sinyal kontrol berupa  $\omega$ . Kemudian nilai  $\omega$  ini dikirimkan ke ATmega 8535 untuk diproses menjadi gerakan robot. Sistem akan selalu mengulang-ulang proses pengolahan sinyal kontrol dan akan berhenti jika *power supply* dimatikan.

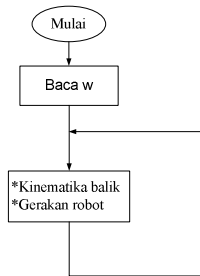
### 3.2.2 Sub Rutin Kendali PD



Gambar 3.8 Diagram alir kendali PD

Pada Tugas Akhir ini digunakan kendali PD untuk mendapatkan gerakan robot yang diinginkan. *Setting* nilai Kp dan Kd dilakukan secara empiris dengan memberikan nilai awal pada rutin program, begitu pula dengan nilai jarak referensi. Sebagai masukan jarak robot yang sebenarnya dengan dinding digunakan sensor PING)))<sup>TM</sup>.

### 3.2.3 Program Utama pada ATmega 8535 (Master)



Gambar 3.9 Diagram alir program utama ATmega 8535

ATmega 8535 yang berfungsi sebagai master yang akan memproses nilai  $\omega$  dari ATmega 32 menjadi gerakan robot.

## IV. PENGUJIAN DAN ANALISA

### 4.1 Pengujian Perangkat Keras

#### 4.1.1 Pengujian Sensor Jarak PING)))<sup>TM</sup>

Tabel 4.1 Hasil pengukuran jarak dengan menggunakan sensor PING)))<sup>TM</sup>

No.	Jarak Terukur (cm)	Jarak Terdeteksi (cm)	
		PING))) <sup>TM</sup> Kanan	PING))) <sup>TM</sup> Depan
1	10	10,43	10,80
2	20	20,68	20,50
3	30	30,38	30,74
4	40	40,08	40,81
5	50	50,14	50,69
6	60	60,57	60,21
7	70	70,09	70,45
8	80	80,15	80,52
9	90	89,12	89,49
10	100	99,19	99,73
11	110	108,52	108,70
12	120	118,95	118,03
13	130	127,92	127,37
14	140	138,35	138,71
15	150	147,86	147,50
Rata-rata Error		0,5	0,38

Dari Tabel 4.1, terlihat bahwa sensor PING)))<sup>TM</sup> tidak sesuai terhadap jarak sesungguhnya. Rata-rata *error* yang didapatkan untuk PING)))<sup>TM</sup> Kanan adalah 0,5 cm dan untuk PING)))<sup>TM</sup> Depan sebesar 0,38 cm. Hal ini disebabkan karena pengukuran atau adanya pembulatan dalam pemrograman.

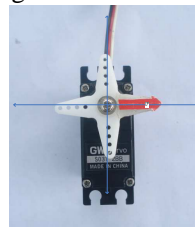
#### 4.1.2 Pengujian Motor Servo

Dari siklus motor servo pada gambar 2.5 diketahui bahwa untuk membentuk sudut  $0^\circ$  (searah dengan sumbu X positif) maka servo diberi pulsa dengan lebar 1 ms sedangkan untuk membentuk sudut  $180^\circ$  maka servo harus diberi pulsa dengan lebar 2 ms. Untuk memudahkan perhitungan dalam pemrograman maka nilai 1 ms dan 2 ms ini dinormalisasi ke dalam 8 bit (255). Sehingga diperoleh nilai 0 untuk sudut  $0^\circ$  dan nilai 255 untuk sudut  $180^\circ$ . Namun dalam prakteknya ketika diberi nilai 0 – 50, servo masih membentuk sudut  $0^\circ$  dan ketika diberi nilai 200 servo sudah mencapai sudut maksimalnya yaitu sebesar  $180^\circ$ .

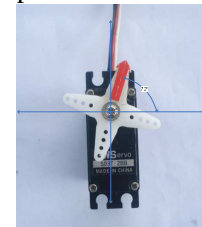
Tabel 4.2 Hasil perhitungan sudut servo

No.	Lebar Pulsa	Sudut
1.	50	$0^\circ$
2.	60	$12^\circ$
3.	70	$24^\circ$
4.	80	$36^\circ$
5.	90	$48^\circ$
6.	100	$60^\circ$
7.	110	$72^\circ$
8.	120	$84^\circ$
9.	130	$96^\circ$
10.	140	$108^\circ$
11.	150	$120^\circ$
12.	160	$132^\circ$
13.	170	$144^\circ$
14.	180	$156^\circ$
15.	190	$168^\circ$
16.	200	$180^\circ$

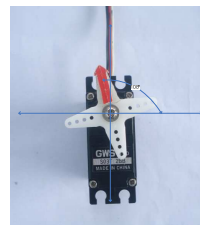
Berikut hasil percobaan sudut servo dengan berbagai macam variasi lebar pulsa.



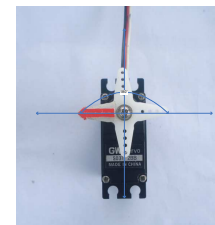
a. Lebar pulsa 50



b. Lebar pulsa 110



c. Lebar pulsa 140



d. Lebar pulsa 200

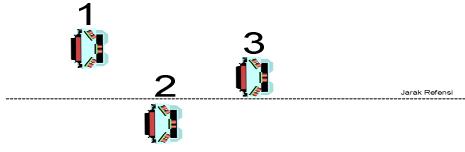
Gambar 4.1 Posisi servo dengan berbagai lebar pulsa

Berdasarkan hasil percobaan di atas terlihat sudut motor servo sudah sesuai dengan hasil perhitungan.

## 4.2 Pengujian Perangkat Lunak

### 4.2.1 Pengujian Algoritma PD

Pada pengujian robot ditempatkan pada 3 macam posisi, yaitu [1] Robot berada pada posisi jauh dari jarak referensi, [2] Robot berada pada posisi dekat dengan dinding, [3] Robot berada pada jarak referensi.



Gambar 4.2 Tiga kemungkinan penempatan *bipedal robot* terhadap dinding

Pada pengujian ini menggunakan nilai  $K_p = 10$  dan nilai  $K_d = 0,5$ . Kemudian meletakkan *bipedal robot* pada variasi posisi seperti Gambar di atas dan dengan memberikan variasi referensi jarak. Dengan menggunakan rumus kendali PD :

$$co = K_p * error + K_d * d\_error \dots\dots\dots (4.1)$$

Karena robot diam maka  $d\_error = 0$ , sehingga

$$co = K_p * error \dots\dots\dots (4.2)$$

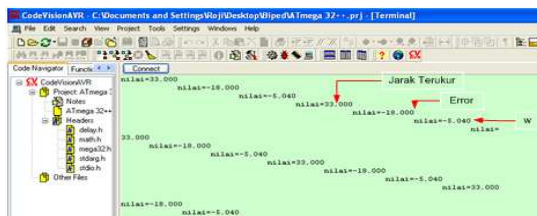
Kecepatan angular robot ( $\omega$ ) dibatasi antara -250 sampai dengan 250, sehingga apabila dikonversi ke dalam data 3 bit menjadi

$$w = \frac{co}{500} * 14 \dots\dots\dots (4.3)$$

Nilai hasil percobaan ditampilkan lewat serial. Dari hasil percobaan dan perhitungan diperoleh hasil sebagai berikut.

Tabel 4.3 Hasil pengujian algoritma PD

Ref Jarak	Posisi Robot	Jarak Terukur	Error Jarak	Kec. Angular ( $\omega$ ) Percobaan	Kec. Angular ( $\omega$ ) Perhitungan
15	1	33	-18	-5,040	-5,040
	2	6	9	2,520	2,520
	3	14	1	0,280	0,280
20	1	32	-12	-3,346	-3,360
	2	8	12	3,710	3,360
	3	20	0	0	0
25	1	37	-12	-3,360	-3,360
	2	11	14	3,920	3,920
	3	25	0	0	0
30	1	39	-9	-2,250	-2,250
	2	14	16	4,480	4,480
	3	29	1	0,280	0,280
35	1	50	-15	-4,214	-4,200
	2	14	21	5,880	5,880
	3	35	0	0	0
40	1	57	-17	-4,760	-4,760
	2	18	22	6,160	6,160
	3	39	1	0,280	0,280
45	1	68	-23	-6,440	-6,440
	2	16	29	7	8,120
	3	46	-1	-0,280	-0,280



Gambar 4.3 Data pengujian algoritma PD

Dengan demikian antara hasil perhitungan dan hasil percobaan telah menunjukkan hasil yang sama.

### 4.2.2 Pengujian Nilai $K_p$ dan $K_d$ pada *Bipedal Robot*

Tabel 4.4 Hasil pengujian *bipedal robot* dengan pengendali proposional ( $K_p$ )

No	Variasi Parameter		Sudut Ketajaman Tikungan							
	$K_p$	$K_d$	$\leq 90^\circ$	$90^\circ$	$130^\circ$	$150^\circ$	$180^\circ$	$210^\circ$	$240^\circ$	$\geq 270^\circ$
1	Kecil (10)	-	x	√	√	√	√	√	x	x
2	Sedang (20)	-	x	√	√	√	√	√	x	x
3	Besar (30)	-	x	√	√	√	√	√	x	x

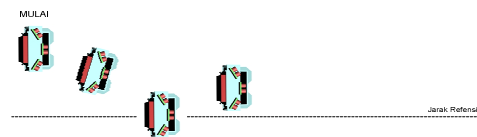
Tabel 4.5 Hasil pengujian *bipedal robot* dengan pengendali proposional – derivative

No	Variasi Parameter		Sudut Ketajaman Tikungan							
	$K_p$	$K_d$	$\leq 90^\circ$	$90^\circ$	$130^\circ$	$150^\circ$	$180^\circ$	$210^\circ$	$240^\circ$	$\geq 270^\circ$
1	Kecil (10)	Kecil (0,5)	x	√	√	√	√	√	x	x
2	Kecil (10)	Sedang (5)	x	√	√	√	√	√	x	x
3	Kecil (10)	Besar (10)	x	√	√	√	√	√	x	x
4	Sedang (20)	Kecil (0,5)	x	√	√	√	√	√	x	x
5	Sedang (20)	Sedang (5)	x	√	√	√	√	√	x	x
6	Sedang (20)	Besar (10)	x	√	√	√	√	√	x	x
7	Besar (30)	Kecil (0,5)	x	√	√	√	√	√	x	x
8	Besar (30)	Sedang (5)	x	√	√	√	√	√	x	x
9	Besar (30)	Besar (10)	x	√	√	√	√	√	x	x

Antara pengendali P saja dan PD tidak memberikan perbedaan hasil yang signifikan, akan tetapi mengingat fungsi dari setiap bagian tersebut yang berbeda, maka diterapkanlah pengendali PD. Dimana proposional berfungsi sebagai aksi robot mendekati *setting point* (mempercepat *rise time*) dan derivative berfungsi untuk koreksi terhadap tingkah robot.

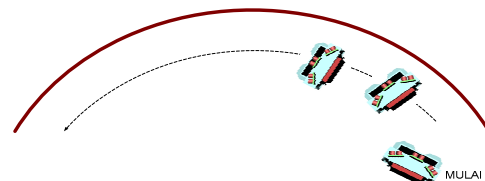
## 4.3 Pengujian Sistem Robot

### 4.3.1 Pengujian pada Dinding Lurus

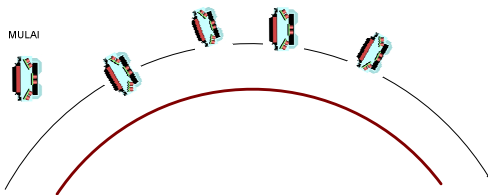


Gambar 4.4 Pengujian pada dinding lurus

### 4.3.2 Pengujian pada Dinding Melengkung ke dalam dan ke luar

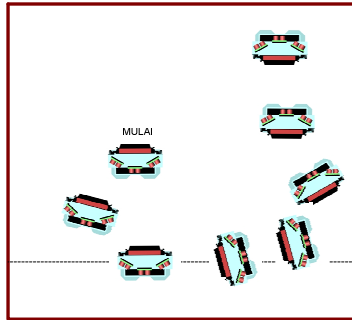


Gambar 4.5 Pengujian pada dinding melengkung ke dalam

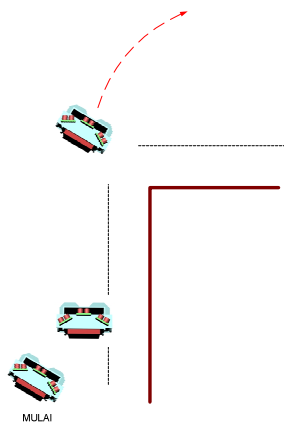


Gambar 4.6 Pengujian pada dinding melengkung ke luar

### 4.3.3 Pengujian pada Dinding Siku ke dalam dan ke luar

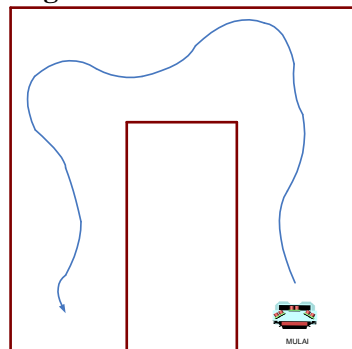


Gambar 4.7 Pengujian *bipedal robot* terhadap dinding bentuk siku ke arah dalam



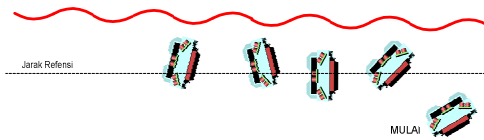
Gambar 4.8 Pengujian *bipedal robot* terhadap dinding bentuk siku ke arah luar

### 1.3.4 Pengujian pada Dinding Berbentuk Lorong



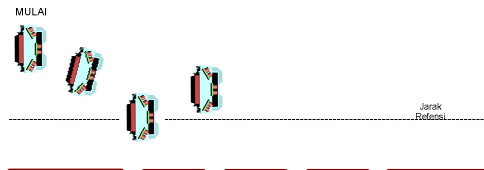
Gambar 4.9 Pengujian *bipedal robot* terhadap dinding berbentuk lorong

### 1.3.5 Pengujian pada Dinding Bergelombang



Gambar 4.10 Pengujian *bipedal robot* terhadap dinding yang bergelombang

### 1.3.6 Pengujian pada Dinding Putus-Putus



Gambar 4.11 Pengujian *bipedal robot* terhadap dinding putus-putus

Berdasarkan seluruh hasil pengujian yang telah dilakukan, robot akan selalu melakukan koreksi terhadap jarak referensinya agar jarak terhadap dinding sesuai dengan *setting point*. Faktor utama penyebab gagalnya *bipedal robot* ini dalam mengikuti dinding adalah lantai yang licin dan tidak rata. Untuk pengembangan *bipedal robot* selanjutnya masalah mekanik robot harus benar-benar diperhatikan terutama pada bagian alas kaki supaya *bipedal robot* dapat berjalan di semua kondisi lantai.

## V. PENUTUP

### 5.1 KESIMPULAN

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

1. *Bipedal robot* dapat mengikuti dinding dengan baik dengan *setting* nilai  $K_p = 10$ ,  $K_d = 0,5$  dan referensi 20 cm.
2. Pemilihan nilai  $K_p$  yang lebih besar dari 30 akan dapat membuat *bipedal robot* bergerak membelok ke kanan relatif lebih cepat pada saat menelusuri dinding akibatnya robot akan lebih sering menabrak dinding kanan.
3. Posisi dan arah sensor juga sangat berpengaruh terhadap hasil pembacaan jarak. Dari hasil percobaan diperoleh sudut yang baik pada posisi robot sejajar dengan dinding adalah  $20^\circ - 40^\circ$ . Dimana  $0^\circ$  adalah posisi sensor tegak lurus dengan dinding.
4. Langkah *bipedal robot* yang terlalu lebar akan menimbulkan kesulitan dalam pengendalian orientasi robot. Dari hasil

- percobaan didapat lebar langkah maksimal *bipedal robot* adalah 8 cm.
5. *Bipedal robot* mampu mengikuti dinding yang memiliki tikungan tajam (siku) hal ini disebabkan karena robot memiliki 2 buah sensor yaitu sensor samping dan sensor depan.
  6. Batas ketajaman tikungan dinding yang masih dapat dilalui *bipedal robot* adalah  $90^\circ - 210^\circ$ .

## 5.2 Saran

Untuk pengembangan sistem lebih lanjut, maka penulis memberikan saran-saran sebagai berikut:

1. Pengendali PD masih memberikan performa yang kurang memuaskan, sehingga untuk pengembangan lebih lanjut dapat digunakan sistem kontrol cerdas seperti Fuzzy, JST dan Algoritma Genetik.
2. *Bipedal robot* masih dapat dikembangkan dengan menambahkan sensor panas untuk mendeteksi adanya api.
3. Agar *bipedal robot* dapat berjalan lebih seimbang dapat ditambahkan sensor *Gyroscope* atau *Accelerometer*.
4. *Body robot* dapat diganti menggunakan aluminium supaya lebih kokoh dan dapat ditambahkan motor servo lagi untuk mendapatkan gerakan robot yang lebih halus.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ogata, Katsuhiko, *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1*, Diterjemahkan Oleh Ir. Edi Leksono, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1994.
- [2] Pitowarno, Endra, *Desain, Kontrol dan Kecerdasan Buatan*, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2006.
- [3] Budiharto, Widodo, *Membuat Robot Cerdas*, Penerbit Elex Media Komputindo, Jakarta, 2006.
- [4] Heryanto, M. Ary dan Wisnu Adi P., *Pemrograman Bahasa C untuk Mikrokontroler ATMEGA 8535*, Penerbit Andi, Yogyakarta 2008.
- [5] Setiawan, Iwan, *Kontrol PID untuk Proses Industri*, Elex Media Komputindo, Jakarta, 2008.
- [6] Cuevas, Erik V. dkk, *Bipedal Robot Description*, Institut of Informatik Berlin University Germany, 2005.
- [7] Nicholls, Elliot, *Bipedal Dynamic Walking in Robotics*, Department of Electrical and Electronic Engineering The University of Western Australia, 1998.

- [8] Vaidyanathan V. T. dan Sivaramakrishnan R., *Design, Fabrication and Analysis of Bipedal Walking Robot*, Mechatronics Department of Production Technology Madras Institut of Technology India, 2008.
- [9] Mendez, Felix dkk, *Inverse Stability Analysis of a Biped Robot*, Department of Mechanical Engineering Florida International University USA, 2008.
- [10] Rabbo, Saber Abd, *Desain, Implementation and Control of Walking Robot via PIC Microcontroller*, Mechanical Design and Prod. Department Shoubra Faculty of Engineering Benha University, 2008.
- [11] Gani, Ruslan, *Perancangan Sistem Menggunakan Sensor Gyroscope dan Accelerometer untuk Menentukan Sudut dan Jarak*, Laporan Tugas Akhir Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Februari, 2011.
- [12] -----, *ATmega 8535 Data Sheet*, <http://www.atmel.com>, Januari 2010.
- [13] -----, *PING)))™ Ultrasonic Distance Sensor Data Sheet*, <http://www.parallax.com>, Januari 2010.
- [14] -----, *GWS S30T 2BB Servo Motor Data Sheet*, <http://www.gwsus.com>, Januari 2010.
- [15] -----, *Code Vision AVR Data Sheet*, <http://www.hpinfotech.com>, Januari 2010.

## BIODATA MAHASISWA



### Mohroji (L2F005546)

Penulis lahir dan menyelesaikan pendidikan dari TK sampai SMA di Pemalang. Saat ini sedang melanjutkan studi pendidikan strata I di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Konsentrasi Kontrol.

Mengetahui dan mengesahkan,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Sumardi, ST, MT

Iwan Setiawan, ST, MT

NIP

NIP

196811111994121001

197309262000121001

Tanggal: \_\_\_\_\_

Tanggal: \_\_\_\_\_

