

Makalah Seminar Tugas Akhir

Robot Berkaki Empat Pendeteksi Cahaya dan Penghindar Rintangan

Dwi Indro Widodo^[1], Iwan Setiawan, S.T, M.T^[2], Budi Setiyono, S.T, M.T^[2]
 Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
 Jln. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia

Abstrak

Robotika merupakan bidang ilmu pengetahuan yang mengalami perkembangan dengan cepat, salah satunya adalah robot berkaki empat. Pembahasan mengenai robot berkaki meliputi banyak hal seperti fungsi dan kegunaannya, metode kontrol yang digunakan dan lain-lain. Permasalahan yang muncul pada robot berkaki empat ini adalah cara mendeteksi adanya cahaya dan cara menghindari sebuah rintangan di depan robot. Tujuan utama dari tugas akhir ini adalah menggunakan metode kendali yang baik agar robot bisa mendeteksi adanya cahaya dan dapat menghindari rintangan di depan robot tanpa menabrak rintangan yang menghalanginya.

Robot berkaki ini menggunakan sensor LDR yaitu untuk mendeteksi adanya cahaya dan sensor ultrasonik (PINGTM) yaitu untuk mendeteksi ada tidaknya rintangan sehingga robot berkaki mampu berjalan tanpa menabrak rintangan yang menghalanginya. Sedangkan untuk penggeraknya (kaki) digunakan motor servo. Pada tugas akhir ini, permasalahan pada robot berkaki diselesaikan dengan menerapkan metode kendali Proporsional Derivatif (PD).

Kata kunci : Robot berkaki, Kendali Proporsional Derivatif, Sensor LDR, Sensor jarak

I. PENDAHULUAN

Robot berkaki pendeteksi cahaya dan penghindar rintangan sangat penting kegunaannya, seperti robot berkaki yang digunakan untuk melakukan penyusupan pada daerah-daerah yang berbahaya, sebagai pembersih ruangan, penghantar barang di pabrik-pabrik dan rumah sakit, eksplorasi wilayah yang berbahaya atau yang belum terjamah manusia, bahkan robot berkaki juga berperan dalam hal edukatif dan hiburan (*entertainmen*). Dan hal yang harus diperhatikan dalam pembuatan robot berkaki ini adalah pembuatan mekanik robot dan metode pengontrolan yang digunakan.

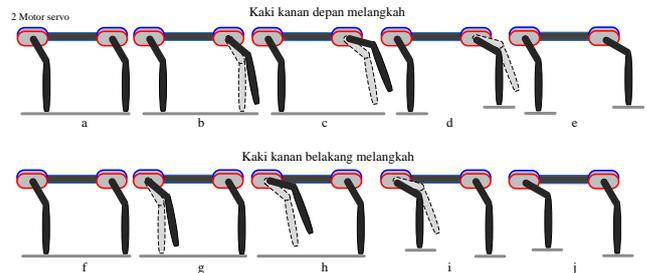
Pada Tugas Akhir ini, selain mempunyai kemampuan menghindari rintangan, robot berkaki juga mempunyai kemampuan untuk mendeteksi adanya cahaya. Pengendali PD (*Proportional – Derivative*) digunakan untuk mengontrol pergerakan robot dan mengontrol kecepatan gerak robot dalam mencapai rintangan. Pada dasarnya pengendali proporsional sudah mencukupi untuk mengendalikan pergerakan robot berkaki dan kecepatan gerak robot dalam mencapai rintangan. Penambahan pengendali *derivative* ini disebabkan karena sifat dari pengendali *derivative* yang dapat membantu memperbaiki *error* dan memprediksi *error* yang akan terjadi.

Tujuan dalam pengerjaan Tugas Akhir yang berjudul “Robot Berkaki Empat Pendeteksi Cahaya dan Penghindar Rintangan” ini adalah mengaplikasikan perancangan sistem kontrol umpan balik berbasis proporsional derivatif sehingga robot yang dirancang dapat mendeteksi

cahaya dan menghindari adanya rintangan di depan robot.

II. DASAR TEORI

2.1 Kinematika Gerak Robot Kaki Empat



Gambar 2.1 Robot kaki empat tampak samping

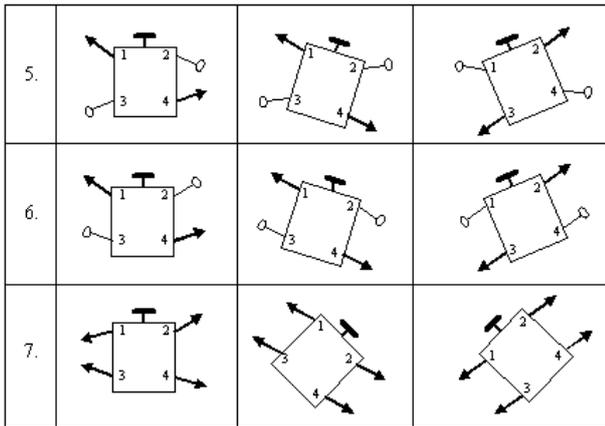
Berikut ini adalah tabel dari pergerakan robot berkaki empat:

Tabel 2.1 Gerak kaki Robot Berkaki Empat

NO	MAJU	ROTASIBELOK KANAN	ROTASIBELOK KIRI
1.			
2.			
3.			
4.			

¹ Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro UNDIP

² Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro UNDIP



Keterangan :

- : Kaki menempel ke lantai
- 0 : Kaki naik

2.2 Pengendali PID

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

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \dots (2.1)$$

atau

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \dots (2.2)$$

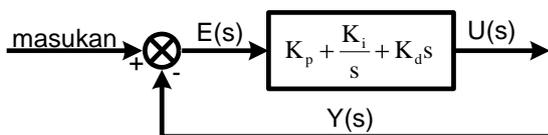
dengan

- $u(t)$ = sinyal keluaran pengendali PID
- K_p = konstanta proporsional
- T_i = waktu integral
- T_d = waktu turunan
- K_i = konstanta integral
- K_d = konstanta turunan
- $e(t)$ = sinyal kesalahan ($e(t) = \text{referensi} - \text{output}$)

Jadi, fungsi alih pengendali PID (dalam domain s) dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \dots (2.3)$$

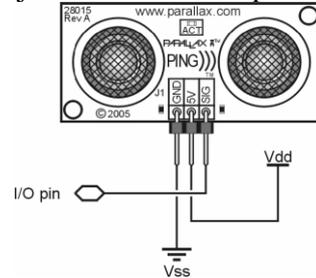
Diagram blok pengendali PID dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Diagram blok pengendali PID.

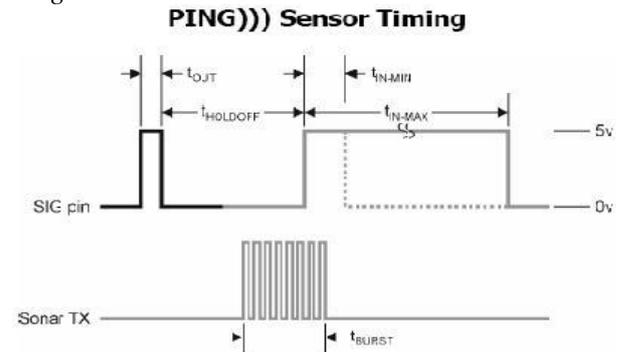
2.3 Sensor Jarak

Sensor yang digunakan pada Tugas Akhir ini merupakan sebuah sensor ultrasonik buatan Parallax (Sensor PING Ultrasonik *Range Finder*). Bentuk visual sensor yang digunakan dalam tugas akhir ini ditunjukkan pada Gambar 2.3. Sensor PING ini secara khusus didesain untuk dapat mengukur jarak sebuah benda padat.



Gambar 2.3 Sensor PING Ultrasonik *Range Finder*.

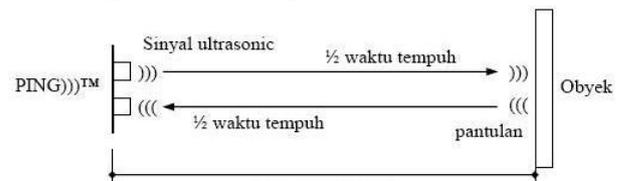
Sensor PING mendeteksi jarak objek dengan cara memancarkan gelombang ultrasonik (40kHz) selama waktu pemancaran kemudian mendeteksi pantulannya. Sensor PING memancarkan gelombang ultrasonik sesuai dengan pulsa *trigger* dari mikrokontroler sebagai pengendali. Gambar 2.4 menunjukkan *timing diagram* dari sensor PING.



Gambar 2.4 *Timing Diagram* Sensor PING Ultrasonik *Range Finder*.

Waktu tempuh gelombang ultrasonik dapat ditunjukkan pada Gambar 2.5. Maka jarak yang diukur dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Jarak} = \left[\frac{t_{IN} \times 344 \text{ m/s}}{2} \right] \text{ meter} \dots (2.4)$$

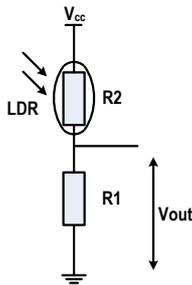


Gambar 2.5 Ilustrasi cara kerja sensor PING.

2.4 LDR (*Light Dependent Resistor*)

LDR mempunyai karakteristik dimana nilai resistansinya yang tinggi ketika tidak terkena cahaya dan nilai resistansinya akan

turun ketika LDR terkena cahaya. Besarnya penurunan nilai resistansi LDR juga dipengaruhi oleh intensitas cahaya yang masuk ke LDR, semakin tinggi intensitas cahayanya maka semakin rendah pula nilai resistansinya.



Gambar 2.6 Rangkaian Sensor Cahaya

Besar tegangan keluaran (V_O) adalah :

$$V_O = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{CC} \quad (2.5)$$

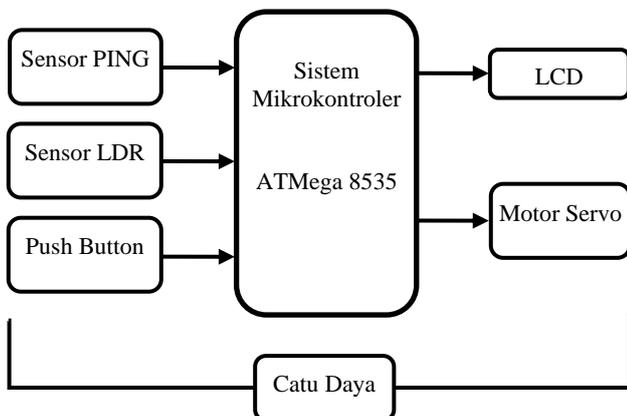
R_1 = Tahanan Seri

R_2 = Tahanan LDR

III. PERANCANGAN

3.1 Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras pada *plant* robot berkaki ini meliputi mikrokontroler AVR ATmega 8535, sensor ultrasonik (PING™), sensor LDR, *Push button*, LCD dan rangkaian catu daya. Secara umum perancangan yang akan dibuat dapat dijelaskan pada gambar diagram blok, Gambar 3.1 di bawah ini.



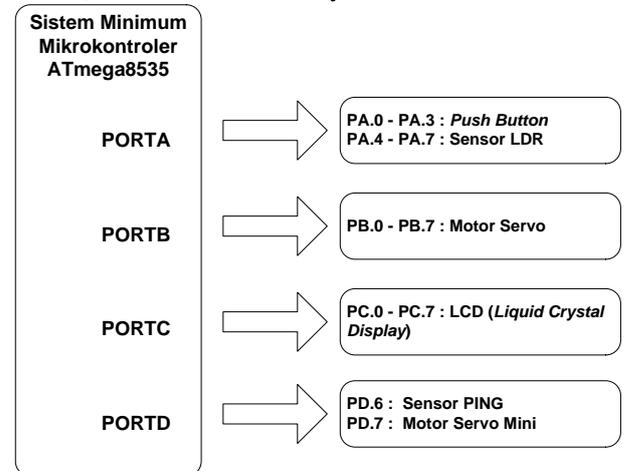
Gambar 3.1 Blok diagram sistem

3.1.1 Sistem Minimum AVR ATmega8535

Mikrokontroler AVR ATmega8535 yang digunakan sudah mendukung kemampuan *In-System Programming*, dimana pengisian program ke dalam sistem dengan mikrokontroler yang sedang digunakan bisa dilakukan.

Mikrokontroler ATmega8535 berfungsi sebagai pengendali utama. Algoritma kontrol PD ditanamkan ke dalam mikrokontroler melalui *listing program* yang sudah di *compile*.

Mikrokontroler ini dipilih karena fitur-fiturnya yang lebih lengkap seperti ADC internal dengan fidelitas 10 bit, timer dengan kemampuan menghasilkan gelombang PWM, pemrograman ISP, EEPROM internal, *flash* memori 8 Kb (4 Kb words) dan fitur-fitur lainnya.



Gambar 3.2 Alokasi port pada sistem minimum mikrokontroler ATmega8535

Fitur-fitur dari mikrokontroler yang digunakan dalam pembuatan Tugas Akhir ini meliputi timer 1 yang difungsikan sebagai PWM mode *phase correct* untuk membangkitkan sinyal PWM sebagai sinyal kontrol, sedangkan PORTA dan PORTC digunakan sebagai digital I/O biasa.

3.1.2 Sensor Ultrasonik

Berdasarkan *datasheet*, modul PING™ ini dapat digunakan untuk mengukur jarak benda sejauh 3 cm sampai 300 cm. Sistem ini dapat diterapkan pada robot sebagai pengindera adanya halangan. Pada sistem robot ini rentang jarak yang digunakan adalah 10 cm sampai 60 cm.

Jarak yang diukur dapat dirumuskan sebagai berikut :

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

Untuk perhitungan waktu yang diperlukan gelombang ultrasonik untuk menempuh jarak 1 cm adalah sebagai berikut :

$$1 \text{ cm} = \frac{t_{in} \times 34400 \text{ cm/s}}{2} \text{ cm}$$

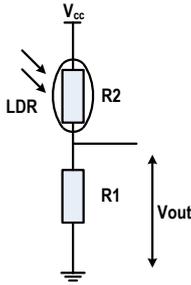
$$t_{in} = \frac{2 \times 1 \text{ cm}}{34400 \text{ cm/s}}$$

$$t_{in} = 58.14 \text{ us}$$

Dengan demikian, untuk mengukur jarak tempuh gelombang ultrasonik per centimeter, diperlukan timer dengan waktu *overflow* sebesar 58.0 μ s. Perhitungan jarak akan dihentikan apabila terjadi perubahan logika *low* pada PIND.6

sebagai tanda bahwa terdeteksi pantulan gelombang ultrasonik.

3.1.3 Sensor LDR



Gambar 3.3 Rangkaian Sensor Cahaya

Pada gambar 3.3, rangkaian sensor cahaya dikonfigurasi sebagai rangkaian pembagi tegangan, dengan rangkaian diatas maka ketika ada cahaya, rangkaian akan menghasilkan tegangan keluaran dengan range antara 0 – 5 V. Perhitungan tegangan outputnya adalah :

- Kondisi gelap, maka tahanan LDR $\approx \infty$, sehingga:

$$V_{Out} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{CC}$$

$$V_{Out} = \frac{100K}{100K + \infty} \times 5V$$

$$V_{Out} = 0 \text{ Volt}$$

- Kondisi terang, maka tahanan LDR $\approx 10K$ ohm, sehingga:

$$V_{Out} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{CC}$$

$$V_{Out} = \frac{100K}{100K + 10K} \times 5V$$

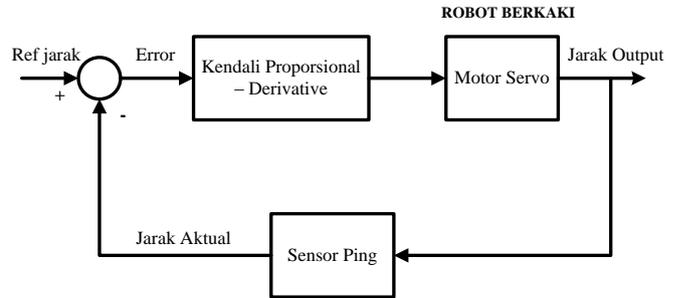
$$V_{Out} = 4,5 \text{ Volt}$$

Tegangan keluaran yang dihasilkan rangkaian sensor cahaya ini mempunyai range antara 0 – 5 volt, keluaran rangkaian ini tidak memerlukan pengkondisi sinyal sehingga dapat langsung sebagai masukan analog dari rangkaian ADC

3.2 Perancangan Perangkat Lunak (Software)

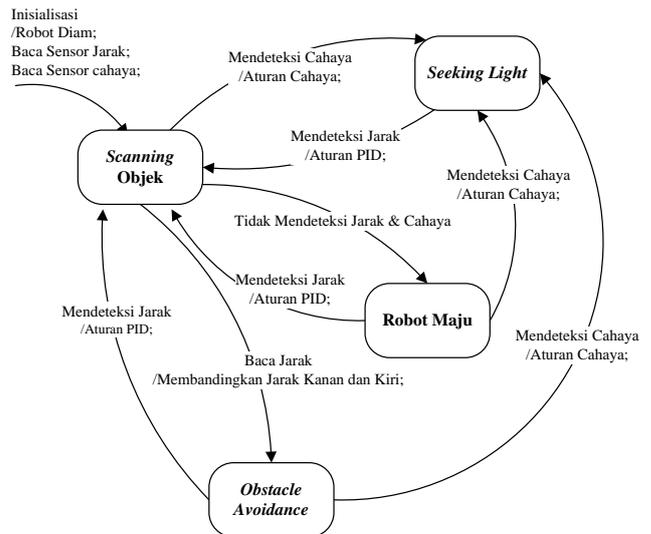
Robot yang dibuat pada Tugas Akhir ini adalah robot yang mempunyai tugas untuk mendeteksi adanya cahaya dan juga berkemampuan untuk menghindari rintangan di depan robot. Robot ini dikendalikan dengan menggunakan pengendali *Proportional – Derivative* (PD) dan masukan pengendali berupa

error jarak dan perubahan *error* jarak. Keluaran dari pengendali *Proportional – Derivative* (PD) ini berupa sinyal kontrol yang kemudian mengendalikan *plant* motor servo, sehingga kecepatan kaki pada robot ini dikendalikan oleh sinyal kontrol dari masing-masing pengendali *Proportional – Derivative* (PD). Blok diagram pengendalian secara umum dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.4 Blok Diagram Sistem

Gambar 3.5 berikut adalah gambar diagram keadaan pengendalian robot berkaki pendeteksi cahaya dan penghindar rintangan.



Gambar 3.5 Diagram Keadaan Sistem Robot Berkaki

IV. PENGUJIAN DAN ANALISA

4.1 Pengujian Perangkat Keras

4.1.1 Pengujian Sensor PING

Pengujian terhadap sensor PING dilakukan dengan mengukur jarak suatu benda terukur yang diletakkan di hadapan sensor, pembacaan sensor dibatasi pada jarak 10 cm – 90 cm. Data hasil pengukuran yang dilakukan adalah sebagai berikut.

Tabel 4.1 Hasil pengukuran jarak dengan PING™.

No.	Jarak Terukur (cm)	Jarak Terdeteksi PING™ (cm)
1	10	9,5
2	20	20,5
3	30	30,5
4	40	41
5	50	51
6	60	61,5
7	70	72
8	80	82
9	90	91,5

Dari Tabel 4.1, terlihat bahwa sensor PING™ tidak sesuai terhadap jarak sesungguhnya. Hal ini disebabkan karena pengukuran atau adanya pembulatan dalam pemrograman.

4.1.2 Pengujian Sensor LDR

Pengujian rangkaian LDR ini berguna untuk mengetahui karakteristik LDR yang digunakan serta membandingkan tegangan keluaran antara keempat rangkaian sensor LDR yaitu LDR depan, LDR Kanan, LDR kiri dan LDR belakang. Pengujian dilakukan dengan pencahayaan dari senter, kemudian diukur tegangan keluaran dari rangkaian LDR yang dikonfigurasi sebagai pembagi tegangan.

Tabel 4.4 Tegangan keluaran LDR

Jarak Senter (cm)	Tegangan Keluaran			
	Rangkaian LDR Depan (Volt)	Rangkaian LDR Kanan (Volt)	Rangkaian LDR Kiri (Volt)	Rangkaian LDR Belakang (Volt)
10	3,43	3,68	2,46	3,44
20	3,31	3,66	2,25	3,40
30	3,27	3,60	1,96	3,35
40	3,19	3,55	1,63	3,31
50	2,98	3,52	1,49	3,24
60	2,86	3,45	1,38	3,15
70	2,74	3,40	1,19	3,12
80	2,63	3,37	1,06	3,04
90	2,58	3,35	0,95	2,99
100	2,49	3,20	0,90	2,88

Dari tabel 4.4 dapat diamati bahwa semakin jauh jarak senter, maka tegangan yang dihasilkan rangkaian LDR semakin kecil.

4.2 Pengujian Perangkat Lunak

4.2.1 Pengujian Nilai Kp pada Robot Berkaki Empat

Secara garis besar nilai Kp yang akan di-inputkan dibatasi antara 0 - 5. Adapun hasil pengamatan visual robot berkaki dengan pengendali proposional adalah sebagai berikut:

Tabel 4.2 Hasil Pengujian robot berkaki dengan pengendali proposional (Kp)

No	Jarak Referensi (cm)	Kp	Waktu Robot Mencapai Rintangan (detik)
1	20	1	24
2	20	2	16
3	20	3	11
4	20	4	10
5	20	5	9

Pengujian dilakukan dengan memasukkan nilai Kp saja, kemudian nilai jarak referensi yang digunakan adalah 20 cm. Penggunaan nilai jarak referensi yang berbeda tentunya akan memberikan hasil yang berbeda pula.

Dari hasil pengujian diperoleh informasi bahwa pemilihan nilai Kp yang besar akan dapat membuat robot berkaki bergerak lebih cepat dalam menuju halangan

4.2.2 Pengujian Nilai Kp dan Kd pada Robot Berkaki Empat

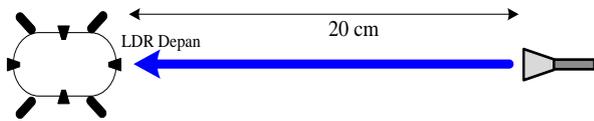
Nilai Kp dan Kd yang akan di-inputkan dibatasi antara 0 - 5. Adapun hasil pengamatan visual robot berkaki dengan pengendali proposional – derivative adalah sebagai berikut: Tabel 4.3 Hasil Pengujian robot berkaki dengan pengendali proposional – derivative

No	Jarak Referensi (cm)	Variasi Parameter		Waktu Robot Mencapai Rintangan (detik)
		Kp	Kd	
1	20	1	1	24
2	20	1	2	22
3	20	1	3	21
4	20	2	1	16
5	20	2	2	14
6	20	2	3	14
7	20	3	1	18
8	20	3	2	17
9	20	3	3	15

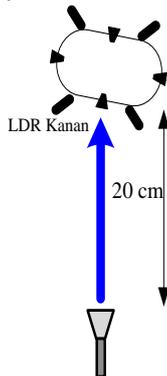
Antara pengendali P dan pengendali PD memberikan perbedaan hasil yang signifikan. Maka diterapkanlah pengendali PD. Dimana proposional berfungsi sebagai aksi robot mendekati jarak referensi (mempercepat *rise time*), dan derivative berfungsi untuk koreksi terhadap tingkah robot

4.3 Pengujian Pergerakan Robot Dalam Mendeteksi Cahaya dan Menghindari Rintangan

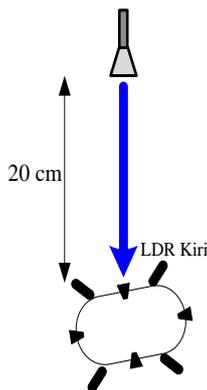
4.3.1 Pergerakan Robot dalam Mendeteksi Cahaya



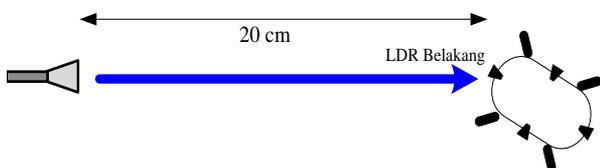
Gambar 4.1 Sensor cahaya depan mendeteksi adanya cahaya dan robot bergerak maju



Gambar 4.2 Sensor cahaya kanan mendeteksi adanya cahaya dan robot belok/berotasi ke kanan



Gambar 4.3 Sensor cahaya kiri mendeteksi adanya cahaya dan robot belok/berotasi ke kiri



Gambar 4.4 Sensor cahaya belakang mendeteksi adanya cahaya dan robot belok/berotasi ke kanan

Pada gambar di atas, terlihat bahwa robot bergerak sesuai dengan datangnya cahaya. Dengan jarak dari sumber cahaya yaitu sebesar 20 cm. Apabila sumber cahaya berasal dari depan robot maka robot akan bergerak maju. Apabila sumber cahaya berasal dari kanan robot maka robot akan berotasi ke kanan. Apabila sumber cahaya berasal dari kiri robot maka robot akan berotasi ke kiri. Apabila sumber cahaya berasal

dari belakang robot maka robot akan berotasi ke kanan dengan sudut ketajaman yang lebih besar.

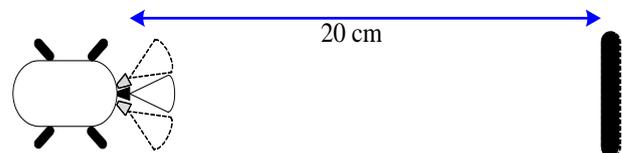
4.3.2 Pergerakan Robot dalam Menghindari Rintangan



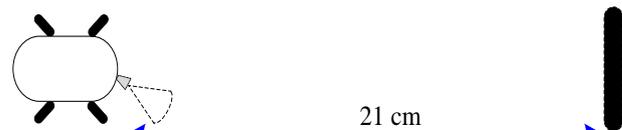
Gambar 4.5 Robot Bergerak maju sampai menuju jarak referensi 20 cm



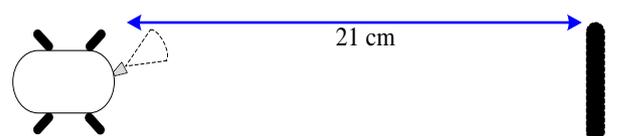
Gambar 4.6 Pengujian robot dengan jarak referensi 20 cm, robot berhenti



Gambar 4.7 Robot melakukan *scanning* setelah mencapai jarak referensi 20 cm



Gambar 4.8 Robot melakukan rotasi ke kanan apabila jarak halangan dengan robot disebelah kanan lebih besar dibandingkan jarak halangan kiri robot.



Gambar 4.9 Robot melakukan rotasi ke kiri apabila jarak halangan dengan robot disebelah kiri lebih besar dibandingkan jarak halangan kanan robot.

Gambar di atas menunjukkan robot bergerak untuk menghindari adanya halangan. Setelah mencapai jarak referensi robot berhenti dan melakukan *scanning* objek. Kemudian sensor jarak menghitung jarak terjauh dari halangan untuk melakukan pergerakan robot selanjutnya.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perancangan, pengujian, dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Dari hasil pengujian terhadap kendali kecepatan robot dalam mencapai rintangan/halangan, didapatkan bahwa untuk sistem tanpa kontroler menghasilkan respon sistem yang lambat.
2. Pengujian dengan kontroler proporsional (Kp) mempercepat keluaran respon menuju nilai referensi. Semakin besar nilai Kp, maka semakin cepat *rise time* nya sehingga gerak laju dari robot lebih cepat.
3. Kontroler differensial (Kd) berpengaruh pada sensitivitas sistem terhadap perubahan jarak.
4. Ketelitian dari sensor jarak PING sangat berpengaruh terhadap pergerakan robot dalam menghindari rintangan.
5. Arah gerak robot sangat berpengaruh terhadap pendeteksian bentuk rintangan yang berada di depan robot.

5.2 Saran

Sebagai masukan guna pengembangan lebih lanjut dari Tugas Akhir ini, maka penulis memberikan beberapa 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. Penambahan sensor ultrasonik akan menjadikan robot lebih sensitif dalam membaca adanya halangan.
3. Penambahan sensor LDR akan menjadikan robot lebih sensitif dalam mendeteksi adanya sumber cahaya.
4. Konstruksi mekanik robot berkaki bisa lebih disempurnakan sehingga robot berkaki bisa berjalan dalam kondisi jalan berkerikil dan jalan tidak rata.
5. Robot berkaki ini bisa ditambahkan kamera, sehingga robot bisa dipantau dari jarak jauh.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bejo, Agus, *C&AVR Rahasia Kemudahan Bahasa C dalam Mikrokontroler ATmega8535*. Penerbit Graha Ilmu, Yogyakarta 2008.
- [2] Budiharto, Widodo, *Membuat Robot Cerdas*, Penerbit Elex Media Komputindo, Jakarta, 2006.

- [3] Lee, Honglak. dkk, *Quadruped Robot Obstacle Negotiation via Reinforcement Learning*, Stanford University.
- [4] Mohroji, *Perancangan Bipedal Robot Penjejak Dinding Ruang Menggunakan Kendali PD*, Laporan Tugas Akhir Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Mei, 2011.
- [5] Ogata, Katsuhiko, *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1*, Diterjemahkan Oleh Ir. Edi Leksono, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1994.
- [6] 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.
- [7] Setiawan, Iwan, *Kontrol PID untuk Proses Industri*, Elex Media Komputindo, Jakarta, 2008. <http://www.parallax.com>.
- [8] Talebi, S. dkk, *Towards Dynamic Step Climbing For A Quadruped Robot with Compliant Legs*, McGill University, Montreal, CANADA.
- [9] -----, *ATmega 8535 Data Sheet*, <http://www.atmel.com>, Januari 2010.
- [10] -----, *PING)))TM Ultrasonic Distance Sensor Data Sheet*, <http://www.parallax.com>, Maret 2011.
- [11] -----, *Code Vision AVR Data Sheet*, <http://www.hpinfotech.com>, Maret 2011.
- [12] -----, *LDR Data Sheet*, <http://www.sunrom.com>, Maret 2011.

BIODATA MAHASISWA



Dwi Indro Widodo (L2F 309 040)

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

Iwan Setiawan, ST, MT
NIP.197309262000121001
Tanggal: _____

Budi Setiyono, ST, MT
NIP.197005212000121001
Tanggal: _____