

ROBOT MOBILE PENJEJAK ARAH CAHAYA DENGAN KENDALI LOGIKA FUZZY

Fajar Wisnu Aribowo¹, Adian Fatchur R², Iwan Setiawan²
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Abstrak - Pengaturan kecepatan dua motor DC sebagai penggerak diferensial dapat diaplikasikan sebagai steering sekaligus penggerak robot mobil. Pengaturan kecepatan masing-masing motor sangat menentukan tingkat kehalusan robot mobil dalam bergerak lurus maupun berbelok dalam mencari sasaran.

Untuk mengatasi masalah tersebut dibutuhkan suatu controller yang digunakan untuk mengatur besarnya kecepatan masing-masing motor. Kontroler yang digunakan adalah kontrol logika Fuzzy. Logika Fuzzy adalah salah satu sistem kontrol yang mudah dan fleksibel dalam menangani sistem-sistem yang sulit tanpa memerlukan model matematis.

Dalam tugas akhir ini, pengendali logika Fuzzy digunakan untuk mengatur kecepatan dua motor DC pada robot mobil dalam mencari sumber cahaya. Pengendali logika Fuzzy ini berbasis pada mikrokontroler 8 bit M68HC11 buatan Motorola. Penerapan kontrol logika Fuzzy pada pengendalian robot mobil dapat berlangsung halus dengan kecepatan konstan dalam berbelok maupun bergerak lurus mencari sumber cahaya.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beberapa tahun terakhir ini perkembangan teknologi dibidang robotika telah menjadi perhatian yang cukup serius. Hal ini diutamakan pada peran robot yang dapat menggantikan pekerjaan manusia terutama dalam lingkungan yang berbahaya, seperti daerah radiasi nuklir, penjelajahan ruang angkasa, penjinak bom dan lain-lain.

Robot mobil adalah alat yang dapat bergerak secara otomatis untuk melakukan pekerjaan tertentu, diantaranya bergerak menuju lokasi atau daerah yang telah ditetapkan atau menuju sasaran tertentu. Kondisi lingkungan yang tidak bisa diprediksi menimbulkan kompleksnya pemrograman dengan menggunakan pengendali konvensional. Logika Fuzzy adalah salah satu pengendali modern yang mampu bekerja baik pada sistem-sistem non-linier dengan menawarkan kemudahan dalam perancangan program karena tidak memerlukan model matematis dari proses.

Bentuk dari robot mobil yang berdimensi relatif kecil dan simpel memungkinkan penggunaan teknologi mikrokontroler untuk otomatisasi sistem dan memudahkan dalam pengendalian. Dalam tugas akhir ini digunakan mikrokontroler Motorola 68HC11 sebagai kontroler, dan logika Fuzzy sebagai metode pengendali. Logika Fuzzy digunakan untuk menentukan kecepatan dua motor DC sebagai penggerak robot mobil dengan mengatur besarnya duty cycle sinyal PWM pada masing-masing motor, sedangkan sasaran/target berupa sumber cahaya.

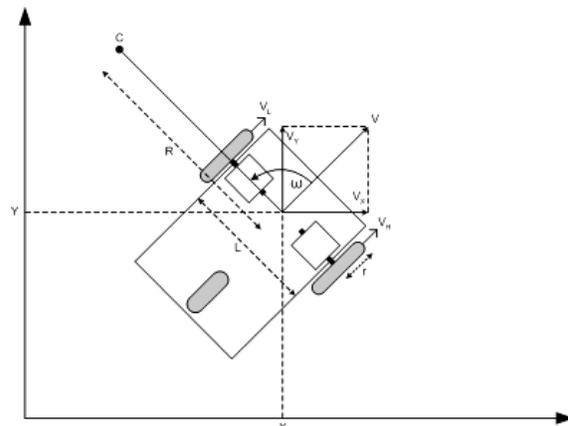
1.2 Tujuan

Tujuan penulisan Tugas akhir ini adalah membuat suatu perangkat keras beserta perangkat lunaknya untuk pengendalian robot mobil dalam menjejak/mencari sasaran berupa sumber cahaya, berbasis pada mikrokontroler M68HC11.

II. DASAR TEORI

2.1 Kinematika Mobil Robot Penggerak Diferensial

Sistem penggerak diferensial merupakan pengendalian gerak robot mobil yang berdasarkan pada penyesuaian kecepatan masing-masing roda untuk mengemudikan mobil robot dari satu lokasi ke lokasi lain. Keunggulan metode ini adalah mobil robot memiliki keluwesan dalam melakukan manuver dan tidak memerlukan ruang/sudut putar yang luas dalam berotasi. Secara arsitektur sistem penggerak diferensial lebih sederhana bila dibandingkan dengan sistem kemudi (stir).



Gambar 1 Posisi dan orientasi mobil robot dalam koordinat Cartesian

Dengan jari-jari roda r , serta kecepatan rotasi masing-masing roda adalah ω_R dan ω_L , maka kecepatan linier roda kanan dan kiri adalah

$$v_R(t) = r\omega_R(t)$$

$$v_L(t) = r\omega_L(t)$$

Sedangkan kecepatan linier robot $v(t)$ dan kecepatan rotasi robot $\omega(t)$ dapat diketahui

¹ Mahasiswa Teknik Elektro UNDIP

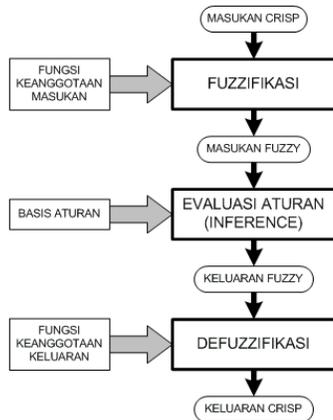
² Dosen Teknik Elektro UNDIP

berdasarkan kedua kecepatan linear roda. Secara matrik dapat disajikan sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} v(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/2 & 1/2 \\ 1/L & -1/L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_R(t) \\ v_L(t) \end{bmatrix}$$

2.6 Pengendali Logika Fuzzy

Pengendali logika fuzzy merupakan suatu sistem kendali yang berdasarkan pada basis pengetahuan manusia didalam melakukan kendali terhadap suatu proses. Blok diagram pengendali logika fuzzy adalah sebagai berikut:



Gambar 2 Blok diagram pengendali fuzzy

2.6.1 Fuzzifikasi

Fuzzifikasi adalah proses pemetaan suatu peubah masukan (*crisp*) kedalam himpunan-himpunan fuzzy yang disajikan dalam bentuk fungsi keanggotaan. Tujuan fuzzifikasi adalah untuk mendapatkan derajat keanggotaan dari hasil pemetaan input *crisp* kedalam fungsi keanggotaan yang bersesuaian.

2.6.2 Basis aturan

Basis aturan berisi aturan-aturan yang ditetapkan untuk menghubungkan antara peubah-peubah fuzzy masukan dan peubah fuzzy keluaran. Aturan-aturan ini berbentuk **jika ... maka ... (IF ... THEN)**.

2.6.3 Evaluasi aturan

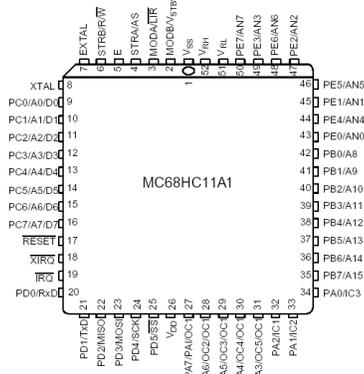
Berdasarkan aturan-aturan yang ada, peubah-peubah masukan fuzzy diolah lebih lanjut untuk mendapatkan suatu penyelesaian. Dengan demikian dapat diambil suatu keputusan berupa suatu peubah fuzzy keluaran, yaitu himpunan-himpunan keluaran fuzzy dengan fungsi keanggotaan yang ditetapkan berdasarkan metode yang digunakan.

2.6.4 Defuzzifikasi

Defuzzifikasi dapat didefinisikan sebagai proses perubahan besaran fuzzy yang disajikan dalam bentuk himpunan-himpunan fuzzy keluaran dengan fungsi keanggotaannya untuk mendapatkan kembali bentuk tegasnya (*crisp*).

2.6 Mikrokontroler M68HC11

Sebagai pusat pengendali logika fuzzy digunakan mikrokontroler M68HC11A1 dengan susunan pena diperlihatkan pada Gambar 3.



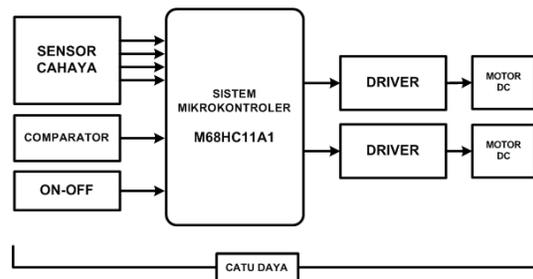
Gambar 3 Susunan pin M68HC11

Konfigurasi mikrokontroler M68HC11 antara lain: RAM 256 byte, EEPROM 512 byte, ADC (8 bit), 38 keluaran *input output*, *serial port*, osilator internal, *real time interrupt*, *pulse accumulator*, 16 bit *free-running counter* dengan 3 *input capture* dan 5 *output compare*.

III. PERANCANGAN

3.1 Perancangan Hardware

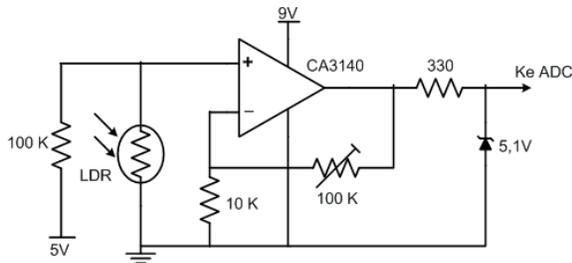
Secara umum perancangan sistem yang akan dibuat dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Blok diagram sistem

3.1.1 Sensor Cahaya

Sebagai sensor cahaya adalah LDR (*Light Dependent Resistor*) yang dikondisikan memiliki tanggapan linier pada jangkauan ± 100 ohm hingga ± 25 Kohm, yaitu dengan menempatkan resistor 100 Kohm seri dengan LDR yang bertindak sebagai pembagi tegangan. Keluaran dari pembagi tegangan ini kemudian dikondisikan dengan penguat *non-inverting* untuk mendapatkan level tegangan ADC.



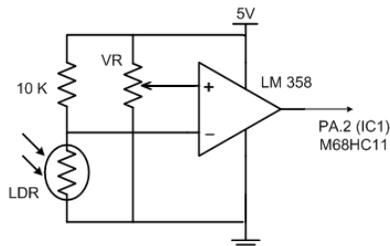
Gambar 5 Rangkaian sensor cahaya

3.1.2 Analog to Digital Converter (ADC)

ADC yang digunakan dalam perancangan ini adalah ADC 8 bit yang telah terintegrasi di dalam mikrokontroler M68HC11. ADC internal ini dirancang bekerja pada mode 4 konversi dan *stop*, yaitu ADC akan mengkonversi 4 input analog dan berhenti. Untuk 1 kali proses konversi ADC internal memerlukan 128 siklus *E clock* (*clock* sistem), artinya bila digunakan *clock* sistem dengan frekuensi 2 MHz, maka proses konversinya akan berlangsung sekitar 64 μ s. Sedangkan untuk tegangan referensinya, $V_{rh} = 5$ volt dan $V_{rl} = 0$ volt (*ground*), sehingga dengan resolusi 8 bit (256 level) akan terjadi perubahan 1 bit pada keluaran ADC untuk setiap perubahan input analog sebesar 19,531 mV.

3.1.3 Pemanding

Dalam perancangan pemanding akan mendeteksi tingkat kedekatan robot mobil dengan sumber cahaya.

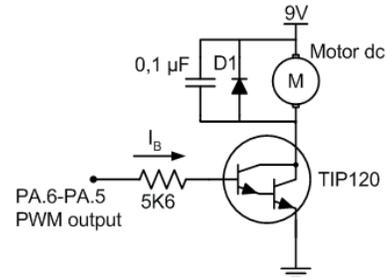


Gambar 6 Rangkaian pemanding

Pada rangkaian pemanding keluaran pembagi tegangan akan dibandingkan dengan tegangan referensi (V^+) untuk menentukan kondisi *high* atau *low* pada keluarannya. Pada kondisi robot mobil jauh dengan sumber cahaya maka resistansi LDR sangat besar sehingga tegangan masukan (V^-) lebih positif daripada tegangan referensi, hal ini mengakibatkan keluaran dari pemanding mendekati atau sama dengan 0 volt. Untuk kondisi sebaliknya yaitu saat robot mobil dekat dengan sumber cahaya maka resistansi LDR sangat kecil sehingga tegangan masukan (V^-) lebih negatif daripada tegangan referensi, hal ini mengakibatkan keluaran dari pemanding mendekati atau sama dengan +5 volt.

3.1.5 Driver

Rangkaian driver untuk menggerakkan motor dc diperlihatkan pada Gambar 12. Masukan dari rangkaian driver ini adalah sinyal PWM yang dibangkitkan pada port A pin PA.6 dan pin PA.5 mikrokontroler M68HC11A1. Sinyal PWM akan mengatur tegangan masukan ke motor dengan mengatur lebar pulsanya.

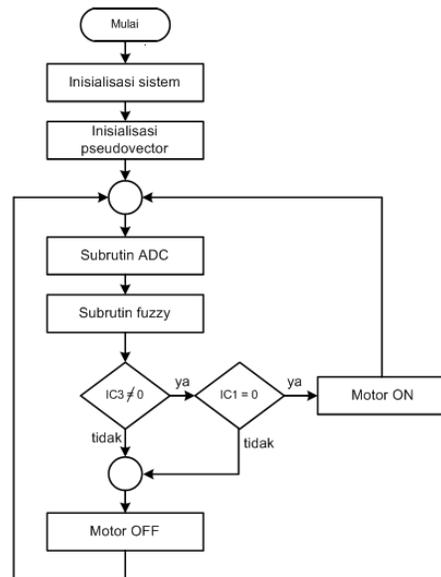


Gambar 7 Rangkaian driver

3.2 Perancangan Software

3.2.1 Program Utama

Diagram alir program utama diperlihatkan pada Gambar 8.

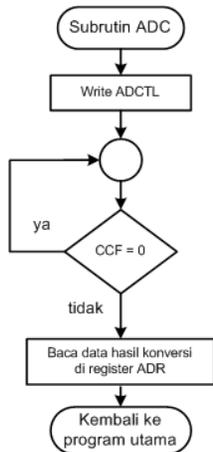


Gambar 8 Diagram alir program utama

Program utama meliputi inisialisasi sistem, pengambilan data oleh ADC, dan pengolahan data dengan menggunakan kendali fuzzy. Setelah diperoleh keluaran kendali fuzzy, program menunggu adanya interupsi IC1 (*start/stop*) dan IC3 (*pemanding*) untuk menghasilkan sinyal PWM sebagai kendali pada kedua motor dc.

3.2.2 Pemrograman ADC

Keluaran analog dari rangkaian sensor cahaya masuk ke port E mikrokontroler M68HC11 yang berfungsi sebagai ADC. Diagram alir pemrograman ADC dapat dilihat pada Gambar 9.



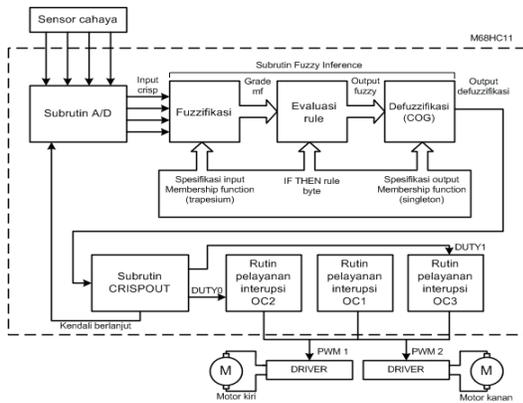
Gambar 9 Diagram alir pemrograman ADC

Pada pemrograman ADC digunakan 4 input dengan mode 4 *conversion* dan *stop*. Setelah seluruh proses konversi selesai maka bit CCF akan set dan register-register ADR telah berisi data digital hasil proses konversi. Penulisan pada register ADCTL akan mereset kondisi CCF sebelumnya yang menandakan proses konversi baru.

3.2.3 Pemrograman Kendali Logika Fuzzy

Pengendali logika fuzzy akan mengevaluasi setiap input crisp dari ADC M68HC11 kedalam 3 tahapan, yaitu fuzzifikasi, evaluasi rule dan defuzzifikasi (perhitungan COG).

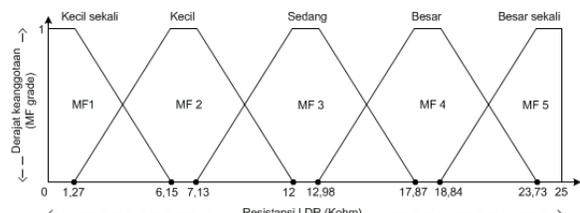
Gambar 10 adalah blok diagram pemrograman kendali logika fuzzy yang dilakukan mikrokontroler M68HC11 dari masukan ADC hingga diperoleh keluaran sinyal PWM.



Gambar 10 Blok diagram pemrograman fuzzy

3.2.3.1 Fuzzifikasi

Dalam pemrograman fuzzifikasi ini digunakan parameter fungsi keanggotaan yang sama untuk ke 4 himpunan fuzzy masukan (4 input). Gambar 11 memperlihatkan fungsi keanggotaan untuk semua himpunan fuzzy masukan.



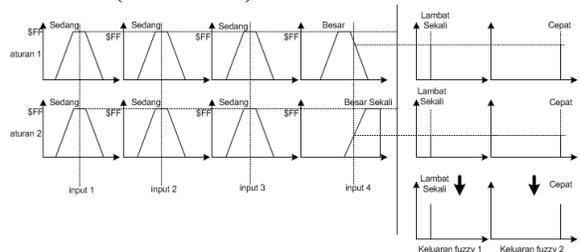
Gambar 11 Himpunan fuzzy masukan

3.2.3.2 Evaluasi aturan

Evaluasi aturan adalah inferensi dari basis-basis aturan yang telah ditetapkan. Dalam perancangan kendali logika fuzzy pada robot penjajak arah cahaya digunakan basis aturan sebanyak 560 aturan. Contoh bentuk basis aturan dalam perancangan ini adalah:

- Jika INPUTS0 “Kecil” (K) dan INPUTS1 ”Sedang” (S) dan INPUTS2 “Kecil” (K) dan INPUTS3 “Kecil Sekali” (KS) maka MOTOR KIRI “Lambat Sekali” (LS) dan MOTOR KANAN “Cepat Sekali” (CS).

Metode implikasi yang digunakan dalam proses pengambilan keputusan ini adalah metode Max-min (Gambar 12).



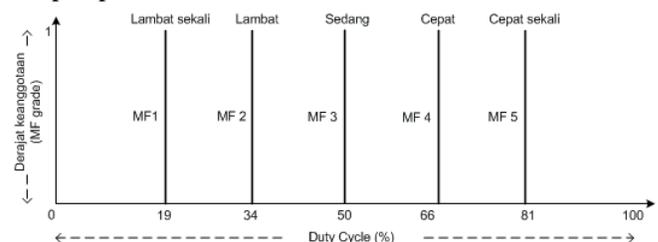
Gambar 12 Contoh penggunaan metode Max-min

3.2.3.3 Defuzzifikasi

Metode yang digunakan dalam proses ini adalah COG (*Center of Gravity*), yaitu nilai tegas keluarannya diperoleh berdasarkan titik berat dari kurva hasil proses pengambilan keputusan (*inference*).

$$COG = \frac{\sum_i (\text{Fuzzy Output}_i) \times (\text{Posisi singleton di X axis}_i)}{\sum_i (\text{Fuzzy Output}_i)}$$

Dalam perancangan kendali logika fuzzy ini menggunakan 2 himpunan fuzzy keluaran dengan fungsi keanggotaannya berupa singleton, seperti tampak pada Gambar 13.



Gambar 13 Himpunan fuzzy keluaran

3.2.4 Pemrograman Pembangkit PWM

Port yang digunakan untuk pemrograman pembangkitan sinyal PWM adalah port A pin PA6/OC2/OC1 dan PA5/OC3/OC1 mikrokontroler M68HC11A1.

Pemrograman pembangkitan sinyal PWM berhubungan dengan E-clock yang digunakan sistem minimum mikrokontroler M68HC11, E-clock pada perancangan sistem minimum mikrokontroler M68HC11 sebesar 2 MHz. Jadi periode E-clock (resolusi *free running counter*), yaitu:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{2MHz} = 500ns$$

Sehingga untuk membangkitkan sinyal PWM dengan frekuensi 1 KHz, didapatkan:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1KHz} = 1ms$$

$$\frac{1ms}{500ns} = 2000 = \$07D0$$

Nilai data \$07D0 merupakan jumlah *free running counter* yang dibutuhkan untuk 1 perioda sinyal PWM.

3.2.5 Pemrograman Start/Stop

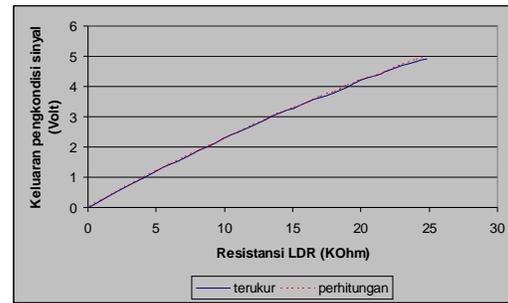
Saklar on-off difungsikan sebagai pemicu terjadinya interupsi IC3. Interupsi IC3 merupakan pengkondisi start/stop yang utama, selain untuk menjalankan/menghentikan robot mobil, interupsi ini juga akan mengaktifkan/me-non aktifkan interupsi start/stop yang dihasilkan oleh IC1 (komparator). Untuk mengetahui terjadinya interupsi IC3, digunakan indikator LED pada pin PA4. Dalam perancangan perangkat keras jika LED menyala berarti mengindikasikan sinyal PWM aktif (kondisi start) dan interupsi IC1 *enable*. Jika LED mati berarti sinyal PWM tidak dihasilkan (kondisi stop) dan interupsi IC1 *disable*.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

4.1 Pengujian Linieritas Sensor Cahaya

Dalam perancangan sensor cahaya, LDR digunakan untuk mendeteksi sumber cahaya dalam jangkauan resistansi $\pm 100 \Omega$ hingga $\pm 25 K\Omega$. Sebagai masukan ke ADC, tegangan keluaran pembagi tegangan harus linier pada resistansi LDR $\pm 100 \Omega$ hingga $\pm 25 K\Omega$. Dan dengan menggunakan pengkondisi sinyal akan diperoleh level tegangan yang sesuai dengan masukan ADC.

Hasil pengujian rangkaian pengkondisi sinyal diperlihatkan pada Gambar 14.



Gambar 14 Hasil pengujian rangkaian pengkondisi sinyal

4.2 Pengujian komparator

Pengujian rangkaian ini dilakukan dengan mengkondisikan robot mobil jauh dan dekat dengan sumber cahaya, dan mencatat keluaran pembanding untuk setiap kondisi tersebut

Tabel 1 Hasil pengujian komparator

Kondisi pembanding	Vout (Volt)
Jauh dengan sumber cahaya	0
Dekat dengan sumber cahaya	3,68

Pada saat robot mobil berada jauh dengan sumber cahaya akan dihasilkan tegangan keluaran pembanding sebesar 0 volt, hal ini disebabkan karena tegangan masukan (V^-) lebih besar daripada tegangan referensi (V^+) sehingga pembanding akan saturasi negatif. Sedangkan pada saat robot mobil dekat dengan sumber cahaya akan dihasilkan tegangan keluaran pembanding sebesar 3,68 volt, hal ini disebabkan tegangan masukan (V^-) lebih kecil daripada tegangan referensi (V^+) sehingga pembanding akan saturasi positif.

4.3 Pengujian Driver

Hasil pengujian driver menunjukkan bahwa pada saat rangkaian driver mendapat masukan logika 1 (kondisi *full on*) motor dc berputar cepat. Hal ini disebabkan karena transistor *on*, sehingga seolah-olah kolektor terhubung singkat terhadap *ground*. Sedangkan pada saat diberikan logika 0 (kondisi *full off*) pada masukan rangkaian driver, motor dc mati. Hal ini disebabkan karena transistor *off*, sehingga hubungan kolektor-emitor tampak seperti saklar terbuka.

4.4 Pengujian program ADC

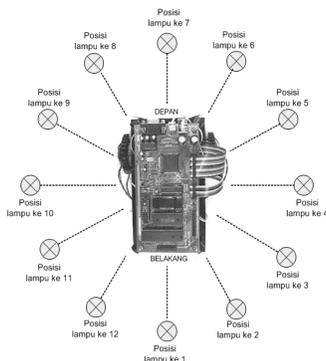
Pengujian ADC dilakukan dengan menghubungkan pin E.0 – E.3 mikrokontroler M68HC11 dengan variabel tegangan, dan menghubungkan 8 bit keluaran dengan indikator LED. Dari Tabel 2 tampak hasil konversi ADC mendekati nilai teoritis dengan kesalahan maksimum 2 bit LSB.

Tabel 2 Hasil konversi ADC

Vin (Volt)	Keluaran 8 bit	Keluaran 8 bit teoritis (Tegangan masukan/19,6 mV)
0	0000 0000	0000 0000
0,5	0001 1000	0001 1001
1	0011 0010	0011 0011
1,5	0100 1100	0100 1100
2	0110 0101	0110 0110
2,5	1000 0000	0111 1111
3	1001 1010	1001 1001
3,5	1011 0011	1011 0010
4	1100 1101	1100 1100
4,5	1110 0111	1110 0101
5	1111 1111	1111 1111

4.5 Pengujian Robot Mobil dalam Menjejak Arah Sumber Cahaya

Pengujian kehandalan robot mobil dalam menjejak arah sumber cahaya dilakukan dengan cara menempatkan lampu pijar disekeliling robot mobil dengan posisi seperti terlihat pada Gambar 15.



Gambar 15 Pengujian pergerakan robot mobil dengan berbagai letak sumber cahaya

Dari hasil pengukuran sinyal PWM1 dan sinyal PWM2 untuk posisi lampu ke 1 hingga posisi lampu ke 12, diperoleh data-data seperti yang terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil pengujian sinyal PWM dengan berbagai posisi sumber cahaya

POSISI SUMBER CAHAYA	DUTY CYCLE (%)	
	PWM1 (MOTOR KIRI)	PWM2 (MOTOR KANAN)
Posisi 1	82	20
Posisi 2	82	20
Posisi 3	82	20
Posisi 4	82	20
Posisi 5	82	20
Posisi 6	64	35
Posisi 7	41	44
Posisi 8	34	64
Posisi 9	20	82
Posisi 10	20	82
Posisi 11	20	82
Posisi 12	20	82

Pengujian pertama dilakukan dengan menempatkan lampu tepat dibelakang robot mobil (posisi lampu 1). Pada posisi ini duty cycle sinyal PWM untuk motor kiri sebesar 82% dan untuk motor kanan sebesar 20%. Artinya pada saat sumber cahaya tepat berada dibelakang robot mobil, maka robot mobil akan membuat putaran penuh ke arah kanan. Besarnya duty cycle 82% dan 20% ini merupakan nilai duty cycle maksimum dan minimum sesuai dengan posisi fungsi keanggotaan singleton Cepat Sekali dan Lambat Sekali pada himpunan fuzzy keluaran (singleton).

Pengujian untuk posisi lampu ke 2 hingga posisi lampu ke 5 diperoleh nilai duty cycle untuk motor kiri 82% dan motor kanan 20%. Pada saat lampu berada pada posisi 2 sampai 5, robot mobil akan membuat putaran penuh kearah kanan sampai lampu berada dekat dengan bagian depan robot mobil.

Pada pengujian posisi lampu ke 6 mulai terlihat pengaturan kecepatan yang tidak terlalu tajam, ditunjukkan dengan besar duty cycle motor kiri 64% dan motor kanan 35%. Pada kondisi ini robot mobil akan membuat putaran kearah kanan yang tidak terlalu tajam.

Pengujian posisi lampu ke 7 berada tepat didepan robot mobil. Pada posisi ini robot mobil akan berjalan lurus ke depan, yang ditandai dengan besar duty cycle motor kiri 41% dan motor kanan 44%.

Pengujian posisi lampu ke 8 berlawanan dengan posisi lampu ke 6, hal ini ditandai dengan hasil pengukuran duty cycle motor kiri 34% dan motor kanan 64%. Pada kondisi ini robot mobil membuat putaran kearah kiri yang tidak terlalu tajam.

Pengujian untuk posisi lampu ke 9, 10, 11 dan 12 diperoleh nilai duty cycle untuk motor kiri 20% dan motor kanan 82%. Kondisi ini berlawanan dengan pengujian pada posisi lampu ke 2 hingga ke 5, yaitu robot mobil akan membuat putaran penuh kearah kiri sampai lampu berada dekat dengan bagian depan robot mobil.

Secara umum robot mobil telah bekerja sesuai dengan aturan-aturan fuzzy yang telah diterapkan dalam kendali logika fuzzy.

V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

1. Untuk mendapatkan respon pergerakan mobil robot yang baik diperlukan metode coba-coba untuk mengubah basis aturan dan fungsi keanggotaan masukan maupun keluaran pada pengendali logika fuzzy.

2. Pengaturan jarak deteksi sumber cahaya dapat dilakukan dengan mengatur besarnya nilai penguatan pada sensor LDR.
3. Penggunaan kendali logika fuzzy pada pengendalian mobil robot dalam menjejak sumber cahaya lebih fleksibel dalam menghadapi kondisi lingkungan yang rumit.
4. Berdasarkan percobaan, mobil robot memiliki kemampuan untuk mencari, mengikuti dan memilih sumber cahaya yang lebih terang.

5.2 Saran

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

1. Dapat dilakukan perancangan kembali pengendali logika fuzzy, dengan basis aturan maupun fungsi keanggotaan (masukan/keluaran) yang berbeda untuk mendapatkan hasil yang paling memuaskan, dan hal ini akan lebih mudah direalisasikan dengan menggunakan bantuan BUFFALO M68HC11.
2. Mobil robot dapat dikembangkan untuk mendeteksi rintangan atau dinding dengan menambahkan sensor jarak dan algoritma dalam pemrograman.