

**PENGENDALIAN SUDUT CERMIN DATAR PADA SOLATUBE
MENGUNAKAN KONTROLER PID BERBASIS MIKROKONTROLER**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

GUMILANG SAPTHA PAMEGA

NIM. 105060307111027 - 63

KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

MALANG

2015

KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim.

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengendalian Sudut Cermin Datar Pada Solatube Menggunakan Kontroler PID Berbasis Mikrokontroler”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan serta dorongan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada:

- Kedua orang tua ku tersayang, Papa ku Abdul Fakhri dan Mama ku Kusnayani yang senantiasa memberikan semangat, dorongan moril, dan materil, doa serta kesabaran, Kak Guntur dan Dek Aldo yang senantiasa menyemangati dan meluruskan.
- Bapak M. Aziz Muslim, ST., MT, Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya dan sebagai Dosen Pembimbing II atas segala bimbingan, pengarahan, gagasan, ide, saran, motivasi yang telah diberikan, serta waktu yang diluangkan untuk bimbingan.
- Bapak Ir. Purwanto, MT. selaku KKDK Teknik Kontrol dan sebagai Dosen Pembimbing I atas segala bimbingan, pengarahan, gagasan, ide, saran, motivasi yang telah diberikan, serta waktu yang diluangkan untuk bimbingan.
- Bapak Ibu Dosen, karyawan, staf recording dan RBTE atas segala bantuan dan kemudahan.
- Mbak Eka sebagai Laboran Lab. Sistem Kontrol dan teman-teman asisten Lab. Sistem Kontrol.
- Mas Mudzaki Arsis Satibi dan Mas Reza atas segala bantuan, tenaga dan kesabarannya.
- Firda Nabila atas semangat, dorongan dan doa yang telah diberikan.
- Sahabat ku, Firman Dewan, Wahyu, Hanip, Rainer, Hesta, Lutfi, Jefri, Kadek, Randy, Dandy, Sesa, Nandha, Dikma, Adin, Gosi, Betek, Agwin, Reza, Izul, Rara, Ayu, Sendok atas kerelaannya berbagi semangat, cerita, cinta, dan waktu yang menyenangkan selama menjadi mahasiswa.
- Teman-teman MAGNET'10, yang memberikan doa, semangat serta dukungan kepada penulis selama berada di kampus tercinta.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa skripsi ini belumlah sempurna, karena keterbatasan ilmu dan kendala-kendala lain yang terjadi selama pengerjaan skripsi.

Oleh karena itu, penulis mengharap kritik dan saran untuk penyempurnaan tulisan di masa yang akan datang. Penulis berharap, semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang, Desember 2014

Penulis



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
ABSTRAK	ix

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Sistematika Pembahasan	2

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Solatube	4
2.2 Sensor Cahaya (<i>light dependent resistor</i>)	5
2.3 Motor Servo.....	6
2.4 Kontroler	8
2.5 Kontroler Proporsional (P)	8
2.6 Kontroler Integral (I)	9
2.7 Kontroler Differensial (D).....	9
2.8 Kontroler Proporsional Integral Differensial (PID)	10
2.9 Metode Perancangan Kontroler Proporsional Integral Diferensial (PID) Menggunakan <i>Hand Tuning</i>	11
2.10 Mikrokontroler ATmega8535	11
2.11 Konstruksi ATmega8535	13
2.12 Pin-pin Mikrokontroler ATmega8535.....	15

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Studi Literatur.....	16
3.2 Perancangan Blok Diagram Sistem	16

3.3 Perancangan Sistem.....	16
3.4 Realisasi Pembuatan Sistem	17
3.5 Pengujian dan Analisa Data	17
3.6 Pengambilan Keputusan	17

BAB IV PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

4.1 Perancangan Sistem.....	18
4.2 Diagram Blok Sistem	18
4.3 Spesifikasi Alat	19
4.4 Prinsip Kerja Sistem.....	19
4.5 Perancangan Perangkat Keras (<i>Hardware</i>)	20
4.5.1 Sensor Cahaya <i>Light Dependent Resistor</i>	20
4.6 Perancangan Kontroler	20
4.6.1 Hand Tuning Kontroler PID	20
4.6.2 Tuning Eksperimen	21
4.6.3 Penerapan Kontroler PID Pada Program	23
4.7 Perancangan Perangkat Lunak	24

BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS

5.1 Pengujian Sensor <i>Light Dependent Resistor</i>	25
5.2 Pengujian Motor Servo.....	35
5.5 Pengujian Sistem Keseluruhan Tanpa Kontroler	39
5.6 Pengujian Sistem Secara Keseluruhan	42

BAB VI PENUTUP

6.1 Kesimpulan	48
6.2 Saran	48

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Respon Sudut dengan Menambahkan Kontroler Kp	21
Tabel 4.2	Hasil Pengujian Respon Motor dengan Menambahkan Kontroler Kp dan Ki	22
Tabel 4.3	Hasil Pengujian Respon Motor dengan Menambahkan Kontroler Kp dan Ki dan Kd	22
Tabel 5.1	Data Hasil Pengujian LDR 1	26
Tabel 5.2	Data Hasil Pengujian LDR 2	27
Tabel 5.3	Data Hasil Pengujian LDR 3	28
Tabel 5.4	Data Hasil Pengujian LDR 4	29
Tabel 5.5	Data Hasil Pengujian LDR 5	30
Tabel 5.6	Data Hasil Pengujian LDR 6	32
Tabel 5.7	Data Hasil Pengujian LDR 7	33
Tabel 5.8	Data Hasil Pengujian LDR 8	34
Tabel 5.9	Hasil Pengujian Motor Servo	36
Tabel 5.10	Hasil Pengujian Sudut Motor Servo	39
Tabel 5.11	Hasil dari 2 Pengujian	42
Tabel 5.12	Hasil dari 4 Pengujian	48

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	<i>Solatube</i>	5
Gambar 2.2	<i>Light Dependent Resistor</i>	6
Gambar 2.3	Motor Servo Parralax	6
Gambar 2.4	Pengaturan Sudut Motor Servo	7
Gambar 2.5	Diagram Blok Kontroler Proporsional	9
Gambar 2.6	Diagram Blok Kontroler Integral	9
Gambar 2.7	Diagram Blok Kontroler Differensial	10
Gambar 2.8	Diagram Blok Kontroler PID	11
Gambar 2.9	Atmega8535	12
Gambar 2.10	Konfigurasi pin Atmega8535	14
Gambar 4.1	Diagram Blok Sistem (Perancangan)	18
Gambar 4.2	Skema Keseluruhan Sistem (Perancangan)	19
Gambar 4.3	<i>Flowchart</i> Keseluruhan Sistem (Perancangan)	24
Gambar 5.1	Pengujian <i>Light Dependent Resistor</i>	26
Gambar 5.2	Grafik Hubungan Antara Tegangan Keluaran dengan Resistansi LDR 1	27
Gambar 5.3	Grafik Hubungan Antara Tegangan Keluaran dengan Resistansi LDR 2	28
Gambar 5.4	Grafik Hubungan Antara Tegangan Keluaran dengan Resistansi LDR 3	29
Gambar 5.5	Grafik Hubungan Antara Tegangan Keluaran dengan Resistansi LDR 4	30
Gambar 5.6	Grafik Hubungan Antara Tegangan Keluaran dengan Resistansi LDR 5	31
Gambar 5.7	Grafik Hubungan Antara Tegangan Keluaran dengan Resistansi LDR 6	32
Gambar 5.8	Grafik Hubungan Antara Tegangan Keluaran dengan Resistansi LDR 7	33
Gambar 5.9	Grafik Hubungan Antara Tegangan Keluaran dengan Resistansi LDR 8	34
Gambar 5.10	Sinyal <i>Input</i> PWM dengan <i>Pulse</i> 500 μ s	37



Gambar 5.11	Sinyal <i>Input</i> PWM dengan <i>Pulse</i> 1000 μ s	37
Gambar 5.12	Sinyal <i>Input</i> PWM dengan <i>Pulse</i> 1500 μ s	37
Gambar 5.13	Sinyal <i>Input</i> PWM dengan <i>Pulse</i> 2000 μ s	38
Gambar 5.14	Sinyal <i>Input</i> PWM dengan <i>Pulse</i> 2500 μ s	38
Gambar 5.15	Grafik Hubungan PWM terhadap Sudut Motor Servo.....	38
Gambar 5.16	Pengujian Rangkaian Sistem.....	40
Gambar 5.17	Grafik Respon Sistem Keseluruhan tanpa Kontroler dengan <i>Setpoint</i> Sudut 45° (0° menuju 45°).....	41
Gambar 5.18	Grafik Respon Sistem Keseluruhan tanpa Kontroler dengan <i>Setpoint</i> Sudut 90° (0° menuju 90°).....	42
Gambar 5.19	Grafik Respon Sistem Keseluruhan Menggunakan PID dengan <i>Setpoint</i> Sudut 45° (0° menuju 45°).....	44
Gambar 5.20	Grafik Respon Sistem Keseluruhan Menggunakan PID dengan <i>Setpoint</i> Sudut 90° (45° menuju 90°).....	45
Gambar 5.21	Grafik Respon Sistem Keseluruhan Menggunakan PID dengan <i>Setpoint</i> Sudut 135° (90° menuju 135°).....	46
Gambar 5.22	Grafik Respon Sistem Keseluruhan Menggunakan PID dengan <i>Setpoint</i> Sudut 0° (135° menuju 0°).....	47



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
LAMPIRAN 1	GAMBAR ALAT
LAMPIRAN 2	PROGRAM SISTEM
LAMPIRAN 3	SNI TENTANG PENCAHAYAAN
LAMPIRAN 4	DATASHEET



ABSTRAK

Gumilang Saptha Pamega, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2015, *Pengendalian Sudut Cermin Datar Pada Solatube Menggunakan PID Berbasis Mikrokontroler*, Dosen Pembimbing: Ir. Purwanto, M.T, M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D.

Abstrak- Solatube merupakan tabung cahaya yang sistem kerjanya memasukkan cahaya matahari ke dalam tabung reflektor, dipantulkan dan masuk ke dalam ruangan. Cahaya yang masuk ke dalam ruangan benar-benar dari cahaya matahari, bukan listrik buatan. Berbeda dengan solarcell yang memanfaatkan energi matahari menjadi listrik dalam baterai untuk menyalakan lampu listrik. Namun, umumnya solatube menggunakan dome untuk memantulkan cahaya. Pada penelitian kali ini dilakukan penyempurnaan rancangan solatube dari salah satu peneliti yang juga melakukan penelitian tentang solatube, namun solatube yang dirancang tidak memiliki dome di atas tabung solatube-nya. Maka dibuatlah suatu solusi untuk membuat alat yang dapat menggantikan peran dari dome solatube. Yakni dengan menggunakan cermin yang dapat bergerak sesuai dengan sudut yang telah ditentukan sebelumnya, dengan sensor LDR sebagai pendeteksi cahaya dan kontroler yang digunakan ialah kontrol PID. Di mana cermin ini berfungsi untuk merefleksikan cahaya, sehingga cahaya dapat masuk melalui lubang atas solatube. Setpoint sudut yang digunakan pada penelitian kali ini yaitu sebesar 0° , 45° , 90° dan 135° . Dan sensor LDR yang digunakan berjumlah 8 sensor, di mana apabila salah satu sensor mendeteksi kuat cahaya terkuat maka cermin akan bergerak ke sudut tersebut. Dari hasil perancangan dan pengujian alat yang telah dilakukan, didapatkan parameter PID dengan metode hand tuning yang paling baik yaitu $K_p = 2,4$, $K_i = 1,7$, $K_d = 0,5$ atau $K_p = 3,2$, $K_i = 0$, $K_d = 0$.

Kata Kunci- Solatube, Dome, PID, LDR, Sudut

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pencahayaan merupakan salah satu faktor penting dalam perancangan ruang. Ruangan yang telah dirancang tidak dapat memenuhi fungsinya dengan baik apabila tidak disediakan akses pencahayaan. Pencahayaan di dalam ruangan memungkinkan orang yang menempatnya dapat melihat dengan baik. Tanpa dapat melihat dengan jelas maka aktivitas di dalam ruang akan terganggu. Sebaliknya, cahaya yang terlalu terang juga dapat mengganggu penglihatan. Permasalahan lainnya juga ada pada penghematan energi, dimana energi merupakan hal yang sangat penting bagi kehidupan manusia saat ini. Ketersediaan energi di Indonesia belum mampu mencukupi tingkat konsumsi oleh masyarakat yang relatif besar, sehingga perlu dilakukan pencarian sumber energi baru dan melakukan efisiensi energi.

Dalam sistem pencahayaan pada ruangan diperlukan banyak faktor yang dipertimbangkan antara lain kebutuhan listrik yang digunakan dan biaya pemeliharaan, karena semakin lama listrik akan semakin mahal. Oleh karena itu sistem pencahayaan harus diperhatikan dengan cara penghematan energi listrik. Karena itu dibuatlah suatu alat yang dapat mengurangi pemborosan energi pada sistem penerangan atau pencahayaan pada ruangan. Alat tersebut diberi nama *solatube*, yang berfungsi untuk memberikan pencahayaan langsung dari cahaya matahari tanpa menggunakan energi listrik. Namun, *solatube* umumnya menggunakan *dome* untuk memantulkan sinar matahari hingga cahaya masuk ke dalam ruangan. *Dome* adalah kubah optik yang dapat menangkap cahaya hingga masuk ke dalam pipa *solatube* agar dapat menerangi ruangan.

Maka pada penelitian kali ini akan mencoba membuat *solatube* otomatis dengan desain sendiri disertai cermin datar tanpa menggunakan *dome*. Sehingga cahaya bisa dipantulkan oleh cermin datar. Di mana cermin ini berfungsi untuk merefleksikan cahaya, sehingga cahaya dapat masuk melalui lubang atas *solatube*. Cermin yang dapat bergerak sesuai dengan sudut yang telah ditentukan sebelumnya, dengan sensor LDR sebagai pendeteksi cahaya dan kontroler yang

digunakan ialah kontrol PID. Sistem pada penelitian ini berbasis Mikrokontroler ATmega8535.

1.2 Rumusan Masalah

Mengacu pada permasalahan yang telah diuraikan pada latar belakang, maka rumusan masalah dapat ditekankan pada beberapa poin berikut:

1. Bagaimana merancang dan membuat perangkat keras (*hardware*) sistem pengendalian sudut cermin datar pada *solatube*?
2. Bagaimana membuat suatu program perangkat lunak (*software*) untuk pengendalian sudut cermin datar pada *solatube* dengan menggunakan kontroler PID yang dapat menghasilkan respon yang sesuai?
3. Bagaimana membuat sistem sensor yang dapat mengatur gerak cermin datar?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan pada penelitian kali ini meliputi:

1. *Solatube* yang digunakan untuk penelitian merupakan rancangan yang dibuat dengan desain sendiri.
2. Sensor yang digunakan adalah sensor cahaya *light dependent resistor*.
3. Setpoint sudut yang digunakan pada penelitian kali ini yaitu sebesar 0° , 35° , 90° , dan 135° .
4. Pembahasan ditekankan pada pergerakan sudut motor menggunakan kontroler PID berbasis mikrokontroler.

1.4 Tujuan

Merancang sistem pengendalian cermin datar pada *solatube* dengan kontrol PID menggunakan sensor cahaya berbasis Atmega8535, yang dapat menggerakkan motor untuk mengatur gerak cermin datar agar sesuai dengan sudut yang diinginkan untuk penerangan suatu ruangan.

1.5 Sistematika Pembahasan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam skripsi ini sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Memuat latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah dan sistematika pembahasan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Memuat pembahasan teori-teori yang mendukung dalam perancangan dan pembuatan alat.

BAB III Metodologi Penelitian

Berisi tentang metode penelitian dan perencanaan alat serta pengujian.

BAB IV Perancangan dan Pembuatan Alat

Perancangan alat yang merupakan spesifikasi, perencanaan blok diagram, prinsip kerja dan pembuatan alat.

BAB V Pengujian dan Analisis

Memuat hasil pengujian terhadap alat yang telah dibuat.

BAB VI Kesimpulan dan Saran

Memuat kesimpulan dan saran-saran.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini akan dijelaskan mengenai teori-teori yang akan menunjang perancangan pengendalian sudut cermin datar pada sistem *solatube* menggunakan kontroler PID berbasis Mikrokontroler.

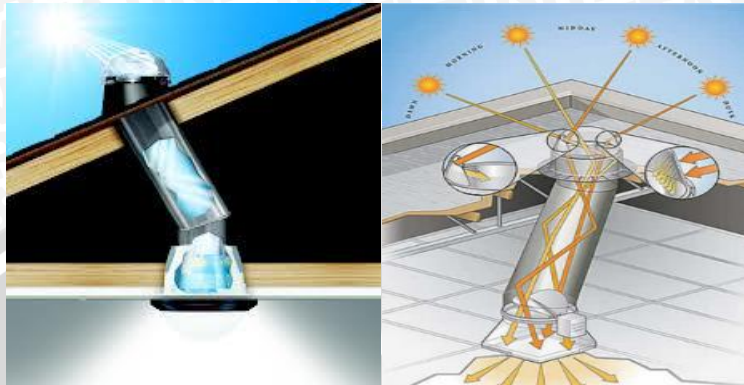
2.1 *Solatube*

Solatube merupakan suatu alat yang berasal dari Amerika Serikat yang teknologinya telah ada selama hampir 20 tahun. Hanya di Indonesia baru berjalan kurang lebih sekitar 2 tahun. Konsep kerja dari *solatube* ini sangat sederhana, dari namanya pun dapat diketahui “sola” yang berarti matahari dan “tube” yang berarti tabung. Jadi sistem kerja dari *solatube* ialah memasukkan cahaya matahari ke dalam tabung reflektor, dipantulkan dan masuk ke dalam ruangan. Cahaya yang masuk ke dalam ruangan benar-benar dari cahaya matahari bukan cahaya listrik buatan. Berbeda dengan *solarcell* yang memanfaatkan energi matahari menjadi listrik dalam baterai untuk menyalakan lampu listrik. Sebaliknya *solatube* benar-benar hanya memanfaatkan cahaya matahari.

Keunggulan dari *solatube* ini ialah tidak adanya panas yang ikut terhantar. Dibandingkan dengan lampu listrik sejenis LED yang masih terdapat panas yang terhantar. Cahaya matahari yang mengandung panas adalah sinar infra merah, sinar ini dipantulkan di doom, sehingga yang masuk hanya spektrum cahayanya saja. Berbeda dengan lampu listrik yang harus diganti dalam rentang waktu beberapa minggu atau bulan. Keunggulan lain dari *solatube* ini adalah bebas perawatan, bebas biaya dan tanpa energi listrik.

Cahaya yang dikeluarkan oleh *solatube* berbeda dengan cahaya lampu yang konstan, karena *solatube* berkonsep reflektif, maka cahaya yang dihasilkan tergantung pada cahaya di luar. Namun, dalam keadaan mendung sekalipun, cahaya yang direfleksikan di dalam ruangan dapat mengakomodasi aktivitas dalam ruangan. Poin utama dari *solatube* ini adalah fakta bahwa cahaya matahari memberikan efek positif bagi kehidupan manusia dari segi psikologis. Ruangan yang diaplikasikan *solatube* terbukti memiliki aktivitas dan produktivitas yang tinggi. Dari segi ramah lingkungan, *solatube* merupakan langkah konkret hemat

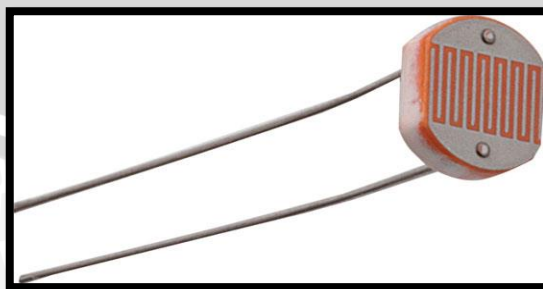
energi karena pengoperasiannya tanpa menggunakan energi listrik dan memanfaatkan cahaya matahari yang berlimpah. Pada Gambar 2.1 merupakan bentuk daripada *solatube* pada umumnya.



Gambar 2.1 Solatube
Sumber: Solatube.com

2.2 Sensor Cahaya (*Light Dependent Resistor*)

Sensor Cahaya LDR adalah salah satu jenis resistor yang dapat mengalami perubahan resistansinya apabila mengalami perubahan penerimaan cahaya. Besarnya nilai hambatan pada sensor cahaya LDR tergantung pada besar kecilnya cahaya yang diterima oleh LDR itu sendiri. LDR sering disebut dengan alat atau sensor yang berupa resistor yang peka terhadap cahaya. Biasanya LDR terbuat dari *cadmium sulfida* yaitu merupakan bahan semikonduktor yang resistansinya berubah-ubah menurut banyaknya cahaya (sinar) yang mengenainya. Resistansi LDR pada tempat yang gelap biasanya mencapai $10\text{ M}\Omega$, dan ditempat terang LDR mempunyai resistansi yang turun menjadi $150\ \Omega$. Seperti halnya resistor konvensional, pemasangan sensor LDR dalam suatu rangkaian sama persis seperti pemasangan resistor biasa. Bentuk dari sensor LDR ditunjukkan dalam Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Light Dependent Resistor
Sumber: encepnurdinbogar.wordpress.com

2.3 Motor DC

Berbeda dengan motor DC dan motor Stepper, motor DC adalah sebuah motor dengan sistem *closed feedback* di mana posisi dari motor akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada di dalam motor DC. Motor ini terjadi karena sebuah motor, serangkaian *internal gear*, potensiometer dan rangkaian kontrol. Potensiometer berfungsi untuk menentukan batas sudut putaran DC. Sedangkan sudut sumbu motor diatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirim melalui kaki sinyal dari kabel motor.

Motor DC dapat bekerja dua arah (*CW*) *Counter Wise* berputar searah jarum jam dan (*CCW*) *Counter Clock Wise* berputar berlawanan arah dengan jarum jam dimana arah dan sudut pergerakan rotornya dapat dikendalikan hanya dengan memberikan pengaturan *duty cycle* sinyal *PWM* pada bagian pin kontrolnya. Gambar 2.3 menunjukkan gambar fisik motor DC.



Gambar 2.3 Motor DC Parallax

(Sumber: Parallax, Inc.)

Motor DC merupakan motor yang berputar lambat, dimana biasanya ditunjukkan oleh rate putarannya yang lambat, namun memiliki torsi yang kuat karena *internal gear*-nya. Secara umum terdapat dua jenis motor DC, yaitu :

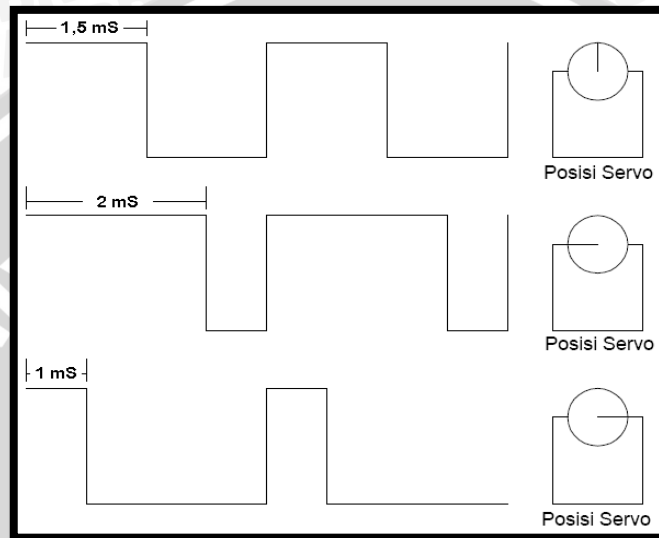
- Motor DC *Standar 180°*

Motor DC jenis ini merupakan motor yang hanya mampu bergerak dua arah (*CW* dan *CCW*) dan mempunyai *defleksi* masing-masing sudut mencapai 90° sehingga total *defleksi* sudut dari kanan – tengah – kiri adalah 180° .

- Motor DC *Continuous*

Motor DC jenis ini mampu bergerak dua arah (*CW* dan *CCW*) dan tanpa batasan *defleksi* sudut putar (dapat berputar secara kontinu) sehingga motor ini berputar 360°.

Pengaturan sudut motor DC diperlukan untuk mengetahui gerakan dari motor DC dan pulsa yang harus diberikan untuk bergerak kekanan atau bergerak kekiri. Gambar 2.4 menunjukkan teknik PWM untuk mengatur sudut motor DC.



Gambar 2.4 Pengaturan Sudut Motor DC

(Sumber : Parallax, Inc.)

Dalam Gambar 2.4 diasumsikan bahwa saat diberikan sinyal periodik dengan lebar 1 ms maka motor DC akan bergerak dengan sudut 0°, jika diberi sinyal 1,5 ms maka motor DC akan bergerak dengan sudut 90°, dan jika diberi sinyal 2 ms maka motor DC akan bergerak dengan sudut 180°. Dari kondisi tersebut bisa ditarik kesimpulan bahwa untuk mengatur sudut putaran motor DC diperlukan sinyal dengan lebar pulsa seperti pada persamaan berikut:

$$S = D \left(\frac{1000}{180} \right) + 1000 \mu s \text{ atau}$$

$$S = (0,18)D + 1000 \mu s$$

$$S = \text{Lebar Pulsa dalam } \mu s$$

$$D = \text{Sudut Putar Servo dalam Derajat}$$

2.4 Kontroler

Sistem pengendalian dirancang untuk melakukan dan menyelesaikan tugas tertentu. Syarat utama sistem pengendalian adalah harus stabil. Di samping kestabilan mutlak, maka sistem harus memiliki kestabilan secara relatif, yakni tolak ukur kualitas kestabilan sistem dengan menganalisis sampai sejauh mana batas-batas kestabilan sistem tersebut jika dikenai gangguan (Ogata K.,1997). Selain itu analisis juga dilakukan untuk mengetahui bagaimana kecepatan sistem dalam merespons *input*, dan bagaimana peredaman terhadap adanya lonjakan (*over shoot*).

Suatu sistem dikatakan stabil jika diberi gangguan maka sistem tersebut akan kembali ke keadaan *steady state* di mana *output* berada dalam keadaan tetap seperti tidak ada gangguan. Sistem dikatakan tidak stabil jika *output*-nya berosilasi terus menerus ketika dikenai suatu gangguan. Karena suatu sistem pengendalian biasanya melibatkan penyimpanan energi maka *output* sistem ketika diberi suatu *input*, tidak dapat mengikuti *input* secara serentak, tapi menunjukkan respon transien berupa suatu osilasi teredam sebelum mencapai *steady state*.

2.5 Kontroler Proporsional (P)

Kontroler proporsional adalah sebuah kontroler yang memiliki karakteristik mempercepat respon. Hubungan antara keluaran kontroler $m(t)$ dan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$ ditunjukkan pada persamaan 2.2:

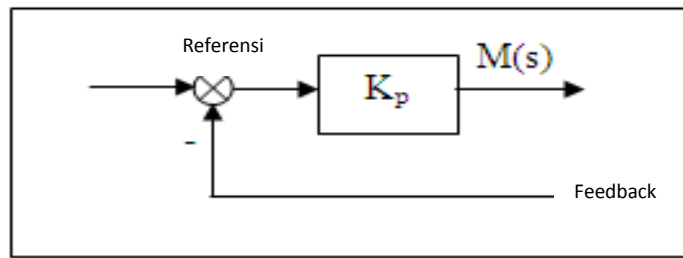
$$m(t) = K_p e(t) \quad (2.2)$$

atau, dalam besaran transformasi Laplace ditunjukkan pada persamaan 2.3

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \quad (2.3)$$

Di mana K_p adalah kepekaan proporsional atau penguatan.

Apapun wujud mekanisme yang sebenarnya dan apapun bentuk daya penggeraknya, kontroler proporsional pada dasarnya merupakan penguat dengan penguatan yang dapat diatur (Ogata K.,1997). Diagram blok kontroler proporsional ditunjukkan pada Gambar 2.5.



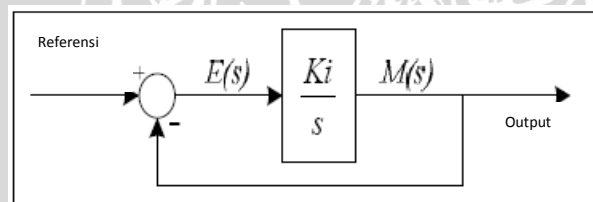
Gambar 2.5 Diagram Blok Kontroler Proporsional (OgataK., 1997)

2.6 Kontroler Integral (I)

Kontroler integral memiliki kemampuan untuk mengurangi *offset* yang ditinggalkan oleh kontroler proporsional. Harga keluaran kontroler $m(t)$ diubah dengan laju yang sebanding dengan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$. Persamaan kontroler K_i ditunjukkan dalam persamaan 2.4. (Ogata K., 1997).

$$\frac{dm(t)}{E(s)} = \frac{K_i}{s} \quad (2.4)$$

K_i adalah penguatan integral. Gambar 2.6 menunjukkan diagram blok kontroler integral.



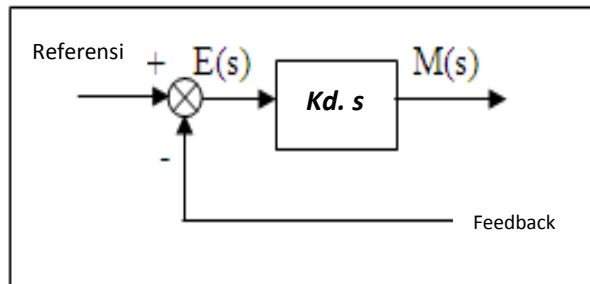
Gambar 2.6 Diagram Blok Kontroler Integral (OgataK., 1997)

2.7 Kontroler Differensial (D)

Kontroler ini digunakan untuk memperbaiki atau mempercepat respons transien sebuah sistem kontrol dengan cara memperbesar *phase lead* terhadap penguatan kontrol dan mengurangi *phase lag* penguatan tersebut (Ogata K., 1997). Kontroler differensial tidak dapat mengeluarkan *output* bila tidak ada perubahan *input*, selain itu kontroler differensial tidak dapat digunakan untuk proses yang mengandung *noise*. Hubungan antara keluaran kontroler $m(t)$ dan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$ dinyatakan pada persamaan 2.5 :

$$\frac{M(s)}{E(s)} = Kd \cdot s \quad (2.5)$$

Kd adalah penguatan diferensial. Gambar 2.7 menunjukkan diagram blok kontroler differensial.



Gambar 2.7 Diagram Blok Kontroler Differensial (OgataK., 1997)

2.8 Kontroler Proporsional Integral Differensial (PID)

Gabungan aksi kontrol proporsional, integral, dan differensial mempunyai keunggulan dibandingkan dengan masing-masing dari tiga aksi kontrol tersebut. Masing – masing kontroler P, I, maupun D berfungsi untuk mempercepat reaksi sistem menghilangkan *offset*, dan mendapatkan energi ekstra ketika terjadi perubahan *load*.

Persamaan kontroler PID ini dapat dinyatakan dalam persamaan 2.6 :

$$m(t) = Kp e(t) + Ki \int_0^t e(t)dt + Kd \frac{de(t)}{dt} \quad (2.6)$$

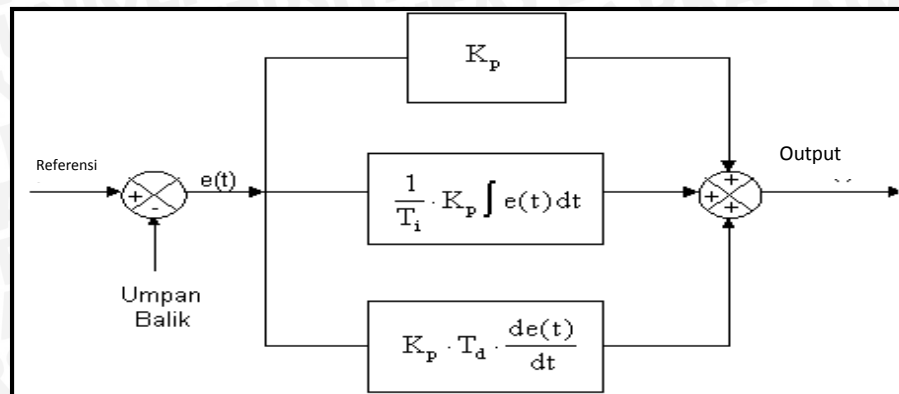
Dalam transformasi Laplace dinyatakan dalam persamaan 2.7 :

$$\frac{M(s)}{E(s)} = Kp \left(1 + \frac{1}{Ti.s} + Td.s \right) \quad (2.7)$$

Ti adalah waktu integral dan Td adalah waktu derivatif. Untuk dapat diterapkan pada kontroler digital, maka persamaan (2.6) harus diubah ke dalam persamaan diskrit dengan mendefinisikan persamaan di atas terhadap waktu, sehingga diperoleh persamaan 2.8 :

$$\frac{du}{dt} = Kp \frac{de(t)}{dt} + Ki e(t) + Kd \frac{d^2e(t)}{dt^2} \quad (2.8)$$

Gambar 2.12 menunjukkan diagram blok kontroler PID.



Gambar 2.8 Diagram Blok Kontroler PID (OgataK., 1997)

2.9 Metode Perancangan Kontroler Proporsional Integral Diferensial (PID) Menggunakan *Hand Tuning*.

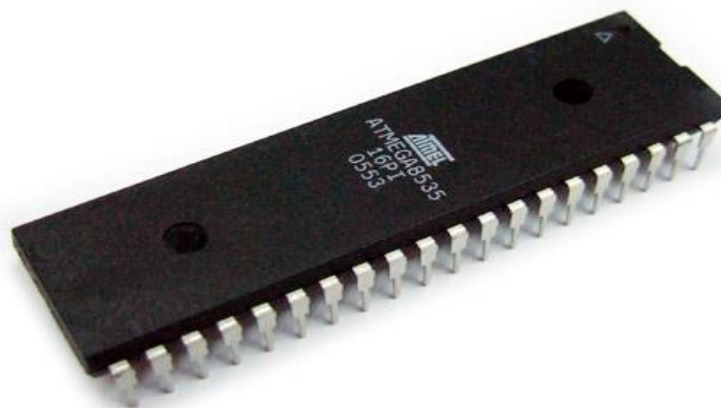
Kontroler PID dapat di *tuning* dalam beberapa cara, antara lain *ziegler-nichols tuning*, *loop shaping*, metode analitis, optimasi, *pole placement*, *auto tuning* dan *hand tuning* (Smith,1997; Astrom & Hagglund,2004).

2.10 Mikrokontroler ATmega8535

Mikrokontroler adalah IC yang dapat deprogram berulang kali, baik ditulis atau dihapus (Agus Bejo, 2007). Biasanya digunakan untuk pengontrolan otomatis dan manual pada perangkat elektronika. Beberapa tahun terakhir, mikrokontroler sangat banyak digunakan terutama dalam pengontrolan robot. Seiring perkembangan elektronika, mikrokontroler dibuat semakin kompak dengan bahasa pemrograman yang juga ikut berubah. Salah satunya adalah mikrokontroler AVR (*Alf and Vegard's Risc processor*) ATmega 8535 yang menggunakan teknologi RISC (*Reduce Instruction Set Computing*) dimana program berjalan lebih cepat karena hanyamembutuhkan satu siklus clock untuk mengeksekusi satu instruksi program. Secara umum, AVR dapat dikelompokkan menjadi 4 kelas, yaitu kelas Attiny, keluarga AT90Sxx, keluarga Atmega, dan AT86RFxx. Pada dasarnya yang membedakan masing-masing kelas adalah memori, peripheral, dan fungsinya. Dari segi arsitektur dan instruksi yang digunakan, mereka bisa dikatakan hampir sama. Mikrokontroler AVR ATmega 8535 memiliki fitur yang cukup lengkap. Mikrokontroler AVR ATmega 8535 telah dilengkapi dengan ADC internal,

EEPROM internal, Timer/Counter, PWM, analog comparator, dll (M.Ary Heryanto, 2008). Sehingga dengan fasilitas yang lengkap ini memungkinkan belajar mikrokontroler keluarga AVR dengan lebih mudah dan efisien, serta dapat fitur-fitur yang dimiliki oleh mikrokontroler ATmega 8535 adalah sebagai berikut:

1. Saluran I/O sebanyak 32 buah, yaitu port A, port B, port C, dan port D.
2. ADC internal sebanyak 8 saluran.
3. Tiga buah Timer/Counter dengan kemampuan perbandingan.
4. CPU yang terdiri atas 32 buah register.
5. SRAM sebesar 512 byte.
6. Memori Flash sebesar 8 kb dengan kemampuan Read While Write.
7. Port antarmuka SPI
8. EEPROM sebesar 512 byte yang dapat diprogram saat operasi.
9. Antarmuka komparator analog.
10. Port USART untuk komunikasi serial.
11. Sistem mikroprosesor 8 bit berbasis RISC dengan kecepatan maksimal 16 MHz.
12. Dan lain-lainnya.



Gambar 2.9 ATmega8535

(Sumber: Atmega8535)

2.11 Konstruksi ATmega8535

Mikrokontroler ATmega8535 memiliki 3 jenis memori, yaitu memori program, memori data dan memori EEPROM. Ketiganya memiliki ruang sendiri dan terpisah.

1. Memori program

ATmega8535 memiliki kapasitas memori program sebesar 8 Kbyte yang terpetakan dari alamat 0000h – 0FFFh dimana masing-masing alamat memiliki lebar data 16 bit. Memori program ini terbagi menjadi 2 bagian yaitu bagian program boot dan bagian program aplikasi.

2. Memori data

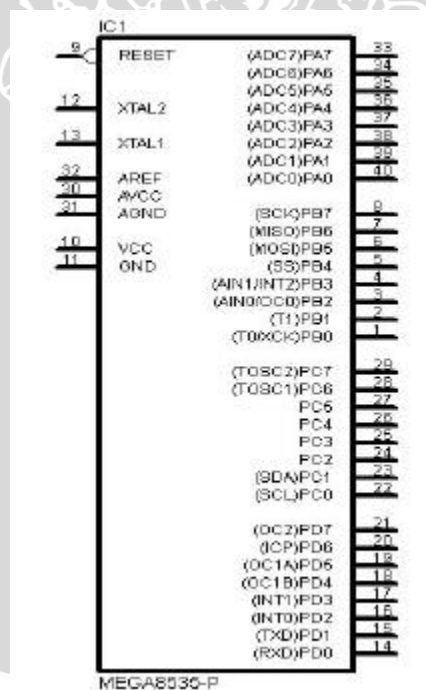
ATmega8535 memiliki kapasitas memori data sebesar 608 byte yang terbagi menjadi 3 bagian yaitu register serba guna, register I/O dan SRAM. ATmega8535 memiliki 32 byte register serba guna, 64 byte register I/O yang dapat diakses sebagai bagian dari memori RAM (menggunakan instruksi LD atau ST) atau dapat juga diakses sebagai I/O (menggunakan instruksi IN atau OUT), dan 512 byte digunakan untuk memori data SRAM.

3. Memori EEPROM

ATmega8535 memiliki memori EEPROM sebesar 512 byte yang terpisah dari memori program maupun memori data. Memori EEPROM ini hanya dapat diakses dengan menggunakan register-register I/O yaitu register EEPROM Address, register EEPROM Data, dan register EEPROM Control. Untuk mengakses memori EEPROM ini diperlakukan seperti mengakses data eksternal, sehingga waktu eksekusinya relatif lebih lama bila dibandingkan dengan mengakses data dari SRAM. ATmega8535 memiliki 3 modul timer yang terdiri dari 2 buah timer/counter 8 bit dan 1 buah timer/counter 16 bit. Ketiga modul timer/counter ini dapat diatur dalam mode yang berbeda secara individu dan tidak saling mempengaruhi satu sama lain. Selain itu, semua timer/counter juga dapat difungsikan sebagai sumber interupsi. Masing-masing timer/counter ini memiliki register tertentu yang digunakan untuk mengatur mode dan cara kerjanya. Serial Peripheral Interface (SPI) merupakan salah satu mode komunikasi serial synchronous kecepatan tinggi yang dimiliki oleh ATmega8535. Universal Synchronous and Asynchronous Serial Receiver and Transmitter (USART) juga

merupakan salah satu mode komunikasi serial yang dimiliki oleh ATmega8535. USART merupakan komunikasi yang memiliki fleksibilitas tinggi, yang dapat digunakan untuk melakukan transfer data baik antar mikrokontroler maupun dengan modul-modul eksternal termasuk PC yang memiliki fitur UART. USART memungkinkan transmisi data baik secara synchronous maupun asynchronous, sehingga dengan memiliki USART pasti kompatibel dengan UART. Pada ATmega8535, secara umum pengaturan mode synchronous maupun asynchronous adalah sama. Perbedaannya hanyalah terletak pada sumber clock saja. Jika pada mode asynchronous masing-masing peripheral memiliki sumber clock sendiri, maka pada mode synchronous hanya ada satu sumber clock yang digunakan secara bersama-sama. Dengan demikian, secara hardware untuk mode asynchronous hanya membutuhkan 2 pin yaitu TXD dan RXD, sedangkan untuk mode synchronous harus 3 pin yaitu TXD, RXD dan XCK.

2.12 Pin-pin Mikrokontroler ATmega 8535



Gambar 2.10 Konfigurasi pin ATmega8535

(Sumber: Data Sheet AVR)

Konfigurasi pin ATmega8535 dengan kemasan 40 pin DIP (*Dual Inline Package*) dapat dilihat pada gambar 2.4. Dari gambar di atas dapat dijelaskan fungsi dari masing-masing pin Atmega8535 sebagai berikut:

1. VCC merupakan pin yang berfungsi sebagai masukan catu daya.
2. GND merupakan pin Ground.
3. Port A (PortA0...PortA7) merupakan pin input/output dua arah dan pin masukan ADC.
4. Port B (PortB0...PortB7) merupakan pin input/output dua arah dan pin fungsi khusus.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Dalam pencapaian tujuan skripsi ini dibutuhkan metodologi penelitian dalam pelaksanaannya, berikut ini adalah metodologi yang digunakan dalam penelitian:

3.1 Studi Literatur

Studi literatur digunakan untuk mempelajari teori dan ilmu pengetahuan yang berhubungan dengan permasalahan yang akan diteliti. Sumber literatur diperoleh dari buku, jurnal, serta studi terhadap penelitian terdahulu yang terkait dengan topik utama dalam penelitian.

3.2 Perancangan Blok Diagram Sistem

Perancangan blok diagram sistem dibuat berdasarkan sejumlah komponen yang berperan dalam sistem kontrol, yang memuat fungsi operasi matematis dan digambarkan dalam bentuk blok - blok terhadap aliran proses. Yang memiliki tujuan untuk mempermudah peneliti dan pembaca dalam memahami proses serta langkah - langkah sistem pada suatu perancangan.

3.3 Perancangan Sistem

Perancangan Sistem dilakukan sebagai langkah awal sebelum terbentuknya suatu sistem beserta rangkaian elektronik serta pemrogramannya, hal ini dimaksudkan agar sistem pengendalian sudut cermin datar pada *solatube* dapat berjalan sesuai deskripsi awal yang telah direncanakan.

Perancangan sistem yang dilakukan meliputi :

1. Penentuan motor DC yang digunakan pada alat.
2. Penentuan rangkaian elektronik yang digunakan meliputi :
 - a. Rangkaian Mikrokontroler.
 - b. Rangkaian catu daya.
 - c. Rangkaian sensor cahaya.
3. Penentuan spesifikasi sistem, meliputi :

- a. Penentuan deskripsi kerja sistem keseluruhan.
 - b. Kontroler PID serta rangkaian elektronik pendukung.
4. Perancangan program pada *software* CVAVR sebagai pusat pengendali dengan metode PID.

3.4 Realisasi Pembuatan Sistem

Untuk merealisasikan alat yang telah dirancang sebelumnya, tahapan - tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Penyempurnaan konstruksi *solatube*.
2. Pembuatan rangkaian elektronik meliputi rangkaian pengondisi sinyal, rangkaian sensor cahaya, rangkaian catu daya.
3. Pembuatan dan penyelesaian program dengan *software* CVAVR.

3.5 Pengujian dan Analisa Data

Setelah semua komponen pada alat sudah terhubung sesuai dengan diagram blok sistem yang telah dirancang dan program *software* sudah dibuat, maka diadakan pengujian dan analisa alat sebagai berikut :

1. Pengujian setiap blok rangkaian.
2. Kalibrasi pada sensor yang digunakan.
3. Penggabungan semua blok rangkaian menjadi sebuah sistem.
4. Pengujian alat secara keseluruhan.
5. Evaluasi dan analisa pengujian sistem yang didapat.

3.6 Pengambilan Keputusan

Kesimpulan diambil berdasarkan data yang didapat dari hasil pengujian sistem secara keseluruhan. Apabila hasil yang didapatkan sesuai dengan yang direncanakan sebelumnya, maka sistem kendali tersebut telah berhasil memenuhi harapan dan dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya untuk disempurnakan.

BAB IV PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

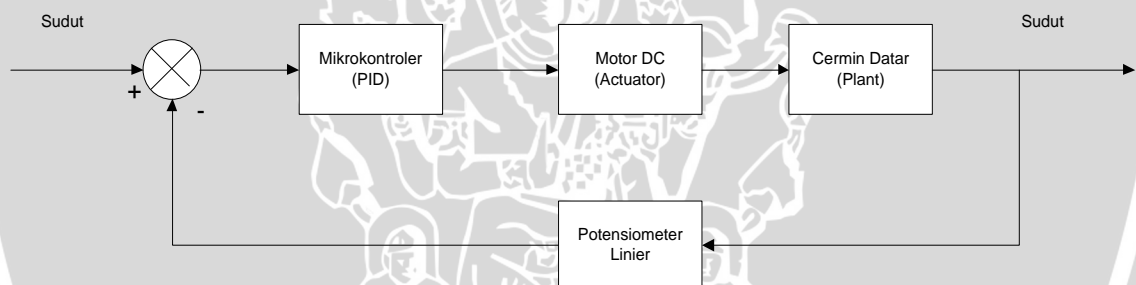
4.1 Perancangan Sistem

Perancangan alat ini dilakukan secara bertahap dalam bentuk blok sehingga akan memudahkan dalam analisis pada setiap bloknnya maupun secara keseluruhan. Perancangan ini terdiri atas:

1. Perancangan perangkat keras terdiri atas perancangan *solatube* dengan cermin datar, rangkaian catu daya, rangkaian motor DC dan sensor cahaya LDR.
2. Perancangan perangkat lunak dan perancangan program menggunakan *software* CVAVR.

4.2 Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem yang dirancang ditunjukkan dalam Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Diagram Blok Sistem (Perancangan)

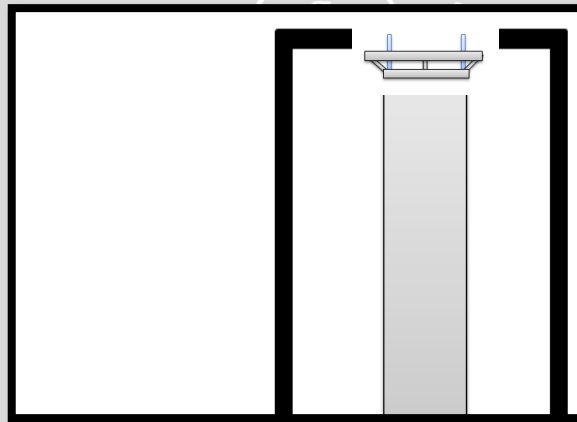
Keterangan dari blok diagram diatas adalah sebagai berikut :

1. *Setpoint* sistem berupa sudut sebesar 0° , 45° , 90° , dan 135° .
2. Pusat pengendalian sistem menggunakan ATmega8535 yang memberikan keluaran berupa sudut.
3. Motor yang digunakan adalah motor DC yang digunakan sebagai *actuator* untuk menggerakkan cermin datar pada *solatube*.
4. Sebagai *feed back* digunakan potensiometer linier untuk membaca sudut apakah sudah tepat atau belum.

4.3 Spesifikasi Alat

Spesifikasi sistem pengendalian sudut cermin datar pada solatube berbasis ATmega 8535 adalah sebagai berikut :

1. *Setpoint* yang sudah ditentukan yakni sudut sebesar 0° , 45° , 90° , dan 135° .
2. Ukuran *solatube*, tinggi 150cm dan diameter 20cm.
3. Ukuran cermin datar, panjang 5cm dan lebar 2,5cm.
4. Sensor yang digunakan adalah sensor LDR dengan *output* sensor berupa tegangan analog 0-5 volt dc.
5. Pengaturan sudut cermin datar ditentukan oleh motor DC yang dimana setiap set point sudut terdapat sensor LDR.
6. Skema perancangan sistem dapat dilihat dalam Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Skema Keseluruhan Sistem (Perancangan)

4.4 Prinsip Kerja Sistem

Cara kerja sistem adalah sebagai berikut :

1. Catu daya sebesar +/- 5 Volt digunakan sebagai catu daya bagi motor DC, dan rangkaian sistem minimum. Catu daya 12 Volt digunakan sebagai catu daya motor pada cermin datar.
2. Port komunikasi antara ATmega8535 dan PC menggunakan perantara kabel USBASP.
3. Menggunakan sensor LDR, sinyal-sinyal keluaran dari sensor yang masih berupa sinyal analog diproses oleh ADC.

4. Sinyal analog yang masuk ke mikrokontroler dikonversi ke dalam bentuk digital dengan resolusi 10 bit untuk kemudian diproses menjadi sinyal kontrol berupa PWM.
5. Motor DC yang menggerakkan cermin datar akan bergerak ke sudut *setpoint* yang ditentukan, setiap masing-masing *setpoint* terdapat satu buah sensor LDR apabila salah satu sensor mendeteksi kuat cahaya terkuat maka cermin akan bergerak ke sudut tersebut.

4.5 Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Berdasarkan diagram blok perancangan alat yang telah disusun, perancangan perangkat keras meliputi perancangan rangkaian sensor cahaya LDR. Di bawah ini adalah penjelasan masing-masing rangkaian penyusun keseluruhan alat.

4.5.1 Sensor Cahaya *Light Dependent Resistor*

Sensor cahaya pada perancangan ini berfungsi sebagai sensor pengukur atau pendeteksi kuat cahaya. Keluaran dari sensor cahaya ini digunakan sebagai masukan untuk perhitungan algoritma PID yang dirancang. Sensor LDR mampu melakukan pembacaan pada rentang 0-5 volt.

4.6 Perancangan Kontroler

4.6.1 Hand Tuning Kontroler PID

Kontroler PID dapat di tuning dalam beberapa cara, antara lain *ziegler-nichols tuning*, *loop shaping*, metode analitis, optimasi, *pole placement*, *auto tuning* dan *hand tuning* (Smith,1997; Astrom & Hagglund,2004). Pada penelitian kali ini digunakan cara *hand tuning* untuk menentukan besar K_p , K_i dan K_d . Ini dilakukan karena ada kendala untuk melakukan cara lain yang disebutkan di atas. Yakni tidak adanya model matematis, sehingga membuat cara analitis sulit untuk dilakukan. Prosedur untuk melakukan tuning adalah sebagai berikut:

1. Melepaskan kontroler integral dan diferensial dengan memberikan nilai $K_i = 0$ dan $K_d = 0$.

2. Mengatur nilai K_p hingga didapatkan respon yang diinginkan, dengan mengabaikan *offset*.
3. Dengan terus menaikkan nilai K_p , nilai dari K_d dinaikkan untuk mengurangi *overshoot* yang terjadi.
4. Naikkan nilai K_i untuk mengurangi *offset*.

Dengan menggunakan metode *hand tuning* nilai parameter PID perlu diubah-ubah secara *trial* dan *error* agar respon yang diperoleh sesuai dengan yang diinginkan.

4.6.2 Tuning Eksperimen

Dalam tuning eksperimen dilakukan dua kali pengujian yaitu untuk menentukan nilai parameter PID dan nilai parameter kontrol proporsional (P). Pengujian pada sistem dengan melihat respon motor sebelum dipasang pada cermin *solatube*, pengujian dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Persiapkan minimum sistem yang telah tersambung dengan sensor LDR, motor DC dan catu daya.
2. Berkas cahaya yang digunakan berasal dari lampu.
3. Menentukan *set point* sistem yakni sudut sebesar 45° .
4. Lakukan pengujian dengan cara menyinari sensor LDR yang berjumlah 8 buah dengan cahaya lampu pada *setpoint* yang ditentukan dari sebelum diberi kontroler sampai dengan telah diberi kontroler PID dan P lalu melihat respon sudut motor DC yang terjadi kemudian dicatat.
5. Hasil dari proses pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Respon Sudut dengan Menambahkan Kontroler K_p

Pengujian Ke-	K_p	K_i	K_d	Respon Sudut Motor DC
1	1	0	0	40°
2	2	0	0	42°
3	3,2	0	0	44°

Pada Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa sesudah diberi nilai K_p sebesar 1, motor bergerak sebesar 40° . Hal tersebut menunjukkan bahwa masih terdapat kesalahan

pada sistem. Tetapi ketika nilai K_p sebesar 3,2 respon motor dapat mendekati *setpoint* yang diinginkan, sehingga respon motor sudah baik.

Pada Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa dari beberapa pengujian dengan menambahkan nilai K_p , respon motor yang paling baik dan mendekati *setpoint* ialah dengan pemberian nilai K_p sebesar 2. Namun motor DC masih belum berhenti pada sudut *setpoint* yang diinginkan, oleh karena itu ditambahkan nilai parameter K_i agar respon motor dapat berhenti pada *setpoint* yang diinginkan. Hasil pengujian dengan menambahkan nilai K_i dapat dilihat pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Respon Motor Dengan Menambahkan Kontroler K_p dan K_i

Pengujian Ke-	K_p	K_i	K_d	Respon Sudut Motor DC
1	2	0	0	42°
2	2	1	0	46°

Hasil pengujian dengan menambahkan nilai K_i dapat dilihat bahwa, motor dapat berhenti pada sudut *setpoint* yang diinginkan. Namun masih terdapat kesalahan, di mana motor DC juga berhenti melebihi dari sudut *setpoint*, sehingga perlu untuk ditambahkan nilai K_d agar motor tepat berhenti pada *setpoint* yang diinginkan.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Respon Motor dengan Menambahkan Kontroler K_p , K_i dan K_d

Pengujian Ke-	K_p	K_i	K_d	Respon Sudut Motor DC
1	2	1	0,5	43°
2	2,4	1,7	0,5	44°

Pada Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa setelah ditambahkan nilai K_d , motor dapat berhenti pada *setpoint* yang diinginkan. Oleh karena itu nilai-nilai parameter yang digunakan pada sistem yaitu $K_p = 2,4$, $K_i = 1,7$ dan $K_d = 0,5$ dan

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Respon Motor dengan Menambahkan Kontroler Kp, Ki dan Kd

Pengujian Ke-	Kp	Ki	Kd	Respon Sudut Motor DC
1	2	1	0,5	43°
2	2,4	1,7	0,5	44°

Tetapi jika menggunakan K saja respon sistem sudah terlihat Pada Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa setelah ditambahkan nilai Kd, motor dapat berhenti pada *setpoint* yang diinginkan. Oleh karena itu nilai-nilai parameter yang digunakan pada sistem yaitu Kp = 2,4, Ki = 1,7 dan Kd = 0,5 dan Kp = 3,2, Ki = 0 dan Kd = 0.

4.6.3 Penerapan Kontroler PID Pada Program

Pada Bab II telah dijelaskan bahwa persamaan dari kontrol PID ialah:

$$m(t) = Kp e(t) + Ki \int_0^t e(t)dt + Kd \frac{de(t)}{dt} \quad (4.1)$$

Atau

$$m(t) = Kp e(t) + \frac{Kp}{Ti} e(t)dt + KpTd \frac{de(t)}{dt} \quad (4.2)$$

Di mana m(t) merupakan sinyal *output* pengendali PID dan e(t) adalah sinyal *error*. Sinyal *error* yang dimaksud ialah nilai referensi (*setpoint*) dikurangi nilai sensor yang terbaca. Untuk persamaan PID no. 4.1 merupakan PID bentuk *independent* dan persamaan no. 4.2 merupakan PID bentuk *dependent*. Pada persamaan no 4.1 dan 4.2 merupakan persamaan dalam kawasan waktu *continuous* (analog). Sedangkan agar persamaan tersebut dapat direalisasikan dalam bentuk pemrograman, maka persamaan tersebut harus didiskretisasi terlebih dahulu (*digitalization*). Untuk kontroler PID diskrit dapat dilihat pada persamaan 4.3 dan 4.4.

$$m(k) = Kp e_k + Ki T \sum_{i=0}^k e_k + \frac{1}{T} Kd(e_k - e_{k-1}) \quad (4.3)$$

$$m(k) = Kp e_k + Ki T [e_0 + e_1 + \dots + e_{k-1} + e_k] + \frac{1}{T} Kd(e_k - e_{k-1}) \quad (4.4)$$

Setelah didapatkan bentuk diskrit dari PID maka dapat kita terapkan pada bahasa pemrograman dengan rumus seperti pada persamaan 4.5.

$$Output = K_p.error + K_i (error + last_error)T_s + \frac{1}{T_s}K_d (error - last_error) \quad (4.5)$$

T_s merupakan waktu *sampling* yakni lamanya waktu yang digunakan untuk mencuplik nilai dari sensor. Nilai dari sensor ini berguna untuk mendapatkan sinyal *error* ($error = setpoint - \text{nilai sensor}$). Di mana waktu *sampling* ini sangat berpengaruh pada kesensitifan sistem yang akan dikontrol.

Sehingga persamaan PID yang diterapkan pada sistem ini ialah:

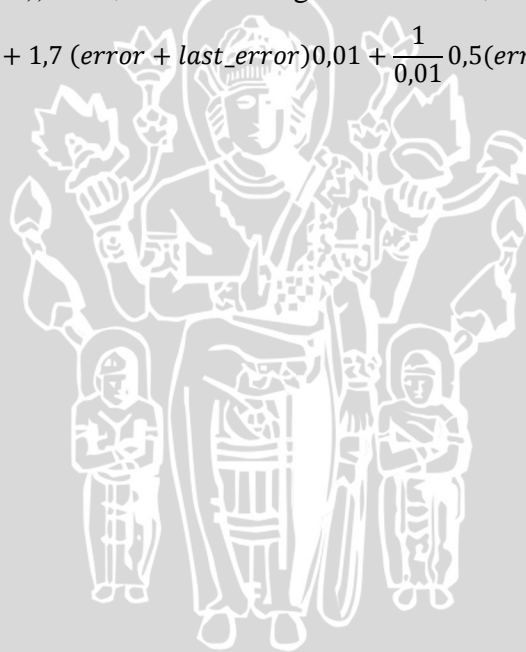
Error = tegangan referensi – tegangan sensor LDR; //Tegangan referensi 3,68 volt

P = 2.4*error; //Nilai tuning Kp sebesar 2.4

I = (1.7*(error + last_err))*0.01; // Nilai tuning Ki sebesar 1,7 dan T_s 0,01 detik

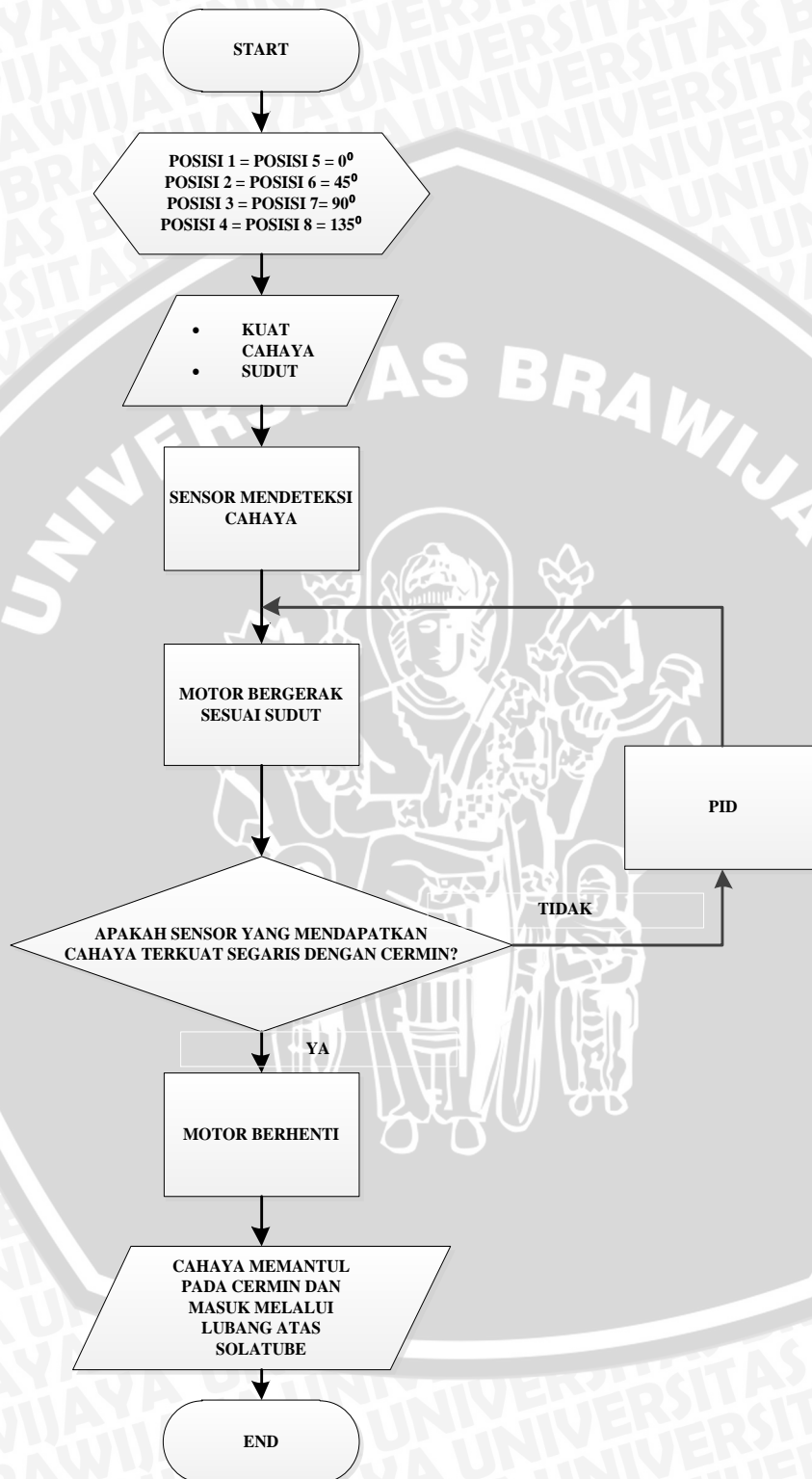
D = (0.5*(error - last_err))/0.01; // Nilai tuning Kd sebesar 0,5 dan T_s 0,01 detik

$$Output = 2,4.error + 1,7 (error + last_error)0,01 + \frac{1}{0,01}0,5(error - last_error)$$



4.7 Perancangan Perangkat Lunak

Flowchart keseluruhan sistem ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Flowchart Keseluruhan Sistem (Perancangan)

BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS

Tujuan pengujian sistem ini adalah untuk menentukan apakah alat yang telah dibuat berfungsi dengan baik dan sesuai dengan perancangan. Pengujian pada sistem ini meliputi pengujian setiap blok maupun pengujian secara keseluruhan. Pengujian setiap blok ini dilakukan untuk menemukan letak kesalahan dan mempermudah analisis pada sistem apabila alat tidak bekerja sesuai dengan perancangan. Pengujian dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu :

1. Pengujian sensor cahaya LDR
2. Pengujian motor DC
3. Pengujian tanpa kontroler
4. Pengujian keseluruhan sistem

5.1. Pengujian Sensor *Light Dependent Resistor*

Dalam pengujian Sensor LDR terdapat beberapa aspek yang harus diperhatikan, antara lain:

a. Tujuan

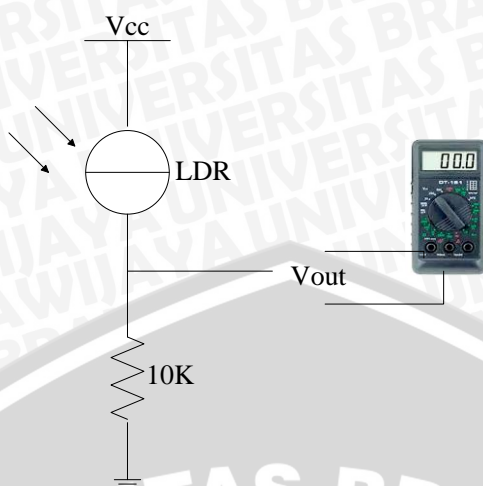
Mengetahui kemampuan atau kinerja dari sensor LDR dan grafik dari perbandingan antara tegangan keluaran dengan resistansi dari sensor LDR.

b. Peralatan yang digunakan

1. Sensor LDR sebanyak 8 buah.
2. Resistor 10K.
3. Multimeter.
4. Luxmeter Krisbow KW06-288.
5. Catu daya 5 volt.

c. Langkah pengujian

1. Merangkai peralatan seperti pada Gambar 5.1
2. Luxmeter sebagai alat ukur untuk mendeteksi besar cahaya dari 0 – 100 lux
3. Mencatat data tegangan keluaran tiap 5 lux dari V_{out} .



Gambar 5.1 Pengujian *Light Dependent Resistor*

d. Hasil Pengujian

Tegangan keluaran dari rangkaian sensor ditulis dalam persamaan

$$V_{output} = \frac{10K}{10K + R_{ldr}} \times V_{input} \dots\dots\dots(5.1)$$

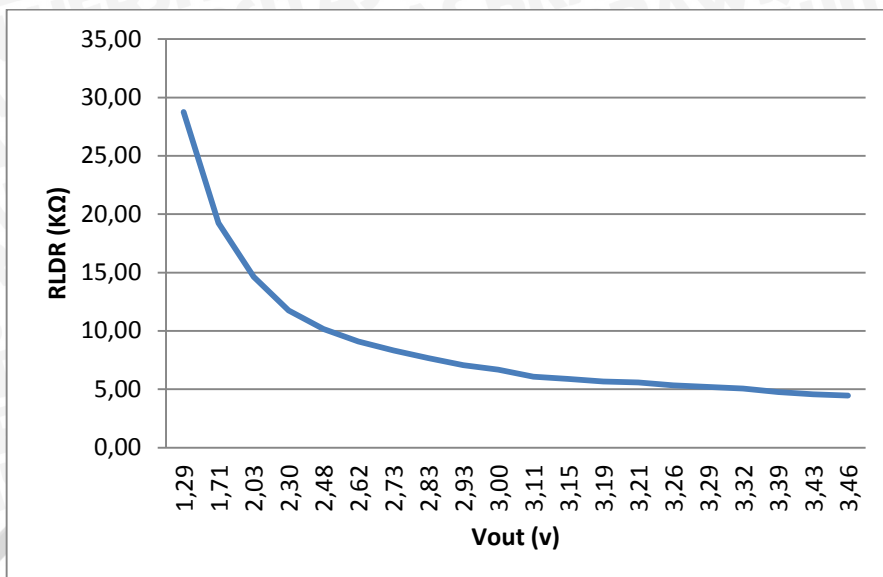
data hasil pengujian sensor LDR 1 ditunjukkan dalam Tabel 5.1 berikut :

Tabel 5.1 Data Hasil Pengujian LDR 1

No	Luxmeter (lux)	Vout (v)	Rldr (KΩ)
1	0	0,00	~
2	5	1,29	28,76
3	10	1,71	19,24
4	15	2,03	14,63
5	20	2,30	11,74
6	25	2,48	10,16
7	30	2,62	9,08
8	35	2,73	8,32
9	40	2,83	7,67
10	45	2,93	7,06
11	50	3,00	6,67
12	55	3,11	6,08
13	60	3,15	5,87
14	65	3,19	5,67
15	70	3,21	5,58
16	75	3,26	5,34
17	80	3,29	5,20
18	85	3,32	5,06
19	90	3,39	4,75
20	95	3,43	4,58
21	100	3,46	4,45

Data dalam Tabel 5.1 merupakan hasil pengujian pada sensor LDR 1, apabila dibuat dalam bentuk grafik maka hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5.2.





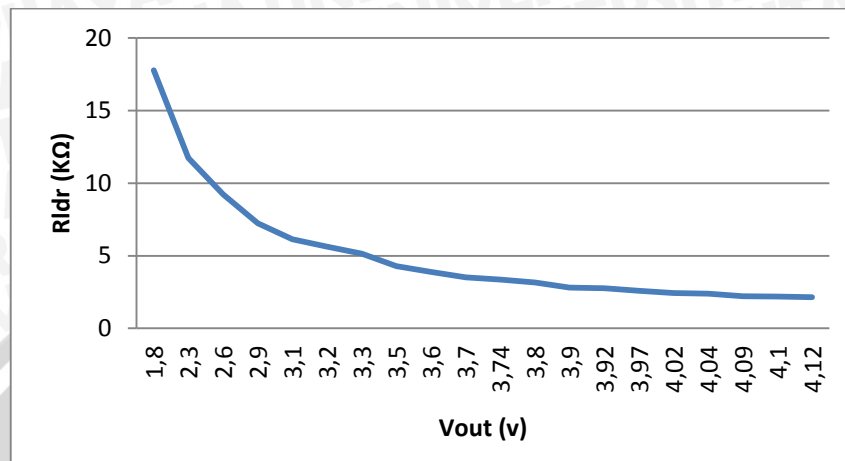
Gambar 5.2 Grafik Hubungan Antara Tegangan Keluaran dengan Resistansi LDR 1.

Pada Gambar 5.2 dapat dilihat bahwa hubungan antara tegangan keluaran sensor dengan resistansinya berbanding terbalik. Oleh karena itu sensor LDR yang digunakan dalam kondisi baik. Kemudian data hasil pengujian sensor LDR 2 ditunjukkan dalam Tabel 5.2 berikut :

Tabel 5.2 Data Hasil Pengujian LDR 2

No	Luxmeter (lux)	Vout (v)	Rldr (KΩ)
1	0	0,00	~
2	5	1,8	17,77
3	10	2,3	11,74
4	15	2,6	9,23
5	20	2,9	7,24
6	25	3,1	6,13
7	30	3,2	5,63
8	35	3,3	5,15
9	40	3,5	4,29
10	45	3,6	3,89
11	50	3,7	3,51
12	55	3,74	3,37
13	60	3,8	3,16
14	65	3,9	2,82
15	70	3,92	2,76
16	75	3,97	2,59
17	80	4,02	2,44
18	85	4,04	2,38
19	90	4,09	2,22
20	95	4,1	2,2
21	100	4,12	2,14

Data dalam Tabel 5.2 merupakan hasil pengujian pada sensor LDR 2, apabila dibuat dalam bentuk grafik maka hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5.3.



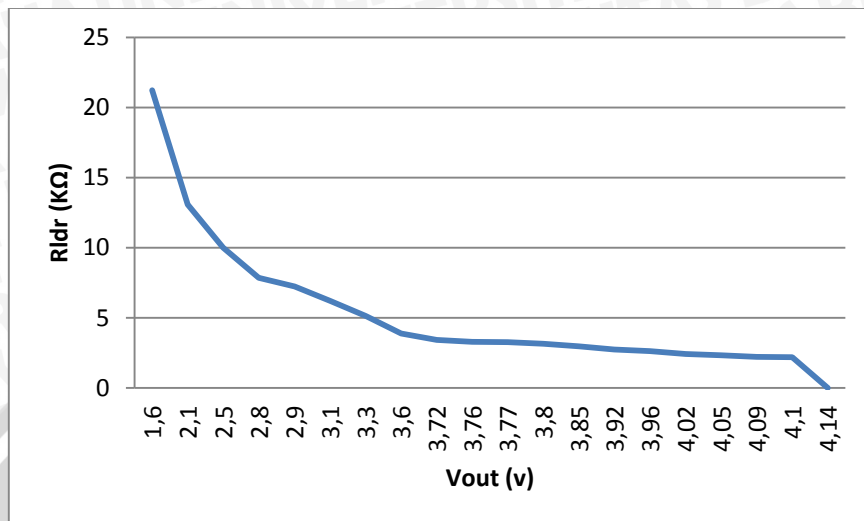
Gambar 5.3 Grafik Hubungan Antara Tegangan Keluaran dengan Resistansi LDR 2

Pada Gambar 5.3 dapat dilihat bahwa hubungan antara tegangan keluaran sensor dengan resistansinya berbanding terbalik. Oleh karena itu sensor LDR yang digunakan dalam kondisi baik. Kemudian data hasil pengujian sensor LDR 3 ditunjukkan dalam Tabel 5.3 berikut :

Tabel 5.3 Data Hasil Pengujian LDR 3

No	Luxmeter (lux)	Vout (v)	Rldr (KΩ)
1	0	0	~
2	5	1,6	21,25
3	10	2,1	13,08
4	15	2,5	10
5	20	2,8	7,85
6	25	2,9	7,24
7	30	3,1	6,21
8	35	3,3	5,15
9	40	3,6	3,88
10	45	3,72	3,44
11	50	3,76	3,29
12	55	3,77	3,26
13	60	3,8	3,15
14	65	3,85	2,98
15	70	3,92	2,75
16	75	3,96	2,62
17	80	4,02	2,43
18	85	4,05	2,34
19	90	4,09	2,22
20	95	4,1	2,19
21	100	4,14	2,07

Data dalam Tabel 5.3 merupakan hasil pengujian pada sensor LDR 3, apabila dibuat dalam bentuk grafik maka hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5.4.



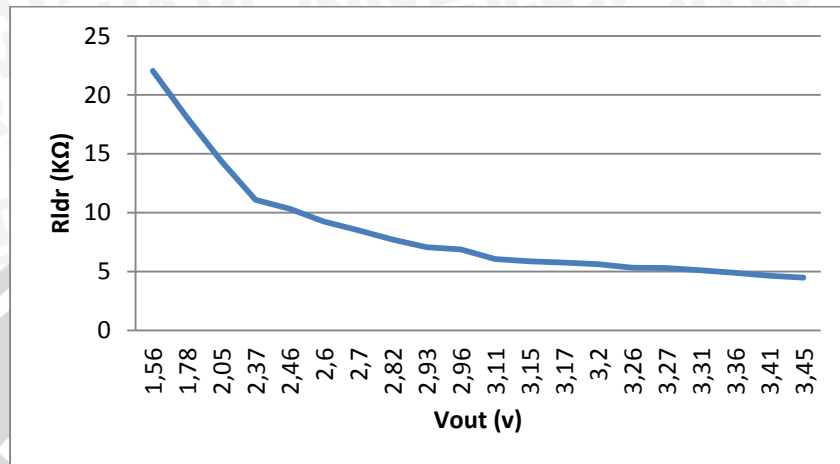
Gambar 5.4 Grafik Hubungan Antara Tegangan Keluaran dengan Resistansi LDR 3

Pada Gambar 5.4 dapat dilihat bahwa hubungan antara tegangan keluaran sensor dengan resistansinya berbanding terbalik. Oleh karena itu sensor LDR yang digunakan dalam kondisi baik. Kemudian data hasil pengujian sensor LDR 4 ditunjukkan dalam Tabel 5.4 berikut :

Tabel 5.4 Data Hasil Pengujian LDR 4

No	Luxmeter (lux)	Vout (v)	Rldr (KΩ)
1	0	0,00	~
2	5	1,56	22,05
3	10	1,78	18,08
4	15	2,05	14,39
5	20	2,37	11,09
6	25	2,46	10,32
7	30	2,6	9,23
8	35	2,7	8,51
9	40	2,82	7,73
10	45	2,93	7,06
11	50	2,96	6,89
12	55	3,11	6,07
13	60	3,15	5,87
14	65	3,17	5,77
15	70	3,2	5,62
16	75	3,26	5,33
17	80	3,27	5,29
18	85	3,31	5,1
19	90	3,36	4,88
20	95	3,41	4,66
21	100	3,45	4,49

Data dalam Tabel 5.4 merupakan hasil pengujian pada sensor LDR 3, apabila dibuat dalam bentuk grafik maka hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5.5.



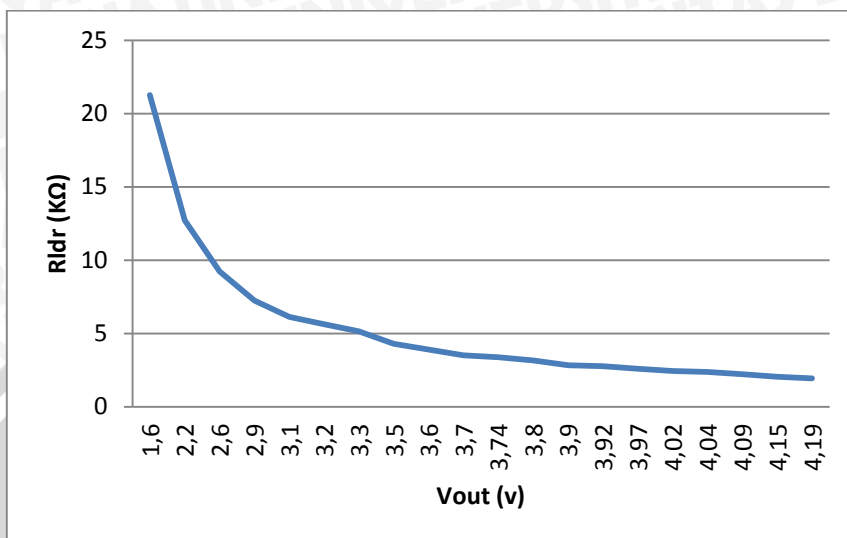
Gambar 5.5 Grafik Hubungan Antara Tegangan Keluaran dengan Resistansi LDR 4

Pada Gambar 5.5 dapat dilihat bahwa hubungan antara tegangan keluaran sensor dengan resistansinya berbanding terbalik. Oleh karena itu sensor LDR yang digunakan dalam kondisi baik. Kemudian data hasil pengujian sensor LDR 5 ditunjukkan dalam Tabel 5.5 berikut :

Tabel 5.5 Data Hasil Pengujian LDR 5

No	Luxmeter (lux)	Vout (v)	Rldr (KΩ)
1	0	0,00	~
2	5	1,6	21,25
3	10	2,2	12,72
4	15	2,6	9,23
5	20	2,9	7,24
6	25	3,1	6,13
7	30	3,2	5,63
8	35	3,3	5,15
9	40	3,5	4,29
10	45	3,6	3,89
11	50	3,7	3,51
12	55	3,74	3,37
13	60	3,8	3,16
14	65	3,9	2,82
15	70	3,92	2,76
16	75	3,97	2,59
17	80	4,02	2,44
18	85	4,04	2,38
19	90	4,09	2,22
20	95	4,15	2,04
21	100	4,19	1,93

Data dalam Tabel 5.5 merupakan hasil pengujian pada sensor LDR 3, apabila dibuat dalam bentuk grafik maka hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5.6.



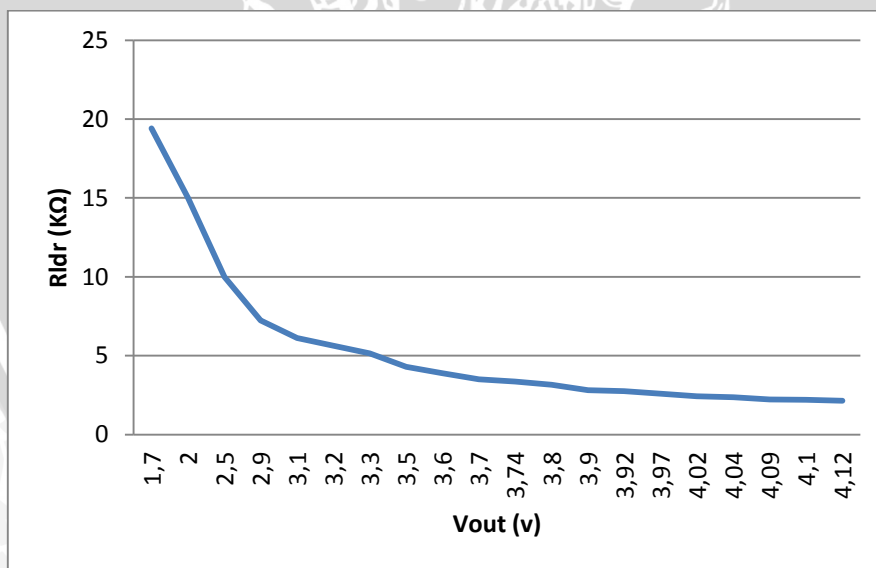
Gambar 5.6 Grafik Hubungan Antara Tegangan Keluaran dengan Resistansi LDR 5

Pada Gambar 5.6 dapat dilihat bahwa hubungan antara tegangan keluaran sensor dengan resistansinya berbanding terbalik. Oleh karena itu sensor LDR yang digunakan dalam kondisi baik. Kemudian data hasil pengujian sensor LDR 6 ditunjukkan dalam Tabel 5.6 berikut :

Tabel 5.6 Data Hasil Pengujian LDR 6

No	Luxmeter (lux)	Vout (v)	Rldr (K Ω)
1	0	0,00	~
2	5	1,7	19,41
3	10	2	15
4	15	2,5	10
5	20	2,9	7,24
6	25	3,1	6,13
7	30	3,2	5,63
8	35	3,3	5,15
9	40	3,5	4,29
10	45	3,6	3,89
11	50	3,7	3,51
12	55	3,74	3,37
13	60	3,8	3,16
14	65	3,9	2,82
15	70	3,92	2,76
16	75	3,97	2,59
17	80	4,02	2,44
18	85	4,04	2,38
19	90	4,09	2,22
20	95	4,1	2,2
21	100	4,12	2,14

Data dalam Tabel 5.6 merupakan hasil pengujian pada sensor LDR 3, apabila dibuat dalam bentuk grafik maka hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5.7.



Gambar 5.7 Grafik Hubungan Antara Tegangan Keluaran dengan Resistansi LDR 6

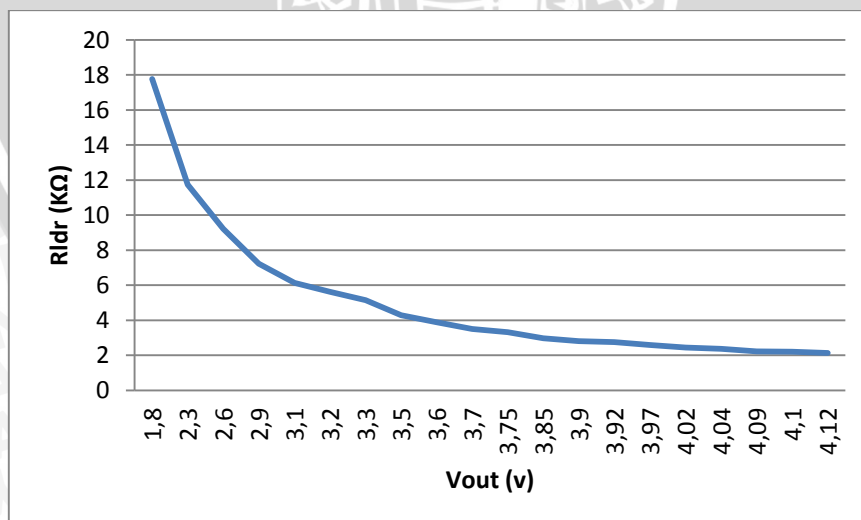
Pada Gambar 5.7 dapat dilihat bahwa hubungan antara tegangan keluaran sensor dengan resistansinya berbanding terbalik. Oleh karena itu sensor LDR yang

digunakan dalam kondisi baik. Kemudian data hasil pengujian sensor LDR 7 ditunjukkan dalam Tabel 5.7 berikut :

Tabel 5.7 Data Hasil Pengujian LDR 7

No	Luxmeter (lux)	Vout (v)	Rldr (K Ω)
1	0	0,00	~
2	5	1,8	17,77
3	10	2,3	11,74
4	15	2,6	9,23
5	20	2,9	7,24
6	25	3,1	6,13
7	30	3,2	5,63
8	35	3,3	5,15
9	40	3,5	4,29
10	45	3,6	3,89
11	50	3,7	3,51
12	55	3,75	3,33
13	60	3,85	2,98
14	65	3,9	2,82
15	70	3,92	2,76
16	75	3,97	2,59
17	80	4,02	2,44
18	85	4,04	2,38
19	90	4,09	2,22
20	95	4,1	2,2
21	100	4,12	2,14

Data dalam Tabel 5.7 merupakan hasil pengujian pada sensor LDR 3, apabila dibuat dalam bentuk grafik maka hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5.8.



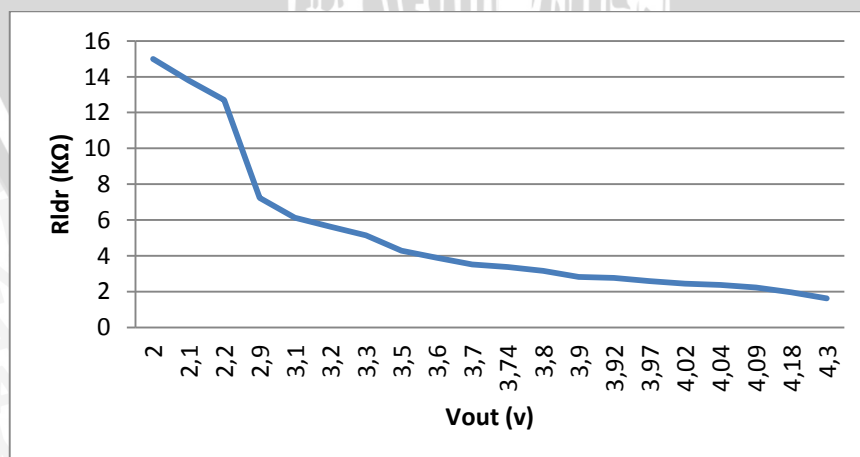
Gambar 5.8 Grafik Hubungan Antara Tegangan Keluaran dengan Resistansi LDR 7

Pada Gambar 5.8 dapat dilihat bahwa hubungan antara tegangan keluaran sensor dengan resistansinya berbanding terbalik. Oleh karena itu sensor LDR yang digunakan dalam kondisi baik. Kemudian data hasil pengujian sensor LDR 8 ditunjukkan dalam Tabel 5.8 berikut :

Tabel 5.8 Data Hasil Pengujian LDR 8

No	Luxmeter (lux)	Vout (v)	Rldr (K Ω)
1	0	0,00	~
2	5	2	15
3	10	2,1	13,8
4	15	2,2	12,7
5	20	2,9	7,24
6	25	3,1	6,13
7	30	3,2	5,63
8	35	3,3	5,15
9	40	3,5	4,29
10	45	3,6	3,89
11	50	3,7	3,51
12	55	3,74	3,37
13	60	3,8	3,16
14	65	3,9	2,82
15	70	3,92	2,76
16	75	3,97	2,59
17	80	4,02	2,44
18	85	4,04	2,38
19	90	4,09	2,22
20	95	4,18	1,96
21	100	4,3	1,62

Data dalam Tabel 5.8 merupakan hasil pengujian pada sensor LDR 8, apabila dibuat dalam bentuk grafik maka hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9 Grafik Hubungan Antara Tegangan Keluaran dengan Resistansi LDR 8



Pada Gambar 5.9 dapat dilihat bahwa hubungan antara tegangan keluaran sensor dengan resistansinya berbanding terbalik. Oleh karena itu sensor LDR yang digunakan dalam kondisi baik.

5.2. Pengujian Motor DC

Dalam pengujian motor DC terdapat beberapa aspek yang harus diperhatikan, antara lain:

a. Tujuan

Mengetahui pengaruh perubahan pulsa PWM terhadap sudut putaran dan *duty cycle* pada motor DC DC.

b. Peralatan yang digunakan

1. Motor DC DC HS 5685MH
2. Busur 360°
3. Mikrokontroler ATmega8535
4. Komputer

c. Langkah pengujian

1. Menghubungkan input motor DC dengan output ATmega8535.
2. Mengisi mikrokontroler dengan program yang mengeluarkan data keluaran biner.
3. Mengaktifkan catu daya 5 volt dan 12 volt.
4. Memberikan nilai pulsa PWM.
5. Mengamati dan mengukur besar sudut putaran sudut motor DC dengan menggunakan busur.
6. Mengamati dan mencatat *duty cycle* PWM.

d. Hasil pengujian

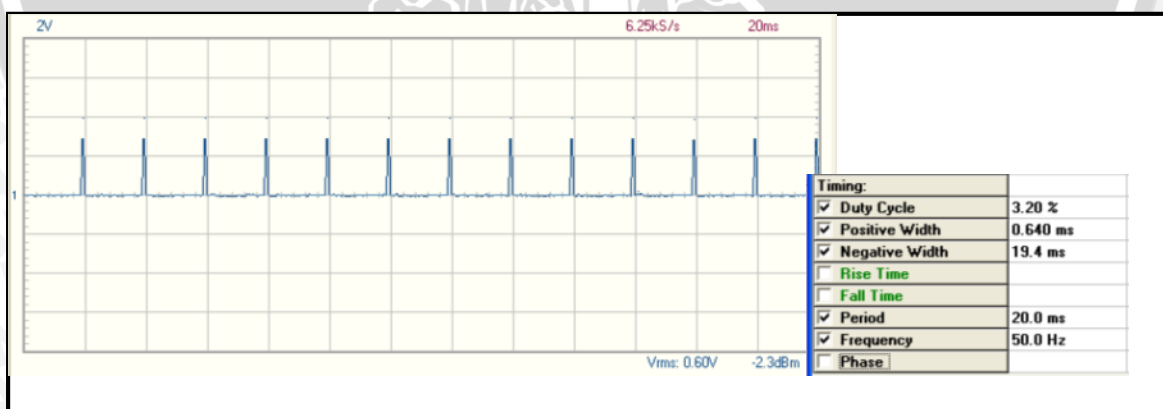
Hasil pengujian motor DC DC ditunjukkan dalam Tabel 5.9 dan Gambar 5.10-5.14. Gambar 5.10-5.14 merupakan hasil pengujian menggunakan *software* PC-Lab dengan *mode* tampilan *waveform parameter*. Pada Tabel 5.9 terdapat data *duty cycle* perhitungan yang diperoleh dari persamaan 5.2

$$Duty\ cycle\ (\%) = \frac{pulse\ (\mu s)}{20.000\mu s} \times 100\% \dots\dots\dots(5.2)$$

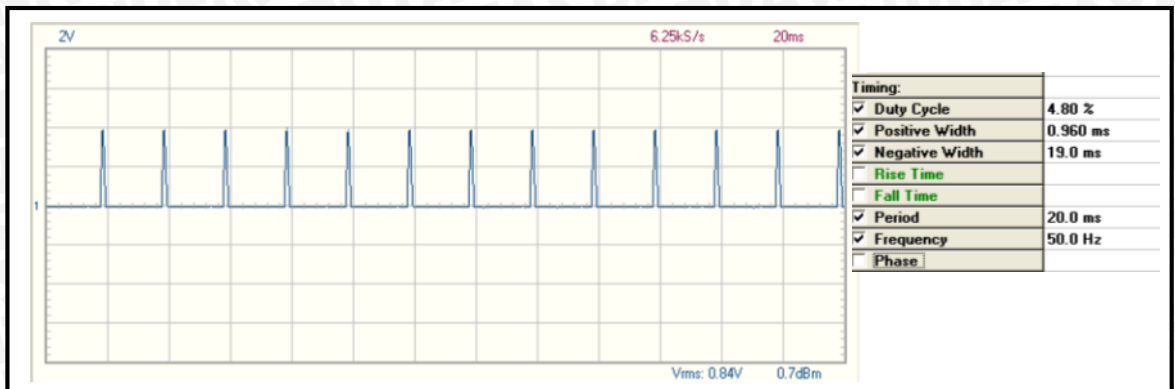


Tabel 5.9 Hasil Pengujian Motor DC

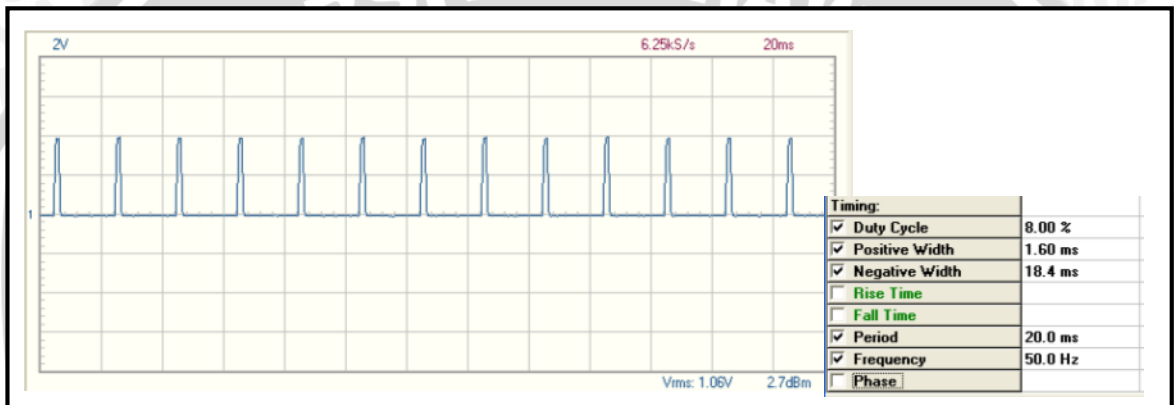
Pulse (µs)	Sudut DC DC (°)	Duty cycle pengujian (%)	Duty cycle perhitungan (%)
500	0	3,2	2,5
600	10	3,2	3
700	25	4	3,5
800	35	4	4
900	47,5	4,8	4,5
1000	57,5	4,8	5
1100	70	5,6	5,5
1200	82,5	6,4	6
1300	90	6,4	6,5
1400	100,5	7,2	7
1500	110	8	7,5
1600	120	8,8	8
1700	132,5	8,8	8,5
1800	145	9,6	9
1900	157,5	9,6	9,5
2000	167,5	10,4	10
2100	180	11,2	10,5
2200	190	11,2	11
2300	197,5	12	11,5
2400	210	12	12
2500	215	12,8	12,5



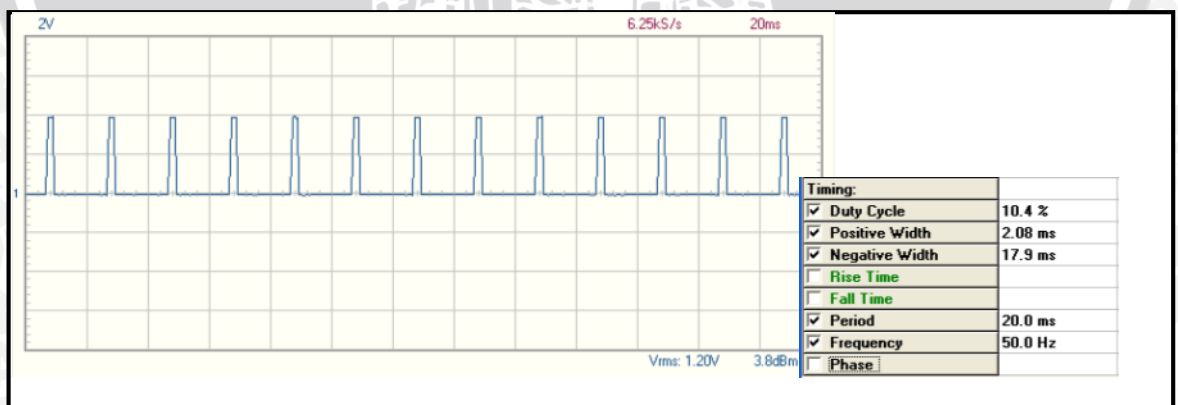
Gambar 5.10 Sinyal Input PWM dengan Pulse 500 µs



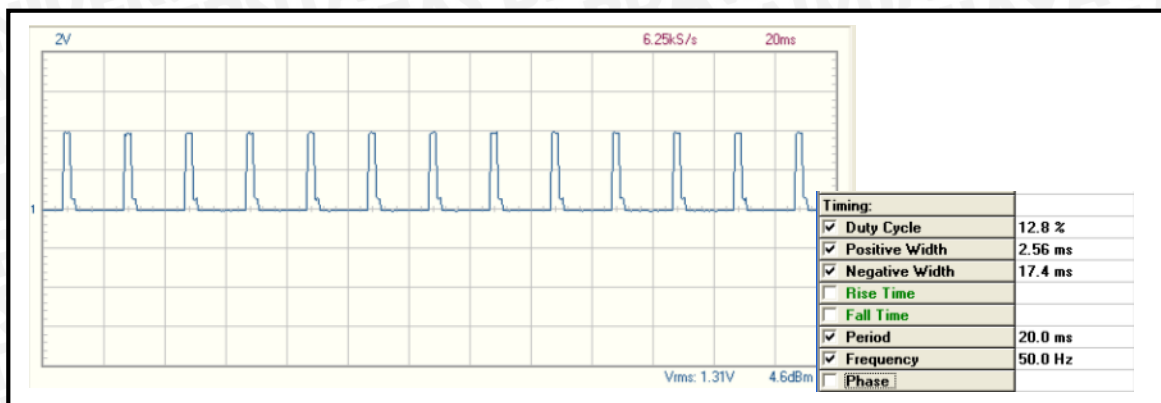
Gambar 5.11 Sinyal *Input* PWM dengan *Pulse* 1000 μ s



Gambar 5.12 Sinyal *Input* PWM dengan *Pulse* 1500 μ s

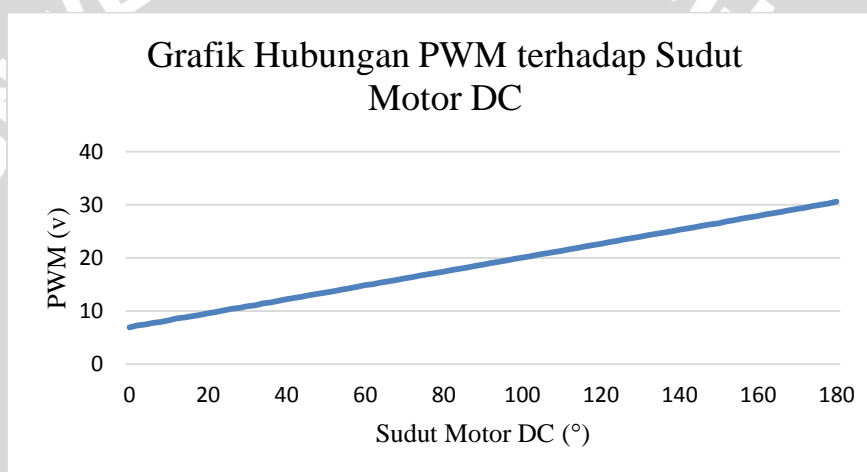


Gambar 5.13 Sinyal *Input* PWM dengan *Pulse* 2000 μ s



Gambar 5.14 Sinyal Input PWM dengan Pulse 2500 μ s

Berikut adalah grafik hubungan PWM terhadap sudut motor DC dapat dilihat pada Gambar 5.15.



Gambar 5.15 Grafik Hubungan PWM terhadap Sudut Motor DC

Tabel 5.10 Hasil Pengujian Sudut Motor DC

No	Duty Cycle	PWM	Sudut DC
1	2,72%	6,94	0°
2	4,28%	10,92	30°
3	5,08%	12,95	45°
4	5,83%	14,87	60°
5	7,35%	18,74	90°
6	9,67%	24,66	135°
7	10,40%	26,52	150°
8	12,0%	30,6	180°

Berdasarkan grafik dalam Gambar 5.15 terlihat bahwa semakin lebar pulsa PWM maka sudut putaran motor DC juga akan semakin besar karena terjadi peningkatan pula pada *duty cycle*.

5.3. Pengujian Sistem Keseluruhan Tanpa Kontroler

Dalam pengujian sistem tanpa kontroler ini terdapat beberapa aspek yang harus diperhatikan, antara lain :

a. Tujuan

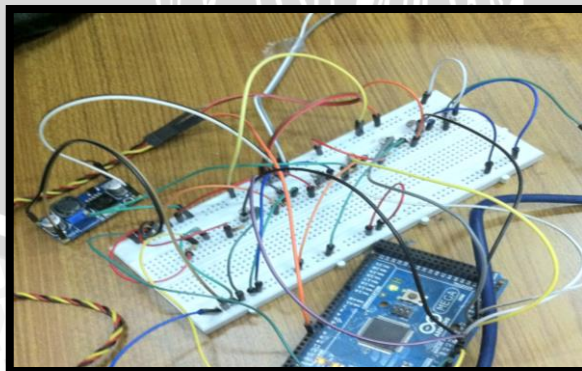
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana respon sistem terhadap *setpoint* ketika tanpa menggunakan kontroler, sehingga dapat ditentukan bahwa sistem memerlukan sebuah sistem pengontrolan.

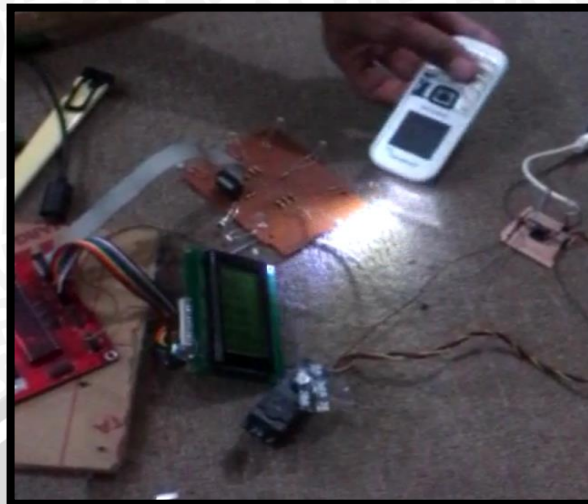
b. Peralatan yang digunakan

1. Solatube dengan cermin datar
2. Mikrokontroler Atmega8535
3. Motor DC
4. Komputer
5. Program dan software CVAVR

c. Langkah Pengujian

Pada pengujian sistem ini dilakukan pengujian sebanyak 2 kali melihat respon sistem dengan cara menerangi sensor cahaya LDR yang ada diposisi *setpoint* yang sudah ditentukan, penyusunannya seperti yang ditunjukkan Gambar 5.16

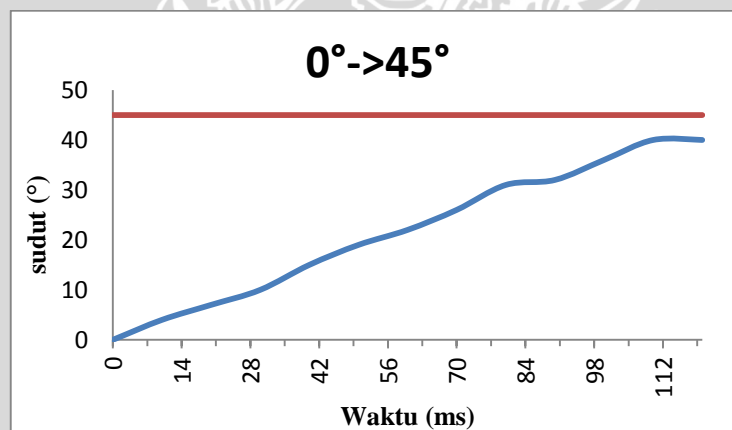




Gambar 5.16 Pengujian Rangkaian Sistem

d. Hasil Pengujian

Setelah melakukan prosedur pengujian, didapatkan data hasil pengujian sistem keseluruhan tanpa kontroler dengan *setpoint* 45° saat sensor LDR dikenai cahaya (0° menuju 45°). Grafik respon dengan *setpoint* sudut 45° (0° menuju 45°) ditunjukkan dalam Gambar 5.17



Gambar 5.17 Grafik Respon Sistem Keseluruhan tanpa Kontroler dengan *Setpoint* Sudut 45° (0° menuju 45°)

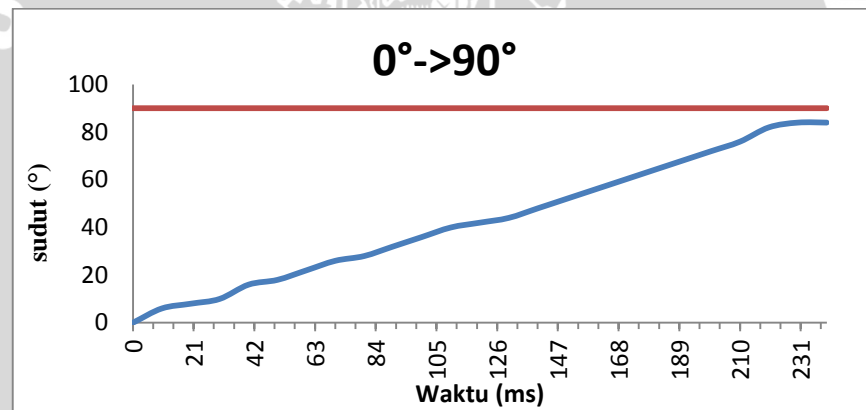
Dalam keadaan *steady*, sistem dapat stabil tanpa terjadi osilasi. Namun masih terdapat error pada sistem :

$$\begin{aligned}
 \% \text{ error steady state} &= \frac{|PV - SP|}{SP} \times 100\% \\
 &= \frac{|40 - 45|}{45} \times 100\% \\
 &= 0.111 \times 100\% \\
 &= 11.11\%
 \end{aligned}$$

Keterangan: SP = *Setpoint* (masukan)

PV = *Preset value* (keluaran sensor)

Kemudian melakukan pengujian kedua, didapatkan data hasil pengujian sistem keseluruhan tanpa kontroler dengan *setpoint* 90° saat sensor LDR dikenai cahaya (0° menuju 90°). Grafik respon dengan *setpoint* sudut 90° (0° menuju 90°) ditunjukkan dalam Gambar 5.18.



Gambar 5.18 Grafik Respon Sistem Keseluruhan tanpa kontroler dengan *Setpoint* sudut 90° (0° menuju 90°)

Dalam keadaan *steady*, sistem dapat stabil tanpa terjadi osilasi. Namun masih terdapat error pada sistem :

$$\begin{aligned}
 \% \text{ error steady state} &= \frac{|PV - SP|}{SP} \times 100\% \\
 &= \frac{|84 - 90|}{90} \times 100\% \\
 &= 0.666 \times 100\% \\
 &= 6.66\%
 \end{aligned}$$

Dari seluruh pengujian keseluruhan sistem tanpa kontroler di atas, dapat dibuat table 5.11 hasilnya di bawah ini.

Tabel 5.11 Hasil dari 2 Pengujian

No.	Setpoint	Setting time (ts)	Error
1.	45°	98 ms	11,1%
2.	90°	216 ms	6.66%

Berdasarkan tabel di atas, *error* rata-rata sebesar 8.88%. Dikarenakan *error*-nya di atas 5% maka tidak termasuk dalam toleransi *error steady state* (ess). Oleh karena itu dibutuhkan kontroler agar *error* lebih kecil.

5.6. Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Dalam pengujian sistem dengan kontroler ini terdapat beberapa aspek yang harus diperhatikan, antara lain:

a. Tujuan

Pengujian dilakukan untuk mengetahui bagaimana respon keseluruhan sistem pengendalian sudut cermin datar pada *solatube* dapat bekerja dengan baik sesuai dengan *setpoint* yang diharapkan dengan parameter PID yang dicari menggunakan *hand tuning*, dimana nilai $K_p = 2,4$, $K_i = 1,7$ dan $K_d = 0,5$.

b. Peralatan Pengujian

1. *Solatube* dengan cermin datar
2. Mikrokontroler Arduino Mega
3. Motor DC
4. Potensiometer Linier
5. Catu Daya 12V
6. Komputer
7. Program dan software Arduino 1.0.6.

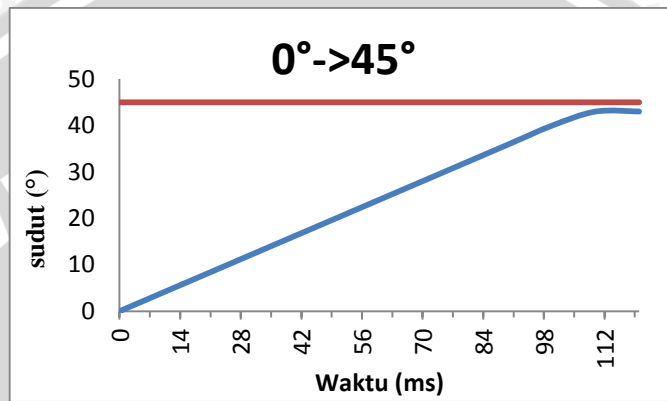
c. Langkah Pengujian

Pada pengujian sistem ini dilakukan pengujian sebanyak 4 kali melihat respon sistem dengan cara menerangi sensor cahaya LDR yang ada diposisi *setpoint* yang sudah ditentukan.

d. Hasil Pengujian

Setelah melakukan prosedur pengujian, didapatkan hasil respon keluaran sistem dengan *setpoint* berbeda.

1. Pengujian saat sensor LDR yang ada diposisi *setpoint* sudut 45° dikenai cahaya. (0° menuju 45°). Grafik respon dengan *setpoint* sudut 45° (0° menuju 45°) ditunjukkan dalam Gambar 5.19



Gambar 5.19 Grafik Respon Sistem Keseluruhan Menggunakan PID dengan *Setpoint* Sudut 45° (0° menuju 45°)

Dalam keadaan *steady*, sistem dapat stabil tanpa terjadi osilasi. Namun masih terdapat error pada sistem :

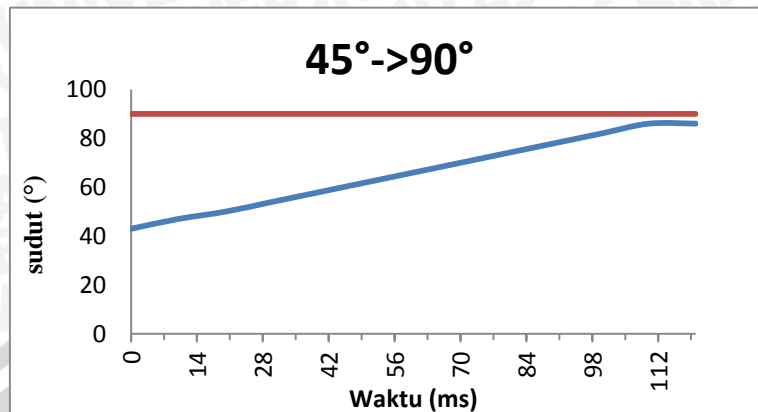
$$\begin{aligned}
 \% \text{ error steady state} &= \frac{|PV - SP|}{SP} \times 100\% \\
 &= \frac{|43 - 45|}{45} \times 100\% \\
 &= 0.0444 \times 100\% \\
 &= 4.44\%
 \end{aligned}$$

Keterangan: SP = *Setpoint* (masukan)

PV = *Preset value* (keluaran sensor)

2. Pengujian saat sensor LDR yang ada diposisi *setpoint* sudut 90° dikenai cahaya. (45° menuju 90°). Grafik respon dengan *setpoint* sudut 90° (45° menuju 90°) ditunjukkan dalam Gambar 5.20





Gambar 5.20 Grafik Respon Sistem Keseluruhan menggunakan PID dengan *Setpoint* sudut 90° (45° menuju 90°)

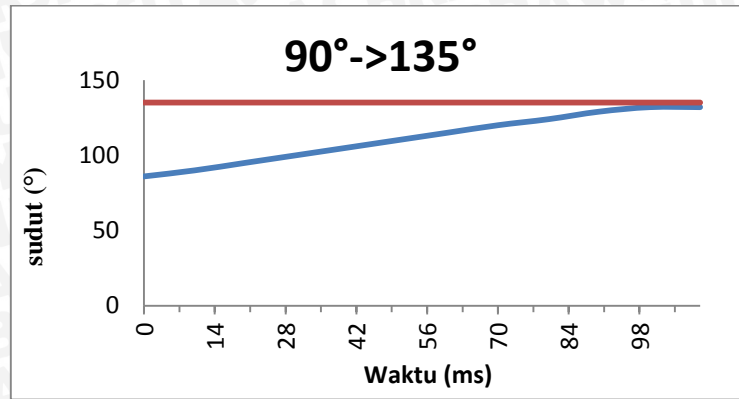
Dalam keadaan *steady*, sistem dapat stabil tanpa terjadi osilasi. Namun masih terdapat error pada sistem :

$$\begin{aligned}
 \% \text{ error steady state} &= \frac{|PV - SP|}{SP} \times 100\% \\
 &= \frac{|86 - 90|}{90} \times 100\% \\
 &= 0.0444 \times 100\% \\
 &= 4.44\%
 \end{aligned}$$

Keterangan: SP = *Setpoint* (masukan)

PV = *Preset value* (keluaran sensor)

3. Pengujian saat sensor LDR yang ada diposisi *setpoint* sudut 135° dikenai cahaya. (90° menuju 135°). Grafik respon dengan *setpoint* sudut 135° (90° menuju 135°) ditunjukkan dalam Gambar 5.21



Gambar 5.21 Grafik Respon Sistem Keseluruhan menggunakan PID dengan *Setpoint* sudut 135° (90° menuju 135°)

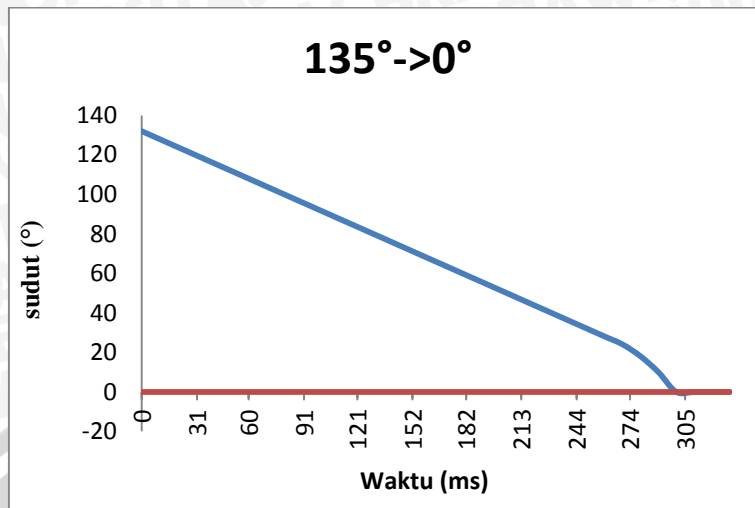
Dalam keadaan *steady*, sistem dapat stabil tanpa terjadi osilasi. Namun masih terdapat error pada sistem :

$$\begin{aligned}
 \% \text{ error steady state} &= \frac{|PV - SP|}{SP} \times 100\% \\
 &= \frac{|132 - 135|}{135} \times 100\% \\
 &= 0.0222 \times 100\% \\
 &= 2.22\%
 \end{aligned}$$

Keterangan: SP = *Setpoint* (masukan)

PV = *Preset value* (keluaran sensor)

4. Pengujian saat sensor LDR yang ada diposisi *setpoint* sudut 0° dikenai cahaya. (135° menuju 0°). Grafik respon dengan *setpoint* sudut 0° (135° menuju 0°) ditunjukkan dalam Gambar 5.22



Gambar 5.22 Grafik Respon Sistem Keseluruhan menggunakan PID dengan *Setpoint* sudut 0° (135° menuju 0°)

Dalam keadaan *steady*, sistem dapat stabil tanpa terjadi osilasi. Namun masih terdapat error pada sistem :

$$\begin{aligned}
 \% \text{ error steady state} &= \frac{|PV - SP|}{SP} \times 100\% \\
 &= \frac{|0 - 0|}{0} \times 100\% \\
 &= 0 \times 100\% \\
 &= 0\%
 \end{aligned}$$

Keterangan: SP = *Setpoint* (masukan)
 PV = *Preset value* (keluaran sensor)

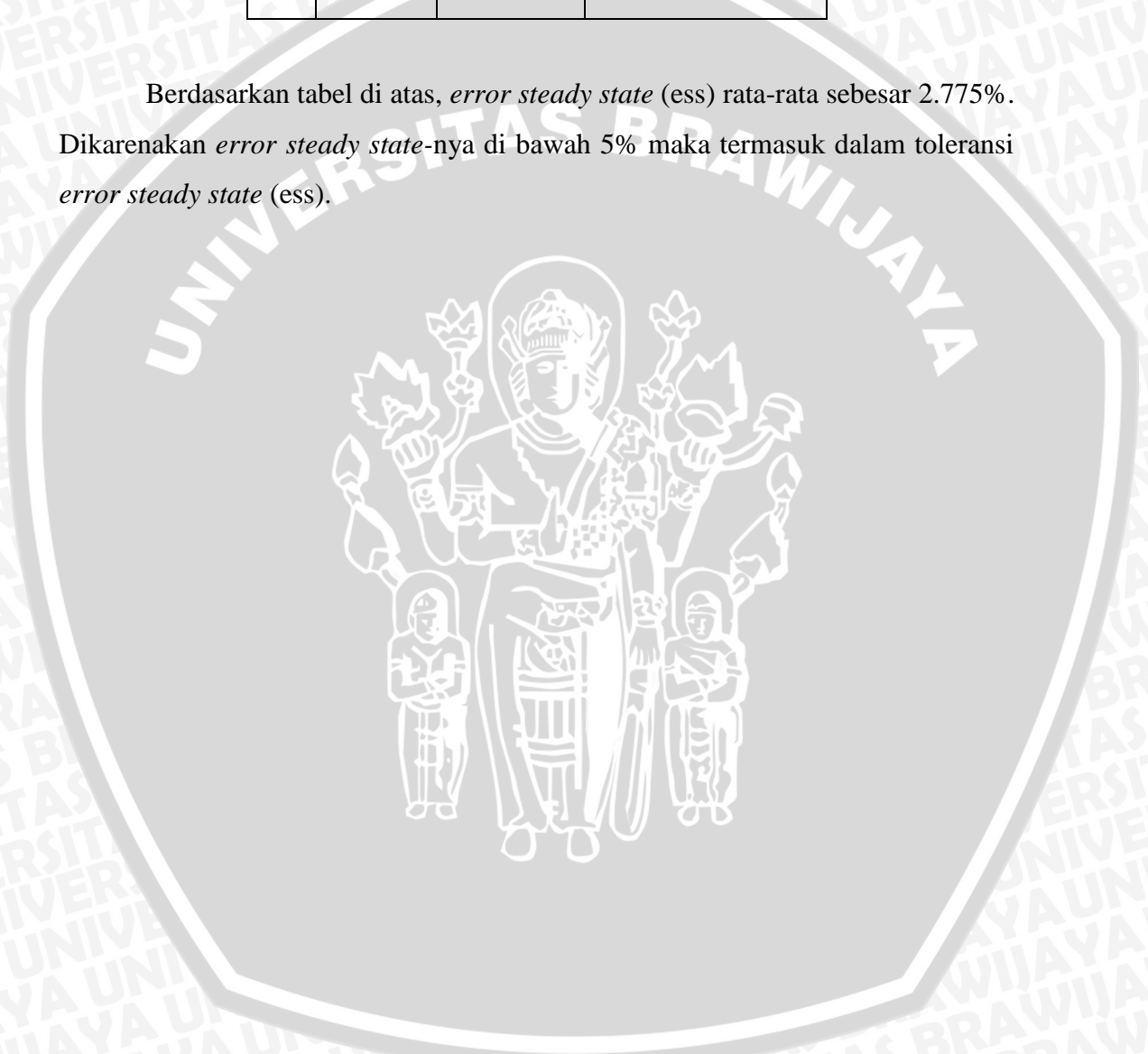
Dari seluruh pengujian keseluruhan sistem di atas, dapat dibuat tabel hasilnya di bawah ini.

Tabel 5.12 Hasil dari 4 Pengujian

No.	Setpoint	Setting time (ts)	(Ess) Error Steady State
1.	0°	300 ms	0%
2.	45°	103 ms	4.44%
3.	90°	105 ms	4.44%
4.	135°	96 ms	2.22%

Berdasarkan tabel di atas, *error steady state* (ess) rata-rata sebesar 2.775%.

Dikarenakan *error steady state*-nya di bawah 5% maka termasuk dalam toleransi *error steady state* (ess).



BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Dari hasil perancangan dan pengujian alat yang telah dilakukan, maka didapatkan:

1. Alat yang dirancang sudah sesuai dengan yang diharapkan, di mana cermin *solatube* dapat bergerak sesuai dengan sudut yang ditentukan melalui pendektasian cahaya terkuat oleh sensor LDR.
2. Dengan menggunakan metode *hand tuning* untuk menentukan nilai parameter kontroler PID, maka didapatkan parameter yang terbaik yaitu $K_p = 2,4$, $K_i = 1,7$, $K_d = 0,5$ atau $K_p=3,2$, $K_i=0$, $K_d=0$.
3. Setelah diimplementasikan, sistem dapat berjalan sesuai dengan yang diharapkan. Dengan rata-rata %Ess kurang dari 5% dan *settling time* rata-rata sebesar 100 ms kecuali saat pengujian keempat yaitu *setting time* sebesar 300 ms.

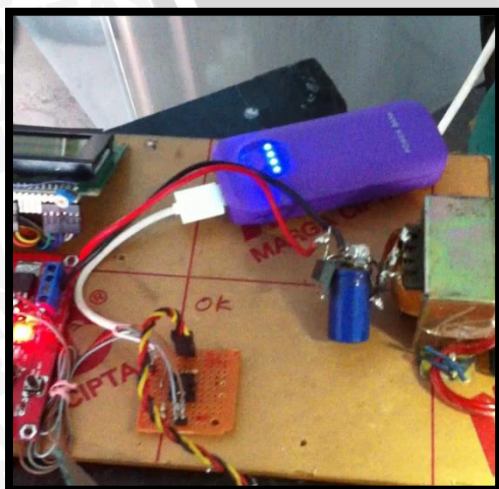
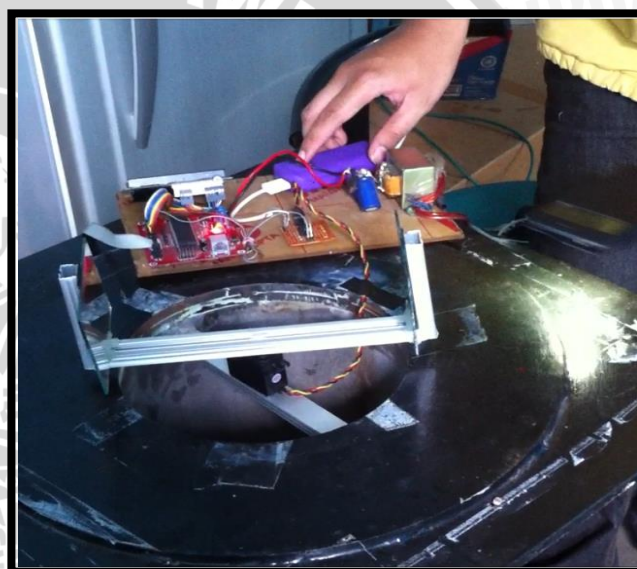
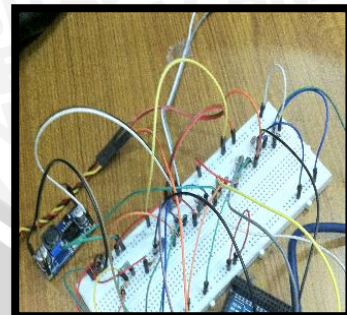
6.2 Saran

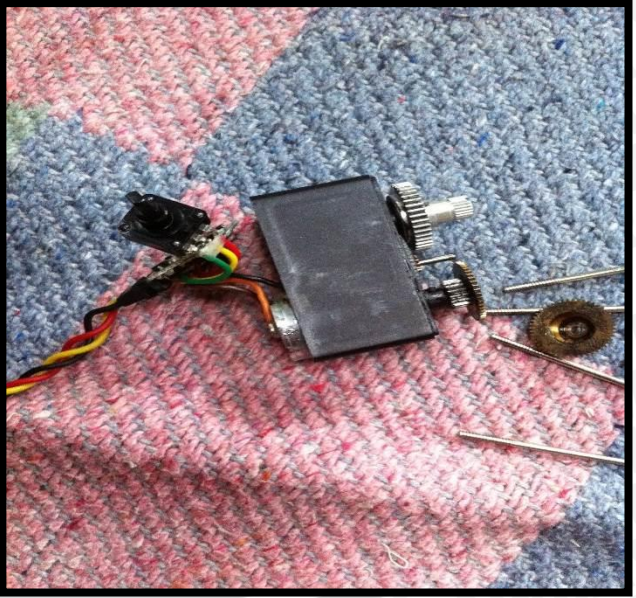
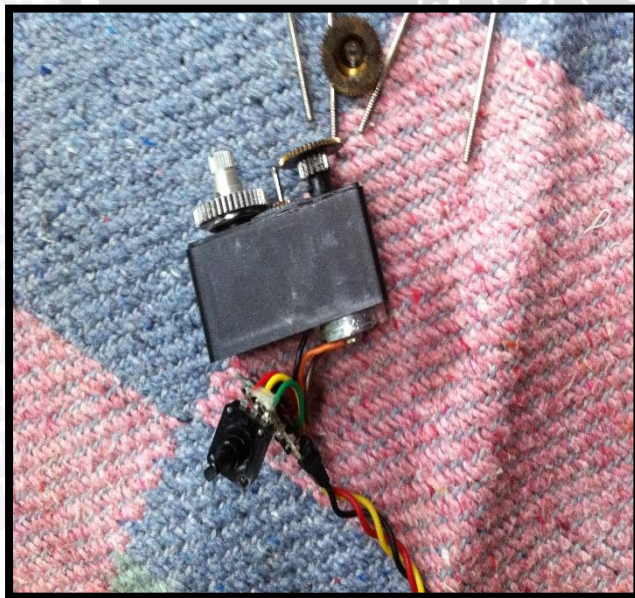
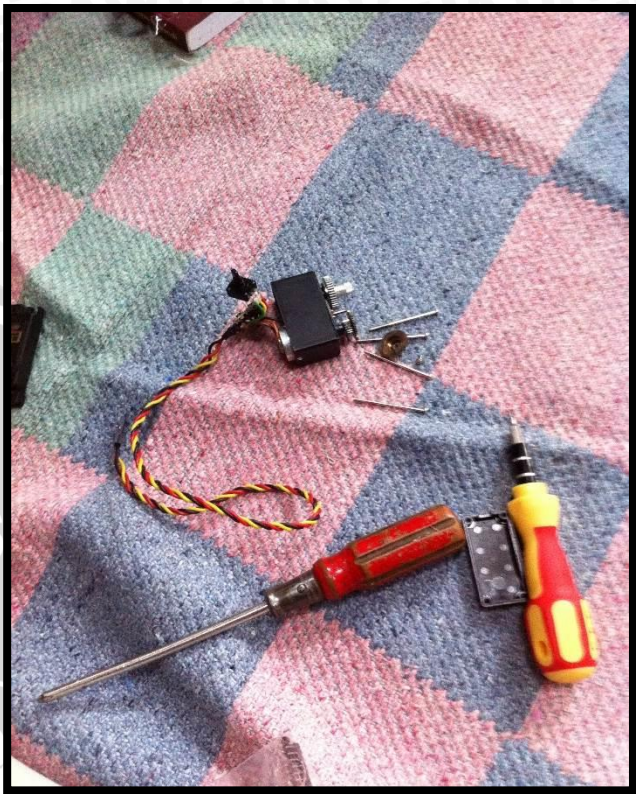
Disarankan untuk menggunakan sensor cahaya yang memiliki kualitas yang lebih baik dan mekanik yang lebih sempurna. Serta dalam mengembangkan skripsi ini dapat ditambahkan jumlah sensor agar sudut DC semakin kecil sehingga pencarian cahaya terkuat dapat lebih mudah. Disarankan melakukan penelitian terhadap pengontrolan posisi sudut dengan menggunakan metode proporsional saja.

DAFTAR PUSTAKA

- Ogata, Katsuhiko. 1997. *Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan)*. Jakarta: Erlangga.
- Pitawarno, Endra. 2006. *Desain Kontrol dan Kecerdasan Buatan*. Yogyakarta : CV Andi Offset
- Mintorogo, DS. 1999. *Strategy Daylighting pada Bangunan Multi-lantai di Atas dan di Bawah Permukaan Tanah*. Jurnal Dimensi Teknik Arsitektur, Volume 27 No. 1 Juli 1999 Halaman 64-75. Surabaya: Jurusan Teknik Arsitektur – Universitas Kristen Petra
- Muhaimin. 2001. *Teknologi Pencahayaan*. Bandung : Refika Aditama.
- Curtis D., Dohnson. 1997. *Process Control Instrumentation Technology Fifth Edition*. New York: Prentice-Hall, Inc.
- Darmasetiawan, C, and Puspakesuma, L. 1991. *Teknik Pencahayaan dan Tata Letak Lampu*. Jakarta : Gramedia
- Winoto, Ardi. 2008. *Mikrokontroler AVR ATmega8/32/16/8535 dan Pemrograman dengan Bahasa C pada WinAVR*. Bandung : Gramedia
- Kementerian Negara Riset dan Teknologi Republik Indonesia. 2006. “ *INDONESIA 2005 – 2025 BUKU PUTIH Penelitian Pengembangan dan Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi* ”. Jakarta
- Ardiyanto, Herdianto. 2013. *Perancangan Sistem Pencahayaan Untuk Penghematan Energi Listrik Di Ruang Kelas P-105 Teknik Fisika-ITS Hal 1*

LAMPIRAN 1. GAMBAR ALAT





LAMPIRAN 2. PROGRAM SISTEM

/******

This program was produced by the
CodeWizardAVR V2.03.4 Standard
Automatic Program Generator
© Copyright 1998-2008 Pavel Haiduc, HP InfoTech s.r.l.
<http://www.hpinfotech.com>

Project :

Version :

Date : 31/01/2013

Author :

Company :

Comments:

Chip type : ATmega8535

Program type : Application

Clock frequency : 11,059200 MHz

Memory model : Small

External RAM size : 0

Data Stack size : 128

*****/

```
#include <mega8535.h>
```

```
#include <stdio.h>
```

```
#include <delay.h>
```

```
/*adc data*/
```

```
int delta[9],min1,min2,nilai1,nilai2,i;
```

```
/*unsigned char data;*/
```



```
int x ;
unsigned int servo0;
interrupt [TIM0_OVF] void timer0_ovf_isr(void)
{
    x++;
    if (x>=900){x=0;}
    else{
        //-----//
        if (x<=servo0){PORTD.1=0;} else {PORTD.1=1;}
    }
}
//-----//

int z,l,k;
char x1data[8];
void lcdkuloh();
void lcdkuloh1();
char u;
unsigned int adc_data;
#define ADC_VREF_TYPE 0x40
// ADC interrupt service routine
interrupt [ADC_INT] void adc_isr(void)
{
    // Read the AD conversion result
    adc_data=ADCW;
}

// Read the AD conversion result
// with noise canceling
unsigned int read_adc(unsigned char adc_input)
{
    ADMUX=adc_input | (ADC_VREF_TYPE & 0xff);
```

```
// Delay needed for the stabilization of the ADC input voltage
```

```
delay_us(10);
```

```
#asm
```

```
in r30,mcucr
```

```
cbr r30,__sm_mask
```

```
sbr r30,__se_bit | __sm_adc_noise_red
```

```
out mcucr,r30
```

```
sleep
```

```
cbr r30,__se_bit
```

```
out mcucr,r30
```

```
#endasm
```

```
return adc_data;
```

```
}
```

```
// Alphanumeric LCD Module functions
```

```
#asm
```

```
.equ __lcd_port=0x18 ;PORTB
```

```
#endasm
```

```
#include <lcd.h>
```

```
void main(void)
```

```
{
```

```
// Declare your local variables here
```

```
PORTA=0x00;
```

```
DDRA=0x00;
```

```
PORTB=0x00;
```

```
DDRB=0x00;
```

```
PORTC=0x00;
```

```
DDRC=0xFF;
```



```
PORTD=0x00;
DDRD=0xFF;

TCCR0=0x01;
TCNT0=0x00;
OCR0=0x00;
TCCR1A=0x00;
TCCR1B=0x00;
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;
ICR1H=0x00;
ICR1L=0x00;
OCR1AH=0x00;
OCR1AL=0x00;
OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x00;
ASSR=0x00;
TCCR2=0x00;
TCNT2=0x00;
OCR2=0x00;
MCUCR=0x00;
MCUCSR=0x00;
TIMSK=0x01;
ACSR=0x80;
SFIOR=0x00;
```

```
// ADC initialization
```

```
// ADC Clock frequency: 86.400 kHz
```

```
// ADC Voltage Reference: AVCC pin
```

```
// ADC High Speed Mode: On
```

```
// ADC Auto Trigger Source: None
```



```
ADMUX=ADC_VREF_TYPE & 0xff;
```

```
ADCSRA=0x8F;
```

```
SFIOR&=0xEF;
```

```
SFIOR|=0x10;
```

```
// LCD module initialization
```

```
lcd_init(16);
```

```
lcdkuloh1();
```

```
// Global enable interrupts
```

```
#asm("sei")
```

```
while (1){
```

```
  lcdkuloh();
```

```
  min1=1000;
```

```
  min2=1000;
```

```
  for (i=0;i<4;i++){
```

```
    if (min1 > delta[i])
```

```
    {
```

```
      min1 = delta[i];
```

```
      nilai1=i;
```

```
    }
```

```
  }
```

```
  for ( i=7;i>3;i--){
```

```
    if (min2 > delta[i])
```

```
    {
```

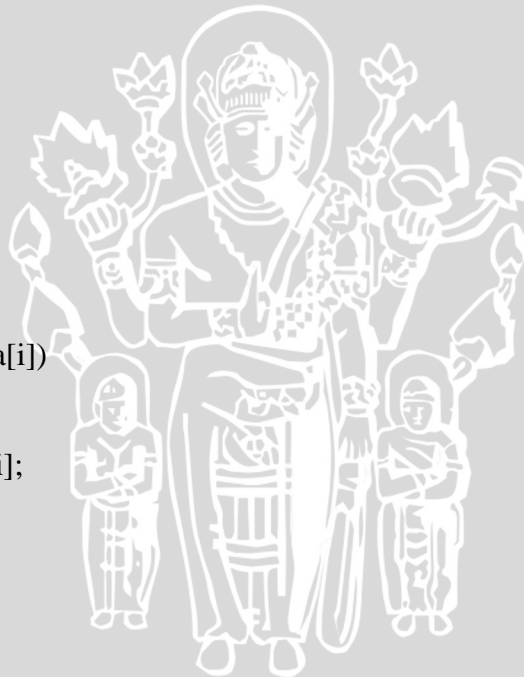
```
      min2 = delta[i];
```

```
      nilai2=i;
```

```
    }
```

```
  lcd_gotoxy(0,3);
```

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



```
sprintf(x1data,"%d",nilai1);  
lcd_puts(x1data);  
lcd_gotoxy(2,3);  
sprintf(x1data,"%d",nilai2);  
lcd_puts(x1data);
```

```
if (min1==min2){
```

```
if((nilai1==0&&nilai2==4)||((nilai1==0&&nilai2==5)||((nilai1==0&&nilai2==6)||((nilai1==0&&nilai2==7))){
```

```
servo0=10; delay_ms(500); /*sudut 0 derajat*/  
}
```

```
else if((nilai1==1&&nilai1==5)||((nilai1==1&&nilai1==6)||((nilai1==1&&nilai1==7))){  
servo0=18; delay_ms(500); /*sudut 45 derajat*/  
}
```

```
else if((nilai1==2&&nilai2==6)||((nilai1==2&&nilai2==7))  
{  
servo0=25; delay_ms(500); /*sudut 90 derajat*/  
}
```

```
else  
{  
servo0=33; delay_ms(500); /*sudut 135 derajat*/  
}  
}
```

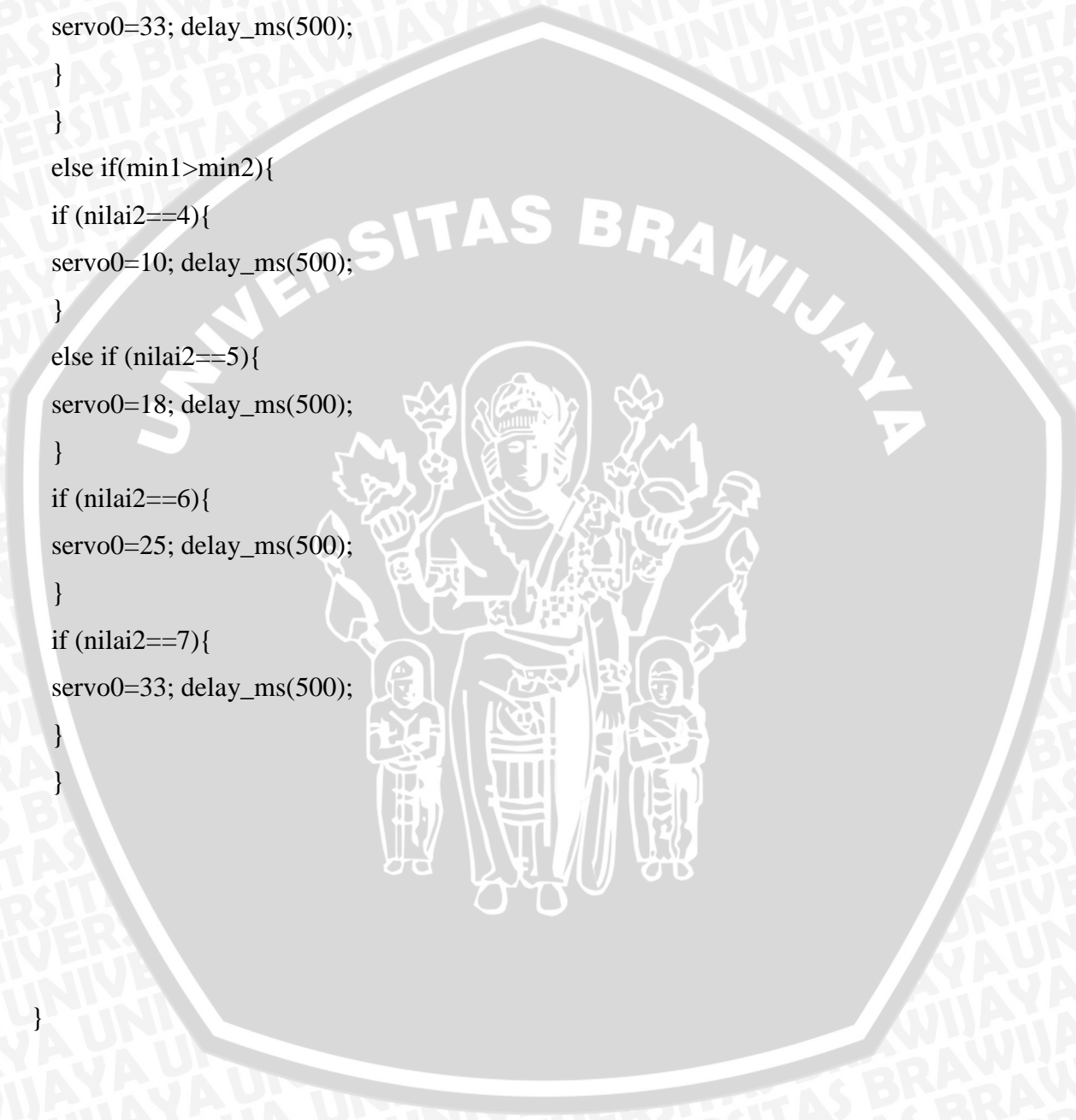
```
else if(min1<min2){
```

```
if (nilai1==0){  
servo0=10; delay_ms(500);  
}
```

```
else if (nilai1==1){  
servo0=18; delay_ms(500);  
}
```



```
else if (nilai1==2){
servo0=25; delay_ms(500);
}
else if (nilai1==3){
servo0=33; delay_ms(500);
}
}
else if(min1>min2){
if (nilai2==4){
servo0=10; delay_ms(500);
}
else if (nilai2==5){
servo0=18; delay_ms(500);
}
if (nilai2==6){
servo0=25; delay_ms(500);
}
if (nilai2==7){
servo0=33; delay_ms(500);
}
}
}
}
void lcdkuloh(){
```



```
//pertama
lcd_clear();
z=(int)read_adc(0);
l= z*0.0048;
k= (z*0.48);
delta[0]=k;
k = (z%100)/10;
u=(char)l;
sprintf(x1data,"%1d",u);
lcd_gotoxy(0,0);
lcd_puts(x1data);
lcd_puts(".");
u=(char)k;
sprintf(x1data,"%1d",u);
lcd_puts(x1data);
lcd_puts("V");
//kedua
z=(int)read_adc(1);
l= z*0.0048;
k= (z*0.48);
delta[1]=k;
k = (z%100)/10;
u=(char)l;
sprintf(x1data,"%1d",u);
lcd_gotoxy(5,0);
lcd_puts(x1data);
lcd_puts(".");
u=(char)k;
sprintf(x1data,"%1d",u);
lcd_puts(x1data);
lcd_puts("V");
```



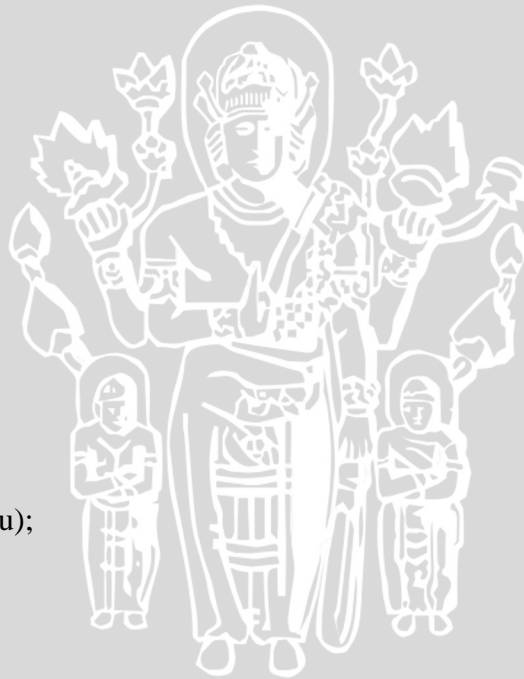
```
//ketiga
z=(int)read_adc(2);
l= z*0.0048;
k= (z*0.48);
delta[2]=k;
k = (z%100)/10;
u=(char)l;
sprintf(x1data,"%1d",u);
lcd_gotoxy(10,0);
lcd_puts(x1data);
lcd_puts(".");
u=(char)k;
sprintf(x1data,"%1d",u);
lcd_puts(x1data);
lcd_puts("V");
//keempat
z=(int)read_adc(3);
l= z*0.0048;
k= (z*0.48);
delta[3]=k;
k = (z%100)/10;
u=(char)l;
sprintf(x1data,"%1d",u);
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_puts(x1data);
lcd_puts(".");
u=(char)k;
sprintf(x1data,"%1d",u);
lcd_puts(x1data);
lcd_puts("V");
//kelima
```




```
z=(int)read_adc(4);
l= z*0.0048;
k= (z*0.48);
delta[4]=k;
k = (z%100)/10;
u=(char)l;
sprintf(x1data,"%1d",u);
lcd_gotoxy(5,1);
lcd_puts(x1data);
lcd_puts(".");
u=(char)k;
sprintf(x1data,"%1d",u);
lcd_puts(x1data);
lcd_puts("V");
//keenam
z=(int)read_adc(5);
l= z*0.0048;
k= (z*0.48);
delta[5]=k;
k = (z%100)/10;
u=(char)l;
sprintf(x1data,"%1d",u);
lcd_gotoxy(10,1);
lcd_puts(x1data);
lcd_puts(".");
u=(char)k;
sprintf(x1data,"%1d",u);
lcd_puts(x1data);
lcd_puts("V");
//ketujuh
z=(int)read_adc(6);
```



```
l= z*0.0048;
k= (z*0.48);
delta[6]=k;
k = (z%100)/10;
u=(char)l;
sprintf(x1data,"%1d",u);
lcd_gotoxy(0,2);
lcd_puts(x1data);
lcd_puts(".");
u=(char)k;
sprintf(x1data,"%1d",u);
lcd_puts(x1data);
lcd_puts("V");
//kedelapan
z=(int)read_adc(7);
l= z*0.0048;
k= (z*0.48);
delta[7]=k;
k = (z%100)/10;
u=(char)l;
sprintf(x1data,"%1d",u);
lcd_gotoxy(5,2);
lcd_puts(x1data);
lcd_puts(".");
u=(char)k;
sprintf(x1data,"%1d",u);
lcd_puts(x1data);
lcd_puts("V");
}
void lcdkuloh1(){
```



```
lcd_gotoxy(0,0);  
lcd_putsf(" SOLAR TRACKER");  
delay_ms(2000);  
lcd_clear();  
delay_ms(2000);}
```



LAMPIRAN 3. SNI TENTANG PENCAHAYAAN



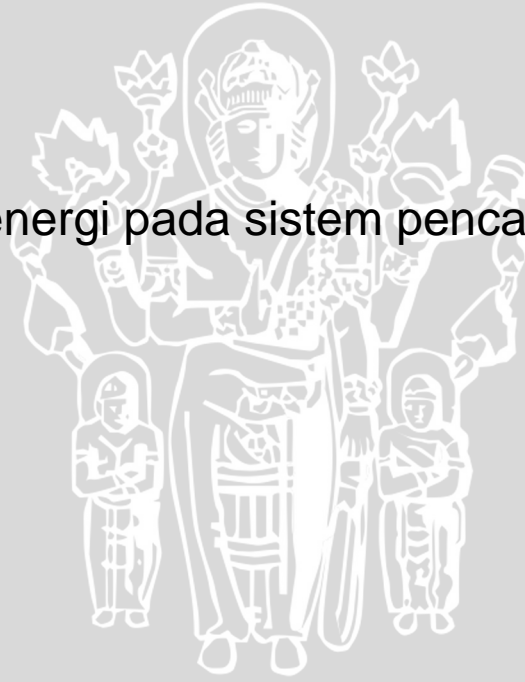
SNI

Standar Nasional Indonesia

SNI 03-6197-2000

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Konservasi energi pada sistem pencahayaan



ICS 91.160.01

Badan Standardisasi Nasional

BSN

Tabel Tingkat pencahayaan rata-rata, renderansi dan temperatur warna yang direkomendasikan

Fungsi ruangan	Tingkat pencahayaan (Lux)	Kelompok renderansi warna	Temperatur warna		
			Warm white <3300 K	Cool white 3300 K-5300K	Daylight > 5300 K
Rumah tinggal:					
Teras	60	1 atau 2	♦	♦	
Ruang tamu	120 ~ 150	1 atau 2		♦	
Ruang makan	120 ~ 250	1 atau 2	♦		
Ruang kerja	120 ~ 250	1		♦	♦
Kamar tidur	120 ~ 250	1 atau 2	♦	♦	
Kamar mandi	250	1 atau 2		♦	♦
Dapur	250	1 atau 2	♦	♦	
Garasi	60	3 atau 4		♦	♦
Perkantoran :					
Ruang Direktur	350	1 atau 2		♦	♦
Ruang kerja	350	1 atau 2		♦	♦
Ruang komputer	350	1 atau 2		♦	♦
Ruang rapat	300	1	♦	♦	
Ruang gambar	750	1 atau 2		♦	♦
Gudang arsip	150	1 atau 2		♦	♦
Ruang arsip aktif	300	1 atau 2		♦	♦
Lembaga Pendidikan :					
Ruang kelas	250	1 atau 2		♦	♦
Perpustakaan	300	1 atau 2		♦	♦
Laboratorium	500	1		♦	♦
Ruang gambar	750	1		♦	♦
Kantin	200	1	♦	♦	
Hotel dan Restoran :					
Lobi, koridor	100	1	♦	♦	
Ruang serba guna	200	1	♦	♦	
Ruang makan	250	1	♦	♦	
Kafetaria	200	1	♦	♦	
Kamar tidur	150	1 atau 2	♦		
Dapur	300	1	♦	♦	

Tabel 1 (lanjutan)

Fungsi ruangan	Tingkat pencahayaan (Lux)	Kelompok renderasi warna	Temperatur warna		
			Warm white <3300 K	Cool white 3300 K-5300K	Daylight > 5300 K
Rumah sakit/ Balai pengobatan					
Ruang rawat inap	250	1 atau 2		♦	♦
Ruang operasi, ruang bersalin	300	1		♦	♦
Laboratorium	500	1 atau 2		♦	♦
Ruang rekreasi dan rehabilitasi	250	1	♦	♦	
Pertokoan/Ruang Pamer :					
Ruang pamer dengan obyek berukuran besar (misalnya mobil)	500	1	♦	♦	♦
Toko kue dan makanan.	250	1	♦	♦	
Toko bunga	250	1		♦	
Toko buku dan alat tulis/ gambar.	300	1	♦	♦	♦
Toko perhiasan, arloji.	500	1	♦	♦	
Toko barang kulit dan sepatu	500	1	♦	♦	
Toko pakaian.	500	1	♦	♦	
Pasar swalayan	500	1 atau 2	♦	♦	
Toko mainan	500	1	♦	♦	
Toko alat listrik (TV, Radio/tape, mesin cuci dan lain-lain)	250	1 atau 2	♦	♦	♦
Toko alat musik dan olahraga	250	1	♦	♦	♦
Industri (Umum) :					
Gudang	100	3		♦	♦
Pekerjaan kasar	100 ~ 200	2 atau 3		♦	♦
Pekerjaan menengah	200 ~ 500	1 atau 2		♦	♦
Pekerjaan halus	500 ~ 1000	1		♦	♦
Pekerjaan amat halus	1000-2000	1		♦	♦
Pemeriksaan warna	750	1		♦	♦
Rumah ibadah :					
Masjid	200	1 atau 2		♦	
Gereja	200	1 atau 2		♦	
Vihara	200	1 atau 2		♦	

LAMPIRAN 4. DATASHEET



Features

- High-performance, Low-power AVR[®] 8-bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
 - 130 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 16 MIPS Throughput at 16 MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- Nonvolatile Program and Data Memories
 - 8K Bytes of In-System Self-Programmable Flash
 - Endurance: 10,000 Write/Erase Cycles
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
 - In-System Programming by On-chip Boot Program
 - True Read-While-Write Operation
 - 512 Bytes EEPROM
 - Endurance: 100,000 Write/Erase Cycles
 - 512 Bytes Internal SRAM
 - Programming Lock for Software Security
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescalers and Compare Modes
 - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Four PWM Channels
 - 8-channel, 10-bit ADC
 - 8 Single-ended Channels
 - 7 Differential Channels for TQFP Package Only
 - 2 Differential Channels with Programmable Gain at 1x, 10x, or 200x for TQFP Package Only
 - Byte-oriented Two-wire Serial Interface
 - Programmable Serial USART
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
- Special Microcontroller Features
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated RC Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby and Extended Standby
- I/O and Packages
 - 32 Programmable I/O Lines
 - 40-pin PDIP, 44-lead TQFP, 44-lead PLCC, and 44-pad QFN/MLF
- Operating Voltages
 - 2.7 - 5.5V for ATmega8535L
 - 4.5 - 5.5V for ATmega8535
- Speed Grades
 - 0 - 8 MHz for ATmega8535L
 - 0 - 16 MHz for ATmega8535



8-bit **AVR[®]**
Microcontroller
with 8K Bytes
In-System
Programmable
Flash

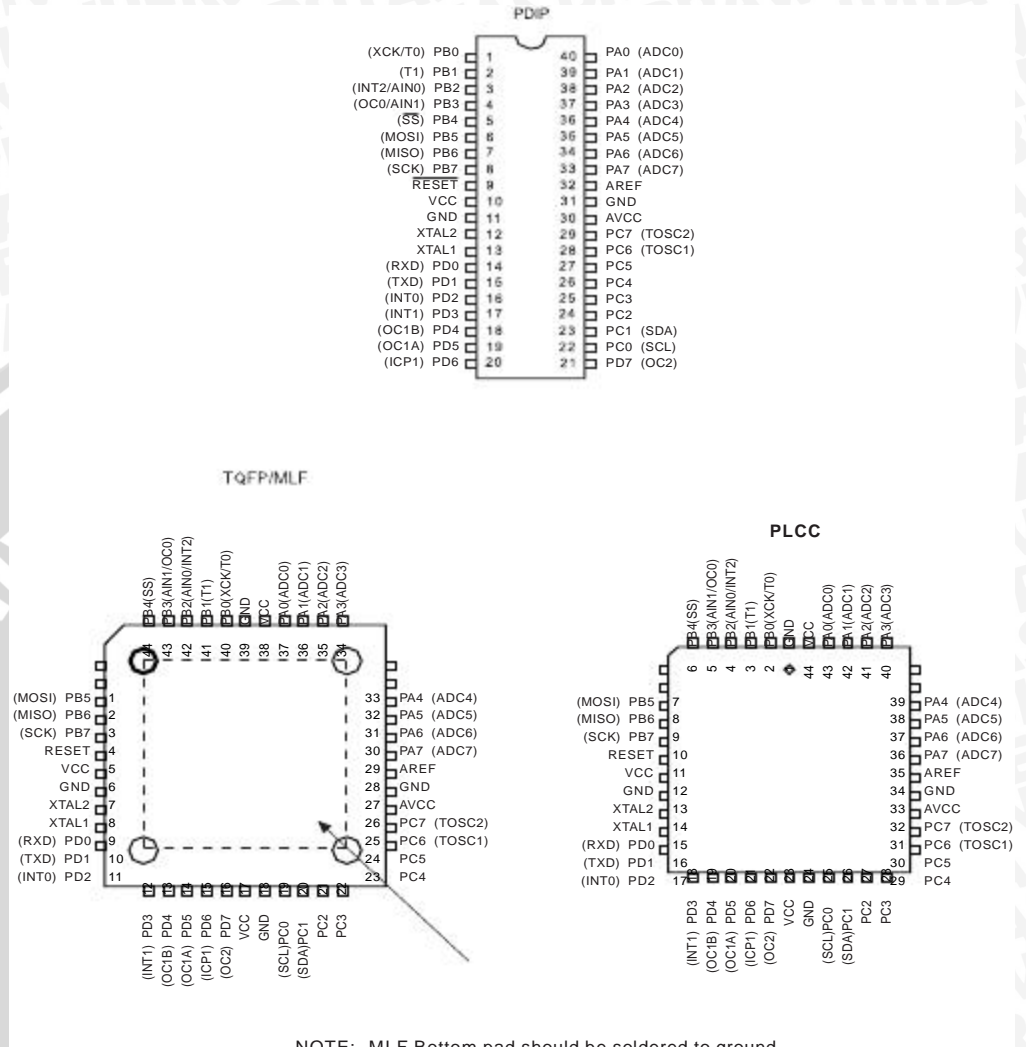
ATmega8535
ATmega8535L





Pin Configurations

Figure 1. Pinout ATmega8535



NOTE: MLF Bottom pad should be soldered to ground.

Disclaimer

Typical values contained in this data sheet are based on simulations and characterization of other AVR microcontrollers manufactured on the same process technology. Min and Max values will be available after the device is characterized.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

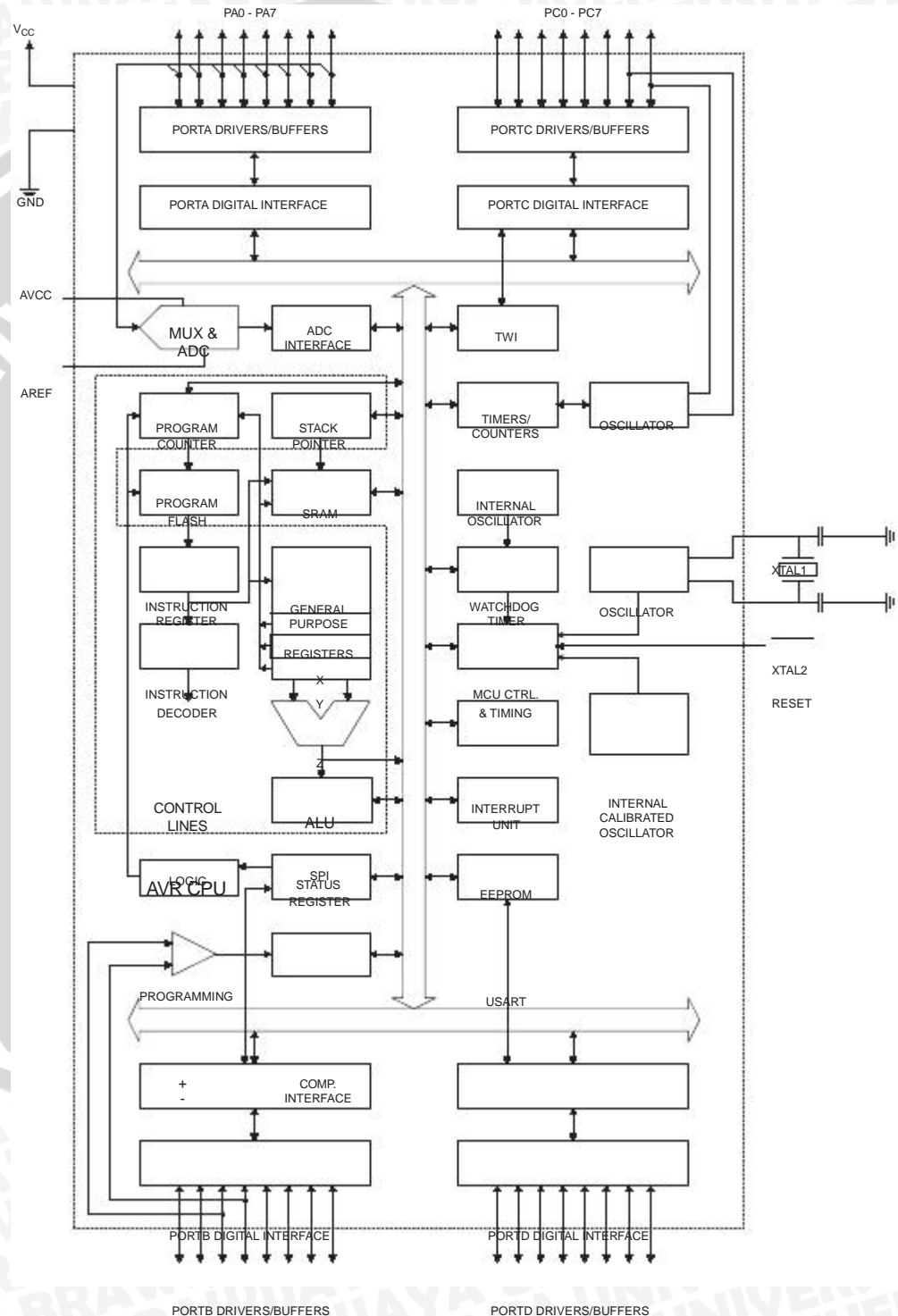


Overview

The ATmega8535 is a low-power CMOS 8-bit microcontroller based on the AVR enhanced RISC architecture. By executing instructions in a single clock cycle, the ATmega8535 achieves throughputs approaching 1 MIPS per MHz allowing the system designer to optimize power consumption versus processing speed.

Block Diagram

Figure 2. Block Diagram







The AVR core combines a rich instruction set with 32 general purpose working registers. All 32 registers are directly connected to the Arithmetic Logic Unit (ALU), allowing two independent registers to be accessed in one single instruction executed in one clock cycle. The resulting architecture is more code efficient while achieving throughputs up to ten times faster than conventional CISC microcontrollers.

The ATmega8535 provides the following features: 8K bytes of In-System Programmable Flash with Read-While-Write capabilities, 512 bytes EEPROM, 512 bytes SRAM, 32 general purpose I/O lines, 32 general purpose working registers, three flexible Timer/Counters with compare modes, internal and external interrupts, a serial programmable USART, a byte oriented Two-wire Serial Interface, an 8-channel, 10-bit ADC with optional differential input stage with programmable gain in TQFP package, a programmable Watchdog Timer with Internal Oscillator, an SPI serial port, and six software selectable power saving modes. The Idle mode stops the CPU while allowing the SRAM, Timer/Counters, SPI port, and interrupt system to continue functioning. The Power-down mode saves the register contents but freezes the Oscillator, disabling all other chip functions until the next interrupt or Hardware Reset. In Power-save mode, the asynchronous timer continues to run, allowing the user to maintain a timer base while the rest of the device is sleeping. The ADC Noise Reduction mode stops the CPU and all I/O modules except asynchronous timer and ADC, to minimize switching noise during ADC conversions. In Standby mode, the crystal/resonator Oscillator is running while the rest of the device is sleeping. This allows very fast start-up combined with low-power consumption. In Extended Standby mode, both the main Oscillator and the asynchronous timer continue to run.

The device is manufactured using Atmel's high density nonvolatile memory technology. The On-chip ISP Flash allows the program memory to be reprogrammed In-System through an SPI serial interface, by a conventional nonvolatile memory programmer, or by an On-chip Boot program running on the AVR core. The boot program can use any interface to download the application program in the Application Flash memory. Software in the Boot Flash section will continue to run while the Application Flash section is updated, providing true Read-While-Write operation. By combining an 8-bit RISC CPU with In-System Self-Programmable Flash on a monolithic chip, the Atmel ATmega8535 is a powerful microcontroller that provides a highly flexible and cost effective solution to many embedded control applications.

The ATmega8535 AVR is supported with a full suite of program and system development tools including: C compilers, macro assemblers, program debugger/simulators, In-Circuit Emulators, and evaluation kits.

AT90S8535 Compatibility

The ATmega8535 provides all the features of the AT90S8535. In addition, several new features are added. The ATmega8535 is backward compatible with AT90S8535 in most cases. However, some incompatibilities between the two microcontrollers exist. To solve this problem, an AT90S8535 compatibility mode can be selected by programming the S8535C fuse. ATmega8535 is pin compatible with AT90S8535, and can replace the AT90S8535 on current Printed Circuit Boards. However, the location of fuse bits and the electrical characteristics differs between the two devices.

AT90S8535 Compatibility Mode

Programming the S8535C fuse will change the following functionality:

- The timed sequence for changing the Watchdog Time-out period is disabled. See "Timed Sequences for Changing the Configuration of the Watchdog Timer" on page 45 for details.
- The double buffering of the USART Receive Register is disabled. See "AVR USART vs. AVR UART – Compatibility" on page 146 for details.

ATmega8535(L)

Pin Descriptions

V_{CC}	Digital supply voltage.
GND	Ground.
Port A (PA7..PA0)	<p>Port A serves as the analog inputs to the A/D Converter.</p> <p>Port A also serves as an 8-bit bi-directional I/O port, if the A/D Converter is not used. Port A pins can provide internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port A output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. When pins PA0 to PA7 are used as inputs and are externally pulled low, they will source current if the internal pull-up resistors are activated. The Port A pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.</p>
Port B (PB7..PB0)	<p>Port B is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port B output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port B pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port B pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.</p> <p>Port B also serves the functions of various special features of the ATmega8535 as listed on page 60.</p>
Port C (PC7..PC0)	<p>Port C is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port C output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port C pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port C pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.</p>
Port D (PD7..PD0)	<p>Port D is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port D output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port D pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port D pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.</p> <p>Port D also serves the functions of various special features of the ATmega8535 as listed on page 64.</p>
RESET	Reset input. A low level on this pin for longer than the minimum pulse length will generate a reset, even if the clock is not running. The minimum pulse length is given in Table 15 on page 37. Shorter pulses are not guaranteed to generate a reset.
XTAL1	Input to the inverting Oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.
XTAL2	Output from the inverting Oscillator amplifier.
AVCC	AVCC is the supply voltage pin for Port A and the A/D Converter. It should be externally connected to V _{CC} , even if the ADC is not used. If the ADC is used, it should be connected to V _{CC} through a low-pass filter.
AREF	AREF is the analog reference pin for the A/D Converter.



Resources

A comprehensive set of development tools, application notes and datasheets are available for download on <http://www.atmel.com/avr>.

