



UNIVERSITAS INDONESIA

**Perangkat Pengatur Timer Lampu Lalu Lintas Berdasarkan
Antrian Kendaraan**

SKRIPSI

MANTO

0706199584

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN ELEKTRO**

DEPOK

2010



UNIVERSITAS INDONESIA

**Perangkat Pengatur Timer Lampu Lalu Lintas Berdasarkan
Antrian Kendaraan**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana

MANTO

0706199584

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN ELEKTRO**

DEPOK

2010

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Manto

NPM : 0706199584

Tanda Tangan :



Tanggal : 17 Desember 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Manto
NPM : 0706199584
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Perangkat pengatur timer lampu lalu lintas
berdasarkan antrian kendaraan

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir Retno Wigajatri P. MT ()

Penguji : Prof. Dr. Ir Nji Raden Poespawati MT ()

Penguji : Dr. Ir. Dodi Suidiana M.Eng ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 27 Desember 2010

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan teknik elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

Dr. Ir Retno Wigajatri P. MT, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 17 Desember 2010

Penulis

Universitas Indonesia

ABSTRAK

Nama : Manto
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Perangkat Pengatur Timer Lampu Lalu Lintas
Berdasarkan Antrian Kendaraan

Semakin bertambah banyaknya kendaraan membuat lalu lintas sekarang ini sangat padat terutama di kota-kota besar. Oleh karena itu dibutuhkan suatu perangkat yang dapat mengatur durasi nyala lampu lalu lintas secara otomatis berdasarkan kepadatan kendaraan per jalur. Pada skripsi ini dilakukan rancang bangun perangkat pengatur timer lampu lalu lintas berdasarkan antrian kendaraan yang bertujuan untuk mengontrol lalu lintas secara otomatis sesuai dengan kepadatan masing-masing jalur. Perangkat ini bekerja menggunakan Laser dan LDR sebagai sensor pendeteksi kepadatan lalu lintas serta mikrokontroler AVR ATMEGA 8535 yang diprogram dengan bahasa BASIC. Dari hasil pengujian pada miniatur perempatan jalan raya ditunjukkan bahwa perangkat mampu mengontrol *timer* lampu lalu lintas secara otomatis berdasarkan antrian kendaraan. Jika kendaraan yang terdeteksi melebihi panjang antrian yang ditentukan maka lampu lalu lintas akan berubah sesuai dengan perbandingan antara dua lajur yang searah.

Kata kunci:

Timer lampu lalu lintas, Laser, LDR, Mikrokontroler ATMEGA 8535

ABSTRACT

Name : Manto
Study Program : Electrical Engineering
Title : The Traffic Light Controller Device Based On Vehicles' Queue

As the number of vehicles increase, traffic nowadays are very heavy, especially in big cities. Therefore, a device to control the time duration of traffic lights automatically based on the density of vehicles driven per lane is needed. According to this requirement, this final project introduce the design of traffic light time controller device based on vehicle's queue in order to control the traffic automatically in accordance with the heaviness of traffic per lane. This device is constructed by using laser and LDR as a traffic density detection sensor. Based on this traffic density data, the time duration of traffic light will be controlled by a microcontroller ATMEGA 8535 by using software programmed by BASIC language. From the test results on miniature highway intersections it is shown that the device is able to control the traffic light timer automatically based on the queue of vehicles. If a vehicle were detected exceeding a specified predefined length of the queue, the time duration of traffic lights will change according to the comparison between two lanes of same direction.

Key words:

Timer traffic lights, Laser, LDR, Microcontroller ATMEGA 8535

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN ORISINIALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	1
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi Penelitian.....	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB 2. LANDASAN TEORI.....	4
2.1 Lalu Lintas.....	4
2.2 Laser.....	6
2.3 LDR (Light Dependent Resistor).....	6
2.4 IC komparator LM 311	7
2.5 IC Regulator	8
2.6 Mikrokontroler ATMEGA 8535.....	10
2.6.1 Arsitektur CPU ATMEGA 8535.....	11
2.6.2 Program Memori	12
2.6.3 SRAM Data Memori	12
2.6.4 EEPROM Data Memori	12
2.6.5 I/O Port	12
BAB 3. RANCANG BANGUN PERANGKAT PENGATUR TIMER LAMPU LALU LINTAS BERDASARKAN ANTRIAN KENDARAAN.....	14
3.1 Prinsip Kerja Sistem	14

3.2 Sensor LDR	15
3.3 Perancangan Power Supply	18
3.4 Rangkaian Mikrokontroler	18
3.5 Perancangan Pengatur Timer Lampu Lalu Lintas Berdasarkan Antrian Kendaraan.....	20
3.6 Diagram Alir Perancangan Program.....	21
BAB 4. PENGUJIAN PERANGKAT PENGATURAN TIMER LAMPU LALU LINTAS BERDASARKAN ANTRIAN KENDARAAN.....	24
4.1 Pengujian Sensor LDR.....	25
4.2 Pengujian Power Supply	26
4.3 Pengujian Modul Perangkat	28
4.6 Analisa Sistem Keseluruhan.....	30
BAB 5. KESIMPULAN	32
DAFTAR PUSTAKA	33
LAMPIRAN	34

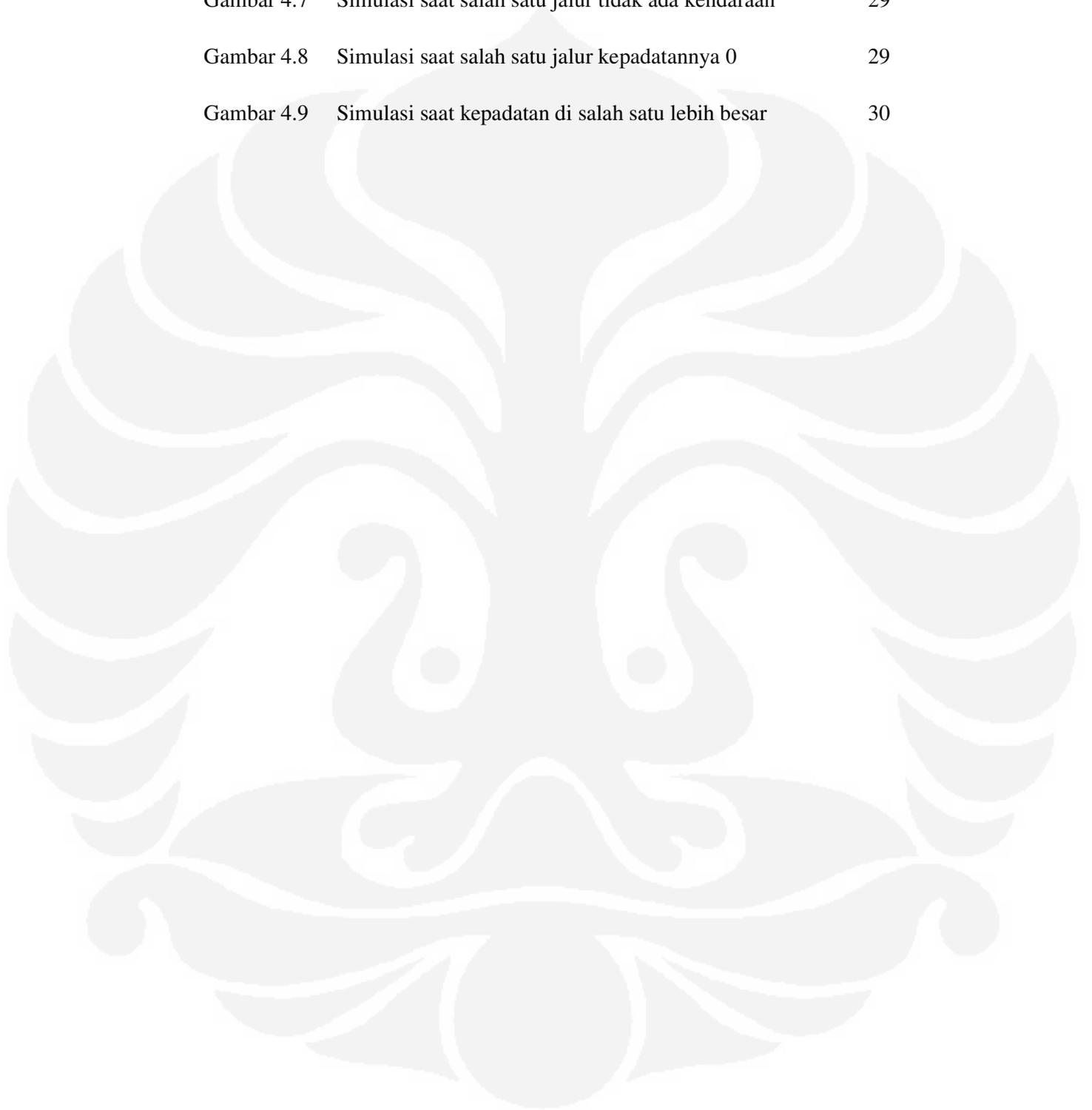
DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Tabel Pengujian Sensor LDR	26
Tabel 4.2 Tabel Pengujian Masukan dan Keluaran IC LM 7805	28

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Gambar dan simbol dari sebuah LDR	7
Gambar 2.2	Konfigurasi pin LM 311	8
Gambar 2.3	Regulator dengan IC 78XX	9
Gambar 2.4	IC Mikrokontroler ATMEGA 8535	11
Gambar 3.1	Diagram blok perancangan miniatur lalu lintas	14
Gambar 3.2	Konfigurasi posisi sensor pada miniatur perempatan jalan	15
Gambar 3.3	Rangkaian sensor LDR dengan komparator	16
Gambar 3.4	Konfigurasi posisi LDR pada miniatur perempatan jalan	16
Gambar 3.5	Cahaya Laser mengenai LDR	17
Gambar 3.6	Cahaya Laser terhalang oleh benda padat	17
Gambar 3.7	Rangkaian power supply	18
Gambar 3.8	Rangkaian mikrokontroler ATMEGA 8535	19
Gambar 3.9	Blok diagram rancangan rangkaian	20
Gambar 3.10	Diagram alir perancangan program utama	23
Gambar 4.1	Miniatur perangkat pengatur timer lampu lalu lintas berdasarkan antrian kendaraan	24
Gambar 4.2	Pengujian sensor LDR	25
Gambar 4.3	Skema pengujian kinerja power supply	26
Gambar 4.4	Pengukuran IC LM 7805	27
Gambar 4.5	pengukuran input IC LM 7805	27

Gambar 4.6	Simulasi saat kepadatan antara dua jalur sama	28
Gambar 4.7	Simulasi saat salah satu jalur tidak ada kendaraan	29
Gambar 4.8	Simulasi saat salah satu jalur kepadatannya 0	29
Gambar 4.9	Simulasi saat kepadatan di salah satu lebih besar	30



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Pada era modern sekarang ini perkembangan teknologi transportasi semakin hari semakin pesat baik dari sisi kualitas maupun kuantitas menyebabkan pengguna alat-alat transportasi bebas memilih alat transportasi yang sesuai kondisi dan kebutuhan diantaranya kendaraan bermotor. Salah satu sarana teknologi transportasi kendaraan bermotor adalah jalan raya.

Beberapa tahun belakangan ini sering terjadi kemacetan yang parah terutama di kota-kota besar, ini disebabkan jumlah kendaraan yang semakin tinggi dan jumlah jalan yang tidak memadai. Oleh karena itu fungsi lampu lalu lintas menjadi sangat penting.

Untuk mengatur lalu lintas di setiap tempat seperti pertigaan, perempatan, maupun perlimaan diperlukan alat pengaturan lalu lintas yang sering disebut *traffic light*. Namun demikian, kendati telah digunakan lampu lalu lintas seringkali ada kalanya arus lalu lintas tidak merata, artinya pada arah-arah tertentu terjadi kepadatan yang sangat tinggi, sedangkan tidak untuk arah yang lain. Walaupun demikian durasi *timer* lampu lalu lintas seringkali tetap sehingga arus lalu lintas pada arah yang padat akan semakin padat. Oleh karena itu diperlukan suatu alat yang dapat mendeteksi kepadatan lalu lintas untuk mengontrol timer lampu lalu lintas secara otomatis. Terpacu oleh masalah tersebut, dalam skripsi ini dilakukan rancang bangun perangkat yang dapat mendeteksi kepadatan lalu lintas sekaligus mengatur timer lampu lalu lintas berdasarkan panjang antrian kendaraan. Dengan pengembangan lebih lanjut diharapkan nantinya alat dapat dimanfaatkan untuk membantu mengatur timer lampu lalu lintas di perempatan jalan raya.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

1. Menentukan mekanisme pengaturan timer yang akan dibuat sesuai dengan prosedur yang disepakati yang mengacu pada kepadatan jalan.
2. Menentukan sumber cahaya dan sensor yang digunakan serta posisi peletakannya.

3. Menentukan algoritma dan pemrograman Mikrokontroller ATMEGA 8535.

1.3 TUJUAN

Tujuan penyusunan skripsi ini adalah membuat suatu perangkat pengatur timer lampu lalu lintas berdasarkan antrian kendaraan yang mampu mengatur durasi lampu lalu lintas secara otomatis. Perangkat bekerja dengan memanfaatkan sumber cahaya Laser serta sensor LDR.

1.4 BATASAN MASALAH

Karena beberapa kendala yang dihadapi, sehingga penelitian dibatasi pada :

1. Untuk mendeteksi antrian kendaraan digunakan sensor yang terdiri dari Laser dan LDR.
2. Penempatan sensor diposisikan saling berhadapan pada bahu jalan sebanyak dua pasang pada setiap lajur.
3. Sensor aktif dan pengaturannya ditentukan oleh Mikrokontroller ATMEGA 8535
4. Pengujian perangkat dilakukan pada miniatur perempatan jalan raya dengan lajur searah yang saling tegak lurus.

1.5 METODOLOGI PENELITIAN

Dalam menyelesaikan skripsi ini dibagi dalam langkah-langkah sebagai berikut:

1. Mempelajari mekanisme pengaturan durasi lampu lalu lintas yang digunakan di jalan raya.
2. Mempelajari sumber cahaya dan sensor yang sesuai, serta posisi yang tepat.
3. Melakukan pengujian pada miniatur jalan raya dengan jalan: lebar 12 cm dan panjang 30 cm.
4. Melakukan perancangan miniatur modul lalu lintas sesuai dengan kebutuhan pengujian.
5. Mempelajari pemilihan mikrokontroller dan bahasa apa yang paling mudah untuk digunakan.

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Skripsi ini disusun dari beberapa bab dengan susunan sebagai berikut :

1. BAB I: Pendahuluan

Membahas mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi dan sistematika pembahasan.

2. BAB II: Landasan Teori

Membahas tentang teori penunjang yang akan digunakan pada proses perancangan dan realisasi.

3. BAB III: Rancang bangun perangkat pengatur timer lampu lalu lintas berdasarkan antrian kendaraan.

Membahas mengenai tahapan-tahapan perancangan yang dilakukan dan proses pengerjaan alat yang dibuat.

4. BAB IV: Pengujian perangkat pengatur timer lampu lalu lintas berdasarkan antrian kendaraan.

Bagian ini berisi pengujian dan analisa terhadap alat yang dibuat.

5. BAB V: Kesimpulan

Bagian ini berisi kesimpulan yang merupakan pernyataan singkat yang menggambarkan isi dari skripsi.

- Daftar Pustaka
- Lampiran

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1. Lalu Lintas

Lalu Lintas di dalam Undang-undang no 22 Tahun 2009 tentang lalu lintas dan angkutan jalan didefinisikan sebagai gerak kendaraan dan orang di ruang lalu lintas jalan, sedangkan ruang lalu lintas jalan adalah prasarana yang diperuntukkan bagi gerak pindah kendaraan, orang, dan/atau barang yang berupa jalan dan fasilitas pendukung. Untuk mengendalikan pergerakan orang dan atau kendaraan agar bisa berjalan dengan lancar dan aman diperlukan perangkat peraturan perundangan yang sebagai dasar dalam hal ini Undang-undang No 22 tahun 2009 tentang lalu lintas dan angkutan jalan [1].

Hubungan antara besarnya arus/volume lalu lintas dengan kecepatan (dalam hal ini kecepatan sesaat) dengan kepadatan lalu lintas adalah sebagai berikut:

- a. Hubungan kecepatan dan kepadatan adalah linier yang berarti bahwa semakin tinggi kecepatan lalu lintas dibutuhkan ruang bebas yang lebih besar antar kendaraan yang mengakibatkan jumlah kendaraan perkilometer menjadi lebih kecil.
- b. Hubungan kecepatan dan arus adalah parabolik yang menunjukkan bahwa semakin besar arus kecepatan akan turun sampai suatu titik yang menjadi puncak parabola tercapai kapasitas setelah itu kecepatan akan semakin rendah lagi dan arus juga akan semakin mengecil.
- c. Hubungan antara arus dengan kepadatan juga parabolik semakin tinggi kepadatan arus akan semakin tinggi sampai suatu titik di mana kapasitas terjadi, setelah itu semakin padat, maka arus akan semakin kecil.

Kemacetan lalulintas biasanya meningkat sesuai dengan meningkatnya mobilitas manusia pengguna transportasi, terutama pada saat-saat sibuk. Kemacetan lalu lintas terjadi karena berbagai sebab diantaranya disebabkan oleh kelemahan sistem pengaturan lampu lalu lintas, banyaknya persimpangan jalan, banyaknya kendaraan yang turun ke jalan, musim, kondisi jalan, dan kapasitas

jalan yang tidak memadai seiring dengan bertambahnya kendaraan secara signifikan.

Berbagai usaha untuk menanggulangi kemacetan lalu lintas yang dilakukan, diantaranya dengan penambahan sarana jalan, pembangunan jalan tol, jalan layang, terowongan, sistem pengaturan lampu ATCS (*Area Traffic Control System*), dan lain-lain. Untuk mengatur lalu lintas yang sangat padat dibutuhkan rambu-rambu dan petugas kepolisian yang berjaga. Lampu lalu lintas merupakan alat yang mengatur pergerakan lalu lintas di persimpangan jalan, melalui pemisah waktu untuk berbagai arah pergerakan yang saling berpotongan. Lampu lalu lintas dapat memberikan keuntungan bagi peningkatan keamanan lalu lintas, mengurangi kemacetan dan memberikan keamanan bagi pengguna penyeberang jalan. Setiap lampu lalu lintas terdiri dari 3 warna yaitu merah, kuning, dan hijau dengan perincian sebagai berikut:

1. Lampu menyala merah : waktu yang diperuntukkan bagi pergerakan kendaraan untuk berhenti dan diperuntukkan bagi pejalan kaki untuk menyeberang jalan.
2. Lampu menyala kuning: waktu yang diperlukan untuk memberikan peringatan kepada pengemudi bahwa nyala lampu akan berganti.
3. Lampu menyala hijau: waktu yang di peruntukkan bagi pengendara untuk melewati persimpangan.

Tujuan diterapkannya pengaturan lampu lalu lintas adalah sebagai berikut:

1. Menciptakan pergerakan-pergerakan dan hak berjalan secara bergantian dan teratur, sehingga meningkatkan daya dukung pertemuan jalan dalam melayani arus lalu lintas.
2. Hirarki rute bisa dilaksanakan : rute utama diusahakan untuk mengalami kelambatan (*delay*) minimal.
3. Mengurangi terjadinya kecelakaan dan kelambatan lalu lintas.
4. Memberikan mekanisme pengaturan lalu lintas yang lebih efektif dan murah dibandingkan pengaturan manual.

Tujuan tersebut dapat terlaksana apabila realitanya di jalan terlaksana dengan baik tanpa hambatan. Tetapi kenyataannya bahwa sering terjadi arus lalu lintas yang tidak merata, di satu arah sangat padat dan arah lainnya lenggang atau tidak padat. Oleh karena itu dipikirkan untuk mengatasi hal tersebut dengan melakukan rancang bangun perangkat yang dapat mengatur *timer* lampu lalu lintas berdasarkan panjang antrian kendaraan. Timer inilah yang nanti akan dapat mengatur perubahan lampu lalu lintas sesuai dengan kepadatan masing-masing jalan.

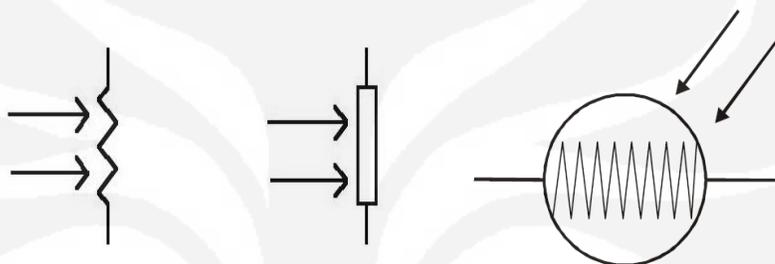
2.2 Laser

Laser (singkatan dari bahasa Inggris: *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) merupakan mekanisme suatu alat yang memancarkan radiasi elektromagnetik melalui proses pancaran terstimulasi. Salah satu keistimewaan dari laser adalah sifatnya yang tidak menyebar sehingga dapat digunakan untuk keperluan pengukuran pada jarak jauh. Pada teknologi laser, cahaya yang dihasilkan mempunyai karakteristik tersendiri yaitu, monokromatik (satu panjang gelombang yang spesifik), koheren, dan menuju satu arah yang sama atau konvergen. Pancaran laser biasanya tunggal, memancarkan foton dalam pancaran koheren. Karena sifat-sifat tersebut, laser sangat diminati untuk beberapa aplikasi. Di antaranya, laser dapat ditangkap oleh detektor yang posisinya relatif jauh karena sifatnya yang tidak menyebar. Laser dapat digunakan untuk merubah tahanan dari LDR dengan cara menembakkan sinar laser tepat mengenai permukaan sensor LDR.

2.3 LDR (Light Dependent Resistors)

LDR atau *Light Dependent Resistor* adalah salah satu jenis resistor variabel yang nilai hambatannya dipengaruhi oleh cahaya yang diterimanya atau dengan kata lain terjadi perubahan tingkat kecerahan cahaya. LDR dibuat dari *Cadmium Sulfida* yang peka terhadap cahaya. Resistansi LDR berubah seiring dengan perubahan intensitas cahaya yang mengenainya. Tanpa dikenai cahaya resistansi LDR sekitar 10M Ω sedangkan jika terkena cahaya menjadi \leq 1K Ω . Energi dari

cahaya yang jatuh menyebabkan lebih banyak muatan yang dilepas atau arus listrik meningkat. Artinya bahwa resistansi bahan mengalami penurunan karena saat cahaya menerangi LDR, foton akan menabrak ikatan Cadmium Sulfida dan melepaskan elektron. Semakin besar intensitas cahaya yang datang, semakin banyak elektron yang terlepas dari ikatan, akibatnya hambatan LDR akan turun saat cahaya meneranginya. Gambar 2.1 dibawah ini adalah lambang dan simbol dari sebuah LDR [2].

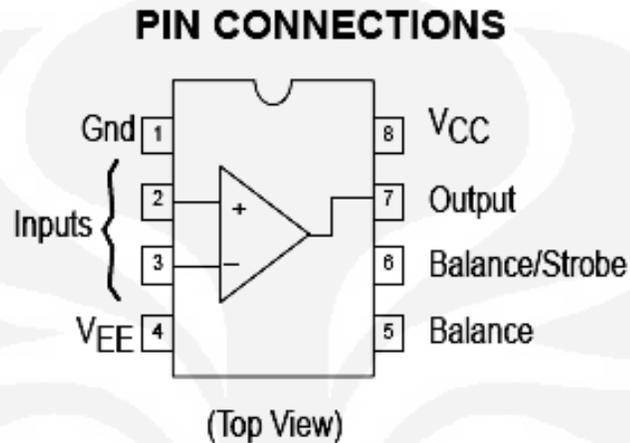


Gambar 2.1 Lambang dan simbol LDR[3]

2.4 IC Komparator LM 311

Komparator merupakan rangkaian elektronik yang akan membandingkan suatu *input* dengan referensi tertentu untuk menghasilkan *output* berupa dua nilai (high dan low). Suatu komparator mempunyai dua masukan yang terdiri dari tegangan acuan ($V_{reference}$) dan tegangan masukan (V_{in}) serta satu tegangan *ouput* (V_{out}). Dalam operasinya IC LM311 akan mempunyai sebuah keluaran konstan yang bernilai “low” saat V_{in} lebih besar dari V_{ref} dan “high” saat V_{in} lebih kecil dari V_{ref} atau sebaliknya. Nilai low dan high tersebut akan ditentukan oleh desain dari komparator itu sendiri. Keadaan *output* ini disebut sebagai karakteristik *output* komparator.

Gambar 2.2 menunjukkan sebuah komparator sederhana, yaitu IC komparator LM 311. IC Komparator ini merupakan salah satu penggunaan tak linier dari Op-Amp.



Gambar 2.2 Konfigurasi Pin LM 311 [4].

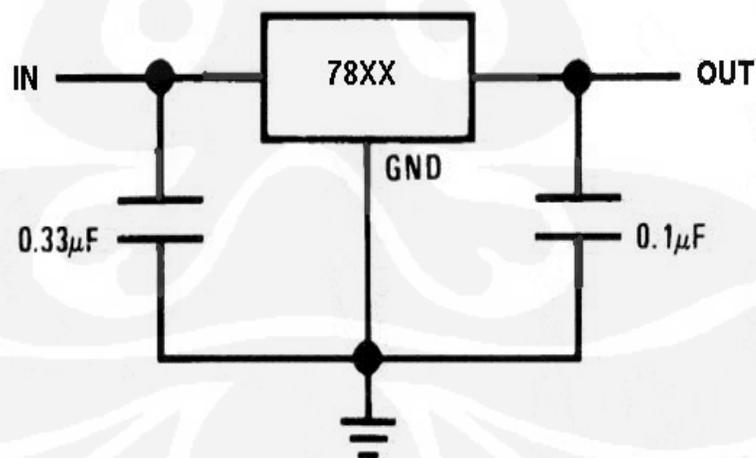
Keluaran pembandingan hanya dapat mempunyai dua nilai, misal 0 V dan 5 V saja. Pembandingan mempunyai dua masukan, yaitu masukan pembalik (-) dan masukan tak membalik (+). Jika tegangan referensi yang digunakan adalah masukan pembalik (-) dan tegangan sinyal yang dimasukkan pada masukan tak membalik (+) sedikit lebih tinggi dari tegangan referensi, maka tegangan keluarannya akan tinggi mendekati tegangan VCC. Rangkaian ini disebut komparator tak membalik (*non-inverting comparator*). Jika tegangan referensi yang digunakan adalah masukan tak membalik (+) dan tegangan sinyal yang dimasukkan pada masukan membalik (-) sedikit lebih tinggi dari tegangan referensi maka tegangan keluarannya akan mendekati ground. Rangkaian ini disebut komparator membalik (*inverting komparator*) dengan pertimbangan ketelitian dalam melakukan komparasi.

2.5 IC Regulator

Untuk memperoleh suatu catu daya dengan nilai keluaran yang tetap, maka dapat digunakan sebuah IC *regulator* 78xx untuk catu daya positif dan IC

regulator 79xx untuk catu daya negatif. (xx adalah nilai tegangan yang dikeluarkan dari *regulator* tersebut.) Saat ini sudah banyak dikenal komponen seri **78XX** sebagai regulator tegangan tetap positif dan seri **79XX** yang merupakan regulator untuk tegangan tetap negatif. Bahkan komponen ini biasanya sudah dilengkapi dengan pembatas arus (*current limiter*) dan juga pembatas suhu (*thermal shutdown*). Komponen ini memiliki tiga pin dan dengan menambah beberapa komponen saja sudah dapat menjadi rangkaian catu daya yang ter-regulasi dengan baik.

Sebagai ilustrasi, 7805 adalah regulator untuk mendapat tegangan 5 volt, 7809 regulator tegangan 9 volt dan seterusnya. Selain dari regulator tegangan tetap ada juga IC regulator yang tegangannya dapat diatur. Supaya rangkaian regulator dengan IC tersebut bisa bekerja, tegangan input harus lebih besar dari tegangan output regulatornya. Biasanya perbedaan tegangan V_{in} terhadap V_{out} yang direkomendasikan ada di dalam datasheet komponen tersebut. Pemakaian *heatshink* (aluminium pendingin) dianjurkan jika komponen ini dipakai untuk men-catu arus yang besar. Pada datasheet, komponen seperti ini maksimum bisa dilewati arus mencapai 1 A. Gambar 2.3 menunjukkan rangkaian dalam IC regulator 78xx yang memiliki 3 pin antara lain *input*, *output* dan *ground*.



Gambar 2.3 Regulator dengan IC 78XX [5]

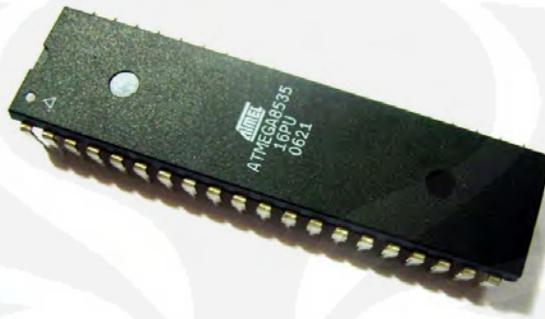
2.6 Mikrokontroler ATMEGA 8535

Mikrokontroler adalah suatu keping IC dimana terdapat mikroprosesor dan memori program (ROM) serta memori serbaguna (RAM) yang berfungsi sebagai pengontrol rangkaian elektronik, bahkan ada beberapa jenis mikrokontroler yang memiliki fasilitas ADC, PLL, EEPROM dalam satu kemasan. Penggunaan mikrokontroler dalam bidang kontrol sangat luas dan populer.

Mikrokontroler AVR (*Alf and Vegard's Risc prosesor*) memiliki arsitektur RISC 8 bit, di mana semua instruksi dikemas dalam kode 16-bit (16-bits word) dan sebagian besar instruksi dieksekusi dalam 1 (satu) siklus *clock*, berbeda dengan instruksi MCS 51 yang membutuhkan 12 siklus *clock*. AVR berteknologi RISC (*Reduced Instruction Set Computing*), sedangkan seri MCS 51 berteknologi CISC (*Complex Instruction Set Computing*). Secara umum, AVR dapat dikelompokkan menjadi 4 kelas, yaitu keluarga 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. Oleh karena itu, dipergunakan salah satu AVR produk Atmel, yaitu ATmega8535. Selain mudah didapatkan dan lebih murah ATmega8535 juga memiliki fasilitas yang lengkap. Untuk tipe AVR ada 3 jenis yaitu AT Tiny, AVR klasik, AT Mega. Perbedaannya hanya pada fasilitas dan I/O yang tersedia serta fasilitas lain seperti ADC, EEPROM dan lain sebagainya. Salah satu contohnya adalah AT Mega 8535. Memiliki teknologi RISC dengan kecepatan maksimal 16 MHz membuat ATmega8535 lebih cepat bila dibandingkan dengan varian MCS 51. Dengan fasilitas yang lengkap tersebut menjadikan ATmega8535 sebagai mikrokontroler yang *powerfull* [6].

Untuk memprogram mikrokontroler dapat menggunakan bahasa *assembler* atau bahasa tingkat tinggi yaitu bahasa C. Bahasa yang digunakan memiliki keunggulan tersendiri, untuk bahasa *assembler* dapat diminimalisasi penggunaan memori program sedangkan dengan bahasa C menawarkan kecepatan dalam pembuatan program. Untuk bahasa assembler dapat ditulis dengan menggunakan *text editor* setelah itu dapat dikompilasi dengan tool tertentu misalnya asm51

untuk MCS51 dan AVR Studio untuk AVR. Pada Gambar 2.4 menunjukkan bentuk fisik dari mikrokontroler ATMEGA 8535.



Gambar 2.4 IC Mikrokontroler ATMEGA 8535

2.6.1. Arsitektur CPU ATMEGA 8535

Fungsi utama CPU adalah memastikan pengeksekusian instruksi dilakukan dengan benar. Oleh karena itu CPU harus dapat mengakses memori, melakukan kalkulasi, mengontrol peripheral dan menangani interupsi. Ada 32 buah *general purpose register* yang membantu ALU bekerja. Untuk operasi aritmatika dan logika, *operand* berasal dari dua buah *general register* dan hasil operasi ditulis kembali ke *register*. Status dan kontrol berfungsi untuk menyimpan instruksi aritmatika yang baru saja dieksekusi. Informasi ini berguna untuk mengubah alur program saat mengeksekusi operasi kondisional. Instruksi diambil dari *flash* memori. Setiap *byte flash* memori memiliki alamat masing-masing. Alamat instruksi yang akan dieksekusi senantiasa disimpan program *counter*. Ketika terjadi interupsi atau pemanggilan rutin biasa, alamat di program *counter* disimpan terlebih dahulu di *stack*. Alamat interupsi atau rutin kemudian ditulis ke program *counter*, instruksi kemudian dijemput dan dieksekusi. Ketika CPU telah selesai mengeksekusi rutin interupsi atau rutin biasa, alamat yang ada di *stack* dibaca dan ditulis kembali ke program *counter*[7].

2.6.2 Program Memori

ATmega8535 berisi 8K byte dalam *flash* program memori untuk penyimpanan program. Karena semua instruksi AVR adalah 16 atau 32 bit lebar, *Flash* disusun sebagai 4K x 16. Untuk keamanan perangkat lunak, *Flash* ruang Program memori dibagi menjadi dua bagian, bagian *Boot* Program dan Aplikasi bagian Program. Memori *Flash* memiliki ketahanan minimal 10.000 menulis / menghapus siklus. ATmega8535 memiliki Program Counter (PC) sebanyak 12 bit yang luas sehingga dapat menangani program 4K dari lokasi memori.

2.6.3. SRAM Data Memori

Mikrokontroler ATMEGA 8535 ini memiliki 608 Data lokasi alamat Memori *File Register*, I / O Memori, dan internal data SRAM. 96 pertama lokasi alamat Berkas Pendaftaran dan I / O Memori, dan 512 berikutnya lokasi alamat data internal SRAM. Lima mode pengalamatan yang berbeda untuk memori data meliputi: Langsung, tidak langsung dengan Pemindahan, Tidak langsung, tidak langsung dengan Pre-penurunan, dan tidak langsung dengan Post-kenaikan. Dalam *File Register*, register R26 ke R31 fitur register penunjuk pengalamatan tidak langsung. Ke-32 register tujuan umum bekerja, 64 I / O Register, dan 512 byte internal data SRAM pada ATmega8535 semuanya dapat diakses melalui semua pengalamatan *mode*.

2.6.4. EEPROM Data Memori

ATmega8535 berisi 512 byte memori EEPROM data. Hal ini disusun sebagai data terpisah ruang, di mana *byte* tunggal dapat dibaca dan ditulis. EEPROM ini memiliki sebuah ketahanan minimal 100.000 menulis / menghapus siklus. Akses antara EEPROM dan CPU yang dijelaskan berikut ini, menentukan EEPROM *Address Register*, EEPROM *Data Register*, dan EEPROM *Control Register*.

2.6.5. I/O Port

Atmega 8535 memiliki 32 buah pin I/O. melalui pin I/O inilah Atmega 8535 berinteraksi dengan sistem lain. Semua bit register dan referensi dalam bagian ini ditulis dalam bentuk umum. Sebuah huruf kecil "x" mewakili huruf penomoran

untuk pelabuhan, dan huruf kecil "n" mewakili nomor bit. Namun, bila menggunakan bit *register* atau mendefinisikan dalam sebuah program, bentuk yang tepat harus digunakan. Sebagai contoh, PORTB3 untuk bit no. 3 di Port B, di sini didokumentasikan umumnya sebagai PORTxn. Tiga I / O lokasi alamat memori yang dialokasikan untuk setiap *port*, masing-masing untuk Data Daftar - PORTx, Arah Data Pendaftaran - DDRx, dan *Port Input Pins* - PINx.

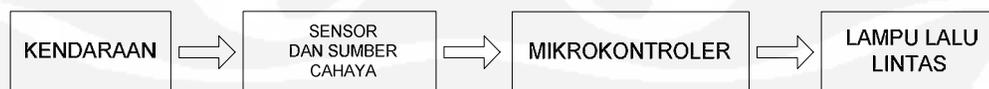
Setiap pin *port* terdiri dari tiga bit *register*: DDxn, PORTxn, dan PINxn. Seperti yang ditunjukkan pada "*Register Deskripsi untuk I / O- Port*", bit-bit DDxn diakses di DDRx I / O *address*, bit-bit PORTxn di PORTx I / O alamat, dan bit PINxn di yang PINx I / O alamat. Bit DDxn dalam Daftar DDRx memilih arah pin ini. Jika DDxn ditulis logika satu, Pxn dikonfigurasi sebagai pin *output*. Jika DDxn ditulis logika nol, Pxn dikonfigurasi sebagai pin *input*. Jika PORTxn ditulis satu logika ketika pin dikonfigurasi sebagai pin masukan, *pull-up resistor* diaktifkan. Untuk mengaktifkan *resistor pull-up off*, PORTxn harus ditulis logika nol atau pin harus dikonfigurasi sebagai pin *output*. Jika PORTxn ditulis logika satu ketika pin dikonfigurasi sebagai pin *output*, pin port didorong tinggi (satu). Jika PORTxn ditulis logika nol ketika pin dikonfigurasi sebagai pin *output*, pin port didorong rendah (nol). Pengguna harus menggunakan baik *tri-state* ($\{DDxn, PORTxn\} = 0b00$) atau keadaan output tinggi ($\{DDxn, PORTxn\} = 0b10$) sebagai langkah menengah [8].

BAB 3

RANCANG BANGUN PERANGKAT PENGATUR TIMER LAMPU LALU LINTAS BERDASARKAN ANTRIAN KENDARAAN

3.1. Prinsip Kerja Sistem

Prinsip kerja dari Perangkat Pengaturan Timer Lampu Lalu Lintas Berdasarkan Antrian Kendaraan diawali dengan sensor yang berfungsi mendeteksi jumlah kendaraan saat berhenti atau melintasi sensor dan laser, sehingga dapat diketahui atau diidentifikasi tingkat kepadatan lalu lintas. Sensor ini sangat peka terhadap cahaya, jadi saat sensor terhalang sesaat oleh benda yang bergerak maka *counter* akan menghitung, tetapi apabila sensor terhalang oleh benda yang tidak bergerak dan menghalangi laser mengenai sensor, maka *counter* akan berhenti menghitung sampai benda tersebut bergerak atau tidak menghalangi laser mengenai sensor. Kepadatan lalu lintas dapat diketahui pada saat kendaraan melewati sensor tersebut, melalui mekanisme penghitungan oleh *counter* akan menghitung hingga batas jumlah maksimum yang ditentukan. Jika kendaraan tidak ada yang lewat maka *counter* akan berhenti menghitung. Kepadatan akan diketahui oleh nilai *counter* yang terlihat selama waktu yang tidak ditentukan dan lampu lalu lintas akan otomatis berubah dari hijau ke merah atau dari merah ke hijau. Semakin banyak nilai *counter* mengindikasikan bahwa lalu lintas lebih padat karena lebih banyak kendaraan yang terdeteksi oleh sensor LDR. Gambar 3.1 menunjukkan diagram blok prinsip kerja sistem miniatur lampu lalu lintas.

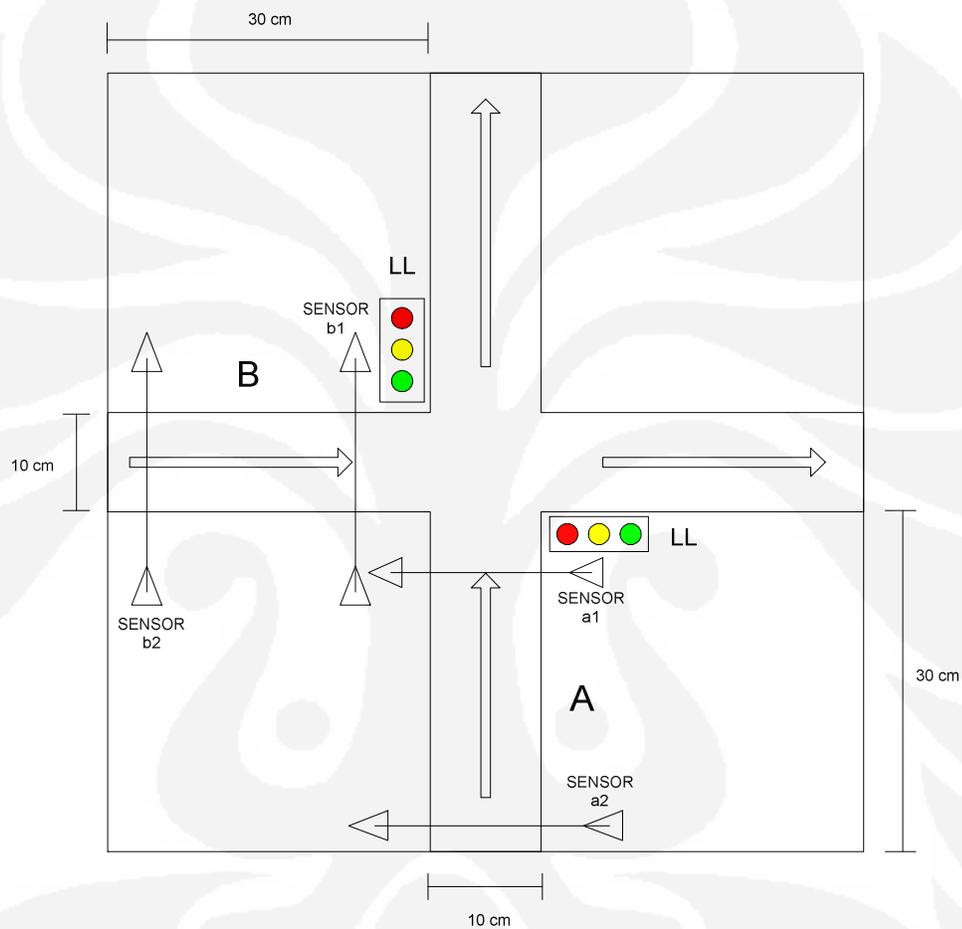


Gambar 3.1 Diagram blok prinsip kerja sistem.

Gambar 3.2 menjelaskan konfigurasi posisi sensor dengan empat pasang sensor yang terdiri dari empat sensor LDR dengan Laser sebagai sumber cahaya langsung yang dipasang pada miniatur perempatan jalan raya. Sensor ini berfungsi untuk mendeteksi adanya kendaraan yang lewat dan menghitung jumlah kepadatan kendaraan tiap jalur. Sensor bersifat peka terhadap cahaya dengan laser

sebagai transmisinya dan blok pengendali yang berfungsi mengendalikan sistem dan *timer* lampu lalu lintas.

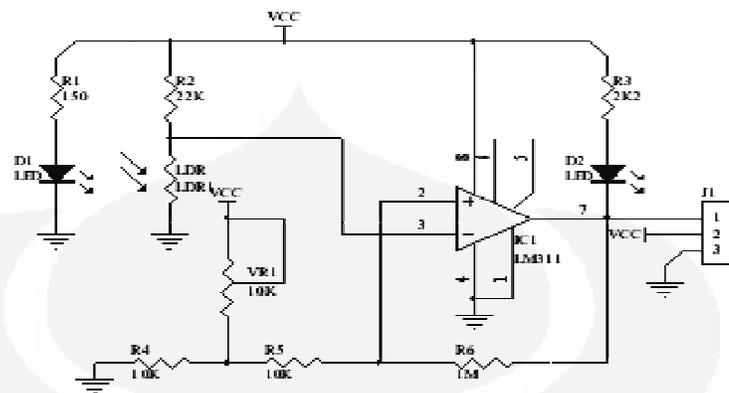
Konfigurasi sistem secara menyeluruh terdiri dari bagian-bagian seperti pada gambar konfigurasi posisi sensor LDR pada miniatur perempatan jalan di bawah ini.



Gambar 3.2 Konfigurasi posisi sensor pada miniatur perempatan jalan

3.2. Sensor LDR

Sensor cahaya disusun dari gabungan antara LDR dan komparator yang disusun seperti pada rangkaian pada Gambar 3.3. Pada saat komparator LM 311 mengeluarkan logika *High*, komparator ini berada pada kondisi mengambang (*floating*), jadi diperlukan resistor *pull-up* untuk dapat mengeluarkan tegangan 5 Volt saat logika 1.



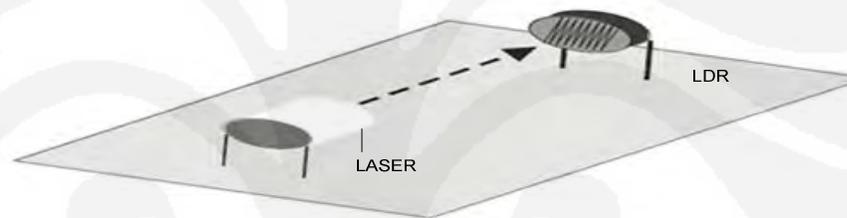
Gambar 3.3 Rangkaian sensor LDR dengan komparator

IC LM 311 merupakan sebuah komparator yang bekerja dengan arus yang rendah. IC ini juga didesain dengan tegangan kerja yang beragam, dari standar ± 15 V dapat diubah ke ± 5 V saat dioperasikan dalam rangkaian logika, sehingga *output*nya bisa dihubungkan dengan RTL, DTL, TTL ataupun CMOS. Tegangan referensi (V_{ref}) dari komparator ditentukan oleh tegangan potensiometer geser, sedangkan tegangan *input* (V_{in}) komparator diperoleh dari bagi tegangan sumber (+5 V) antara LDR dengan R1. Saat LDR dalam keadaan terang, maka hambatan dari LDR menjadi sangat kecil sehingga V_{in} menjadi kecil. Jika tegangan $V_{in} < V_{ref}$, maka *output* komparator akan menjadi *high* (+5V), sedangkan saat dalam keadaan gelap hambatan dari LDR menjadi sangat besar, sehingga V_{in} menjadi besar dan jika $V_{in} > V_{ref}$ maka *output* dari komparator akan menjadi *low* (0 V). Dengan prinsip kerja ini rangkaian mampu mendeteksi keadaan gelap \pm terang dari lingkungan sekitar dengan memberikan *output high* (+5 V) saat keadaan terang dan *low* (0 V) saat keadaan gelap. Gambar 3.4 memperlihatkan konfigurasi posisi LDR pada miniatur perempatan jalan lajur searah.



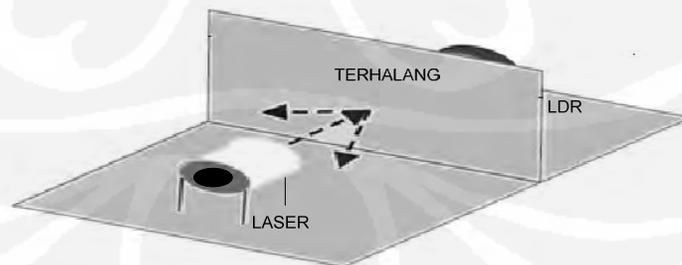
Gambar 3.4 Konfigurasi posisi LDR dalam miniatur perempatan jalan
Universitas Indonesia

Cara kerja dari komparator adalah membandingkan V_{in} dengan V_{ref} -nya maka dengan mengatur V_{ref} , kita sudah mengatur kepekaan sensor terhadap perubahan tingkat intensitas cahaya yang terjadi. Semakin rendah V_{ref} semakin sensitif komparator terhadap perubahan tegangan V_{in} yang diakibatkan oleh perubahan intensitas cahaya. Sesuai dengan rancangan sensor di atas, maka dapat didesain sebuah sensor yang dapat mendeteksi kendaraan yang memasuki jalan raya. Penjelasan sebagai berikut, ketika tidak ada kendaraan yang melewati sensor maka cahaya dari Laser tiba di LDR, sehingga hambatan LDR akan berkurang. Pada kondisi ini komparator akan mengeluarkan tegangan “0 Volt” atau sama dengan logika *Low*. (Lihat Gambar 3.5).



Gambar 3.5 Cahaya laser mengenai LDR

Sebaliknya pada saat terdapat kendaraan yang melintasi sensor, maka mobil tersebut bertindak sebagai penghalang lihat Gambar 3.6, sehingga intensitas cahaya yang diterima LDR akan berkurang. Pada kondisi ini komparator akan mengeluarkan tegangan “5 Volt” atau sama dengan logika *High*.

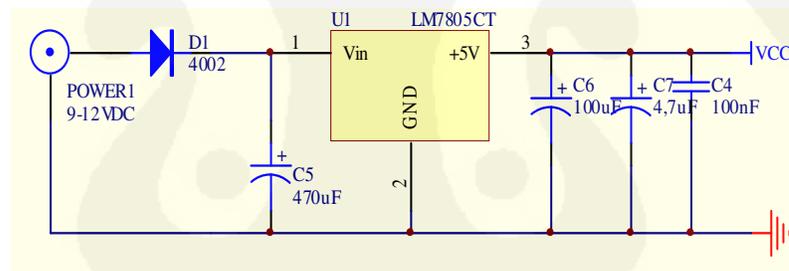


Gambar 3.6 Cahaya laser terhalang oleh benda padat

Universitas Indonesia

3.3 Perancangan Power Supply

Dalam sistem ini digunakan sumber tegangan 5 Volt DC yang akan memberikan *supply* tegangan kepada rangkaian mikrokontroler dan sensor yang akan diuji. Tegangan sebesar 5 volt DC merupakan keluaran yang didapat dari IC regulator yaitu tipe 7805. Gambar 3.7 merupakan rangkaian *power supply*. Catu daya berfungsi untuk memberikan suplai tegangan, khususnya ke IC mikrokontroler ATMEGA 8535, catu daya yang di gunakan adalah 5 Volt dc. Untuk menurunkan tegangan trafo dari 9 V menjadi 5 V maka di gunakan dua IC regulator yaitu IC *voltage regulator* LM7809 dan IC Regulator LM 7805. Tegangan dari trafo 220 VAc diturunkan menjadi 9 vdc oleh IC LM 7809 lalu keluaran dari IC LM7809 yang sebesar 9 Vdc ini digunakan sebagai inputan untuk IC LM7805 yang akan menghasilkan tegangan 5 Vdc yang stabil. Pada rangkaian catu daya, dioda 1N4002 berfungsi sebagai penyearah gelombang dari ac ke dc dengan arus sebesar 1 Ampere, sedangkan kapasitor 470 μ F dan berfungsi sebagai filter tegangan dc atau penghalus pulsa-pulsa tegangan yang dihasilkan oleh dioda penyearah.

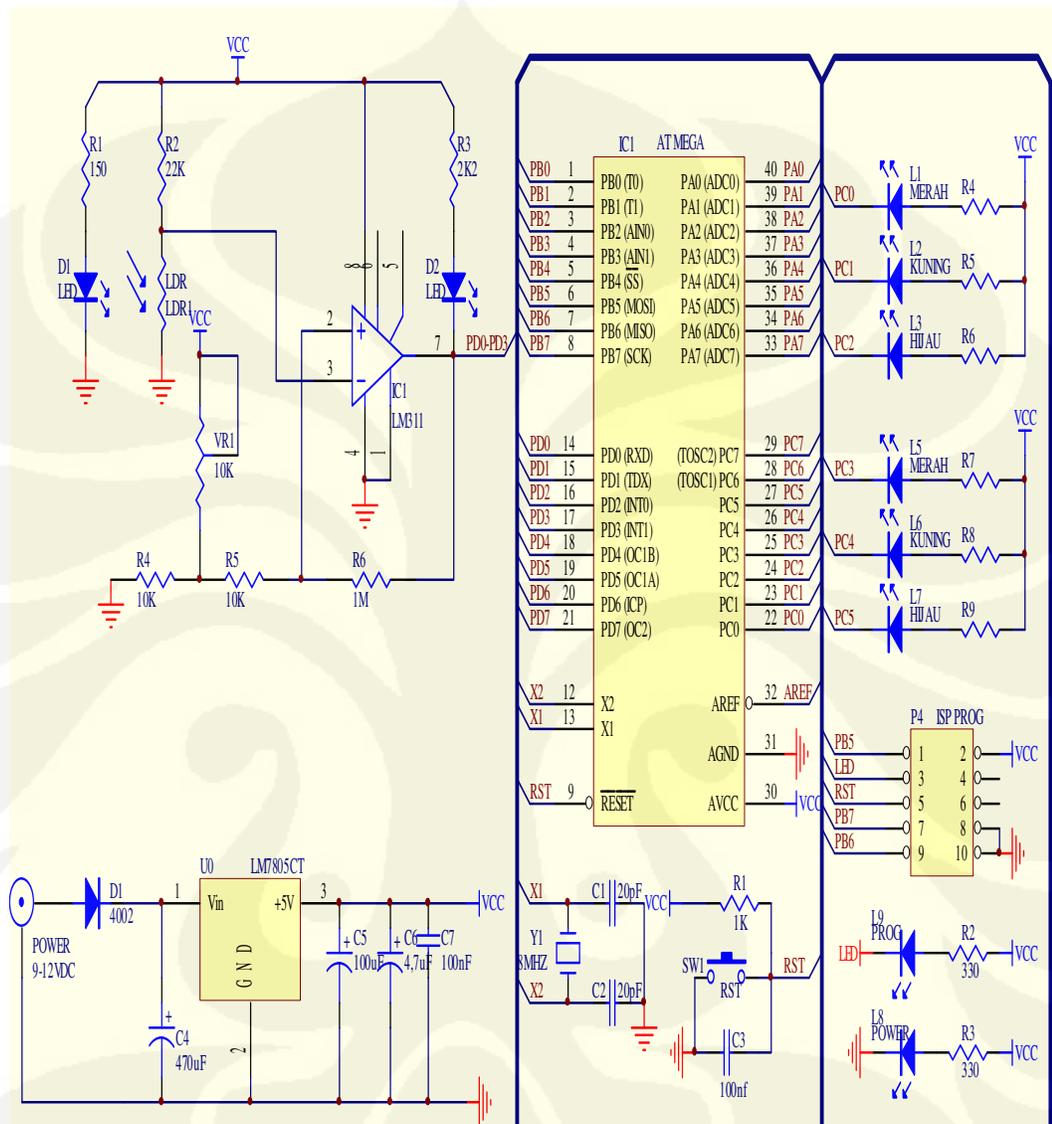


Gambar 3.7 Rangkaian power supply

3.4 Rangkaian Mikrokontroler

Rangkaian mikrokontroler ATMEGA 8535 ditunjukkan pada Gambar 3.8. Untuk penyimpanan program dan data menggunakan memori internal pada IC mikrokontroler itu sendiri, inilah salah satu kelebihan dari AVR Atmega 8535 sehingga tidak memerlukan rangkaian yang rumit. *Output* dari Sensor LDR terhubung dengan I/O dari PD0-PD3 yang berfungsi sebagai pin I/O dua arah dan pin fungsi khusus, yaitu komparator analog, interupsi eksternal, dan komunikasi serial.

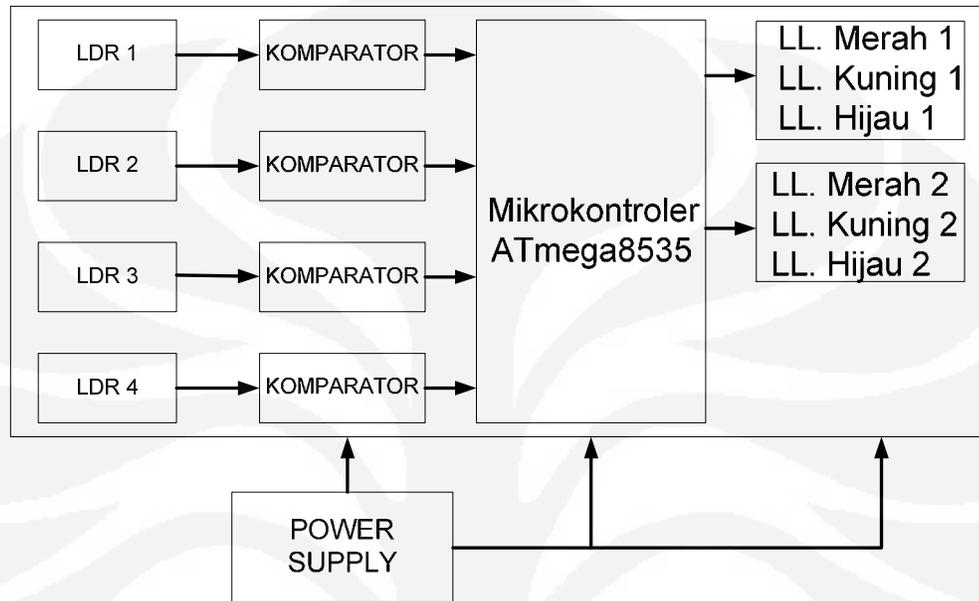
Catu daya sebesar 5 V yang dihasilkan oleh rangkaian IC Regulator terhubung pada rangkaian sensor dan rangkaian Mikrokontroler ATMEGA 8535.



Gambar 3.8 Rangkaian mikrokontroler ATMEGA 8535

Blok diagram rancangan rangkaian terdiri dari beberapa bagian yaitu blok LDR dengan laser yang berfungsi sebagai sensor pendeteksi kendaraan, komparator sebagai rangkaian pembanding antara V_{in} dan V_{ref} yang menghasilkan keluaran *high* dan *low*, mikrokontroler yang berfungsi sebagai pengendali serta blok keluaran berupa miniatur lampu lalu lintas.

Semua rangkaian tadi disuplai dengan menggunakan tegangan 5 V yang dihasilkan oleh blok *power supply* dengan menggunakan IC Regulator LM 7805. Gambar 3.9 memperlihatkan suatu blok diagram rancangan rangkaian.



Gambar 3.9 Blok diagram rancangan rangkaian

3.5 Perancangan Perangkat Pengatur Timer Lampu Lalu Lintas Berdasarkan Antrian Kendaraan

Setelah membuat rancangan masing-masing bagian tahap selanjutnya adalah menggabungkan ketiga perangkat, yaitu sensor LDR, *power supply* dan mikrokontroler menjadi perangkat pengatur timer lampu lalu lintas berdasarkan antrian kendaraan. Perangkat ini dipasang pada miniatur perempatan jalan raya lajur searah. Miniatur perempatan jalan raya dibuat dengan menggunakan bahan acrylic agar pemasangan perangkat mudah, permukaannya yang rata dan halus cocok untuk simulasi kendaraan dan juga cukup ekonomis. Masing-masing jalan memiliki lebar 10 cm dan panjang jalan 30 cm dengan 4 pasang perangkat sensor, masing-masing 2 sensor disetiap jalan. Perbandingan jalan sesungguhnya dengan jalan pada miniatur yaitu dengan skala 1:50 cm, yaitu 10 cm lebar di miniatur sama dengan 5 m jalan sebenarnya dan 30 cm panjang jalan pada miniatur sama dengan 15 m jalan sebenarnya.

Ketentuan sistem lampu lalu lintas untuk mengontrol durasi nyala lampu lalu lintas pada miniatur tersebut (Gambar 3.2).

1. Jika panjang antrian di A dan B sama maka *timer* berjalan normal, yaitu selisih antara keduanya 0 atau < 5 kendaraan.
2. Saat A hijau dan B merah dan sensor di B mendeteksi tidak ada kendaraan atau kepadatan= 0 maka A akan menyala hijau terus sampai sensor b1 mendeteksi adanya kendaraan yang akan membuat jalur B menyala hijau secara otomatis dan begitu juga sebaliknya.
3. Saat A hijau tetapi tidak ada kendaraan lagi yang terdeteksi melewati sensor di A sedangkan di B pada posisi merah terdeteksi adanya kendaraan yang melintas maka secara otomatis A akan menyala merah dan B menyala hijau.
4. Saat A merah dan B hijau dan kepadatan antrian kendaraan di A $> B$ dengan ketentuan bahwa selisih antara kepadatan di A dan B adalah >5 kendaraan ($A-B = 5$), maka A akan otomatis hijau dan B merah, tetapi apabila kepadatan A $< B$ maka B akan menyala terus.

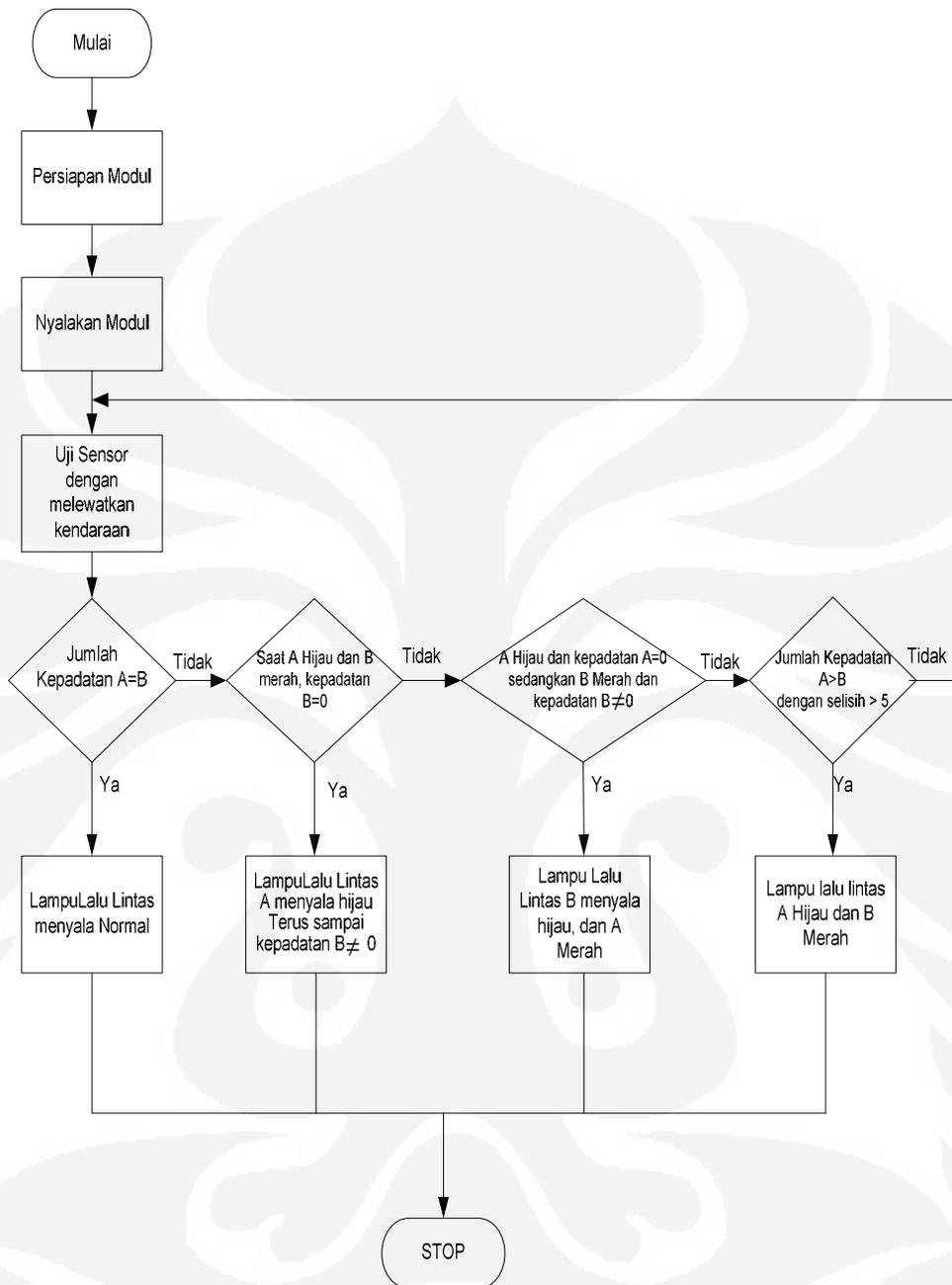
3.6 Diagram Alir Perancangan Program

Tahap selanjutnya adalah diagram alir pengatur timer lampu lalu lintas berdasarkan antrian kepadatan kendaraan berfungsi untuk memudahkan dalam pembuatan *timer* lampu lalu lintas sesuai dengan ketentuan yang akan dibuat.

Gambar 3.10 menggambarkan dan menjelaskan bagaimana alur proses-proses dalam pembuatan program utama yang ditekankan pada pengaturan *timer* lampu lalu lintas. Hal yang pertama dilakukan adalah mengaktifkan Modul aplikasi Perangkat Pengatur Timer Lampu Lalu Lintas Berdasarkan Antrian Kendaraan yang otomatis akan mengaktifkan sensor LDR. Lalu uji sensor dengan melewati benda penghalang di dua jalur dengan kondisi lampu yang berbeda, yaitu pada saat merah dan hijau. Apakah sensor mendeteksi kepadatan yang sama antara kedua jalur jika 'ya', maka lampu lalu lintas akan bekerja normal dan jika tidak, maka sistem akan mendeteksi ulang keadaan kedua jalur. Saat A hijau dan B merah dan sensor di B mendeteksi tidak ada kendaraan atau kepadatan= 0, maka A akan menyala hijau terus sampai sensor B mendeteksi adanya kendaraan

yang akan membuat jalur B menyala hijau secara otomatis dan apabila tidak, maka sistem akan mendeteksi lagi keadaan kedua jalur. Saat A hijau tetapi tidak ada kendaraan lagi yang terdeteksi melewati sensor di A, sedangkan di B pada posisi merah terdeteksi adanya kendaraan yang melintas maka secara otomatis A akan menyala merah dan B menyala hijau dan jika tidak, maka sistem akan mendeteksi lagi keadaan kedua jalur dengan kondisi yang lain. Saat A merah dan B hijau dan kepadatan antrian kendaraan di $A > B$ dengan ketentuan bahwa selisih antara kepadatan di A dan B adalah > 5 ($A - B = 5$), maka A akan otomatis hijau dan B merah, tetapi apabila kepadatan $A < B$ maka B akan menyala terus. Jika sensor mendeteksi kepadatan disalah satu jalur saja maka lampu hijau pada jalur yang padat tersebut akan menyala. Apabila salah satu jalur itu kosong sama sekali dan yang lain padat, maka jalur yang padat itu akan menyala hijau terus menerus sampai jalur yang kosong sama sekali itu terdeteksi oleh sensor ada kendaraan yang lewat. Demikian langkah-langkah diagram alir yang bekerja secara terus menerus.

Perancangan program menggunakan bahasa *basic* dengan menggunakan *software* BASCOM-AVR. Hal pertama yang dilakukan dalam pembuatan program adalah mendefinisikan/mendeklarasikan masing-masing *port* yang akan digunakan sebagai *input* dan *output*. Dengan mengkonfigurasi *port* sebagai *output* berarti *port* tersebut ditugaskan untuk mengeluarkan suatu logika, sedangkan dengan mengkonfigurasi *port* sebagai *input* berarti *port* tersebut ditugaskan untuk menangkap perubahan logika dari suatu sumber tertentu (misalnya sensor). Kemudian membuat program utama dan sub rutusnya antara lain syarat-syarat dalam pengendalian timer lampu lalu lintas dengan masukan dari sensor LDR sebagai pendeteksi kepadatannya. Program dibuat secara kontinyu, sehingga sistem akan bekerja terus menerus. Gambar 3.10 memperlihatkan diagram alir perancangan program utama.

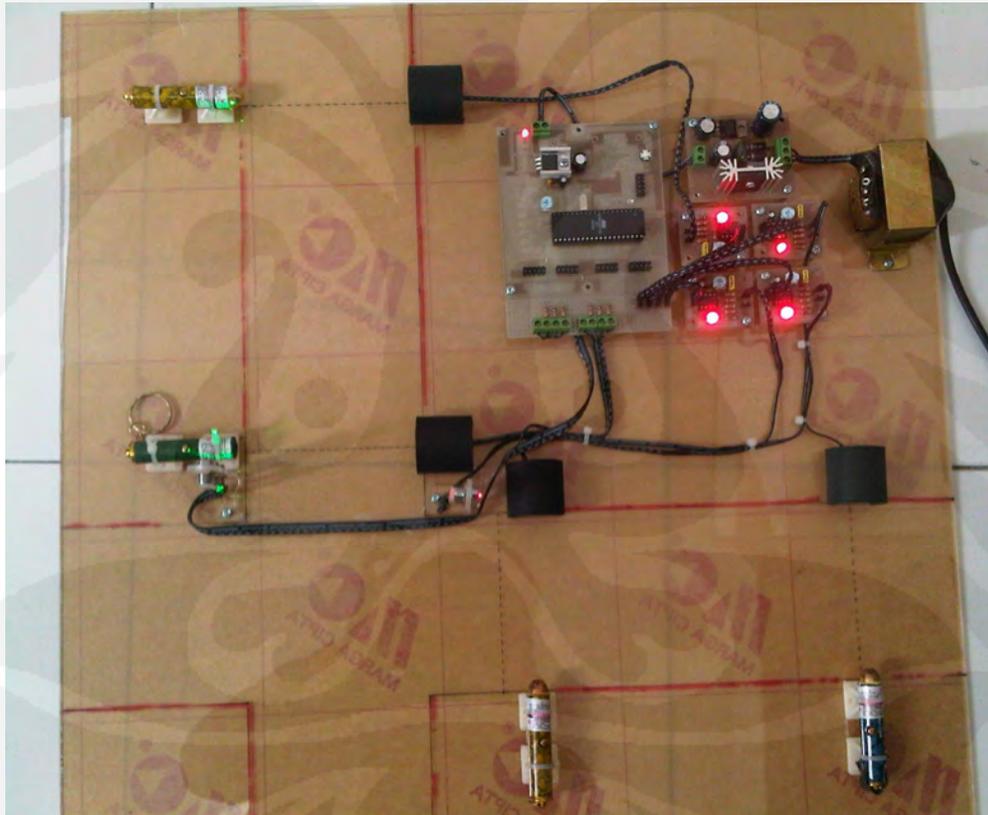


Gambar 3.10 Diagram alir perancangan program utama

BAB 4

PENGUJIAN PERANGKAT PENGATUR TIMER LAMPU LALU LINTAS BERDASARKAN ANTRIAN KENDARAAN

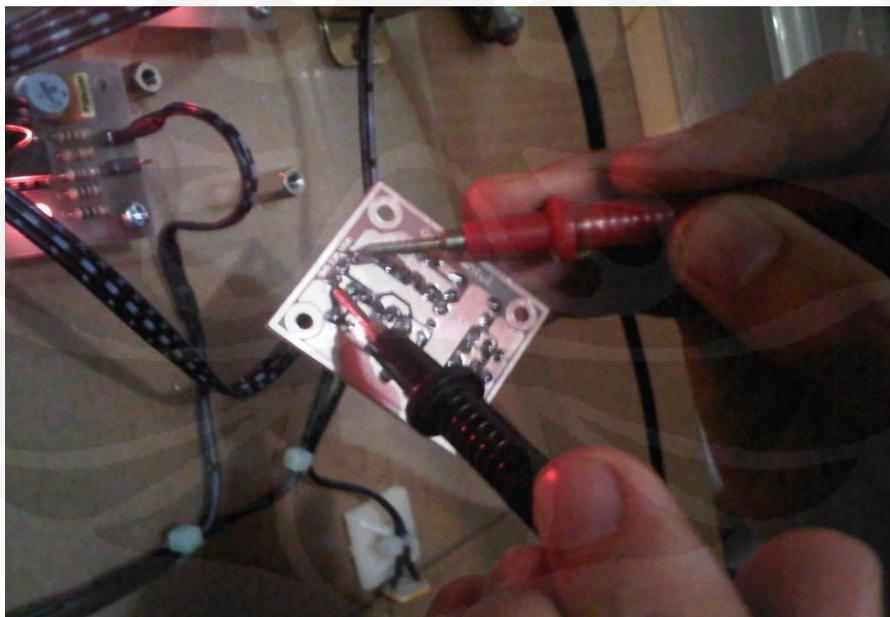
Pada bab ini akan dilakukan pengujian hasil rancang bangun perangkat pengaturan timer lampu lalu lintas berdasarkan antrian kendaraan. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa alat yang dibuat dapat berfungsi seperti yang diharapkan. Modul ini terdiri dari beberapa blok yang akan diuji yaitu perangkat sensor LDR, perangkat *power supply*, dan perangkat secara keseluruhannya. Pengujian perangkat dilakukan dengan memasangkannya pada miniatur perempatan jalan seperti tampak pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Miniatur perangkat pengaturan timer lampu lalu lintas berdasarkan antrian kendaraan

4.1 Pengujian sensor LDR

Pengujian sensor LDR ini digunakan sebagai alat pendeteksi kepadatan/antrian kendaraan karena sensor ini memiliki kepekaan terhadap cahaya yang sangat sensitif sehingga dapat dimanfaatkan sebagai sensor kepadatan. LDR akan mengeluarkan tegangan ketika terkena cahaya laser sehingga akan didapatkan suatu tegangan yang berubah antar “*high*” dan “*low*”. *High* saat tegangannya ± 4.95 V dan *low* saat tegangan nya ± 117 mV. Saat sensor diberikan cahaya langsung dan tidak, maka akan terjadi perubahan tegangan. Karena sensor LDR sangat sensitif terhadap cahaya maka pengujian dilakukan dua kali yaitu saat tanpa pelindung dari cahaya luar dan saat dengan pelindung yang mencegah cahaya mengenai sensor LDR secara langsung. Cara mengemas sensor LDR agar tidak terganggu dengan cahaya luar yaitu dengan menggunakan pelindung yang berwarna gelap atau hitam supaya tidak tembus cahaya, bahan yang digunakan terbuat dari bahan paralon yang dibentuk sedemikian rupa menutupi permukaan atas dari sensor LDR. Ukuran pelindung yang digunakan secukupnya saja sesuai dengan besarnya penampang LDR yang digunakan, sehingga cahaya luar tidak mengenai sensor LDR. Tabel 4.1 memperlihatkan hasil pengujian dari sensor LDR saat terkena sinar laser dan tidak.



Gambar 4.2 Pengujian sensor LDR

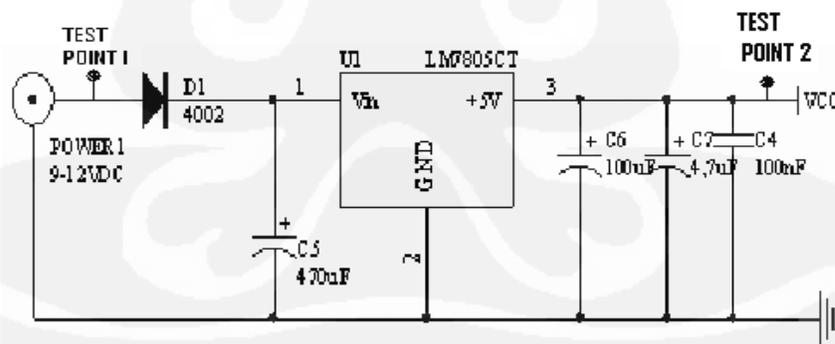
Tabel 4.1 Pengujian sensor LDR

NO	Keluaran Tegangan Sensor LDR	
	Saat terkena sinar Laser (V)	Sebelum terkena sinar laser (V)
1	116,9 mV	4,95 V
2	177 mV	4,96 V
3	177 mV	4,95 V
4	116,9 mV	4,96 V
5	117 mV	4,94 V

Dari hasil pengujian yang didapat, maka dapat disimpulkan bahwa cahaya luar yang mengenai sensor LDR langsung mempengaruhi keluaran dari LDR, sedangkan hasil pengujian yang menggunakan pelindung hasil keluarannya lebih baik karena cahaya luar atau matahari tidak mengenai langsung ke sensor sehingga tidak terjadi gangguan dari cahaya luar.

4.2 Pengujian Power supply

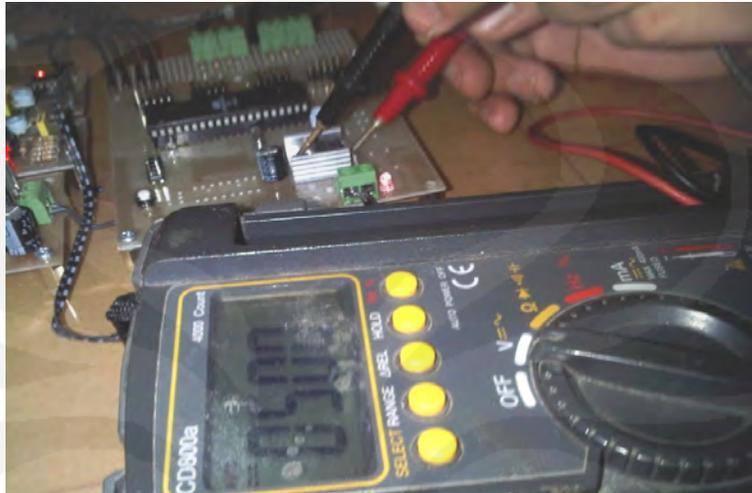
Gambar 4.3 menunjukkan titik-titik pengukuran dari kinerja *power supply* yang harus diperhatikan, antara lain titik masukan IC Regulator LM 7805 dan keluarannya.

Gambar 4.3 Skema pengujian kinerja *power supply*

a. Keluaran IC 7805

Nilai tegangan keluaran ideal dari rangkaian IC 7805 ini adalah 5 volt pada titik test point 2 pada Gambar 4.3, namun pada kenyataannya hanya 4,9 volt atau dibawah 5 V. Walaupun demikian nilai tegangan ini masih cukup

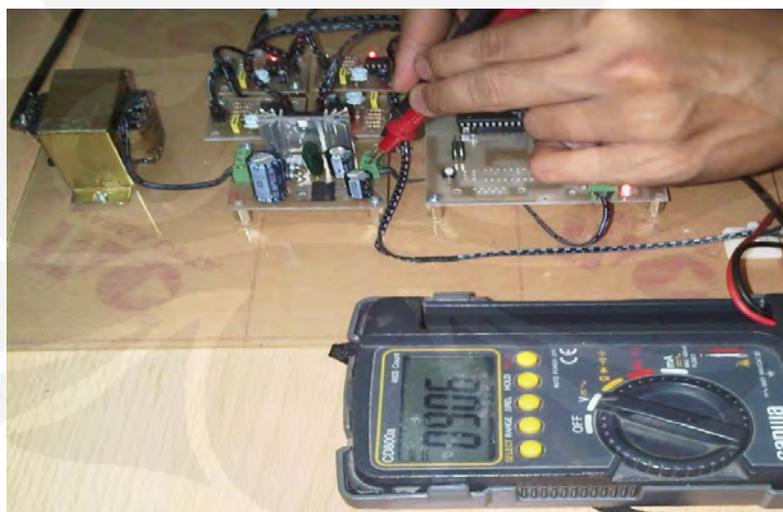
untuk mencatu komponen-komponen yang lain. Gambar 4.4 memperlihatkan pengukuran IC Regulator LM 7805.



Gambar 4.4 Pengukuran IC LM7805

b. Masukkan IC 7805

Nilai tegangan masukan IC 7805 dari trafo sekunder, pada alat ini digunakan trafo primer 220 Volt dan trafo sekunder 9 volt. Ukur pada titik test point 1 Nilai tegangan masukan IC 7805 adalah 9 volt, cukup untuk mencatu IC 7805 agar dapat beroperasi dan menghasilkan keluaran 5 volt yang akan digunakan untuk *supply* mikrokontroler dan rangkaian sensor LDR. Gambar 4.5 menunjukkan titik pengukuran *input* IC LM7805.



Gambar 4.5 Pengukuran *input* IC LM7805

Pada Tabel 4.2 menunjukkan hasil pengujian dan pengukuran masukan dan keluaran dari IC regulator 7805.

Tabel 4.2 Hasil pengujian masukan dan keluaran IC Regulator LM 7805

NO	Masukan dan Keluaran IC Regulator LM 7805	
	Masukan dari IC Regulator LM 7809 (V)	Keluaran dari IC Regulator LM 7805 (V)
1	9,06 V	5 V
2	9,06 V	4,99 V
3	9,07 V	4,99 V
4	9,05 V	5 V
5	9,02 V	5 V

4.3 Pengujian Modul Perangkat

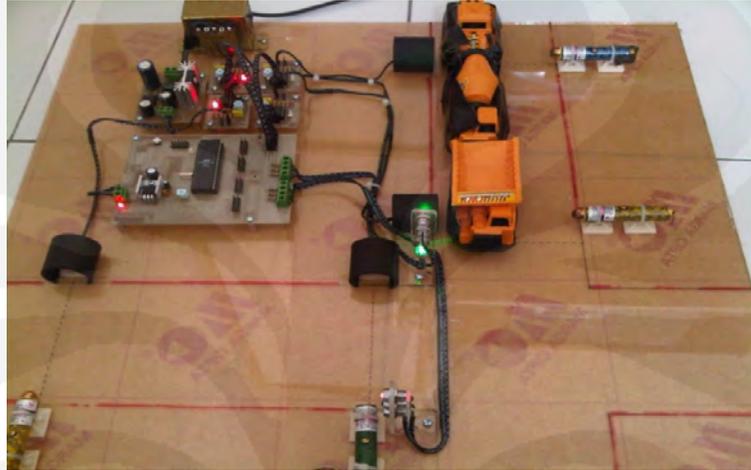
Jika diuji dari titik ke titik dengan mengukur tegangan keluaran ataupun respon dari sensor yang ada, maka perangkat-perangkat yang ada seperti *power supply* dan sensor LDR sudah bekerja dengan baik. Setelah dilakukan pengujian secara menyeluruh, ternyata perangkat maupun program bekerja dengan baik maka dapat dinyatakan bahwa modul Perangkat Pengatur Timer Lampu Lalu Lintas Berdasarkan Antrian Kendaraan telah bekerja dengan baik. Adapun langkah-langkah pengujiannya mengikuti ketentuan yang telah dibuat sebelumnya di bab 3 antara lain:

5. Saat antrian di A dan B sama, maka timer berjalan normal, yaitu selisih antara keduanya 0 atau < 5 kendaraan.



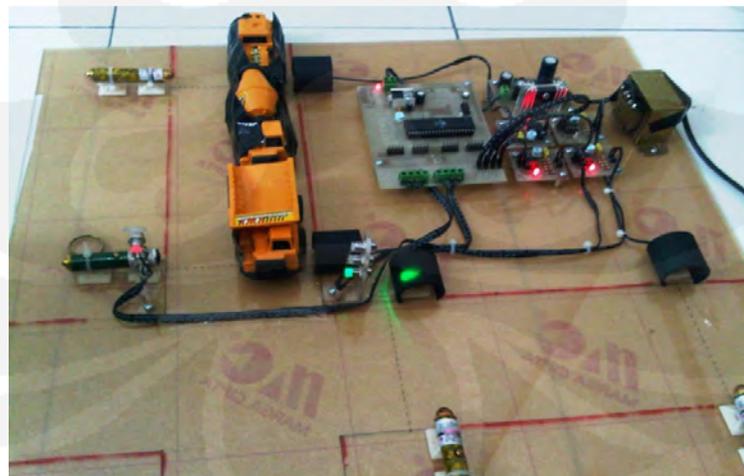
Gambar 4.6 Simulasi saat kepadatan pada dua jalur sama

6. Saat A hijau dan B merah dan sensor di B mendeteksi tidak ada kendaraan atau kepadatan= 0, maka A akan menyala hijau terus sampai sensor b1 mendeteksi adanya kendaraan yang akan membuat jalur B menyala hijau secara otomatis dan begitu juga sebaliknya. Gambar 4.7 memperlihatkan saat salah satu jalur tidak ada kendaraan.



Gambar 4.7 Simulasi saat salah satu jalur tidak ada kendaraan

7. Saat A hijau tetapi tidak ada kendaraan lagi yang terdeteksi melewati sensor di A, sedangkan di B pada posisi Merah terdeteksi adanya kendaraan yang melintas, maka secara Otomatis A akan menyala Merah dan B menyala Hijau. (lihat Gambar 4.8).



Gambar 4.8 Simulasi saat salah satu jalur kepadatannya 0

8. Ketika panjang antrian kendaraan di A > B dengan ketentuan bahwa selisih antara kepadatan di A dan B adalah > 5 ($A-B = 5$), maka lampu di A akan Hijau dan B akan merah dan sebaliknya. (lihat Gambar 4.9).



Gambar 4.9 Simulasi saat kepadatan di salah satu jalur lebih besar

Setelah modul dijalankan dan ternyata bekerja sesuai dengan ketentuan yang telah dibuat maka pengujian perangkat secara keseluruhan telah bekerja dengan baik.

4.4 Analisa sistem keseluruhan

Dari hasil data yang didapatkan atau hasil pengukuran bahwa terlihat secara keseluruhan telah sesuai dengan perencanaan yang telah dibuat sebelumnya, ada sedikit masalah yang dihadapi, yaitu *output power supply* yang seharusnya sebesar 5 V ternyata dari hasil pengukuran menjadi sebesar 4,9 Volt DC. Ini disebabkan karena hasil *output* dari *power supply* belum sesuai dengan tegangan *input* yang dibutuhkan modul mikrokontroler tetapi masih bisa digunakan untuk sistem mikrokontroler dan sensor LDR ini, sehingga modul mikrokontroler masih dapat bekerja stabil dan efektif.

Sensor LDR dapat bekerja dengan baik, meskipun pemasangannya harus diperhatikan dengan hari-hati, karena salah satu sifat sensor LDR ini memiliki kepekaan cahaya yang sangat sensitif, jadi harus dilindungi dengan protektor dari cahaya luar atau gangguan cahaya luar, karena apabila tidak, maka sensor tidak

akan bekerja dengan baik karena akan mendeteksi bayangan ataupun cahaya luar yang cenderung berubah-ubah, ini dapat membuat sensor bekerja walaupun tidak adanya kendaraan yang lewat. Oleh karena itu sensor LDR diberi pelindung dari cahaya luar, agar cahaya yang tiba semata-mata berasal dari laser.



BAB 5

KESIMPULAN

Setelah melakukan rancang bangun dan pengujian perangkat pengaturan timer lampu lalu lintas pada miniatur perempatan jalan raya dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Telah berhasil dibuat perangkat pengatur timer lampu lalu lintas berdasarkan antrian kendaraan dengan memanfaatkan laser dan LDR sebagai sensor dengan mikrokontroller ATMEGA 8535 sebagai pengendali. Perubahan durasi nyala lampu lalu lintas akan berubah secara otomatis sesuai dengan jumlah kendaraan masing-masing jalur yang terdeteksi oleh sensor.
2. Dari hasil pengujian dengan menggunakan 4 pasang sensor yang dipasang berturut-turut pada jarak 4 dan 24 cm dari perempatan miniatur jalan raya, dihasilkan bahwa perangkat mampu mendeteksi perbedaan panjang antrian di kedua badan jalan. Perbedaan jumlah kendaraan di kedua badan jalan untuk dapat merubah durasi nyala lampu lalu lintas secara otomatis adalah > 5 kendaraan, sedangkan apabila selisihnya < 5 kendaraan, maka lampu lalu lintas akan menyala normal.

DAFTAR ACUAN

- [1] Indonesia, presiden republik.(2009).*Undang-undang no.22 tahun 2009 tentang: lalu lintas dan angkutan jalan*.Jakarta
- [2] Nurhadi,wahyu ma'aful,Widiantoro, paulinus yunawan.(2010). *Jemuran pakaian otomatis dengan sensor cahaya dan sensor hujan*.amikom:Yogyakarta.
- [3] Datasheet, LDR
- [4] Datasheet, LM 311
- [5] Datasheet, LM 7805
- [6] Datasheet, ATMEGA 8535
- [7] Iswanto.(2008).*Design dan implementasi Sistem Embedded Mikrokontroler ATmega8535 dengan Bahasa Basic*.Gava Media.Yogyakarta.
- [8] Riantiningsih,wahyu nurdila.(2009).*Pengamanan rumah berbasis microcontroller atmega 8535 dengan sistim informasi dengan menggunakan pc*.USU.Medan.



LAMPIRAN

RS Data Sheet

Light dependent resistors

NORP12 RS stock number 651-507
NSL19-M51 RS stock number 596-141

Two cadmium sulphide (cdS) photoconductive cells with spectral responses similar to that of the human eye. The cell resistance falls with increasing light intensity. Applications include smoke detection, automatic lighting control, batch counting and burglar alarm systems.

Guide to source illuminations

Light source	Illumination (Lux)
Moonlight	0.1
60W bulb at 1m	50
17WES bulb at 0.1m	100
Fluorescent lighting	500
Bright sunlight	30,000

Circuit symbol



Light memory characteristics

Light dependent resistors have a particular property in that they remember the lighting conditions in which they have been stored. This memory effect can be minimized by storing the LDRs in light prior to use. Light storage reduces equilibrium time to reach steady resistance values.

NORP12 (RS stock no. 651-507)

Absolute maximum ratings

Voltage, ac or dc peak	320V
Current	75mA
Power dissipation at 30°C	250mW
Operating temperature range	-60°C to +75°C

Electrical characteristics

$T_A = 25^\circ\text{C}$, 2854°K tungsten light source

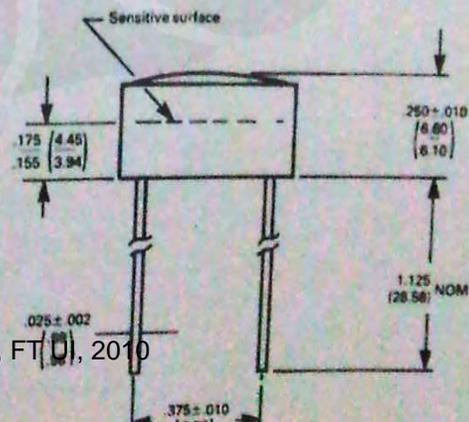
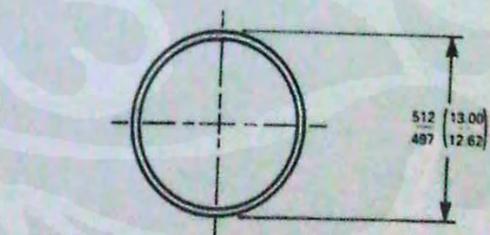
Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Cell resistance	1000 lux	-	400	-	Ω
	10 lux	-	9	-	k Ω
Dark resistance	-	1.0	-	-	M Ω
Dark capacitance	-	-	3.5	-	pF
Rise time 1	1000 lux	-	2.8	-	ms
	10 lux	-	18	-	ms
Fall time 2	1000 lux	-	48	-	ms
	10 lux	-	120	-	ms

1. Dark to 110% R_L
 2. To $10 \times R_L$
- R_L = photocell resistance under given illumination.

Features

- Wide spectral response
- Low cost
- Wide ambient temperature range.

Dimensions



332-3816

Figure 1 Power dissipation derating

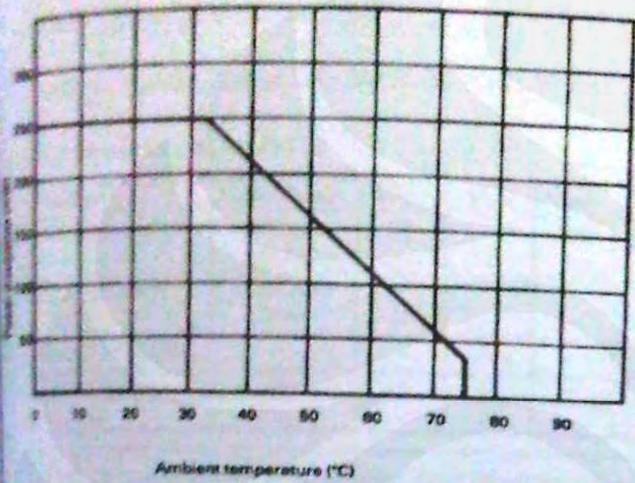
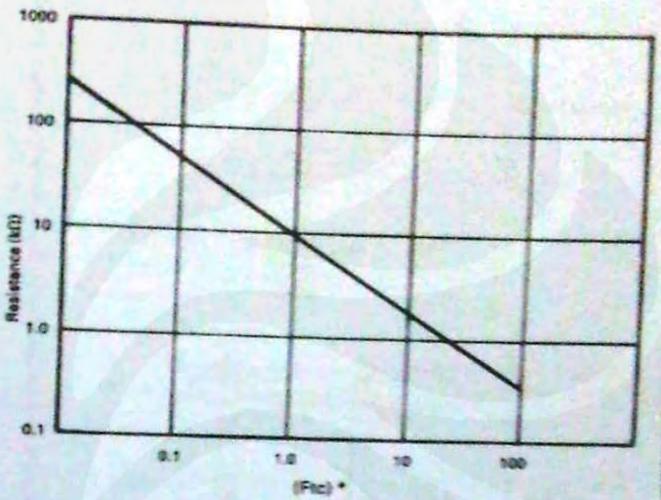
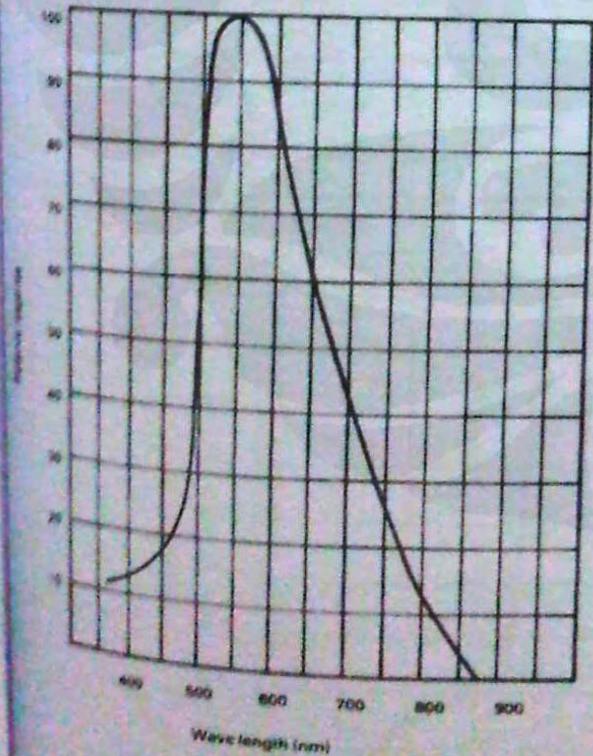


Figure 3 Resistance as a function of illumination



*1Fic=10.764 lumens

Figure 2 Spectral response



Absolute maximum ratings

Voltage, ac or dc peak _____ 100V
 Current _____ 5mA
 Power dissipation at 25°C _____ 50mW*
 Operating temperature range _____ -25°C +75°C

*Derate linearly from 50mW at 25°C to 0W at 75°C.

Electrical characteristics

Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Cell resistance	10 lux	20	-	100	kΩ
	100 lux	-	5	-	kΩ
Dark resistance	10 lux after 10 sec	20	-	-	MΩ
Spectral response	-	-	550	-	nm
Rise time	10fc	-	45	-	ms
Fall time	10fc	-	55	-	ms

Figure 4 Resistance as a function illumination

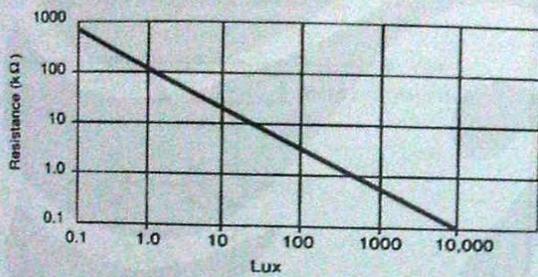
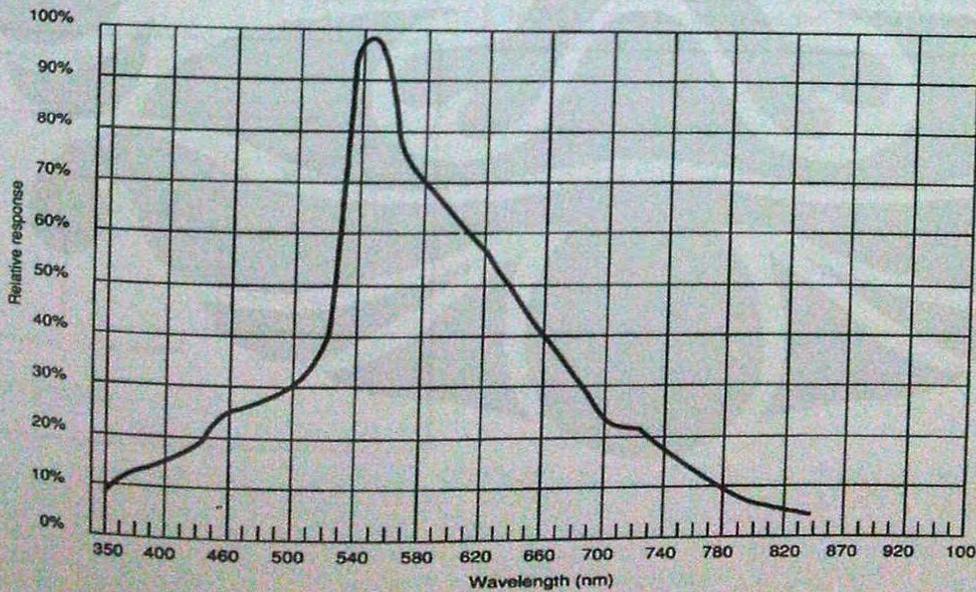
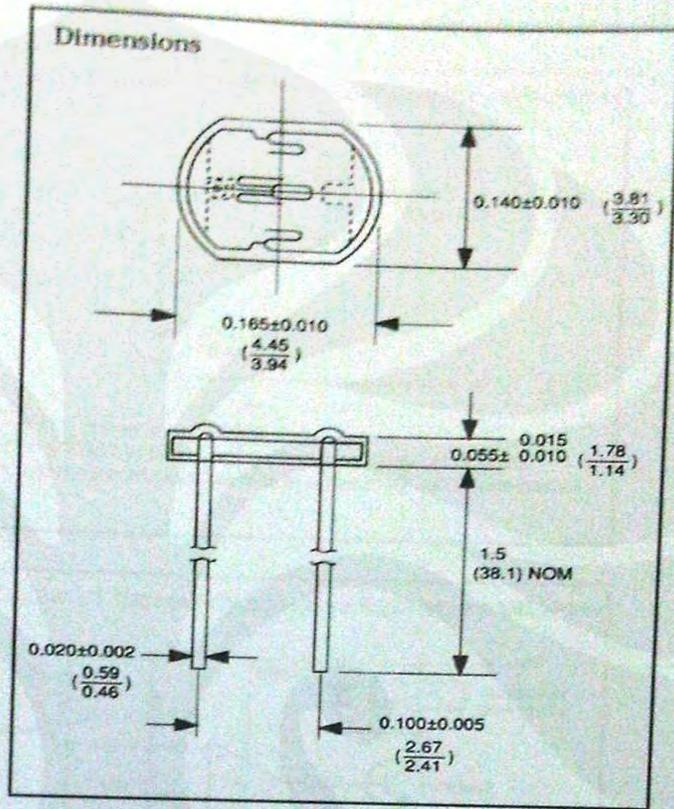


Figure 5 Spectral response

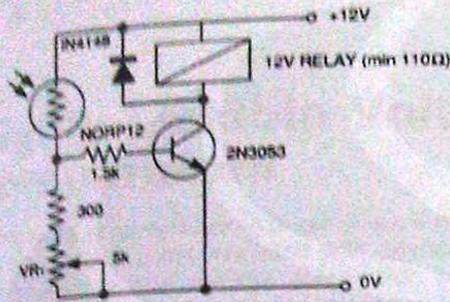


Dimensions



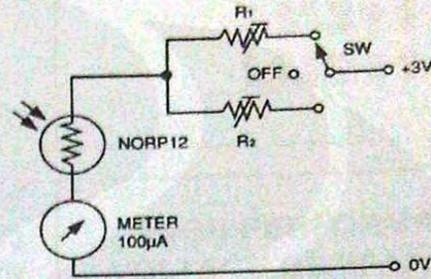
Typical application circuits

Figure 6 Sensitive light operated relay



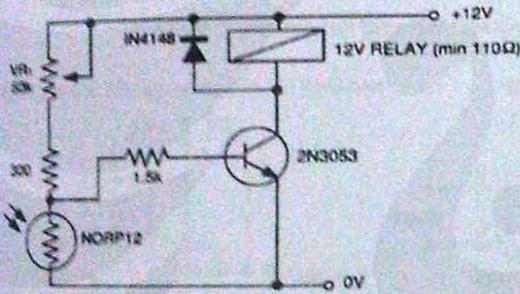
Relay energised when light level increases above the level set by VR₁

Figure 9 Logarithmic law photographic light meter



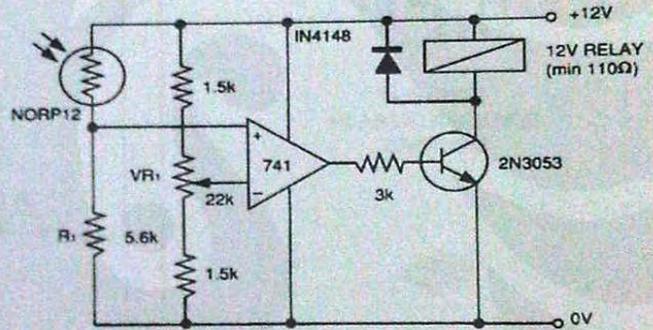
Typical value $R^1 = 100k\Omega$
 $R^2 = 200k\Omega$ preset to give two overlapping ranges.
 (Calibration should be made against an accurate meter.)

Figure 7 Light interruption detector



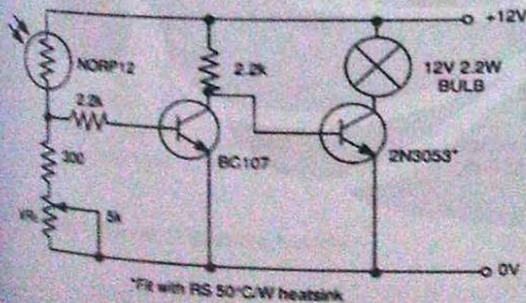
As Figure 6 relay energised when light level drops below the level set by VR₁

Figure 10 Extremely sensitive light operated relay



(Relay energised when light exceeds preset level.)
 Incorporates a balancing bridge and op-amp. R₁ and NORP12 may be interchanged for the reverse function.

Figure 8 Automatic light circuit



*Ft with RS 50°C/W heatsink

Adjust turn-on point with VR₁



MOTOROLA

Order this document by

Highly Flexible Voltage Comparators

The ability to operate from a single power supply of 5.0 V to 30 V or ± 15 V split supplies, as commonly used with operational amplifiers, makes the LM211/LM311 a truly versatile comparator. Moreover, the inputs of the device can be isolated from system ground while the output can drive loads referenced either to ground, the VCC or the VEE supply. This flexibility makes it possible to drive DTL, RTL, TTL, or MOS logic. The output can also switch voltages to 50 V at currents to 50 mA. Thus the LM211/LM311 can be used to drive relays, lamps or solenoids.

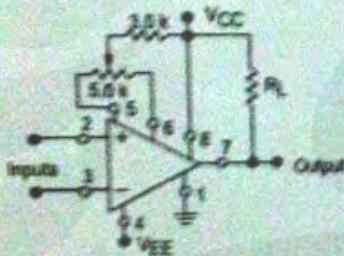
LM311 LM211

HIGH PERFORMANCE VOLTAGE COMPARATORS

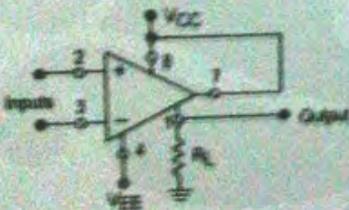
SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

Typical Comparator Design Configurations

Split Power Supply with Offset Balance

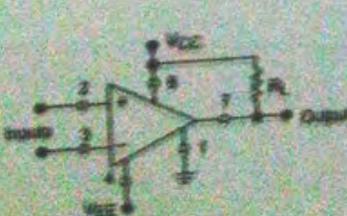


Ground-Referred Load

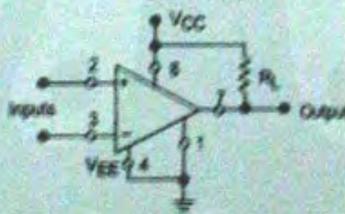


Input polarity is reversed when
Gnd pin is used as an output.

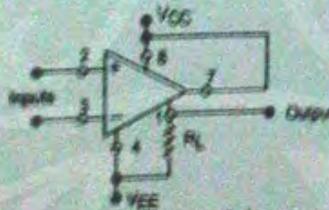
Load Referred to Positive Supply



Single Supply

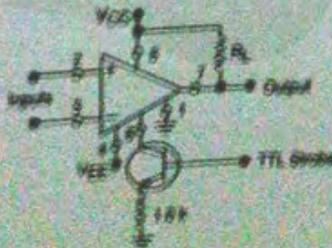


Load Referred to Negative Supply



Input polarity is reversed when
Gnd pin is used as an output.

Strobe Capability

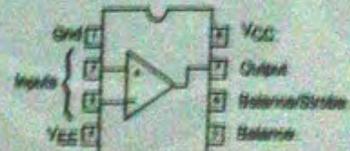


N SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 625



D SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 791
(SO-8)

PIN CONNECTIONS



(Top View)

ORDERING INFORMATION

Device	Operating Temperature Range	Package
LM211D	$T_A = 25^\circ \text{ to } +85^\circ \text{C}$	SO-8
LM311D	$T_A = 0^\circ \text{ to } +70^\circ \text{C}$	SO-8
LM311N		Plastic DIP

LM311 LM211

MAXIMUM RATINGS ($T_A = +25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	LM211	LM311	Unit
Total Supply Voltage	$V_{CC} + V_{EE} $	36	36	Vdc
Output to Negative Supply Voltage	$V_O - V_{EE}$	50	40	Vdc
Ground to Negative Supply Voltage	V_{EE}	30	30	Vdc
Input Differential Voltage	V_{ID}	± 30	± 30	Vdc
Input Voltage (Note 2)	V_{in}	± 15	± 15	Vdc
Voltage at Strobe Pin	-	V_{CC} to $V_{CC}-5$	V_{CC} to $V_{CC}-5$	Vdc
Power Dissipation and Thermal Characteristics Plastic DIP Derate Above $T_A = +25^\circ\text{C}$	P_D $1/\theta_{JA}$	625 5.0		mW mW/ $^\circ\text{C}$
Operating Ambient Temperature Range	T_A	-25 to +85	0 to +70	$^\circ\text{C}$
Operating Junction Temperature	$T_{J(max)}$	+150	+150	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	T_{stg}	-65 to +150	-65 to +150	$^\circ\text{C}$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = +15\text{ V}$, $V_{EE} = -15\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted [Note 1].)

Characteristic	Symbol	LM211			LM311			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage (Note 3) $R_S \leq 50\text{ k}\Omega$, $T_A = +25^\circ\text{C}$ $R_S \leq 50\text{ k}\Omega$, $T_{low} \leq T_A \leq T_{high}^*$	V_{IO}	-	0.7	3.0	-	2.0	7.5	mV
Input Offset Current (Note 3) $T_A = +25^\circ\text{C}$ $T_{low} \leq T_A \leq T_{high}^*$	I_{IO}	-	1.7	10	-	1.7	50	nA
Input Bias Current $T_A = +25^\circ\text{C}$ $T_{low} \leq T_A \leq T_{high}^*$	I_{IB}	-	45	100	-	45	290	nA
Voltage Gain	A_V	40	200	-	40	200	-	V/mV
Response Time (Note 4)		-	200	-	-	200	-	ns
Saturation Voltage $V_{ID} \leq -5.0\text{ mV}$, $I_O = 50\text{ mA}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_{ID} \leq -10\text{ mV}$, $I_O = 50\text{ mA}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_{CC} \geq 4.5\text{ V}$, $V_{EE} = 0$, $T_{low} \leq T_A \leq T_{high}^*$ $V_{ID} \leq 6.0\text{ mV}$, $I_{sink} \leq 8.0\text{ mA}$ $V_{ID} \leq 10\text{ mV}$, $I_{sink} \leq 8.0\text{ mA}$	V_{OL}	-	0.75	1.5	-	0.75	1.5	V
Strobe "On" Current (Note 5)	I_S	-	3.0	-	-	3.0	-	mA
Output Leakage Current $V_{ID} \geq 5.0\text{ mV}$, $V_O = 35\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $I_{strobe} = 3.0\text{ mA}$ $V_{ID} \geq 10\text{ mV}$, $V_O = 35\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $I_{strobe} = 3.0\text{ mA}$ $V_{ID} \geq 5.0\text{ mV}$, $V_O = 35\text{ V}$, $T_{low} \leq T_A \leq T_{high}^*$		-	0.2	10	-	-	-	nA
		-	-	-	-	0.2	50	nA
		-	0.1	0.5	-	-	-	μA
Input Voltage Range ($T_{low} \leq T_A \leq T_{high}^*$)	V_{ICR}	-14.5	-14.7 to 13.8	+13.0	-14.5	-14.7 to 13.8	+13.0	V
Positive Supply Current	I_{CC}	-	+2.4	+6.0	-	+2.4	+7.5	mA
Negative Supply Current	I_{EE}	-	-1.3	-5.0	-	-1.3	-5.0	mA

* $T_{low} = -25^\circ\text{C}$ for LM211
 $= 0^\circ\text{C}$ for LM311

$T_{high} = +85^\circ\text{C}$ for LM211
 $= +70^\circ\text{C}$ for LM311

- NOTES:**
- Offset voltage, offset current and bias current specifications apply for a supply voltage range from a single 5.0 V supply up to +15 V supplies.
 - This rating applies for $\leq 15\text{ V}$ supplies. The positive input voltage limit is 30 V above the negative supply. The negative input voltage limit is equal to the negative supply voltage or 30 V below the positive supply, whichever is less.
 - The offset voltages and offset currents given are the maximum values required to drive the output within a volt of either supply with a 1.0 mA load. Thus, these parameters define an error band and take into account the "worst case" effects of voltage gain and input impedance.
 - The response time specified is for a 100 mV input step with 5.0 mV overdrive.
 - Do not short the strobe pin to ground; it should be present when the output is in the linear region.

LM311 LM211

Figure 12. Output Leakage Current versus Temperature

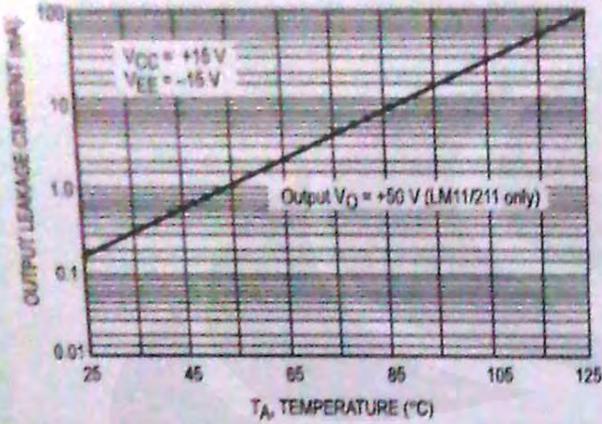


Figure 13. Power Supply Current versus Supply Voltage

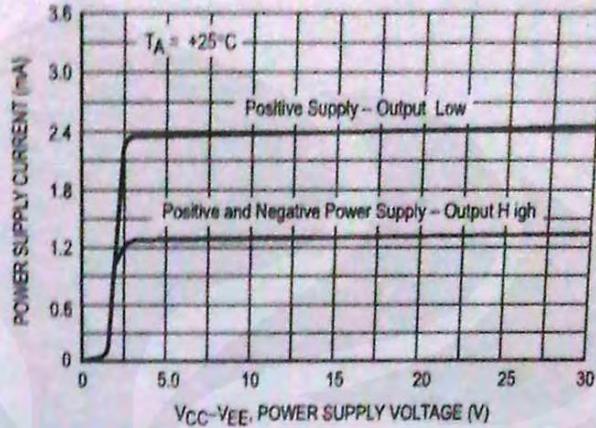
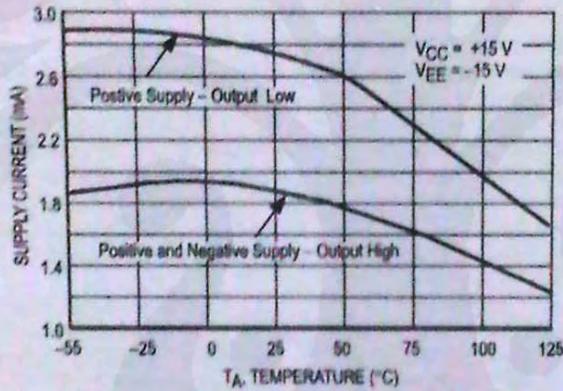


Figure 14. Power Supply Current versus Temperature



APPLICATIONS INFORMATION

Figure 15. Improved Method of Adding Hysteresis Without Applying Positive Feedback to the Inputs

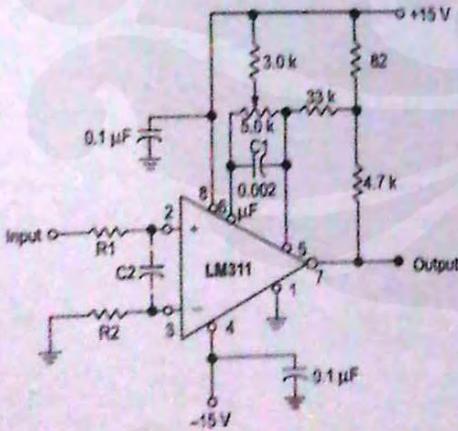
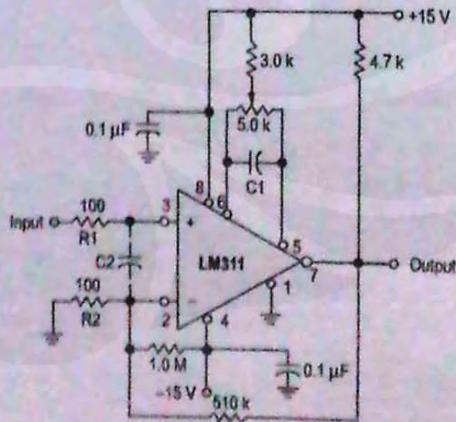


Figure 16. Conventional Technique for Adding Hysteresis



LM311 LM211

TECHNIQUES FOR AVOIDING OSCILLATIONS IN COMPARATOR APPLICATIONS

When a high speed comparator such as the LM211 is used with high speed input signals and low source impedances, the output response will normally be fast and stable, providing the power supplies have been bypassed (with 0.1 μF disc capacitors), and that the output signal is routed well away from the inputs (Pins 2 and 3) and also away from Pins 5 and 6.

However, when the input signal is a voltage ramp or a slow sine wave, or if the signal source impedance is high (1.0 k Ω to 100 k Ω), the comparator may burst into oscillation near the crossing-point. This is due to the high gain and wide bandwidth of comparators like the LM211 series. To avoid oscillation or instability in such a usage, several precautions are recommended, as shown in Figure 15.

The trim pins (Pins 5 and 6) act as unwanted auxiliary inputs. If these pins are not connected to a trim-pot, they should be shorted together. If they are connected to a trim-pot, a 0.01 μF capacitor (C1) between Pins 5 and 6 will minimize the susceptibility to AC coupling. A smaller capacitor is used if Pin 5 is used for positive feedback as in Figure 15. For the fastest response time, tie both balance pins to VCC.

Certain sources will produce a cleaner comparator output waveform if a 100 pF to 1000 pF capacitor (C2) is connected directly across the input pins. When the signal source is applied through a resistive network, R1, it is usually advantageous to choose R2 of the same value, both for DC and for dynamic (AC) considerations. Carbon, tin-oxide, and metal-film resistors have all been used with good results in comparator input circuitry, but inductive wirewound resistors should be avoided.

When comparator circuits use input resistors (e.g., summing resistors), their value and placement are particularly important. In all cases the body of the resistor should be close to the device or socket. In other words, there should be a very short lead length or printed-circuit foil run between comparator and resistor to radiate or pick up signals. The same applies to capacitors, pots, etc. For example, if R1 = 10 k Ω , as little as 5 inches of lead between the resistors and the input pins can result in oscillations that are very hard to dampen. Twisting these input leads tightly is the best alternative to placing resistors close to the comparator.

Since feedback to almost any pin of a comparator can result in oscillation, the printed-circuit layout should be engineered thoughtfully. Preferably there should be a groundplane under the LM211 circuitry (e.g., one side of a double layer printed circuit board). Ground, positive supply or negative supply foil should extend between the output and the inputs to act as a guard. The foil connections for the inputs should be as small and compact as possible, and should be essentially surrounded by ground foil on all sides to guard against capacitive coupling from any fast high-level signals (such as the output). If Pins 5 and 6 are not used, they should be shorted together. If they are connected to a trim-pot, the trim-pot should be located no more than a few inches away from the LM211, and a 0.01 μF capacitor should be installed across Pins 5 and 6. If this capacitor cannot be used, a shielding printed-circuit foil may be advisable between Pins 6 and 7. The power supply bypass capacitors should be located within a couple inches of the LM211.

A standard procedure is to add hysteresis to a comparator to prevent oscillation, and to avoid excessive noise on the output. In the circuit of Figure 16, the feedback resistor of 510 k Ω from the output to the positive input will cause about 3.0 mV of hysteresis. However, if R2 is larger than 100 Ω , such as 50 k Ω , it would not be practical to simply increase the value of the positive feedback resistor proportionally above 510 k Ω to maintain the same amount of hysteresis.

When both inputs of the LM211 are connected to active signals, or if a high-impedance signal is driving the positive input of the LM211 so that positive feedback would be disruptive, the circuit of Figure 15 is ideal. The positive feedback is applied to Pin 5 (one of the offset adjustment pins). This will be sufficient to cause 1.0 mV to 2.0 mV hysteresis and sharp transitions with input triangle waves from a few Hz to hundreds of kHz. The positive-feedback signal across the 82 Ω resistor swings 240 mV below the positive supply. This signal is centered around the nominal voltage at Pin 5, so this feedback does not add to the offset voltage of the comparator. As much as 8.0 mV of offset voltage can be trimmed out, using the 5.0 k Ω pot and 3.0 k Ω resistor as shown.

Figure 17. Zero-Crossing Detector Driving CMOS Logic

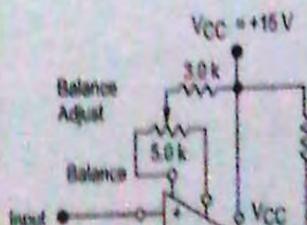
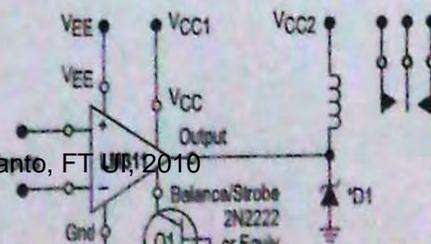


Figure 18. Relay Driver with Strobe Capability



LM78XX Series Voltage Regulators

General Description

The LM78XX series of three terminal regulators is available with several fixed output voltages making them useful in a wide range of applications. One of these is local on card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. The voltages available allow these regulators to be used in logic systems, instrumentation, HiFi, and other solid state electronic equipment. Although designed primarily as fixed voltage regulators these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

The LM78XX series is available in an aluminum TO-3 package which will allow over 1.0A load current if adequate heat sinking is provided. Current limiting is included to limit the peak output current to a safe value. Safe area protection for the output transistor is provided to limit internal power dissipation. If internal power dissipation becomes too high for the heat sinking provided, the thermal shutdown circuit takes over preventing the IC from overheating.

Considerable effort was expended to make the LM78XX series of regulators easy to use and minimize the number of external components. It is not necessary to bypass the out-

put, although this does improve transient response. Input bypassing is needed only if the regulator is located far from the filter capacitor of the power supply.

For output voltage other than 5V, 12V and 15V the LM117 series provides an output voltage range from 1.2V to 57V.

Features

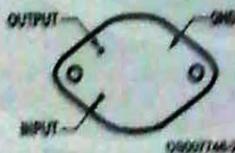
- Output current in excess of 1A
- Internal thermal overload protection
- No external components required
- Output transistor safe area protection
- Internal short circuit current limit
- Available in the aluminum TO-3 package

Voltage Range

LM7805C	5V
LM7812C	12V
LM7815C	15V

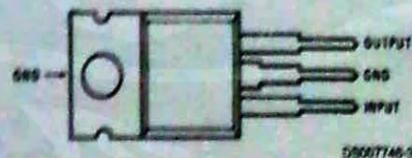
Connection Diagrams

**Metal Can Package
TO-3 (K)
Aluminum**



Bottom View
Order Number LM7805CK,
LM7812CK or LM7815CK
See NS Package Number KC02A

**Plastic Package
TO-220 (T)**



Top View
Order Number LM7805CT,
LM7812CT or LM7815CT
See NS Package Number T03B

Absolute Maximum Ratings (Note 3)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Input Voltage
 $(V_O = 5V, 12V \text{ and } 15V)$ 35V
 Internal Power Dissipation (Note 1) Internally Limited
 Operating Temperature Range (T_A) 0°C to $+70^\circ\text{C}$

Maximum Junction Temperature

(K Package) 150°C

(T Package) 150°C

Storage Temperature Range -65°C to $+150^\circ\text{C}$

Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)

TO-3 Package K 300°C

TO-220 Package T 230°C

Electrical Characteristics LM78XXC (Note 2)

$0^\circ\text{C} \leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Output Voltage			5V			12V			15V			Units
Input Voltage (unless otherwise noted)			10V			19V			23V			
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
V_O	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}, 5 \text{ mA} \leq I_O \leq 1 \text{ A}$	4.8	5	5.2	11.5	12	12.5	14.4	15	15.6	V
		$P_D \leq 15 \text{ W}, 5 \text{ mA} \leq I_O \leq 1 \text{ A}$	4.75		5.25	11.4		12.6	14.25		15.75	V
		$V_{\text{MIN}} \leq V_{\text{IN}} \leq V_{\text{MAX}}$	(7.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 20$)		(14.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 27$)		(17.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 30$)					V
ΔV_O	Line Regulation	$I_O = 500 \text{ mA}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$	3	50	4	120	4	150			mV
			ΔV_{IN}	(7 $\leq V_{\text{IN}} \leq 25$)		(14.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 30$)		(17.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 30$)				V
		$0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$	ΔV_{IN}			50	120	150			mV	
			ΔV_{IN}	(8 $\leq V_{\text{IN}} \leq 20$)		(15 $\leq V_{\text{IN}} \leq 27$)		(18.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 30$)				V
		$I_O \leq 1 \text{ A}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$			50	120	150			mV	
			ΔV_{IN}	(7.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 20$)		(14.6 $\leq V_{\text{IN}} \leq 27$)		(17.7 $\leq V_{\text{IN}} \leq 30$)				V
ΔV_O	Load Regulation	$T_J = 25^\circ\text{C}$	$5 \text{ mA} \leq I_O \leq 1.5 \text{ A}$	10	50	12	120	12	150			mV
			$250 \text{ mA} \leq I_O \leq 750 \text{ mA}$			25	60	75			mV	
		$5 \text{ mA} \leq I_O \leq 1 \text{ A}, 0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$			50	120	150			mV		
I_Q	Quiescent Current	$I_O \leq 1 \text{ A}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$	8		8		8				mA
			$0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$	8.5		8.5		8.5				mA
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$5 \text{ mA} \leq I_O \leq 1 \text{ A}$	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_O \leq 1 \text{ A}$	0.5		0.5		0.5				mA
			$V_{\text{MIN}} \leq V_{\text{IN}} \leq V_{\text{MAX}}$	(7.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 20$)		(14.8 $\leq V_{\text{IN}} \leq 27$)		(17.9 $\leq V_{\text{IN}} \leq 30$)				V
		$I_O \leq 500 \text{ mA}, 0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$	$V_{\text{MIN}} \leq V_{\text{IN}} \leq V_{\text{MAX}}$	1.0		1.0		1.0				mA
			$V_{\text{MIN}} \leq V_{\text{IN}} \leq V_{\text{MAX}}$	(7 $\leq V_{\text{IN}} \leq 25$)		(14.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 30$)		(17.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 30$)				V
V_{N}	Output Noise Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}, 10 \text{ Hz} \leq f \leq 100 \text{ kHz}$		40		75		90				μV
$\frac{\Delta V_{\text{IN}}}{\Delta V_{\text{OUT}}}$	Ripple Rejection	$f = 120 \text{ Hz}$	$I_O \leq 1 \text{ A}, T_J = 25^\circ\text{C}$ or $I_O \leq 500 \text{ mA}$	62	80	55	72	54	70			dB
			$0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$			62	55	54			dB	
		$V_{\text{MIN}} \leq V_{\text{IN}} \leq V_{\text{MAX}}$	(8 $\leq V_{\text{IN}} \leq 18$)		(15 $\leq V_{\text{IN}} \leq 25$)		(18.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 28.5$)				V	
R_{D}	Dropout Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_{\text{OUT}} = 1 \text{ A}$	$f = 1 \text{ kHz}$	2.0		2.0		2.0				V
			$f = 1 \text{ kHz}$	8		18		19				m Ω

Electrical Characteristics LM78XXC (Note 2) (Continued)

$0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 125^{\circ}\text{C}$ unless otherwise noted.

Output Voltage			5V			12V			15V			Units
Input Voltage (unless otherwise noted)			10V			19V			23V			
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
	Short-Circuit Current	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$		2.1			1.5			1.2		A
	Peak Output Current	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$		2.4			2.4			2.4		A
	Average TC of V_{OUT}	$0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$, $I_{\text{O}} = 5 \text{ mA}$		0.6			1.5			1.8		mV/ $^{\circ}\text{C}$
V_{IN}	Input Voltage Required to Maintain Line Regulation	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$, $I_{\text{O}} \leq 1\text{A}$		7.5			14.6			17.7		V

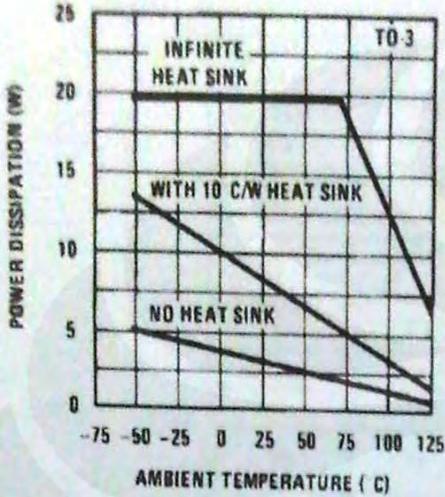
Note 1: Thermal resistance of the TO-3 package (K, KC) is typically 4°C/W junction to case and 35°C/W case to ambient. Thermal resistance of the TO-220 package (T) is typically 4°C/W junction to case and 50°C/W case to ambient.

Note 2: All characteristics are measured with capacitor across the input of $0.22 \mu\text{F}$, and a capacitor across the output of $0.1 \mu\text{F}$. All characteristics except noise voltage and ripple rejection ratio are measured using pulse techniques ($t_w \leq 10 \text{ ms}$, duty cycle $\leq 5\%$). Output voltage changes due to changes in internal temperature must be taken into account separately.

Note 3: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. For guaranteed specifications and the test conditions, see Electrical Characteristics.

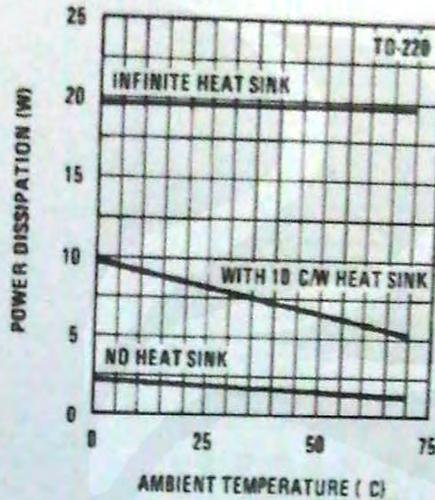
Typical Performance Characteristics

Maximum Average Power Dissipation



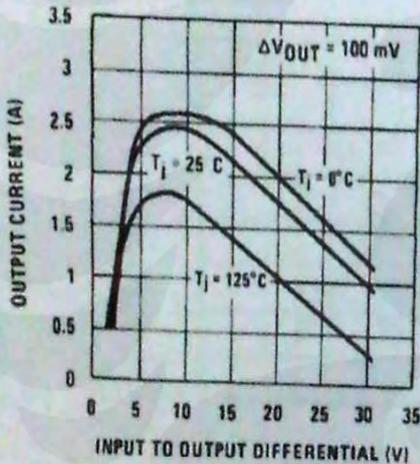
DS007746-5

Maximum Average Power Dissipation



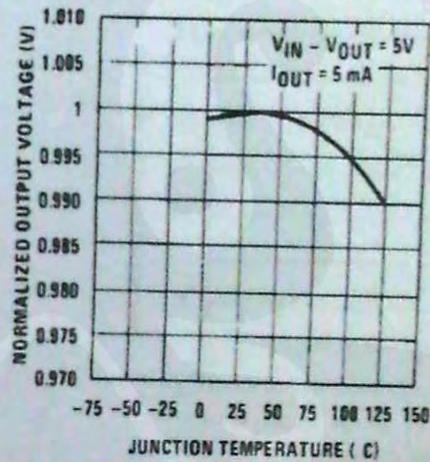
DS007746-6

Peak Output Current



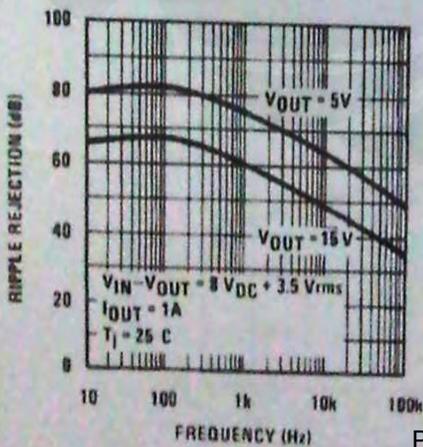
DS007746-7

Output Voltage (Normalized to 1V at $T_J = 25^\circ\text{C}$)



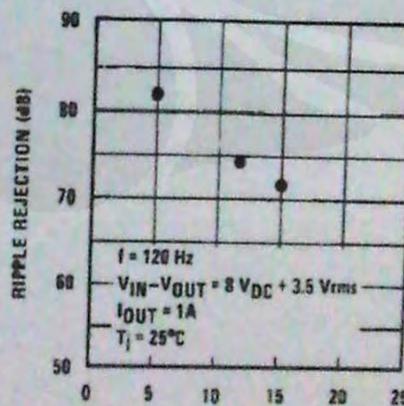
DS007746-8

Ripple Rejection



DS007746-9

Ripple Rejection



DS007746-10

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

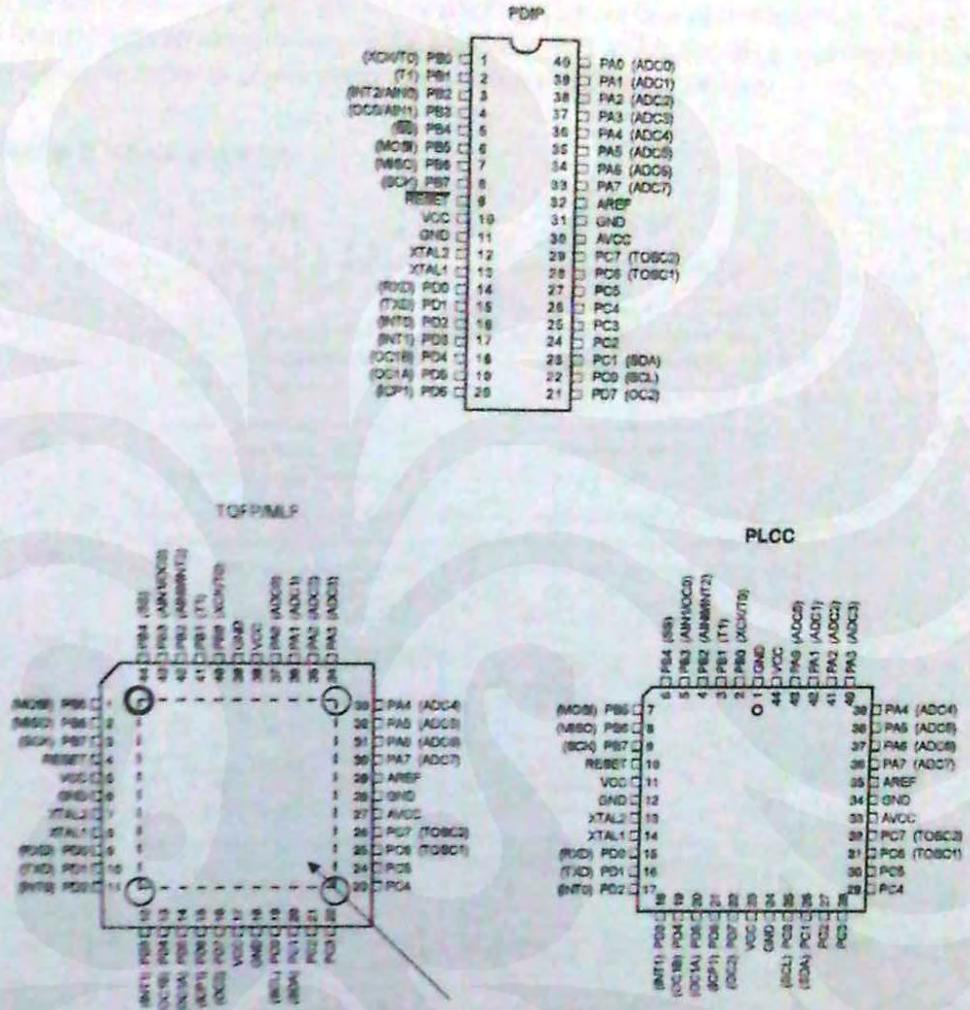
ATmega8535
ATmega8535L

2102K-AVR-10/06



Pin Configurations

Figure 1. Pinout ATmega8535



NOTE: MLF Bottom pad should be soldered to ground.

Disclaimer

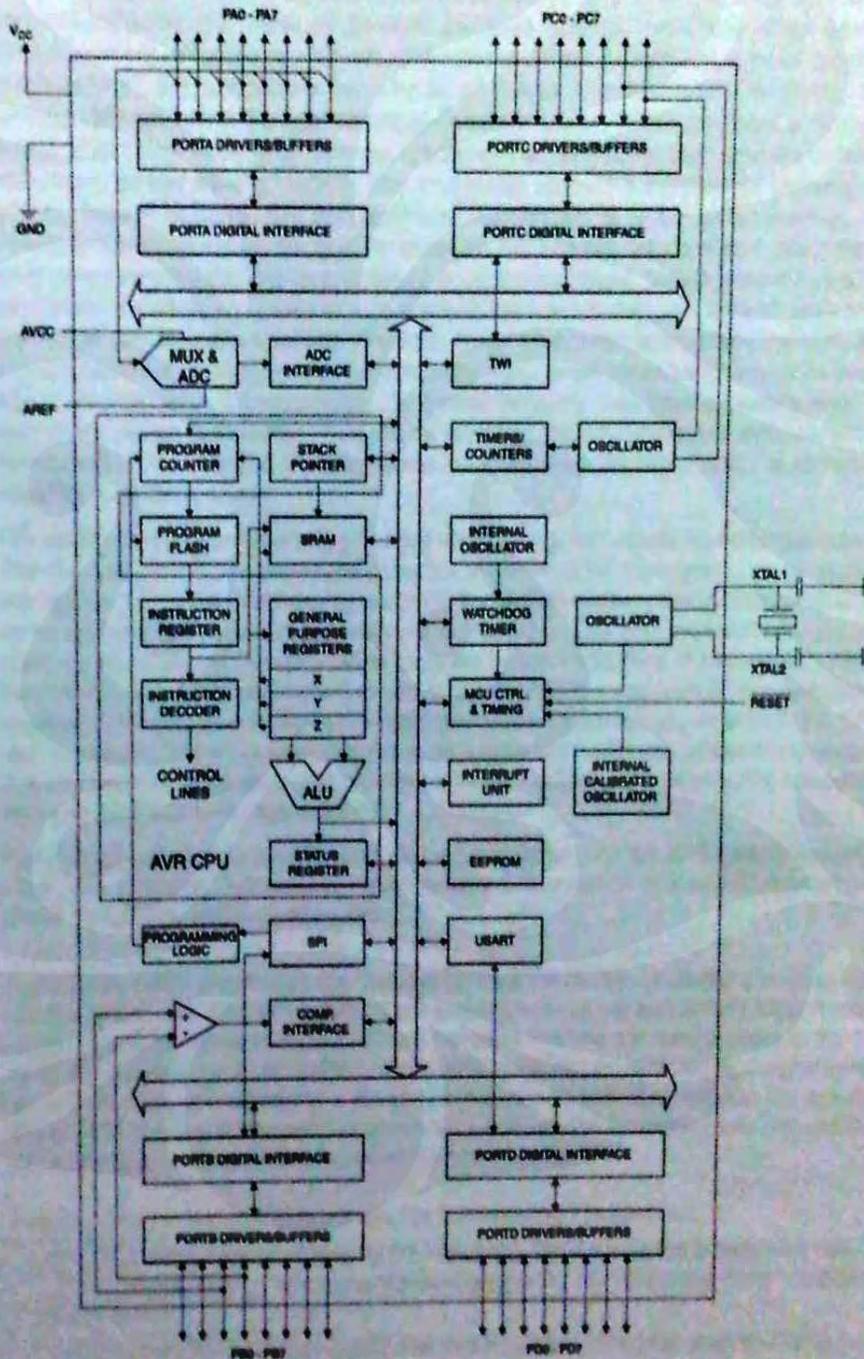
Typical values contained in this data sheet are based on simulations and characterization of other AVR microcontrollers manufactured on the same process technology. Min and Max values will be available after the device is characterized.

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.

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 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.

General Purpose Register File

The Register File is optimized for the AVR Enhanced RISC instruction set. In order to achieve the required performance and flexibility, the following input/output schemes are supported by the Register File:

- One 8-bit output operand and one 8-bit result input
- Two 8-bit output operands and one 8-bit result input
- Two 8-bit output operands and one 16-bit result input
- One 16-bit output operand and one 16-bit result input

Figure 4 shows the structure of the 32 general purpose working registers in the CPU.

Figure 4. AVR CPU General Purpose Working Registers

	7	0	Addr.	
	R0		0x00	
	R1		0x01	
	R2		0x02	
	...			
	R13		0x0D	
	R14		0x0E	
	R15		0x0F	
	R16		0x10	
	R17		0x11	
	...			
	R26		0x1A	X-register Low Byte
	R27		0x1B	X-register High Byte
	R28		0x1C	Y-register Low Byte
	R29		0x1D	Y-register High Byte
	R30		0x1E	Z-register Low Byte
	R31		0x1F	Z-register High Byte

General Purpose Working Registers

Most of the instructions operating on the Register File have direct access to all registers, and most of them are single cycle instructions.

As shown in Figure 4, each register is also assigned a data memory address, mapping them directly into the first 32 locations of the user Data Space. Although not being physically implemented as SRAM locations, this memory organization provides great flexibility in access of the registers, as the X-, Y-, and Z-pointer Registers can be set to index any register in the file.





AVR ATmega8535 Memories

In-System Reprogrammable Flash Program Memory

This section describes the different memories in the ATmega8535. The AVR architecture has two main memory spaces, the Data Memory and the Program Memory space. In addition, the ATmega8535 features an EEPROM Memory for data storage. All three memory spaces are linear and regular.

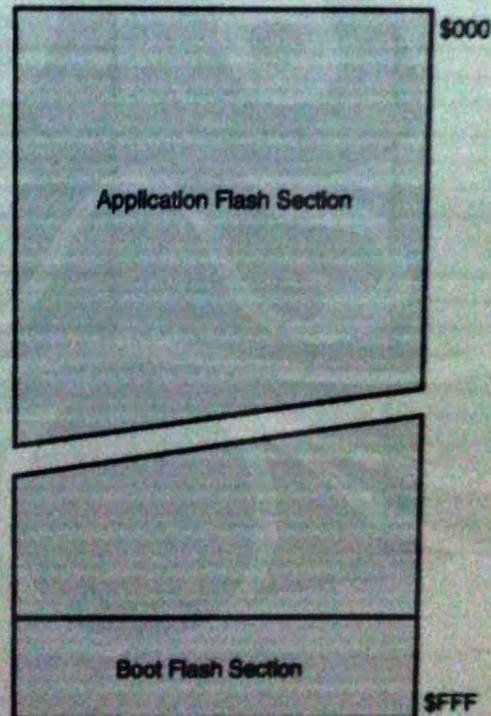
The ATmega8535 contains 8K bytes On-chip In-System Reprogrammable Flash memory for program storage. Since all AVR instructions are 16 or 32 bits wide, the Flash is organized as 4K x 16. For software security, the Flash Program memory space is divided into two sections, Boot Program section and Application Program section.

The Flash memory has an endurance of at least 10,000 write/erase cycles. The ATmega8535 Program Counter (PC) is 12 bits wide, thus addressing the 4K program memory locations. The operation of Boot Program section and associated Boot Lock bits for software protection are described in detail in "Boot Loader Support – Read-While-Write Self-Programming" on page 224. "Memory Programming" on page 237 contains a detailed description on Flash Programming in SPI or Parallel Programming mode.

Constant tables can be allocated within the entire program memory address space (see the LPM – Load Program Memory instruction description).

Timing diagrams for instruction fetch and execution are presented in "Instruction Execution Timing" on page 13.

Figure 8. Program Memory Map



SRAM Data Memory

Figure 9 shows how the ATmega8535 SRAM Memory is organized.

The 608 Data Memory locations address the Register File, the I/O Memory, and the internal data SRAM. The first 96 locations address the Register File and I/O Memory and the next 512 locations address the internal data SRAM.

The five different addressing modes for the data memory cover: Direct, Indirect with Displacement, Indirect, Indirect with Pre-decrement, and Indirect with Post-increment. In the Register File, registers R26 to R31 feature the indirect addressing pointer registers.

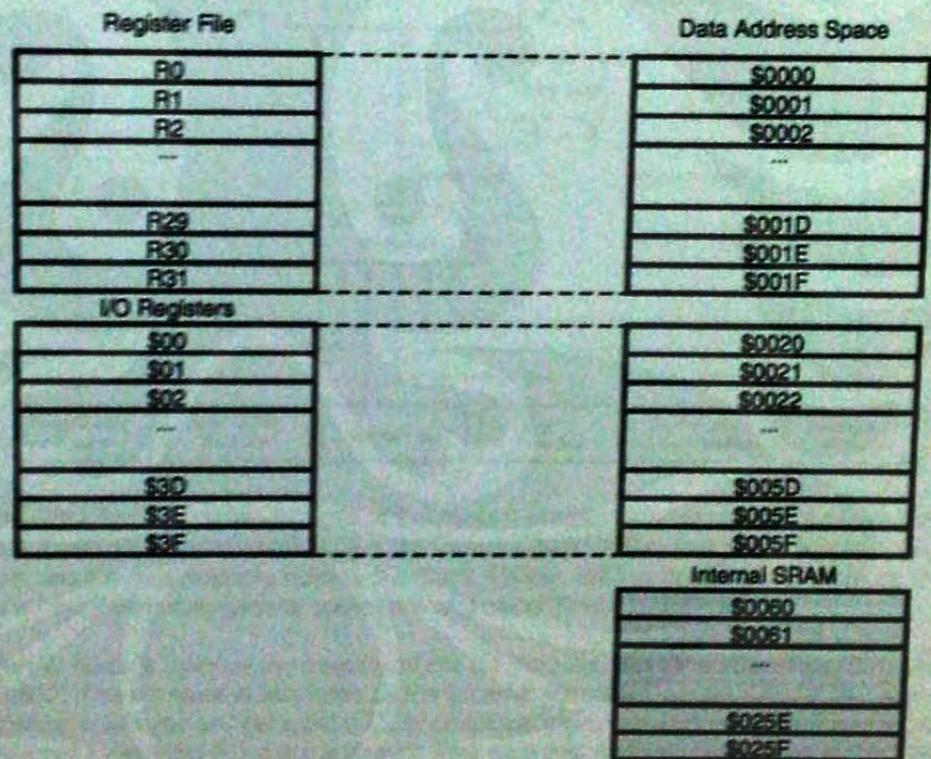
The direct addressing reaches the entire data space.

The Indirect with Displacement mode reaches 63 address locations from the base address given by the Y- or Z-register.

When using register indirect addressing modes with automatic pre-decrement and post-increment, the address registers X, Y, and Z are decremented or incremented.

The 32 general purpose working registers, 64 I/O Registers, and the 512 bytes of internal data SRAM in the ATmega8535 are all accessible through all these addressing modes. The Register File is described in "General Purpose Register File" on page 11.

Figure 9. Data Memory Map

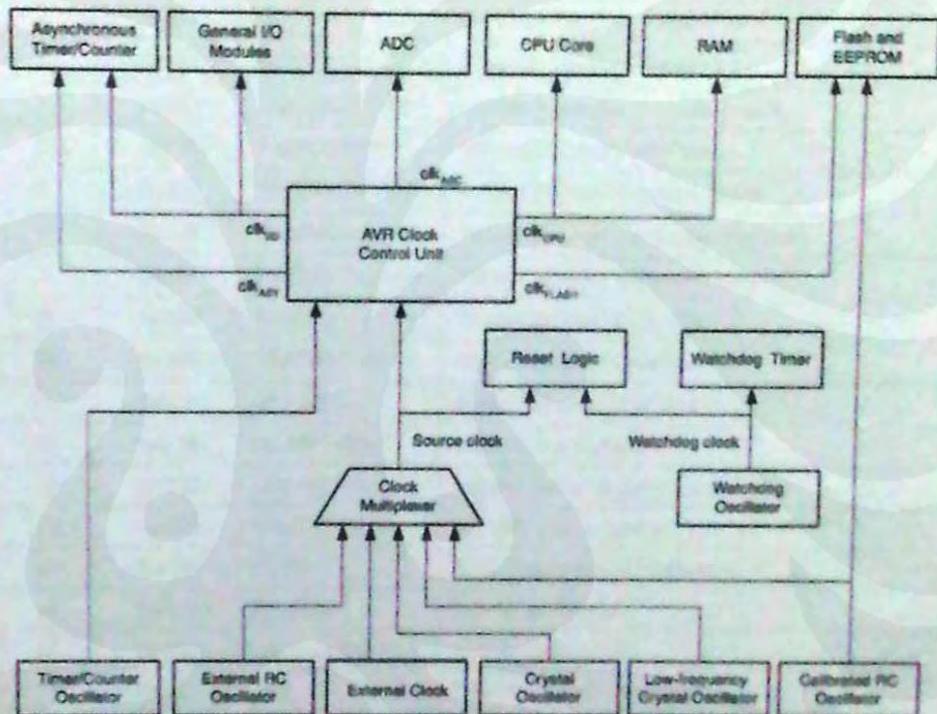


System Clock and Clock Options

Clock Systems and their Distribution

Figure 11 presents the principal clock systems in the AVR and their distribution. All of the clocks need not be active at a given time. In order to reduce power consumption, the clocks to modules not being used can be halted by using different sleep modes, as described in "Power Management and Sleep Modes" on page 32. The clock systems are detailed below.

Figure 11. Clock Distribution



CPU Clock – clk_{CPU}

The CPU clock is routed to parts of the system concerned with operation of the AVR core. Examples of such modules are the General Purpose Register File, the Status Register and the data memory holding the Stack Pointer. Halting the CPU clock inhibits the core from performing general operations and calculations.

I/O Clock – $clk_{I/O}$

The I/O clock is used by the majority of the I/O modules, like Timer/Counters, SPI, and USART. The I/O clock is also used by the External Interrupt module, but note that some external interrupts are detected by asynchronous logic, allowing such interrupts to be detected even if the I/O clock is halted. Also note that address recognition in the TWI module is carried out asynchronously when $clk_{I/O}$ is halted, enabling TWI address reception in all sleep modes.

Flash Clock – clk_{FLASH}

The Flash clock controls operation of the Flash interface. The Flash clock is usually active simultaneously with the CPU clock.



Interrupts

This section describes the specifics of the interrupt handling as performed in ATmega8535. For a general explanation of the AVR interrupt handling, refer to "Reset and Interrupt Handling" on page 13.

Interrupt Vectors in ATmega8535

Table 19. Reset and Interrupt Vectors

Vector No.	Program Address ⁽²⁾	Source	Interrupt Definition
1	0x000 ⁽¹⁾	RESET	External Pin, Power-on Reset, Brown-out Reset and Watchdog Reset
2	0x001	INT0	External Interrupt Request 0
3	0x002	INT1	External Interrupt Request 1
4	0x003	TIMER2 COMP	Timer/Counter2 Compare Match
5	0x004	TIMER2 OVF	Timer/Counter2 Overflow
6	0x005	TIMER1 CAPT	Timer/Counter1 Capture Event
7	0x006	TIMER1 COMPA	Timer/Counter1 Compare Match A
8	0x007	TIMER1 COMPB	Timer/Counter1 Compare Match B
9	0x008	TIMER1 OVF	Timer/Counter1 Overflow
10	0x009	TIMER0 OVF	Timer/Counter0 Overflow
11	0x00A	SPI, STC	Serial Transfer Complete
12	0x00B	USART, RXC	USART, Rx Complete
13	0x00C	USART, UDRE	USART Data Register Empty
14	0x00D	USART, TXC	USART, Tx Complete
15	0x00E	ADC	ADC Conversion Complete
16	0x00F	EE_RDY	EEPROM Ready
17	0x010	ANA_COMP	Analog Comparator
18	0x011	TWI	Two-wire Serial Interface
19	0x012	INT2	External Interrupt Request 2
20	0x013	TIMER0 COMP	Timer/Counter0 Compare Match
21	0x014	SPM_RDY	Store Program Memory Ready

- Notes:
1. When the BOOTSZ Fuse is programmed, the device will jump to the Boot Loader address at reset, see "Boot Loader Support - Read-While-Write Self-Programming" on page 224.
 2. When the IVSEL bit in GICR is set, interrupt Vectors will be moved to the start of the Boot Flash section. The address of each interrupt Vector will then be the address in this table added to the start address of the Boot Flash section.

Table 20 shows reset and interrupt vectors placement for the various combinations of BOOTSZ and IVSEL settings. If the program never enables an interrupt source, the interrupt vectors are not used, and regular program code can be placed at these locations. This is also the case if the Reset Vector is in the Application section while the interrupt vectors are in the Boot section or vice versa.

Table 20. Reset and Interrupt Vectors Placement

BOOTRST ⁽¹⁾	IVSEL	Reset Address	Interrupt Vectors Start Address
1	0	0x0000	0x0001
1	1	0x0000	Boot Reset Address + 0x0001
0	0	Boot Reset Address	0x0001
0	1	Boot Reset Address	Boot Reset Address + 0x0001

Note: 1. The Boot Reset Address is shown in Table 93 on page 235. For the BOOTRST Fuse "1" means unprogrammed while "0" means programmed.

The most typical and general program setup for the Reset and Interrupt Vector Addresses in ATmega8535 is:

Address	Labels	Code	Comments
0x000		rjmp RESET	; Reset Handler
0x001		rjmp EXT_INT0	; IRQ0 Handler
0x002		rjmp EXT_INT1	; IRQ1 Handler
0x003		rjmp TIM2_COMP	; Timer2 Compare Handler
0x004		rjmp TIM2_OVF	; Timer2 Overflow Handler
0x005		rjmp TIM1_CAPT	; Timer1 Capture Handler
0x006		rjmp TIM1_COMPA	; Timer1 Compare A Handler
0x007		rjmp TIM1_COMPB	; Timer1 Compare B Handler
0x008		rjmp TIM1_OVF	; Timer1 Overflow Handler
0x009		rjmp TIM0_OVF	; Timer0 Overflow Handler
0x00A		rjmp SPI_STC	; SPI Transfer Complete Handler
0x00B		rjmp USART_RXC	; USART RX Complete Handler
0x00C		rjmp USART_UDRE	; UDR Empty Handler
0x00D		rjmp USART_TXC	; USART TX Complete Handler
0x00E		rjmp ADC	; ADC Conversion Complete Handler
0x00F		rjmp EE_RDY	; EEPROM Ready Handler
0x010		rjmp ANA_COMP	; Analog Comparator Handler
0x011		rjmp TWSI	; Two-wire Serial interface Handler
0x012		rjmp EXT_INT2	; IRQ2 Handler
0x013		rjmp TIM0_COMP	; Timer0 Compare Handler
0x014		rjmp SPM_RDY	; Store Program Memory Ready Handler
		;	
0x015	RESET:	ldi r16,high(RAMEND)	; Main program start
0x016		out SPH,r16	; Set Stack Pointer to top of RAM
0x017		ldi r16,low(RAMEND)	
0x018		out SPL,r16	
0x019		sei	; Enable interrupts
0x020		<instr> xxx	

When the BOOTRST Fuse is unprogrammed, the Boot section size set to 2K bytes and the IVSEL bit in the GICR Register is set before any interrupts are enabled, the most typical and general program setup for the Reset and Interrupt Vector Addresses is:



```
AddressLabels Code Comments
0x000 RESET: ldi r16,high(RAMEND) ; Main program start
0x001 out SPH,r16 ; Set Stack Pointer to top of RAM
0x002 ldi r16,low(RAMEND)
0x003 out SPL,r16
0x004 sei ; Enable interrupts
0x005 <instr> xxx
;
.org 0xC01
0xC01 rjmp EXT_INT0 ; IRQ0 Handler
0xC02 rjmp EXT_INT1 ; IRQ1 Handler
... ..
;
0xC14 rjmp SPM_RDY ; Store Program Memory Ready Handler
```

When the BOOTRST Fuse is programmed and the Boot section size set to 2K bytes, the most typical and general program setup for the Reset and Interrupt Vector Addresses is:

```
AddressLabels Code Comments
.org 0x001
0x001 rjmp EXT_INT0 ; IRQ0 Handler
0x002 rjmp EXT_INT1 ; IRQ1 Handler
... ..
;
0x014 rjmp SPM_RDY ; Store Program Memory Ready Handler
;
.org 0xC00
0xC00 RESET: ldi r16,high(RAMEND) ; Main program start
0xC01 out SPH,r16 ; Set Stack Pointer to top of RAM
0xC02 ldi r16,low(RAMEND)
0xC03 out SPL,r16
0xC04 sei ; Enable interrupts
0xC05 <instr> xxx
```

When the BOOTRST Fuse is programmed, the Boot section size set to 2K bytes and the IVSEL bit in the GICR Register is set before any interrupts are enabled, the most typical and general program setup for the Reset and Interrupt Vector Addresses is:

```
AddressLabels Code Comments
.org 0xC00
0xC00 rjmp RESET ; Reset handler
0xC01 rjmp EXT_INT0 ; IRQ0 Handler
0xC02 rjmp EXT_INT1 ; IRQ1 Handler
... ..
;
0xC14 rjmp SPM_RDY ; Store Program Memory Ready Handler
;
0xC15 RESET: ldi r16,high(RAMEND) ; Main program start
0xC16 out SPH,r16 ; Set Stack Pointer to top of RAM
0xC17 ldi r16,low(RAMEND)
0xC18 out SPL,r16
0xC19 sei ; Enable interrupts
0xC20 <instr> xxx
```

0b01) or output low ((DDxn, PORTxn) = 0b10) must occur. Normally, the pull-up enabled state is fully acceptable, as a high-impedant environment will not notice the difference between a strong high driver and a pull-up. If this is not the case, the PUD bit in the SFIOR Register can be set to disable all pull-ups in all ports.

Switching between input with pull-up and output low generates the same problem. The user must use either the tri-state ((DDxn, PORTxn) = 0b00) or the output high state ((DDxn, PORTxn) = 0b10) as an intermediate step.

Table 21 summarizes the control signals for the pin value.

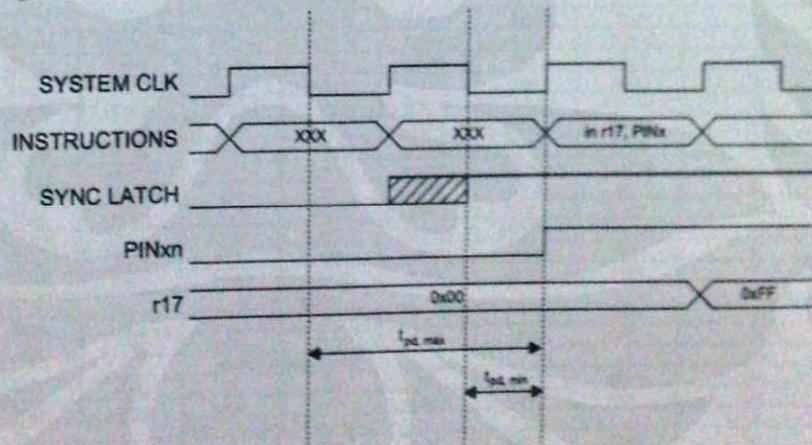
Table 21. Port Pin Configurations

DDxn	PORTxn	PUD (in SFIOR)	I/O	Pull-up	Comment
0	0	X	Input	No	Tri-state (Hi-Z)
0	1	0	Input	Yes	Pxn will source current if ext. pulled low.
0	1	1	Input	No	Tri-state (Hi-Z)
1	0	X	Output	No	Output Low (Sink)
1	1	X	Output	No	Output High (Source)

Reading the Pin Value

Independent of the setting of Data Direction bit DDxn, the port pin can be read through the PINxn Register bit. As shown in Figure 23, the PINxn Register bit and the preceding latch constitute a synchronizer. This is needed to avoid metastability if the physical pin changes value near the edge of the internal clock, but it also introduces a delay. Figure 24 shows a timing diagram of the synchronization when reading an externally applied pin value. The maximum and minimum propagation delays are denoted $t_{pd,max}$ and $t_{pd,min}$ respectively.

Figure 24. Synchronization when Reading an Externally Applied Pin Value



Consider the clock period starting shortly after the first falling edge of the system clock. The latch is closed when the clock is low, and goes transparent when the clock is high, as indicated by the shaded region of the "SYNC LATCH" signal. The signal value is latched when the system clock goes low. It is clocked into the PINxn Register at the suc-



Register Summary

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Page	
0x3F (0x3F)	SPSR	-	T	H	S	V	N	Z	C	10	
0x40 (0x40)	SPH	-	-	-	-	-	-	-	-	10	
0x42 (0x42)	SPR	SPT	SP6	SP5	SP4	SP3	SP2	SP1	SP0	12	
0x44 (0x44)	OCR0	Timer/Counter0 Output Compare Register									12
0x46 (0x46)	OCR	INT1	INT0	INT2	-	-	-	IVSEL	IVCE	80	
0x48 (0x48)	IFR	INTF1	INTF0	INTF2	-	-	-	-	-	49, 89	
0x4A (0x4A)	TMR0	OCIE1	OCIE0	OCIE2	OCIE1A	OCIE1B	OCIE0	OCIE0	OCIE0	79	
0x4C (0x4C)	TIFR	OCIF2	OCIF0	OCIF1	OCIF1A	OCIF1B	OCIF0	OCIF0	OCIF0	86, 115, 150	
0x4E (0x4E)	SPMR	SPWIE	RHWISB	-	RHWISRE	RLBSET	POWIT	FGERS	SPMR	86, 116, 134	
0x50 (0x50)	TWCR	TWINT	TWIEA	TWISTA	TWSTO	TWTC	TWEN	-	TWIE	229	
0x52 (0x52)	MCUCR	SM2	SE	SM1	SM0	ISC1	ISC0	ISC0	ISC0	181	
0x54 (0x54)	MCUCSR	-	ISC2	-	-	WDRF	BCRF	EXTRF	POPF	32, 68	
0x56 (0x56)	TCCR0	FOC0	WGM05	COM01	COM00	WGM01	CS0	CS0	CS0	45, 89	
0x58 (0x58)	TCCR1	Timer/Counter1 (8 Bits)									83
0x5A (0x5A)	OC0CAL	Timer/Counter1 (8 Bits)									85
0x60 (0x60)	AD_CONVERTER	Analog-to-Digital Converter Register									20
0x62 (0x62)	AD_CONVERTER	ADIFSC	ADIFSC1	ADIFSC0	-	ADSC	ADIF	ADIF	ADIF	88, 89, 135, 209, 233	
0x64 (0x64)	AD_CONVERTER	ADIFSC1A	ADIFSC1B	ADIFSC1C	ADIFSC1D	ADIFSC1E	ADIFSC1F	ADIFSC1G	ADIFSC1H	110	
0x66 (0x66)	AD_CONVERTER	ADIFSC2	ADIFSC2	-	ADIFSC3	ADIFSC3	ADIFSC3	ADIFSC3	ADIFSC3	113	
0x68 (0x68)	AD_CONVERTER	Timer/Counter1 - Counter Register High Byte									114
0x6A (0x6A)	AD_CONVERTER	Timer/Counter1 - Counter Register Low Byte									114
0x6C (0x6C)	AD_CONVERTER	Timer/Counter1 - Output Compare Register A High Byte									114
0x6E (0x6E)	AD_CONVERTER	Timer/Counter1 - Output Compare Register A Low Byte									114
0x70 (0x70)	AD_CONVERTER	Timer/Counter1 - Output Compare Register B High Byte									114
0x72 (0x72)	AD_CONVERTER	Timer/Counter1 - Output Compare Register B Low Byte									114
0x74 (0x74)	AD_CONVERTER	Timer/Counter1 - Input Capture Register High Byte									114
0x76 (0x76)	AD_CONVERTER	Timer/Counter1 - Input Capture Register Low Byte									114
0x78 (0x78)	AD_CONVERTER	FOC2	WGM25	COM21	COM20	WGM21	CS2	CS2	CS2	129	
0x7A (0x7A)	AD_CONVERTER	Timer/Counter2 (8 Bits)									130
0x7C (0x7C)	AD_CONVERTER	Timer/Counter2 Output Compare Register									131
0x7E (0x7E)	AD_CONVERTER	ASB	-	-	-	AS2	TCN2UB	OCR2UB	TCR2UB	131	
0x80 (0x80)	AD_CONVERTER	WDRF	-	-	-	WDRF	WDRF	WDRF	WDRF	42	
0x82 (0x82)	AD_CONVERTER	UBRRH	UBRSEL	UBRSEL	UPN1	UPN0	USBS	UCS21	UCPOL	189	
0x84 (0x84)	AD_CONVERTER	UCSR0	URSEL	URSEL	UPN1	UPN0	USBS	UCS21	UCPOL	187	
0x86 (0x86)	AD_CONVERTER	BEARH	-	-	-	-	-	-	BEARH	19	
0x88 (0x88)	AD_CONVERTER	BEARL	-	-	-	-	-	-	BEARL	19	
0x8A (0x8A)	AD_CONVERTER	BEAR	-	-	-	-	-	-	BEAR	19	
0x8C (0x8C)	AD_CONVERTER	BEAR	-	-	-	-	-	-	BEAR	19	
0x8E (0x8E)	AD_CONVERTER	BEAR	-	-	-	-	-	-	BEAR	19	
0x90 (0x90)	AD_CONVERTER	PORTA	PORTA7	PORTA6	PORTA5	PORTA4	PORTA3	PORTA2	PORTA1	66	
0x92 (0x92)	AD_CONVERTER	DDRA	DDA7	DDA6	DDA5	DDA4	DDA3	DDA2	DDA1	66	
0x94 (0x94)	AD_CONVERTER	PINA	PINA7	PINA6	PINA5	PINA4	PINA3	PINA2	PINA1	66	
0x96 (0x96)	AD_CONVERTER	PORTB	PORTB7	PORTB6	PORTB5	PORTB4	PORTB3	PORTB2	PORTB1	66	
0x98 (0x98)	AD_CONVERTER	DDRB	DRB7	DRB6	DRB5	DRB4	DRB3	DRB2	DRB1	66	
0x9A (0x9A)	AD_CONVERTER	PINB	PINB7	PINB6	PINB5	PINB4	PINB3	PINB2	PINB1	67	
0x9C (0x9C)	AD_CONVERTER	PORTC	PORTC7	PORTC6	PORTC5	PORTC4	PORTC3	PORTC2	PORTC1	67	
0x9E (0x9E)	AD_CONVERTER	DDRC	DDC7	DDC6	DDC5	DDC4	DDC3	DDC2	DDC1	67	
0xA0 (0xA0)	AD_CONVERTER	PINC	PINC7	PINC6	PINC5	PINC4	PINC3	PINC2	PINC1	67	
0xA2 (0xA2)	AD_CONVERTER	PORTD	PORTD7	PORTD6	PORTD5	PORTD4	PORTD3	PORTD2	PORTD1	67	
0xA4 (0xA4)	AD_CONVERTER	DDR0	DDR7	DDR6	DDR5	DDR4	DDR3	DDR2	DDR1	67	
0xA6 (0xA6)	AD_CONVERTER	PIND	PIND7	PIND6	PIND5	PIND4	PIND3	PIND2	PIND1	67	
0xA8 (0xA8)	AD_CONVERTER	SPDR	SPI Data Register							148	
0xAA (0xAA)	AD_CONVERTER	SPSR	SPIF	WCOL	-	-	-	-	SPDIF	143	
0xAC (0xAC)	AD_CONVERTER	SPCR	SPIE	SPE	DORD	MSTR	CPOL	CPHA	SPR1	141	
0xAE (0xAE)	AD_CONVERTER	UDR	USART I/O Data Register							164	
0xB0 (0xB0)	AD_CONVERTER	UCSR0A	TXC	TXC	UDRE	FE	DOR	PE	UDR	165	
0xB2 (0xB2)	AD_CONVERTER	UCSR0B	RXCIE	TXCIE	UDRIE	TXEN	UDRIE	UDRIE	UDRIE	166	
0xB4 (0xB4)	AD_CONVERTER	UCSR0C	USART Baud Rate Register Low Byte							168	
0xB6 (0xB6)	AD_CONVERTER	ACSR	ACD	ACD	ACD	ACI	ACI	ACI	ACI	203	
0xB8 (0xB8)	AD_CONVERTER	ADMUX	REFS1	REFS0	ADLAR	MUX4	MUX3	MUX2	MUX1	219	
0xBA (0xBA)	AD_CONVERTER	ADCSRA	ADSCN	ADSC	ADATE	ADIF	ADIF	ADIF	ADIF	221	
0xBC (0xBC)	AD_CONVERTER	ADCH	ADC Data Register High Byte							222	
0xBE (0xBE)	AD_CONVERTER	ADCL	ADC Data Register Low Byte							222	
0xC0 (0xC0)	AD_CONVERTER	TWDR	Two-wire Serial Interface Data Register							183	
0xC2 (0xC2)	AD_CONVERTER	TWAR	TWAS	TWAS	TWAS	TWAS	TWAS	TWAS	TWAS	180	
0xC4 (0xC4)	AD_CONVERTER	TWBR	TWBR	TWBR	TWBR	TWBR	TWBR	TWBR	TWBR	183	





Ordering Information

Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package ⁽¹⁾	Operation Range
8	2.7 - 5.5V	ATmega8535L-8AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)
		ATmega8535L-8PC	40P6	
		ATmega8535L-8JC	44J	
		ATmega8535L-8MC	44M1	
		ATmega8535L-8AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
		ATmega8535L-8PI	40P6	
		ATmega8535L-8JI	44J	
		ATmega8535L-8MI	44M1	
		ATmega8535L-8AJ ⁽²⁾	44A	
		ATmega8535L-8PJ ⁽²⁾	40P6	
ATmega8535L-8JU ⁽²⁾	44J			
ATmega8535L-8MU ⁽²⁾	44M1			
16	4.5 - 5.5V	ATmega8535-16AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)
		ATmega8535-16PC	40P6	
		ATmega8535-16JC	44J	
		ATmega8535-16MC	44M1	
		ATmega8535-16AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
		ATmega8535-16PI	40P6	
		ATmega8535-16JI	44J	
		ATmega8535-16MI	44M1	
		ATmega8535-16AJ ⁽²⁾	44A	
		ATmega8535-16PJ ⁽²⁾	40P6	
ATmega8535-16JU ⁽²⁾	44J			
ATmega8535-16MU ⁽²⁾	44M1			

- Note:
1. This device can also be supplied in wafer form. Please contact your local Atmel sales office for detailed ordering information and minimum quantities.
 2. Pb-free packaging alternative, complies to the European Directive for Restriction of Hazardous Substances (RoHS directive). Also Halide free and fully Green.