



UNIVERSITAS INDONESIA

**RANCANG BANGUN ALAT PENGUKUR
KADAR GULA DARAH**

SKRIPSI

**RIZA TAMRIDHO
0806366320**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
DESEMBER 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**RANCANG BANGUN ALAT PENGUKUR
KADAR GULA DARAH**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**RIZA TAMRIDHO
0806366320**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
DESEMBER 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 : RIZA TAMRIDHO

NPM : 0806366320

Tanda Tangan :

Tanggal : 28 Desember 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Riza Tamridho
NPM : 0806366320
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Rancang Bangun Alat Pengukur Kadar Gula Darah

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. Arman D. Diponegoro
Penguji : Ir. Purnomo Sidi Priambodo M.Sc., Ph.D.
Penguji : Chairul Hudaya ST., M.Sc.

()
()
()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 5 Januari 2010

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, saya tidak akan mampu menyelesaikannya. Untuk itu saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Dr. Ir. Arman D. Diponegoro, selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
- (2) Orang tua tercinta, kakak, adik dan keluarga besar yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral.
- (3) Teman-teman yang telah banyak memberikan dorongan, semangat, bantuan dan doanya dalam penyusunan skripsi ini.

Akhirnya, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi semua.

Depok, 28 Desember 2010

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Riza Tamridho
NPM : 0806366320
Program Studi : Teknik Elektro
Departemen : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

RANCANG BANGUN ALAT PENGUKUR KADAR GULA DARAH

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 28 Desember 2010

Yang menyatakan

(Riza Tamridho)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Metode Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1 Hematologi	5
2.1.1 Glukosa dan Diabetes	5
2.1.2 Pengukuran Konsentrasi Glukosa Darah	7
2.2 Spektroskopi dan Prinsip Optik	7
2.2.1 Spektroskopi	8
2.2.2 Spektrofotometer	9
2.3 Sumber Radiasi Monokromatis	10
2.3.1 LED	10
2.3.2 Detektor Cahaya (Fotoresistor)	12
2.4 <i>Analog to Digital Converter</i>	13
2.5 Mikrokontroler ATMega 8535	14
2.5.1 Arsitektur Mikrokontroler ATMega 8535	15
2.5.2 Konfigurasi Pin ATMega 8535	17
BAB III RANCANG BANGUN DAN REALISASI SISTEM	20
3.1 Perancangan Hardware	21
3.1.1 Rangkaian Sumber Cahaya	21
3.1.2 Rangkaian Transducer	22
3.1.3 Sistem Minimum Mikrokontroler ATMega 8535	23
3.1.4 Rangkaian LCD	23
3.1.5 Rangkaian Catu Daya	24
3.2 Perancangan Software	25
3.3 Realisasi Alat Pengukur Kadar Gula Darah	25
3.3.1 Realisasi Hardware Alat Pengukur	

Kadar Gula Darah	26
3.3.2 Realisasi Software Alat Pengukur Kadar Gula Darah dan Kalibrasi Alat.....	26
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA.....	30
4.1 Pengujian Hardware Per Blok	31
4.1.1 Pengujian dan Analisa Rangkaian Catu Daya	31
4.1.2 Pengujian dan Analisa Rangkaian Sumber Cahaya	32
4.1.3 Pengujian dan Analisa Rangkaian Transducer Fotoresistor	32
4.1.4 Pengujian dan Analisa Rangkaian Minimum Mikrokontroler	33
4.1.5 Pengujian dan Analisa Rangkaian Tampilan LCD	34
4.2 Pengujian Software Alat Pengukur Kadar Gula Darah	35
4.3 Pengujian Alat Pengukur Kadar Gula Darah Secara Keseluruhan	36
4.4 Persentase Kesalahan Alat	37
BAB V KESIMPULAN	38
5.1 Kesimpulan	38
5.2 Saran	38
DAFTAR ACUAN	39
DAFTAR PUSTAKA	40
LAMPIRAN	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Tingkat-tingkat vibrasi untuk suatu ikatan yang bervibrasi	8
Gambar 2.2	Spektrum suatu cahaya	9
Gambar 2.3	Rangkaian dasar LED	11
Gambar 2.4	Simbol fotoresistor	12
Gambar 2.5	Rangkaian dasar fotoresistor	13
Gambar 2.6	Operasi pengubah A/D jenis pendekatan berturut-turut	14
Gambar 2.7	Diagram blok ATmega 8535	16
Gambar 2.8	Konfigurasi kaki IC ATmega 8535.....	17
Gambar 3.1	Blok diagram alat pengukur kadar gula darah	20
Gambar 3.2	Rangkaian Sumber Cahaya	21
Gambar 3.3	Rangkaian Transducer	22
Gambar 3.5	Rangkaian Sistem minimum ATmega 8535	24
Gambar 3.6	Rangkaian Tampilan LCD	24
Gambar 3.7	Rangkaian Catu Daya	24
Gambar 3.8	Diagram alir program alat pengukur kadar gula darah	25
Gambar 3.9	Realisasi hardware alat pengukur kadar gula darah	26
Gambar 3.10	Grafik pengukuran nilai ADC dan kalibrasi alat.....	27
Gambar 3.11	Pendekatan dengan menggunakan dua persamaan.....	28
Gambar 3.12	<i>Screenshot</i> listing program alat pengukur kadar gula darah	29
Gambar 4.1	Test point pengujian	31
Gambar 4.2	Test program alat pengukur gula darah	35
Gambar 4.3	Hasil pengujian alat	36

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Warna yang dipancarkan LED dan panjang gelombangnya	11
Tabel 3.1	Pengukuran nilai ADC dan kalibrasi alat.....	26
Tabel 4.1	Pengukuran rangkaian catu daya	32
Tabel 4.2	Pengukuran rangkaian sumber cahaya	32
Tabel 4.3	Pengujian intensitas cahaya	33
Tabel 4.4	Pengukuran rangkaian minimum mikrokontroler	33
Tabel 4.5	Hasil pengukuran dan pengujian alat	36
Tabel 4.6	Hasil persentase kesalahan alat	37

ABSTRAK

Nama : Riza Tamridho
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Rancang Bangun Alat Pengukur Kadar Gula Darah

Diabetes adalah penyakit metabolik yang dapat mempengaruhi hampir setiap sistem organ dalam tubuh. Diperkirakan jumlah penderita Diabetes melitus di Indonesia sekitar 17 juta orang atau 8,6 persen dari jumlah penduduk dan menduduki urutan terbesar ke-4 setelah India, Cina, dan Amerika Serikat (AS). Penyakit diabetes dapat dideteksi lebih awal dengan melakukan pemeriksaan darah secara teratur dan rutin di laboratorium.

Oleh karena itu, untuk memudahkan pemeriksaan sampel darah maka perlu direkayasa suatu alat yang dapat mengukur konsentrasi gula darah yang lebih praktis dan akurat dengan menggunakan prinsip spektroskopi. Prinsip spektroskopi didasarkan pada absorpsi sinar oleh molekul sehingga terjadi proses eksitasi dan de-eksitasi elektron pada molekul sehingga dapat dilakukan pengukuran spektrum absorpsi dari suatu senyawa. Dengan dirancangnya alat ini, diharapkan pengukuran kadar gula darah dapat dilakukan dengan cepat dan mudah.

Kata kunci:
Gula darah, diabetes, spektroskopi, absorpsi

ABSTRACT

Nama : Riza Tamridho
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Design and Implementation A Blood Glucose Meter

Diabetes is a metabolic disease that can affect almost every organ system in the body. An estimated number of people with diabetes mellitus in Indonesia about 17 million people or 8.6 per cent of the total population and ranked the 4th largest after India, China, and the United States (U.S.). Diabetes can be detected early by performing regular blood tests and routine in the laboratory. Therefore, to facilitate the examination of blood samples then need to be engineered a device that can measure blood sugar concentration is more practical and accurate by using the principles of spectroscopy. The principle is based on absorption spectroscopy by molecular beam resulting in the excitation and de-excitation of electrons in the molecule so that it can be done measuring the absorption spectrum of a compound. With this tool designed, is expected to measure blood sugar levels can be done quickly and easily.

Keyword:

Blood glucose , diabetes, spectroscopy, absorption

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Diabetes adalah penyakit metabolik yang dapat mempengaruhi hampir setiap sistem organ dalam tubuh. Diperkirakan lebih dari 15 juta orang di Amerika Serikat memiliki diabetes. Sedangkan menurut WHO jumlah penderita Diabetes melitus di Indonesia sekitar 17 juta orang atau 8,6 persen dari jumlah penduduk dan menduduki urutan terbesar ke-4 setelah India, Cina, dan Amerika Serikat (AS). Diabetes Melitus adalah penyakit gangguan metabolisme karbohidrat karena defisiensi insulin yang ditandai dengan meningkatnya kadar gula dalam darah dan adanya gula dalam urin. Pada komplikasi tingkat lanjut diabetes dapat menyebabkan penyakit *cardiovascular*, kebutaan, impotensi, mengurangi fungsi kerja ginjal hingga gagal ginjal.

Penyakit diabetes dapat dideteksi lebih awal dengan melakukan pemeriksaan darah secara teratur dan rutin di laboratorium. Pada pemeriksaan sampel darah di laboratorium, penentuan kadar glukosa di dalam darah dilakukan dengan cara kimiawi, yaitu dengan penambahan reagen pada volume tertentu. Setelah melalui proses fisis maka sampel darah dimasukkan kedalam spektrofotometer. Alat spektrofotometer ini dapat mengetahui kadar glukosa dalam darah dengan cara membandingkan nilai absorbansi sampel yang diukur dengan nilai absorbansi standar. Dengan pengukuran pada laboraturim medis hasil pengukuran sudah cukup akurat dan presisi, akan tetapi pengukuran pada laboraturim membutuhkan proses preparasi yang lama dan reaksi kimiawi rawan terhadap interferensi.

Oleh karena itu untuk memudahkan pemeriksaan sampel darah maka perlu direkayasa suatu alat yang dapat mengukur konsentrasi gula darah yang lebih praktis dan akurat dengan menggunakan prinsip spektroskopi. Prinsip spektroskopi didasarkan pada absorpsi sinar oleh molekul sehingga terjadi proses eksitasi dan de-eksitasi elektron pada molekul sehingga dapat dilakukan pengukuran spektrum absorpsi dari suatu senyawa.

Dengan menggunakan mikrokontroler nilai absorbansi dari suatu senyawa dapat diolah dengan operasi aritmatik dan disimpan ke dalam memori. Nilai absorbansi didapat dengan menembakkan cahaya dengan panjang gelombang tertentu ke sampel darah lalu membandingkan nilai intensitas cahaya yang masuk dan yang keluar dari sampel darah. Dengan demikian mengukur kadar glukosa darah dapat lebih praktis dan akurat tanpa melalui proses fisis kimiawi.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari pembuatan alat pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan merealisasikan perangkat keras (*Hardware*) pengukur konsentrasi glukosa pada darah manusia.
2. Merancang dan merealisasikan perangkat lunak (*Software*) pengukur konsentrasi glukosa pada darah manusia.

1.3 Batasan Masalah

Pada tugas akhir ini permasalahan mengenai alat pengukur konsentrasi glukosa pada darah manusia akan dibatasi pada:

1. Perancangan alat menggunakan Mikrokontroler ATMega 8535.
2. Bahasa pemrograman pada mikrokontroler ATMega 8535 yang digunakan adalah Bascom AVR.
3. Tidak membahas secara detil tentang glukosa, proses fisika dan kimianya.
4. Rangkaian catu daya hanya rangkaian bantu dan tidak dianalisis secara mendalam.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari hasil penelitian ini adalah :

1. Membantu laboratorium untuk mengukur konsentrasi glukosa dengan waktu yang lebih cepat.
2. Mengurangi penggunaan reagen dan rasa nyeri yang dialami pasien saat pengambilan sampel darah.

1.5 Metode Penelitian

Untuk mencapai tujuan yang diinginkan dalam penulisan tugas akhir, maka penulis mengadakan kegiatan diantaranya:

1. Pengumpulan data, yang meliputi:
 - a. Studi literatur yaitu kajian kepustakaan di kampus atau di perpustakaan lain untuk mendapatkan referensi yang dapat mendukung realisasi tugas akhir ini.
 - b. Observasi pada alat pengukur kadar glukosa yang ada di pasaran serta observasi pada metode pengukuran yang ada di laboratorium medis.
2. Perancangan sistem, yang meliputi:
 - a. Perencanaan blok diagram.
 - b. Studi mengenai komponen yang akan digunakan pada alat tugas akhir.
 - c. Perencanaan rangkaian untuk *hardware* dan *software* pendukungnya.
3. Pengujian alat dan analisa, untuk melihat apakah sistem berjalan sesuai dengan yang diinginkan. Langkah pengujian alat ini meliputi:
 - a. Pengujian alat dimulai dari rangkaian blok per blok.
 - b. Kalibrasi dengan menguji larutan yang sudah diketahui konsentrasinya.
 - c. Pengujian alat dengan menggunakan sampel darah yang ada.
 - d. Perhitungan persentase kesalahan alat.
4. Mengumpulkan hasil penelitian dan menarik kesimpulan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika pembahasan yang akan diuraikan dalam laporan tugas akhir ini terbagi dalam beberapa bab yang akan dibahas sebagai berikut:

BAB 1 Pendahuluan

Bab ini membahas mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II Landasan Teori

Bab ini berisi pengenalan dan teori dasar tentang spektroskopi, glukosa dan cara pengukurannya.

BAB III Rancang Bangun dan Realisasi Sistem

Bab ini membahas mengenai rancang bangun yang berisi diagram blok, proses perancangan alat, spesifikasi alat dan diagram alir yang digunakan untuk perancangan *software*.

BAB IV Pengujian dan Analisa

Bab ini membahas mengenai hasil uji coba dan analisa yang berisi hasil pengujian rancangan yang telah dibuat terhadap sistem secara keseluruhan, baik analisa dan evaluasi sistem.

BAB V Kesimpulan

Bab ini memuat tentang kesimpulan yang didapat dari hasil pengujian rancangan alat yang telah direalisasikan.

BAB II

LANDASAN TEORI

Untuk lebih memahami cara kerja alat, perancangannya sampai realisasi alat, maka pada bab ini akan dibahas mengenai teori-teori dasar penunjang tugas akhir. Adapun yang akan dibahas dalam bab ini adalah:

1. Hematologi
2. Spektroskopi dan Prinsip Optik
3. Sumber Radiasi
4. Detektor Cahaya
5. Analog to Digital Converter
6. Mikrokontroler ATmega 8535

2.1 Hematologi

Hematologi adalah cabang ilmu kesehatan yang mempelajari darah, organ pembentuk darah dan penyakitnya. Asal katanya dari bahasa Yunani haima artinya darah. Darah merupakan gabungan dari cairan, sel-sel dan partikel yang menyerupai sel, yang mengalir dalam arteri, kapiler dan vena yang mengirimkan oksigen dan zat-zat gizi ke jaringan dan membawa karbon dioksida dan hasil limbah lainnya. Lebih dari separuh bagian dari darah merupakan cairan (*plasma*), yang sebagian besar mengandung garam-garam terlarut dan protein. Plasma juga mengandung hormon-hormon, elektrolit, lemak, gula, mineral dan vitamin.

2.1.1 Glukosa dan Diabetes

Glukosa merupakan kelompok senyawa karbohidrat sederhana atau monosakarida. Di alam, glukosa terdapat dalam buah-buahan dan madu lebah. Glukosa berfungsi sebagai sumber energi untuk sel-sel otak, sel saraf, dan sel darah merah. Darah manusia normal mengandung glukosa dalam jumlah atau konsentrasi yang tetap, yaitu antara 70-100 mg tiap 100 ml darah. Glukosa darah ini dapat bertambah setelah kita makan makanan sumber karbohidrat, namun setelah kira-kira 2 jam setelah makan, jumlah darah akan kembali seperti semula.

Pada orang yang menderita diabetes melitus, jumlah glukosa darah lebih besar dari 130 mg/100 ml darah.^[1]

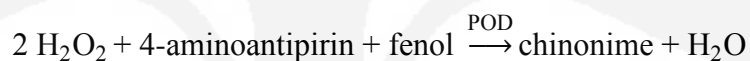
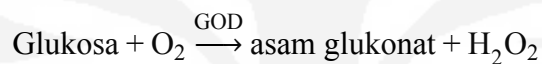
Agar dapat berfungsi secara optimal, tubuh hendaknya dapat mempertahankan konsentrasi darah gula (dalam bentuk glukosa) dalam batas-batas tertentu, yaitu 70-120 mg/ml dalam keadaan puasa. Bila gula darah naik di atas 170 mg/100ml, gula akan dikeluarkan melalui urine. Sebaliknya bila gula darah turun hingga 40-50 mg/ml, kita akan merasa gugup, pusing, lemas dan lapar. Gula darah terlalu tinggi disebut hiperglikemia dan bila terlalu rendah disebut hipoglikemia. Hiperglikemia dalam jangka panjang dapat menyebabkan masalah-masalah kesehatan yang berkepanjangan pula yang berkaitan dengan diabetes, termasuk kerusakan pada mata, ginjal, dan saraf. Beberapa macam hormon terlibat dalam pengaturan darah ini, salah satunya hormon insulin.

Tingkat gula darah dalam tubuh diatur oleh pankreas dengan cara memproduksi hormon insulin. Insulin bertanggung jawab untuk mengontrol kadar gula dalam darah dan juga untuk memproses karbohidrat, lemak, dan protein menjadi energi yang diperlukan tubuh manusia. Diabetes terjadi jika tubuh tidak menghasilkan insulin yang cukup untuk mempertahankan kadar gula darah yang normal atau jika sel tidak memberikan respon yang tepat terhadap insulin.

Diabetes tipe 1 adalah diabetes yang bergantung pada insulin dimana tubuh kekurangan hormon insulin, dikenal dengan istilah *Insulin Dependent Diabetes Mellitus* (IDDM). Hal ini disebabkan hilangnya sel beta penghasil insulin pada pulau-pulau langerhans pankreas. Diabetes tipe 1 banyak ditemukan pada balita, anak-anak, dan remaja. Sedangkan diabetes tipe 2 terjadi jika hormon insulin dalam tubuh tidak dapat berfungsi dengan semestinya, dikenal dengan istilah *Non-Insulin Dependent Diabetes Mellitus* (NIDDM). Hal ini dikarenakan berbagai kemungkinan seperti kecacatan dalam produksi insulin, resistensi terhadap insulin atau berkurangnya respon sel dan jaringan tubuh terhadap insulin yang ditandai dengan meningkatnya kadar insulin di dalam darah. Kedua jenis diabetes ini mengakibatkan terlalu banyaknya glukosa yang terdapat dalam tubuh.^[2]

2.1.2 Pengukuran Konsentrasi Glukosa Darah

Untuk mengetahui kadar gula darah dapat diukur pada laboratorium medis dengan menggunakan metode GOD-PAP, dengan prinsip oksidasi glukosa oleh glukooksidase (GOD) menjadi asam glukonat dan H_2O_2 . H_2O_2 kemudian direaksikan dengan 4-aminoantipirin dan fenol menghasilkan chinonime yang berwarna kemerahan dan H_2O , reaksi ini dikatalisis oleh enzim peroksidase (POD). Chinonime yang terbentuk ekuivalen dengan glukosa sehingga warna yang terukur pada produk chinonime akan sebanding dengan kadar glukosa.^[3]



Pengukuran kadarnya dilakukan dengan mencampur serum atau plasma darah dengan reagen, kemudian warna yang terbentuk dibaca dengan kolorimeter pada panjang gelombang 500 nm (atau Hg 546 nm). Larutan blanko digunakan sebagai titik nol dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Kadar glukosa} = \frac{A_s}{A_{st}} \times \text{kadar standar} \quad 2.1$$

Dimana : A_s adalah absorbansi sampel dan A_{st} adalah absorbansi standar.

2.2 Spektroskopi dan Prinsip Optik

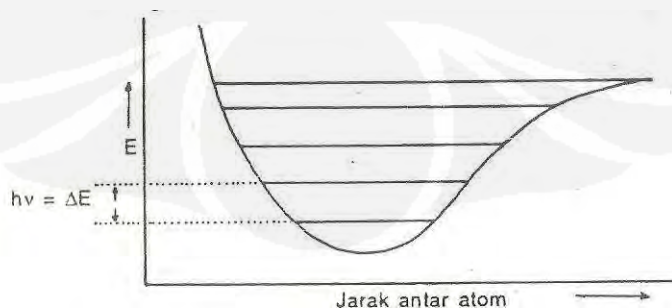
Spektroskopi merupakan metode pengukuran yang didasarkan pada interaksi antara cahaya dengan materi. Bila materi disinari kemungkinan cahaya akan diserap dan dipancarkan kembali dengan panjang gelombang yang sama atau berbeda. Spektroskopi sering digunakan untuk mengidentifikasi suatu unsur dan senyawa, melalui pemancaran dan penyerapan sebuah spektrum. Suatu alat untuk merekam spektrum disebut spektrometer.

Penentuan struktur senyawa menggunakan metoda spektroskopi berdasarkan panjang gelombangnya terbagi menjadi empat metode, yaitu sinar tampak (350-750nm), ultraviolet dekat (200-350nm), ultraviolet jauh (150-200nm), dan inframerah (750nm-2,5 μ m). Berikut ini metode-metode spektroskopi yang biasa digunakan dan fungsi pengukurannya.

- Spektroskopi ultraviolet dapat digunakan untuk mengidentifikasi senyawa-senyawa yang mengandung gugus-gugus pengabsorpsi atau kromofor, yaitu gugus tidak jenuh kovalen yang terdapat dalam molekul.
- Spektroskopi infra merah dapat digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsional, yaitu gugus yang menentukan sifat-sifat senyawa.
- Spektroskopi resonansi magnetik inti dapat digunakan untuk mengidentifikasi rumus bangun molekul senyawa organik sesuai dengan inti atom yang dipakai (Hidrogen dan karbon).
- Spektroskopi massa dapat digunakan untuk memberikan keterangan tentang hasil fragmentasi senyawa yang berupa fragmen-fragmen yang dinyatakan sebagai rasio massa dengan muatan.

2.2.1 Spektroskopi

Atom-atom di dalam suatu molekul tidak diam melainkan bervibrasi (bergerak). Bila radiasi cahaya dilewatkan melalui suatu cuplikan, maka molekul-molekulnya dapat menyerap (mengabsorpsi) energi dan terjadilah transisi di antara tingkat vibrasi dasar (*ground state*) dan tingkat vibrasi tereksitasi (*excited state*). Penyerapan radiasi cahaya menyebabkan perubahan tingkat vibrasi. Gambar menunjukkan transisi (perubahan) vibrasi.



Gambar 2.1. Tingkat-tingkat vibrasi untuk suatu ikatan yang bervibrasi

Perubahan energi vibrasi (ΔE) dapat dinyatakan sebagai

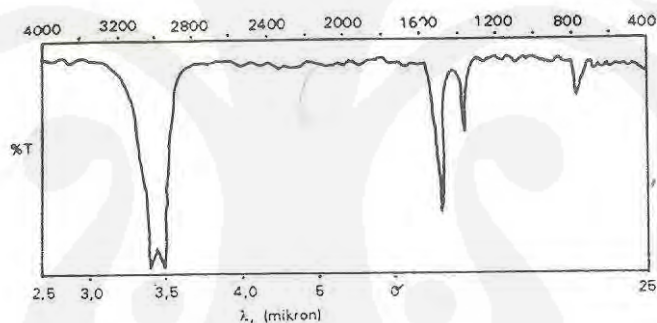
$$\Delta E = h \nu \quad 2.2$$

Dengan h menyatakan tetapan planck, dan ν menyatakan frekuensi. Hubungan antara panjang gelombang sinar yang diserap dengan energi dinyatakan dengan persamaan Planck:

$$E = h \nu = h c / \lambda \quad 2.3$$

dimana E = energi, h = tetapan Plank, ν = frekuensi, c = kecepatan rambat cahaya dan λ = panjang gelombang.

Pengabsorbansian energi pada berbagai frekuensi dapat dideteksi oleh spektrofotometer, yang memplot jumlah radiasi cahaya yang diteruskan melalui cuplikan sebagai fungsi frekuensi (atau panjang gelombang) radiasi. Plot tersebut disebut spektrum cahaya yang akan memberikan informasi penting tentang gugus fungsional suatu molekul.



Gambar 2.2. Spektrum suatu cahaya

Dari gambar spektrum tersebut terlihat beberapa pita yang menunjukkan adanya vibrasi beberapa ikatan pada suatu molekul.^[4]

2.2.2 Spektrofotometer

Spektrofotometer merupakan alat rutin yang dipakai untuk mendeteksi gugus fungsional, mengidentifikasi senyawa, dan menganalisis campuran. Spektrofotometer dikembangkan untuk mempelajari struktur molekul dengan teori molekul, diantaranya untuk berbagai studi bahan seperti lingkungan ataupun mengontrol suatu proses kimiawi dalam industri.^[5]

Spektrofotometer selalu dilengkapi recorder untuk merekam hasil percobaan. Alat perekam ini mempermudah dan mempercepat pengolahan data.

Sumber radiasi pada spektrofotometri bisa menggunakan cahaya tampak dan tidak tampak, dan sampel dapat diukur sebagai padatan atau cairan murninya, tanpa membutuhkan pelarut.^[6]

2.3 Sumber Radiasi Monokromatis

Sumber radiasi adalah benda yang tereksitasi hingga ke tingkat tenaga yang tinggi oleh sumber listrik atau oleh pemanasan listrik. Benda atau materi kembali ke tingkat energi yang rendah atau ke tingkat dasarnya, melepaskan foton dengan energi yang karakteristiknya sesuai dengan delta E, yaitu perbedaan energi antara tingkat tereksitasi dengan tingkat dasar rendah.

Sumber radiasi yang ideal untuk pengukuran spektroskopi terlihat, harus menghasilkan spektrum dengan intensitas tertentu pada kisaran panjang gelombang yang sedang dipelajari.

2.3.1 LED

LED merupakan komponen optoelektronik atau teknologi yang mengkombinasikan optik dan elektronik. LED adalah peralatan yang berdasarkan pengaruh sambungan pn. Pada LED dengan bias tegangan maju, elektron bebas melintasi sambungan dan jatuh ke dalam hole. Ketika elektron jatuh dari tingkat energi tinggi ke rendah, elektron akan mengeluarkan energi, pada LED energi dikeluarkan dalam bentuk sinar.

Dengan menggunakan elemen seperti gallium, arsenic dan fosfor, pabrik dapat memproduksi LED yang berwarna merah, hijau, kuning, orange, dan inframerah LED yang menghasilkan Radiasi yang terlihat memancarkan cahaya monokromatis. Cahaya monokromatis merupakan cahaya satu warna dengan satu panjang gelombang. Tabel 2.1 memperlihatkan LED yang memancarkan cahaya tampak dan panjang gelombangnya.

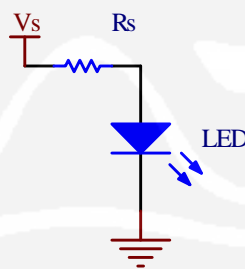
Tabel 2.1. Warna yang dipancarkan LED dan panjang gelombangnya.^[7]

Warna LED	Panjang gelombang
Merah	700 nm
Jingga	600 nm
Kuning	580 nm
Hijau	530 nm
Biru	470 nm

Pada gambar 2.3 merupakan rangkaian dasar LED, resistor rangkaian adalah resistor pembatas arus yang digunakan untuk melindungi arus dari tingkatan maksimum arus yang berlebihan pada dioda. Karena resistor mempunyai titik tegangan V_S dan V_D , tegangan jepit resistor adalah perbedaan dua tegangan. Dengan hukum Ohm arus seri adalah :

$$I_z = \frac{V_S - V_D}{R_S} \quad 2.4$$

Untuk LED komersial tersedia tegangan 1,5V-2,5V untuk arus antara 10-50 mA. Ada juga LED dengan pancaran cahaya sangat cerah yang dinamakan super bright LED dengan tegangan 4V untuk arus 20 mA.

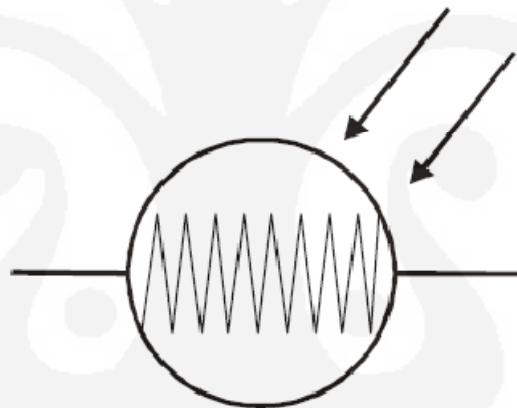


Gambar 2.3. Rangkaian dasar LED

Kecerahan LED tergantung pada arus yang mengalir. Saat V_S lebih besar daripada V_D pada persamaan 2.4 kecerahan LED adalah konstan. Cara yang paling baik untuk mengontrol kecerahan adalah dengan memberikan arus konstan pada LED. Dengan ini, kecerahannya konstan karena arusnya juga konstan. LED mempunyai tegangan breakdown yang sangat rendah, berkisar antara 3V dan 5V.

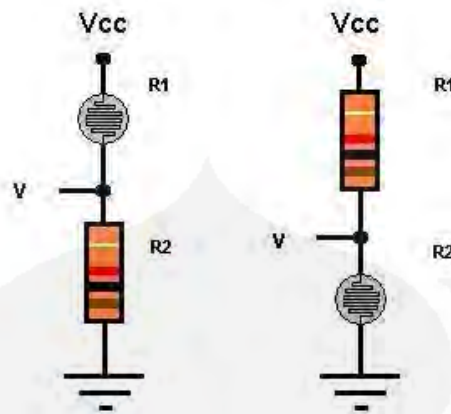
2.3.2 Detektor Cahaya (Fotoresistor)

Fotoresistor merupakan piranti semikonduktor yang digunakan untuk mendeteksi cahaya. Fotoresistor biasa juga disebut fotokonduktif atau LDR (Light Dependent Resistor). Fotoresistor termasuk jenis resistor variabel karena jumlah tahanannya dapat berubah-ubah, perubahan tahanannya pada fotoresistor di tentukan oleh besarnya cahaya yang mengenai penampang pada fotoresistor. Apabila cahaya yang mengenai penampang fotoresistor itu besar maka nilai tahanan di dalam fotoresistor semakin kecil sebaliknya semakin kecil cahaya mengenai penampang fotoresistor maka nilai tahanan pada fotoresistor akan semakin besar. Saat cahaya menerangi fotoresistor, foton akan menabrak ikatan Cadmium Sulfida dan melepaskan elektron. Semakin besar intensitas cahaya yang datang, semakin banyak elektron yang terlepas dari ikatan. Sehingga hambatan fotoresistor akan turun saat cahaya meneranginya.



Gambar 2.4 Simbol fotoresistor

Fotoresistor akan mempunyai hambatan yang sangat besar saat tak ada cahaya yang mengenainya (gelap). Dalam kondisi ini hambatan fotoresistor, mampu mencapai $1\text{ M}\Omega$. Akan tetapi saat terkena sinar, hambatan LDR akan turun secara drastis hingga nilai beberapa puluh ohm saja.^[8] Berikut dibawah gambar rangkaian dasar fotoresistor.

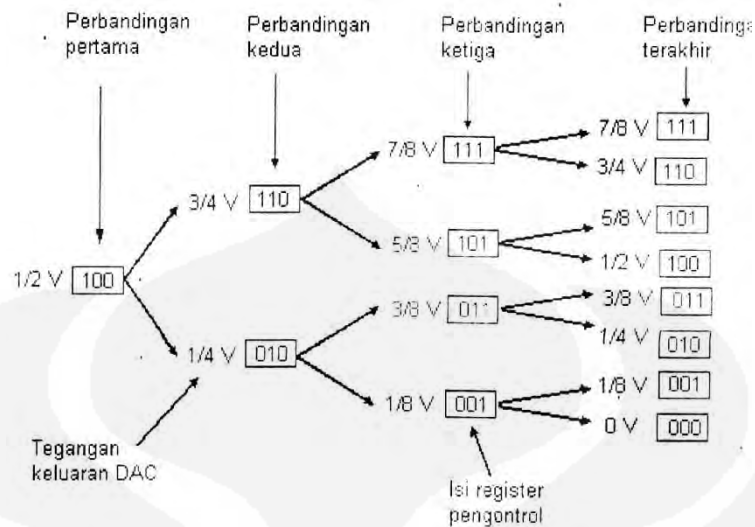


Gambar 2.5 Rangkaian dasar fotoresistor

2.4 *Analog to Digital Converter*

Analog to digital converter (ADC) adalah rangkaian yang dapat merubah besaran analog menjadi bentuk digital. Ada beberapa macam rangkaian ADC antara lain pengubah A/D simultan, pengubah A/D jenis pencacah, pengubah A/D jenis kontinu dan pengubah A/D jenis pendekatan berturut-turut (*Successive Approximation A/D Converter*). Di antara ke empat metode di atas, yang paling banyak digunakan adalah pengubah A/D jenis pendekatan berturut-turut sebab memberikan prestasi yang paling baik untuk suatu rangkaian pemakaian yang luas.

Pengubah jenis A/D jenis pendekatan berturut-turut (*successive approximation A/D converter*) membandingkan masukan analog terhadap sebuah tegangan referensi *digital to analog converter* yang berulang-ulang. Metode pendekatan berturut-turut memerlukan sebuah register pengontrol khusus untuk membuka pulsa-pulsa ke bit pertama, kemudian ke bit kedua dan seterusnya. Metode ini dapat menangani sinyal-sinyal kontinu dan tidak kontinu dengan resolusi yang besar dan kecil pada kecepatan yang sedang.



Gambar 2.6 Operasi pengubah A/D jenis pendekatan berturut-turut^[9]

Diagram balok pada gambar 2.6 memperlihatkan pengubah jenis pendekatan berturut-turut yang dasar. Pengubah ini menggunakan sebuah register pengontrol digital yang mampu membukakan masukan 1 dan masukan 0; sebuah pengubah digital ke analog beserta sumber daya referensi; sebuah rangkaian pembandingan; sebuah lup pengontrol waktu dan register distribusi.

2.5 Mikrokontroler ATmega 8535^[10]

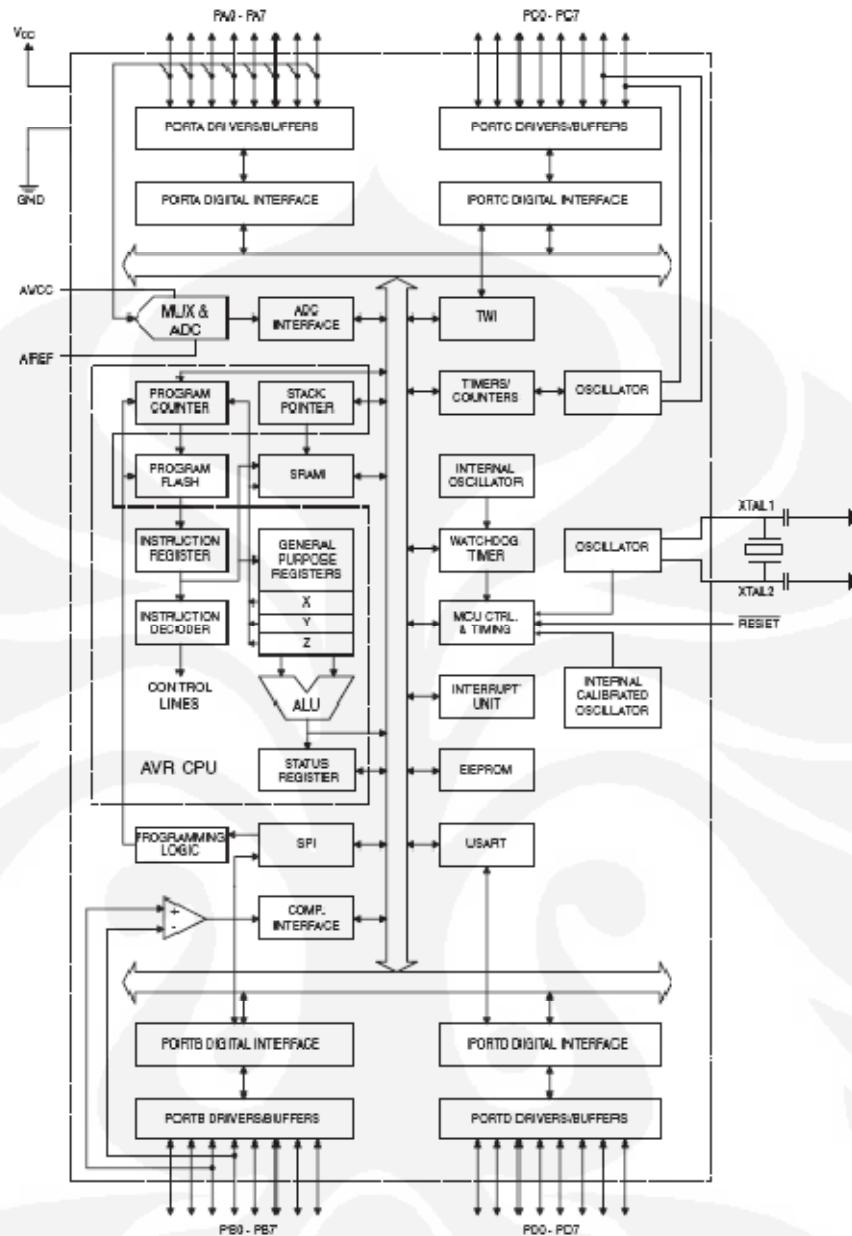
Mikrokontroler adalah *single chip computer* yang memiliki kemampuan untuk diprogram dan digunakan untuk tugas-tugas yang berorientasi kontrol. Mikrokontroler datang dengan dua alasan utama, yang pertama adalah kebutuhan pasar (*market needed*) dan yang kedua adalah perkembangan teknologi baru. Yang dimaksud dengan kebutuhan pasar adalah kebutuhan yang luas dari produk-produk elektronik akan perangkat pintar sebagai pengontrol dan pemroses data. Sedangkan yang dimaksud dengan perkembangan teknologi baru adalah perkembangan teknologi semikonduktor yang memungkinkan pembuatan chip dengan kemampuan komputansi yang sangat cepat, bentuk yang semakin mungil, dan harga yang semakin murah.

Mikrokontroler merupakan kombinasi CPU dengan memori (RAM/ROM), serta I/O yang terintegrasi dalam satu chip atau biasa disebut dengan SCM (*Single Chip Microcomputer*). Mikrokontroler merupakan satu unit pengontrol yang sudah memenuhi sistem minimum komputer.

Mikrokontroler AVR merupakan mikrokontroler berbasis arsitektur *RISC (Reduced Instruction Set Computing)* 8 bit. Berbeda dengan mikrokontroler keluarga 8051 yang mempunyai arsitektur *CISC (Complex Instruction Set Computing)*, AVR menjalankan sebuah instruksi tunggal dalam satu siklus dan memiliki struktur I/O yang cukup lengkap sehingga penggunaan komponen eksternal dapat dikurangi. Mikrokontroler AVR didesain menggunakan arsitektur *Harvard*, di mana ruang dan jalur bus bagi memori program dipisahkan dengan memori data. Memori program diakses dengan *single-level pipelining*, di mana ketika sebuah instruksi dijalankan, instruksi lain berikutnya akan di-*prefetch* dari memori program.

2.5.1 Arsitektur Mikrokontroler Atmega 8535

Mikrokontroler merupakan mikroprosesor (CPU) yang dilengkapi dengan komponen-komponen pendukung seperti: SRAM, EPROM, port I/O (*Input/Output*), USART untuk komunikasi serial dan lain-lain. Inti dari mikrokontroler ini adalah dengan menyatukan beberapa instruksi dengan 32 register kerja serbaguna. Register kerja serbaguna tersebut terhubung langsung dengan ALU, hal tersebut memungkinkan dua buah register mandiri diakses dengan instruksi dalam satu siklus clock. Hal tersebut dapat dilihat dalam arsitektur Atmega 8535 pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Diagram blok ATmega 8535

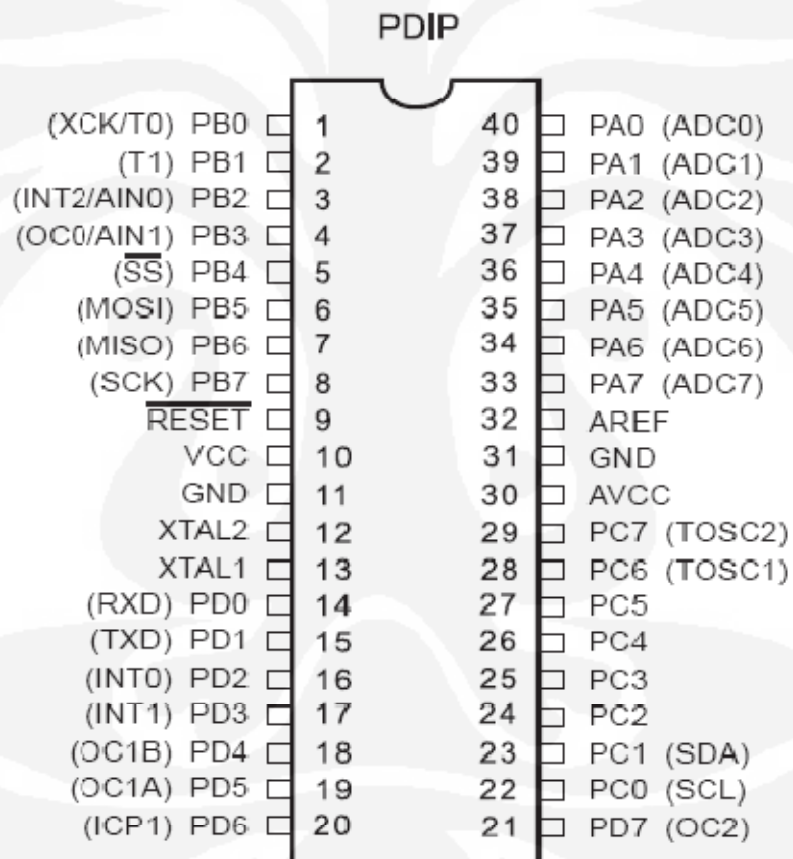
Secara garis besar, arsitektur mikrokontroler Atmega 8535 terdiri dari :

1. Saluran I/O sebanyak 32 buah yaitu *Port A*, *Port B*, *Port C*, dan *Port D*
2. CPU yang memiliki 32 buah register
3. SRAM sebesar 512 Byte
4. *Flash memory* sebesar 8 Kbyte
5. EPROM sebesar 512 Byte
6. Tiga buah *timer/counter* dengan kemampuan pembandingan
7. *Two wire serial interface*

8. Port antarmuka SPI
9. Unit interupsi internal dan eksternal
10. Port USART untuk komunikasi serial dengan kecepatan maksimal 2,5Mbps
11. ADC 10 bit sebanyak 8 saluran
12. Watchdog timer dengan osilator internal

2.5.2 Konfigurasi Pin ATmega 8535

Konfigurasi untuk IC mikrokontroler dapat dilihat pada gambar 2.8 konfigurasi kaki IC mikrokontroler Atmega 8535.



Gambar 2.8 Konfigurasi kaki IC ATmega 8535

Adapun konfigurasi pin IC Atmega8535 adalah sebagai berikut:

1. VCC (Pin 10)

Merupakan pin yang berfungsi sebagai pin masukan catu daya. Tegangan *supply* sebesar 4.5-5.5 Vdc.

2. GND (Pin 31)

Merupakan pin yang berfungsi sebagai pin *ground*.

3. Port A (PA0..PA7)

Port A berlaku sebagai *input* analog untuk ADC. *Port A* juga berlaku sebagai *port input-output* (I/O) 8 bit *bi-directional*, jika AC tidak digunakan. Pin *port* menyediakan resistor *pull-up internal* . *Output buffer port A* memiliki karakteristik kendali simetris di kedua kemampuan *sink* dan *source*. Ketika pin PA0 s/d PA7 digunakan sebagai *input* dan ditarik rendah dari luar, maka akan menjadi sumber arus jika resistor *pull-up internal* diaktifkan. Pin port A adalah *tri-state* ketika kondisi *reset* aktif, bahkan ketika *clock* tidak bekerja.

4. Port B (PB0..PB7)

Port B juga berlaku sebagai *port input-output* (I/O) 8 bit *bi-directional* dengan resistor *pull-up internal*. *Output buffer port B* memiliki karakteristik kendali simetris di kedua kemampuan *sink* dan *source*. PB0 s/d PB7 merupakan pin I/O dua arah dan pin fungsi khusus, yaitu *Timer* atau *Counter*, komparator analog, dan SPI.

5. Port C (PC0..PC7)

Port C juga berlaku sebagai *port input-output* (I/O) 8 bit *bi-directional* dengan resistor *pull-up internal*. *Output buffer port C* memiliki karakteristik kendali simetris di kedua kemampuan *sink* dan *source*. PC0 s/d PC7 merupakan pin I/O dua arah dan pin fungsi khusus, yaitu TWI, komparator analog, dan *Timer Oscillator*.

6. Port D (PD0..PD7)

Port D juga berlaku sebagai *port input-output* (I/O) 8 bit *bi-directional* dengan resistor *pull-up internal*. *Output buffer port D* memiliki karakteristik kendali simetris di kedua kemampuan *sink* dan *source*. PD0

s/d PD7 merupakan pin I/O dua arah dan pin fungsi khusus, yaitu komparator analog, interupsi internal dan komunikasi serial.

7. RESET

Merupakan pin yang digunakan untuk me-*reset* mikrokontroler. Level rendah pada pin ini dengan panjang lebih dari panjang pulsa minimum akan membangkitkan *reset*, bahkan ketika *clock* sedang bekerja.

8. XTAL1 dan XTAL2

XTAL1 adalah *input* ke penguat osilator *inverting* dan *input* ke rangkaian operasi *clock internal*. Sedangkan XTAL2 adalah *output* dari penguat osilator *inverting*.

9. AVCC

Merupakan pin yang digunakan untuk masukan tegangan untuk ADC. AVCC harus dihubungkan ke VCC walaupun jika ADC tidak digunakan. Jika ADC digunakan harus dihubungkan ke VCC melalui sebuah *low-pass filter*.

10. AREF

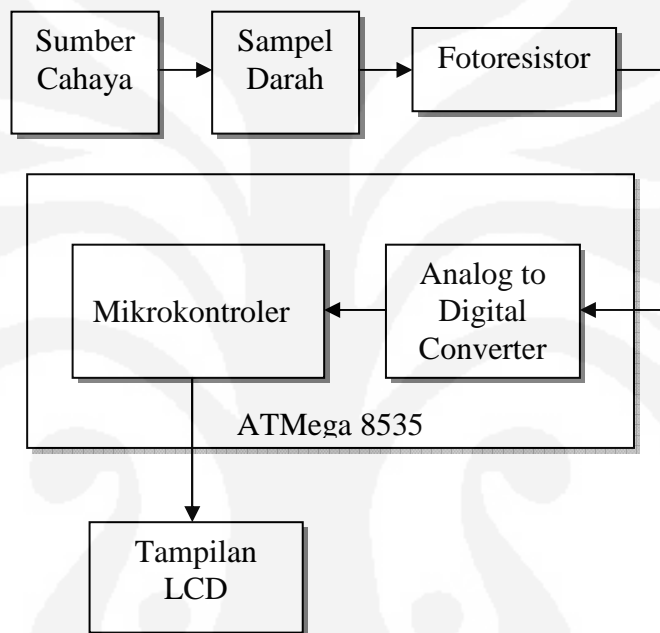
Merupakan pin referensi analog untuk ADC.

BAB III

RANCANG BANGUN DAN REALISASI SISTEM

Dalam perancangan alat pengukur kadar gula darah ini terdapat 2 tahap utama, yaitu perancangan *hardware* dan perancangan *software*.

Prinsip kerja dari alat pengukur konsentrasi glukosa berbasis mikrokontroler ini secara umum dapat dijelaskan pada gambar dibawah ini:



Gambar 3.1 Blok diagram alat pengukur kadar gula darah

Pada mulanya sumber cahaya monokromatis di arahkan menyinari *blood strip* yang berisi sampel darah. Pada proses ini terjadi pengurangan intensitas cahaya karena sebagian besar cahaya diserap oleh *blood strip* yang berisi sampel darah dan sebagiannya lagi dilewatkan.

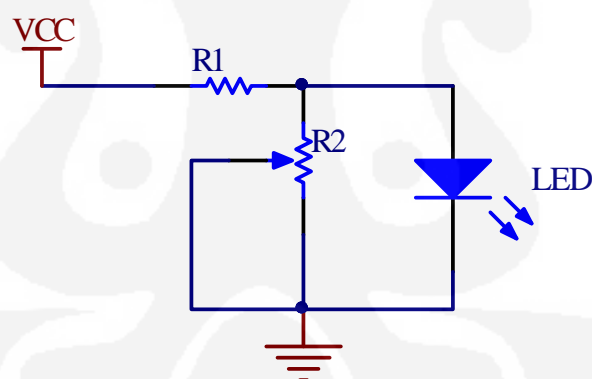
Besarnya cahaya yang dilewatkan oleh *blood strip* yang berisi sampel darah dideteksi dan diukur intensitas cahayanya menggunakan fotoresistor. Dari fotoresistor dihasilkan tegangan berkisar antara 0-5V. Kemudian tegangan yang masih berupa sinyal analog di ubah ke dalam bentuk sinyal digital. Akhirnya sinyal digital yang telah dirubah dari bentuk analog diproses dan dihitung oleh mikrokontroler dan didapat hasil konsentrasinya yang nantinya akan ditampilkan di LCD.

3.1 Perancangan Hardware

Perancangan dan pembuatan *hardware* meliputi beberapa tahap, yaitu pembuatan blok diagram, rangkaian sumber cahaya, rangkaian transduser fotoresistor, sistem minimum mikrokontroler ATmega 8535, tampilan LCD dan rangkaian catu daya.

3.1.1 Rangkaian Sumber Cahaya

Untuk mengukur konsentrasi glukosa diperlukan cahaya monokromatis dengan panjang gelombang 500 nm, oleh karena itu sumber cahaya yang digunakan adalah LED super bright dengan warna hijau. LED dengan panjang gelombang 500 nm ini bekerja pada tegangan kerja maksimum 4 V dan arus maksimum 20 mA. Maka untuk mendapatkan tegangan kerja dan arus yang diinginkan diperlukan sebuah resistor yang di rangkai seri dengan LED. Rangkaian sumber cahaya dapat dilihat pada gambar 3.2



Gambar 3.2 Rangkaian Sumber Cahaya

Selain itu juga dibutuhkan potensiometer yang dirangkai paralel dengan LED agar intensitas cahaya LED dapat diatur. Intensitas cahaya yang digunakan pada perancangan ini sebesar 615 Lux. Untuk menentukan besarnya resistor maka perlu melakukan beberapa perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Tahanan dalam LED (R}_d\text{)} = \frac{V_{LED}}{I_{LED}} = \frac{4V}{20 \text{ mA}} = 200\Omega$$

$$R_{\text{paralel}} = \frac{R_2 \times R_d}{R_2 + R_d} = \frac{1K \times 200}{1K + 200} = 166,67\Omega$$

$$R_1 = \frac{R_{\text{paralel}} (V_{\text{dc}} - V_{\text{led}})}{V_{\text{led}}} = \frac{166,67(5V - 4V)}{4V} = 41,67\Omega$$

$$V_{\text{out}} = \frac{R_{\text{paralel}}}{R_{\text{paralel}} + R_1} \times V_{\text{CC}} = \frac{166,67}{166,67 + 40} \times 5V = 4,03V$$

3.1.2 Rangkaian Transducer

Sebagai pendeteksi cahaya monokromatis dari LED digunakan fotoresistor, karena fotoresistor memiliki sensitifitas cahaya cukup baik pada sumber cahaya yang relatif kecil. Fotoresistor akan menghasilkan tegangan yang sebanding dengan besarnya perubahan intensitas cahaya.



Gambar 3.3 Rangkaian Transducer

Misalkan resistor seri yang digunakan adalah sebesar $1K\Omega$ sedangkan fotoresistor mendapatkan intensitas cahaya yang tinggi maka V yang dihasilkan adalah:

$$V = \frac{R_{\text{foto}}}{R_{\text{seri}} + R_{\text{foto}}} \times V_{\text{CC}}$$

$$V = \frac{0}{1K + 0} \times 5$$

$$V = 0\text{Volt}$$

Dan jika fotoresistor mendapatkan intensitas cahaya yang rendah maka V yang dihasilkan adalah:

$$V = \frac{R_{\text{foto}}}{R_{\text{seri}} + R_{\text{foto}}} \times V_{\text{CC}}$$

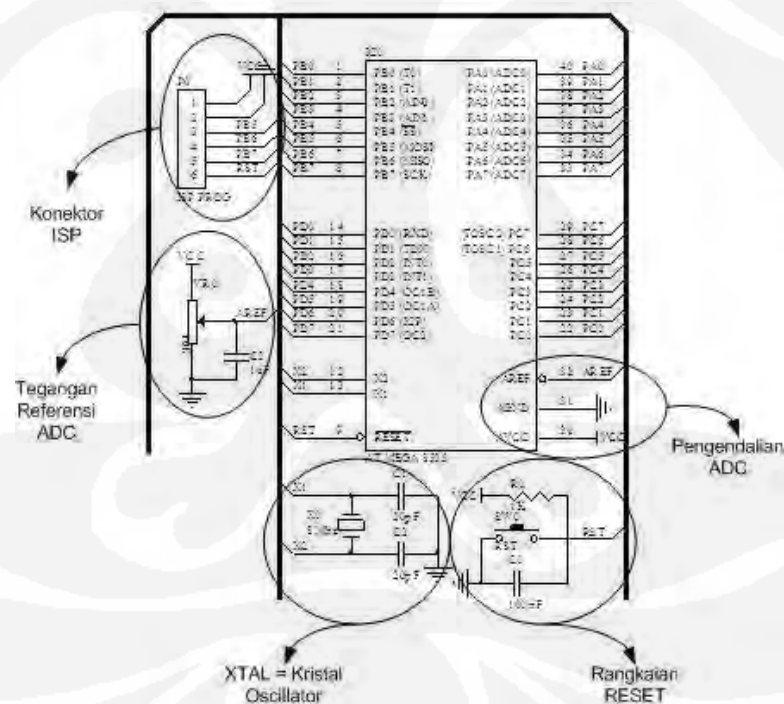
$$V = \frac{1M}{1K + 1M} \times 5$$

$$V = 4,99\text{Volt}$$

3.1.3 Sistem Minimum Mikrokontroler ATmega 8535

Rangkaian minimum sistem mikrokontroler Atmega 8535 merupakan sebuah modul ISP (*In System Programming*) dan dihubungkan langsung dengan kabel paralel. Rangkaian minimum sistem mikrokontroler Atmega 8535 berfungsi sebagai penerima data masukan dari rangkaian komparator dan melakukan perhitungan jumlah pulsa atau detak dalam satu menit dan menampilkan data tersebut di LCD.

- Spesifikasi alat :
- IC Mikrokontroler ATmega 8535
 - Tegangan suplai 12 Vdc
 - Kristal 8 MHz
 - Port input : PA.0
 - Port output : PB.0 s.d PB.7

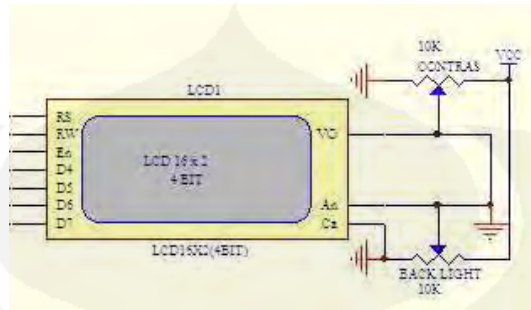


Gambar 3.5 Rangkaian Sitem minimum ATmega 8535

3.1.4 Rangkaian LCD

Tampilan yang digunakan adalah LCD 16x2, dimana LCD ini mempunyai

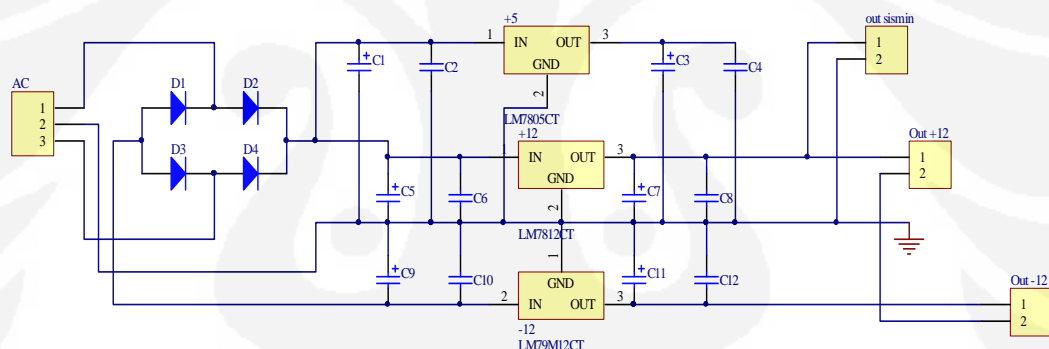
16 kolom dan 2 baris. LCD berfungsi untuk menampilkan data yang telah diolah yaitu berupa hasil pengukuran gula darah. Gambar di bawah memperlihatkan gambar antarmuka LCD dengan mikrokontroler.



Gambar 3.6 Rangkaian Tampilan LCD

3.1.5 Rangkaian Catu Daya

Sistem yang akan dirancang memerlukan sumber tegangan searah sebesar +5 Vdc, +12 Vdc dan -12 Vdc. Gambar rangkaian catu daya ini dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



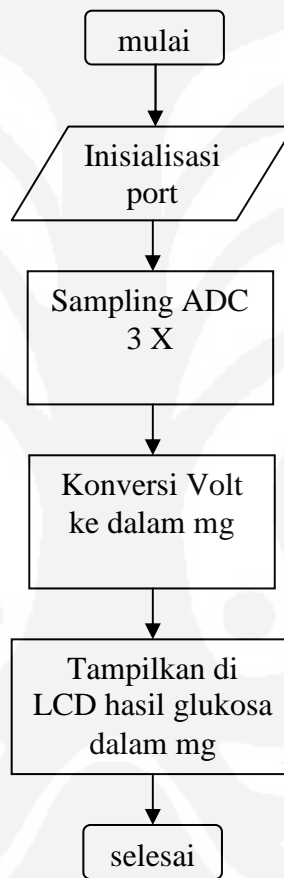
Gambar 3.7 Rangkaian Catu Daya

Rangkaian catu daya ini terdiri dari regulator +12V, yang dibutuhkan untuk rangkaian sistem minimum. Lalu regulator +12V,-12V untuk tegangan supply Op-Amp pada rangkaian transducer dan Amplifier. Juga terdapat regulator 5V untuk supply rangkaian sumber cahaya.

Prinsip kerja rangkaian catu daya ini adalah untuk tegangan +12 Vdc,-12 Vdc dan 5 Vdc menggunakan input 18 Vac dan akan disearahkan oleh diode *bridge* serta akan difilter oleh kapasitor. Kemudian akan dialirkan ke regulator LM7812, LM7805 dan LM7912 untuk menghasilkan tegangan +12 Vdc, +5 Vdc dan -12 Vdc yang lebih stabil.

3.2 Perancangan Software

Tahap perancangan dan pembuatan *software* dimulai dengan membuat *flowchart* kemudian dilanjutkan dengan membuat listing program menggunakan basic compiler. Berikut adalah diagram alir (*flowchart*) dari program yang akan dibuat.



Gambar 3.8 Diagram alir program alat pengukur kadar gula darah

3.3 Realisasi Alat Pengukur Kadar Gula Darah

Tujuan dari realisasi alat adalah untuk merealisasikan alat yang telah dirancang, dan untuk melihat secara nyata alat yang telah dirancang. Berikut adalah realisasi alat pengukur kadar gula darah.

3.3.1 Realisasi Hardware Alat Pengukur Kadar Gula Darah

Berikut dibawah ini merupakan gambar realisasi hardware alat pengukur kadar gula darah yang terdiri dari blok catu daya, sistem minimum mikrokontroler, sumber cahaya dan detector cahaya.



Gambar 3.9 Realisasi hardware alat pengukur kadar gula darah

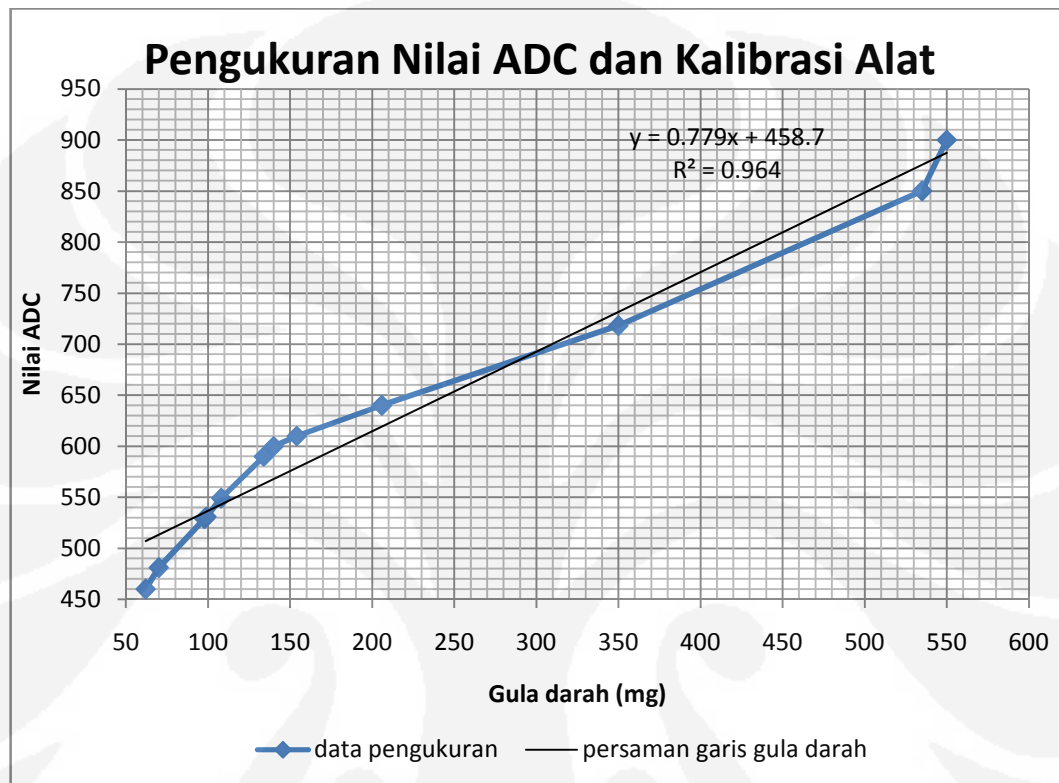
3.3.1 Realisasi software alat pengukur kadar gula darah dan kalibrasi alat

Untuk merealisasikan *software* alat pengukur gula darah diperlukan pengukuran besarnya nilai ADC dari masing-masing sampel darah. Tujuannya adalah untuk mengkalibrasi alat dan mengkonversi nilai dari pembacaan ADC kedalam satuan mg/dL. Sehingga didapat data pengukuran besarnya nilai ADC untuk masing-masing sampel darah sebagai berikut:

Tabel 3.1 Pengukuran nilai ADC dan kalibrasi alat

Gula darah (mg/dL)	Nilai pembacaan ADC
62	460
70	481
98	529
99	531
108	549
134	590
140	600

154	610
206	640
350	718
535	850
550	900

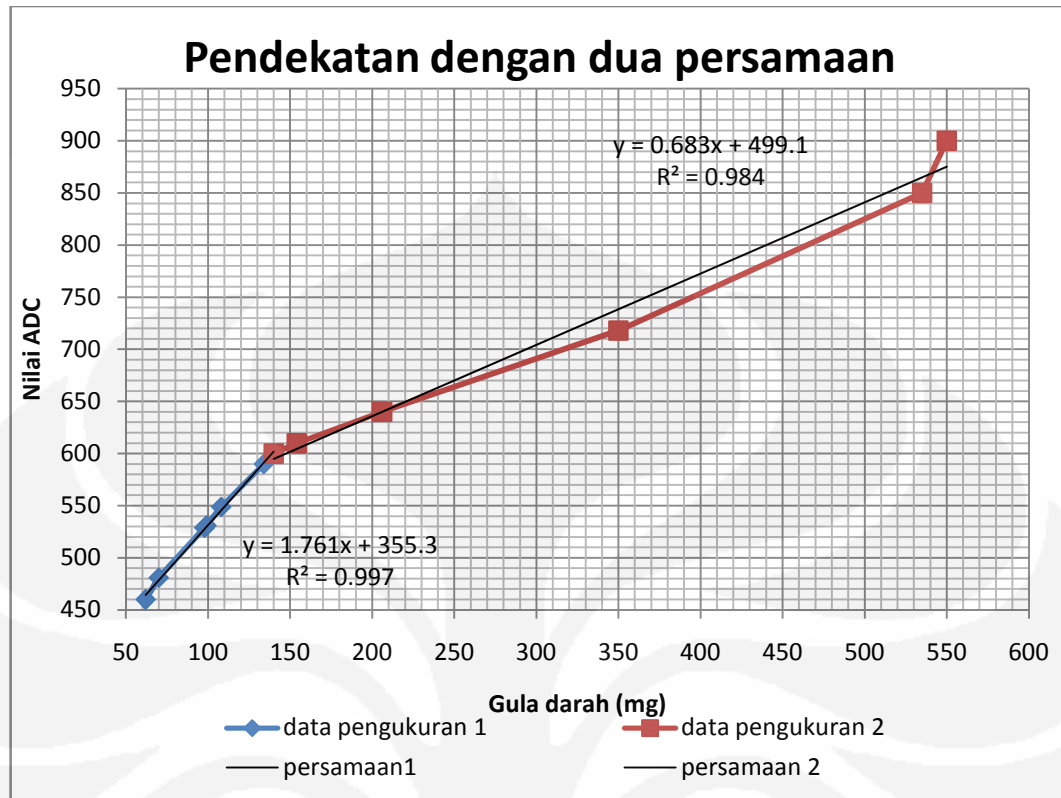


Gambar 3.10 Grafik pengukuran nilai ADC dan kalibrasi alat

Dari grafik diatas dapat dilihat hubungan antara besarnya nilai ADC dan gula darah dari masing-masing sampel hampir linier dimana persamaan garisnya adalah sebagai berikut :

$$y = 0,779x + 458,7 \quad 3.1$$

Dengan nilai $R^2 = 0,964$. Maka dari itu untuk memperkecil nilai *error* dilakukan pendekatan lain dengan mengambil dua persamaan garis sebagai berikut :



Gambar 3.11 Pendekatan dengan menggunakan dua persamaan

Dimana terdapat dua persamaan garis yaitu :

$$y = 1,761x + 355,3$$

$$x = \frac{1000y - 355300}{1761} \quad 3.2$$

dan

$$y = 0,683x + 499,1$$

$$x = \frac{1000y - 499100}{683} \quad 3.3$$

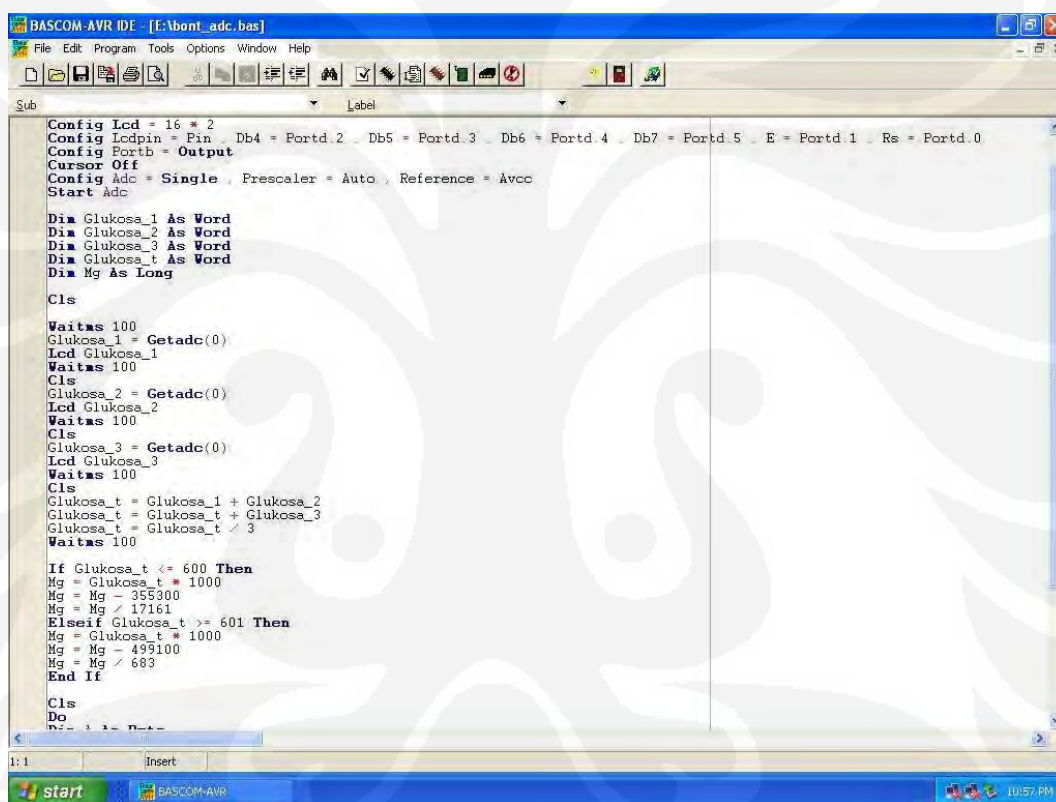
Setelah mendapatkan kedua persamaan dari grafik kemudian kedua persamaan ini digunakan sebagai program konversi dari nilai ADC kedalam satuan mg/dL dengan Basic Compiler. Dimana y = Nilai ADC dan x = mg/dL. Berikut baris program untuk kedua persamaan tersebut :


```

If Glukosa_t <= 600 Then
Mg = Glukosa_t * 1000
Mg = Mg - 355300
Mg = Mg / 17161
Elseif Glukosa_t >= 601 Then
Mg = Glukosa_t * 1000
Mg = Mg - 499100
Mg = Mg / 683
End If

```

Berikut dibawah ini merupakan *screenshot* dari listing program keseluruhan alat pengukur kadar gula darah yang sesuai dengan *flowchart*.



```

Sub
Config Lcd = 16 * 2
Config Lcdpin = Pin , Db4 = Portd.2 , Db5 = Portd.3 , Db6 = Portd.4 , Db7 = Portd.5 , E = Portd.1 , Rs = Portd.0
Config Portb = Output
Cursor Off
Config Adc = Single , Prescaler = Auto , Reference = Avcc
Start Adc

Dia Glukosa_1 As Word
Dia Glukosa_2 As Word
Dia Glukosa_3 As Word
Dia Glukosa_t As Word
Dia Mg As Long

Cls

Waitms 100
Glukosa_1 = Getadc(0)
Lcd Glukosa_1
Waitms 100
Cls
Glukosa_2 = Getadc(0)
Lcd Glukosa_2
Waitms 100
Cls
Glukosa_3 = Getadc(0)
Lcd Glukosa_3
Waitms 100
Cls
Glukosa_t = Glukosa_1 + Glukosa_2
Glukosa_t = Glukosa_t + Glukosa_3
Glukosa_t = Glukosa_t / 3
Waitms 100

If Glukosa_t <= 600 Then
Mg = Glukosa_t * 1000
Mg = Mg - 355300
Mg = Mg / 17161
Elseif Glukosa_t >= 601 Then
Mg = Glukosa_t * 1000
Mg = Mg - 499100
Mg = Mg / 683
End If

Cls
Do

```

Gambar 3.12 *Screenshot* listing program alat pengukur kadar gula darah

BAB IV

PENGUJIAN DAN ANALISA

Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah perancangan yang telah dilakukan sesuai dengan yang diharapkan, sehingga dapat diterapkan pada sistem yang sesuai dengan spesifikasi. Setiap blok pada sistem diuji dan dianalisa, jika pengujian pada setiap blok benar kemudian dilakukan pengujian keseluruhan sistem. Parameter-parameter yang termasuk dalam proses yang diuji adalah sebagai berikut:

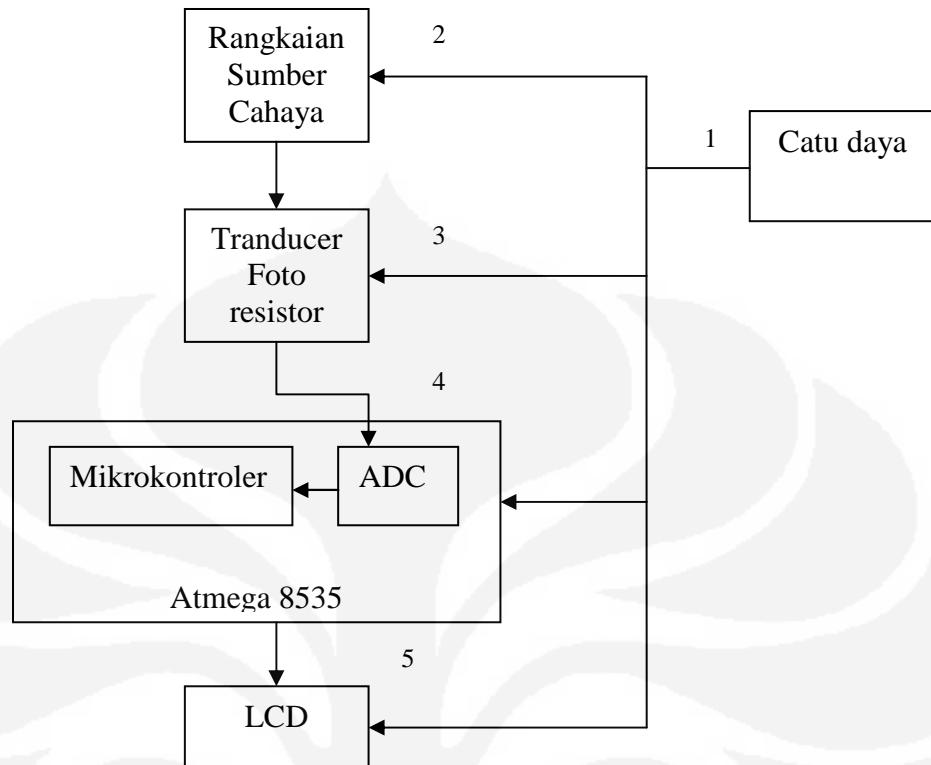
1. Pengujian keluaran pada rangkaian catu daya
2. Pengujian pada rangkaian sumber cahaya
3. Pengujian pada rangkaian transducer
4. Pengujian port pada rangkaian Mikrokontroler
5. Pengujian pada tampilan LCD
6. Pengujian sistem secara keseluruhan, yaitu pengujian pengukur kadar gula darah.

Berikut ini merupakan diagram blok sistem secara keseluruhan, pengujian dilakukan dengan mengukur ataupun membaca *output* dari masing-masing blok, dengan mengetahui *output* setiap blok sehingga mempermudah proses *maintenance* (perbaikan) karena posisi kerusakan sistem dapat diketahui secara pasti.

Output 1 : Merupakan pengujian pembacaan sinyal output dari Catu daya.

Output 2 : Merupakan pengujian pembacaan sinyal output dari rangkaian sumber cahaya.

Output 3 : Merupakan pengujian pembacaan sinyal output dari transducer fotoresistor



Gambar 4.1 Test point pengujian

Output 4 : Merupakan pengujian pembacaan sinyal output dari Mikrokontroler.

Output 5 : Merupakan pengujian rangkaian tampilan LCD, keluaran pada LCD berupa tampilan karakter.

4.1 Pengujian Hardware Per Blok

Pengujian *hardware* yang dilakukan meliputi pengujian, pengukuran, dan analisa pada rangkaian catu daya, rangkaian sumber cahaya, rangkaian tranducer, rangkaian mikrokontroler dan rangkaian *interface* LCD.

4.1.1 Pengujian dan Analisa Rangkaian Catu Daya

Pengujian ini dilakukan untuk melihat apakah tegangan *output* yang dihasilkan oleh rangkaian catu daya sesuai dengan yang diinginkan atau tidak. Pengujian meliputi tegangan input dan tegangan output regulator LM 7805, LM 7812 dan LM 7912. Pengukuran dilakukan dengan multimeter digital yang dipasang secara paralel dengan tegangan yang ingin diukur. Hasil pengukuran dapat dilihat pada table berikut :

Tabel 4.1 Pengukuran rangkaian catu daya

Regulator	Tegangan Input Regulator (V_i)	Tegangan Output regulator (V_o)
LM 7805	15,15	5,04
LM 7812	15,15	12,00
LM7912	-15,15	-11,87

Dari data-data diatas dapat dilihat bahwa regulator telah bekerja dengan baik dan tegangan outputnya dapat digunakan untuk mencatu sistem.

4.1.2 Pengujian dan Analisa Rangkaian Sumber Cahaya

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah pengatur intensitas cahaya bekerja dengan baik atau tidak. Pengujian dilakukan dengan cara memberikan tegangan input pada rangkaian sebesar 5 V, lalu mengukur tegangan LED pada 3 intensitas cahaya yang berbeda yaitu terang, redup dan mati. Pengaturan intensitas dilakukan dengan cara merubah besarnya *variable resistor*. Hasil pengukuran dapat dilihat pada table berikut :

Tabel 4.2 Pengukuran rangkaian sumber cahaya

Variable resistor (Ω)	Tegangan LED (V)	Intensitas Cahaya
1K	4	Terang
500	2	Redup
0	0	Mati

4.1.3 Pengujian dan Analisa Rangkaian Tranducer Fotoresistor

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah rangkaian tranducer bekerja dengan baik atau tidak. Pengujian dilakukan dengan cara mengukur tegangan output pada 3 intensitas cahaya yang berbeda yaitu terang, redup dan gelap. Pengaturan intensitas dilakukan dengan cara merubah besarnya intersitas dari cahaya LED. Hasil pengukuran dapat dilihat pada table berikut :

Tabel 4.3 Pengujian intensitas cahaya

Intensitas Cahaya	Tegangan Output
Terang	0,19
Redup	2,57
Mati	4,89

4.1.4 Pengujian dan analisa rangkaian rangkaian minimum mikrokontroler

Pengujian pada rangkaian minimum mikrokontroler yang dilakukan adalah pengujian terhadap port yang digunakan. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah port yang digunakan pada mikrokontroler berfungsi dengan baik atau tidak. Hasil pengukurannya sebagai berikut :

Tabel 4.4 Pengukuran rangkaian minimum mikrokontroler

Pin mikrokontroler	Tegangan (V)
Pin 10 (Vcc)	5,04
Pin 11 (Gnd)	0
Pin Port A	4,90
Pin Port B	4,90
Pin Port C	4,90
Pin Port D	4,90

Pada pengukuran tegangan pin mikrokontroler didapatkan tegangan pada Vcc sebesar 5,04 Volt, *Ground* sebesar 0 Volt, dan tegangan port A, B, C dan D sebesar 4,90 Volt.

Selain mengukur besar tegangan dari pin mikrokontroler juga dilakukan pengujian dengan cara menjalankan program sederhana untuk mengetahui keluaran dari semua port mikrokontroler apakah berjalan dengan baik atau tidak. Semua keluaran port mikrokontroler dihubungkan ke LED sebagai indikator apakah ada keluaran sesuai dengan intruksi program atau tidak. Program yang digunakan untuk mengetes rangkaian adalah sebagai berikut :

```
$regfile = "m8535.dat"
$crystal = 8000000
```

```

Config Porta = Output
Config Portb = Output
Config Portc = Output
Config Portd = Output

Dim A As Byte
Dim B As Byte
Dim C As Byte
Dim D As Byte

A = &B11111111
B = &B11111111
C = &B11111111
D = &B11111111

Porta = A
Portb = B
Portc = C
Portd = D
End

```

Setelah program dieksekusi maka semua LED akan menyala. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa sistem minimum mikrokontroler dalam kondisi baik

4.1.5 Pengujian dan Analisa Rangkaian Tampilan LCD

Pengujian pada rangkaian interface LCD berfungsi untuk melihat apakah tampilan dari LCD ada atau tidak. Untuk pengujian interface LCD digunakan listing program untuk mempermudah pengujian. Program yang digunakan untuk mengetes rangkaian tampilan LCD adalah sebagai berikut :

```

$regfile = "m8535.dat"
$crystal = 8000000

Config Lcd = 16 * 2
Const_lcdport = Portb
Const_lcdaddr = Ddrb
Const_lcdin = Pinb
Const_lcd_e = 2
Const_lcd_rw = 1
Const_lcd_rs = 0
Cursor Off
Do
  Cls

```

```

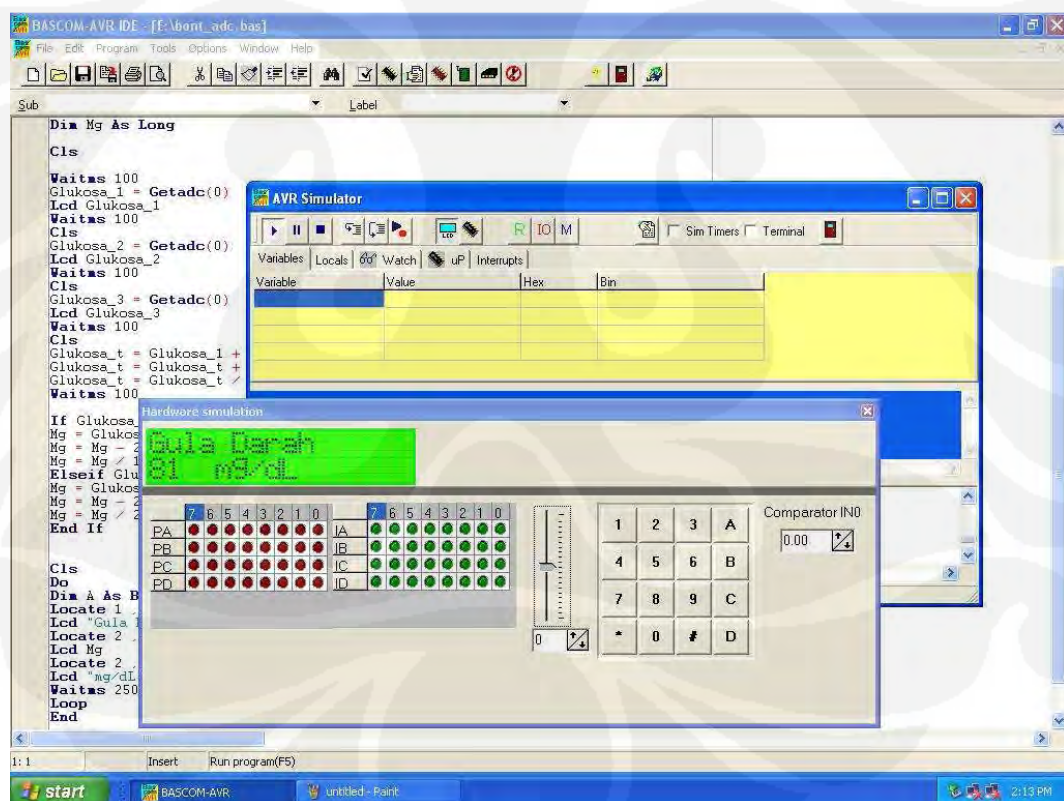
Waitms 500
Lcd " Riza Tamridho "
Lowerline
Lcd " 0806366320 "
Waitms 1000
Loop
End

```

Setelah program dieksekusi maka LCD akan menampilkan tulisan “Riza Tamridho” dan “0806366320”. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa rangkaian tampilan LCD dalam kondisi baik.

4.2 Pengujian Software Alat Pengukur Kadar Gula Darah

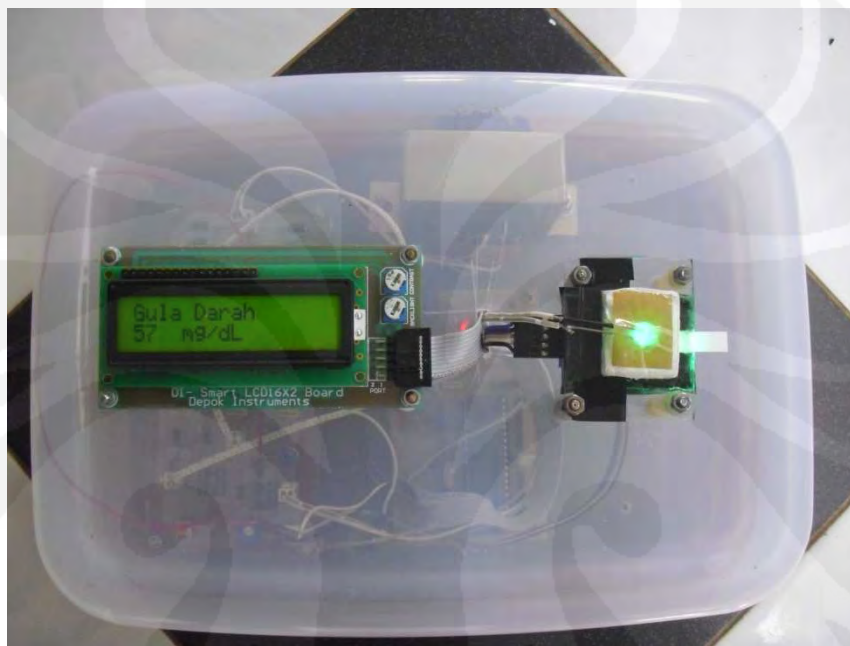
Pengujian *software* alat pengukur kadar gula darah ini dilakukan dengan cara mensimulasikan program yang telah dibuat apakah berjalan sesuai dengan yang diinginkan atau tidak. Berikut screenshot dari simulasi program.



Gambar 4.2 Test program alat pengukur gula darah

4.3 Pengujian Alat Pengukur Kadar Gula Darah Secara Keseluruhan

Pengujian dilakukan dengan cara mengambil sampel darah yang berada pada *blood strip*, lalu meletakkan *blood strip* diantara sumber cahaya dan sensor pendeteksi cahaya. Sensor tersebut akan mengukur intensitas cahayanya lalu mengkonversi ke dalam mg/dL. Setelah itu akan ditampilkan pada layar LCD. Berikut gambar hasil pengujian alat pengukur kadar gula darah.



Gambar 4.3 Hasil pengujian alat

Berikut data pengujian alat dan nilai perbandingan hasil dari pengukuran alat dan nilai gula darah sebenarnya.

Tabel 4.5 Hasil pengukuran dan pengujian alat

Data pengukuran	Gula darah Seberannya
75	81
121	135
234	250
57	65
453	425

4.4 Persentase kesalahan alat

Untuk mengevaluasi kinerja alat maka hasil pengukuran alat harus dibandingkan dengan data gula darah sebenarnya agar didapat persentase kesalahan alat. Cara menghitung persentase kesalahan alat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\%error = \left| \frac{\text{nilai gula darah} - \text{data pengukuran}}{\text{nilai gula darah}} \right| \times 100\% \quad 4.3$$

Dari rumus tersebut dapat diketahui nilai presentase kesalahan alat sebagai berikut:

Tabel 4.6 Hasil persentase kesalahan alat

Data pengukuran	Gula darah Seberannya	Persentase kesalahan alat
75	81	7,4 %
121	135	10,37%
234	250	6,4%
57	65	12,3 %
453	425	6,59%

Dari hasil perhitungan persentase kesalahan alat dapat dilihat bahwa nilai persentase kesalahan cukup besar. Sehingga realisasi alat pengukur gula darah ini tidak dapat dijadikan sebagai acuan nilai kadar gula darah sebenarnya. Akan tetapi realisasi alat ini masih bisa menentukan perkiraan kasar tinggi rendahnya suatu kadar gula dalam darah.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari data dan pengukuran yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa

1. Rancang bangun alat pengukur kadar gula darah ini dapat bekerja dan mengukur kadar gula darah dengan menggunakan media *blood strip*.
2. Kadar gula darah yang dapat diukur sebesar 60-500 mg/dL
3. Transducer yang digunakan adalah Potoresistor yang peka terhadap cahaya, sehingga mekanik dirancang sedemikian rupa agar transducer tidak mendapat interferensi dari cahaya sekitar.
4. Dari pengambilan data dan uji coba persentase kesalahan alat pengukur kadar gula darah sebesar 6,4 - 12,3%. Dengan demikian realisasi alat pengukur gula darah ini tidak dapat dijadikan sebagai acuan nilai kadar gula darah sebenarnya. Akan tetapi realisasi alat ini masih bisa menentukan perkiraan kasar tinggi rendahnya suatu kadar gula dalam darah.

5.2 Saran

Saran untuk pengembangan dari rancang bangun alat pengukur kadar gula darah ini, antara lain :

1. Untuk mendapatkan *error* yang lebih kecil bisa mencoba menggunakan metode selain fotometer.
2. Transducer yang dipakai untuk pengembangan selanjutnya dapat menggunakan *near infrared*. Dengan demikian pengukuran kadar gula darah dapat dilakukan tanpa harus mengeluarkan darah dari kulit.

DAFTAR ACUAN

- [1] Poedjiadi, Anna. (1994). Dasar-dasar Biokimia. Jakarta : Universitas Indonesia Press.
- [2] Amatsier, Yunita. (2003). Prinsip Dasar Ilmu Gizi. Jakarta : Gramedia Pustaka Utama.
- [3] [4] [6] Hendayana, Sumar. (1994). Kimia Analitik Instrumen. Semarang : IKIP Semarang Press.
- [5] Underwood, A.L; Day, R.A. (1986). Analisis Kimia Kuantitatif. Jakarta : Gramedia Pustaka Utama.
- [7] S. Reka Rio (dan Yoshikatsu Sawamura). (1997). Teknik Reparasi TV Berwarna, PT Pradnya Parmita Jakarta.
- [8] Mike Tooley .(2006). Electronic Circuits - Fundamentals & Applications : Newnes.
- [9] William David Cooper. 1999. Instrumentasi Elektronik dan Teknik Pengukuran. Erlangga.
- [10] Wardhana, Lingga. (2006). Belajar Sendiri Mikrokontroler AVR Seri ATmega 8535. Yogyakarta. Penerbit : CV ANDI.

DAFTAR PUSTAKA

- Md Ayu Lely S., Indirawati T. (2004). Pengaruh Kadar Glukosa Darah Yang Terkontrol Terhadap Penurunan Derajat Kegoyahan Gigi Penderita Diabetes Mellitus Di RS Persahabatan Jakarta. *Media Litbang Kesehatan XIV* : 3
- Ningning, Sri. (2009). Teknologi Non Invasive Pengukuran Gula Darah Dengan Menggunakan Spektroskopy Infra Merah. Thesis Magister Keperawatan Fakultas Ilmu Keperawatan Universitas. Depok : Tidak Diterbitkan
- David J. Holme & Hazel Peck. 1997. *Analitical Biochemistry*. Longman London and Ney York.
- Hardjono Sastrohamidjojo. 1985. *Spektroskopi*. Penerbit Liberty Yogyakarta.



LAMPIRAN
LISTING PROGRAM DAN
DATASHEET KOMPONEN

LISTING PROGRAM

```
$regfile = "m8535.dat"
$crystal = 8000000

Config Lcd = 16 * 2
Config Lcdpin = Pin , Db4 = Portd.2 , Db5 = Portd.3 , Db6 =
Portd.4 , Db7 = Portd.5 , E = Portd.1 , Rs = Portd.0
Config Portb = Output
Cursor Off
Config Adc = Single , Prescaler = Auto , Reference = Avcc
Start Adc

Dim Glukosa_1 As Word
Dim Glukosa_2 As Word
Dim Glukosa_3 As Word
Dim Glukosa_t As Word
Dim Mg As Long

Cls
Waitms 100
Glukosa_1 = Getadc(0)
Lcd Glukosa_1
Waitms 100
Cls
Glukosa_2 = Getadc(0)
Lcd Glukosa_2
Waitms 100
Cls
Glukosa_3 = Getadc(0)
```

```
Lcd Glukosa_3
Waitms 100
Cls
Glukosa_t = Glukosa_1 + Glukosa_2
Glukosa_t = Glukosa_t + Glukosa_3
Glukosa_t = Glukosa_t / 3
Waitms 100

If Glukosa_t <= 600 Then
Mg = Glukosa_t * 1000
Mg = Mg - 355300
Mg = Mg / 17161
Elseif Glukosa_t >= 601 Then
Mg = Glukosa_t * 1000
Mg = Mg - 499100
Mg = Mg / 683
End If

Cls
Do
Dim A As Byte
Locate 1 , 1
Lcd "Gula Darah"
Locate 2 , 1
Lcd Mg
Locate 2 , 5
Lcd "mg/dL"
Waitms 250
Loop
End
```

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

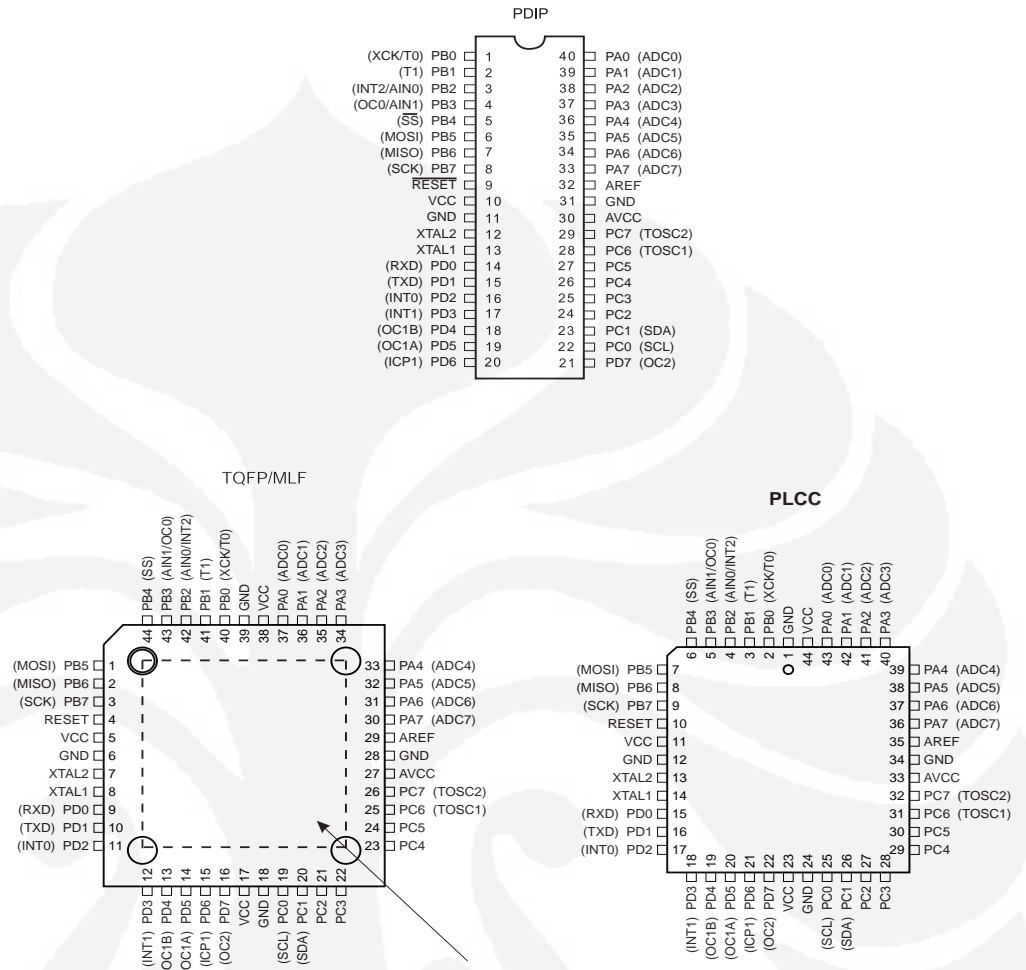
Summary

2502KS-AVR-10/06



Pin Configurations

Figure 1. Pinout ATmega8535



Disclaimer

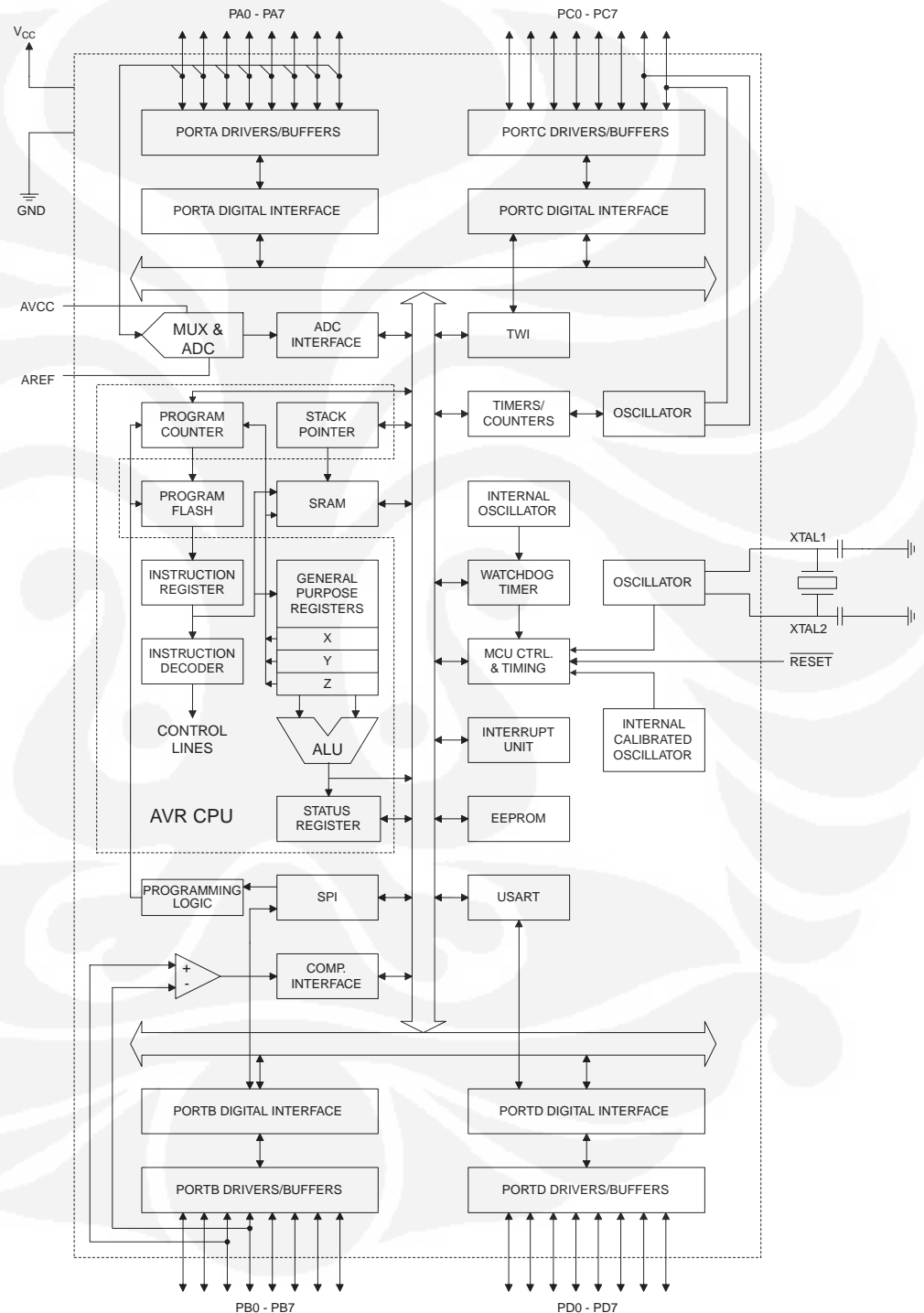
Typical values contained in this data sheet are based on simulations and characterization of other AVR microcontrollers manufactured on the same process technology. Min and Max values will be available after the device is characterized.

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	<p>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.</p>
XTAL1	Input to the inverting Oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.
XTAL2	Output from the inverting Oscillator amplifier.
AVCC	AVCC is the supply voltage pin for Port A and the A/D Converter. It should be externally connected to V _{CC} , even if the ADC is not used. If the ADC is used, it should be connected to V _{CC} through a low-pass filter.
AREF	AREF is the analog reference pin for the A/D Converter.

Resources

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



About Code Examples

This documentation contains simple code examples that briefly show how to use various parts of the device. These code examples assume that the part specific header file is included before compilation. Be aware that not all C compiler vendors include bit definitions in the header files and interrupt handling in C is compiler dependent. Please confirm with the C Compiler documentation for more details.



Register Summary

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Page
0x3F (0x5F)	SREG	I	T	H	S	V	N	Z	C	10
0x3E (0x5E)	SPH	–	–	–	–	–	–	SP9	SP8	12
0x3D (0x5D)	SPL	SP7	SP6	SP5	SP4	SP3	SP2	SP1	SP0	12
0x3C (0x5C)	OCR0	Timer/Counter0 Output Compare Register								85
0x3B (0x5B)	GICR	INT1	INT0	INT2	–	–	–	IVSEL	IVCE	49, 69
0x3A (0x5A)	GIFR	INTF1	INTF0	INTF2	–	–	–	–	–	70
0x39 (0x59)	TIMSK	OCIE2	TOIE2	TICIE1	OCIE1A	OCIE1B	TOIE1	OCIE0	TOIE0	85, 115, 133
0x38 (0x58)	TIFR	OCF2	TOV2	ICF1	OCF1A	OCF1B	TOV1	OCF0	TOV0	86, 116, 134
0x37 (0x57)	SPMCR	SPMIE	RWWSB	–	RWWSRE	BLBSET	PGWRT	PGERS	SPMEN	228
0x36 (0x56)	TWCR	TWINT	TWEA	TWSTA	TWSTO	TWWC	TWEN	–	TWIE	181
0x35 (0x55)	MCUCR	SM2	SE	SM1	SM0	ISC11	ISC10	ISC01	ISC00	32, 68
0x34 (0x54)	MCUCSR	–	ISC2	–	–	WDRF	BORF	EXTRF	PORF	40, 69
0x33 (0x53)	TCCR0	FOC0	WGM00	COM01	COM00	WGM01	CS02	CS01	CS00	83
0x32 (0x52)	TCNT0	Timer/Counter0 (8 Bits)								85
0x31 (0x51)	OSCCAL	Oscillator Calibration Register								30
0x30 (0x50)	SFIOR	ADTS2	ADTS1	ADTS0	–	ACME	PUD	PSR2	PSR10	59,88,135,203,223
0x2F (0x4F)	TCCR1A	COM1A1	COM1A0	COM1B1	COM1B0	FOC1A	FOC1B	WGM11	WGM10	110
0x2E (0x4E)	TCCR1B	ICNC1	ICES1	–	WGM13	WGM12	CS12	CS11	CS10	113
0x2D (0x4D)	TCNT1H	Timer/Counter1 – Counter Register High Byte								114
0x2C (0x4C)	TCNT1L	Timer/Counter1 – Counter Register Low Byte								114
0x2B (0x4B)	OCR1AH	Timer/Counter1 – Output Compare Register A High Byte								114
0x2A (0x4A)	OCR1AL	Timer/Counter1 – Output Compare Register A Low Byte								114
0x29 (0x49)	OCR1BH	Timer/Counter1 – Output Compare Register B High Byte								114
0x28 (0x48)	OCR1BL	Timer/Counter1 – Output Compare Register B Low Byte								114
0x27 (0x47)	ICR1H	Timer/Counter1 – Input Capture Register High Byte								114
0x26 (0x46)	ICR1L	Timer/Counter1 – Input Capture Register Low Byte								114
0x25 (0x45)	TCCR2	FOC2	WGM20	COM21	COM20	WGM21	CS22	CS21	CS20	128
0x24 (0x44)	TCNT2	Timer/Counter2 (8 Bits)								130
0x23 (0x43)	OCR2	Timer/Counter2 Output Compare Register								131
0x22 (0x42)	ASSR	–	–	–	–	AS2	TCN2UB	OCR2UB	TCR2UB	131
0x21 (0x41)	WDTCR	–	–	–	WDCE	WDE	WDP2	WDP1	WDP0	42
0x20 ⁽¹⁾ (0x40 ⁽¹⁾)	UBRRH	URSEL	–	–	–	–	UBRR[11:8]			169
	UCSRC	URSEL	UMSEL	UPM1	UPM0	USBS	UCSZ1	UCSZ0	UCPOL	167
0x1F (0x3F)	EEARH	–	–	–	–	–	–	–	EEAR8	19
0x1E (0x3E)	EEARL	EEPROM Address Register Low Byte								19
0x1D (0x3D)	EEDR	EEPROM Data Register								19
0x1C (0x3C)	EEDR	–	–	–	–	EERIE	EEMWE	EWE	EERE	19
0x1B (0x3B)	PORTA	PORTA7	PORTA6	PORTA5	PORTA4	PORTA3	PORTA2	PORTA1	PORTA0	66
0x1A (0x3A)	DDRA	DDA7	DDA6	DDA5	DDA4	DDA3	DDA2	DDA1	DDA0	66
0x19 (0x39)	PINA	PINA7	PINA6	PINA5	PINA4	PINA3	PINA2	PINA1	PINA0	66
0x18 (0x38)	PORTB	PORTB7	PORTB6	PORTB5	PORTB4	PORTB3	PORTB2	PORTB1	PORTB0	66
0x17 (0x37)	DDRB	DDB7	DDB6	DDB5	DDB4	DDB3	DDB2	DDB1	DDB0	66
0x16 (0x36)	PINB	PINB7	PINB6	PINB5	PINB4	PINB3	PINB2	PINB1	PINB0	67
0x15 (0x35)	PORTC	PORTC7	PORTC6	PORTC5	PORTC4	PORTC3	PORTC2	PORTC1	PORTC0	67
0x14 (0x34)	DDRC	DDC7	DDC6	DDC5	DDC4	DDC3	DDC2	DDC1	DDC0	67
0x13 (0x33)	PINC	PINC7	PINC6	PINC5	PINC4	PINC3	PINC2	PINC1	PINC0	67
0x12 (0x32)	PORTD	PORTD7	PORTD6	PORTD5	PORTD4	PORTD3	PORTD2	PORTD1	PORTD0	67
0x11 (0x31)	DDRD	DDD7	DDD6	DDD5	DDD4	DDD3	DDD2	DDD1	DDD0	67
0x10 (0x30)	PIND	PIND7	PIND6	PIND5	PIND4	PIND3	PIND2	PIND1	PIND0	67
0x0F (0x2F)	SPDR	SPI Data Register								143
0x0E (0x2E)	SPSR	SPIF	WCOL	–	–	–	–	–	SPI2X	143
0x0D (0x2D)	SPCR	SPIE	SPE	DORD	MSTR	CPOL	CPHA	SPR1	SPR0	141
0x0C (0x2C)	UDR	USART I/O Data Register								164
0x0B (0x2B)	UCSRA	RXC	TXC	UDRE	FE	DOR	PE	U2X	MPCM	165
0x0A (0x2A)	UCSRB	RXCIE	TXCIE	UDRIE	RXEN	TXEN	UCSZ2	RXB8	TXB8	166
0x09 (0x29)	UBRRL	USART Baud Rate Register Low Byte								169
0x08 (0x28)	ACSR	ACD	ACBG	ACO	ACI	ACIE	ACIC	ACIS1	ACIS0	203
0x07 (0x27)	ADMUX	REFS1	REFS0	ADLAR	MUX4	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0	219
0x06 (0x26)	ADCSRA	ADEN	ADSC	ADATE	ADIF	ADIE	ADPS2	ADPS1	ADPS0	221
0x05 (0x25)	ADCH	ADC Data Register High Byte								222
0x04 (0x24)	ADCL	ADC Data Register Low Byte								222
0x03 (0x23)	TWDR	Two-wire Serial Interface Data Register								183
0x02 (0x22)	TWAR	TWA6	TWA5	TWA4	TWA3	TWA2	TWA1	TWA0	TWGE	183
0x01 (0x21)	TWSR	TWS7	TWS6	TWS5	TWS4	TWS3	–	TWPS1	TWPS0	183

Register Summary (Continued)

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Page
0x00 (0x20)	TWBR	Two-wire Serial Interface Bit Rate Register								181

- Notes:
1. Refer to the USART description for details on how to access UBRRH and UCSRC.
 2. For compatibility with future devices, reserved bits should be written to zero if accessed. Reserved I/O memory addresses should never be written.
 3. Some of the status flags are cleared by writing a logical one to them. Note that the CBI and SBI instructions will operate on all bits in the I/O Register, writing a one back into any flag read as set, thus clearing the flag. The CBI and SBI instructions work with registers 0x00 to 0x1F only.

Instruction Set Summary

Mnemonics	Operands	Description	Operation	Flags	#Clocks
ARITHMETIC AND LOGIC INSTRUCTIONS					
ADD	Rd, Rr	Add two Registers	$Rd \leftarrow Rd + Rr$	Z,C,N,V,H	1
ADC	Rd, Rr	Add with Carry two Registers	$Rd \leftarrow Rd + Rr + C$	Z,C,N,V,H	1
ADIW	Rdl,K	Add Immediate to Word	$Rdh:Rdl \leftarrow Rdh:Rdl + K$	Z,C,N,V,S	2
SUB	Rd, Rr	Subtract two Registers	$Rd \leftarrow Rd - Rr$	Z,C,N,V,H	1
SUBI	Rd, K	Subtract Constant from Register	$Rd \leftarrow Rd - K$	Z,C,N,V,H	1
SBC	Rd, Rr	Subtract with Carry two Registers	$Rd \leftarrow Rd - Rr - C$	Z,C,N,V,H	1
SBCI	Rd, K	Subtract with Carry Constant from Reg.	$Rd \leftarrow Rd - K - C$	Z,C,N,V,H	1
SBIW	Rdl,K	Subtract Immediate from Word	$Rdh:Rdl \leftarrow Rdh:Rdl - K$	Z,C,N,V,S	2
AND	Rd, Rr	Logical AND Registers	$Rd \leftarrow Rd \bullet Rr$	Z,N,V	1
ANDI	Rd, K	Logical AND Register and Constant	$Rd \leftarrow Rd \bullet K$	Z,N,V	1
OR	Rd, Rr	Logical OR Registers	$Rd \leftarrow Rd \vee Rr$	Z,N,V	1
ORI	Rd, K	Logical OR Register and Constant	$Rd \leftarrow Rd \vee K$	Z,N,V	1
EOR	Rd, Rr	Exclusive OR Registers	$Rd \leftarrow Rd \oplus Rr$	Z,N,V	1
COM	Rd	One's Complement	$Rd \leftarrow 0xFF - Rd$	Z,C,N,V	1
NEG	Rd	Two's Complement	$Rd \leftarrow 0x00 - Rd$	Z,C,N,V,H	1
SBR	Rd,K	Set Bit(s) in Register	$Rd \leftarrow Rd \vee K$	Z,N,V	1
CBR	Rd,K	Clear Bit(s) in Register	$Rd \leftarrow Rd \bullet (0xFF - K)$	Z,N,V	1
INC	Rd	Increment	$Rd \leftarrow Rd + 1$	Z,N,V	1
DEC	Rd	Decrement	$Rd \leftarrow Rd - 1$	Z,N,V	1
TST	Rd	Test for Zero or Minus	$Rd \leftarrow Rd \bullet Rd$	Z,N,V	1
CLR	Rd	Clear Register	$Rd \leftarrow Rd \oplus Rd$	Z,N,V	1
SER	Rd	Set Register	$Rd \leftarrow 0xFF$	None	1
MUL	Rd, Rr	Multiply Unsigned	$R1:R0 \leftarrow Rd \times Rr$	Z,C	2
MULS	Rd, Rr	Multiply Signed	$R1:R0 \leftarrow Rd \times Rr$	Z,C	2
MULSU	Rd, Rr	Multiply Signed with Unsigned	$R1:R0 \leftarrow Rd \times Rr$	Z,C	2
FMUL	Rd, Rr	Fractional Multiply Unsigned	$R1:R0 \leftarrow (Rd \times Rr) \lll 1$	Z,C	2
FMULS	Rd, Rr	Fractional Multiply Signed	$R1:R0 \leftarrow (Rd \times Rr) \lll 1$	Z,C	2
FMULSU	Rd, Rr	Fractional Multiply Signed with Unsigned	$R1:R0 \leftarrow (Rd \times Rr) \lll 1$	Z,C	2
BRANCH INSTRUCTIONS					
RJMP	k	Relative Jump	$PC \leftarrow PC + k + 1$	None	2
IJMP		Indirect Jump to (Z)	$PC \leftarrow Z$	None	2
RCALL	k	Relative Subroutine Call	$PC \leftarrow PC + k + 1$	None	3
ICALL		Indirect Call to (Z)	$PC \leftarrow Z$	None	3
RET		Subroutine Return	$PC \leftarrow STACK$	None	4
RETI		Interrupt Return	$PC \leftarrow STACK$	I	4
CPSE	Rd,Rr	Compare, Skip if Equal	if $(Rd = Rr)$ $PC \leftarrow PC + 2$ or 3	None	1 / 2 / 3
CP	Rd,Rr	Compare	$Rd - Rr$	Z, N, V, C, H	1
CPC	Rd,Rr	Compare with Carry	$Rd - Rr - C$	Z, N, V, C, H	1
CPI	Rd,K	Compare Register with Immediate	$Rd - K$	Z, N, V, C, H	1
SBRC	Rr, b	Skip if Bit in Register Cleared	if $(Rr(b)=0)$ $PC \leftarrow PC + 2$ or 3	None	1 / 2 / 3
SBRS	Rr, b	Skip if Bit in Register is Set	if $(Rr(b)=1)$ $PC \leftarrow PC + 2$ or 3	None	1 / 2 / 3
SBIC	P, b	Skip if Bit in I/O Register Cleared	if $(P(b)=0)$ $PC \leftarrow PC + 2$ or 3	None	1 / 2 / 3
SBIS	P, b	Skip if Bit in I/O Register is Set	if $(P(b)=1)$ $PC \leftarrow PC + 2$ or 3	None	1 / 2 / 3
BRBS	s, k	Branch if Status Flag Set	if $(SREG(s) = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
BRBC	s, k	Branch if Status Flag Cleared	if $(SREG(s) = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
BREQ	k	Branch if Equal	if $(Z = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
BRNE	k	Branch if Not Equal	if $(Z = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
BRCS	k	Branch if Carry Set	if $(C = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
BRCC	k	Branch if Carry Cleared	if $(C = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
BRSH	k	Branch if Same or Higher	if $(C = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
BRLO	k	Branch if Lower	if $(C = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
BRMI	k	Branch if Minus	if $(N = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
BRPL	k	Branch if Plus	if $(N = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
BRGE	k	Branch if Greater or Equal, Signed	if $(N \oplus V = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
BRLT	k	Branch if Less Than Zero, Signed	if $(N \oplus V = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
BRHS	k	Branch if Half Carry Flag Set	if $(H = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
BRHC	k	Branch if Half Carry Flag Cleared	if $(H = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
BRTS	k	Branch if T Flag Set	if $(T = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
BRTC	k	Branch if T Flag Cleared	if $(T = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
BRVS	k	Branch if Overflow Flag is Set	if $(V = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
BRVC	k	Branch if Overflow Flag is Cleared	if $(V = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
BRIE	k	Branch if Interrupt Enabled	if $(I = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
BRID	k	Branch if Interrupt Disabled	if $(I = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
DATA TRANSFER INSTRUCTIONS					

Mnemonics	Operands	Description	Operation	Flags	#Clocks
MOV	Rd, Rr	Move Between Registers	$Rd \leftarrow Rr$	None	1
MOVW	Rd, Rr	Copy Register Word	$Rd+1:Rd \leftarrow Rr+1:Rr$	None	1
LDI	Rd, K	Load Immediate	$Rd \leftarrow K$	None	1
LD	Rd, X	Load Indirect	$Rd \leftarrow (X)$	None	2
LD	Rd, X+	Load Indirect and Post-Inc.	$Rd \leftarrow (X), X \leftarrow X + 1$	None	2
LD	Rd, -X	Load Indirect and Pre-Dec.	$X \leftarrow X - 1, Rd \leftarrow (X)$	None	2
LD	Rd, Y	Load Indirect	$Rd \leftarrow (Y)$	None	2
LD	Rd, Y+	Load Indirect and Post-Inc.	$Rd \leftarrow (Y), Y \leftarrow Y + 1$	None	2
LD	Rd, -Y	Load Indirect and Pre-Dec.	$Y \leftarrow Y - 1, Rd \leftarrow (Y)$	None	2
LDD	Rd, Y+q	Load Indirect with Displacement	$Rd \leftarrow (Y + q)$	None	2
LD	Rd, Z	Load Indirect	$Rd \leftarrow (Z)$	None	2
LD	Rd, Z+	Load Indirect and Post-Inc.	$Rd \leftarrow (Z), Z \leftarrow Z + 1$	None	2
LD	Rd, -Z	Load Indirect and Pre-Dec.	$Z \leftarrow Z - 1, Rd \leftarrow (Z)$	None	2
LDD	Rd, Z+q	Load Indirect with Displacement	$Rd \leftarrow (Z + q)$	None	2
LDS	Rd, k	Load Direct from SRAM	$Rd \leftarrow (k)$	None	2
ST	X, Rr	Store Indirect	$(X) \leftarrow Rr$	None	2
ST	X+, Rr	Store Indirect and Post-Inc.	$(X) \leftarrow Rr, X \leftarrow X + 1$	None	2
ST	-X, Rr	Store Indirect and Pre-Dec.	$X \leftarrow X - 1, (X) \leftarrow Rr$	None	2
ST	Y, Rr	Store Indirect	$(Y) \leftarrow Rr$	None	2
ST	Y+, Rr	Store Indirect and Post-Inc.	$(Y) \leftarrow Rr, Y \leftarrow Y + 1$	None	2
ST	-Y, Rr	Store Indirect and Pre-Dec.	$Y \leftarrow Y - 1, (Y) \leftarrow Rr$	None	2
STD	Y+q, Rr	Store Indirect with Displacement	$(Y + q) \leftarrow Rr$	None	2
ST	Z, Rr	Store Indirect	$(Z) \leftarrow Rr$	None	2
ST	Z+, Rr	Store Indirect and Post-Inc.	$(Z) \leftarrow Rr, Z \leftarrow Z + 1$	None	2
ST	-Z, Rr	Store Indirect and Pre-Dec.	$Z \leftarrow Z - 1, (Z) \leftarrow Rr$	None	2
STD	Z+q, Rr	Store Indirect with Displacement	$(Z + q) \leftarrow Rr$	None	2
STS	k, Rr	Store Direct to SRAM	$(k) \leftarrow Rr$	None	2
LPM		Load Program Memory	$R0 \leftarrow (Z)$	None	3
LPM	Rd, Z	Load Program Memory	$Rd \leftarrow (Z)$	None	3
LPM	Rd, Z+	Load Program Memory and Post-Inc	$Rd \leftarrow (Z), Z \leftarrow Z + 1$	None	3
SPM		Store Program Memory	$(Z) \leftarrow R1:R0$	None	-
IN	Rd, P	In Port	$Rd \leftarrow P$	None	1
OUT	P, Rr	Out Port	$P \leftarrow Rr$	None	1
PUSH	Rr	Push Register on Stack	$STACK \leftarrow Rr$	None	2
POP	Rd	Pop Register from Stack	$Rd \leftarrow STACK$	None	2
BIT AND BIT-TEST INSTRUCTIONS					
SBI	P, b	Set Bit in I/O Register	$I/O(P, b) \leftarrow 1$	None	2
CBI	P, b	Clear Bit in I/O Register	$I/O(P, b) \leftarrow 0$	None	2
LSL	Rd	Logical Shift Left	$Rd(n+1) \leftarrow Rd(n), Rd(0) \leftarrow 0$	Z, C, N, V	1
LSR	Rd	Logical Shift Right	$Rd(n) \leftarrow Rd(n+1), Rd(7) \leftarrow 0$	Z, C, N, V	1
ROL	Rd	Rotate Left Through Carry	$Rd(0) \leftarrow C, Rd(n+1) \leftarrow Rd(n), C \leftarrow Rd(7)$	Z, C, N, V	1
ROR	Rd	Rotate Right Through Carry	$Rd(7) \leftarrow C, Rd(n) \leftarrow Rd(n+1), C \leftarrow Rd(0)$	Z, C, N, V	1
ASR	Rd	Arithmetic Shift Right	$Rd(n) \leftarrow Rd(n+1), n=0..6$	Z, C, N, V	1
SWAP	Rd	Swap Nibbles	$Rd(3..0) \leftarrow Rd(7..4), Rd(7..4) \leftarrow Rd(3..0)$	None	1
BSET	s	Flag Set	$SREG(s) \leftarrow 1$	SREG(s)	1
BCLR	s	Flag Clear	$SREG(s) \leftarrow 0$	SREG(s)	1
BST	Rr, b	Bit Store from Register to T	$T \leftarrow Rr(b)$	T	1
BLD	Rd, b	Bit load from T to Register	$Rd(b) \leftarrow T$	None	1
SEC		Set Carry	$C \leftarrow 1$	C	1
CLC		Clear Carry	$C \leftarrow 0$	C	1
SEN		Set Negative Flag	$N \leftarrow 1$	N	1
CLN		Clear Negative Flag	$N \leftarrow 0$	N	1
SEZ		Set Zero Flag	$Z \leftarrow 1$	Z	1
CLZ		Clear Zero Flag	$Z \leftarrow 0$	Z	1
SEI		Global Interrupt Enable	$I \leftarrow 1$	I	1
CLI		Global Interrupt Disable	$I \leftarrow 0$	I	1
SES		Set Signed Test Flag	$S \leftarrow 1$	S	1
CLS		Clear Signed Test Flag	$S \leftarrow 0$	S	1
SEV		Set Twos Complement Overflow	$V \leftarrow 1$	V	1
CLV		Clear Twos Complement Overflow	$V \leftarrow 0$	V	1
SET		Set T in SREG	$T \leftarrow 1$	T	1
CLT		Clear T in SREG	$T \leftarrow 0$	T	1
SEH		Set Half Carry Flag in SREG	$H \leftarrow 1$	H	1
CLH		Clear Half Carry Flag in SREG	$H \leftarrow 0$	H	1
MCU CONTROL INSTRUCTIONS					
NOP		No Operation		None	1



Mnemonics	Operands	Description	Operation	Flags	#Clocks
SLEEP		Sleep	(see specific descr. for Sleep function)	None	1
WDR		Watchdog Reset	(see specific descr. for WDR/Timer)	None	1
BREAK		Break	For On-chip Debug Only	None	N/A



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	
	2.7 - 5.5V	ATmega8535L-8AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
		ATmega8535L-8PI	40P6	
		ATmega8535L-8JI	44J	
		ATmega8535L-8MI	44M1	
		ATmega8535L-8AU ⁽²⁾	44A	
		ATmega8535L-8PU ⁽²⁾	40P6	
16	4.5 - 5.5V	ATmega8535-16AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)
		ATmega8535-16PC	40P6	
		ATmega8535-16JC	44J	
		ATmega8535-16MC	44M1	
	4.5 - 5.5V	ATmega8535-16AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
		ATmega8535-16PI	40P6	
		ATmega8535-16JI	44J	
		ATmega8535-16MI	44M1	
		ATmega8535-16AU ⁽²⁾	44A	
		ATmega8535-16PU ⁽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.

Package Type	
44A	44-lead, Thin (1.0 mm) Plastic Gull Wing Quad Flat Package (TQFP)
40P6	40-pin, 0.600" Wide, Plastic Dual Inline Package (PDIP)
44J	44-lead, Plastic J-leaded Chip Carrier (PLCC)
44M1-A	44-pad, 7 x 7 x 1.0 mm body, lead pitch 0.50 mm, Quad Flat No-Lead/Micro Lead Frame Package (QFN/MLF)

Packaging Information

44A

COMMON DIMENSIONS
(Unit of Measure = mm)

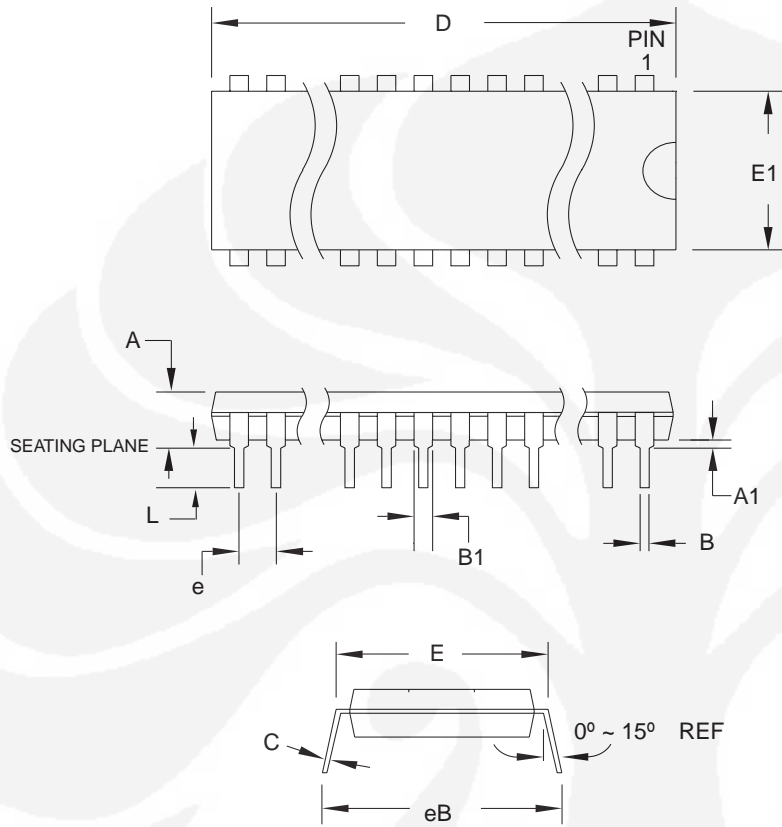
SYMBOL	MIN	NOM	MAX	NOTE
A	–	–	1.20	
A1	0.05	–	0.15	
A2	0.95	1.00	1.05	
D	11.75	12.00	12.25	
D1	9.90	10.00	10.10	Note 2
E	11.75	12.00	12.25	
E1	9.90	10.00	10.10	Note 2
B	0.30	–	0.45	
C	0.09	–	0.20	
L	0.45	–	0.75	
e	0.80 TYP			

Notes: 1. This package conforms to JEDEC reference MS-026, Variation ACB.
2. Dimensions D1 and E1 do not include mold protrusion. Allowable protrusion is 0.25 mm per side. Dimensions D1 and E1 are maximum plastic body size dimensions including mold mismatch.
3. Lead coplanarity is 0.10 mm maximum.

10/5/2001

	2325 Orchard Parkway San Jose, CA 95131	TITLE 44A, 44-lead, 10 x 10 mm Body Size, 1.0 mm Body Thickness, 0.8 mm Lead Pitch, Thin Profile Plastic Quad Flat Package (TQFP)	DRAWING NO. 44A	REV. B

40P6



COMMON DIMENSIONS
(Unit of Measure = mm)

SYMBOL	MIN	NOM	MAX	NOTE
A	-	-	4.826	
A1	0.381	-	-	
D	52.070	-	52.578	Note 2
E	15.240	-	15.875	
E1	13.462	-	13.970	Note 2
B	0.356	-	0.559	
B1	1.041	-	1.651	
L	3.048	-	3.556	
C	0.203	-	0.381	
eB	15.494	-	17.526	
e	2.540 TYP			

- Notes:
1. This package conforms to JEDEC reference MS-011, Variation AC.
 2. Dimensions D and E1 do not include mold Flash or Protrusion. Mold Flash or Protrusion shall not exceed 0.25 mm (0.010").

09/28/01



2325 Orchard Parkway
San Jose, CA 95131

TITLE

40P6, 40-lead (0.600"/15.24 mm Wide) Plastic Dual In-line Package (PDIP)

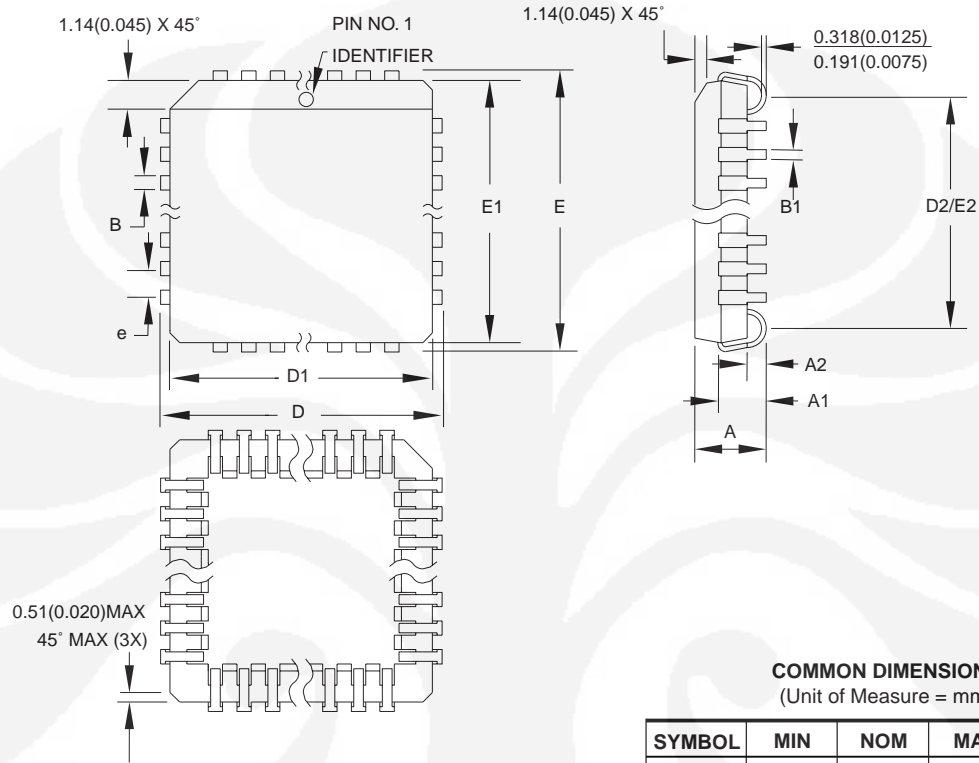
DRAWING NO.

40P6

REV.

B





COMMON DIMENSIONS
(Unit of Measure = mm)

SYMBOL	MIN	NOM	MAX	NOTE
A	4.191	-	4.572	
A1	2.286	-	3.048	
A2	0.508	-	-	
D	17.399	-	17.653	
D1	16.510	-	16.662	Note 2
E	17.399	-	17.653	
E1	16.510	-	16.662	Note 2
D2/E2	14.986	-	16.002	
B	0.660	-	0.813	
B1	0.330	-	0.533	
e	1.270 TYP			

- Notes:
1. This package conforms to JEDEC reference MS-018, Variation AC.
 2. Dimensions D1 and E1 do not include mold protrusion. Allowable protrusion is .010"(0.254 mm) per side. Dimension D1 and E1 include mold mismatch and are measured at the extreme material condition at the upper or lower parting line.
 3. Lead coplanarity is 0.004" (0.102 mm) maximum.

10/04/01



2325 Orchard Parkway
San Jose, CA 95131

TITLE

44J, 44-lead, Plastic J-leaded Chip Carrier (PLCC)

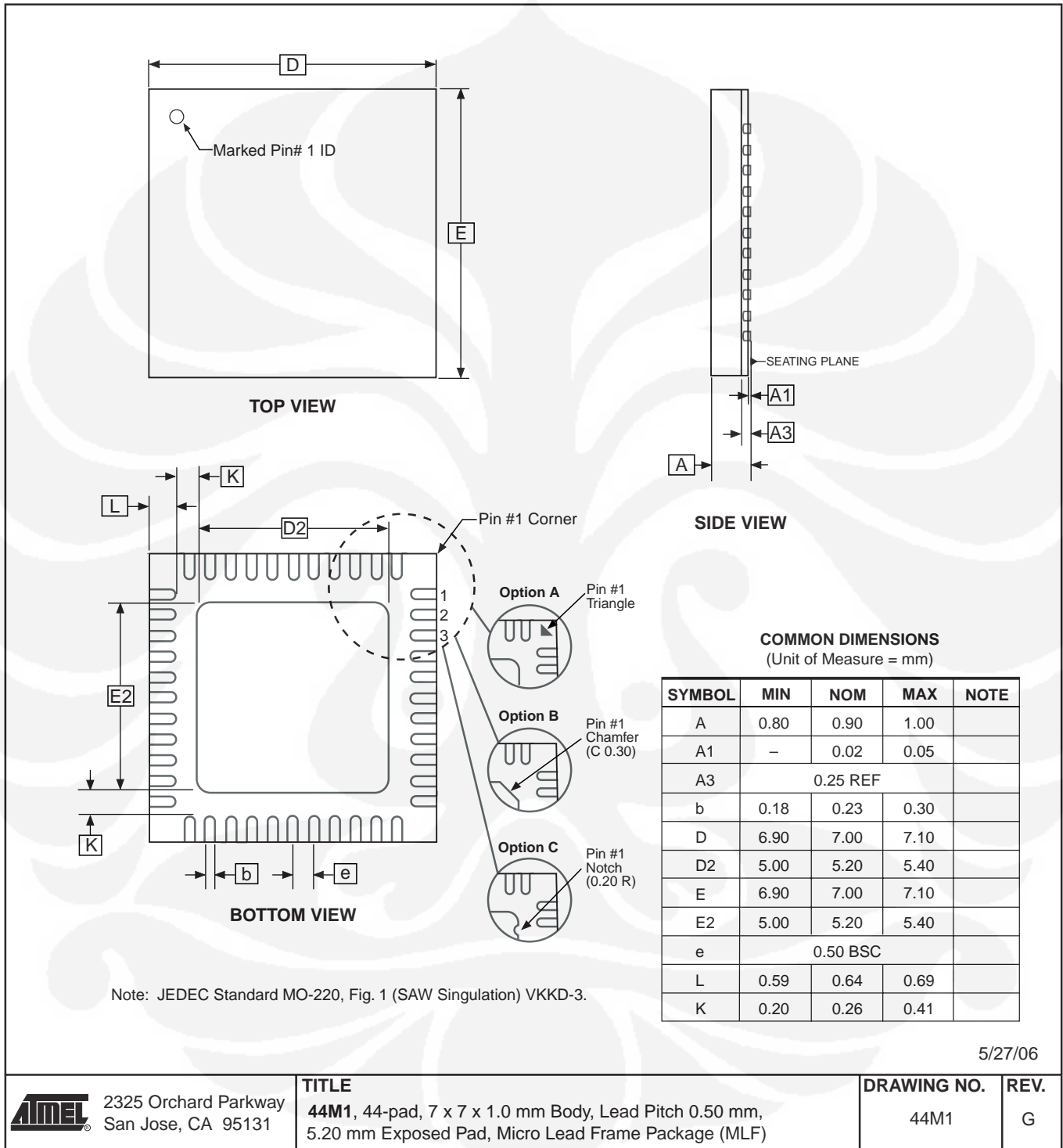
DRAWING NO.

44J

REV.

B

44M1-A



Errata

ATmega8535 Rev. A and B

The revision letter refer to the device revision.

- **First Analog Comparator conversion may be delayed**
- **Asynchronous Oscillator does not stop in Power-down**

1. **First Analog Comparator conversion may be delayed**

If the device is powered by a slow rising V_{CC} , the first Analog Comparator conversion will take longer than expected on some devices.

Problem Fix/Workaround

When the device has been powered or reset, disable then enable the Analog Comparator before the first conversion.

2. **Asynchronous Oscillator does not stop in Power-down**

The asynchronous oscillator does not stop when entering Power-down mode. This leads to higher power consumption than expected.

Problem Fix/Workaround

Manually disable the asynchronous timer before entering Power-down.

Datasheet Revision History

Please note that the referring page numbers in this section are referring to this document. The referring revision in this section are referring to the document revision.

Changes from Rev. 2502J- 08/06 to Rev. 2502K- 10/06

1. Updated TOP/BOTTOM description for all Timer/Counters Fast PWM mode.
2. Updated “Errata” on page 18.

Changes from Rev. 2502I- 06/06 to Rev. 2502J- 08/06

1. Updated “Ordering Information” on page 13.

Changes from Rev. 2502H- 04/06 to Rev. 2502I- 06/06

1. Updated code example “USART Initialization” on page 150.

Changes from Rev. 2502G- 04/05 to Rev. 2502H- 04/06

1. Added “Resources” on page 6.
2. Updated Table 7 on page 29, Table 17 on page 42 and Table 111 on page 258.
3. Updated “Serial Peripheral Interface – SPI” on page 136.
4. Updated note in “Bit Rate Generator Unit” on page 180.

Changes from Rev. 2502F- 06/04 to Rev. 2502G- 04/05

1. Removed “Preliminary” and TBD’s.
2. Updated Table 37 on page 69 and Table 113 on page 261.
3. Updated “Electrical Characteristics” on page 255.
4. Updated “Ordering Information” on page 13.

Changes from Rev. 2502E-12/03 to Rev. 2502G-06/04

1. MLF-package alternative changed to “Quad Flat No-Lead/Micro Lead Frame Package QFN/MLF”.

Changes from Rev. 2502E-12/03 to Rev. 2502F-06/04

1. Updated “Reset Characteristics” on page 37.
2. Updated SPH in “Stack Pointer” on page 12.
3. Updated C code in “USART Initialization” on page 150.
4. Updated “Errata” on page 18.

Changes from Rev. 2502D-09/03 to Rev. 2502E-12/03

1. Updated “Calibrated Internal RC Oscillator” on page 29.
2. Added section “Errata” on page 18.

**Changes from Rev.
2502C-04/03 to Rev.
2502D-09/03**

1. Removed “Advance Information” and some TBD’s from the datasheet.
2. Added note to “Pinout ATmega8535” on page 2.
3. Updated “Reset Characteristics” on page 37.
4. Updated “Absolute Maximum Ratings” and “DC Characteristics” in “Electrical Characteristics” on page 255.
5. Updated Table 111 on page 258.
6. Updated “ADC Characteristics” on page 263.
7. Updated “ATmega8535 Typical Characteristics” on page 266.
8. Removed CALL and JMP instructions from code examples and “Instruction Set Summary” on page 10.

**Changes from Rev.
2502B-09/02 to Rev.
2502C-04/03**

1. Updated “Packaging Information” on page 14.
2. Updated Figure 1 on page 2, Figure 84 on page 179, Figure 85 on page 185, Figure 87 on page 191, Figure 98 on page 207.
3. Added the section “EEPROM Write During Power-down Sleep Mode” on page 22.
4. Removed the references to the application notes “Multi-purpose Oscillator” and “32 kHz Crystal Oscillator”, which do not exist.
5. Updated code examples on page 44.
6. Removed ADHSM bit.
7. Renamed Port D pin ICP to ICP1. See “Alternate Functions of Port D” on page 64.
8. Added information about PWM symmetry for Timer 0 on page 79 and Timer 2 on page 126.
9. Updated Table 68 on page 169, Table 75 on page 190, Table 76 on page 193, Table 77 on page 196, Table 108 on page 253, Table 113 on page 261.
10. Updated description on “Bit 5 – TWSTA: TWI START Condition Bit” on page 182.
11. Updated the description in “Filling the Temporary Buffer (Page Loading)” and “Performing a Page Write” on page 231.
12. Removed the section description in “SPI Serial Programming Characteristics” on page 254.
13. Updated “Electrical Characteristics” on page 255.

- 14. Updated “ADC Characteristics” on page 263.
- 14. Updated “Register Summary” on page 8.
- 15. Various Timer 1 corrections.
- 16. Added WD_FUSE period in Table 108 on page 253.

**Changes from Rev.
2502A-06/02 to Rev.
2502B-09/02**

- 1. Canged the Endurance on the Flash to 10,000 Write/Erase Cycles.



Atmel Corporation

2325 Orchard Parkway
San Jose, CA 95131, USA
Tel: 1(408) 441-0311
Fax: 1(408) 487-2600

Regional Headquarters

Europe

Atmel Sarl
Route des Arsenalux 41
Case Postale 80
CH-1705 Fribourg
Switzerland
Tel: (41) 26-426-5555
Fax: (41) 26-426-5500

Asia

Room 1219
Chinachem Golden Plaza
77 Mody Road Tsimshatsui
East Kowloon
Hong Kong
Tel: (852) 2721-9778
Fax: (852) 2722-1369

Japan

9F, Tonetsu Shinkawa Bldg.
1-24-8 Shinkawa
Chuo-ku, Tokyo 104-0033
Japan
Tel: (81) 3-3523-3551
Fax: (81) 3-3523-7581

Atmel Operations

Memory

2325 Orchard Parkway
San Jose, CA 95131, USA
Tel: 1(408) 441-0311
Fax: 1(408) 436-4314

Microcontrollers

2325 Orchard Parkway
San Jose, CA 95131, USA
Tel: 1(408) 441-0311
Fax: 1(408) 436-4314

La Chantrerie
BP 70602
44306 Nantes Cedex 3, France
Tel: (33) 2-40-18-18-18
Fax: (33) 2-40-18-19-60

ASIC/ASSP/Smart Cards

Zone Industrielle
13106 Rousset Cedex, France
Tel: (33) 4-42-53-60-00
Fax: (33) 4-42-53-60-01

1150 East Cheyenne Mtn. Blvd.
Colorado Springs, CO 80906, USA
Tel: 1(719) 576-3300
Fax: 1(719) 540-1759

Scottish Enterprise Technology Park
Maxwell Building
East Kilbride G75 0QR, Scotland
Tel: (44) 1355-803-000
Fax: (44) 1355-242-743

RF/Automotive

Theresienstrasse 2
Postfach 3535
74025 Heilbronn, Germany
Tel: (49) 71-31-67-0
Fax: (49) 71-31-67-2340

1150 East Cheyenne Mtn. Blvd.
Colorado Springs, CO 80906, USA
Tel: 1(719) 576-3300
Fax: 1(719) 540-1759

Biometrics/Imaging/Hi-Rel MPU/ High Speed Converters/RF Datacom

Avenue de Rochepleine
BP 123
38521 Saint-Egreve Cedex, France
Tel: (33) 4-76-58-30-00
Fax: (33) 4-76-58-34-80

Literature Requests

www.atmel.com/literature

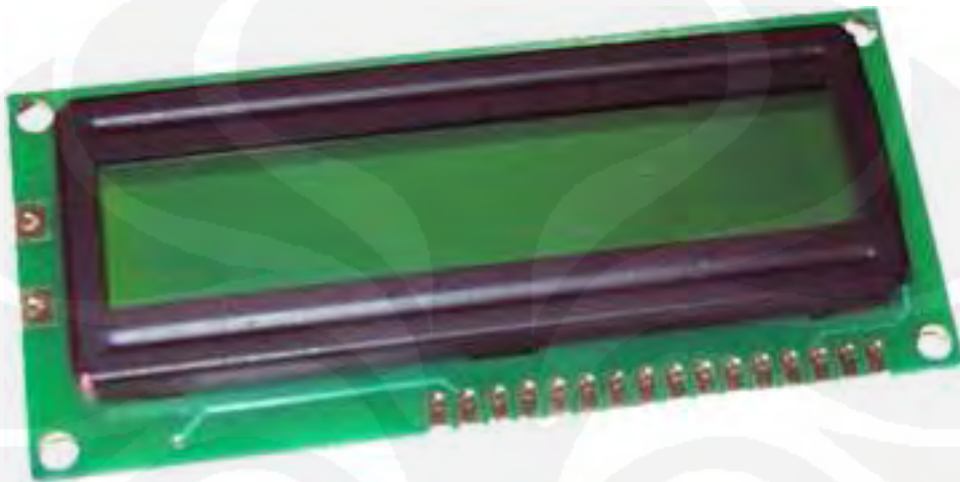
Disclaimer: The information in this document is provided in connection with Atmel products. No license, express or implied, by estoppel or otherwise, to any intellectual property right is granted by this document or in connection with the sale of Atmel products. **EXCEPT AS SET FORTH IN ATMEL'S TERMS AND CONDITIONS OF SALE LOCATED ON ATMEL'S WEB SITE, ATMEL ASSUMES NO LIABILITY WHATSOEVER AND DISCLAIMS ANY EXPRESS, IMPLIED OR STATUTORY WARRANTY RELATING TO ITS PRODUCTS INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTY OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, OR NON-INFRINGEMENT. IN NO EVENT SHALL ATMEL BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, CONSEQUENTIAL, PUNITIVE, SPECIAL OR INCIDENTAL DAMAGES (INCLUDING, WITHOUT LIMITATION, DAMAGES FOR LOSS OF PROFITS, BUSINESS INTERRUPTION, OR LOSS OF INFORMATION) ARISING OUT OF THE USE OR INABILITY TO USE THIS DOCUMENT, EVEN IF ATMEL HAS BEEN ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGES.** Atmel makes no representations or warranties with respect to the accuracy or completeness of the contents of this document and reserves the right to make changes to specifications and product descriptions at any time without notice. Atmel does not make any commitment to update the information contained herein. Atmel's products are not intended, authorized, or warranted for use as components in applications intended to support or sustain life.

© 2006 Atmel Corporation. All rights reserved. Atmel®, logo and combinations thereof, Everywhere You Are®, AVR®, and others are the trademarks or registered trademarks of Atmel Corporation or its subsidiaries. Other terms and product names may be trademarks of others.

2x16 LCD Module

DATA SHEET

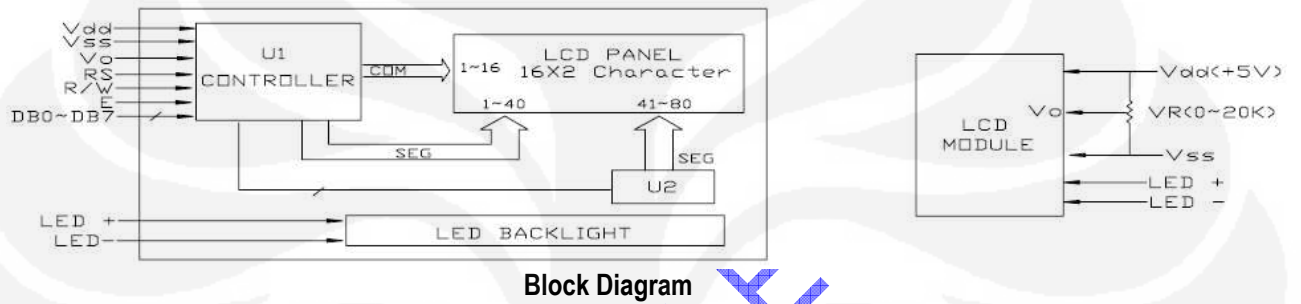
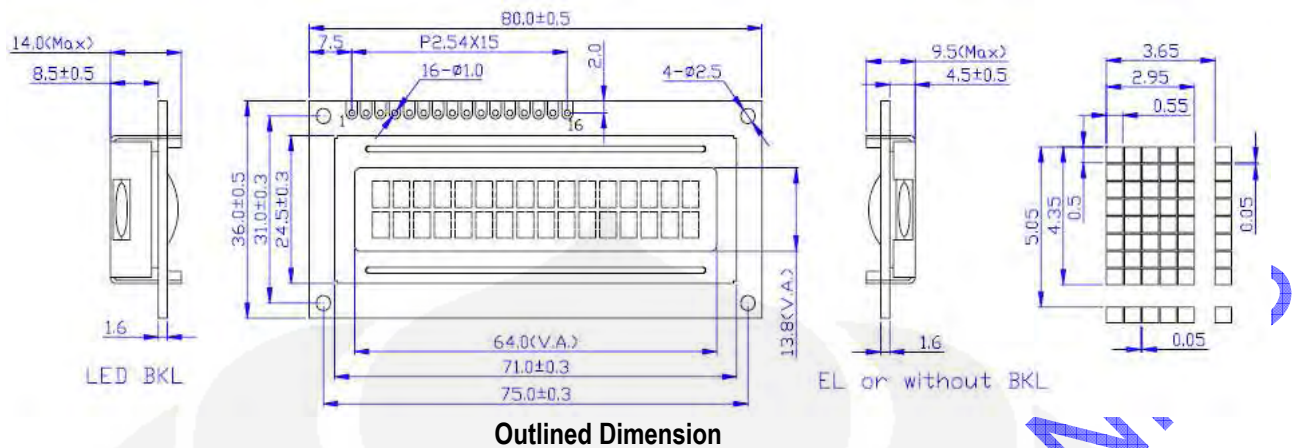
RoHS
Leadfree Soldering



Specifications:

Display Format	: 16 characters (W) x 2 lines (H)
General Dimensions	: 80.0 mm (W) x 36.0 mm (H) x 9.5 mm (T)
Character Size	: 2.95 mm (W) x 4.35 mm (H)
Character Pitch	: 3.65 mm (W) x 5.05 mm (H)
Viewing Area	: 64.0 mm (W) x 13.8 mm (H)
Dot Size	: 0.55 mm (W) x 0.50 mm (H)
Dot Pitch	: 0.60 mm (W) x 0.55 mm (H)
Display Type	: Positive or Negative
LC Fluid	: STN Yellow-Green
Backlight LED	: Optional
Polarizer Mode	: Reflective
View Angle	: 6 o'clock or 12 o'clock
Controller	: S6A0069 or Equivalent
Temperature Range	: 0°C to 50°C (Operating); -20°C to 70°C (Storage)

Diagrams:



Pin Connections:

Pin Number	Symbol	Function
1	Vss	Ground for Logic
2	Vdd	Power Supply for Logic
3	Vo	Power Supply for LCD
4	RS	Register Selection (H: Data, L: Instruction)
5	R/W	Read/Write Selection (H: Read, L: Write)
6	E	Enable Signal
7-14	DB0 - DB7	Data Bus Lines
15	A	BKL +
16	K	BKL -

Electrical Characteristics:

Item	Symbol	Test Condition	Minimum	Typical	Maximum
Operating Voltage (V)	Vdd	Ta=25 °C	-	5.0	-
Operating Voltage for LCD (V)	Vlcd	Ta=25 °C	-	4.5	-
Current Supply (mA)	Idd	Ta=25 °C, Vdd=5.0V	-	2.0	3.0
Voltage Supply for LED (V)	Vf	Ta=25 °C, R=6.8Ω	-	4.2	-
Current Supply for LED (mA)	If	Ta=25 °C, Vf=4.2V	-	110	-

Light Dependent Resistor - LDR

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.



Applications

Photoconductive cells are used in many different types of circuits and applications.

Analog Applications

- Camera Exposure Control
- Auto Slide Focus - dual cell
- Photocopy Machines - density of toner
- Colorimetric Test Equipment
- Densitometer
- Electronic Scales - dual cell
- Automatic Gain Control – modulated light source
- Automated Rear View Mirror

Digital Applications

- Automatic Headlight Dimmer
- Night Light Control
- Oil Burner Flame Out
- Street Light Control
- Absence / Presence (beam breaker)
- Position Sensor

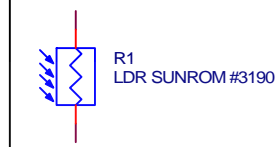
Electrical Characteristics

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Cell resistance	1000 LUX	-	400	-	Ohm
	10 LUX	-	9	-	K Ohm
Dark Resistance	-	-	1	-	M Ohm
Dark Capacitance	-	-	3.5	-	pF
Rise Time	1000 LUX	-	2.8	-	ms
	10 LUX	-	18	-	ms
Fall Time	1000 LUX	-	48	-	ms
	10 LUX	-	120	-	ms
Voltage AC/DC Peak		-	-	320	V max
Current		-	-	75	mA max
Power Dissipation				100	mW max
Operating Temperature		-60	-	+75	Deg. C

Guide to source illuminations

Light source Illumination	LUX
Moonlight	0.1
60W Bulb at 1m	50
1W MES Bulb at 0.1m	100
Fluorescent Lighting	500
Bright Sunlight	30,000

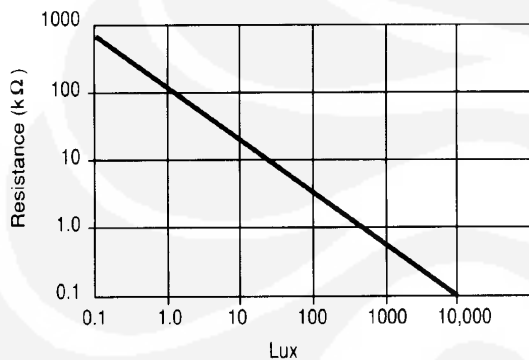
FIGURE 1 CIRCUIT SYMBOL



Sensitivity

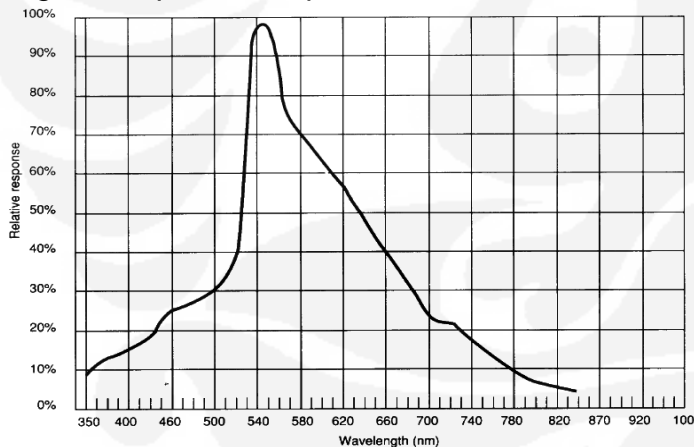
The sensitivity of a photodetector is the relationship between the light falling on the device and the resulting output signal. In the case of a photocell, one is dealing with the relationship between the incident light and the corresponding resistance of the cell.

FIGURE 2 RESISTANCE AS FUNCTION OF ILLUMINATION



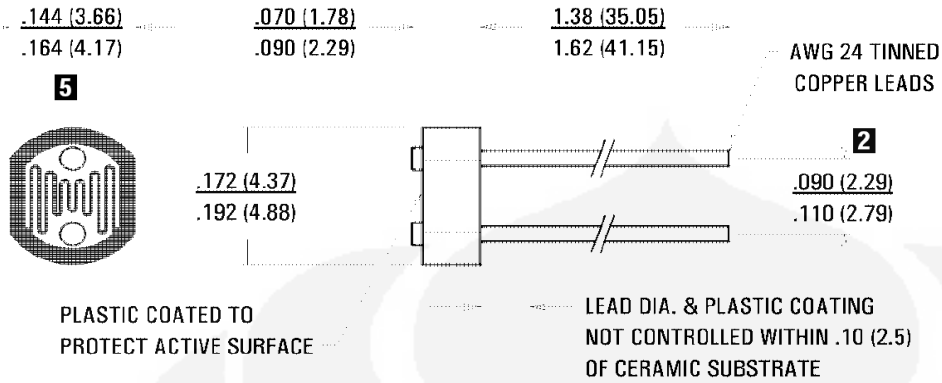
Spectral Response

Figure 3 Spectral response



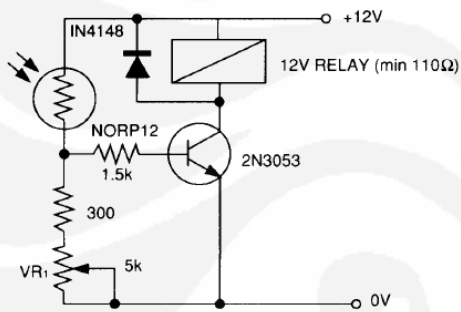
Like the human eye, the relative sensitivity of a photoconductive cell is dependent on the wavelength (color) of the incident light. Each photoconductor material type has its own unique spectral response curve or plot of the relative response of the photocell versus wavelength of light.

Dimensions



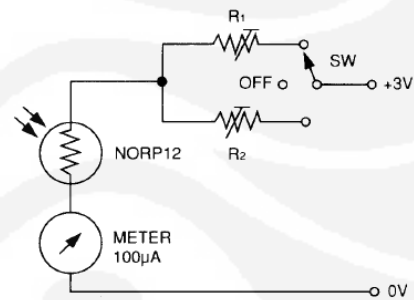
Typical Application Circuits

Figure 6 Sensitive light operated relay



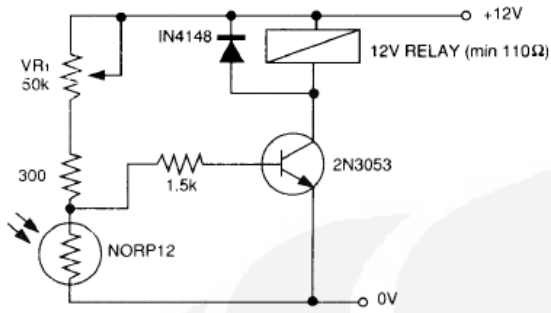
Relay energised when light level increases above the level set by VR₁

Figure 9 Logarithmic law photographic light meter



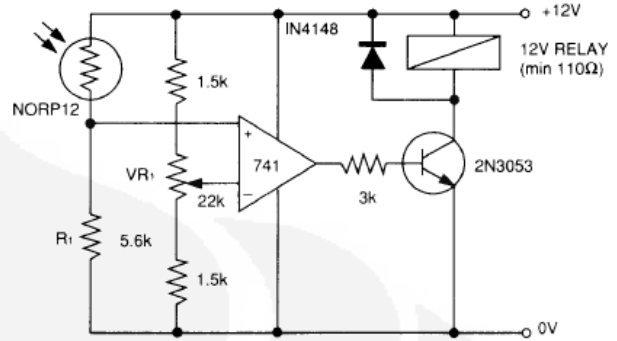
Typical value R₁ = 100kΩ
 R₂ = 200kΩ preset to give two overlapping ranges.
 (Calibration should be made against an accurate meter.)

Figure 7 Light interruption detector



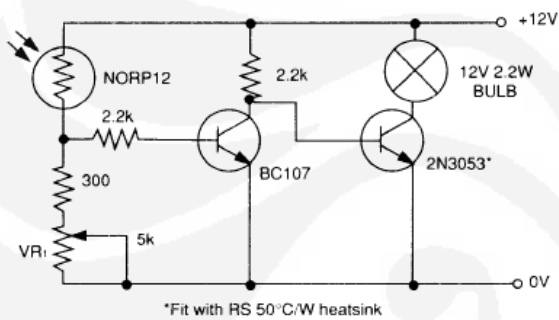
As Figure 6 relay energised when light level drops below the level set by VR_1

Figure 10 Extremely sensitive light operated relay



(Relay energised when light exceeds preset level.)
Incorporates a balancing bridge and op-amp. R_1 and NORP12 may be interchanged for the reverse function.

Figure 8 Automatic light circuit



*Fit with RS 50°C/W heatsink