

**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1  
KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA**



**PERENCANAAN DAN PEMBUATAN INCINERATOR  
RUMAH TANGGA MENGGUNAKAN PENGENDALI  
MIKROKONTROLLER ATMEGA 8535**

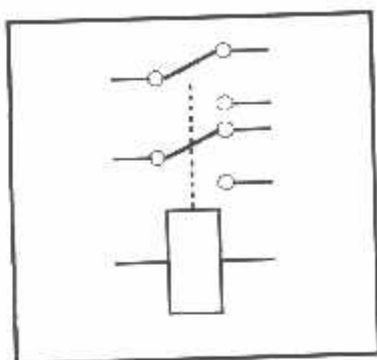
**SKRIPSI**

**Disusun Oleh :  
FAHMY SIDDIQ  
01.17.139**

**Maret 2007**

---

- DPDT (*Dual Pin Dual Terminal*)

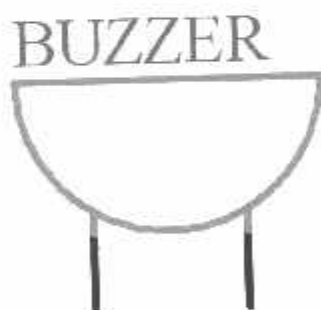


Gambar 2.30 Relay DPDT<sup>[14]</sup>

## 2.9. Buzzer

Buzzer mempunyai fungsi sebagai tanda atau isyarat dalam bentuk suara sehingga akan dengan cepat mengetahui suatu kejadian.

Buzzer yang dulu dipakai adalah berupa koil, yang bila diberi arus akan menarik pemukul ke logam yg menghasilkan bunyi, tetapi saat ini buzzer sudah berupa komponen kecil yang hanya menggunakan speaker kecil berupa dua lapisan elektroda yang biasa disebut piezoelektronik yang banyak dipakai untuk tweeter salon.



Gambar 2.31 Simbol Buzzer

## BAB III

### PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT

Dalam bab perencanaan dan pembuatan alat ini, akan dibahas tentang bagaimana cara kerja rangkaian dari masing-masing blok. Komponen-komponen utama yang akan dibuat menggunakan mikrokontroler ATmega8535. Dimana mikrokontroler akan memproses input dan output dari rangkaian pendukung.

Pada perancangan dan pembuatan alat ini juga akan dibahas minimum sistemnya dengan menggunakan mikrokontroler ATmega8535 yang berfungsi sebagai otak dari seluruh rangkaian ini. Rangkaian sensor suhu sebagai pendeteksi atas naik dan turunnya temperatur pada saat terjadinya proses pembakaran, beserta rangkaian pendukung lainnya seperti LCD, keypad, blower, motor DC, valve.

#### 3.1. Penentuan Spesifikasi Alat

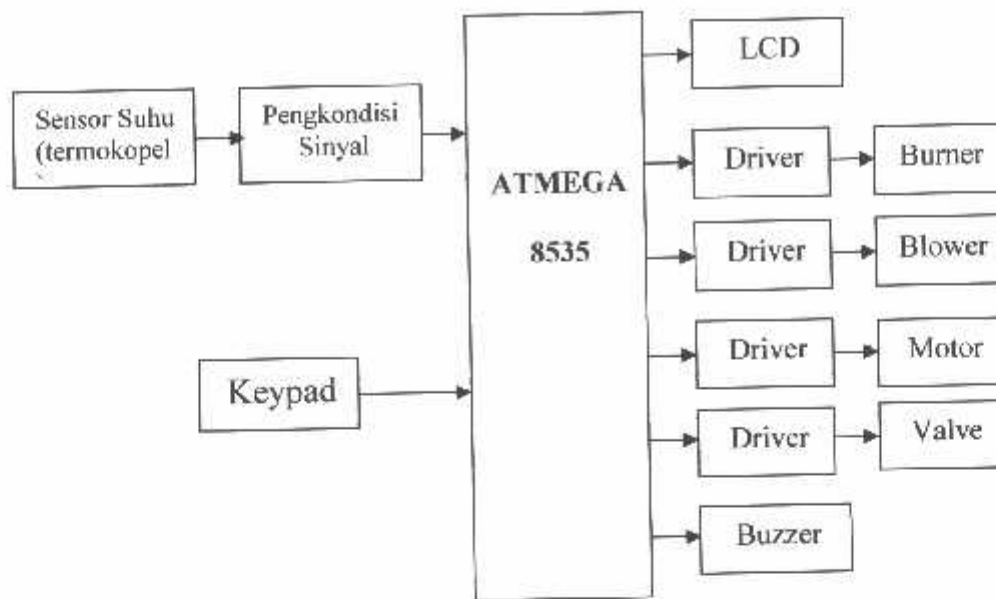
Dalam perancangan alat ini spesifikasi yang akan direalisasikan adalah sebagai berikut:

1. Drum yang berukuran tinggi 88 cm dan berdiameter 58 cm.
2. Kotak yang terbuat dari mika dengan dimensi 18,5cm x 17,5cm x 7cm sebagai tempat rangkaian.
3. Tabung minyak tanah yang berkapasitas 2 liter.
4. Sistem mikrokontroler ATmega8535 sebagai kontrol sistem.
5. Menggunakan sensor suhu berjenis *Thermocouple Tipe J*
6. Valve yang digunakan untuk membuka dan menutup saluran bahan bakar minyak tanah dan gas.

7. Blower.
8. Buzzer.
9. Alat pembakaran (Burner)
10. Keypad untuk mengetikkan waktu
11. Tampilan suhu menggunakan LCD tipe M1632 dengan 16 karakter 2 baris.
12. Motor DC.

### 3.2. Perencanaan Alat

Dalam perencanaan alat ini dilakukan pembuatan secara bertahap, yaitu pembuatan blok demi blok untuk memudahkan penganalisaan setiap bagiannya, maupun secara keseluruhan dari system. Perencanaan dan pembuatan sistem ini dibagi atas dua bagian yaitu perencanaan perangkat keras (hardware) dan perencanaan perangkat lunak (software). Beberapa aspek lain yang perlu dijelaskan dalam pembahasan bab ini adalah penentuan spesifikasi alat dari sistem yang dirancang blok diagram dan prinsip kerja secara umum seperti ditunjuk pada gambar 3.1 berikut :



**Gambar 3.1** Blok Diagram Alat secara Keseluruhan

Penjelasan diagram blok :

**1. Sensor suhu ( Thermocouple tipe J ).**

Digunakan sebagai inputan yang berfungsi untuk mendeteksi perubahan suhu pada saat terjadi proses pembakaran.

**2. Pengkondisi sinyal.**

Untuk mengkondisikan sinyal yang diterima dari inputan “Logic High/Low”.

**3. Keypad.**

Digunakan sebagai inputan yang berfungsi untuk mengetikkan waktu yang diinginkan.

**4. LCD.**

Digunakan untuk menampilkan waktu yang diinginkan.

**5. Burner.**

Untuk membakar sampah.

**6. Microcontroller ATmega8535.**

Digunakan untuk mengolah data yang diterima dari inputan, mengontrol dan mengendalikan rangkaian – rangkaian yang terhubung dengan mikrocontroller tersebut.

**7. Driver.**

Sebagai pengendali atau menggerakkan peralatan mekanis yaitu; valve, blower, burner dan motor.

**8. Blower.**

Berupa kipas yang digunakan untuk menurunkan suhu dan meratakan proses pembakaran.

**9. Motor DC.**

Digunakan untuk menggerakkan keranjang sampah.

**10. Buzzer.**

Digunakan sebagai tanda untuk memberitahu bahwa proses pembakaran telah selesai.

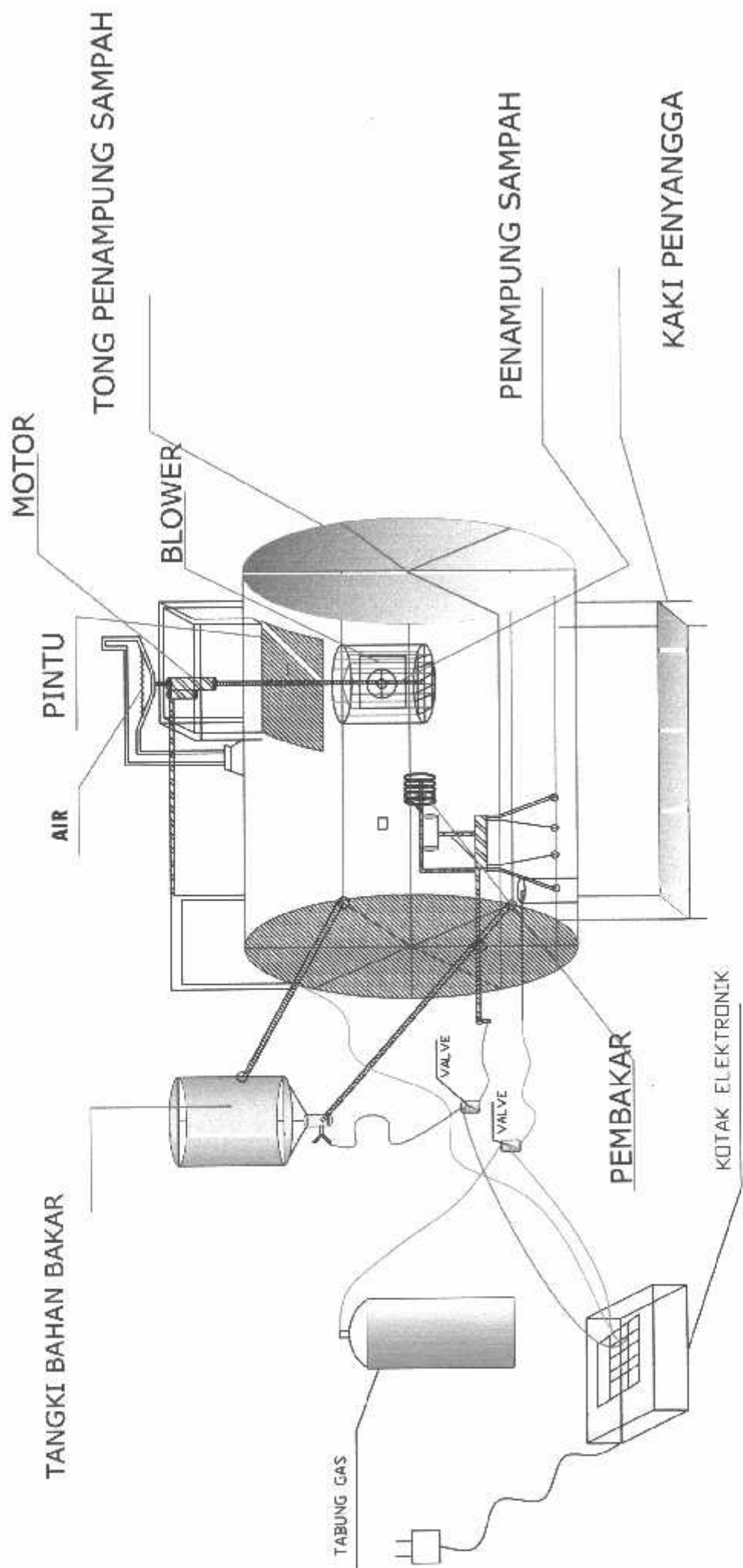
**11. Valve**

Digunakan sebagai pengatur bahan bakar dan gas

**3.3.Prinsip Kerja Alat.**

Prinsip kerja secara umum dari blok diagram incinerator rumah tangga dengan pengendali Atmega8535 yaitu, tombol “ON” ditekan, maka *burner* akan menyemprotkan api dan keranjang sampah berputar, suhu di dalam drum akan

meningkat terus sampai 300 °C ( diukur oleh *thermocouple* ), setelah sampai pada suhu yang telah ditetapkan maka burner akan mati dan blower yang bekerja sampai suhu di dalam drum turun pada 200 °C, begitu seterusnya *burner* dan *blower* bekerja secara bergantian sampai pada batas waktu yang telah ditetapkan. Apabila proses pembakaran telah selesai, maka *buzzer* akan berbunyi.



Gambar 3.2  
 Gambar Mekanis INCINERATOR



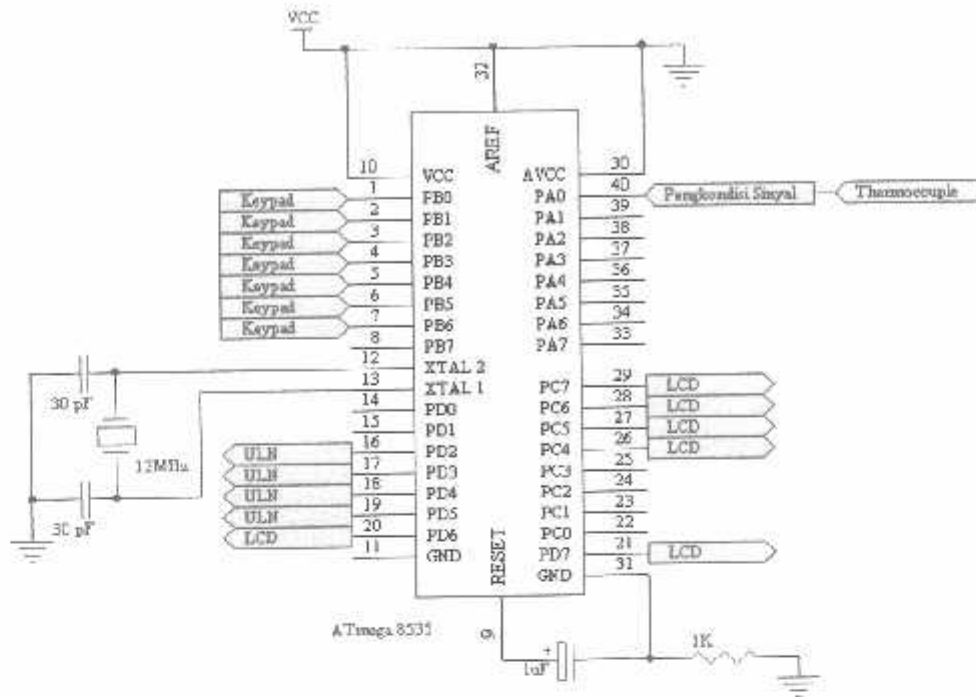
### 3.4. Perancangan Perangkat Keras.

Perencanaan masing-masing blok diagram sistem terdiri dari perencanaan rangkaian kontrol menggunakan ATmega8535, beberapa rangkaian pendukung seperti rangkaian *sensor suhu (thermocouple)*, rangkaian *display*, rangkaian *driver relay*, serta rangkaian *keypad*.

#### 3.4.1. Rangkaian Mikrokontroler ATMEGA 8535

Mikrokontroler berfungsi sebagai pusat pengendali dari seluruh sistem melalui software yang diprogram. Pada perancangan ini digunakan IC ATMEGA 8535 dalam bentuk rangkaian *single chip*, artinya tidak digunakan tambahan EEPROM *eksternal*. Alasan digunakan mikrokontroler ini adalah untuk mendapatkan suatu rangkaian yang praktis, dimana mikrokontroler ini memiliki keunggulan dalam hal kepraktisannya karena telah dilengkapi fasilitas :

- EEPROM internal (512 bytes)
- RAM internal (512 bytes)
- 8 channel ADC 10 bit



**Gambar 3.3** Rancangan Pemakaian Port-port Mikrokontroler ATmega8535

**- Port A.**

Port A merupakan port dua arah yang berada pada pin 33-40 dari IC ATmega8535. Dalam perancangan ini, PA.0-PA.7 digunakan sebagai ADC, sebagai inputan thermocouple.

**- Port B.**

Port B disediakan sebagai I/O dan menempati pin 1 – 8. Dalam perancangan alat, pin 1 - 7 digunakan sebagai keypad.

**- Port C.**

Port C merupakan Port dua arah I/O 8-bit dengan resistor pull-up internal, digunakan sebagai alamat keluaran saat SRAM eksternal digunakan. Pada

port C.0 sampai C.1 yang terletak pada pin 26 – 29 sebagai keluaran display LCD.

**- Port D.**

Port D merupakan Port dua arah I/O 8-bit dengan resistor pull-up internal, digunakan untuk berbagai karakteristik khusus dari ATmega8535. Pada Port D.2 – port D.5 digunakan sebagai output ULN dan port D.6 – port D.7 sebagai keluaran LCD..

**- Reset.**

Input reset, jika kaki pinnya mendapat input 0 (low) dalam jangka waktu lebih dari 50 ns maka akan menghasilkan kondisi reset, hal ini terjadi jika clock tidak berfungsi, ini terletak pada pin 9

**- ALE ( *Address Latch Enable* )**

berfungsi sebagai pengunci alamat ketika memori eksternal digunakan. ALE berfungsi untuk mengunci logik 0 (low) pada alamat yang diminta ke dalam pengunci alamat selama siklus akses pertama dan kaki AD0-AD7 digunakan pada siklus yang kedua.

**- ICP.**

pin input untuk Timer/Counter1, berfungsi sebagai penangkap masukan (input capture), terletak pada pin 20.

**- GND**

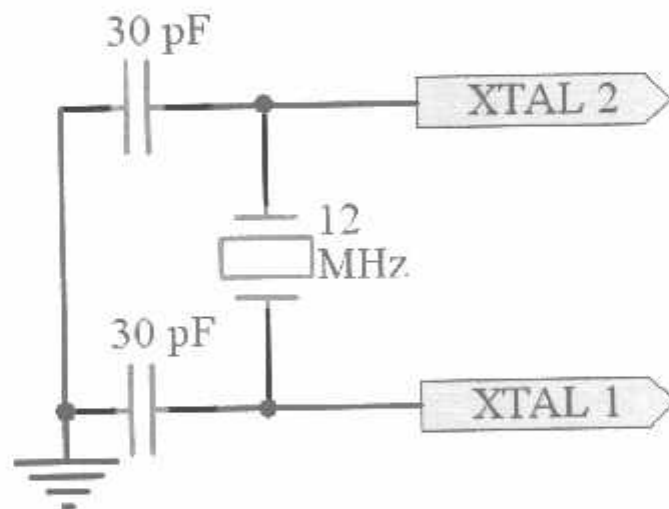
Dihubungkan dengan ground catu daya.

### 3.4.2. Rangkaian Pewaktu (Clock).

Kecepatan proses pengolahan data pada mikrokontroler ditentukan oleh *Clock* (pewaktu) yang dikendalikan oleh Mikrokontroler tersebut. Pada Mikrokontroler ATMEGA 8535 terdapat *internal clock*. *Internal Clock* generator berfungsi sebagai sumber *Clock*, tapi masih memerlukan rangkaian tambahan untuk membangkitkan *Clock* yang diperlukan. Rangkaian *Clock* ini terdiri dari dua buah kapasitor dan sebuah kristal yang dirangkai sedemikian rupa dan kemudian dihubungkan dengan Pin 12 dan 13 pada ATMEGA 8535.

Dalam perancangan rangkaian ini menggunakan :

1.  $C = 30 \text{ pF}$ , penentuan besarnya kapasitansi disesuaikan dengan spesifikasi pada data sheet ATMEGA 8535.
2. Kristal 12 MHz (berdasarkan data sheet ATMEGA 8535) adapun gambar rangkaian clock tampak seperti pada gambar 3.3.



Gambar 3.4. Rangkaian Clock

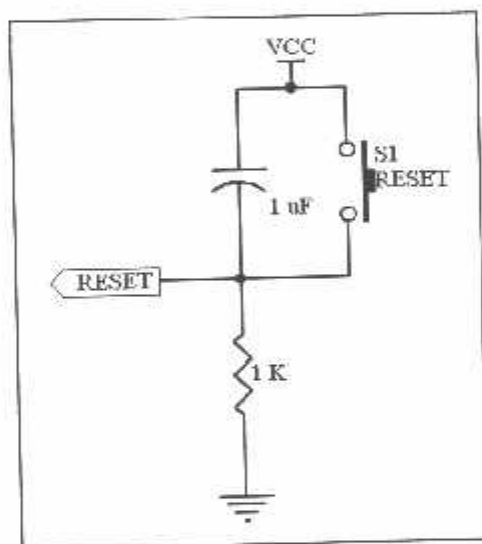
Dalam perancangan ini digunakan kristal sebagai sumber *clock*, kristal dihubungkan diantara kaki – kaki XTAL1 DAN XTAL2 pada mikrokontroler dan kapasitornya dihubungkan ke ground. Kristal yang digunakan sebesar 12 MHz. Waktu yang dibutuhkan untuk mikrokontroler mengolah data, adalah :

$$T = \frac{1}{12.10^6} \times 12 \text{ periode}$$

$$= 1 \mu\text{s}$$

### 3.4.3. Perancangan Rangkaian Reset

Reset pada Mikrokontroler merupakan masukan aktif High '1'. Pulsa transisi dari rendah '0' ke tinggi '1' akan mereset Mikrokontroler menuju alamat 0000 H. Pin reset dihubungkan dengan rangkaian power on reset seperti pada gambar 3-4.



Gambar 3.5. Rangkaian Power On Reset

Rangkaian reset bertujuan agar mikrokontroler dapat menjalankan proses dari awal. Rangkaian reset untuk Mikrokontoler dirancang agar mempunyai

kemampuan *Power On Reset*, yaitu reset yang terjadi pada saat sistem dinyalakan untuk pertama kalinya.

Rangkaian Reset terbentuk oleh komponen R dan C yang sudah baku (ditetapkan oleh perusahaan pembuat IC ATMEGA 8535). Nilai R yang dipakai adalah 1 K $\Omega$  dan nilai C adalah 1  $\mu$ F.

Sedangkan untuk mencari frekuensi dari reset tersebut dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$f_0 = \frac{1}{1,1RC}$$

Sehingga dengan komponen resistor dengan nilai 1 K $\Omega$  serta kapasitor dengan nilai 1  $\mu$ F akan dihasilkan frekuensi.

$$f_0 = \frac{1}{1,1RC}$$
$$= \frac{1}{1,1 \times 1.10^3 \times 1.10^{-6}}$$

$$f_0 = 909,09 \text{ Hz}$$

Maka periode clock :

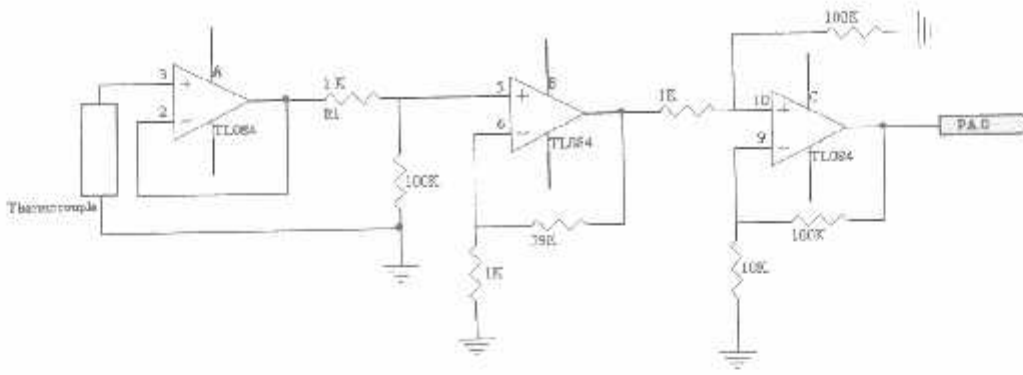
$$T = \frac{1}{f_0}$$

$$T = \frac{1}{909,09}$$

$$T = 1,1 \text{ milidetik}$$

### 3.5. Perencanaan Rangkaian Sensor Suhu

Pada perencanaan alat ini pengukur suhu untuk incinerator adalah menggunakan *thermocouple* yang bertipe J. Dipilihnya sensor ini karena memiliki ketahanan panas yang tinggi dan tidak perlu adanya input tegangan.



**Gambar 3.6.** Rangkaian Pengkondisi Sinyal Thermocouple

$V_{in}$  sebesar 1,2 mV, maka  $V_1$  adalah

$$V_1 = \frac{100 K}{1K + 100K} \times V_{in}$$

$$V_1 = \frac{100 K}{1K + 100 K} \times 1,2 \text{ mV}$$

$$V_1 = 1,19 \text{ mV}$$

$$\text{Penguatan 1 (A}_1\text{)} = \frac{R_f}{R_i} + 1$$

$$= \frac{39 K}{1 K} + 1 = 40$$

$$\text{Penguatan 2 (A}_2\text{)} = \frac{100 K}{10 K} + 1 = 11$$

$$\text{Penguatan Total (A}_{tot}\text{)} = A_1 \times A_2$$

$$= 40 \times 11 = 440 \times$$

### 3.6. Rangkaian LCD (Liquid Crystal Display).

Sebagai panampil data digunakan display LCD dot matrik 2 x 16 karakter. Signal-signal yang dipergunakan oleh LCD adalah data bus, RS, R/W dan E. Signal E dihubungkan ke port D.6 untuk mengaktifkan LCD. LCD akan aktif jika mikrokontroller memberi instruksi tulis pada alamat LCD. Sedang port D.7 diberikan untuk memberikan signal RS yang membedakan data yang diberikan pada LCD. Signal RS diberikan pada LCD untuk membedakan signal antar instruksi program atau instruksi penulisan data.

Untuk pin R/W akan berlogika low (0) apabila dihubungkan dengan ground maka LCD difungsikan hanya untuk menuliskan program atau data ke display. Untuk mengambil data dari mikrokontroller maka pin-pin data dihubungkan dengan port C.4 sampai C.7 yang merupakan pin-pin data dari mikrokontroller.

VRI pada pin 3 (VEE) digunakan untuk mengatur kontras dari karakter yang ditampilkan, sedangkan pin 15 (V+) diberi dioda gunanya agar tegangan yang masuk sesuai dengan data dari datasheet, yaitu 4,5 V

$$\text{Tegangan dioda} = 0,6 \text{ V}$$

$$\text{VCC} = 5 \text{ V}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi tegangan masuk} &= 5\text{V} - 0,6\text{V} \\ &= 4,4\text{Volt} \end{aligned}$$

Pada lembaran *datasheet* modul LCD M1632 SEIKO INSTRUMENT INC. disebutkan bahwa :

*Power supply LCD meliputi :*

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



$$V_{cc} = 5 \text{ V} \pm 10\% (2\text{mA})$$

$$V_{ee} = V_{cc} - 13,5 \text{ V} \text{ sampai } V_{cc} = 0,3 \text{ V} (1 \text{ mA} \text{ pada } V_{ee} = 0,25\text{V})$$

*Power supply back light :*

$$V + BL = 4 \text{ V} \text{ sampai } 4,2 \text{ V} (50 \text{ sampai } 200 \text{ mA})$$

$$V - BL = 0 \text{ V} (\text{GND})$$

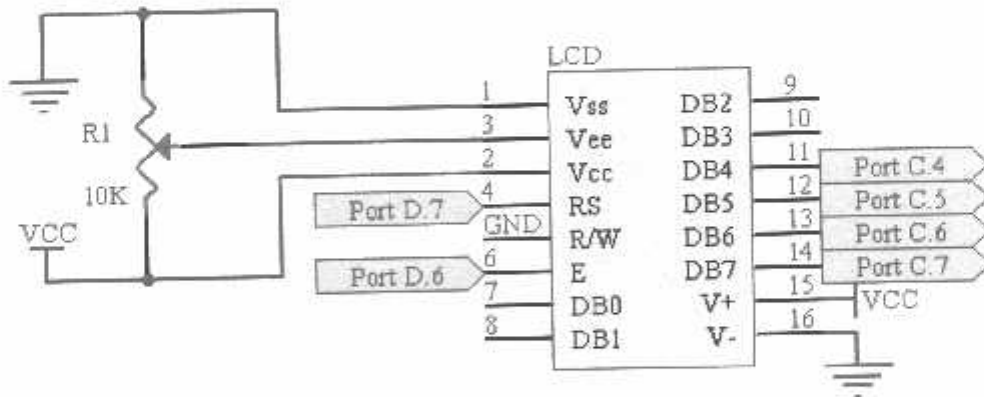
Pada input  $V + BL$ , dipasang sebuah dioda 1N4001 (bahan silicon dengan  $V_d = 0,65 \text{ V}$  sampai  $0,7 \text{ V}$ ). tujuannya adalah didapatkan tegangan  $V + BL$  sebesar  $4,3 \text{ V}$  dengan perhitungan sebagai berikut :

$$V_{cc} = V_d + (V + BL)$$

$$= 0,7 + (V + BL)$$

$$(V + BL) = 5 - 0,7 = 4,3 \text{ Volt}$$

Dipilih dioda 1N4001 karena arus maksimum yang biasa dilewatkan oleh dioda ini sebesar  $1 \text{ A}$ , berikut ini adalah rangkaian lengkap modul LCD yang digunakan dalam perancangan :

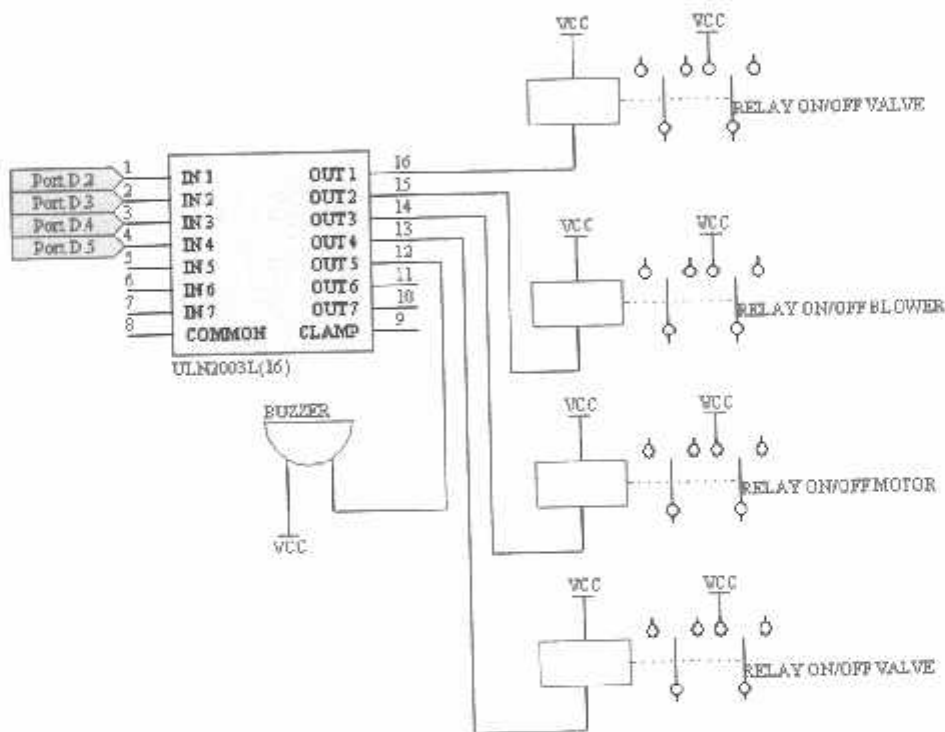


**Gambar 3.7.**Rangkaian LCD

### 3.7. Rangkaian Driver Relay

Didalam perencanaan rangkaian ini hal utama yang perlu diperhatikan adalah pemilihan media penghubung yang dapat dikontrol melalui suatu rangkaian pengendali. Media penghubung yang digunakan dalam rangkaian ini adalah *relay*.

Relay yang digunakan merupakan relay 12 Volt dengan resistansi 173 Ohm. Rangkaian ini berfungsi untuk menyambung dan memutus rangkaian yang ada diluar mikrokontroller, yaitu : motor penggerak keranjang sampah, blower dan valve (solenoid). Rangkaian driver ini digambarkan sebagai berikut :



Gambar 3.8 Rangkaian Driver Relay

Driver IC ULN 2003 mampu menggerakkan 3 buah relay dengan baik karena IC ULN 2003 dapat mengoperasikan sampai dengan arus 500 mA.

$$R_{relay} = 400\Omega$$

$$V = 12\text{Volt}$$

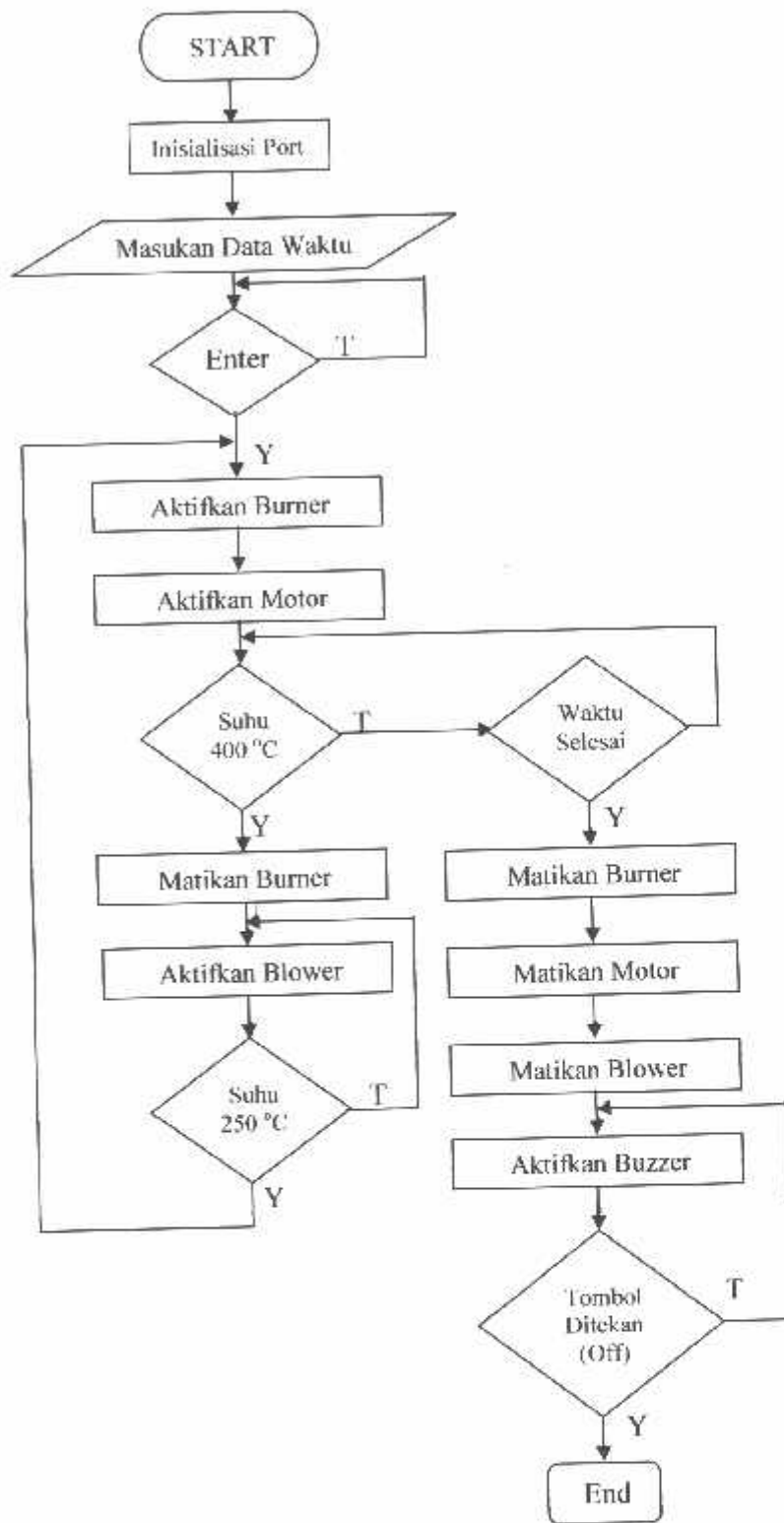
$$I = \frac{V}{R_{relay}}$$

$$= \frac{12}{400}$$

$$= 30 \text{ mA}$$

### 3.8. Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak (*software*) digunakan untuk memudahkan penyusunan program. Perangkat lunak itu sendiri diperlukan untuk mengatur kerja mikrokontroler sehingga dapat mengendalikan sistem perangkat keras. Perangkat lunak ditulis dalam bahasa *assembler* dan penulisannya sesuai dengan spesifikasi sistem yang telah ditentukan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat dalam Gambar 3.8 berikut :



Gambar 3.9. Diagram Alir Program Keseluruhan



## BAB IV

### PENGUKURAN DAN PENGUJIAN ALAT

Untuk mengetahui keberhasilan dari perencanaan dan pembuatan Incinerator untuk rumah tangga dengan pengendali ATmega8535, pada bab ini diuraikan sejumlah pengukuran dan perhitungan melalui percobaan yang dilakukan untuk mengetahui sistem kerja dari alat secara keseluruhan.

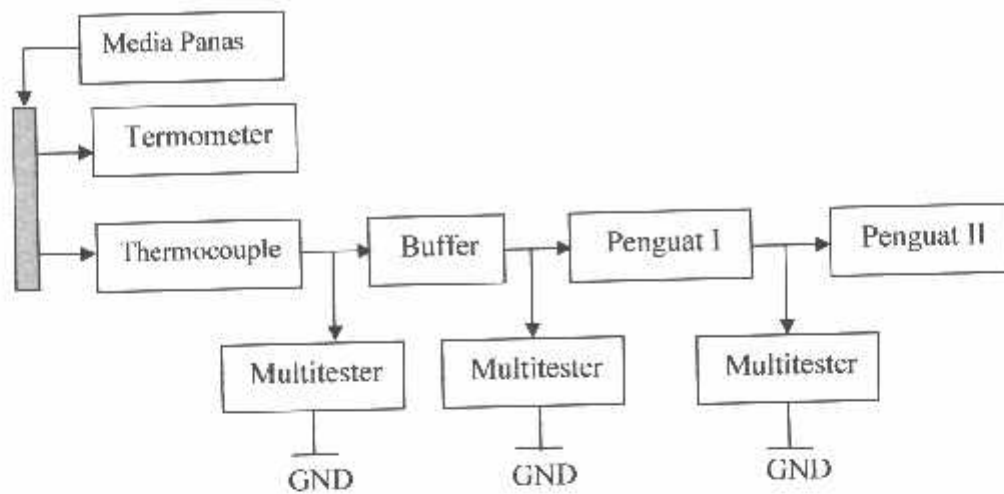
Terlebih dahulu pengujian dilakukan perbagian untuk mempermudah dalam menganalisis hasil perancangan dan pengujian yang dilakukan. Bagian-bagian yang diuji adalah:

- Rangkaian Sensor Suhu ( thermocouple )
- Rangkaian Valve
- Rangkaian Buzzer

Setelah semua bagian di atas diuji, langkah berikutnya adalah pengujian sistem secara keseluruhan.

#### 4.1. Pengujian Rangkaian Sensor Suhu ( Thermocouple )

1. Tujuan dari pengujian rangkaian sensor suhu adalah :
  - Untuk mengetahui perubahan tegangan
  - untuk mengetahui ketepatan sensor dalam merespon perubahan suhu.
2. Langkah-langkah pengujian
  - Alat dirangkai seperti gambar di bawah ini :



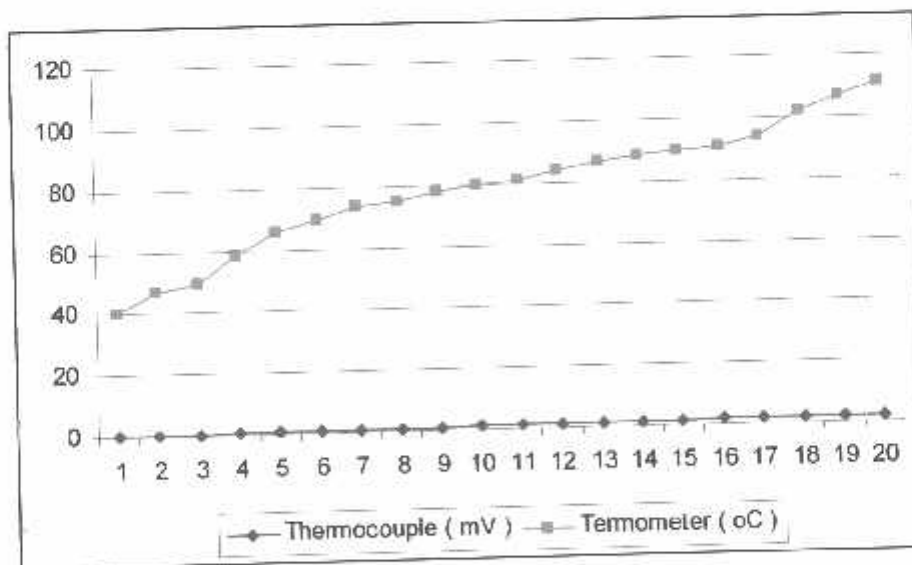
**Gambar 4.1** Blok Diagram Pengujian Rangkaian Sensor Suhu

- Memasukkan sensor suhu ke dalam bejana berisi air yang telah dipanaskan
- Memasukkan termometer ke dalam bejana untuk mengetahui pembacaan suhu
- Menaikkan suhu air dengan cara menyalakan pemanas
- Mengamati setiap kenaikan suhu untuk mengetahui pembacaan suhu
- Mengukur tegangan keluaran sensor dengan multitester digital

### 3. Hasil Pengujian.

**Tabel 4.1** Perbandingan Antara Thermocouple Dan Termometer

NO	Thermocouple ( mV )	Termometer ( °C )
1	0,1	40
2	0,2	47
3	0,3	49
4	0,4	58
5	0,5	65
6	0,6	69
7	0,7	73
8	0,8	74
9	0,9	77
10	1,0	79
11	1,1	80
12	1,2	83
13	1,3	85
14	1,4	87
15	1,5	88
16	1,6	89
17	1,7	92
18	1,8	100
19	1,9	105
20	2,0	109



**Grafik** Perbandingan Thermocouple Dan Termometer



#### 4. Analisa Hasil Pengujian.

##### 4.1. Analisa Pengujian Thermocouple Dan Termometer.

Hasil pengukuran suhu dengan menggunakan sensor thermocouple dan termometer menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu, maka  $V_{\text{output}}$  thermocouple semakin tinggi dan relatif berbanding lurus, sedangkan dari grafik terlihat tidak lurus, ini disebabkan karena proses pengukuran yang berlangsung cepat serta termometer tidak terkalibrasi.

Pengujian dengan penguatan :

**Tabel 4.2** Hasil Pengujian Thermocouple

NO	Output Sensor (mV)	Vout Buffer (mV)	Vout $V_1$ (mV)	Vout $V_2$ (mV)	Perhitungan Vout $V_2$ (mV)	Error (%)
1	0,1	0,1	3,9	42,9	44	2,5
2	0,2	0,2	7,8	85,8	88	2,5
3	0,3	0,3	11,7	128,7	132	2,5
4	0,4	0,4	15,6	171,6	176	2,5
5	0,5	0,5	19,5	214,5	220	2,5
6	0,6	0,6	23,4	257,4	264	2,5
7	0,7	0,7	27,3	300,3	308	2,5
8	0,8	0,8	31,2	343,2	352	2,5
9	0,9	0,9	35,1	386,1	396	2,5
10	1,0	1,0	39	429	440	2,5
11	1,1	1,1	42,9	471,9	484	2,5
12	1,2	1,2	46,8	514,8	528	2,5
13	1,3	1,3	50,7	557,7	572	2,5
14	1,4	1,4	54,6	600,6	616	2,5
15	1,5	1,5	58,5	643,5	660	2,5
16	1,6	1,6	62,4	686,4	704	2,5
17	1,7	1,7	66,3	729,3	748	2,5
18	1,8	1,8	70,2	772,2	792	2,5
19	1,9	1,9	74,1	815,1	836	2,5
20	2,0	2,0	78	858	880	2,5

#### 4.2. Analisa Pengujian Thermocouple

Dari hasil pengukuran pengkondisi sinyal, terutama pada penguat II, menunjukkan bahwa output dari sensor thermocouple telah mengalami penguatan, dimana secara teori adalah 440 kali.

Persentase kesalahan dari hasil pengujian terhadap nilai yang diinginkan dalam perancangan bisa dihitung dengan:

$$\begin{aligned}\text{Prosentase penyimpangan} &= \frac{|V_o \text{ perhitungan} - V_o \text{ pengukuran}|}{V_o \text{ perhitungan}} \times 100\% \\ &= \frac{44 - 42,9}{44} \times 100 \% \\ &= 2,5 \%\end{aligned}$$

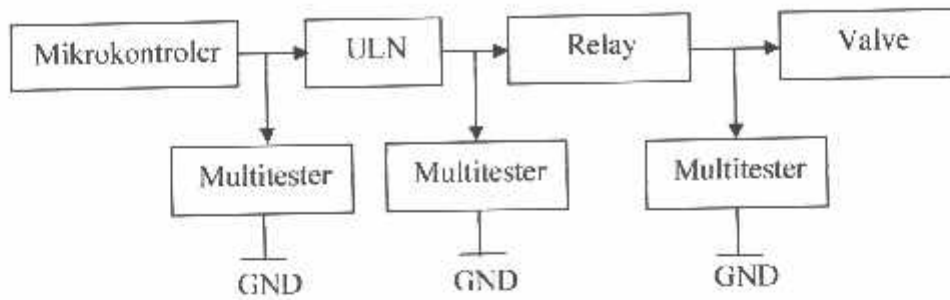
Jadi, dari perhitungan prosentase penyimpangan secara keseluruhan diperoleh prosentase rata-rata adalah 2,5 %.

#### 4.2. Pengujian Rangkaian Valve

Blok pengujian rangkaian driver relay untuk valve ditunjukkan seperti dalam Gambar 4.2 :

1. Tujuan dari pengujian rangkaian driver valve adalah :

Pengujian ini bertujuan pada prinsip kerja valve apakah dapat bekerja dengan baik dan sesuai dengan yang direncanakan.



**Gambar 4.2** Blok Diagram Pengujian Rangkaian Valve

2. Langkah pengujiannya adalah sebagai berikut :

- Susun rangkaian seperti dalam blok diagram diatas.
- Berikan catu daya pada rangkaian tersebut.
- Amati keluaran dari kondisi relay dan output relay.
- Hasil Pengujian rangkaian driver relay ditunjukkan dalam Tabel

4.3

3. Hasil pengujian

**Tabel 4.3** Hasil Pengujian Rangkaian Driver Valve

No	Mikrokontroler (V)	ULN (V)	Relay (V)	Valve (V)
1	0,31	0,31	13,4	0
2	3,6	3,6	0	220

4. Analisis hasil pengujian

Dari Tabel 4.3 terlihat bahwa pengaturan Valve tergantung dari driver relay. Jika driver relay aktif maka kondisi relay on, demikian sebaliknya jika driver relay tidak aktif maka kondisi relay off.

### 4.3. Pengujian Rangkaian Keseluruhan

#### 1. Tujuan

Untuk mengetahui bahwa incinerator dengan pengendali ATmega 8535 dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan.

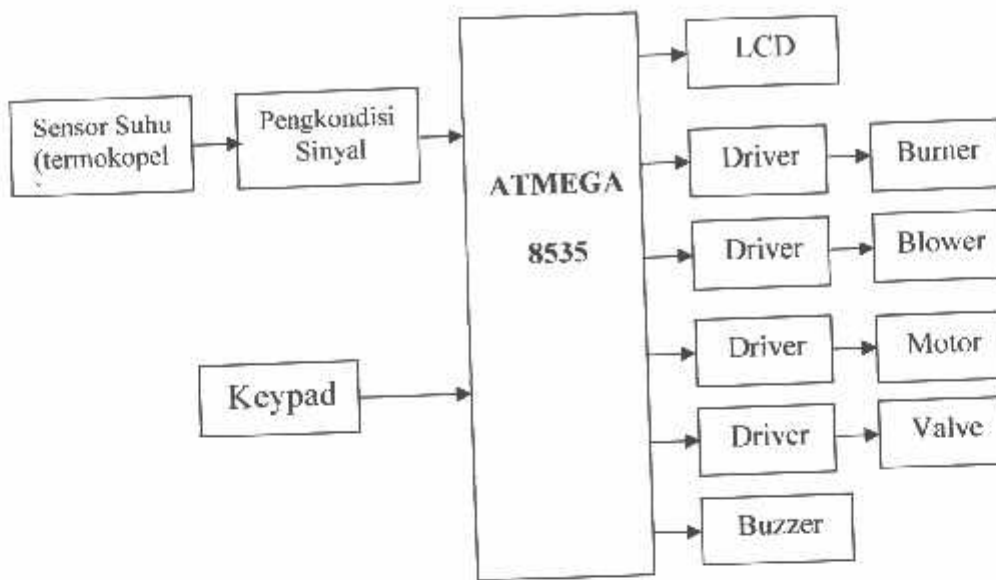
#### 2. Metode Pengujian

Pengujian dilakukan dengan memberikan panas pada termocouple, sehingga suhu akan terus naik sampai pada batas yang diinginkan, lalu setelah suhu sampai pada limit, maka mikrokontroller akan memberikan perintah pada blower untuk menurunkan suhu sampai pada suhu yang diinginkan, begitu seterusnya burner dan blower bekerja secara bergantian. Apabila proses pembakaran telah selesai maka buzzer akan berbunyi.

#### 3.. Langkah pengujiannya adalah sebagai berikut :

- a) Menghubungkan catu daya ke rangkaian pengujian
- b) Merangkai perangkat sesuai dengan blok diagram sistem yang direncanakan.
- c) Melakukan setting waktu pembakaran.
- d) Sebagai parameter yang dibuat tetap ( fix ) adalah volume sampah yang dibakar, serta setting suhu untuk pembakaran ( burner on ).
- e) Melaksanakan proses pembakaran sampah.
- f) Untuk hasil yang diinginkan adalah dengan merubah-ubah waktu pembakaran total, akan dilihat kondisi sampah hasil pembakaran.

Berikut adalah rangkaian pengujian keseluruhan system :



**Gambar 4.3** Blok Diagram Pengujian Keseluruhan

#### 4. Hasil Pengujian.

**Tabel 4.4** Hasil Pengujian Keseluruhan

NO	Berat Sampah	Setting Waktu	Setting Suhu	Kondisi Sampah
1	1 Kg	10 menit	200-300	Habis Terbakar
2	2 Kg	15 menit	200-300	Habis Terbakar
3	3 Kg	20 menit	200-300	Habis Terbakar
4	4 Kg	30 menit	200-300	Habis Terbakar

#### 5. Analisis hasil pengujian

Dari hasil pengujian alat secara keseluruhan, untuk memperoleh hasil pembakaran yang optimal pada massa sampah (4 Kg) dan setting suhu pembakaran ( 200 °C- 300 °C ) dibuat tetap (fix), maka waktu pembakaran minimal 30 menit.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1. Kesimpulan

1. Sebagai sensor suhu dipergunakan *thermocouple* karena memiliki kemampuan deteksi suhu yang tinggi serta tahan terhadap panas yang tinggi.
2. Semakin tinggi suhu yang diukur, semakin tinggi pula tegangan keluaran dari *thermocouple*.
3. Agar dapat dibaca oleh ADC internal mikrokontroler, maka tegangan keluaran *thermocouple* perlu dilakukan penguatan, dimana dalam alat digunakan penguatan sebesar 440 kali dan error rata-rata sebesar 2,5 %.
4. Dalam upaya penghematan bahan bakar, digunakan blower yang bekerja bergantian dengan burner.
5. Dari hasil pengujian alat secara keseluruhan, untuk memperoleh hasil pembakaran yang optimal pada massa sampah (4 Kg) dan setting suhu pembakaran ( 200 °C- 300 °C ) dibuat tetap (fix), maka waktu pembakaran minimal 30 menit.
6. Agar suatu pembakaran bisa berjalan secara otomatis, maka pemanasan minyak tanah di buat pemicu dengan gas yang diaktifkan oleh valve.
7. Dengan tujuan agar hasil pembakaran merata, maka digunakan motor untuk memutar keranjang sampah yang dibakar.
8. Sebagai pengaman terhadap hasil pembakaran, maka di cerobong asap diberi air untuk menangkap partikel-partikel dari hasil pembakaran.

## 5.2. Saran

Dengan melihat hasil yang telah dicapai dalam perancangan dan pembuatan alat serta dari kesimpulan yang ada, untuk pengembangan lebih lanjut yang memungkinkan penyempurnaan alat dapat dilakukan sesuai kebutuhan baik penerapan maupun perluasan sistemnya diantaranya :

1. Menggunakan kompresor pada tabung bahan bakar agar tidak perlu lagi memompa.
2. Tempat membuang abu hasil pembakaran dibuat secara otomatis.

## DAFTAR PUSTAKA

- Malvino, Albert Paul, **Prinsip-Prinsip Elektronika Edisi Kedua**, Erlangga, Jakarta, 1981.
- Derenzo, Stephen E, **Interfacing A Laboratory Approach Using The Microcomputer For Instrumentation, Data Analysis, And Control**, University Of California, Barkeley, California
- The Temperature Handbook edisi kedua
- <http://www.datasheet.com> ATmega8535.com
- <http://www.waterresearch.co.uk>\_image\_incinerator\_jpg
- <http://www.epa.gov>-appcdwww-aptb-image-rkis\_gif
- Wasito S, Data Sheet Book 1 Data IC Linier, TTL, Dan CMOS, Elex Media Komputindo



---

**LAMPIRAN**

-

**LAMPIRAN**

---



### FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

NAMA : Fahmy Siddiq  
NIM : 01.17.139  
Masa Bimbingan : 24 Desember 2006 – 24 Juni 2007  
Judul Skripsi : Perencanaan dan Pembuatan Incinerator Rumah Tangga Menggunakan Pengendali Mikrokontroller ATmega8535

NO	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	26-12-2006	BAB I - Rumusan masalah - Latar belakang masalah	
2.	26-1-2007	BAB II	
3.	27-2-2007	BAB III - Flow chart - Perancangan mekanik	
4.	5-3-2007	BAB IV <del>the analysis</del> Buck on a 230V ac masing? pengujian	
6.	10-3-2007	BAB V kemampuan sumber kon dgn hasil pengujian	
8.	12-3-2007	Uraian laporan	
9.			
10.			

Malang, .....  
Dosen Pembimbing

Ir. Kartiko Adi Widodo, MT  
NIP.P:1039700310

Form: S-4a



### FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

NAMA : Fahmy Siddiq  
NIM : 01.17.139  
Masa Bimbingan : 24 Desember 2006 – 24 Juni 2007  
Judul Skripsi : Perencanaan dan Pembuatan Incinerator Rumah Tangga Menggunakan Pengendali Mikrokontroler ATmega8535

NO	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	2 Feb 07	acc Bab I	
2.	1 maret 07	acc Bab II	
3.	7 maret 07	acc Bab III	
4.	10 maret 07	acc bab IV	
5.	14 maret 07	acc Bab V	
6.			
7.			
8.			
9.			
10.			

Malang, 14 maret 2007

Dosen Pembimbing

M. Ibrahim Ashari, ST  
NIP.P: 1030100358

Form: S-4a

1/2007



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

## Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

Dalam pelaksanaan Ujian Skripsi Janjang Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentasi T. Energi Listrik / T. Elektronika, maka perlu adanya perbaikan skripsi untuk mahasiswa :

NAMA : FAHMY SIDDIG  
NIM : 0117135  
Perbaikan meliputi :

- Sistematis penulisan pengujian
- Kesimpulan
- Analisa pengujian Thermocouple

Maiang,



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

### Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

Dalam pelaksanaan Ujian Skripsi Janjang Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi T. Energi Listrik / T. Elektronika, maka perlu adanya perbaikan skripsi untuk mahasiswa :

NAMA :  
NIM :  
Perbaikan meliputi :

- 1) BAB II yang tidak dipertama kali pada pembahasan
- 2) Penjelasan hasil sangat dan waktu di buat beberapa waktu buat

Malang,



**FORMULIR PERBAIKAN SKRIPSI**

Nama : Fahmy Siddiq  
NIM : 01.17.139  
Masa Bimbingan : 24 Desember 2006 – 24 Juni 2007  
Judul Skripsi :

**“ PERENCANAAN DAN PEMBUATAN INCINERATOR RUMAH  
TANGGA MENGGUNAKAN PENGENDALI MIKROKONTROLLER  
ATMEGA 8535 ”**

NO	Tanggal	Uraian	Paraf
1	23 Maret 2007	Bab II yang tidak perlu, tidak perlu dimasukkan	
		Pengujian berat sampah dan waktu dibuat beberapa macam berat	
2	23 Maret 2007	Sistematika penulisan pengujian	
		Kesimpulan	
		Analisa pengujian thermocouple	

**Diperiksa Dan Disetujui**

Penguji I

( Joseph Dedy Irawan, ST, MT )

Dosen Pembimbing I

( Ir. Kartiko Adi Widodo, MT )

**Mengetahui**

Penguji II

( M. Ashar, ST, MT. )

Dosen Pembimbing II

( M. Ibrahim Ashari, ST )

## 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

Options 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

Preliminary  
Summary

Rev. 2502HS-AVR-04/06

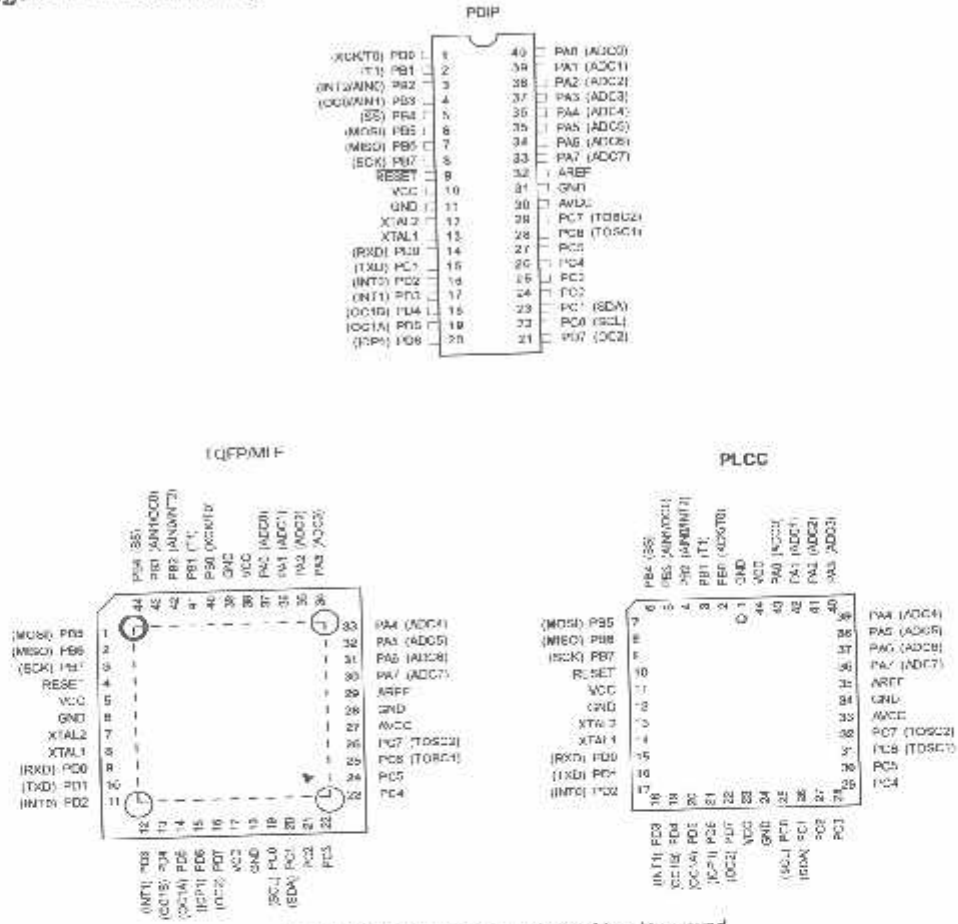






**in Configurations**

**Figure 1. Pinout ATmega8535**



**Disclaimer**

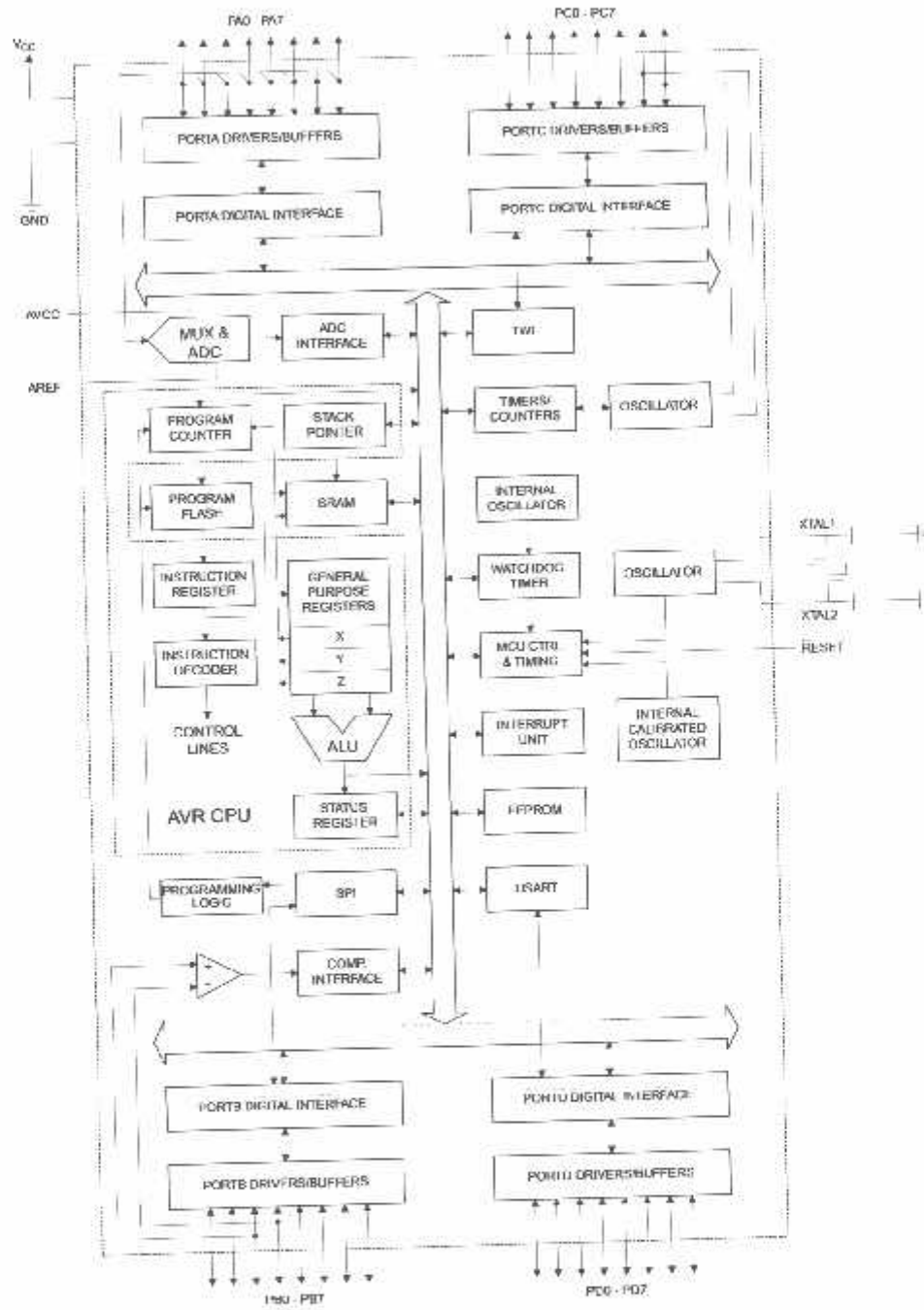
Typical values contained in this data sheet are based on simulations and characterization of other AVR microcontrollers manufactured on the same process technology. Min and Max values will be available after the device is characterized.

## 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.

### AT8535C Compatibility

See

Programming the S8535C fuse will change the following functionality:

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

## ATmega8535(L)

2502HS-AVR-04/06

## Pin Descriptions

$V_{CC}$	Digital supply voltage.
ND	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>
$\overline{RESET}$	<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>
AL1	Input to the inverting Oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.
AL2	Output from the inverting Oscillator amplifier.
$V_{CC}$	<p>AVCC is the supply voltage pin for Port A and the A/D Converter. It should be externally connected to <math>V_{CC}</math>, even if the ADC is not used. If the ADC is used, it should be connected to <math>V_{CC}</math> through a low-pass filter.</p>
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>.

**ATmega8535(L)**

2502HS-AVR-04/06

---

Register Summary

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Page
0x3F (0x3F)	SREG	I	T	H	S	V	N	Z	C	10
0x3E (0x3E)	SPH	-	-	-	-	-	-	SP8	SP8	12
0x3D (0x3D)	SPL	SP7	SP6	SP5	SP4	SP3	SP2	SP1	SP0	12
0x3C (0x3C)	OCR0	Timer/Counter0 Output Compare Register						IVSEL	IVCE	49, 89
0x3B (0x3B)	DKCR	INT1	INT0	INT2	-	-	-	-	-	70
0x3A (0x3A)	GIFR	INTF1	INTF0	INTF2	-	-	-	-	-	85, 115, 133
0x39 (0x39)	TIMSK	OCIF2	TOIE2	TKIE1	OCIE1A	OCIE1D	TOIE1	OCIF0	TOIE0	86, 116, 134
0x38 (0x38)	TIFR	OCF2	TOV2	ICF1	OCF1A	OCF1B	TOV1	OCF0	TOV0	228
0x37 (0x37)	SPMCR	SPMIE	RWWSB	-	RWWSRE	BLDSCT	PGWRT	PGERS	SPMEN	161
0x36 (0x36)	TWCR	TWINT	TWEA	TWSTA	TWSTO	TWWC	TWEN	-	TWIE	32, 58
0x35 (0x35)	MCUCR	SM2	SE	SM1	SM0	ISC11	ISC10	ISC01	ISC00	40, 59
0x34 (0x34)	MUCCSR	-	ISC2	-	-	WDRF	BURF	EXTRF	PNRF	83
0x33 (0x33)	TCCR0	FOC0	WGM00	COM01	COM00	WGM01	CS00	CS01	CS00	85
0x32 (0x32)	TCNT0	Timer/Counter0 (8 Bits)						-	-	30
0x31 (0x31)	CSCCAL	Oscillator Calibration Register						-	-	59, 86, 135, 203, 223
0x30 (0x30)	SFIOR	ADTS2	ADTS1	ADTS0	-	ACME	PUD	PSR2	PSR10	110
0x2F (0x2F)	TCCR1A	COM1A1	COM1A0	COM1B1	COM1B0	FOC1A	FOC1B	WGM11	WGM10	113
0x2E (0x2E)	TCCR1B	ICNG1	ICES1	-	WGM13	WGM12	CS12	CS11	CS10	114
0x2D (0x2D)	TCNT1H	Timer/Counter1 - Counter Register High Byte						-	-	114
0x2C (0x2C)	TCNT1L	Timer/Counter1 - Counter Register Low Byte						-	-	114
0x2B (0x2B)	OCR1AH	Timer/Counter1 - Output Compare Register A High Byte						-	-	114
0x2A (0x2A)	OCR1AL	Timer/Counter1 - Output Compare Register A Low Byte						-	-	114
0x29 (0x29)	OCR1BH	Timer/Counter1 - Output Compare Register B High Byte						-	-	114
0x28 (0x28)	OCR1BL	Timer/Counter1 - Output Compare Register B Low Byte						-	-	114
0x27 (0x27)	ICR1H	Timer/Counter1 - Input Capture Register High Byte						-	-	114
0x26 (0x26)	ICR1L	Timer/Counter1 - Input Capture Register Low Byte						-	-	114
0x25 (0x25)	TCCR2	FOC2	WGM20	COM21	COM20	WGM21	CS22	CS21	CS20	128
0x24 (0x24)	TCNT2	Timer/Counter2 (8 Bits)						-	-	151
0x23 (0x23)	OCR2	Timer/Counter2 Output Compare Register						-	-	131
0x22 (0x22)	ASSR	-	-	-	-	AS2	TCN2UB	OCR2UB	TCR2UB	42
0x21 (0x21)	WDTOR	-	-	-	WDCE	WDE	WDP2	WDP1	WDP0	169
20 <sup>H</sup> (0x40) <sup>H</sup>	UBRRH	URSEL	-	-	-	-	URRR[11:8]	-	-	167
	UCSRC	URSEL	UMSEL	UPM1	UPM0	USBS	UCSZ1	UCSZ0	UCPOL	19
0x1F (0x1F)	EEARH	-	-	-	-	-	-	-	EEAR8	19
0x1E (0x1E)	EEAHL	EEPROM Address Register Low Byte						-	-	19
0x1D (0x1D)	EEDR	EEPROM Data Register						-	-	19
0x1C (0x1C)	EEDR	-	-	-	-	EERIE	EEMWE	EDWE	EERE	19
0x1B (0x1B)	PORTA	PORTA7	PORTA6	PORTA5	PORTA4	PORTA3	PORTA2	PORTA1	PORTA0	66
0x1A (0x1A)	DDRA	DDA7	DDA6	DDA5	DDA4	DDA3	DDA2	DDA1	DDA0	66
0x19 (0x19)	PINA	PINA7	PINA6	PINA5	PINA4	PINA3	PINA2	PINA1	PINA0	66
0x18 (0x18)	PORTB	PORTB7	PORTB6	PORTB5	PORTB4	PORTB3	PORTB2	PORTB1	PORTB0	66
0x17 (0x17)	DDRB	ddb7	ddb6	ddb5	ddb4	ddb3	ddb2	ddb1	ddb0	67
0x16 (0x16)	PINB	PINB7	PINB6	PINB5	PINB4	PINB3	PINB2	PINB1	PINB0	67
0x15 (0x15)	PORTC	PORTC7	PORTC6	PORTC5	PORTC4	PORTC3	PORTC2	PORTC1	PORTC0	67
0x14 (0x14)	DDRC	DDC7	DDC6	DDC5	DDC4	DDC3	DDC2	DDC1	DDC0	67
0x13 (0x13)	PINC	PINC7	PINC6	PINC5	PINC4	PINC3	PINC2	PINC1	PINC0	67
0x12 (0x12)	PORTD	PORTD7	PORTD6	PORTD5	PORTD4	PORTD3	PORTD2	PORTD1	PORTD0	67
0x11 (0x11)	DDRD	DDD7	DDD6	DDD5	DDD4	DDD3	DDD2	DDD1	DDD0	67
0x10 (0x10)	PIND	PIND7	PIND6	PIND5	PIND4	PIND3	PIND2	PIND1	PIND0	143
0x0F (0x0F)	SPDR	SPI Data Register						-	-	143
0x0E (0x0E)	SPSR	SPIF	WCOL	-	-	-	-	SPR1	SPI2X	141
0x0D (0x0D)	SPCR	SPIE	SPE	DORD	MSTR	CPOL	CPHA	SPR1	BPR0	141
0x0C (0x0C)	UCR	USART I/O Data Register						-	-	184
0x0B (0x0B)	UCSRA	RXC	TXC	UDRE	FE	DOR	PE	U2X	MPCM	185
0x0A (0x0A)	UCSRB	RXCIE	TXCIE	UDRIE	RXEN	TXEN	JCSZ2	RXB8	TXB8	185
0x09 (0x09)	UBRR1	USART Baud Rate Register Low Byte						-	-	203
0x08 (0x08)	ACSR	ACD	ACBG	ACD	ACI	ACIE	ACIC	ACS1	ACISC	219
0x07 (0x07)	ADMUX	REFS1	REFS0	ADIFR	MUX4	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0	221
0x06 (0x06)	ADCSRA	ADEN	ADSC	ADIF	ADIF	ADIE	ADPS2	ADPS1	ADPS0	222
0x05 (0x05)	ADCH	ADC Data Register High Byte						-	-	222
0x04 (0x04)	ADCL	ADC Data Register Low Byte						-	-	183
0x03 (0x03)	TWDR	Two-wire Serial Interface Data Register						-	-	183
0x02 (0x02)	TWAR	TWA6	TWA5	TWA4	TWA3	TWA2	TWA1	TWA0	TWOCE	183
0x01 (0x01)	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)	IWBR	Two-wire Serial Interface Bit Rate Register								101

- 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

Mnemonic	Operands	Description	Operation	Flags	#Clocks
<b>ARITHMETIC AND LOGIC INSTRUCTIONS</b>					
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	Rd, K	Add Immediate to Word	$RdH:RdL \leftarrow RdH:RdL + K$	Z, C, N, V, S	2
LD	Rd, Rr	Subtract two Registers	$Rd \leftarrow Rd - Rr$	Z, C, N, V, H	1
LDI	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
SBW	Rd, K	Subtract Immediate from Word	$RdH:RdL \leftarrow RdH:RdL - K$	Z, C, N, V, S	2
AND	Rd, Rr	Logical AND Registers	$Rd \leftarrow Rd \& Rr$	Z, N, V	1
ANDI	Rd, K	Logical AND Register and Constant	$Rd \leftarrow Rd \& K$	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
XOR	Rd, Rr	Exclusive OR Registers	$Rd \leftarrow Rd \oplus Rr$	Z, C, N, V	1
COM	Rd	One's Complement	$Rd \leftarrow 0xFF - Rd$	Z, C, N, V, H	1
NEG	Rd	Two's Complement	$Rd \leftarrow 0x00 - Rd$	Z, C, N, V, H	1
BR	Rd, K	Set Bit(s) in Register	$Rd \leftarrow Rd \vee K$	Z, N, V	1
BRI	Rd, K	Clear Bit(s) in Register	$Rd \leftarrow Rd \& (0xFF - K)$	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
TEST	Rd	Test for Zero or Minus	$Rd \leftarrow Rd \& Rd$	Z, N, V	1
CLR	Rd	Clear Register	$Rd \leftarrow Rd \oplus Rd$	None	1
SETB	Rd	Set Register	$Rd \leftarrow 0xFF$	None	2
JL	Rd, Rr	Multiply Unsigned	$R1:R0 \leftarrow Rd \times Rr$	Z, C	2
ULS	Rd, Rr	Multiply Signed	$R1:R0 \leftarrow Rd \times Rr$	Z, C	2
ULSU	Rd, Rr	Multiply Signed with Unsigned	$R1:R0 \leftarrow Rd \times Rr$	Z, C	2
MUL	Rd, Rr	Fractional Multiply Unsigned	$R1:R0 \leftarrow (Rd \times Rr) \lll 1$	Z, C	2
MULS	Rd, Rr	Fractional Multiply Signed	$R1:R0 \leftarrow (Rd \times Rr) \lll 1$	Z, C	2
MULSU	Rd, Rr	Fractional Multiply Signed with Unsigned	$R1:R0 \leftarrow (Rd \times Rr) \lll 1$	Z, C	2
<b>BRANCH INSTRUCTIONS</b>					
MP	k	Relative Jump	$PC \leftarrow PC + k + 1$	None	2
JP		Indirect Jump to (Z)	$PC \leftarrow Z$	None	2
JPL	k	Relative Subroutine Call	$PC \leftarrow PC + k + 1$	None	3
JPLL		Indirect Call to (Z)	$PC \leftarrow Z$	None	3
JPLLL		Subroutine Return	$PC \leftarrow STACK$	None	4
IR		Interrupt Return	$PC \leftarrow STACK$	I	4
SE	Rd, Rr	Compare, Skip if Equal	if $(Rd - Rr) \neq 0$ $PC \leftarrow PC + 2$ or 3	None	1 / 2 / 3
SC	Rd, Rr	Compare	$Rd - Rr$	Z, N, V, C, H	1
SCC	Rd, Rr	Compare with Carry	$Rd - Rr - C$	Z, N, V, C, H	1
SCD	Rd, K	Compare Register with Immediate	$Rd - K$	Z, N, V, C, H	1
SKRC	Rr, b	Skip if Bit in Register Cleared	if $(Rr[b] = 0)$ $PC \leftarrow PC + 2$ or 3	None	1 / 2 / 3
SKRS	Rr, b	Skip if Bit in Register is Set	if $(Rr[b] = 1)$ $PC \leftarrow PC + 2$ or 3	None	1 / 2 / 3
SKIC	P, b	Skip if Bit in I/O Register Cleared	if $(P[b] = 0)$ $PC \leftarrow PC + 2$ or 3	None	1 / 2 / 3
SKIS	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
BS	s, k	Branch if Status Flag Set	if $(SREG[s] = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
BSR	s, k	Branch if Status Flag Cleared	if $(SREG[s] = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
BEQ	k	Branch if Equal	if $(Z = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
NEQ	k	Branch if Not Equal	if $(Z = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
BCS	k	Branch if Carry Set	if $(C = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
BCD	k	Branch if Carry Cleared	if $(C = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
BHS	k	Branch if Same or Higher	if $(C = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
HL	k	Branch if Lower	if $(N = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
HLT	k	Branch if Lower or Equal	if $(N = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
HLT	k	Branch if Plus	if $(N \oplus V = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
GT	k	Branch if Greater or Equal, Signed	if $(N \oplus V = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
LT	k	Branch if Less Than Zero, Signed	if $(H = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
HS	k	Branch if Half Carry Flag Set	if $(H = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
HSR	k	Branch if Half Carry Flag Cleared	if $(H = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
CS	k	Branch if T Flag Set	if $(T = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
CSR	k	Branch if T Flag Cleared	if $(T = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
OS	k	Branch if Overflow Flag is Set	if $(V = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
OSR	k	Branch if Overflow Flag is Cleared	if $(V = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
IE	k	Branch if Interrupt Enabled	if $(I = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
IED	k	Branch if Interrupt Disabled	if $(I = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
<b>TRANSFER INSTRUCTIONS</b>					







Mnemonics	Operands	Description	Operation	Flags	#Clocks
MOV	Rd, Rr	Move Between Registers	$Rd \leftarrow Rr$	None	1
MOVW	Rr, 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	Rr, X+	Load Indirect and Post-Inc.	$Rd \leftarrow (X), X \leftarrow X + 1$	None	2
LD	Rr, -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	Rr, 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
LD	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
LD	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	3
PM		Load Program Memory	$R0 \leftarrow (Z)$	None	3
PM	Rd, Z	Load Program Memory	$Rd \leftarrow (Z)$	None	3
PM	Rd, Z+	Load Program Memory and Post-Inc.	$Rd \leftarrow (Z), Z \leftarrow Z + 1$	None	3
PM		Store Program Memory	$(Z) \leftarrow R1:R0$	None	1
I	Rd, P	In Port	$Rd \leftarrow P$	None	1
OUT	P, Rr	Out Port	$P \leftarrow Rr$	None	1
SHR	Rr	Shift Register on Stack	$STACK \leftarrow Rr$	None	2
SHR	Rd	Pop Register from Stack	$Rd \leftarrow STACK$	None	2
<b>T AND BIT-TEST INSTRUCTIONS</b>					
SB	P, b	Set Bit in I/O Register	$IO(P, b) \leftarrow 1$	None	2
CB	P, b	Clear Bit in I/O Register	$IO(P, b) \leftarrow 0$	None	2
SL	Rd	Logical Shift Left	$Rd(n+1) \leftarrow Rd(n), Rd(0) \leftarrow 0$	Z, C, N, V	1
SR	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
BR	Rd	Arithmetic Shift Right	$Rd(r) \leftarrow 3d(n+1), n=0..6$	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
SET	s	Flag Set	$SREG(s) \leftarrow 1$	SREG(s)	1
CLR	s	Flag Clear	$SREG(s) \leftarrow 0$	SREG(s)	1
ST	Rr, b	Bit Store from Register to T	$T \leftarrow Rr(b)$	T	1
LD	Rd, b	Bit Load from T to Register	$Rd(b) \leftarrow T$	None	1
C		Set Carry	$C \leftarrow 1$	C	1
CC		Clear Carry	$C \leftarrow 0$	C	1
S		Set Negative Flag	$N \leftarrow 1$	N	1
CS		Clear Negative Flag	$N \leftarrow 0$	N	1
Z		Set Zero Flag	$Z \leftarrow 1$	Z	1
CZ		Clear Zero Flag	$Z \leftarrow 0$	Z	1
I		Global Interrupt Enable	$I \leftarrow 1$	I	1
DI		Global Interrupt Disable	$I \leftarrow 0$	I	1
SF		Set Signed Test Flag	$S \leftarrow 1$	S	1
CSF		Clear Signed Test Flag	$S \leftarrow 0$	S	1
V		Set Two's Complement Overflow	$V \leftarrow 1$	V	1
CV		Clear Two's Complement Overflow	$V \leftarrow 0$	V	1
T		Set T in SREG	$T \leftarrow 1$	T	1
CT		Clear T in SREG	$T \leftarrow 0$	T	1
H		Set Halt Carry Flag in SREG	$H \leftarrow 1$	H	1
CH		Clear Halt Carry Flag in SREG	$H \leftarrow 0$	H	1
<b>CONTROL INSTRUCTIONS</b>					
		No Operator		None	1

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



## Ordering Information

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

- Notes:
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.

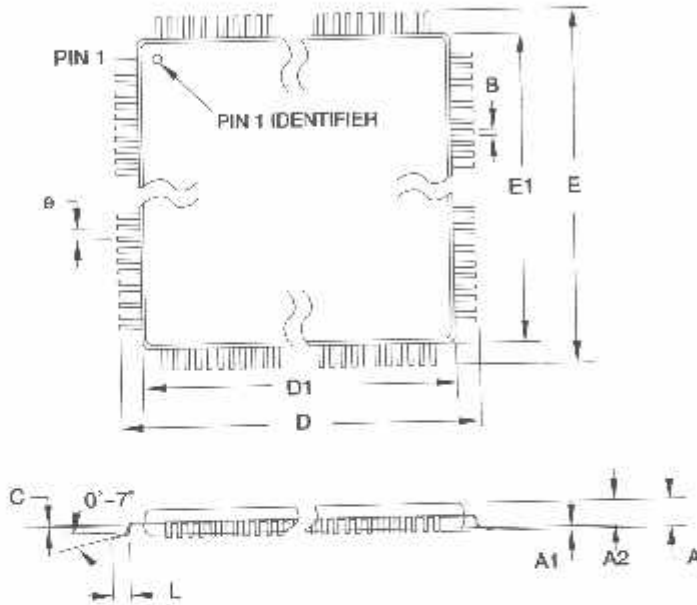
Package Type	
<b>A</b>	44-lead, Thin (1.0 mm) Plastic Gull Wing Quad Flat Package (TQFP)
<b>P6</b>	40-pin, 0.600" Wide, Plastic Dual In-line Package (PDIP)
<b>J</b>	44-lead, Plastic J-leaded Chip Carrier (PLCC)
<b>M1-A</b>	44-pad, 7 x 7 x 1.0 mm body, lead pitch 0.50 mm, Quad Flat No-Lead/Micro Lead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

# ATmega8535(L)

2502HS-AVR-04/06

Packaging Information

4A



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			

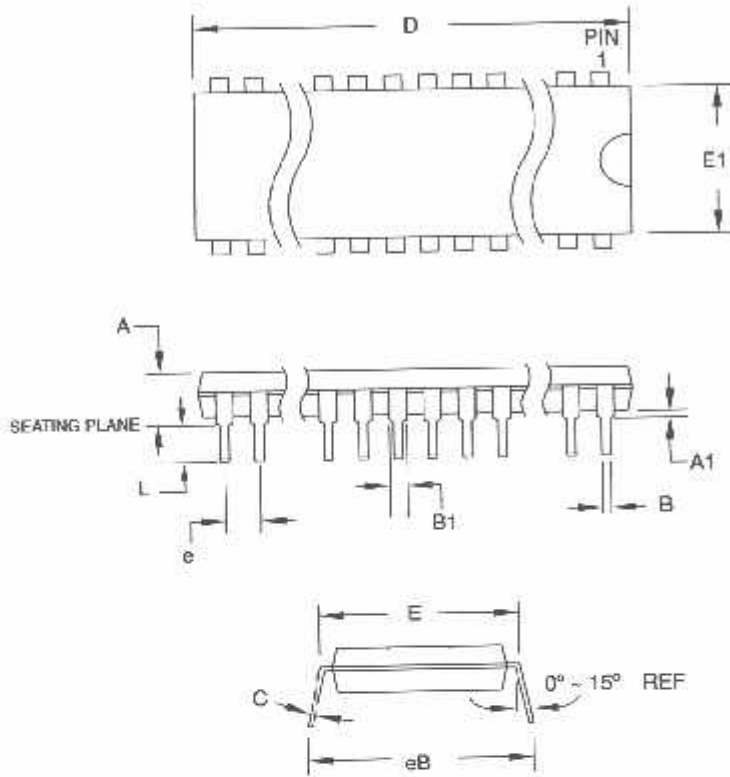
- Notes:
1. This package conforms to JEDEC reference MS-026, Variation ACB.
  2. Dimensions D1 and E1 do not include mold protrusion. Allowable protrusion is 0.25 mm per side. Dimensions D1 and E1 are maximum plastic body size dimensions including mold mismatch.
  3. Lead coplanarity is 0.10 mm maximum.

10/5/2001

**ATMEL** 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.	REV.
44A	B



**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**

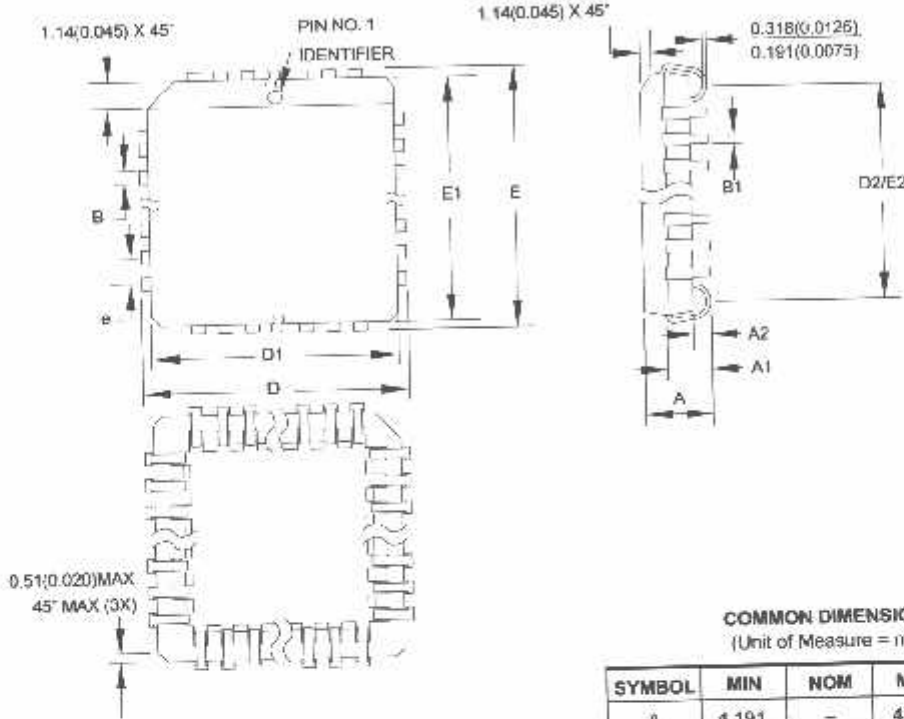
**40P6**, 40-lead (0.600"/15.24 mm Wide) Plastic Dual In-line Package (PDIP)

**DRAWING NO.**

40P6

**REV.**

B



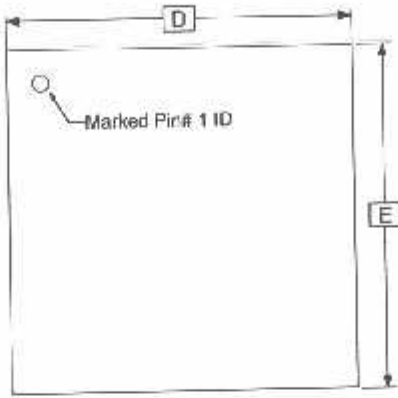
COMMON DIMENSIONS  
(Unit of Measure = mm)

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	14.985	-	16.002	
B	0.860	-	0.813	
B1	0.330	-	0.533	
e	1.270 TYP			

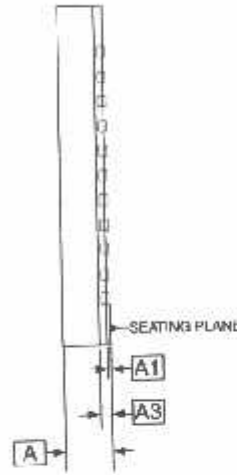
- Notes:
1. This package conforms to JEDEC reference MS-018, Variation AC.
  2. Dimensions D1 and E1 do not include mold protrusion. Allowable protrusion is .010" (0.254 mm) per side. Dimension D1 and E1 include mold mismatch and are measured at the extreme material condition at the upper or lower parting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

10/04/01

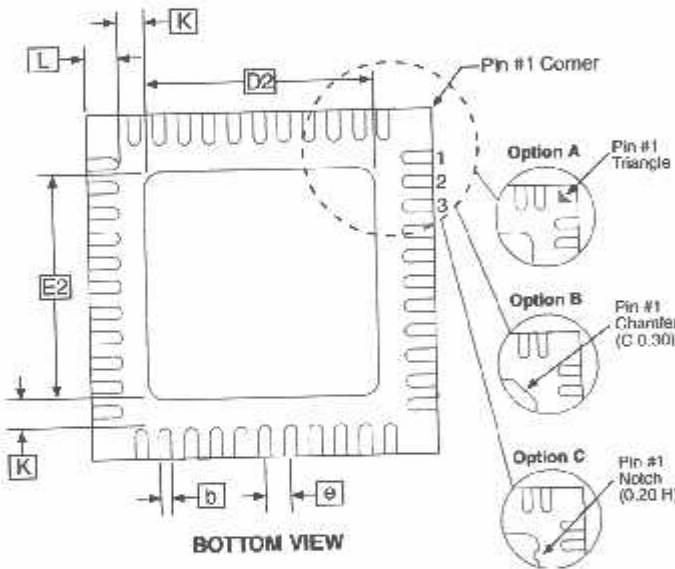
2325 Orchard Parkway San Jose, CA 95131	TITLE	DRAWING NO.	REV.
	<b>44J</b> , 44-lead, Plastic J-Headed Chip Carrier (PLCC)	44J	B



TOP VIEW



SIDE VIEW



BOTTOM VIEW

COMMON DIMENSIONS  
(Unit of Measure = mm)

SYMBOL	MIN	NOM	MAX	NOTE
A	0.80	0.90	1.00	
A1	-	0.02	0.05	
A3	0.25 REF			
b	0.18	0.23	0.30	
D	7.00 BSC			
D2	5.00	5.20	5.40	
E	7.00 BSC			
E2	5.00	5.20	5.40	
e	0.50 BSC			
L	0.59	0.64	0.69	
K	0.20	0.26	0.41	

Note: JEDEC Standard MO-220, Fig. 1 (SAW Singulation) VKKD-3.

3/18/05



2325 Orchard Parkway  
San Jose, CA 95131

**TITLE**  
44M1, 44-pad, 7 x 7 x 1.0 mm Body, Lead Pitch 0.50 mm,  
5.20 mm Exposed Pad, Micro Lead Frame Package (MLF)

**DRAWING NO.**  
44M1

**REV.**  
F

**Errata**

**ATmega8535 all rev.**      No known errata.





## 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.  
502G- 04/05 to Rev.  
502H- 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.  
502F- 06/04 to Rev.  
502G- 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 304.

Changes from Rev.  
502-12/03 to Rev.  
502-06/04

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

Changes from Rev.  
502E-12/03 to Rev.  
502F-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 309.

Changes from Rev.  
502D-09/03 to Rev.  
502E-12/03

1. Updated "Calibrated Internal RC Oscillator" on page 29.
2. Added section "Errata" on page 309.

Changes from Rev.  
502C-04/03 to Rev.  
502D-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 – Preliminary Data" on page 263.
7. Updated "ATmega8535 Typical Characteristics – Preliminary Data" on page 266.

anges from Rev.  
502B-09/02 to Rev.  
502C-04/03

8. Removed CALL and JMP instructions from code examples and "Instruction Set Summary" on page 301.
1. Updated "Packaging Information" on page 305.
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 – Preliminary Data" on page 263.
14. Updated "Register Summary" on page 299.
15. Various Timer 1 corrections.
16. Added WD\_FUSE period in Table 108 on page 253.

anges from Rev.  
02A-06/02 to Rev.  
02B-09/02

1. Changed 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 Hellbronn, 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 Rochepleina  
BP 123  
38521 Saint-Egreve Cedex, France  
Tel: (33) 4-76-58-30-00  
Fax: (33) 4-76-58-34-80

---

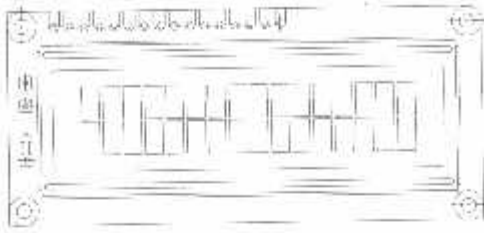
**Literature Requests**  
[www.atmel.com/literature](http://www.atmel.com/literature)

**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.

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

2502HS AVR-04/06

## 16 x 2 Character LCD


**FEATURES**

- 5 x 8 dots with cursor
- Built-in controller (KS 0066 or Equivalent)
- + 5V power supply (Also available for + 3V)
- 1/16 duty cycle
- B/L to be driven by pin 1, pin 2 or pin 15, pin 16 or A.K (LED)
- N.V. optional for + 3V power supply

**MECHANICAL DATA**

ITEM	STANDARD VALUE	UNIT
Module Dimension	80.0 x 36.0	mm
Viewing Area	66.0 x 16.0	mm
Dot Size	0.56 x 0.66	mm
Character Size	2.96 x 5.56	mm

**ABSOLUTE MAXIMUM RATING**

ITEM	SYMBOL	STANDARD VALUE			UNIT
		MIN.	TYP.	MAX.	
Power Supply	VDD-VSS	- 0.3	-	7.0	V
Input Voltage	VI	- 0.3	-	VDD	V

NOTE: VSS = 0 Volt, VDD = 5.0 Volt

**ELECTRICAL SPECIFICATIONS**

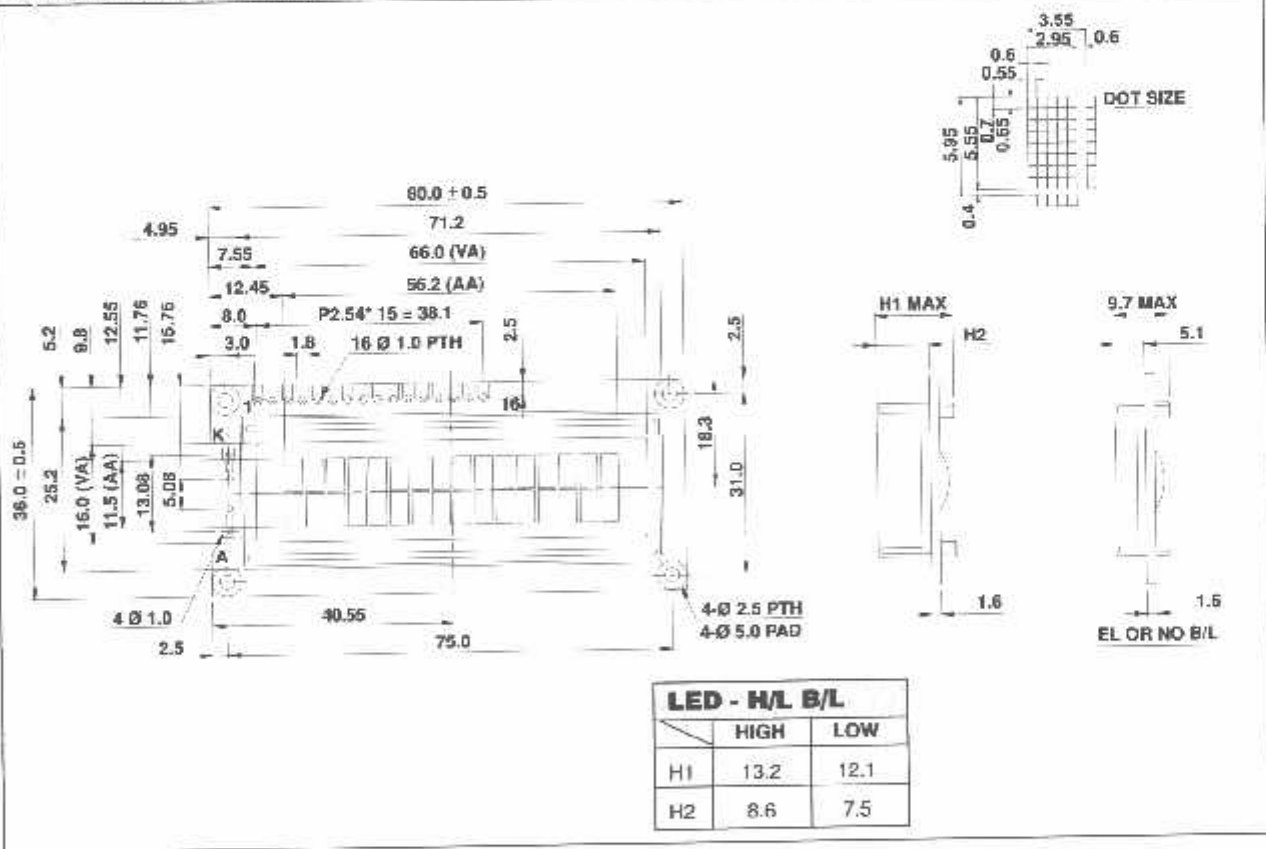
ITEM	SYMBOL	CONDITION	STANDARD VALUE			UNIT	
			MIN.	TYP.	MAX.		
Input Voltage	VDD	VDD = + 5V	4.7	5.0	5.3	V	
		VDD = + 3V	2.7	3.0	5.3	V	
Supply Current	IDD	VDD = 5V	-	1.2	3.0	mA	
Recommended LC Driving Voltage for Normal Temp. Version Module	VDD - V0	- 20 °C	-	-	-	V	
		0°C	4.2	4.8	5.1		
		25°C	3.8	4.2	4.6		
		50°C	3.6	4.0	4.4		
		70°C	-	-	-		
LED Forward Voltage	VF	25°C	-	4.2	4.6	V	
LED Forward Current	IF	25°C	Array	-	130	260	mA
			Edge	-	20	40	
EL Power Supply Current	IEL	Vel = 110VAC:400Hz	-	-	5.0	mA	

**DISPLAY CHARACTER ADDRESS CODE:**

Display Position	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
DD RAM Address	00	01														0F
DD RAM Address	40	41														4F

PIN NUMBER	SYMBOL	FUNCTION
1	Vss	GND
2	Vdd	+ 3V or + 5V
3	Vo	Contrast Adjustment
4	RS	H/L Register Select Signal
5	R/W	H/L Read/Write Signal
6	E	H → L Enable Signal
7	DB0	H/L Data Bus Line
8	DB1	H/L Data Bus Line
9	DB2	H/L Data Bus Line
10	DB3	H/L Data Bus Line
11	DB4	H/L Data Bus Line
12	DB5	H/L Data Bus Line
13	DB6	H/L Data Bus Line
14	DB7	H/L Data Bus Line
15	A/Vee	+ 4.2V for LED/Negative Voltage Output
16	K	Power Supply for B/L (OV)

**DIMENSIONS** in millimeters



# SPC

SMART PERIPHERAL CONTROLLER

## DC MOTOR

### Quick Start

#### Trademarks & Copyright

XT, AT, IBM, PC, and PC-DOS are trademarks of International Business Machines Corp.

MS-DOS is a registered trademark of Microsoft Corporation.

Pentium is a registered trademark of Intel Corporation.

MetaLink ASM51 is copyright by MetaLink Corporation

#### 1. PENDAHULUAN

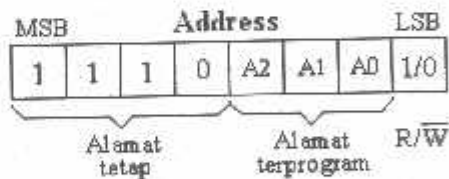
*Smart Peripheral Controller / SPC DC MOTOR* merupakan pengontrol motor DC yang menggunakan I<sup>2</sup>C-bus sebagai jalur penyampaian data sehingga dapat lebih menghemat dan mempermudah pengkabelan. SPC DC MOTOR ini dilengkapi dengan prosedur **input** sehingga dapat mengetahui kecepatan motor pada saat tertentu, juga dilengkapi dengan prosedur **brake** yang dapat menghentikan motor secara cepat. Selain itu SPC DC MOTOR dapat digunakan secara paralel. Contoh aplikasi dari SPC DC MOTOR adalah untuk robot, dan sumber gerak lainnya.

#### 2. SPESIFIKASI EKSTERNAL SPC DC MOTOR

Spesifikasi Eksternal SPC DC MOTOR sebagai berikut :

- Kompatibel penuh dengan DT-51 Minimum System Ver 3.0.
- Hanya perlu 2 jalur kabel untuk interface dengan mikroprosesor / mikrokontroler lain.
- Mempunyai 2 buah pengontrol motor DC yang dapat bekerja secara bersama-sama.
- Masing-masing pengontrol motor DC dilengkapi dengan prosedur input dan brake.
- Dapat dikontrol secara I<sup>2</sup>C-bus maupun paralel.
- Pengaturan kecepatan motor menggunakan metode Pulse Width Modulation (PWM).
- Semua pin-pin kontrol paralel diakses dengan taraf logika TTL.
- Dilengkapi dengan jumper untuk setting alamat, sehingga bila menggunakan I<sup>2</sup>C bus dapat di-ekspan sampai 8 board (16 buah motor DC) tanpa tambahan perangkat keras.
- Tersedia prosedur siap pakai untuk aplikasi SPC DC MOTOR.

#### 3. PENGALAMATAN

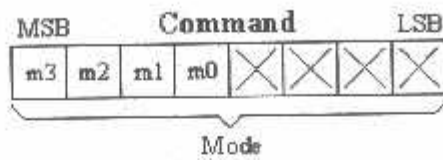


Pengalamatan memanfaatkan register : *AddressI2C* dengan alamat memory 2Fh

Semua penggunaan dari I<sup>2</sup>C-bus selalu diawali dengan pengalamatan. Pada pengalamatan itu sendiri dibedakan menjadi tiga bagian : alamat tetap, alamat terprogram, dan Read/Write (R/W). SPC DC MOTOR selalu menggunakan alamat tetap dengan nilai "1110", sedangkan untuk alamat terprogram digunakan untuk memberikan alamat terhadap modul sesuai dengan kehendak pemakai. Alamat terprogram diatur dengan cara mengganti setting jumper (dapat dilihat pada bagian 6.2) sehingga pada jalur I<sup>2</sup>C yang sama dengan alamat tetap yang sama ("1110") dapat digunakan 8 buah modul secara bersamaan dengan membedakan alamat

terprogram. Bagian Read/Write (R/W) bernilai "1" jika Master I<sup>2</sup>C (DT-51 MinSys / mikrokontroler lain) akan membaca data dari Slave I<sup>2</sup>C (SPC DC Motor) dan bernilai "0" jika DT-51 MinSys / mikrokontroler lain akan menulis data ke SPC DC Motor.

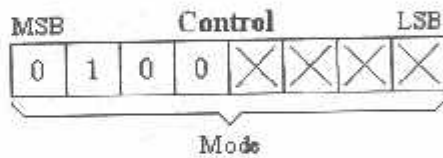
#### 4. Command



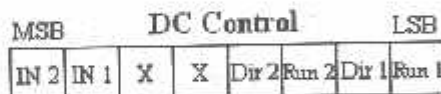
m3	m2	m1	m0	x	x	x	x	Mode
0	0	0	0	X	X	X	X	Tidak terpakai
0	0	0	1	X	X	X	X	Command GateTime
0	0	1	0	X	X	X	X	Command PWM1
0	0	1	1	X	X	X	X	Command PWM2
0	1	0	0	X	X	X	X	Command Control
0	1	0	1	X	X	X	X	Command Input
0	1	1	0	X	X	X	X	Tidak terpakai
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
1	1	1	1	X	X	X	X	Tidak terpakai

Perintah command terdapat bagian utama yaitu Mode. Mode digunakan untuk memilih perintah selanjutnya yang akan diberikan pada device sesuai dengan pilihan mode yang diberikan. Pada command memiliki 16 kemungkinan mode, namun pada SPC DC MOTOR ini hanya digunakan 5 mode saja.

##### 4.1. Command Control



Command Control memanfaatkan register : *DCControl*  
Memanfaatkan alamat memory 3Ch atau dengan nama lain *BufferOut4*



DC Control	Setting ( H/ L )	Fungsi
Run 1	Stop/ Run	Untuk menjalankan dan menghentikan motor DC 1 : Stop beri logika '1' (high) Run beri logika '0' (low)
Dir 1	CW / CCW	Untuk arah putaran motor DC 1 : CW (searah jarum jam) beri logika '1' (high) CCW (berlawanan arah jarum jam) beri logika '0' (low)
Run 2	Stop / Run	Untuk menjalankan dan menghentikan motor DC 2 : Stop beri logika '1' (high) Run beri logika '0' (low)
Dir 2	CW / CCW	Untuk arah putaran motor DC 2 : CW (searah jarum jam) beri logika '1' (high) CCW (berlawanan arah jarum jam) beri logika '0' (low)

In 1	On / Off	Untuk mengaktifkan dan menon-aktifkan input motor DC 1 Mengaktifkan beri logika '1' (high) Menon-aktifkan beri logika '0' (low)
In 2	On / Off	Untuk mengaktifkan dan menon-aktifkan input motor DC 2 Mengaktifkan beri logika '1' (high) Menon-aktifkan beri logika '0' (low)

Pengiriman Command Control diikuti dengan pengiriman DCCControl. Namun dalam Application Layer, user hanya perlu mengisi DCCControl. Command Control akan ditambahkan secara otomatis. DCCControl digunakan untuk mengatur semua kegiatan dari motor DC.

- Jika salah satu dari IN 1 atau IN 2 aktif, maka SPC DC MOTOR akan menghitung pulsa kecepatan motor DC pada input yang aktif. Perhitungan ini akan diperbarui setiap periode (ditentukan oleh command GateTime) sampai input dinon-aktifkan.
- Jika IN 1 dan IN 2 aktif secara bersamaan, maka SPC DC MOTOR akan menghitung pulsa kecepatan motor DC 1 dan pulsa kecepatan motor DC 2 secara bergantian.

**Contoh Aplikasi :**

Bila ingin menjalankan motor DC 1 dengan arah scarah jarum jam dan ingin mengetahui kecepatan dari motor DC 1 maka register DCCControl dapat diisi dengan nilai '01000110b atau setara dengan '46h'.

Bila ingin membuat motor DC berhenti maka Control Run 1 harus dibuat 'high', yaitu: '01000111b'.

**4.2. Command PWM**



Command PWM1 memanfaatkan register : **PWM1**

Memanfaatkan alamat memory 3Ah atau dengan nama lain *BufferOut2* untuk PWM1

Command PWM2 memanfaatkan register : **PWM2**

Memanfaatkan alamat memory 3Bh atau dengan nama lain *BufferOut3* untuk PWM2

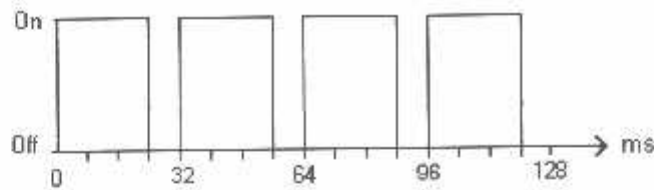
Pengiriman Command PWM diikuti dengan pengiriman PWM1 dan/atau PWM2. Namun dalam Application Layer, user hanya perlu mengisi PWM1 dan/atau PWM2. Command PWM akan ditambahkan secara otomatis. Nilai PWM1 dan PWM2 digunakan untuk mengatur kecepatan putaran motor DC, dengan cara menghidupkan dan mematikan motor DC secara bergantian dalam satu periode (32 ms) secara terus menerus. PWM hanya akan berfungsi jika motor DC dalam keadaan 'Run'.

Nilai dari PWM ini dapat diatur mulai dari 0 sampai 255 (FFh). Berikut ini adalah rumus perhitungan PWM dalam satu periode :

<b>Ton</b> = 32 ms	Untuk	PWM = 0
<b>Toff</b> = 0 ms		
<b>Ton</b> = (255 - PWM) * 0.125 ms	Untuk	1 < PWM ≤ 255
<b>Toff</b> = 32 ms - Ton		

Sebagai contoh, jika nilai PWM diset pada posisi 63d (3Fh), maka motor DC secara periodik berada pada posisi "On" selama 24 ms, dan pada posisi "Off" selama 8 ms. Berikut ini adalah timing diagram dari nilai PWM 63d (3Fh).





Ada 2 buah register yang digunakan untuk mengatur setting PWM. Register **PWM1** digunakan untuk mengatur setting PWM motor DC 1 dan register **PWM2** digunakan untuk mengatur setting PWM motor DC 2.

**Contoh Aplikasi :**

Bila dikehendaki motor DC 1 berjalan dengan PWM 75% dan motor DC 2 berjalan dengan PWM 30%, maka perhitungannya sebagai berikut :

❖ Motor DC 1

$$T_{on} = 75\% * 32 \text{ ms} \\ = 24 \text{ ms}$$

Dari rumus di atas maka diperoleh

$$24 \text{ ms} = (255 - PWM_1) * 0.125 \text{ ms}$$

isi register PWM1 = '63d'

❖ Motor DC 2

$$T_{on} = 30\% * 32 \text{ ms} \\ = 9,6 \text{ ms}$$

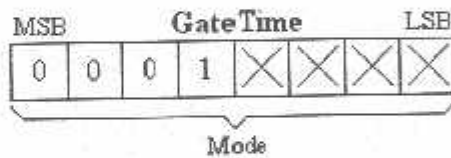
Dari rumus di atas maka diperoleh

$$9,6 \text{ ms} = (255 - PWM_2) * 0.125 \text{ ms}$$

$$PWM_2 = 178,2$$

Dibulatkan ke bilangan desimal terdekat maka isi register PWM2 = '178d'

**4.3. Command GateTime**



Command GateTime memanfaatkan register : **GateTime**

Memanfaatkan alamat memory 39h atau dengan nama lain *BufferOut1*

GateTime	Time	Resolusi
80 H	2000 ms	0.5 Hz
40 H	1000 ms	1 Hz
20 H	500 ms	2 Hz
10 H	250 ms	4 Hz
08 H	125 ms	8 Hz
04 H	62.5 ms	16 Hz
02 H	31,25 ms	32 Hz
01 H	15,625 ms	64 Hz

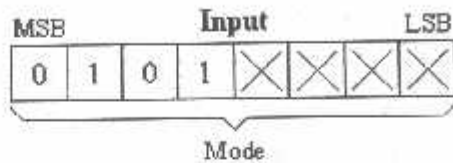
Pengiriman Command GateTime diikuti dengan pengiriman GateTime. Namun dalam Application Layer, user hanya perlu mengisi GateTime. Command GateTime akan ditambahkan secara otomatis. GateTime digunakan untuk mengatur besarnya waktu yang dibutuhkan untuk menghitung banyaknya pulsa kecepatan motor DC setiap periode. Ada delapan nilai GateTime yang dapat digunakan, seperti yang terlihat pada tabel di atas. Semakin besar nilai GateTime, perhitungan pulsa kecepatan motor DC akan semakin akurat.

namun waktu yang dibutuhkan untuk menghitung kecepatan dalam satu periode lebih lama. Default GateTime dari SPC DC MOTOR ini adalah '08h'.

**Contoh :**

Jika GateTime diberi nilai '20h', maka waktu yang dibutuhkan untuk menghitung pulsa kecepatan motor DC adalah 500 ms, dan kesalahan perhitungannya adalah = 1 Hz.

**4.4. Command Input**



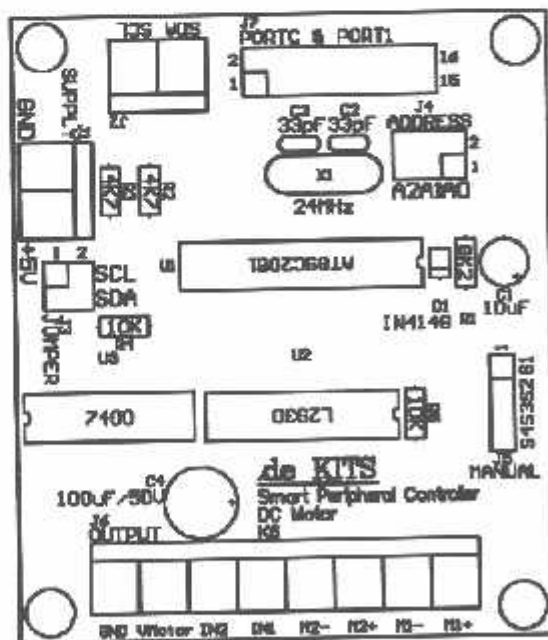
Command Input memanfaatkan register : *InputH1, InputL1, InputH2, InputL2.*

- Memanfaatkan alamat memory 30h atau dengan nama lain *BufferIn0* untuk InputH1
- Memanfaatkan alamat memory 31h atau dengan nama lain *BufferIn1* untuk InputL1
- Memanfaatkan alamat memory 32h atau dengan nama lain *BufferIn2* untuk InputH2
- Memanfaatkan alamat memory 33h atau dengan nama lain *BufferIn3* untuk InputL2

Pengiriman Command Input diikuti dengan pembacaan InputH1 dan InputL1 dan/atau InputH2 dan InputL2. Namun dalam Application Layer, user hanya perlu membaca InputH1 dan InputL1 dan/atau InputH2 dan InputL2. Command Input akan ditambahkan secara otomatis. InputH1, InputL1, InputH2, dan InputL2 digunakan untuk menyimpan hasil perhitungan pulsa kecepatan putaran motor DC dalam satu detik. Command Input hanya dapat digunakan, jika motor DC dilengkapi dengan data input kecepatan putaran motor yang berupa pulsa TTL. Perhitungan dilakukan saat terjadi transisi dari high menjadi low dari data input kecepatan. Semakin cepat putaran motor, maka pulsa yang dihasilkan akan semakin tinggi frekuensinya. Sebuah motor DC dalam satu putaran bisa menghasilkan lebih dari satu pulsa tergantung dari spesifikasi motor DC tersebut.

Pada SPC DC MOTOR ini, pulsa maksimum yang dapat dihasilkan dalam satu detik adalah 65.535 (16 bit), yang disimpan didalam dua register yaitu *InputH1* (bit 8-15) dan *InputL1* (bit 0-7) untuk motor DC 1 dan *InputH2* (bit 8-15) dan *InputL2* (bit 0-7) untuk motor DC 2.

**5. TATA LETAK KOMPONEN SPC DC MOTOR**



## 6. SISTEM YANG DIANJURKAN

### Perangkat keras :

- PC XT / AT Pentium™ IBM Compatible dengan port serial (COM 1/ COM2).
- Board DT-51 Minimum System.
- Floppy Disk 3.5" , kapasitas 1,44Mbytes atau CD-ROM Drive.
- Hard disk dengan kapasitas minimum 500Kbytes.

### Perangkat lunak :

- Sistem operasi MS-DOS™ atau PC-DOS™.
- Assembler ASM51<sup>20</sup>
- File-file yang ada pada pada disket/CD program.

### 6.1. HUBUNGAN DT-51 MINIMUM SYSTEM DENGAN SPC DC MOTOR

SPC DC MOTOR merupakan suatu sistem yang 'Smart'. Selain dapat dihubungkan dengan DT-51 Minimum System atau dengan sistem mikroprosesor / mikrokontroler yang lain, SPC DC MOTOR dapat juga difungsikan secara paralel (lihat bagian 6.4). Apabila Anda ingin menghubungkan SPC DC MOTOR dengan sistem yang lain kami sarankan untuk mempelajari skema SPC DC MOTOR.

Untuk menghubungkan SPC DC MOTOR dengan DT-51 Minimum System dianjurkan untuk menggunakan kabel pita (flat ribbon cable). Hubungannya ditunjukkan pada tabel berikut :

I <sup>2</sup> C Bus	DT-51 Minimum System PORT C & PORT I	SPC DC MOTOR J7
SCL	Pin 15 (Port 1.6)	Pin 15 (Port 3.3)
SDA	Pin 16 (Port 1.7)	Pin 16 (Port 3.2)

Catu daya 5V DC dihubungkan dengan konektor J1 (Supply). Perhatikan polaritasnya jangan sampai terbalik, karena dapat mengakibatkan kerusakan.

### **Penting !**

Referensi ground (GND) antara modul SPC DC MOTOR dengan DT-51 Minimum System harus sama.

### 6.2. SETTING JUMPER

Alamat terprogram setiap board SPC DC MOTOR ditentukan oleh setting jumper J4.

J4 (A2)	J4 (A1)	J4(A0)	Alamat Terprogram	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	000
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		1	001
<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	2	010
<input type="checkbox"/>			3	011
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4	100
	<input type="checkbox"/>		5	101
		<input type="checkbox"/>	6	110
			7 (default)	111

Keterangan :

: jumper tersambung (ON)

Jumper J3 (Pull up SCL/SDA) digunakan untuk resistor pull up SDA (I<sup>2</sup>C bus data input / output) dan SCL (I<sup>2</sup>C bus clock input). Apabila lebih dari satu board SPC DC MOTOR dihubungkan pada I<sup>2</sup>C bus maka hanya perlu memasang jumper J3 pada salah satu board saja.

### 6.3. EKSPANSI SPC DC MOTOR

SPC DC MOTOR dapat di-ekspan sampai 8 board. Beberapa hal yang perlu diperhatikan apabila menggunakan lebih dari satu board SPC DC MOTOR :

- Setiap board harus mempunyai alamat terprogram yang berbeda, ditentukan oleh jumper

- J4 (A0/A1/A2).
- Jumper J3 pada salah satu board saja yang dipasang.

#### 6.4. PENGGUNAAN SPC DC MOTOR SECARA PARALEL

SPC DC MOTOR dapat digunakan secara paralel dengan cara mengatur pin-pin S1, S2, S3, dan S4 yang ada pada board SPC DC MOTOR.

Berikut adalah tabel kegunaan dari pin-pin tersebut:

Pin	Name	Setting	Fungsi
S1	Run 1	Stop / Run	Untuk menjalankan atau mematikan motor DC 1 Stop beri logika '1' (high) Run beri logika '0' (low)
S2	Dir 1	CW / CCW	Untuk arah putaran motor DC 1 CW (searah jarum jam) beri logika '1' (high) CCW (berlawanan arah jarum jam) beri logika '0' (low)
S3	Run 2	Stop / Run	Untuk menjalankan atau mematikan motor DC 2 Stop beri logika '1' (high) Run beri logika '0' (low)
S4	Dir 2	CW / CCW	Untuk arah putaran motor DC 2 CW (searah jarum jam) beri logika '1' (high) CCW (berlawanan arah jarum jam) beri logika '0' (low)

- Secara default jika pin-pin S1, S2, S3, dan S4 tersebut tidak dihubungkan (Floating/mengambang) maka akan selalu berlogika "high".
- Untuk dapat menjalankan SPC DC MOTOR secara paralel, setting kedua motor DC pada register **DCControl** harus dalam keadaan Stop.
- Apabila pada saat yang bersamaan terjadi pengaturan secara 'I<sup>2</sup>C' dan 'Paralel' maka yang menjadi prioritas adalah I<sup>2</sup>C, setelah perintah I<sup>2</sup>C selesai dilaksanakan maka perintah paralel baru dapat dilaksanakan.
- Untuk pengaturan PWM secara paralel, dapat dilakukan dengan cara memberi pulsa secara periodik pada pin S1 atau S3 dengan frekuensi maksimal 10 KHz.

#### Contoh Aplikasi :

Bila diinginkan motor DC 1 dijalankan secara paralel dengan PWM 50% dan putaran searah jarum jam, maka pin S2 diberi logika '1' dan pin S1 diberi sinyal kotak dengan periode high dan periode low yang sama besarnya.

#### 6.5. PENYAMBUNGAN SPC DC MOTOR DENGAN MOTOR DC

Dalam penyambungan motor DC dengan modul SPC DC MOTOR perlu diperhatikan tipe dari motor DC yang akan dipergunakan.

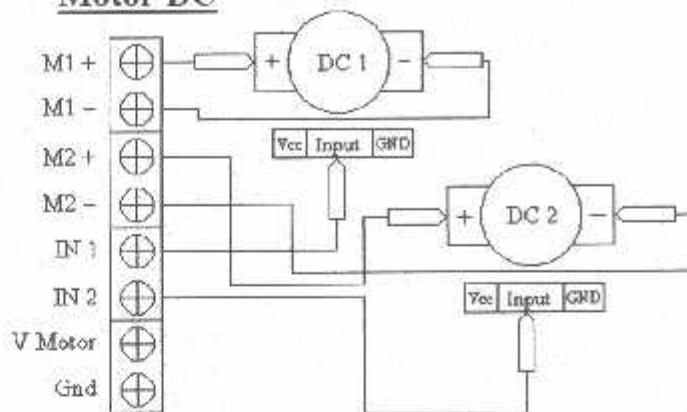
Modul SPC DC MOTOR dapat dipergunakan untuk dua buah motor DC yang mempunyai tegangan kerja yang sama. Modul SPC DC MOTOR ini dapat digunakan baik untuk motor DC yang mempunyai data input kecepatan maupun yang tidak mempunyai data input kecepatan. Untuk motor DC yang tidak mempunyai data input kecepatan, prosedur input dan Brake yang terdapat pada SPC DC MOTOR ini tidak dapat digunakan.

Berikut adalah cara pemasangan dari kedua buah motor DC yang dilengkapi dengan data input.

- ❑ Modul SPC DC MOTOR dapat dipergunakan untuk motor DC dengan tegangan kerja dari 5 Volt sampai dengan 36 Volt.
- ❑ Arus RMS maksimum untuk modul SPC DC MOTOR adalah 600 mA.
- ❑ Arus impuls tak berulang maksimum untuk modul SPC DC MOTOR adalah 1.2 A.
- ❑ Sudah dilengkapi dioda clamp secara internal.
- ❑ Hubungkan catu daya positif (+) untuk motor DC pada *V<sub>motor</sub>* dan catu daya negatif (-) pada *GND*.  
Tegangannya harus sesuai dengan tegangan kerja motor.
- ❑ Untuk motor DC 1, sambungkan kutub positif motor DC pada M1+ dan kutub negatif motor DC pada M1- serta data input pada IN1 secara benar.
- ❑ Untuk motor DC 2, sambungkan kutub positif motor DC pada M2+ dan kutub negatif

motor DC pada M2- serta data input pada IN2 secara benar (lihat gambar).

### Motor DC



#### 6.6. MENCoba SPC DC MOTOR DENGAN EXAMPLE.HEX

- ◆ Hubungkan DT-51 Minimum System dengan SPC DC MOTOR (lihat bagian 6.1)
  - ◆ Hubungkan SPC DC MOTOR dengan motor DC (lihat bagian 6.5)
  - ◆ Setting alamat SPC DC MOTOR pada alamat terprogram ke-7 (default)
  - ◆ Download EXAMPLE.HEX yang terdapat pada disket/CD
  - ◆ Motor DC 1 akan bergerak secara Clockwise (CW) dengan PWM 100 % dan input 1 aktif sedangkan motor DC 2 akan bergerak secara Counter Clockwise (CCW) dengan PWM 50 %.
- Setelah 5 detik, motor DC 1 dihentikan dengan menggunakan prosedur Brake sedangkan motor DC 2 dihentikan secara manual (tanpa prosedur Brake). Demikian seterusnya.

## 7. PERANGKAT LUNAK SPC DC MOTOR

### 7.1. DRIVER DAN RUTIN

SPC DC MOTOR dilengkapi dengan driver **DCMOTOR.INC** yang akan mempermudah user dalam pemrograman. **DCMOTOR.INC** menggunakan resource dari mikrokontroler 89C51 sebagai berikut :

- Internal RAM alamat 21h bit 0 dan 1
- Internal RAM dengan alamat 2Fh – 3Fh, dan 40h - 43h
- P1.6 dan P1.7

Sehingga tidak boleh dipakai oleh user untuk keperluan lain, kecuali user mampu melakukan modifikasi pengaturan memori dengan benar.

Driver ini menggunakan 13 buah register yang terdiri dari:

AddressI2C	GateTime	PWM1	PWM2	DCControl
InputH1	InputL1	InputH2	InputL2	
BrakeH1	BrakeL1	BrakeH2	BrakeL2	

Kegunaan dari register-register tersebut dapat dilihat pada **bagian 4**.

Dari register tersebut akan digunakan dalam 9 rutin penting berikut :

#### DC Init

Fungsi : Untuk menginisialisasi SPC DC Motor.  
 Input : AddressI2C, GateTime, PWM1, PWM2 dan DCControl  
 Output : Flag FAck  
 Keterangan :

- ❖ Rutin ini digunakan untuk memberikan nilai awal atau inisialisasi tanpa menjalankan motor DC, yaitu dengan memberi logika high '1' pada setting Run dari DCControl.
- ❖ Rutin ini dapat juga digunakan untuk menjalankan rutin SetGateTime, SetPWM1, SetPWM2 dan SetControl dalam satu buah rutin.

❖ Jika Flag **FAck** bernilai '1' maka SPC DC MOTOR siap untuk digunakan.

Metode : Isi register **AddressI2C**, **GateTime**, **PWM1**, **PWM2** dan **DCControl** sesuai dengan kebutuhan kemudian panggil rutin **DCInit**.

#### **SetGateTime**

Fungsi : Mengatur besarnya waktu yang dibutuhkan untuk menghitung pulsa input kecepatan motor DC dalam satu periode.

Input : **AddressI2C** dan **GateTime**

Output : Flag **FAck**

Keterangan : Tabel pengaturan nilai register **GateTime** ini dapat dilihat pada **bagian 4.3**.

Metode : Isi register **AddressI2C** dan **GateTime** sesuai dengan kebutuhan kemudian panggil rutin **SetGateTime**.

#### **SetPWM1**

Fungsi : Mengatur kecepatan putaran motor DC 1

Input : **AddressI2C** dan **PWM1**

Output : Flag **FAck**

Keterangan : Perhitungan kecepatan putaran motor DC 1 dapat dilihat pada **bagian 4.2**.

Metode : Isi register **AddressI2C** dan **PWM1** sesuai dengan kebutuhan kemudian panggil rutin **SetPWM1**.

#### **SetPWM2**

Fungsi : Mengatur kecepatan putaran motor DC 2

Input : **AddressI2C** dan **PWM2**

Output : Flag **FAck**

Keterangan : Perhitungan kecepatan putaran motor DC 2 dapat dilihat pada **bagian 4.2**.

Metode : Isi register **AddressI2C** dan **PWM2** sesuai dengan kebutuhan kemudian panggil rutin **SetPWM2**.

#### **SetControl**

Fungsi : Untuk menjalankan atau menghentikan motor DC, mengubah arah putaran motor DC, dan mengaktifkan perhitungan pulsa input kecepatan pada motor DC.

Input : **AddressI2C** dan **DCControl**

Output : Flag **FAck**

Keterangan :

- ❖ Rutin ini digunakan untuk mengatur semua aktivitas dari SPC DC MOTOR.
- ❖ Tabel dari nilai register **DCControl** ini dapat dilihat pada **bagian 4.1**.

Metode : Isi register **AddressI2C** dan **DCControl** sesuai dengan kebutuhan kemudian panggil rutin **SetControl**.

#### **GetInput1**

Fungsi : Menyimpan hasil perhitungan pulsa input kecepatan motor DC 1.

Input : **AddressI2C**

Output : **InputHI** dan **InputLI**

Keterangan : Hasil dari rutin ini disimpan pada register **InputHI** untuk bit 8-15 dan register **InputLI** untuk bit 0-7.

Metode : Isi register **AddressI2C** sesuai dengan alamat kemudian panggil rutin **GetInput1**.

#### **GetInput2**

Fungsi : Menyimpan hasil perhitungan pulsa input kecepatan motor DC 2.

Input : **AddressI2C**

Output : **InputH2** dan **InputL2**

Keterangan : Hasil dari rutin ini disimpan pada register **InputH2** untuk bit 8-15 dan register **InputL2** untuk bit 0-7.

Metode : Isi register AddressI2C sesuai dengan alamat kemudian panggil rutin GetInput2.

### **Brake1**

Fungsi : Untuk menghentikan motor DC 1 secara cepat.

Input : AddressI2C, BrakeH1 dan BrakeL1

Output : InputH1, InputL1

Keterangan :

- ❖ Fungsi ini hanya bisa digunakan, jika motor DC 1 dilengkapi dengan data input kecepatan putaran motor.
- ❖ Motor DC 1 akan berhenti jika pulsa input kecepatan lebih rendah dari input brake.
- ❖ Nilai pulsa input kecepatan terakhir sebelum motor DC 1 berhenti disimpan pada register InputH1 dan InputL1.

Metode : Isi register AddressI2C, **BrakeH1** untuk bit 8-15 dan **BrakeL1** untuk bit 0-7 sesuai dengan kebutuhan kemudian panggil rutin Brake1.

### **Brake2**

Fungsi : Untuk menghentikan motor DC 2 secara cepat.

Input : AddressI2C, BrakeH2 dan BrakeL2

Output : InputH2, InputL2

Keterangan :

- ❖ Fungsi ini hanya bisa digunakan, jika motor DC 2 dilengkapi dengan data input kecepatan putaran motor.
- ❖ Motor DC 2 akan berhenti jika pulsa input kecepatan lebih rendah dari input brake.
- ❖ Nilai pulsa input kecepatan terakhir sebelum motor DC 2 berhenti disimpan pada register InputH2 dan InputL2.

Metode : Isi register AddressI2C, **BrakeH2** untuk bit 8-15 dan **BrakeL2** untuk bit 0-7 sesuai dengan kebutuhan kemudian panggil rutin Brake2.

## 7.2. CONTOH APLIKASI DAN PROGRAM

Bila dikhendaki modul SPC DC MOTOR dengan alamat terprogram ke-5 menjalankan motor DC 1 yang mempunyai input kecepatan dengan arah searah jarum jam (CW) dengan setting PWM 75% dan menjalankan motor DC 2 yang tidak mempunyai input kecepatan dengan arah berlawanan jarum jam (CCW) dengan PWM 50%.

Setelah 5 detik, arah motor DC 1 berubah menjadi berlawanan jarum jam (CCW) dengan PWM 25% dan arah motor DC 2 menjadi searah jarum jam (CW) dengan PWM 100%.

Lima detik kemudian motor DC 2 berhenti, dan 5 detik kemudian motor DC 1 juga berhenti.

### Listing program untuk kasus diatas:

```
$MOD51
CSEG
ORG 4000H
LJMP Start

ORG 4100H
$INCLUDE(ENG_I2C.INC) ;Driver untuk semua produk
;SPC I2C (HARUS DITULISKAN
;TERLEBIH DAHULU SEBELUM
;DCMOTOR.INC)
$INCLUDE(DCMOTOR.INC) ;Driver SPC DC MOTOR

Delay5s:
MOV R5, #28H
D1: MOV R6, #0FFH
D2: MOV R7, #0FFH
DJNZ R7, $
DJNZ R6, D2
DJNZ R5, D1
RET
```

Start:

```
MOV SP, #50H
MOV AddressI2C, #11101010B ;memasukkan alamat i2c
MOV DCControl, #01000010B ;memasukkan nilai DCControl
MOV PWM1, #03FH ;memasukkan PWM 1 = 75%
MOV PWM2, #07FH ;memasukkan PWM 2 = 50%
ACALL DCInit ;memanggil rutin DCInit
ACALL Delay5s ;Delay 5 detik

MOV PWM1, #0BFH ;memasukkan PWM 1 = 25%
ACALL SetPWM1 ;memanggil rutin SetPWM1
MOV PWM2, #00H ;memasukkan PWM 2 = 100%
ACALL SetPWM2 ;memanggil rutin SetPWM2
MOV DCControl, #01001000B ;memasukkan nilai DCControl
ACALL SetControl ;memanggil rutin SetControl
ACALL Delay5s ;Delay 5 detik

MOV DCControl, #10001100B ;memasukkan nilai DCControl
ACALL SetControl ;memanggil rutin SetControl
ACALL Delay5s ;Delay 5 detik

ACALL GetInput1 ;memanggil rutin GetInput1
MOV BrakeH1, #20H ;\memasukkan input Brake 1
MOV BrakeL1, #00H ;/
ACALL Brake1 ;memanggil rutin Brake1
END
```

**Catatan :**

- ◆ Bagi user yang ingin mempelajari lebih lanjut mengenai SPC DC MOTOR dapat membaca MANUAL SPC DC MOTOR.PDF serta contoh program EXAMPLE.ASM yang disertakan pada disket/CD.
- ◆ Technical Support : [support@innovativeelectronics.com](mailto:support@innovativeelectronics.com)



# 2003 THRU 2024

Data Sheet  
29304F

## HIGH-VOLTAGE, HIGH-CURRENT DARLINGTON ARRAYS

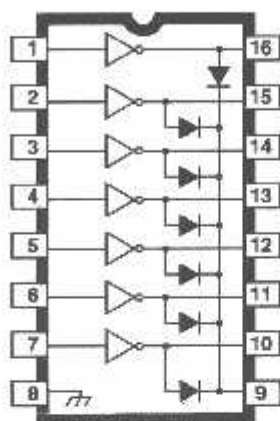


Fig. No. A-9594

Note that the ULN20xxA series (dual in-line package) and ULN20xxL series (small-outline IC package) are electrically identical and share a common terminal number assignment.

Ideally suited for interfacing between low-level logic circuitry and multiple peripheral power loads, the Series ULN20xxA/L high-voltage, high-current Darlington arrays feature continuous load current ratings to 500 mA for each of the seven drivers. At an appropriate duty cycle depending on ambient temperature and number of drivers turned ON simultaneously, typical power loads totaling over 230 W (350 mA x 7, 95 V) can be controlled. Typical loads include relays, solenoids, stepping motors, magnetic print hammers, multiplexed LED and incandescent displays, and heaters. All devices feature open-collector outputs with integral clamp diodes.

The ULN2003A/L and ULN2023A/L have series input resistors selected for operation directly with 5 V TTL or CMOS. These devices will handle numerous interface needs — particularly those beyond the capabilities of standard logic buffers.

The ULN2004A/L and ULN2024A/L have series input resistors for operation directly from 6 to 15 V CMOS or PMOS logic outputs.

The ULN2003A/L and ULN2004A/L are the standard Darlington arrays. The outputs are capable of sinking 500 mA and will withstand at least 50 V in the OFF state. Outputs may be paralleled for higher load current capability. The ULN2023A/L and ULN2024A/L will withstand 95 V in the OFF state.

These Darlington arrays are furnished in 16-pin dual in-line plastic packages (suffix "A") and 16-lead surface-mountable SOICs (suffix "L"). All devices are pinned with outputs opposite inputs to facilitate ease of circuit board layout. All devices are rated for operation over the temperature range of -20°C to +85°C. Most (see matrix, next page) are also available for operation to -40°C; to order, change the prefix from "ULN" to "ULQ".

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Output Voltage, $V_{OL}$	
(ULN200xA and ULN200xL) .....	50 V
(ULN202xA and ULN202xL) .....	95 V
Input Voltage, $V_{IN}$ .....	30 V
Continuous Output Current,	
$I_C$ .....	500 mA
Continuous Input Current, $I_{IN}$ .....	25 mA
Power Dissipation, $P_D$	
(one Darlington pair) .....	1.0 W
(total package) .....	See Graph
Operating Temperature Range,	
$T_A$ .....	-20°C to +85°C
Storage Temperature Range,	
$T_s$ .....	-55°C to +150°C

### FEATURES

- TTL, DTL, PMOS, or CMOS-Compatible Inputs
- Output Current to 500 mA
- Output Voltage to 95 V
- Transient-Protected Outputs
- Dual In-Line Plastic Package or Small-Outline IC Package

x = digit to identify specific device. Characteristic shown applies to family of devices with remaining digits as shown. See matrix on next page.



**2003 THRU 2024  
HIGH-VOLTAGE,  
HIGH-CURRENT  
DARLINGTON ARRAYS**

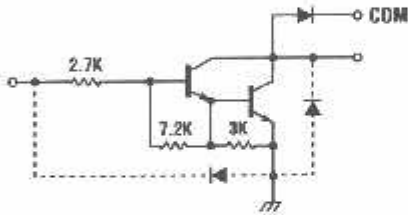
**DEVICE PART NUMBER DESIGNATION**

$V_{CE(MAX)}$	50 V	95 V
$I_{C(MAX)}$	500 mA	500 mA
<b>Logic</b>	<b>Part Number</b>	
5V TTL, CMOS	ULN2003A* ULN2003L*	ULN2023A* ULN2023L
6-15 V CMOS, PMOS	ULN2004A* ULN2004L*	ULN2024A ULN2024L

\*Also available for operation between -40°C and +85°C. To order, change prefix from "ULN" to "ULQ".

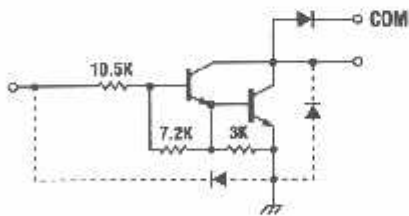
**PARTIAL SCHEMATICS**

**ULN20x3A/L (Each Driver)**

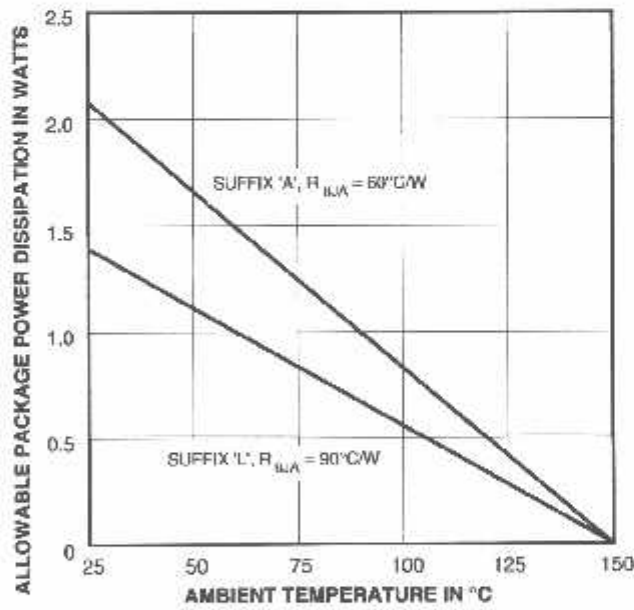


Dwg. No. A-9851

**ULN20x4A/L (Each Driver)**



Dwg. No. A-8884



Dwg. GP-006A

X = Digit to identify specific device. Specification shown applies to family of devices with remaining digits as shown. See matrix above.



115 Northeast Cutoff, Box 15036  
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000  
Copyright © 1974, 1998 Allegro MicroSystems, Inc.

**2003 THRU 2024  
HIGH-VOLTAGE,  
HIGH-CURRENT  
DARLINGTON ARRAYS**

Types ULN2003A, ULN2003L, ULN2004A, and ULN2004L  
ELECTRICAL CHARACTERISTICS at +25°C (unless otherwise noted).

Characteristic	Symbol	Test Fig.	Applicable Devices	Test Conditions	Limits			
					Min.	Typ.	Max.	Units
Output Leakage Current	$I_{CEX}$	1A	All	$V_{CE} = 50\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$	—	< 1	50	$\mu\text{A}$
				$V_{CE} = 50\text{ V}, T_A = 70^\circ\text{C}$	—	< 1	100	$\mu\text{A}$
		1B	ULN2004A/L	$V_{CE} = 50\text{ V}, T_A = 70^\circ\text{C}, V_{IN} = 1.0\text{ V}$	—	< 5	500	$\mu\text{A}$
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(SAT)}$	2	All	$I_C = 100\text{ mA}, I_B = 250\text{ }\mu\text{A}$	—	0.9	1.1	V
				$I_C = 200\text{ mA}, I_B = 350\text{ }\mu\text{A}$	—	1.1	1.3	V
				$I_C = 350\text{ mA}, I_B = 500\text{ }\mu\text{A}$	—	1.3	1.6	V
Input Current	$I_{IN(ON)}$	3	ULN2003A/L	$V_{IN} = 3.85\text{ V}$	—	0.93	1.35	mA
			ULN2004A/L	$V_{IN} = 5.0\text{ V}$	—	0.35	0.5	mA
				$V_{IN} = 12\text{ V}$	—	1.0	1.45	mA
	$I_{IN(OFF)}$	4	All	$I_C = 500\text{ }\mu\text{A}, T_A = 70^\circ\text{C}$	50	65	—	$\mu\text{A}$
Input Voltage	$V_{IN(ON)}$	5	ULN2003A/L	$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 200\text{ mA}$	—	—	2.4	V
				$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 250\text{ mA}$	—	—	2.7	V
				$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 300\text{ mA}$	—	—	3.0	V
		ULN2004A/L	$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 125\text{ mA}$	—	—	5.0	V	
			$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 200\text{ mA}$	—	—	6.0	V	
			$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 275\text{ mA}$	—	—	7.0	V	
			$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 350\text{ mA}$	—	—	8.0	V	
Input Capacitance	$C_{IN}$	—	All		—	15	25	pF
Turn-On Delay	$t_{PLH}$	8	All	$0.5 E_{IN}$ to $0.5 E_{OUT}$	—	0.25	1.0	$\mu\text{s}$
Turn-Off Delay	$t_{PHL}$	8	All	$0.5 E_{IN}$ to $0.5 E_{OUT}$	—	0.25	1.0	$\mu\text{s}$
Clamp Diode Leakage Current	$I_R$	6	All	$V_R = 50\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$	—	—	50	$\mu\text{A}$
				$V_R = 50\text{ V}, T_A = 70^\circ\text{C}$	—	—	100	$\mu\text{A}$
Clamp Diode Forward Voltage	$V_F$	7	All	$I_F = 350\text{ mA}$	—	1.7	2.0	V

Complete part number includes suffix to identify package style: A = DIP, L = SOIC.

**2003 THRU 2024**  
**HIGH-VOLTAGE,**  
**HIGH-CURRENT**  
**DARLINGTON ARRAYS**

Types **ULN2023A, ULN2023L, ULN2024A, and ULN2024L**  
**ELECTRICAL CHARACTERISTICS at +25°C (unless otherwise noted).**

Characteristic	Symbol	Test Fig.	Applicable Devices	Test Conditions	Limits			
					Min.	Typ.	Max.	Units
Output Leakage Current	$I_{CEX}$	1A	All	$V_{CE} = 95\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$	—	< 1	50	$\mu\text{A}$
				$V_{CE} = 95\text{ V}, T_A = 70^\circ\text{C}$	—	< 1	100	$\mu\text{A}$
		1B	ULN2024A/L	$V_{CE} = 95\text{ V}, T_A = 70^\circ\text{C}, V_{IN} = 1.0\text{ V}$	—	< 5	500	$\mu\text{A}$
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(SAT)}$	2	All	$I_C = 100\text{ mA}, I_B = 250\text{ }\mu\text{A}$	—	0.9	1.1	V
				$I_C = 200\text{ mA}, I_B = 350\text{ }\mu\text{A}$	—	1.1	1.3	V
				$I_C = 350\text{ mA}, I_B = 500\text{ }\mu\text{A}$	—	1.3	1.6	V
Input Current	$I_{IN(ON)}$	3	ULN2023A/L	$V_{IN} = 3.85\text{ V}$	—	0.93	1.35	mA
			ULN2024A/L	$V_{IN} = 5.0\text{ V}$	—	0.35	0.5	mA
				$V_{IN} = 12\text{ V}$	—	1.0	1.45	mA
	$I_{IN(OFF)}$	4	All	$I_C = 500\text{ }\mu\text{A}, T_A = 70^\circ\text{C}$	50	65	—	$\mu\text{A}$
Output Voltage	$V_{IN(ON)}$	5	ULN2023A/L	$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 200\text{ mA}$	—	—	2.4	V
				$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 250\text{ mA}$	—	—	2.7	V
				$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 300\text{ mA}$	—	—	3.0	V
		ULN2024A/L	$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 125\text{ mA}$	—	—	5.0	V	
			$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 200\text{ mA}$	—	—	6.0	V	
			$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 275\text{ mA}$	—	—	7.0	V	
			$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 350\text{ mA}$	—	—	8.0	V	
Input Capacitance	$C_{IN}$	—	All		—	15	25	pF
Turn-On Delay	$t_{PLH}$	8	All	$0.5 E_{IN}$ to $0.5 E_{OUT}$	—	0.25	1.0	$\mu\text{s}$
Turn-Off Delay	$t_{PHL}$	8	All	$0.5 E_{IN}$ to $0.5 E_{OUT}$	—	0.25	1.0	$\mu\text{s}$
Reverse Diode Leakage Current	$I_R$	6	All	$V_R = 95\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$	—	—	50	$\mu\text{A}$
				$V_R = 95\text{ V}, T_A = 70^\circ\text{C}$	—	—	100	$\mu\text{A}$
Forward Diode Voltage	$V_F$	7	All	$I_F = 350\text{ mA}$	—	1.7	2.0	V

Complete part number includes suffix to identify package style: A = DIP, L = SOIC.

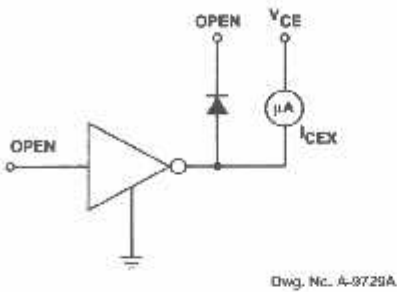


115 Northeast Cutoff, Box 15036  
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000

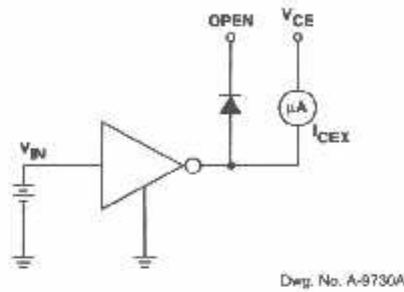
**2003 THRU 2024  
HIGH-VOLTAGE,  
HIGH-CURRENT  
DARLINGTON ARRAYS**

**TEST FIGURES**

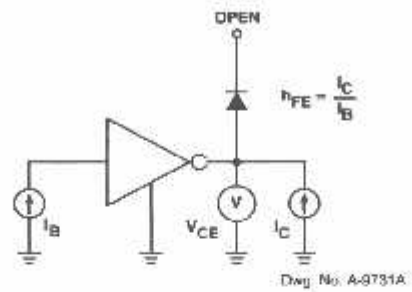
**FIGURE 1A**



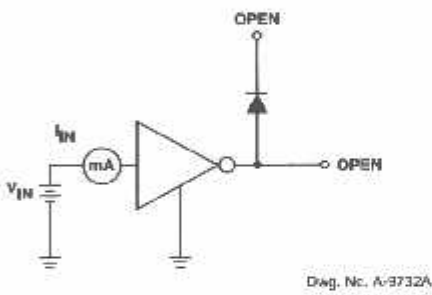
**FIGURE 1B**



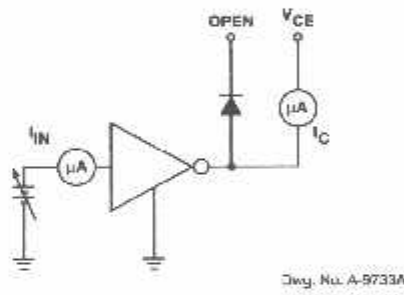
**FIGURE 2**



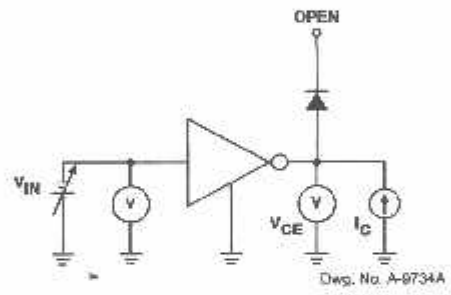
**FIGURE 3**



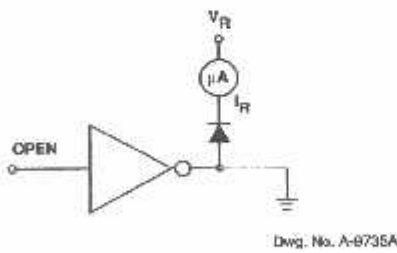
**FIGURE 4**



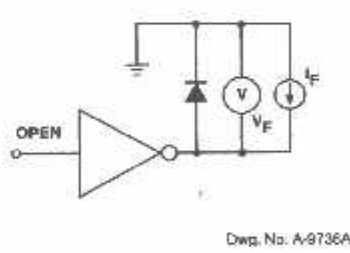
**FIGURE 5**



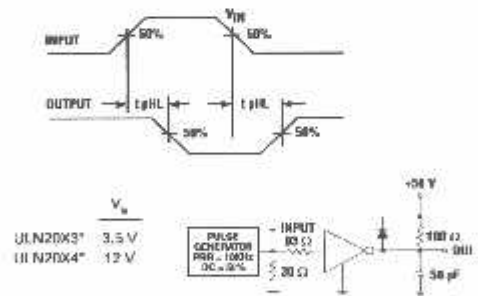
**FIGURE 6**



**FIGURE 7**



**FIGURE 8**

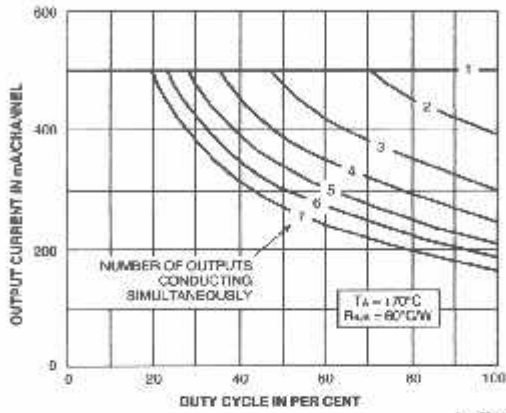


Complete part number includes a final letter to indicate package.

= Digit to identify specific device. Specification shown applies to family of devices with remaining digits as shown.

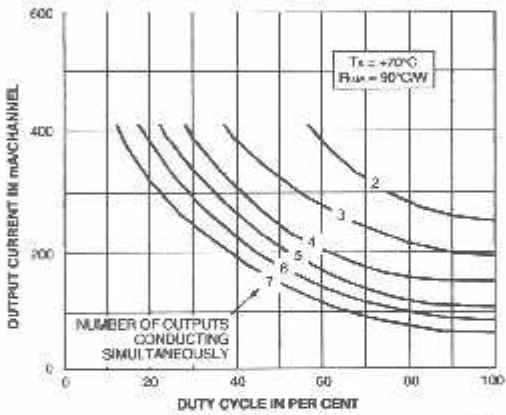
**2003 THRU 2024  
HIGH-VOLTAGE,  
HIGH-CURRENT  
DARLINGTON ARRAYS**

**ALLOWABLE COLLECTOR CURRENT  
AS A FUNCTION OF DUTY CYCLE  
(Dual In-line-Packaged Devices, Suffix 'A')**



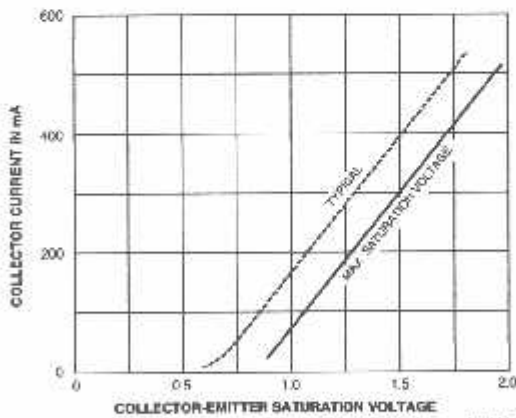
Dwg. GP4.1

**(Small-Outline-Packaged Devices, Suffix 'L')**



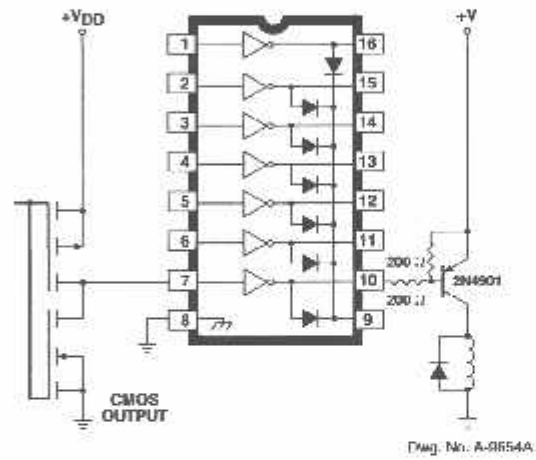
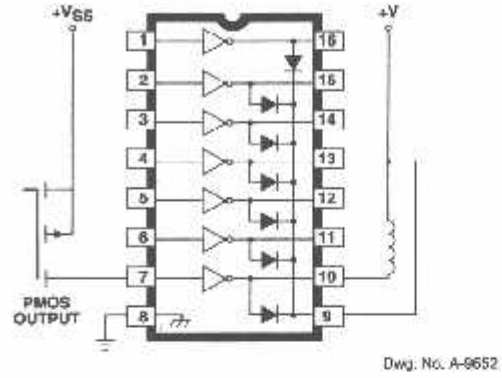
Dwg. GP100A

**SATURATION VOLTAGE  
AS A FUNCTION OF COLLECTOR CURRENT**

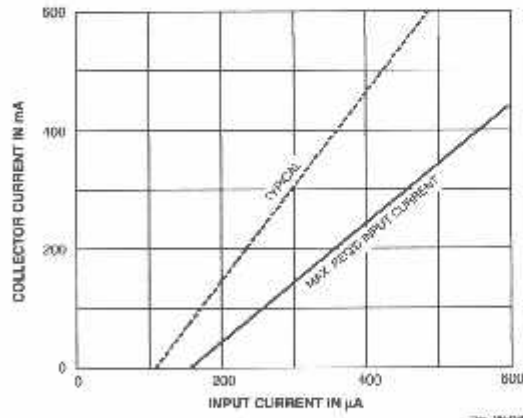


Dwg. GP101

**TYPICAL APPLICATIONS**



**COLLECTOR CURRENT AS A  
FUNCTION OF INPUT CURRENT**



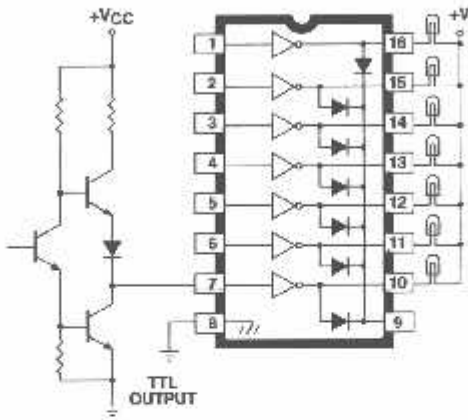
Dwg. GP102



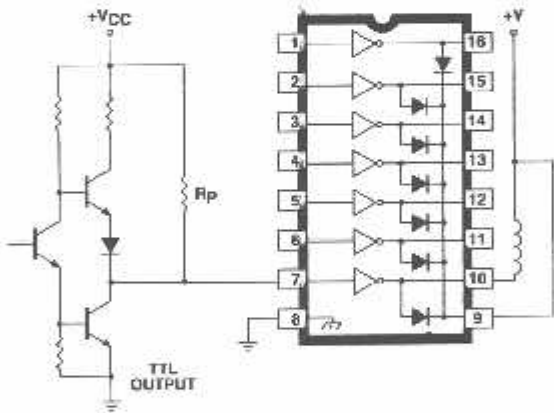
115 Northeast Cutoff, Box 15036  
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000

**2003 THRU 2024  
HIGH-VOLTAGE,  
HIGH-CURRENT  
DARLINGTON ARRAYS**

**TYPICAL APPLICATIONS**



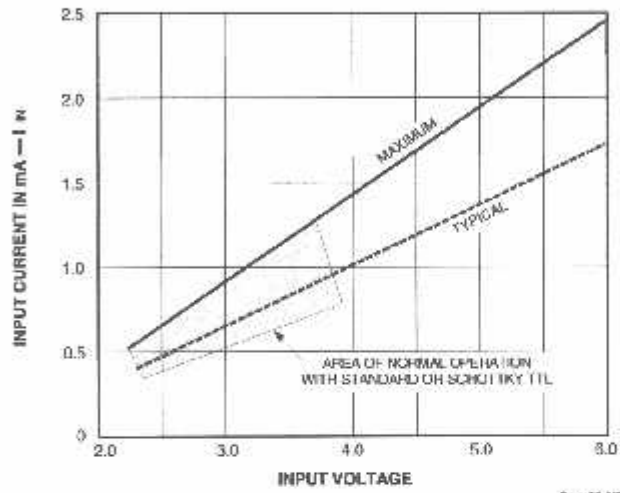
Dep. No. A-9850A



Dep. No. A-10,175

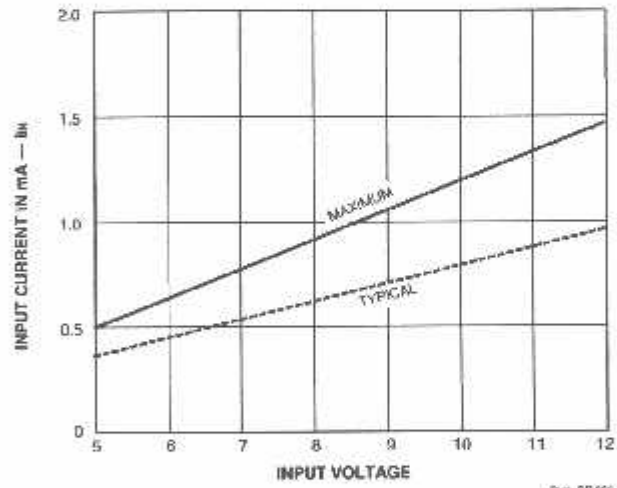
**INPUT CURRENT  
AS A FUNCTION OF INPUT VOLTAGE**

Types ULN2003A, ULN2003L, ULN2023A, and  
ULN2023L



Dep. 01-99

Types ULN2004A, ULN2004L, ULN2024A, and  
ULN2024L

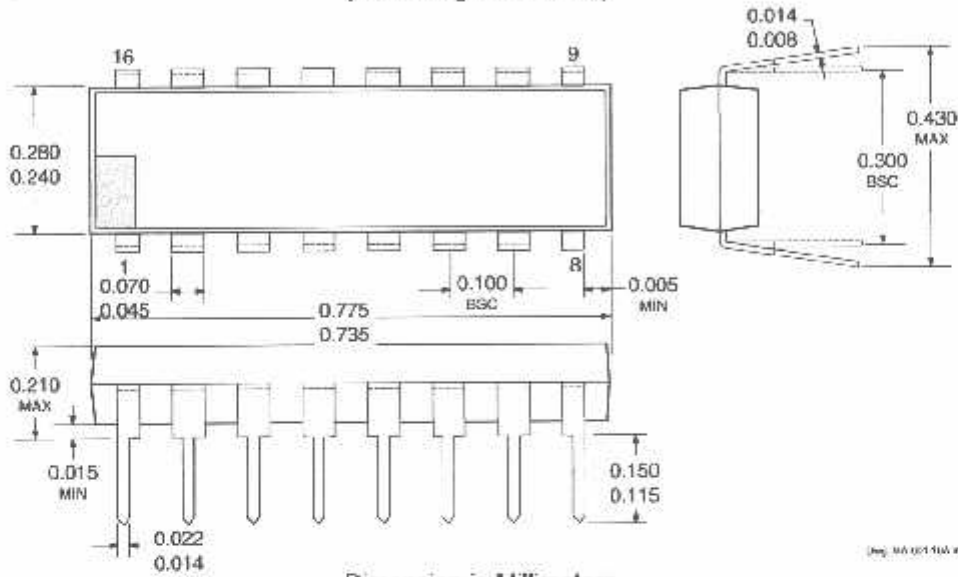


Dep. SP-06-1

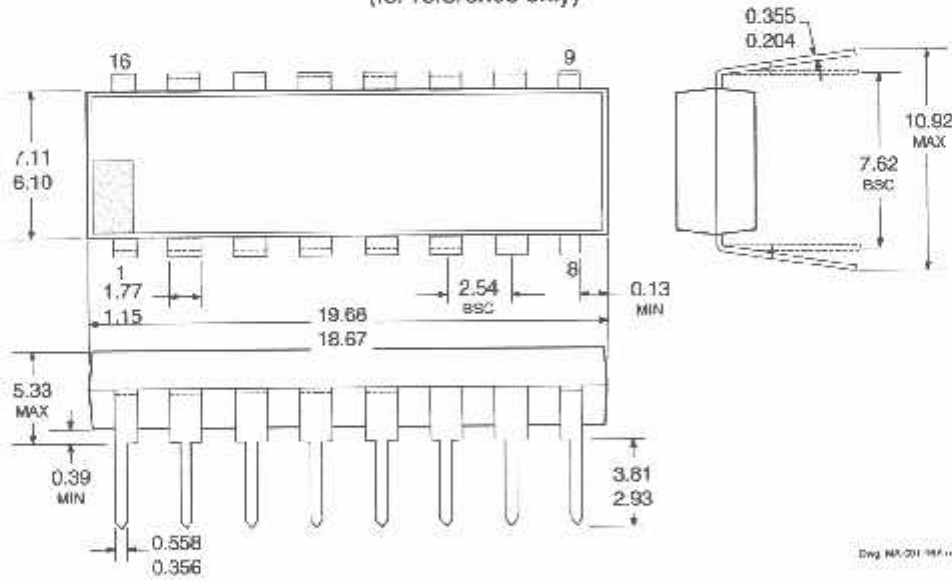
**2003 THRU 2024  
HIGH-VOLTAGE,  
HIGH-CURRENT  
DARLINGTON ARRAYS**

**PACKAGE DESIGNATOR "A"**

Dimensions in Inches  
(controlling dimensions)



Dimension in Millimeters  
(for reference only)



- ES: 1. Leads 1, 8, 9, and 16 may be half leads at vendor's option.  
 2. Lead thickness is measured at seating plane or below.  
 3. Lead spacing tolerance is non-cumulative.  
 4. Exact body and lead configuration at vendor's option within limits shown.



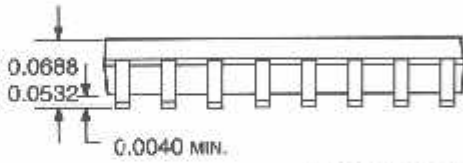
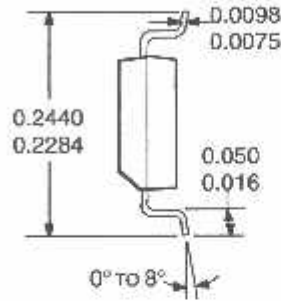
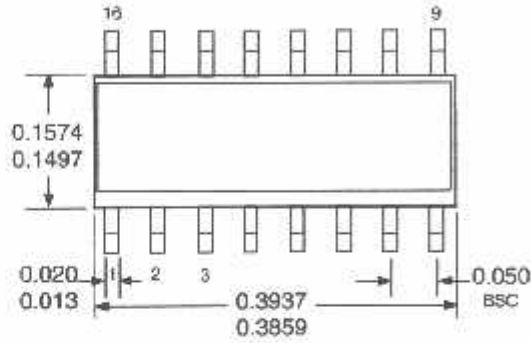
115 Northeast Cutoff, Box 15036  
 Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000



**2003 THRU 2024  
HIGH-VOLTAGE,  
HIGH-CURRENT  
DARLINGTON ARRAYS**

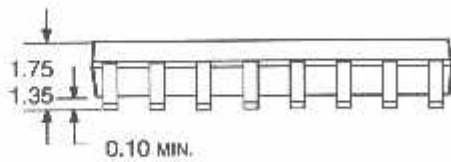
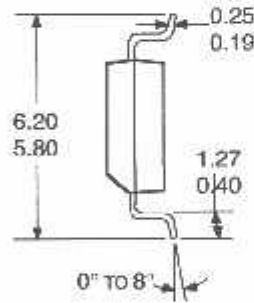
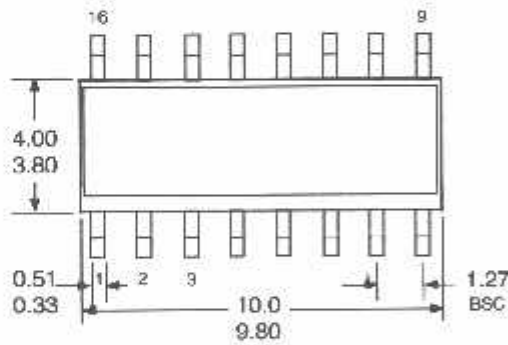
**PACKAGE DESIGNATOR "L"**

Dimensions in Inches  
(for reference only)



Dwg. MA-007-16 n

Dimension in Millimeters  
(controlling dimensions)



Dwg. NA-007-16A mm

- NOTES: 1. Lead spacing tolerance is non-cumulative,  
2. Exact body and lead configuration at vendor's option within limits shown.



# Monolithic Thermocouple Amplifiers with Cold Junction Compensation

## AD594/AD595

### FEATURES

- Pretrimmed for Type J (AD594) or Type K (AD595) Thermocouples
- Can Be Used with Type T Thermocouple Inputs
- Low Impedance Voltage Output: 10 mV/°C
- Built-In Ice Point Compensation
- Wide Power Supply Range: +5 V to ±15 V
- Low Power: <1 mW typical
- Thermocouple Failure Alarm
- Laser Wafer Trimmed to 1°C Calibration Accuracy
- Setpoint Mode Operation
- Self-Contained Celsius Thermometer Operation
- High Impedance Differential Input
- Side-Brazed DIP or Low Cost Cerdip

### PRODUCT DESCRIPTION

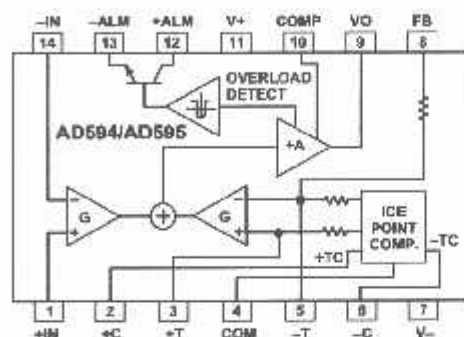
The AD594/AD595 is a complete instrumentation amplifier and thermocouple cold junction compensator on a monolithic chip. It combines an ice point reference with a precalibrated amplifier to produce a high level (10 mV/°C) output directly from a thermocouple signal. Pin-strapping options allow it to be used as a linear amplifier-compensator or as a switched output setpoint controller using either fixed or remote setpoint control. It can be used to amplify its compensation voltage directly, thereby converting it to a stand-alone Celsius transducer with a low impedance voltage output.

The AD594/AD595 includes a thermocouple failure alarm that indicates if one or both thermocouple leads become open. The alarm output has a flexible format which includes TTL drive capability.

The AD594/AD595 can be powered from a single ended supply (including +5 V) and by including a negative supply, temperatures below 0°C can be measured. To minimize self-heating, an unloaded AD594/AD595 will typically operate with a total supply current 160 µA, but is also capable of delivering in excess of ±5 mA to a load.

The AD594 is precalibrated by laser wafer trimming to match the characteristic of type J (iron-constantan) thermocouples and the AD595 is laser trimmed for type K (chromel-alumel) inputs. The temperature transducer voltages and gain control resistors

### FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



are available at the package pins so that the circuit can be recalibrated for the thermocouple types by the addition of two or three resistors. These terminals also allow more precise calibration for both thermocouple and thermometer applications.

The AD594/AD595 is available in two performance grades. The C and the A versions have calibration accuracies of ±1°C and ±3°C, respectively. Both are designed to be used from 0°C to +50°C, and are available in 14-pin, hermetically sealed, side-brazed ceramic DIPs as well as low cost cerdip packages.

### PRODUCT HIGHLIGHTS

1. The AD594/AD595 provides cold junction compensation, amplification, and an output buffer in a single IC package.
2. Compensation, zero, and scale factor are all precalibrated by laser wafer trimming (LWT) of each IC chip.
3. Flexible pinout provides for operation as a setpoint controller or a stand-alone temperature transducer calibrated in degrees Celsius.
4. Operation at remote application sites is facilitated by low quiescent current and a wide supply voltage range +5 V to dual supplies spanning 30 V.
5. Differential input rejects common-mode noise voltage on the thermocouple leads.

### REV. C

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.  
Tel: 781/329-4700 World Wide Web Site: <http://www.analog.com>  
Fax: 781/326-8703 © Analog Devices, Inc., 1999

# AD594/AD595—SPECIFICATIONS (@ +25°C and $V_S = 5\text{ V}$ , Type J (AD594), Type K (AD595) Thermocouple, unless otherwise noted)

Model	AD594A			AD594C			AD595A			AD595C			Units
	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
<b>ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS</b>													
+ $V_S$ to $-V_S$	36			36			36			36			Volts
Common-Mode Input Voltage	$-V_S - 0.15$	$+V_S$		$-V_S - 0.15$	$+V_S$		$-V_S - 0.15$	$+V_S$		$V_S - 0.15$	$-V_S$		Volts
Differential Input Voltage	$-V_S$	$+V_S$		$-V_S$	$+V_S$		$-V_S$	$+V_S$		$-V_S$	$-V_S$		Volts
<b>Alarm Voltages</b>													
+ALM	$-V_S$	$-V_S + 36$		$-V_S$	$-V_S + 36$		$-V_S$	$-V_S + 36$		$V_S$	$-V_S + 36$		Volts
-ALM	$-V_S$	$+V_S$		$-V_S$	$+V_S$		$-V_S$	$+V_S$		$-V_S$	$-V_S$		Volts
Operating Temperature Range	-55	+125		-55	+125		-55	+125		-55	+125		°C
Output Short Circuit to Common	Indefinite			Indefinite			Indefinite			Indefinite			
<b>TEMPERATURE MEASUREMENT</b> (Specified Temperature Range: 0°C to +50°C)													
Calibration Error at +25°C <sup>1</sup>	±4			±4			±3			±1			°C
Stability vs. Temperature <sup>2</sup>	±0.05			±0.025			±0.05			±0.025			°C/°C
Gain Error	±1.5			±0.75			±1.5			±0.75			%
Nominal Transfer Function	10			10			10			10			mV/°C
<b>AMPLIFIER CHARACTERISTICS</b>													
Closed Loop Gain <sup>3</sup>	193.4			193.4			247.3			247.3			
Input Offset Voltage	(Temperature in °C) × 51.70 μV/°C			(Temperature in °C) × 51.70 μV/°C			(Temperature in °C) × 40.44 μV/°C			(Temperature in °C) × 40.44 μV/°C			μV
Input Bias Current	0.1			0.1			0.1			0.1			μA
Differential Input Range	-10	+50		-10	+50		-10	+50		-10	+50		mV
Common-Mode Range	$-V_S - 0.15$	$-V_S - 4$		$-V_S - 0.15$	$-V_S - 4$		$-V_S - 0.15$	$-V_S - 4$		$-V_S - 0.15$	$-V_S - 4$		Volts
Common-Mode Sensitivity - RTD	10			10			10			10			mV/V
Power Supply Sensitivity - RTD	10			10			10			10			mV/V
Output Voltage Range													
Dual Supply	$-V_S + 2.5$	$+V_S - 2$		$-V_S + 2.5$	$+V_S - 2$		$-V_S + 2.5$	$+V_S - 2$		$-V_S + 2.5$	$+V_S - 2$		Volts
Single Supply	0	$+V_S - 2$		0	$+V_S - 2$		0	$+V_S - 2$		0	$+V_S - 2$		Volts
Usable Output Current <sup>4</sup>	±5			±5			±5			±5			mA
3 dB Bandwidth	15			15			15			15			kHz
<b>ALARM CHARACTERISTICS</b>													
$V_{(MAX)}$ at 2 mA	0.3			0.3			0.3			0.3			Volts
Leakage Current	±1			±1			±1			±1			μA max
Operating Voltage at -ALM	$+V_S + 4$			$+V_S + 4$			$+V_S + 4$			$+V_S + 4$			Volts
Short Circuit Current	20			20			20			20			mA
<b>POWER REQUIREMENTS</b>													
Specified Performance Operating <sup>5</sup>	$+V_S = 5, -V_S = 0$ $+V_S$ to $-V_S \leq 30$			$+V_S = 5, -V_S = 0$ $+V_S$ to $-V_S \leq 30$			$+V_S = 5, -V_S = 0$ $+V_S$ to $-V_S \leq 30$			$+V_S = 5, -V_S = 0$ $+V_S$ to $-V_S \leq 30$			Volts
Quiescent Current (No Load)													
+ $V_S$	160	300		160	300		160	300		160	300		μA
$-V_S$	100			100			100			100			μA
<b>PACKAGE OPTION</b>													
TO-116 (J-14)	AD594AD			AD594CD			AD595AD			AD595CD			
CerDip (Q-14)	AD594AQ			AD594CQ			AD595AQ			AD595CQ			

## NOTES

<sup>1</sup>Calibrated for minimum error at +25°C using a thermocouple sensitivity of 11.7 μV/°C. Since a J type thermocouple deviates from this straight line approximation, the AD594 will normally read 3.1 mV when the measuring junction is at 0°C. The AD595 will similarly read 2.7 mV at 0°C.

<sup>2</sup>Defined as the slope of the line connecting the AD594/AD595 errors measured at 0°C and 50°C ambient temperature.

<sup>3</sup>Pin 8 connected to Pin 9.

<sup>4</sup>Current Sink Capability in single supply configuration is limited to current drawn to ground through a 50 kΩ resistor at output voltages below 2.5 V.

<sup>5</sup> $I_S$  must not exceed -16.5 V.

Calculations shown in boldface are tested on all production units at final electrical test. Results from these tests are used to calculate outgoing quality levels. All min and max specifications guaranteed, although only those shown in boldface are tested on all production units. Specifications subject to change without notice.

## INTERPRETING AD594/AD595 OUTPUT VOLTAGES

To achieve a temperature proportional output of 10 mV/°C and to accurately compensate for the reference junction over the rated operating range of the circuit, the AD594/AD595 is gain trimmed to match the transfer characteristic of J and K type thermocouples at 25°C. For a type J output in this temperature range the TC is 70 μV/°C, while for a type K it is 40.44 μV/°C. The resulting gain for the AD594 is 193.4 (10 mV/°C divided by 51.7 μV/°C) and for the AD595 is 247.3 (10 mV/°C divided by 40.44 μV/°C). In addition, an absolute accuracy trim induces an input offset to the output amplifier characteristic of 16 μV for the AD594 and 11 μV for the AD595. This offset arises because the AD594/AD595 is trimmed for a 250 mV output while applying a 25°C thermocouple input.

Because a thermocouple output voltage is nonlinear with respect to temperature, and the AD594/AD595 linearly amplifies the

compensated signal, the following transfer functions should be used to determine the actual output voltages:

$$AD594 \text{ output} = (\text{Type J Voltage} + 16 \mu\text{V}) \times 193.4$$

$$AD595 \text{ output} = (\text{Type K Voltage} + 11 \mu\text{V}) \times 247.3 \text{ or conversely:}$$

$$\text{Type J voltage} = (AD594 \text{ output}/193.4) - 16 \mu\text{V}$$

$$\text{Type K voltage} = (AD595 \text{ output}/247.3) - 11 \mu\text{V}$$

Table I lists the ideal AD594/AD595 output voltages as a function of Celsius temperature for type J and K ANSI standard thermocouples, with the package and reference junction at 25°C. As is normally the case, these outputs are subject to calibration, gain and temperature sensitivity errors. Output values for intermediate temperatures can be interpolated, or calculated using the output equations and ANSI thermocouple voltage tables referred to zero degrees Celsius. Due to a slight variation in alloy content between ANSI type J and DIN FE-CUNI

Table I. Output Voltage vs. Thermocouple Temperature (Ambient +25°C,  $V_S = -5\text{ V}, +15\text{ V}$ )

Thermocouple Temperature °C	Type J Voltage mV	AD594 Output mV	Type K Voltage mV	AD595 Output mV
-200	-7.890	-1523	-5.891	-1454
-180	-7.402	-1428	-5.550	-1370
-160	-6.821	-1316	-5.141	-1269
-140	-6.159	-1188	-4.669	-1152
-120	-5.426	-1046	-4.138	-1021
-100	-4.632	-891	-3.553	-876
-80	-3.785	-729	-2.920	-719
-60	-2.892	-556	-2.243	-552
-40	-1.960	-376	-1.527	-375
-20	-995	-189	-777	-189
-10	-501	-91	-393	-91
0	0	0	0	0
10	507	101	397	101
20	1.019	200	798	200
25	1.277	250	1.000	250
30	1.536	300	1.203	300
40	2.056	401	1.611	401
50	2.585	503	2.022	503
60	3.115	606	2.436	605
80	4.186	813	3.266	810
100	5.268	1022	4.095	1015
120	6.359	1233	4.919	1219
140	7.457	1445	5.733	1420
160	8.560	1659	6.539	1620
180	9.667	1873	7.338	1817
200	10.777	2087	8.137	2015
220	11.887	2302	8.938	2213
240	12.998	2517	9.745	2413
260	14.108	2732	10.560	2614
280	15.217	2946	11.381	2817
300	16.325	3160	12.207	3022
320	17.432	3374	13.039	3227
340	18.537	3588	13.874	3434
360	19.640	3801	14.712	3641
380	20.743	4015	15.552	3849
400	21.846	4228	16.395	4057
420	22.949	4441	17.241	4266
440	24.054	4655	18.088	4476
460	25.161	4869	18.938	4686
480	26.272	5084	19.788	4896

Thermocouple Temperature °C	Type J Voltage mV	AD594 Output mV	Type K Voltage mV	AD595 Output mV
500	27.388	5300	20.640	5107
520	28.511	5517	21.493	5318
540	29.642	5736	22.346	5529
560	30.782	5956	23.198	5740
580	31.933	6179	24.050	5950
600	33.096	6404	24.902	6161
620	34.273	6632	25.751	6371
640	35.464	6862	26.599	6581
660	36.671	7095	27.445	6790
680	37.893	7332	28.288	6998
700	39.130	7571	29.138	7206
720	40.382	7813	29.985	7415
740	41.647	8058	30.799	7619
750	42.283	8181	31.214	7722
760	-	-	31.628	7825
780	-	-	32.455	8029
800	-	-	33.277	8232
820	-	-	34.095	8434
840	-	-	34.909	8636
860	-	-	35.718	8836
880	-	-	36.524	9035
900	-	-	37.325	9233
920	-	-	38.122	9430
940	-	-	38.915	9626
960	-	-	39.703	9821
980	-	-	40.488	10015
1000	-	-	41.269	10209
1020	-	-	42.045	10400
1040	-	-	42.817	10591
1060	-	-	43.585	10781
1080	-	-	44.348	10970
1100	-	-	45.108	11158
1120	-	-	45.863	11345
1140	-	-	46.612	11530
1160	-	-	47.356	11714
1180	-	-	48.095	11897
1200	-	-	48.828	12078
1220	-	-	49.555	12258
1240	-	-	50.276	12436
1250	-	-	50.633	12524

thermocouples Table I should not be used in conjunction with European standard thermocouples. Instead the transfer function given previously and a DIN thermocouple table should be used. ANSI type K and DIN NiCr-Ni thermocouples are composed

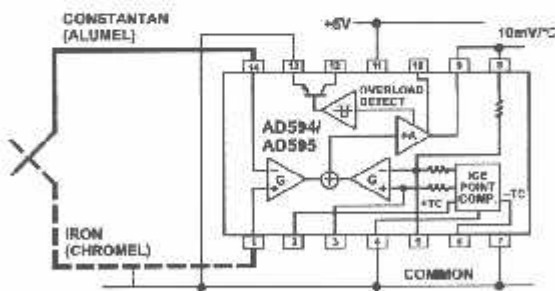


Figure 1. Basic Connection, Single Supply Operation

of identical alloys and exhibit similar behavior. The upper temperature limits in Table I are those recommended for type J and type K thermocouples by the majority of vendors.

#### SINGLE AND DUAL SUPPLY CONNECTIONS

The AD594/AD595 is a completely self-contained thermocouple conditioner. Using a single +5 V supply the interconnections shown in Figure 1 will provide a direct output from a type J thermocouple (AD594) or type K thermocouple (AD595) measuring from 0°C to +300°C.

Any convenient supply voltage from +5 V to +30 V may be used, with self-heating errors being minimized at lower supply levels. In the single supply configuration the +5 V supply connects to Pin 11 with the V- connection at Pin 7 strapped to power and signal common at Pin 4. The thermocouple wire inputs connect to Pins 1 and 14 either directly from the measuring point or through intervening connections of similar thermocouple wire type. When the alarm output at Pin 13 is not used it should be connected to common or -V. The precalibrated feedback network at Pin 8 is tied to the output at Pin 9 to provide a 10 mV/°C nominal temperature transfer characteristic.

By using a wider ranging dual supply, as shown in Figure 2, the AD594/AD595 can be interlaced to thermocouples measuring both negative and extended positive temperatures.

## AD594/AD595

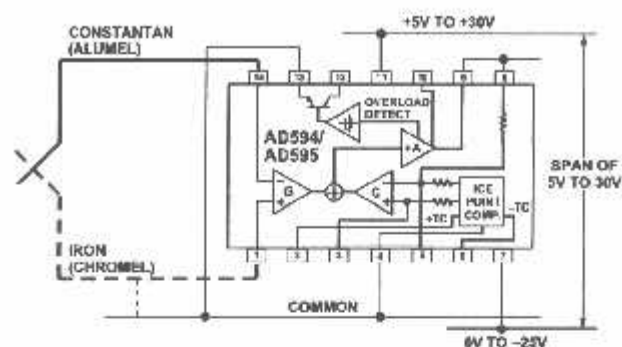


Figure 2. Dual Supply Operation

With a negative supply the output can indicate negative temperatures and drive grounded loads or loads returned to positive voltages. Increasing the positive supply from 5 V to 15 V extends the output voltage range well beyond the 750°C temperature limit recommended for type J thermocouples (AD594) and the 1250°C for type K thermocouples (AD595).

Common-mode voltages on the thermocouple inputs must remain within the common-mode range of the AD594/AD595, with a return path provided for the bias currents. If the thermocouple is not remotely grounded, then the dotted line connections in figures 1 and 2 are recommended. A resistor may be needed in its connection to assure that common-mode voltages induced in the thermocouple loop are not converted to normal mode.

### THERMOCOUPLE CONNECTIONS

The isothermal terminating connections of a pair of thermocouple wires forms an effective reference junction. This junction must be kept at the same temperature as the AD594/AD595 for the internal cold junction compensation to be effective.

A method that provides for thermal equilibrium is the printed circuit board connection layout illustrated in Figure 3.

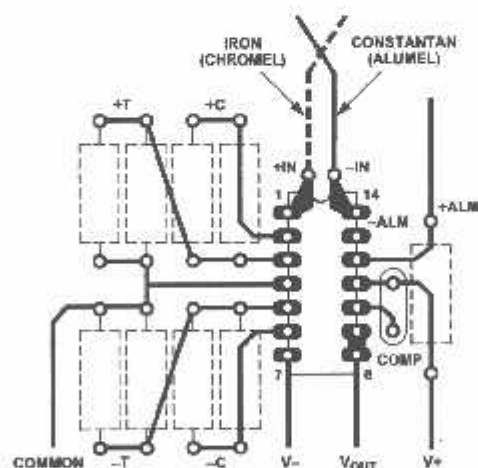


Figure 3. PCB Connections

Place the AD594/AD595 package temperature and circuit board thermally contacted in the copper printed circuit board under Pins 1 and 14. The reference junction is now composed of a copper-constantan (or copper-alumel) connection copper-copper-iron (or copper-chromel) connection, both of which at the same temperature as the AD594/AD595.

The printed circuit board layout shown also provides for placement of optional alarm load resistors, recalibration resistors and a compensation capacitor to limit bandwidth.

To ensure secure bonding the thermocouple wire should be cleaned to remove oxidation prior to soldering. Noncorrosive rosin flux is effective with iron, constantan, chromel and alumel and the following solders: 95% tin-5% antimony, 95% tin-5% silver or 90% tin-10% lead.

### FUNCTIONAL DESCRIPTION

The AD594 behaves like two differential amplifiers. The outputs are summed and used to control a high gain amplifier, as shown in Figure 4.

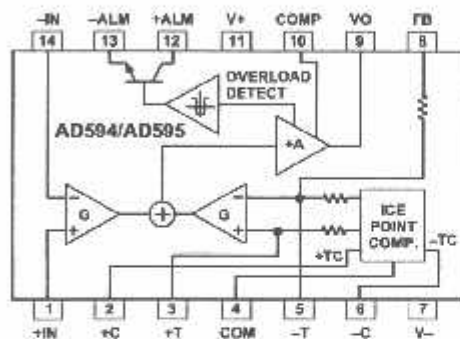


Figure 4. AD594/AD595 Block Diagram

In normal operation the main amplifier output, at Pin 9, is connected to the feedback network, at Pin 8. Thermocouple signals applied to the floating input stage, at Pins 1 and 14, are amplified by gain G of the differential amplifier and are then further amplified by gain A in the main amplifier. The output of the main amplifier is fed back to a second differential stage in an inverting connection. The feedback signal is amplified by this stage and is also applied to the main amplifier input through a summing circuit. Because of the inversion, the amplifier causes the feedback to be driven to reduce this difference signal to a small value. The two differential amplifiers are made to match and have identical gains, G. As a result, the feedback signal that must be applied to the right-hand differential amplifier will precisely match the thermocouple input signal when the difference signal has been reduced to zero. The feedback network is trimmed so that the effective gain to the output, at Pins 8 and 9, results in a voltage of 10 mV/°C of thermocouple excitation.

In addition to the feedback signal, a cold junction compensation voltage is applied to the right-hand differential amplifier. The compensation is a differential voltage proportional to the Celsius temperature of the AD594/AD595. This signal disturbs the differential input so that the amplifier output must adjust to restore the input to equal the applied thermocouple voltage.

The compensation is applied through the gain scaling resistors so that its effect on the main output is also 10 mV/°C. As a result, the compensation voltage adds to the effect of the thermocouple voltage a signal directly proportional to the difference between 0°C and the AD594/AD595 temperature. If the thermocouple reference junction is maintained at the AD594/AD595 temperature, the output of the AD594/AD595 will correspond to the reading that would have been obtained from amplification of a signal from a thermocouple referenced to an ice bath.

The AD594/AD595 also includes an input open circuit detector that switches on an alarm transistor. This transistor is actually a current-limited output buffer, but can be used up to the limit as a switch transistor for either pull-up or pull-down operation of external alarms.

The ice point compensation network has voltages available with positive and negative temperature coefficients. These voltages may be used with external resistors to modify the ice point compensation and recalibrate the AD594/AD595 as described in the next column.

The feedback resistor is separately pinned out so that its value can be padded with a series resistor, or replaced with an external resistor between Pins 5 and 9. External availability of the feedback resistor allows gain to be adjusted, and also permits the AD594/AD595 to operate in a switching mode for setpoint operation.

#### CAUTIONS:

The temperature compensation terminals (+C and -C) at Pins 2 and 6 are provided to supply small calibration currents only. The AD594/AD595 may be permanently damaged if they are grounded or connected to a low impedance.

The AD594/AD595 is internally frequency compensated for feedback ratios (corresponding to normal signal gain) of 75 or more. If a lower gain is desired, additional frequency compensation should be added in the form of a 300 pF capacitor from Pin 10 to the output at Pin 9. As shown in Figure 5 an additional 0.01  $\mu$ F capacitor between Pins 10 and 11 is recommended.

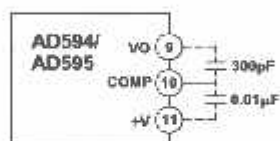


Figure 5. Low Gain Frequency Compensation

#### RECALIBRATION PRINCIPLES AND LIMITATIONS

The ice point compensation network of the AD594/AD595 produces a differential signal which is zero at 0°C and corresponds to the output of an ice referenced thermocouple at the temperature of the chip. The positive TC output of the circuit is proportional to Kelvin temperature and appears as a voltage at +T. It is possible to decrease this signal by loading it with a resistor from +T to COM, or increase it with a pull-up resistor from +T to the larger positive TC voltage at +C. Note that adjustments to +T should be made by measuring the voltage which tracks it at -T. To avoid destabilizing the feedback amplifier the measuring instrument should be isolated by a few thousand ohms in series with the lead connected to -T.

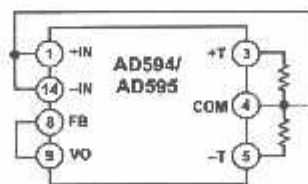


Figure 6. Decreased Sensitivity Adjustment

Changing the positive TC half of the differential output of the compensation scheme shifts the zero point away from 0°C. The zero can be restored by adjusting this current flow into the negative input of the feedback amplifier, the -T pin. A current into

this terminal can be produced with a resistor between -C and -T to balance an increase in +T, or a resistor from -T to COM to offset a decrease in +T.

If the compensation is adjusted substantially to accommodate a different thermocouple type, its effect on the final output voltage will increase or decrease in proportion. To restore the nominal output to 10 mV/°C the gain may be adjusted to match the new compensation and thermocouple input characteristics. When reducing the compensation the resistance between -T and COM automatically increases the gain to within 0.5% of the correct value. If a smaller gain is required, however, the nominal 47 k $\Omega$  internal feedback resistor can be paralleled or replaced with an external resistor.

Fine calibration adjustments will require temperature response measurements of individual devices to assure accuracy. Major reconfigurations for other thermocouple types can be achieved without seriously compromising initial calibration accuracy, so long as the procedure is done at a fixed temperature using the factory calibration as a reference. It should be noted that intermediate recalibration conditions may require the use of a negative supply.

#### EXAMPLE: TYPE E RECALIBRATION—AD594/AD595

Both the AD594 and AD595 can be configured to condition the output of a type E (chromel-constantan) thermocouple. Temperature characteristics of type E thermocouples differ less from type J, than from type K, therefore the AD594 is preferred for recalibration.

While maintaining the device at a constant temperature follow the recalibration steps given here. First, measure the device temperature by tying both inputs to common (or a selected common-mode potential) and connecting FB to VO. The AD594 is now in the stand alone Celsius thermometer mode. For this example assume the ambient is 24°C and the initial output VO is 240 mV. Check the output at VO to verify that it corresponds to the temperature of the device.

Next, measure the voltage -T at Pin 5 with a high impedance DVM (capacitance should be isolated by a few thousand ohms of resistance at the measured terminals). At 24°C the -T voltage will be about 8.3 mV. To adjust the compensation of an AD594 to a type E thermocouple a resistor, R1, should be connected between +T and +C, Pins 2 and 3, to raise the voltage at -T by the ratio of thermocouple sensitivities. The ratio for converting a type J device to a type E characteristic is:

$$r(AD594) = (60.9 \mu\text{V}/^\circ\text{C}) / (51.7 \mu\text{V}/^\circ\text{C}) = 1.18$$

Thus, multiply the initial voltage measured at -T by  $r$  and experimentally determine the R1 value required to raise -T to that level. For the example the new -T voltage should be about 9.8 mV. The resistance value should be approximately 1.8 k $\Omega$ .

The zero differential point must now be shifted back to 0°C. This is accomplished by multiplying the original output voltage VO by  $r$  and adjusting the measured output voltage to this value by experimentally adding a resistor, R2, between -C and -T, Pins 5 and 6. The target output value in this case should be about 283 mV. The resistance value of R2 should be approximately 240 k $\Omega$ .

Finally, the gain must be recalibrated such that the output VO indicates the device's temperature once again. Do this by adding a third resistor, R3, between FB and -T, Pins 8 and 5. VO should now be back to the initial 240 mV reading. The resistance value

## AD594/AD595

if R3 should be approximately 280 k $\Omega$ . The final connection diagram is shown in Figure 7. An approximate verification of the effectiveness of recalibration is to measure the differential gain to the output. For type E it should be 164.2.

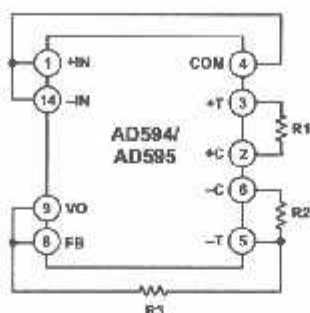


Figure 7. Type E Recalibration

When implementing a similar recalibration procedure for the AD595 the values for R1, R2, R3 and r will be approximately 650  $\Omega$ , 84 k $\Omega$ , 93 k $\Omega$  and 1.51, respectively. Power consumption will increase by about 50% when using the AD595 with type E inputs.

Note that during this procedure it is crucial to maintain the AD594/AD595 at a stable temperature because it is used as the temperature reference. Contact with fingers or any tools not at ambient temperature will quickly produce errors. Radiational heating from a change in lighting or approach of a soldering iron must also be guarded against.

### USING TYPE T THERMOCOUPLES WITH THE AD595

Because of the similarity of thermal EMFs in the 0°C to +50°C range between type K and type T thermocouples, the AD595 can be directly used with both types of inputs. Within this ambient temperature range the AD595 should exhibit no more than an additional 0.2°C output calibration error when used with type T inputs. The error arises because the ice point compensator is trimmed to type K characteristics at 25°C. To calculate the AD595 output values over the recommended -200°C to 350°C range for type T thermocouples, simply use the ANSI thermocouple voltages referred to 0°C and the output equation given on page 2 for the AD595. Because of the relatively large nonlinearities associated with type T thermocouples the output will deviate widely from the nominal 10 mV/°C. However, cold junction compensation over the rated 0°C to +50°C ambient temperature range will remain accurate.

### ABILITY OVER TEMPERATURE

The AD594/AD595 is tested for error over temperature with a measuring thermocouple at 0°C. The combined effects of cold junction compensation error, amplifier offset drift and gain drift determine the stability of the AD594/AD595 output over the rated ambient temperature range. Figure 8 shows an AD594/AD595 drift error envelope. The slope of this figure has units of  $\mu\text{V}/\text{C}^2$ .

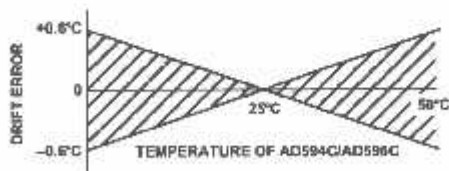


Figure 8. Drift Error vs. Temperature

### THERMAL ENVIRONMENT EFFECTS

The inherent low power dissipation of the AD594/AD595 and the low thermal resistance of the package make self-heating errors almost negligible. For example, in still air the chip to ambient thermal resistance is about 80°C/watt (for the D package). At the nominal dissipation of 800  $\mu\text{W}$  the self-heating in free air is less than 0.065°C. Submerged in fluorinert liquid (unstirred) the thermal resistance is about 40°C/watt, resulting in a self-heating error of about 0.032°C.

### SETPOINT CONTROLLER

The AD594/AD595 can readily be connected as a setpoint controller as shown in Figure 9.

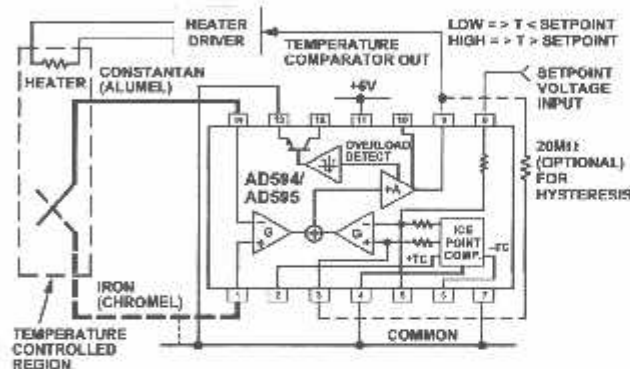


Figure 9. Setpoint Controller

The thermocouple is used to sense the unknown temperature and provide a thermal EMF to the input of the AD594/AD595. The signal is cold junction compensated, amplified to 10 mV/°C and compared to an external setpoint voltage applied by the user to the feedback at Pin 8. Table I lists the correspondence between setpoint voltage and temperature, accounting for the nonlinearity of the measurement thermocouple. If the setpoint temperature range is within the operating range (-55°C to +125°C) of the AD594/AD595, the chip can be used as the transducer for the circuit by shorting the inputs together and utilizing the nominal calibration of 10 mV/°C. This is the centigrade thermometer configuration as shown in Figure 13.

In operation if the setpoint voltage is above the voltage corresponding to the temperature being measured the output swings low to approximately zero volts. Conversely, when the temperature rises above the setpoint voltage the output switches to the positive limit of about 4 volts with a +5 V supply. Figure 9 shows the setpoint comparator configuration complete with a heater element driver circuit being controlled by the AD594/AD595 toggled output. Hysteresis can be introduced by injecting a current into the positive input of the feedback amplifier when the output is toggled high. With an AD594 about 200 nA into the +T terminal provides 1°C of hysteresis. When using a single 5 V supply with an AD594, a 20 M $\Omega$  resistor from VO to +T will supply the 200 nA of current when the output is forced high (about 4 V). To widen the hysteresis band decrease the resistance connected from VO to +T.

**ALARM CIRCUIT**

In all applications of the AD594/AD595 the  $-ALM$  connection, Pin 13, should be constrained so that it is not more positive than  $(V+) - 4V$ . This can be most easily achieved by connecting Pin 13 to either common at Pin 4 or  $V-$  at Pin 7. For most applications that use the alarm signal, Pin 13 will be grounded and the signal will be taken from  $+ALM$  on Pin 12. A typical application is shown in Figure 10.

In this configuration the alarm transistor will be off in normal operation and the  $20k\Omega$  pull up will cause the  $+ALM$  output on Pin 12 to go high. If one or both of the thermocouple leads are interrupted, the  $+ALM$  pin will be driven low. As shown in Figure 10 this signal is compatible with the input of a TTL gate which can be used as a buffer and/or inverter.

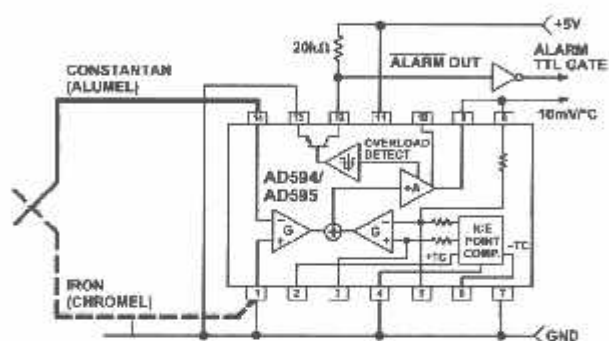


Figure 10. Using the Alarm to Drive a TTL Gate ("Grounded" Emitter Configuration)

Since the alarm is a high level output it may be used to directly drive an LED or other indicator as shown in Figure 11.

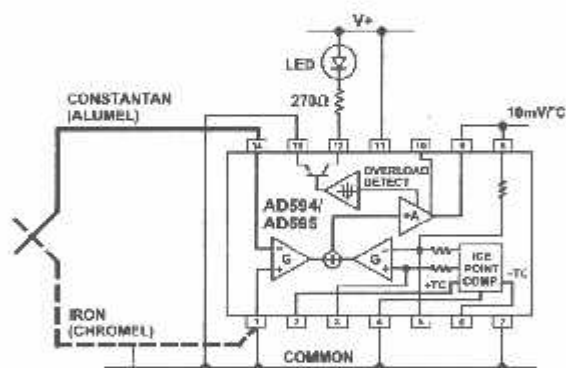


Figure 11. Alarm Directly Drives LED

A  $270\Omega$  series resistor will limit current in the LED to 10 mA, but may be omitted since the alarm output transistor is current limited at about 20 mA. The transistor, however, will operate in a high dissipation mode and the temperature of the circuit will rise well above ambient. Note that the cold junction compensation will be affected whenever the alarm circuit is activated. The time required for the chip to return to ambient temperature will depend on the power dissipation of the alarm circuit, the nature of the thermal path to the environment and the alarm duration.

The alarm can be used with both single and dual supplies. It can be operated above or below ground. The collector and emitter of the output transistor can be used in any normal switch configuration. As an example a negative referenced load can be driven from  $-ALM$  as shown in Figure 12.

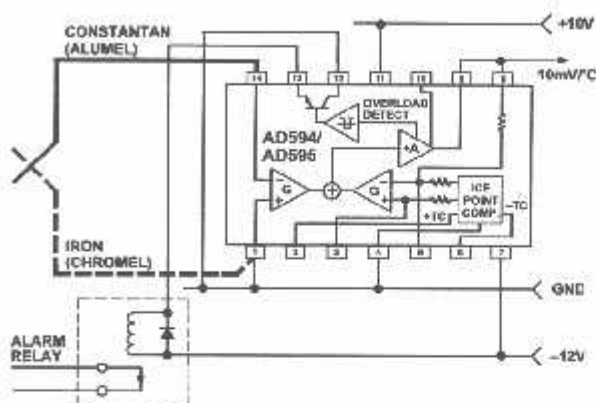


Figure 12.  $-ALM$  Driving A Negative Referenced Load

The collector ( $+ALM$ ) should not be allowed to become more positive than  $(V-) + 36V$ , however, it may be permitted to be more positive than  $V+$ . The emitter voltage ( $-ALM$ ) should be constrained so that it does not become more positive than 4 volts below the  $V+$  applied to the circuit.

Additionally, the AD594/AD595 can be configured to produce an extreme upscale or downscale output in applications where an extra signal line for an alarm is inappropriate. By tying either of the thermocouple inputs to common most runaway control conditions can be automatically avoided. A  $+IN$  to common connection creates a downscale output if the thermocouple opens, while connecting  $-IN$  to common provides an upscale output.

**CELSIUS THERMOMETER**

The AD594/AD595 may be configured as a stand-alone Celsius thermometer as shown in Figure 13.

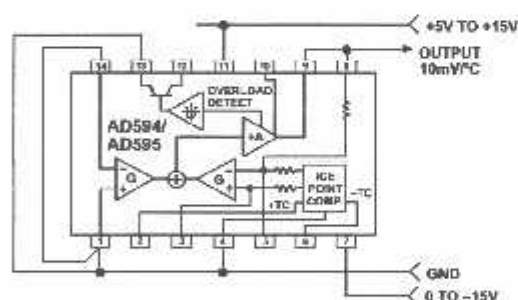


Figure 13. AD594/AD595 as a Stand-Alone Celsius Thermometer

Simply omit the thermocouple and connect the inputs (Pins 1 and 14) to common. The output now will reflect the compensation voltage and hence will indicate the AD594/AD595 temperature with a scale factor of  $10mV/^\circ C$ . In this three terminal, voltage output, temperature sensing mode, the AD594/AD595 will operate over the full military  $-55^\circ C$  to  $+125^\circ C$  temperature range.



# AD594/AD595

## THERMOCOUPLE BASICS

Thermocouples are economical and rugged; they have reasonably good long-term stability. Because of their small size, they respond quickly and are good choices where fast response is important. They function over temperature ranges from cryogenics to jet-engine exhaust and have reasonable linearity and accuracy.

Because the number of free electrons in a piece of metal depends on both temperature and composition of the metal, two pieces of dissimilar metal in isothermal and contact will exhibit a potential difference that is a repeatable function of temperature, as shown in Figure 14. The resulting voltage depends on the temperatures, T1 and T2, in a repeatable way.

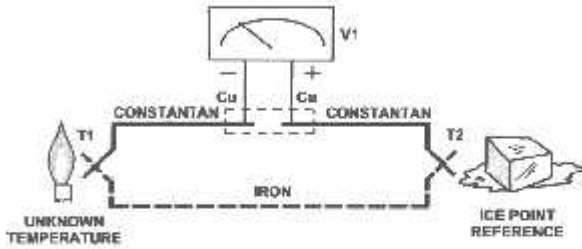


Figure 14. Thermocouple Voltage with 0°C Reference

Since the thermocouple is basically a differential rather than absolute measuring device, a known reference temperature is required for one of the junctions if the temperature of the other is to be inferred from the output voltage. Thermocouples made of specially selected materials have been exhaustively characterized in terms of voltage versus temperature compared to primary temperature standards. Most notably the water-ice point of 0°C is used for tables of standard thermocouple performance.

An alternative measurement technique, illustrated in Figure 15, is used in most practical applications where accuracy requirements do not warrant maintenance of primary standards. The reference junction temperature is allowed to change with the environment of the measurement system, but it is carefully measured by some type of absolute thermometer. A measurement of the thermocouple voltage combined with a knowledge of the reference temperature can be used to calculate the measurement junction temperature. Usual practice, however, is to use a convenient electromotive method to measure the reference temperature

and to arrange its output voltage so that it corresponds to a thermocouple referred to 0°C. This voltage is simply added to the thermocouple voltage and the sum then corresponds to the standard voltage tabulated for an ice-point referenced thermocouple.

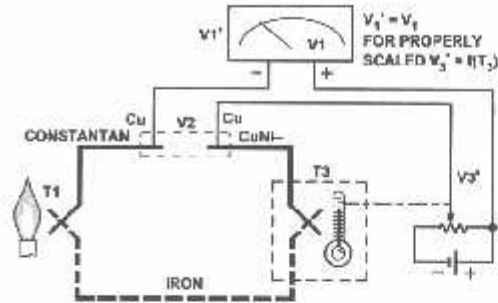


Figure 15. Substitution of Measured Reference Temperature for Ice Point Reference

The temperature sensitivity of silicon integrated circuit transistors is quite predictable and repeatable. This sensitivity is exploited in the AD594/AD595 to produce a temperature related voltage to compensate the reference of "cold" junction of a thermocouple as shown in Figure 16.

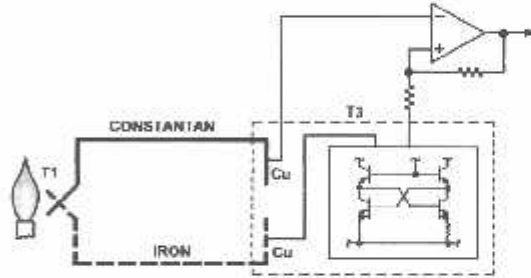


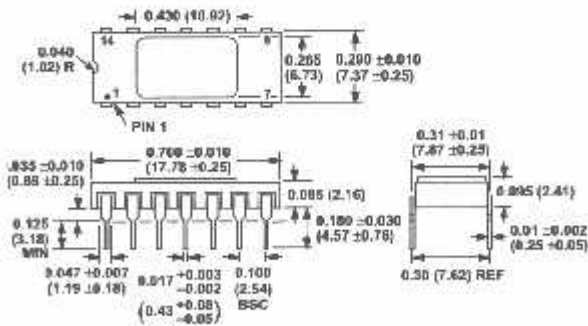
Figure 16. Connecting Isothermal Junctions

Since the compensation is at the reference junction temperature, it is often convenient to form the reference "junction" by connecting directly to the circuit wiring. So long as these connections and the compensation are at the same temperature no error will result.

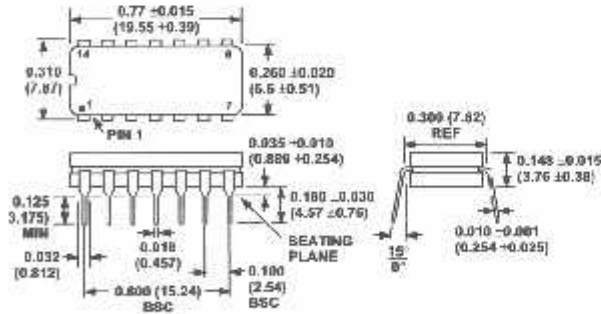
## OUTLINE DIMENSIONS

Dimensions shown in inches and (mm).

### TO-116 (D) Package



### Cerdip (Q) Package



Harapan penyusun semoga laporan skripsi ini memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan pembaca.

Malang, Maret 2007

*Penyusun*

# DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....	i
<b>BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI</b> .....	ii
<b>ABSTRAKSI</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iv
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>DAFTAR GRAFIK</b> .....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan.....	3
1.4. Batasan Masalah .....	3
1.5. Metodologi .....	4
1.6. Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II TEORI DASAR</b> .....	6
2.1. Incinerator .....	6
2.2. Mikrokontroler AVR Atmega8535.....	6
2.2.1 Arsitektur.....	6
2.2.2 Memori Program (Flash ROM) .....	12
2.2.3 Memori Data .....	13
2.2.3.1 Register Serba Guna ( <i>General Purpose</i> ) .....	

<i>Working Register</i> ) .....	13
2.2.3.2 Register I/O .....	15
2.2.3.3 SRAM Internal Dan Eksternal .....	17
2.2.4 Reset Dan Interupsi .....	19
2.2.5 Timer/Counter 0 .....	21
2.2.6 EEPROM ( <i>Electrical Erasable Programmable</i> <i>Read Only Memory</i> ) .....	23
2.2.7 Port-Port I/O .....	24
2.2.8 Osilator Kristal .....	25
2.3. Thermocouple .....	26
2.4. Display LCD .....	37
2.4.1 Operasi Dasar .....	31
2.4.2 Fungsi – Fungsi Terminal .....	32
2.4.3 Instruksi .....	34
2.5. Keypad .....	36
2.6. Valve .....	38
2.7. Motor DC .....	40
2.7.1 Cara Kerja Motor DC .....	41
2.7.2 Pengendalian Arah Putaran Motor DC .....	43
2.8. Relay .....	43
2.9. Buzzer .....	45
<b>BAB III PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT</b> .....	46
3.1. Penentuan Spesifikasi Alat .....	46
3.2. Perencanaan Alat .....	47

3.3. Prinsip Kerja Alat .....	49
3.4. Perancangan Perangkat Keras.....	52
3.4.1. Rangkaian Mikrokontroler ATMEGA 8535 .....	52
3.4.2. Rangkaian Pewaktu (Clock).....	55
3.4.3. Perancangan Rangkaian Reset.....	56
3.5. Perencanaan Rangkaian Sensor Suhu.....	57
3.6. Rangkaian LCD (Liquid Crystal Display).....	59
3.7. Rangkaian Driver Relay .....	61
3.8. Perancangan Perangkat Lunak .....	62
<b>BAB IV PENGUKURAN DAN PENGUJIAN ALAT .....</b>	<b>64</b>
4.1. Pengujian Rangkaian Sensor Suhu .....	64
4.2. Pengujian Rangkaian Valve .....	68
4.3. Pengujian Rangkaian Keseluruhan .....	70
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>72</b>
5.1. Kesimpulan .....	72
5.2. Saran .....	73
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>74</b>
<b>LAMPIRAN-LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Konfigurasi Pin ATmega8535 .....	7
Gambar 2.2 Arsitektur AVR ATmega8535 .....	9
Gambar 2.3 Blok Diagram AVR ATmega8535.....	10
Gambar 2.4 Memory Maps .....	12
Gambar 2.5 Register Serba Guna .....	13
Gambar 2.6 Register X, Y Dan Z.....	14
Gambar 2.7 Status Register.....	15
Gambar 2.8 Stack Pointer .....	17
Gambar 2.9 Map Memory Data .....	18
Gambar 2.10 Timer/Counter Prescaler .....	22
Gambar 2.11 Blok Diagram Timer/Counter .....	22
Gambar 2.12 Koneksi Osilator.....	25
Gambar 2.13 Konfigurasi Drive External Clock.....	25
Gambar 2.14 Thermocouple .....	26
Gambar 2.15 Diagram Blok LCD M1632 .....	28
Gambar 2.16 Bentuk Fisik Dari LCD M1632.....	29
Gambar 2.17 Rangkaian Keypad 3 x 4 .....	37
Gambar 2.18 Garis Gaya Magnet.....	38
Gambar 2.19 Bentuk Dasar Solenoid .....	39
Gambar 2.20 Solenoid Dengan Model Permukaan Kerucut.....	39
Gambar 2.21 Garis-Garis Medan Magnet Di Sekitar Arus Listrik Pada Kawat Lurus .....	40

Gambar 2.22 Kaidah Tangan Kanan .....	41
Gambar 2.23 Cara Kerja Motor DC .....	41
Gambar 2.24 Motor DC .....	42
Gambar 2.25 Pengendali Arah Putaran Motor DC.....	43
Gambar 2.26 Cara Kerja Relay .....	43
Gambar 2.27 Relay SPST .....	44
Gambar 2.28 Relay SPDT.....	44
Gambar 2.29 Relay DPST.....	44
Gambar 2.30 Relay DPDT .....	45
Gambar 2.31 Simbol Buzzer .....	45
Gambar 3.1 Blok Diagram Alat Secara Keseluruhan.....	48
Gambar 3.2 Gambar Mekanis Incinerator .....	51
Gambar 3.3 Rancangan Pemakaian Port-port Mikrokontroler ATmega8535 ....	53
Gambar 3.4 Rangkaian Clock .....	55
Gambar 3.5 Rangkaian Power On Reset.....	56
Gambar 3.6 Rangkaian Pengkondisi Sinyal Thermocouple .....	58
Gambar 3.7 Rangkaian LCD.....	60
Gambar 3.8 Rangkaian Driver Relay.....	61
Gambar 3.9 Diagram Alir Program Keseluruhan.....	63
Gambar 4.1 Blok Diagram Pengujian Rangkaian Sensor Suhu .....	65
Gambar 4.2 Blok Diagram Pengujian Rangkaian Valve .....	69
Gambar 4.3 Blok Diagram Pengujian Keseluruhan .....	71

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Reset Dan Vektor Interupsi .....	20
Tabel 2.2 Thermocouple .....	27
Tabel 2.4 Fungsi Pin-Pin LCD M1632.....	30
Tabel 2.5 Fungsi-fungsi Terminal pada LCD M1632 .....	33
Tabel 2.6 Instruksi dari LCD M1632 .....	34
Tabel 4.1 Perbandingan Antara Thermocouple Dan Termometer .....	66
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Thermocouple.....	67
Tabel 4.3 Hasil pengujian Rangkaian Driver Valve.....	69
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Keseluruhan.....	71



## DAFTAR GRAFIK

Grafik Perbandingan Thermocouple Dan Termometer .....	66
---	----



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Sampah merupakan barang sisa yang biasanya sudah tidak dibutuhkan manusia lagi. Mungkin kita sering kali membakar sampah rumah tangga di dalam drum pekarangan belakang atau halaman depan rumah. Asap pembakaran sampah ini menghasilkan racun udara dioksin dan furan yang sama banyaknya dengan racun udara yang dikeluarkan oleh mesin pembakar sampah rumah tangga (biasa disebut Municipal Waste Combustor, atau MWC) yang sanggup melayani puluhan ribu rumah tangga. Disamping dioksin dan furan, pembakaran sampah didalam udara terbuka juga menimbulkan kabut asap yang tebal yang mengandung bahan bahan lainnya seperti partikel debu yang kecil kecil yang biasa disebut particulate matter (PM) serta bahan bahan racun lainnya. Particulate Matter ini bisa berukuran 10 mikron (kira kira sama dengan rambut kita yang dibelah tujuh), biasa disebut PM10. Alat saring pernafasan kita tidak sanggup menyaring PM10 ini, sehingga PM10 ini bisa masuk ke dalam paru paru kita dan bisa mengakibatkan sakit gangguan pernafasan (astma dan paru paru, dan lain sebagainya.). Seiring dengan kemajuan dan bertambahnya aktifitas manusia tanpa penanganan lebih lanjut dari limbah tersebut akan mengakibatkan terjadinya penumpukan / pencemaran di berbagai tempat. Secara umum pembuangan sampah yang tidak memenuhi syarat kesehatan lingkungan akan dapat mengakibatkan antara lain :

1. Tempat berkembang dan sarang dari serangga dan tikus
2. Menjadi sumber polusi dan pencemaran tanah, air dan udara
3. Menjadi sumber dan tempat hidup kuman-kuman yang membahayakan kesehatan.

Mengamati hal tersebut, sebagai tugas akhir ini penulis akan menerapkan ilmu elektronika yang didapat selama kuliah untuk membuat suatu *incinerator*. Incinerator adalah suatu alat berupa tungku pembakaran yang dapat digunakan untuk pengolahan limbah dan membakar sampah.

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan pada bagian sebelumnya, maka permasalahannya adalah bagaimana merancang dan membuat incinerator rumah tangga.

Sehubungan dengan hal itu maka skripsi ini saya beri judul **“PERENCANAAN DAN PEMBUATAN INCINERATOR RUMAH TANGGA MENGGUNAKAN PENGENDALI MIKROKONTROLLER ATMEGA 8535”**, adapun permasalahan dalam pembuatannya adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara kerja suatu incinerator
2. Bagaimana merancang suatu incinerator yang berbasis mikrokontroller Atmega8535.
3. Bagaimana membuat perangkat keras dan perangkat lunak alat pengendali mikrokontroller.

4. Bagaimana membuat system incinerator yang dikendalikan perangkat elektronika.
5. Bagaimana uji coba alat

### **1.3. Tujuan.**

Adapun tujuan dari penulisan skripsi ini adalah untuk merancang suatu incinerator mini untuk rumah tangga. Adapun tujuan lain adalah sebagai berikut:

1. Mengurangi volume limbah, terutama yang berasal dari sampah-sampah organik rumah tangga.
2. Mengurangi polusi udara.
3. Mempelajari implementasi system Mikrokontroller dengan menggunakan ATmega8535.

### **1.4. Batasan Masalah.**

Sehubung dengan masalah yang dihadapi dalam pembuatan skripsi ini, maka permasalahan hanya dibatasi dengan tujuan untuk mencegah kemungkinan meluasnya masalah dan penyimpangan dari permasalahan. Pembatasan tersebut antara lain :

1. Sampah yang digunakan adalah sampah organik yaitu sampah dapur, sampah restoran, sisa sayuran, rempah-rempah atau buah-buahan serta yang dapat mengalami pembusukan secara alami.
2. Kapasitas pembakarannya adalah 4 Kg.
3. Tidak membahas tekanan udara dalam tabung bahan bakar.
4. Range suhu pembakaran yang digunakan adalah 250 °C - 400 °C.

5. Sensor suhu yang digunakan adalah *Thermocouple*.

### **1.5. Metodologi Penulisan**

Dalam penulisan skripsi ini penulis menggunakan metodologi penulisan yang dilaksanakan sebagai berikut :

1. Kajian literature / referensi mengenai komponen - komponen yang digunakan dalam pembuatan alat.
2. Merancang dan membuat alat kemudian mencoba dalam rangkaian percobaan dan seterusnya merakit alat tersebut.
3. Tanya jawab dengan dosen pembimbing tentang konsep / literature.
4. Menyusun laporan dalam bentuk tulisan dan analisis yang disebut buku skripsi.

### **1.6. Sistematika Penulisan**

Untuk memberikan gambaran yang jelas mengenai penulisan tugas akhir ini, maka digunakan sistematika sebagai berikut :

#### **BAB I PENDAHULUAN**

Berisi latar belakang, tujuan, permasalahan, batasan masalah, metodologi, dan sistematika penulisan.

#### **BAB II TEORI PENUNJANG**

Membahas teori – teori dasar penunjang perancangan dan pembuatan alat.

**BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT**

Membahas tentang perancangan alat baik perangkat keras maupun perangkat lunak dan cara kerja blok diagram.

**BAB IV PENGUJIAN ALAT**

Mencakup pembahasan tentang proses pengujian alat yang terdiri dari peralatan yang digunakan, langkah kerja, dan analisa hasil pengujian.

**BAB V PENUTUP**

Berisi kesimpulan dan saran.





## BAB II

### TEORI DASAR

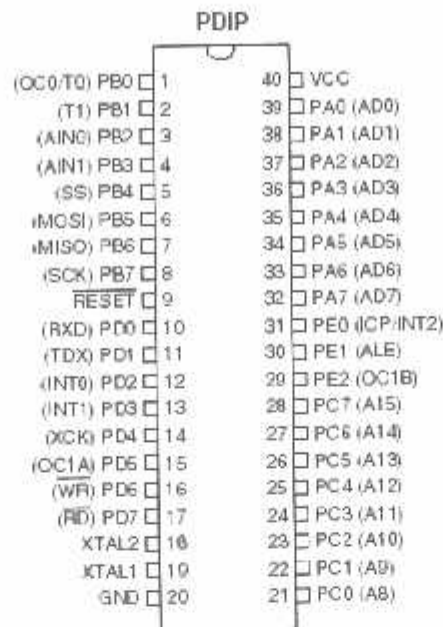
#### 2.1. Incinerator

Incinerator adalah suatu alat berupa tungku pembakaran yang dapat digunakan untuk pengolahan limbah padat. Teknologi pembuatannya merupakan teknologi yang banyak digunakan di berbagai negara maju untuk menanggulangi masalah limbah padat yang berasal dari industri maupun domestik. Seiring dengan kemajuan dan bertambahnya aktifitas manusia tanpa penanganan lebih lanjut dari limbah padat akan mengakibatkan terjadinya penumpukan / pencemaran limbah padat tersebut.

#### 2.2. Mikrokontroler AVR ATmega8535

##### 2.2.1. Arsitektur

AVR ATmega8535 adalah mikrokontroler 8-bit CMOS, low-power yang berdasarkan pada bentuk arsitektur AVR RISC ( *Reduced Instruction Set Computer*), yang hampir semua instruksinya selesai dikerjakan dalam satu siklus clock. AVR ATmega8535 menggunakan instruksi tunggal (*Single Clock Cycle*), yaitu sistem mikrokontroler yang frekuensi kerja dalam chip sama dengan frekuensi kristal untuk osilator tanpa memerlukan rangkaian pembagi frekuensi setelah osilator yang diperlukan untuk memperoleh perbedaan fase dari clock, sehingga AVR 12 kali lebih cepat dibanding MCS51.



**Gambar 2.1** Konfigurasi Pin ATmega8535

Sumber: Data Sheet ATmega8535

Berbagai karakteristik yang tersedia dalam IC ATmega8535 adalah sebagai berikut:

- 8K bytes In-System Programmable Flash
- 512 bytes EEPROM (*Electrical Erasable Programmable Read Only Memory*)
- 512 bytes SRAM (*Static Random Access Memory*)
- 32 jalur I/O general-purpose
- 32 general-purpose working register
- Timer/Counter yang fleksibel dengan mode pembanding
- Interupsi internal dan eksternal
- Pemrograman serial UART (*Universal Asynchronous Receiver and Transmitter*)

- Serial Port SPI (*Serial Peripheral Interface*)

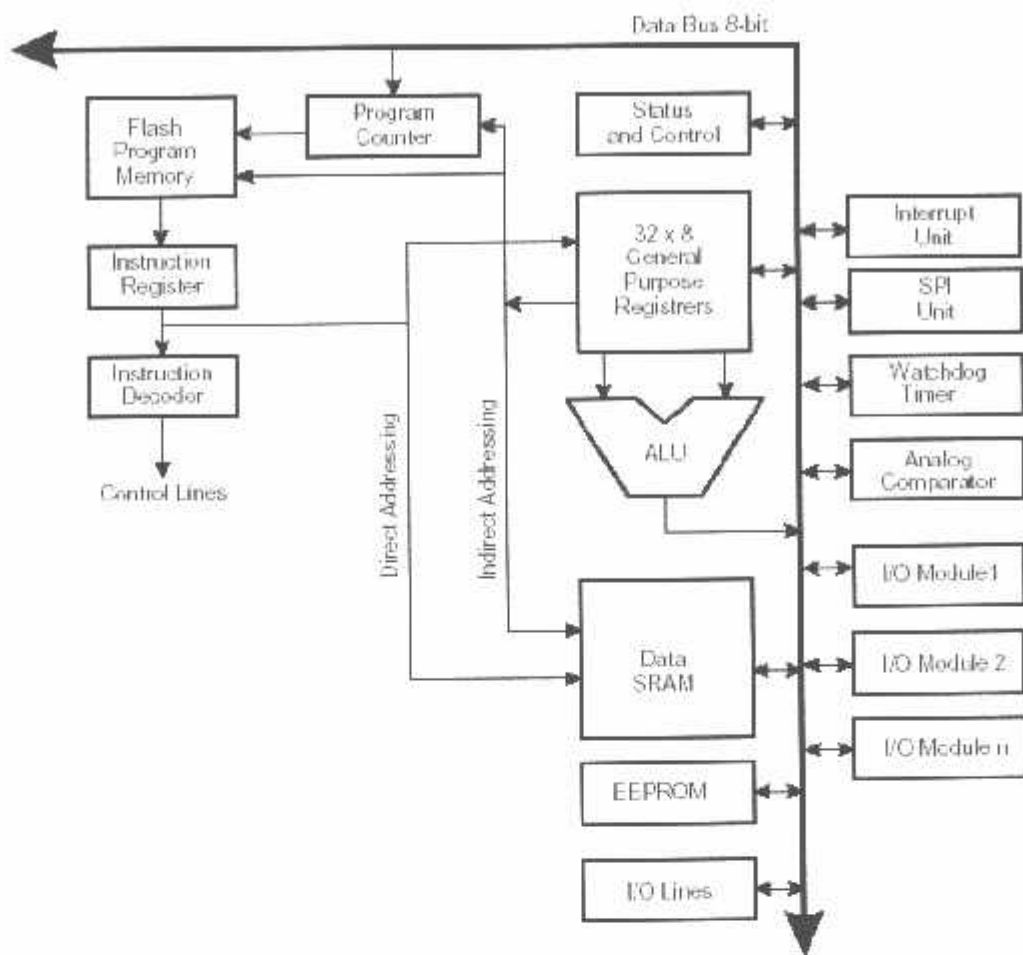
ATmega8535 mempunyai dua buah power-save mode yang dapat diatur melalui software, yaitu:

- Idle Mode

Menghentikan CPU sementara SRAM, Timer/ Counter, port SPI, dan sistem tetap berfungsi.

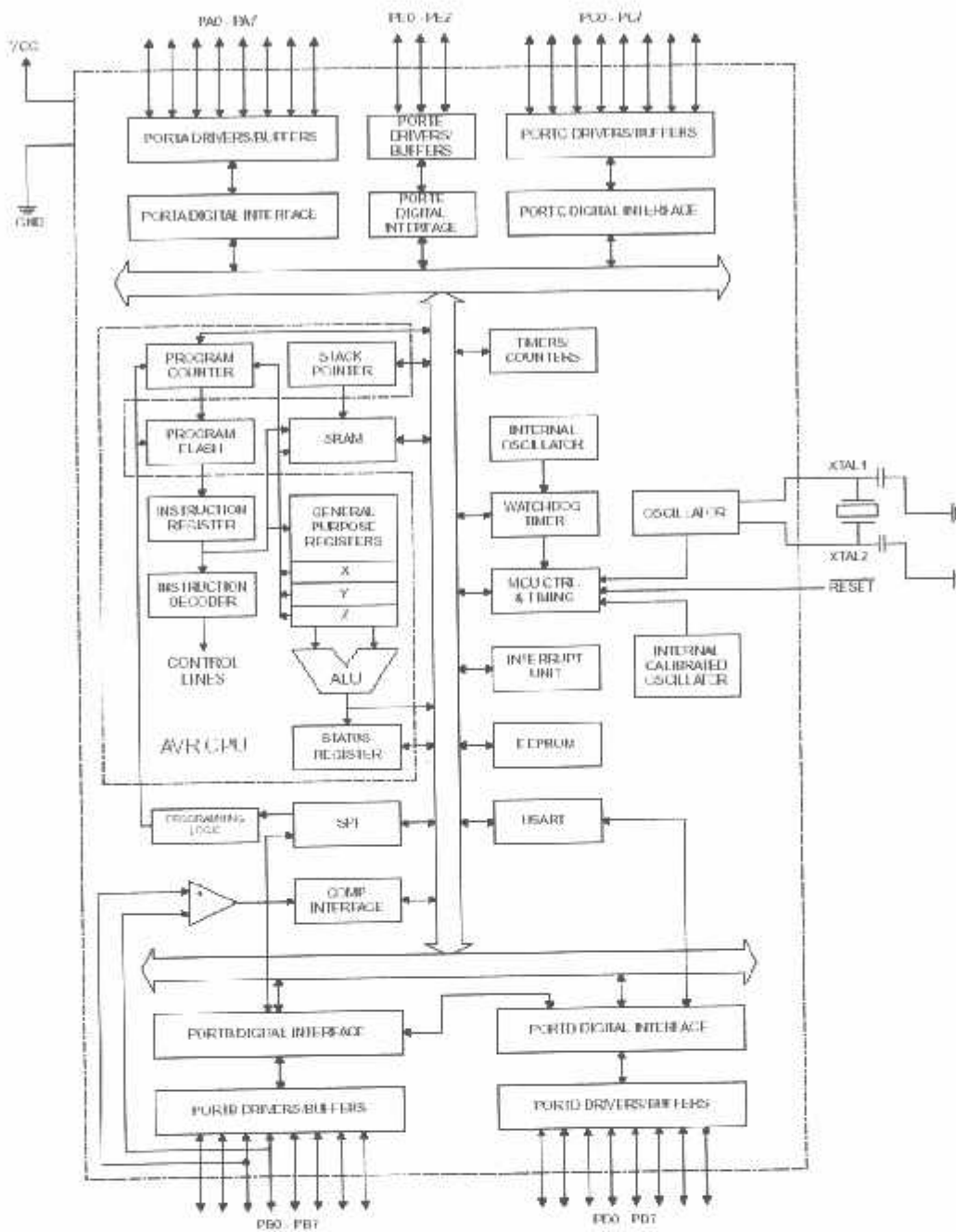
- Power-Down Mode

Menyimpan isi register dan menahan osilator untuk tidak mengaktifkan fungsi-fungsi chip yang lain sampai terjadi reset atau interupsi dari luar.



**Gambar 2.2** Arsitektur AVR ATmega8535

Sumber: Data Sheet ATmega8535



**Gambar 2.3** Blok Diagram AVR ATmega8535

Sumber: Data Sheet ATmega8535

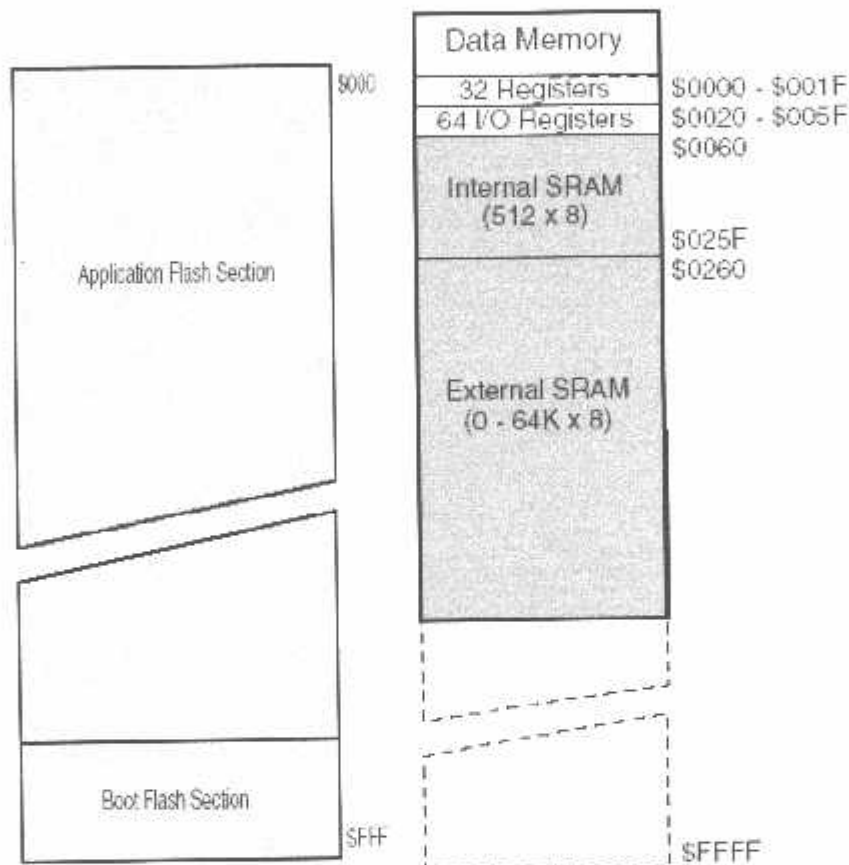
### Deskripsi Pin:

- Vcc: Tegangan Supply
- Gnd: Ground
- Port A (PA0-PA7): Port dua arah I/O 8-bit, kaki portnya dapat menyediakan resistor pull-up internal (dipilih untuk masing-masing bit). Port A juga dapat mengendalikan tampilan LED secara langsung.
- Port B (PB0-PB7): Port dua arah I/O 8-bit dengan resistor pull-up internal, digunakan pada fungsi-fungsi khusus dari karakteristik ATmega8535.
- Port C (PC0-PC7): Port dua arah I/O 8-bit dengan resistor pull-up internal, digunakan sebagai alamat keluaran saat SRAM eksternal digunakan.
- Port D (PD0-PD7): Port dua arah I/O 8-bit dengan resistor pull-up internal, digunakan untuk berbagai karakteristik khusus dari ATmega8535.
- RESET: Input reset, jika kaki pinnya mendapat input 0 (low) dalam jangka waktu lebih dari 50 ns maka akan menghasilkan kondisi reset, hal ini terjadi jika clock tidak berfungsi.
- XTAL1: Input untuk inverting oscillator amplifier.
- XTAL2: Output dari inverting oscillator amplifier.
- ICP: pin input untuk Timer/Counter1, berfungsi sebagai penangkap masukan (input capture).
- OC1B: Pin output untuk Timer/Counter1, berfungsi sebagai output compareB.
- ALE: *Address Latch Enable*, berfungsi sebagai pengunci alamat ketika memori eksternal digunakan. ALE berfungsi untuk mengunci logic 0 (low)

pada alamat yang diminta ke dalam pengunci alamat selama siklus akses pertama dan kaki AD0-AD7 digunakan pada siklus yang kedua.

AVR dibangun atas dasar arsitektur Harvard, dimana program dan data ditempatkan pada memori yang berlainan dengan cara menyediakan saluran data untuk memori-program yang terpisah dari saluran data untuk memori-data.

### 2.2.2. Memori Program (Flash ROM)



**Gambar 2.4** Memory Maps

Sumber: Data Sheet ATmega8535

Memori program AVR ATmega8535 disusun sebagai sistem memori-program 4K x 16 bit, yang dinomori mulai dari \$0000 sampai \$0FFF seperti terlihat pada gambar 2.10. memori program pada ATmega8535 menggunakan

Programable Flash Program memory, tidak ada fasilitas untuk menambah memori program di luar chip ATmega8535.

Memori program tersebut dapat diisi ulang lewat saluran SPI (*Serial Peripheral Interface*) yang hanya memerlukan 3 jalur sinyal ditambah sebuah ground. Pengisian flash memori tersebut cukup menggunakan tegangan +5 volt, sehingga rangkaian pengisi memori-program sangat sederhana bahkan bisa dibuat dengan sistem ISP (*In-System Programing*), yaitu pengisian memori program langsung pada rangkaian peralatan tanpa menggunakan alat khusus untuk mengisi memori-program.

### 2.2.3. Memori Data

#### 2.2.3.1. Register Serba Guna (*General Purpose Working Register*)

	7	0	Addr.	
			\$00	
			\$01	
			\$02	
			...	
			\$0D	
			\$0E	
			\$0F	
			\$10	
			\$11	
			...	
			\$1A	X-register Low Byte
			\$1B	X-register High Byte
			\$1C	Y-register Low Byte
			\$1D	Y-register High Byte
			\$1E	Z-register Low Byte
			\$1F	Z-register High Byte

General Purpose Working Registers

**Gambar 2.5** Register Serba Guna

Sumber: Data Sheet ATmega8535

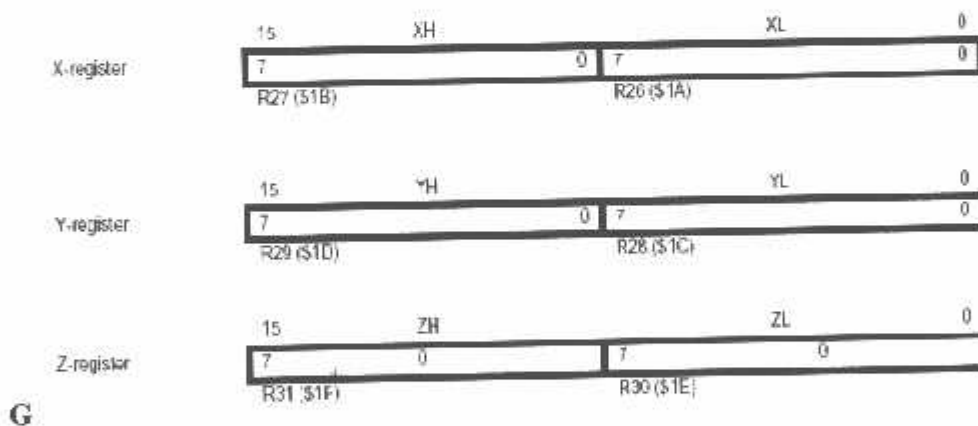
AVR ATmega8535 mempunyai 32 register serbaguna yang masing-masing berkapasitas 8 bit, menempati memori-data dengan nomor \$0000 sampai \$001F yang disebut sebagai R0 sampai R31. Semua register serba guna memiliki



kemampuan yang hampir simetris, semuanya bisa berfungsi sebagai akumulator sehingga bisa melakukan proses menunjang kerja ALU dengan sangat baik dan menghasilkan kecepatan kerja yang sangat tinggi.

Register-register tersebut dipecah menjadi 2 bagian, bagian pertama R0...R15, dan bagian kedua R16...R31. Instruksi-instruksi yang bekerja dengan bilangan konstanta (*immediate data*), misalnya instruksi SBCI, SUBI, CPI, ANDI, ORI dan LDI hanya bisa dipakai pada register bagian kedua R16...R31.

Register serba guna R0 dan R16...R31 memiliki kemampuan tambahan. R0 dipakai sebagai register penampung data dalam instruksi LPM (*Load Program Memory*). R26 dan R27, R28 dan R29 serta R30 dan R31 bisa dipasangkan untuk membentuk register 16 bit, pasangan-pasangan register ini dinamakan sebagai Register X, Register Y dan Register Z seperti pada gambar di bawah ini:



**Gambar 2.6** Register X, Y dan Z

Sumber: Data Sheet ATmega8535

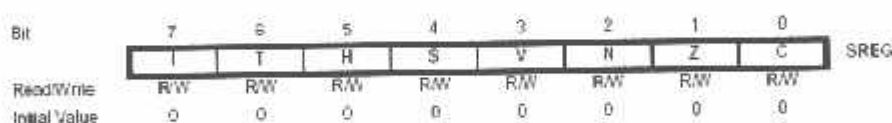
Pasangan register tersebut untuk mengamati memori data (16 bit *memory address register*), dipakai dalam instruksi-instruksi yang bekerja pada memori-

data. Khusus register, selain dipakai untuk operasi memori-data bisa pula dipakai untuk mengambil data konstanta yang disimpan dalam memori-program. Instruksi untuk keperluan ini adalah instruksi LPM.

### 2.2.3.2. Register I/O

AVR ATmega8535 mempunyai 64 register I/O yang masing-masing berkapasitas 8 bit, menempati memori-data dengan nomor \$0020 sampai \$005F. Selain bisa dikenali dengan nomor memori-data tersebut ke-64 register ini bisa dikenali pula dengan nomor register I/O dari nomor \$00 sampai \$3F. Dalam praktek register I/O ini lebih dikenal sebagai I/O dengan instruksi IN atau OUT dari pada sebagai memori data biasa. Register untuk timer 8 bit ditempatkan di memori data nomor \$0052 dan \$0053, dan untuk *watchdog timer* ditempatkan di \$0041.

Selain untuk tempat register I/O, sebagian memori-data nomor \$0020 sampai \$005F dipakai untuk menyimpan informasi prosesor dan pengaturan kerja prosesor. Misalnya memori-data nomor \$005F dipakai sebagai *Status Register* (SREG) yang bertugas untuk menampung petanda (*Flags*) dari hasil kerja ALU. SREG didefinisikan sebagai:



**Gambar 2.7** Status Register

Sumber: Data Sheet ATmega8535

- Bit7-1: *Global Interrupt Enable*

Bit ini harus di set pada logic 0, maka seluruh interupsi tidak akan berfungsi walaupun masing-masing interupsi telah di set. Bit-I dikosongkan (*clear*) oleh hardware setelah terjadi interupsi dan di set oleh interupsi RETI untuk mengaktifkan interupsi berikutnya.

- **Bit6-T: *Bit Copy Storage***  
Instruksi meng-copy bit BLD (Bit Load) dan BST (Bit Storage) menggunakan bit-T sebagai sumber dan tujuan pada operasi bit. Untuk meng-copy bit dari register dalam file register ke T digunakan instruksi BST dan bit yang ada di T dapat di-copy ke dalam bit yang ada di register dalam file register menggunakan instruksi BLD.
- **Bit5-H: *Half Carry Flag***  
Bit-H mengindikasikan half-carry pada beberapa operasi aritmatika.
- **Bit4-S: *Sign Bit, S=N⊖V***  
Bit-S selalu terpisah atau antara flag negative N dan dua komplemen overflow flag V.
- **Bit3-V: *Two's Complement Overflow flag***  
Bit-V ini mendukung dua komplemen aritmatika.
- **Bit2-N: *Negative Flag***  
Bit-N mengindikasikan hasil negatif setelah operasi aritmatika dan logika yang berbeda.
- **Bit1-Z: *Zero Flag***  
Bit-Z mengindikasikan hasil nol setelah operasi aritmatika dan logika yang berbeda.
- **Bit0-C: *Carry Flag***

Bit-C mengindikasikan carry pada operasi aritmatika atau logika.

Memori data \$005D (\$3D) dan \$005E (\$3E) dipakai *Stack Pointer* (SP) register yang bertugas untuk mencatat nomor memori data yang dipakai sebagai stack.

Bit	15	14	13	12	11	10	9	8	
	SP15	SP14	SP13	SP12	SP11	SP10	SP9	SP8	SPH
	SP7	SP6	SP5	SP4	SP3	SP2	SP1	SPL	
	7	6	5	4	3	2	1	0	
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	

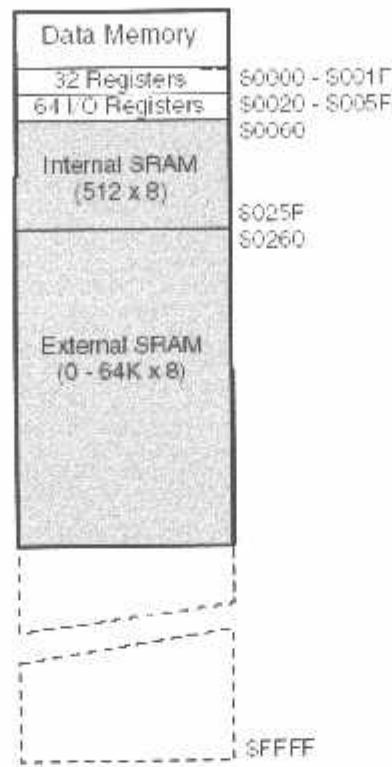
**Gambar 2.8** Stack Pointer

Sumber: Data Sheet ATmega8535

SP dikurangi 1 ketika data dimasukkan ke stack dengan instruksi PUSH dan dikurangi 2 ketika alamat dimasukkan ke stack dengan *subroutine call* dan interupsi. SP akan ditambah 1 ketika data dikeluarkan dari stack dengan instruksi POP dan ditambah 2 ketika alamat dikeluarkan dari stack dengan return dari subroutine RET atau return dari interupsi RETI.

### 2.2.3.3. SRAM Internal dan Eksternal

Seluruh data untuk memori data terdiri dari 8 jalur, menghubungkan register serbaguna, register I/O dan memori data internal maupun eksternal menjadi satu yang membentuk sistem memori 8 bit. Sistem memori-data ini dibentuk dengan SRAM (*Static Random Access Memory*), seperti terlihat pada gambar 2.9.



**Gambar 2.9** Map Memori Data

Sumber: Data Sheet ATmega8535

AVR ATmega8535 memiliki 512 x 8 bit internal SRAM yang bebas dipakai untuk berbagai macam keperluan. Internal SRAM ini selain dipakai untuk menyimpan data sementara, juga dipakai stack untuk menyimpan nilai terakhir *program counter* (PC) sebelum AVR menjalankan subrutin atau melayani permintaan interupsi.

ATmega8535 memiliki kemampuan untuk menambah memori data di luar chip (eksternal SRAM). Kapasitas SRAM eksternal yang dipasang maksimal sebesar 64K byte, dengan pengertian nomor-nomor SRAM yang sudah dipakai di dalam chip (internal SRAM) tidak lagi dikenali sebagai SRAM eksternal. Pada

gambar 2.15 SRAM internal ditempatkan sampai pada nomor \$025F, dalam hal ini SRAM eksternal akan dikenali mulai dari nomor \$0260 sampai \$FFFF.

#### **2.2.4. Reset dan Interupsi**

Atmega8535 menyediakan 12 sumber interupsi yang berbeda. Interupsi-interupsi tersebut dan vektor pemisah reset masing-masing memiliki vektor pemisah program dalam memori program. Semua interupsi yang ditentukan oleh bit pengaktif individual harus di set pada logic 1 (high) bersama bit-1 pada status register untuk mengaktifkan perintah interupsi.

Alamat terendah dalam ruang memori-program secara otomatis didefinisikan sebagai Reset dan Vektor Interupsi. Daftar reset dan vektor interupsi secara lengkap ditunjukkan pada table di bawah ini:

**Tabel 2.1**

**Reset dan Vektor Interupsi**

Vector No.	Program Address <sup>(2)</sup>	Source	Interrupt Definition
1	\$000 <sup>1)</sup>	RESET	External Pin, Power-on Reset, Brown-out Reset and Watchdog Reset
2	\$001	INT0	External Interrupt Request 0
3	\$002	INT1	External Interrupt Request 1
4	\$003	TIMER1 CAPT	Timer/Counter1 Capture Event
5	\$004	TIMER1 COMPA	Timer/Counter1 Compare Match A
6	\$005	TIMER1 COMPB	Timer/Counter1 Compare Match B
7	\$006	TIMER1 OVF	Timer/Counter1 Overflow
8	\$007	TIMER0 OVF	Timer/Counter0 Overflow
9	\$008	SPI, STC	Serial Transfer Complete
10	\$009	USART, RXC	USART, Rx Complete
11	\$00A	USART, UDRE	USART Data Register Empty
12	\$00B	USART, TXC	USART, Tx Complete
13	\$00C	ANA_COMP	Analog Comparator
14	\$00D	INT2	External Interrupt Request 2
15	\$00E	TIMER0 COMP	Timer/Counter0 Compare Match
16	\$00F	EE_RDY	EEPROM Ready
17	\$010	SPM_RDY	Store Program memory Ready

Sumber: Data Sheet ATmega8535

Tabel di atas juga membatasi tingkat prioritas dari interupsi yang berbeda. Alamat terendah merupakan prioritas tertinggi, reset merupakan prioritas tertinggi dan selanjutnya adalah INT0 (*External Interrupt Request 0*).

Interupsi eksternal dipicu (*trigger*) oleh pin INT1 dan INT0. Interupsi akan aktif jika pin INT1/INT0 dikonfigurasi sebagai output.

ATmega8535 memiliki 3 sumber Reset yaitu:

### 1. Power-On Reset

MCU akan di reset secara otomatis jika tegangan catu daya lebih rendah dari tegangan ambang batas reset (Power-On Reset Threshold- $V_{POR}$ ). Tegangan  $V_{POR}$  berkisar antara 0.4 sampai 1.0.

### 2. External Reset

MCU akan di reset jika kaki RESET bernilai '0' dalam waktu lebih lama dari 50 ns.

### 3. Watchdog Reset

Jika sistem Watchdog diaktifkan, MCU akan di reset jika dalam batas waktu yang ditentukan Watchdog timer tidak juga diaktifkan.

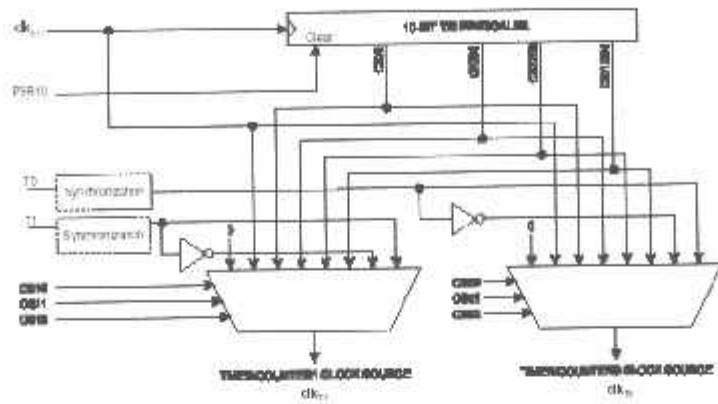
## 2.2.5. Timer/Counter 0

Timer/counter 0 (TCNT0) merupakan pencacah biner 8 bit, ditempatkan sebagai register I/O dengan nomor 32. TCNT0 bisa dipakai sebagai timer maupun sebagai counter, tergantung pada sumber sinyal yang dipakai untuk menggerakannya. Sebagai timer sinyal penggeraknya berasal dari osilator kristal atau frekuensi yang diturunkan dari osilator kristal. Terdapat 5 frekuensi osilator kristal yang bisa dipilih yaitu CK, CK/8, CK/64, CK/256, atau CK/1024.

Sebagai counter sinyal yang dipakai sebagai penggerak berasal dari luar chip yang disalurkan melalui pin T0 dari IC ATmega8535. frekuensi luar yang masuk ke pin T0 dilewatkan oleh sebuah inverter, sehingga bisa dipilih fase yang sesuai untuk menggerakkan pencacah biner. TCCR0 (*Timer/Counter 0 Control Register*) pada register I/O nomor \$33 digunakan untuk menentukan apakah

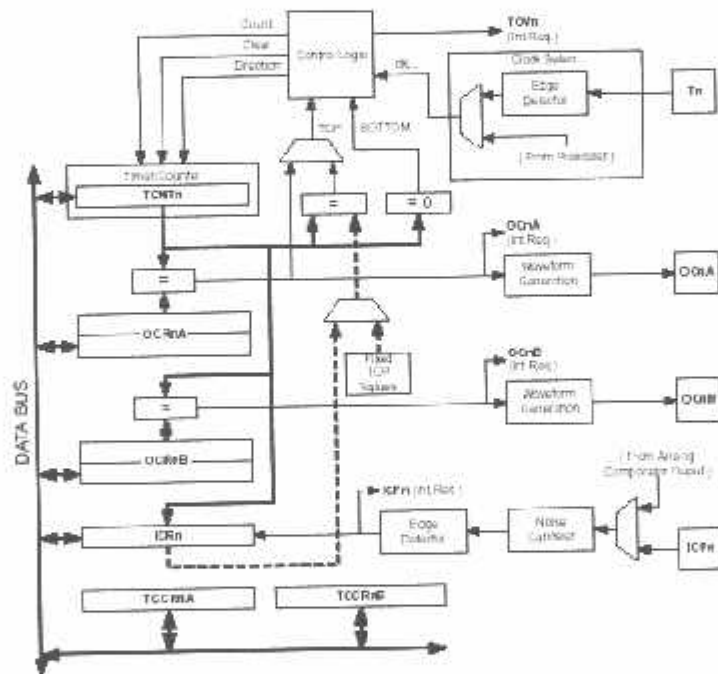


TCNT0 bekerja sebagai timer atau sebagai counter dan sekaligus untuk menghentikan atau menjalankan pencacahan TCNT0.



Gambar 2.10 Timer/Counter Prescaler

Sumber: Data Sheet ATmega8535



Gambar 2.11 Blok Diagram Timer/Counter

Sumber: Data Sheet ATmega8535

### 2.2.6. EEPROM (*Electrical Erasable Programmable Read Only Memory*)

EEPROM dalam AVR dikatakan sebagai memori-data khusus, karena saluran data, saluran alamat bahkan sinyal kontrol untuk EEPROM terpisah dari saluran data, saluran alamat dan sinyal kontrol untuk SRAM dan register I/O, meskipun sama-sama berada dalam satu chip.

EEPROM dapat ditulis ulang sampai 100.000 kali, waktu yang diperlukan untuk mengganti isi satu byte EEPROM berkisar antara 2.5 ms - 4 ms. Agar pengisian EEPROM dapat dilakukan dengan baik, sediakan sinyal yang menandai proses pengisian sudah selesai. Sesaat setelah EEPROM diisi, AVR akan berhenti bekerja selama 2 siklus clock. Hal ini juga terjadi saat setelah EEPROM dibaca isinya, AVR akan berhenti bekerja selama 4 siklus clock.

Dari segi pemrograman EEPROM merupakan perangkat register I/O yang terdiri dari 3 bagian yaitu:

- EECR (*EEPROM Control Register*), yang ditempatkan di register I/O nomor \$1C berfungsi untuk membangkitkan perintah mengisi EEPROM atau membaca isi EEPROM.
- EEDR (*EEPROM Data Register*), ditempatkan di register I/O nomor 1D, diperlakukan sebagai pengganti saluran data.
- EEAR (*EEPROM Address Register*), ditempatkan di register I/O nomor \$1E, diperlakukan sebagai pengganti saluran alamat yang terdiri dari EEARH (*EEAR High Byte-Register I/O nomor \$1E*) dan EEARI. (*EEAR Low Byte-Register I/O nomor \$1F*).

### 2.2.7. Port-Port I/O

Semua port pada AVR memiliki kebenaran fungsional *read-modify-write* ketika digunakan sebagai port I/O umum. Ini berarti bahwa arah dari satu pin port dapat diubah tanpa bermaksud mengubah arah dari pin yang lain dengan instruksi SBI dan CBI.

#### ➤ Port A

Tiga lokasi alamat memori I/O dilokasikan pada port A, masing-masing adalah register data-Port A, \$1B (\$3B), register data *direction* (register pengarah data)-DDRA, \$1A (\$3A), dan pin input port A-PIN A, \$19 (\$39). Pin-pin port A memiliki fungsi alternatif yang terhubung pada pilihan data eksternal SRAM. Port A dapat dikonfigurasi menjadi multiplexed low order alamat/data bus selama akses ke data memori eksternal. (blok diagram dapat dilihat pada lampiran).

#### ➤ Port B

Tiga lokasi alamat memori I/O yang dilokasikan pada port B, masing-masing adalah register data-PORTB, \$18 (\$38), register pengarah data-DDRB, \$17 (\$37), dan pin input port B-PINB, \$16 (\$36). (Blok diagram port B dan fungsi alternative pinnya dapat dilihat pada lampiran).

#### ➤ Port C

Tiga lokasi alamat memori I/O yang dilokasikan pada port C, masing-masing adalah register data-PORTC, \$15 (\$35), register pengarah data-DDRC, \$14 (\$34), dan pin input port C-PINC, \$13 (\$33). (Blok diagram skematik dapat dilihat pada lampiran).

#### ➤ Port D