PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT UJI EMISI GAS KARBON MONOKSIDA DAN GAS OKSIDA NITROGEN

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk melengkapi salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia Yogyakarta



oleh :

Nama : Sony Suhendro

No. Mahasiswa : 02 524 132

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

YOGYAKARTA

2007

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT UJI EMISI GAS KARBON MONOKSIDA DAN GAS OKSIDA NITROGEN

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk melengkapi salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia Yogyakarta



oleh :

Nama : **Sony Suhendro**

No. Mahasiswa : **02 524 132**

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

YOGYAKARTA

2007

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT UJI EMISI GAS KARBON MONOKSIDA DAN GAS OKSIDA NITROGEN

TUGAS AKHIR

Oleh :

Nama : Sony Suhendro

No.Mahasiswa : 02 524 132

Yogyakarta, 29 Mei 2007

Pembimbing I,

(Wahyudi Budi Pramono, ST.)

Pembimbing II,

(Yusuf Aziz Amrullah, ST.)

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT UJI EMISI GAS KARBON MONOKSIDA DAN GAS OKSIDA NITROGEN

TUGAS AKHIR

Oleh :

Nama : Sony Suhendro

No. Mahasiswa : 02 524 132

Telah Dipertahankan Di Depan Sidang Penguji Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia

Tim Penguji,

Wahyudi Budi Pramono, ST.

Ketua

Hendra Setiawan, ST., MT.

Anggota I

Yusuf Aziz Amrullah, ST.

Anggota II

Mengetahui,

Kepala Jurusan Teknik Elektro

(Tito Yuwono, ST, M.Sc)

Halaman persembahan

Tugas Akhir ini
Kupersembahkan Untuk:

Ayahanda **Suroto** *dan Ibunda* **Sri Wahyuni**

Tercinta, Terima kasih atas bimbingan, ketauladanan, pengorbanan, wujud kasih sayang, kesabaran dan ketabahan yang telah kalian berikan kepadaku

Penjaga hatiku **Nuryani** *yang selalu memberikan cinta dan kasih sayang dengan tulus, ikhlas yang membuat hidupku lebih indah dan berguna*

Komputer dan Motor Prima-ku AE5088MZ yang selalu menemani Dan mengantarku....

MOTTO

- **"Sesungguhnya disamping kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila engkau sudah selesai (Mengerjakan sesuatu pekerjaan), kerjakanlah pekerjaan lain. Dan hanya kepada Tuhanmu (sajalah) kamu berharap" (Alam Nasrah, Ayat 6-8)**
- **"Perubahan keadaan sesuatu kaum, bangsa & dan begitu juga setiap orang, akan terjadi manakala ia mengubahnya sendiri. Kaum yang mundur akan maju, manakala ia berusaha dengan giat dan jujur. Kaum yang maju akan hancur, manakala telah rusak moralnya, sudah hilang sifat solidaritas & persatuannya" (Ar'Rad, ayat 5-15)**
- **"Kepada orang mukmin diingatkan agar jangan lupa daratan karena kemenangan. Allah hendaklah selalu diingat, bertasbih dan terus mensucikan-Nya. Demikianlah sikap yang harus diambil waktu menerima karunia Allah" (An Nashr, ayat 3)**
- **Buah pikiran dan karya kecil ini adalah wujud syukurku pada illahi yang kupersembahkan untuk kedua orang tuaku, keluargaku, dan adikku tercinta Nuryani. "Doa akan menjadikan seseorang hidup dengan penuh harapan, tidak dengan keputus asaan. Usaha akan menjadikan hidup lebih dinamis dan berfariasi. Dunia hanyalah perantara, sedangkan akhirat adalah tujuan akhir. Manfaatkan dunia pada jalan yang diredhai Allah, untuk mendapatkan akhirat yang kekal."**
- **Belajar adalah biaya awal, yang harus dibayar, untuk mencapai kesuksesan**

KATA PENGANTAR

بسم الله الرحمن الرحيم

Assalamumu'alaikum Wr.Wb.

Alhamdulillahirrabil'alamin, puji dan syukur kehadirat Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan karunia_Nya sehingga pada akhirnya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **"Perancangan dan Pembuatan Alat Uji Emisi Gas Karbon Monoksida dan Gas Oksida Nitrogen"** dengan lancar. Laporan ini penulis selesaikan dengan mengikuti tahap-tahap pengerjaan landasan teori yang telah penulis serap dibangku perkuliahan ditambah dengan pengalaman yang telah penulis dapatkan.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna baik dari segi isi materi maupun susunan tata bahasanya, kekurangan dan kesalahan, namun demikian penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat khususnya bagi penulis sendiri dan bagi pembaca umumnya.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang tak terhingga kepada kedua orang tua yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan moril maupun materil kepada penulis, serta Bude, Bulik dan sepupu - sepupuku, serta Adikku tercinta (Nuryani) atas curahan kasih sayang, dukungan dan motivasi serta doa dan masukan yang diberikan kepada penulis.

Selanjutnya rasa terima kasih dan penghargaan yang setinggi – tingginya, dengan penuh rasa hormat dan segala ketulusan dan kerendahan hati, penulis sampaikan kepada :

1. Bpk Fathul Wahid, ST. M.Sc. Selaku dekan Fakultas Teknologi Industri (FTI) Universitas Islam Indonesia (UII).
2. Bpk Tito Yuwono, ST. selaku Kajur Teknik Elektro.
3. Bpk Wahyudi Budi Pramono, ST. Selaku dosen pembimbing I yang telah banyak meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan pengarahan kepada penulis dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Bpk Yusuf Aziz Amrullah, ST. Selaku dosen pembimbing II yang telah banyak meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan pengarahan kepada penulis dalam penyusunan tugas akhir ini.
5. Dosen dan karyawan Fakultas Teknologi Industri UII, yang bersedia dengan sabar membantu dan berbagi ilmunya.
6. Seluruh Staf TU dan Perpustakaan Jurusan yang telah banyak membantu segala kelancaran penulis.
7. Teman seperjuangan Eko, Kembar, Arif, Dadang, Dodi, Rasyid, Hamim, Dede, Yudi, V-3 dan Sekunder yang telah memberikan semangat dan motivasi sampai akhirnya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini, thanks to persahabatan dan kebersamaan qt selama ini.
8. Genknya Adkku doclo (Helena, Heni, dan .....) terima kasih atas bantuannya selama di Bandung dan juga telah menjaga Adkku dengan sebaik – baiknya.

9. Seluruh mahasiswa jurusan Teknik Elektro UII terima kasih atas kerjasamanya.
10. Semua sahabat, rekan-rekan, dan semua pihak yang telah mendukung dan membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Semoga semua amal kebaikan yang telah diberikan mendapatkan pahala yang setimpal. Amien. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tugas ini masih jauh dari sempurna karena keterbatasan pengetahuan penulis sebagai mahasiswa, oleh karena itu dengan segala kerendahan hati, penulis menerima saran dan kritik yang sifatnya membangun dari semua pihak.

Akhir kata penulis sampaikan pula harapan semoga tugas ini dapat memberi manfaat yang cukup berarti khususnya bagi penulis dan bagi pembaca pada umumnya. Semoga Allah SWT memberikan hidayah-Nya kepada kita semua.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Yogyakarta, 29 Mei 2007

Sony Suhendro

ABSTRAK

Polusi adalah masalah utama di Indonesia yang harus diperhatikan. Polusi dihasilkan dari pembakaran tidak sempurna kendaraan bermotor dan bahan polutan industri yang berbahaya bagi kesehatan. Secara umum gas dari pembakaran tidak sempurna menimbulkan pengaruh bagi mahluk hidup secara luas dalam konsentrasi yang tinggi. Salah satu cara untuk mengurangi polusi tersebut yaitu dengan menentukan ambang batas emisi gas buang. Tujuan tugas akhir ini adalah merencanakan sebuah sistem yang mampu mendeteksi kadar gas yang berbahaya yang kemudian digunakan untuk menentukan emisi dari kendaraan bermotor. Untuk mendeteksi gas tersebut digunakan sensor gas TGS 2442 dan TGS 2106 buatan Figaro yang sensitif terhadap kadar karbonmonoksida dan oksida nitrogen. Data tegangan analog yang dikeluarkan oleh sensor TGS 2442 dan TGS 2106 akan diubah menjadi digital oleh ADC (*Analog to Digital Converter*) yang kemudian diolah oleh mikrokontroler ATMega8 dan ditampikan nilainya oleh LCD (*Liquid Crystal Display*). Nilai yang ditampilkan LCD adalah dalam bentuk ppm (*part per million*) yang ketika nilainya kurang dari ambang batas akan ditampilkan normal dan lebih dari ambang batas ditampilkan tidak normal .

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i

HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI ii

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI iii

HALAMAN PERSEMBAHAN iv

HALAMAN MOTTO v

KATA PENGANTAR vi

ABSTRAK ix

DAFTAR ISI x

DAFTAR GAMBAR xiii

DAFTAR TABEL xv

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah 1

1.2. Rumusan Masalah 2

1.3. Batasan Masalah 2

1.4. Tujuan Penelitian 2

1.5. Metodologi Penelitian 3

1.6. Sistematika Penulisan 3

BAB II. DASAR TEORI

2.1. Sensor Gas.....5

2.2. Pengkondisi Sinyal.....7

2.2.1 Penguat non Inverting.....8

2.2.2 Penguat Inverting.....9

2.3. LCD (*Liquid Cystal Display*).....9

2.3.1 DDRAM (*Display Data Random Access Memory*).....10

2.3.2 CGRAM (*Character Generator Random Access Memory*).....11

2.3.3 CGROM (*Character Generator Read Only Memory*).....11

2.3.4 Konfigurasi PIN.....11

2.3.5 Register.....13

2.4. Mikrokontroler.....14

2.4.1 Mikrokontroler ATMega8.....16

2.4.2 Struktur Memori ATMega8.....18

2.4.3 Status Register.....19

2.4.4 ADC Internal ATmega8.....21

2.4.5 Resolusi.....23

2.4.6 Akurasi.....23

BAB III. PERANCANGAN ALAT

3.1 Perancangan Rangkaian Sensor.....24

3.2 Perancangan Rangkaian Op-Amp.....26

3.3 Perancangan Rangkaian ADC 27

3.4 Perancangan Mikrokontroler ATMega8 28

3.5 Perancangan Rangkaian LCD 30

3.6 Perancangan Catu Daya 31

3.7 Prototype Sistem Alat Uji Emisi 32

3.8 Perancangan Perangkat Lunak 33

BAB IV. PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian Output Sensor TGS 2442 38

4.2. Pengujian Rangkaian Op-Amp 39

4.3 Pengujian ADC Internal ATMega8 41

4.4 Perhitungan dan Penentuan ppm (*part per milion*) 45

4.5 Pengujian Seluruh Sistem 50

BAB V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan 53

5.2. Saran 54

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 TGS 2442 6

Gambar 2.2 TGS 2106 6

Gambar 2.3 Struktur TGS 2442 6

Gambar 2.4 Struktur TGS 2106 6

Gambar 2.5 Simbol Op-Amp 7

Gambar 2.6 Rangkaian Penguat *non-inverting* 8

Gambar 2.7 Rangkaian Penguat *inverting* 9

Gambar 2.8 Diagram Blok LCD 10

Gambar 2.9 Karakter Displai 10

Gambar 2.10 Diagram blok mikrokontroler ATmega8 15

Gambar 2.11 Konfigurasi pin IC ATMega8 16

Gambar 2.12 Konfigurasi Memori Data AVR ATMega8 19

Gambar 2.13 Status Register ATMega8 19

Gambar 2.14 Diagram blok ADC internal ATmega8 22

Gambar 3.1 Blok Diagram Keseluruhan Sistem 24

Gambar 3.2 Rangkaian Sensor Gas TGS 2442 25

Gambar 3.3 Rangkaian Sensor Gas TGS 2106 25

Gambar 3.4 Rangkaian Op-Amp 26

Gambar 3.5 Rangkaian Osilator 29

Gambar 3.6 Rangkaian Reset 29

Gambar 3.7 Rangkaian Sistem Minimum 30

Gambar 3.8 Rangkaian LCD 31

Gambar 3.9 Rangkaian Catu Daya 32

Gambar 3.10 *Prototype* Alat Uji Emisi 33

Gambar 3.11 Diagram alir program utama mikrokontroler 35

Gambar 3.12 Diagram alir program timer, ADC dan konversi ppm ASCII 36

Gambar 4.1 Rangkaian yang diukur pada sensor 38

Gambar 4.2 Grafik pengukuran V out TGS 2442 terhadap V out op-amp 40

Gambar 4.3 Grafik pengukuran V out TGS 2106 terhadap V out op-amp 40

Gambar 4.4 ADC Internal ATMega8 41

Gambar 4.5 Grafik Pengujian V out op-amp TGS 2442 terhadap nilai ADC 44

Gambar 4.6 Grafik Pengujian V out op-amp TGS 2106 terhadap nilai ADC 44

Gambar 4.7 Grafik hubungan nilai Rs/Ro terhadap ppm gas CO 47

Gambar 4.8 Grafik hubungan nilai Rs/Ro terhadap ppm gas NOx 47

Gambar 4.7 Grafik Pengujian ppm TGS 2442 terhadap nilai ADC 49

Gambar 4.8 Grafik Pengujian ppm TGS 2106 terhadap nilai ADC 50

Gambar 4.9 Konsentrasi Gas 51

Gambar 4.10 Hasil Normal 51

Gambar 4.11 Konsentrasi Gas 51

Gambar 4.12 Hasil Tidak Normal 51

DAFTAR TABEL

Tabel 2.2 Pin LCD 12

Tabel 2.3 Fungsi Port IC ATMega8 18

Tabel 4.1 Hasil pengukuran sampel gas 39

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Rangkaian Op-Amp 40

Tabel 4.3 Pengukuran Vin ADC dan nilai digital ADC 43

Tabel 4.4 Hubungan antara Rs/Ro dan ppm 46

Tabel 4.4 Perhitungan Rs dan Rs/Ro 48

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang sedang beranjak dari negara berkembang ke negara maju. Seiring dengan perkembangan negara, dunia industri di Indonesia memiliki perkembangan yang sangat pesat begitu pula kendaraan-kendaraan bermotor. Di dalam dunia perindustrian, untuk pabrik-pabrik berskala besar maupun kecil, pada dasarnya mempunyai dampak yang dapat merugikan bagi lingkungan sekitarnya, khususnya yang berada di sekitar kawasan industri tersebut, ditambah dengan semakin banyaknya kendaraan yang juga menimbulkan polusi. Kerugian yang disebabkan oleh industri-industri dan kendaraan-kendaraan tersebut berupa polusi dan polusi yang ditimbulkan ini banyak sekali macamnya diantaranya adalah polusi udara.

Polusi udara tersebut diantaranya berbentuk gas yang tidak berbau dan berasa yaitu gas CO (*Carbon Monoksida*), Nox (*Oksida Nitrogen*), CO2 (*Carbon Dioksida*), HC (*Hidro Carbon*) dan H (*Hidrogen*). Gas – gas tersebut tidak dapat dideteksi kecuali menggunakan sensor, sehingga sangat berbahaya bagi kesehatan, khususnya pada pernapasan dan otak. Oleh karena itu, akan dirancang sebuah alat yang dapat mengetahui konsentrasi gas – gas berbahaya yang biasanya dihasilkan oleh kendaraan bermotor dan bahan polutan industri, dengan begitu dapat ditetapkan standar emisi gas buang.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dihadapi dalam perancangan dan realisasi perancangan dan pembuatan alat uji emisi gas CO dan gas NOx secara digital yaitu, bagaimana merancang dan membuat alat untuk mengetahui tingkat polusi udara yang akan digunakan sebagai acuan untuk menentukan emisi gas buang.

1.3 Batasan Masalah

Dalam perancangan dan pembuatan alat uji emisi gas karbon monoksida dan gas oksida nitrogen menitik beratkan pembuatan sistem agar mampu mendeteksi konsentrasi gas berbahaya dengan menggunakan sensor gas CO dan NOx. Sensor mempunyai sensivitas 30 – 1000 ppm untuk sensor gas CO dan 0,1 – 10 ppm untuk sensor gas NOx.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai adalah merancang alat agar bisa digunakan untuk mengetahui konsentrasi gas karbon monoksida (CO) dan gas Oksida Nitrogen (NOx) sehingga dapat digunakan untuk menetapkan standar emisi dari gas buang..

1.5 Metodologi Penelitian

Metode yang akan digunakan dalam tugas akhir ini adalah :

1. Studi literatur untuk mengumpulkan dan mempelajari bahan-bahan pustaka yang berhubungan dengan permasalahan yang dihadapi.
2. Perancangan sistem yang akan dibuat, meliputi perancangan *hardware* dan *Software*.
3. Pengujian sistem, meliputi pengujian per bagian dan keseluruhan sistem.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini terdiri dari 5 bab bagian isi laporan, dengan penjelasan bab sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, metodelogi penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II : LANDASAN TEORI

Memuat dasar-dasar teori yang berhubungan dengan penelitian dan juga dasar teori yang berhubungan dengan uji emisi dan perancangan komponen alat uji emisi yang akan digunakan.

BAB III : PERANCANGAN SISTEM

Menjelaskan tentang perancangan alat uji emisi gas buang kendaraan bermotor dan pengujian sistem yang telah dibuat, serta

berisi lebih terperinci tentang apa yang telah disampaikan pada proposal Tugas Akhir.

BAB IV : PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Membahas tentang hasil pengujian dan analisis dari sistem yang dibuat dibandingkan dengan dasar teori sistem atau uraian alasan ilmiah yang lain.

BAB V : PENUTUP

Berisi kesimpulan dan saran-saran dari proses perancangan, simulasi sistem, serta keterbatasan-keterbatasan yang ditemukan dan juga asumsi - asumsi yang dibuat selama melakukan penelitian.

BAB II

LANDASAN TEORI

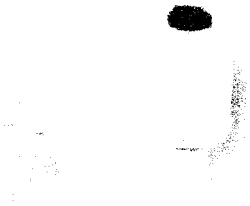
2.1 Sensor Gas

Secara umum sensor dapat diartikan sebagai suatu komponen yang berfungsi untuk mengubah besaran – besaran fisik menjadi sinyal listrik sehingga sinyal keluaran yang berupa besaran listrik dapat dengan mudah diolah pada proses pengolahan selanjutnya. Pada perancangan ini digunakan 2 sensor yaitu sensor TGS 2442 dan TGS 2106.

2.1.1 Sensor Gas TGS 2442 dan TGS 2106

Sensor Gas TGS 2442 dan TGS 2106 adalah sensor yang digunakan untuk mendeteksi adanya gas CO (*Carbon Monoksida*) dan gas Nox (*Oksida Nitrogen*). Sensor ini mempunyai nilai resistansi Rs yang akan berubah jika terkena gas perubahannya tergantung dari besar konsentrasi gas yang dideteksi, kedua sensor tersebut akan digabungkan untuk mengetahui konsentrasi gas buang kendaraan bermotor. Menurut "Buku Peraturan Menteri Lingkungan Hidup tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Nomor 05 tanggal 1 agustus 2006" menetapkan ambang batas emisi gas buang adalah 5,5 % CO untuk sepeda motor 4 langkah dan 4,5 % CO untuk sepeda motor 2 langkah. Gambar sensor gas ditunjukan pada Gambar 2.1 dan Gambar 2.2.



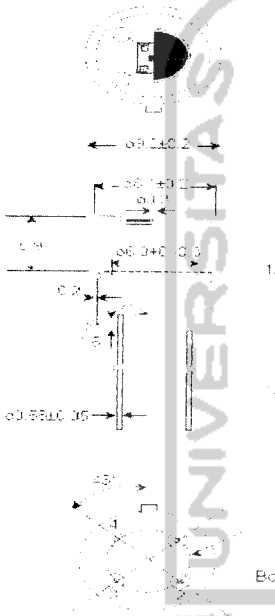


Gambar 2.1. Sensor TGS 2442

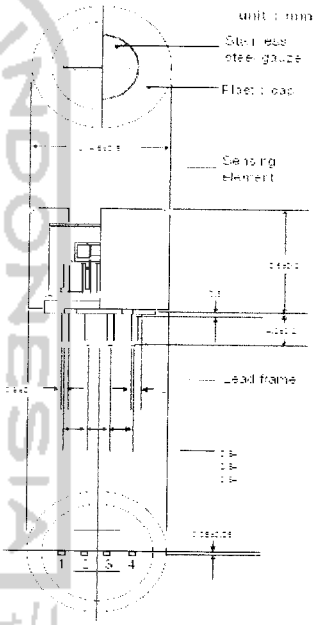


Gambar 2.2. Sensor TGS 2106

Struktur dari sensor terdapat pada Gambar 2.3 dan 2.4.



Gambar 2.3. Struktur TGS 2442



Gambar 2.4. Struktur TGS 2106

Nilai Rs dalam sensor TGS 2442 akan semakin meningkat seiring dengan banyaknya gas yang terdeteksi sehingga tegangan yang dihasilkan oleh sensor ini akan berbanding lurus dengan nilai Rs, sedangkan pada sensor TGS 2106 nilai Rs akan semakin menurun seiring dengan banyaknya gas yang

terdeteksi sehingga tegangan berbanding terbalik dengan nilai Rs. Untuk mencari nilai Rs digunakan rumus:

Untuk sensor TGS 2442,

$$Rs = \frac{Vc \times RL}{Vout} - RL \qquad (2.1)$$

dan untuk sensor TGS 2106,

$$Rs = \frac{Vc - Vout}{Vout} \times RL \qquad (2.2)$$

Dimana : Rs = Resistansi sensor (Ω)

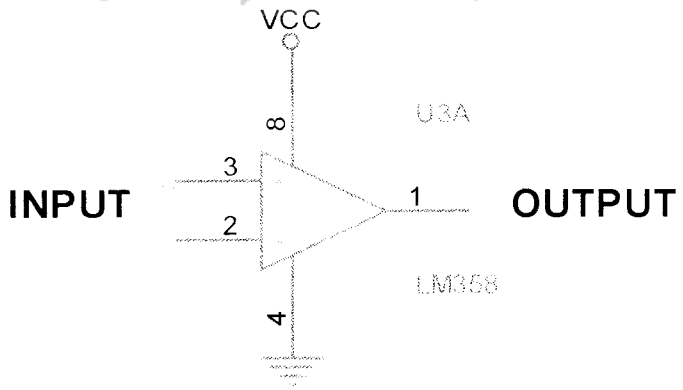
Vc = Catu daya (V)

Vout = Tegangan output (V)

RL = Resistansi output (Ω)

2.2 Pengkondisi Sinyal

Sinyal listrik yang akan diolah umumnya sangat kecil, rangkaian *Op-Amp* (*Operational Amplifier*) dapat digunakan untuk memperkuat sinyal listrik tersebut. Simbol dasar Op-Amp ditunjukan pada Gambar 2.5.



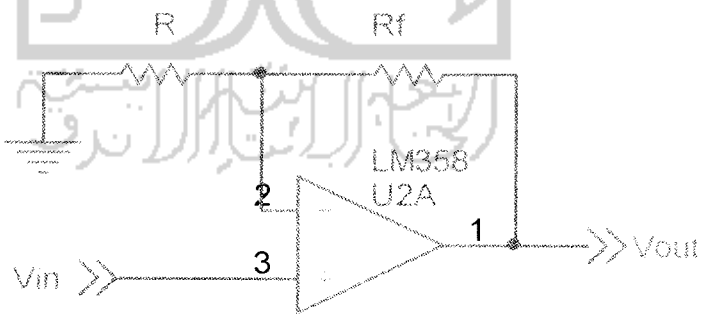
Gambar 2.5. Simbol op-amp

Karakteristik ideal dari Op-Amp ideal adalah :

a. Resistansi masukan R_i sampai tak hingga
b. Resistansi keluaran R_0 sama dengan nol
c. Penguatan tegangan (ΔV) sampai tak hingga
d. *Bandwidth* sampai tak hingga
e. Arus masukkan sama dengan nol
f. Offset tegangan dan arus sama dengan nol

2.2.1. Penguat non Inverting

Rangkaian Op-Amp yang akan dibahas adalah rangkaian penguat non-inverting atau tak membalik fasa. Penguat non-Inverting adalah penguat dimana sinyal input akan masuk pada Op-Amp pada pin non-inverting atau tanda (+) yang berarti keluaran dari penguat ini akan sefasa dengan input .



Gambar 2.6. Rangkaian penguat *non-inverting*

Besarnya penguatannya (ΔV) $= \frac{Vout}{Vin} = 1 + \frac{Rf}{R}$ *(2.3)*

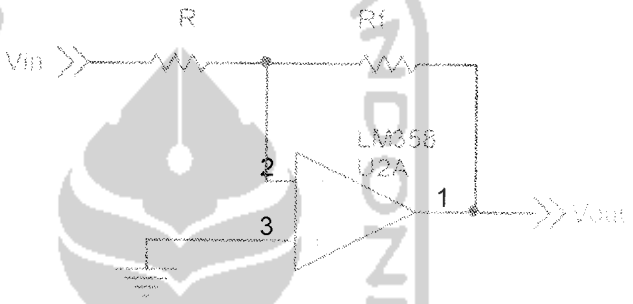
Dimana: Vin = Tegangan masukan (V)

Vout = Tegangan keluaran (V)

Rf = R = nilai resistansi (Ω)

2.2.2. Penguat Inverting

Penguat Inverting adalah penguat dimana sinyal input akan masuk pada Op-Amp pada pin inverting atau tanda (-) yang berarti output dari penguat ini akan berlawanan fasa dengan input.



Gambar 2.7. Rangkaian penguat inverting

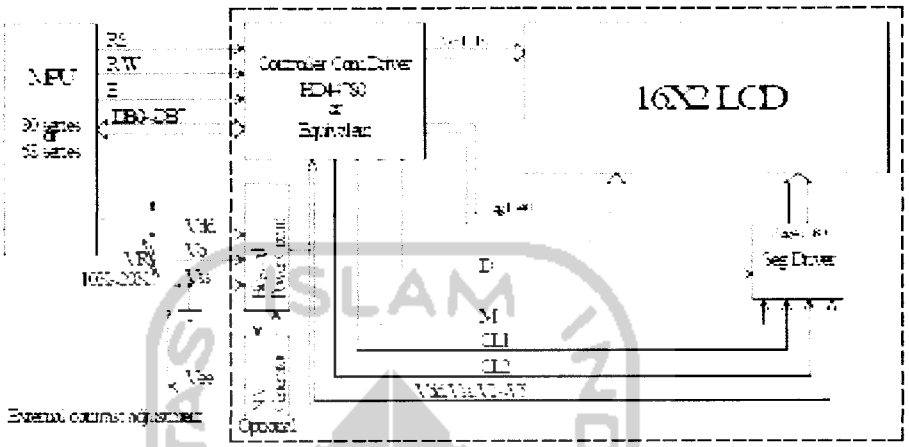
Dari Gambar 2.7 diperoleh persamaan:

Besar penguatannya (AV) = $\frac{Vout}{Vin} = -\frac{Rf}{R}$ *(2.4)*

2.3 LCD (*Liquid Crystal Display*)

LCD adalah suatu display dari bahan cairan kristal yang pengoperasiannya menggunakan sistem dot matriks. LCD yang digunakan adalah LCD Type STN, *Positive*, *Yellow Green*, LCD ini merupakan modul H1602B dengan tampilan 2 x 16 baris dengan konsumsi daya rendah. Modul LCD ini juga dilengkapi dengan mikrokontroler HD44780 buatan Hitachi yang berfungsi

sebagai pengendali. LCD ini memiliki 3 memori, yaitu DDRAM (*Display Data Random Access Memory*), CGRAM (*Character Generator Read Only Memory*). Diagram blok LCD ditunjukkan seperti Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Diagram blok LCD [9]

2.3.1. DDRAM (*Display Data Random Access Memory*)

DDRAM merupakan memori tempat karakter yang akan ditampilkan berada. Contoh, untuk karakter 'A' ditulis pada alamat 00, maka karakter tersebut akan tampil pada baris pertama dan kolom pertama pada LCD. Apabila karakter tersebut ditulis pada alamat 40, maka karakter tersebut akan tampil pada baris kedua kolom pertama dari LCD, seperti Gambar 2.8.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	4F

2-Line by 16-Character Display

Gambar 2.8. Karakter display [9]

2.3.2. CGRAM (*Character Generator Random Access Memory*)

CGRAM merupakan memori untuk menggambarkan pola sebuah karakter, dimana bentuk dari karakter dapat diubah-ubah sesuai dengan keinginan tetapi memori ini akan hilang saat catu daya tidak ada, sehingga pola karakter akan hilang.

2.3.3. CGROM (*Character Generator Read Only Memory*)

CGROM merupakan memori untuk mengGambarkan pola sebuah karakter, dimana pola tersebut sudah ditentukan secara permanen dari HD44780, sehingga pengguna tidak dapat mengubah lagi. Tetapi karena ROM bersifat permanen, maka pola karakter tersebut tidak akan hilang walaupun catu daya tidak ada.

2.3.4. Konfigurasi PIN

LCD ini memiliki 14 PIN dengan fungsi yang berbeda-beda. Terdapat 3 PIN sebagai bit kontrol yaitu E sebagai input Clock, R/W sebagai masukan untuk memilih *read* atau *write* dan RS sebagai *register select*, 8 PIN sebagai bit data yaitu DB0 sampai DB7 dan 2 PIN lainnya VCC dan Ground. Konfigurasi PIN ditunjukan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Pin LCD

Pin No.	Symbol	Level	Description
1	VSS	0V	Ground
2	VDD	5.0V	Supply Voltage for logic
3	VO	(Variable)	Operating voltage for LCD
4	RS	H/L	H :DATA, L : Instruction code
5	R/W	H/L	H :Read (MPU←Module) L:(MPU→ Module)
6	E	H,H→L	Chip enable signal
7	DB0	H/L	Data bit 0
8	DB1	H/L	Data bit 1
9	DB2	H/L	Data bit 2
10	DB3	H/L	Data bit 3
11	DB4	H/L	Data bit 4
12	DB5	H/L	Data bit 5
13	DB6	H/L	Data bit 6
14	DB7	H/L	Data bit 7
15	A	4.2V–4.6V	LED+
16	K	0V	LED-

2.3.5. Register

HD44780 mempunyai 2 buah register yang aksesnya diatur dengan menggunakan pin RS berlogika '0', maka register yang diakses adalah register perintah dan pada saat RS berlogika '1', maka register yang diakses adalah register data.

a. Register Perintah

Register ini adalah register, dimana perintah-perintah dari mikrokontroler ke HD44780 pada saat proses penulisan data atau tempat status dari HD44780 dapat dibaca pada saat pembacaan data.

b. Register Data

Register ini adalah register, dimana mikrokontroler dapat menuliskan atau membaca data di DDRAM. Penulisan pada register ini akan menempatkan data tersebut ke DDRAM sesuai dengan alamat yang telah diatur sebelumnya.

c. Penulisan data ke Register Perintah dan Register Data

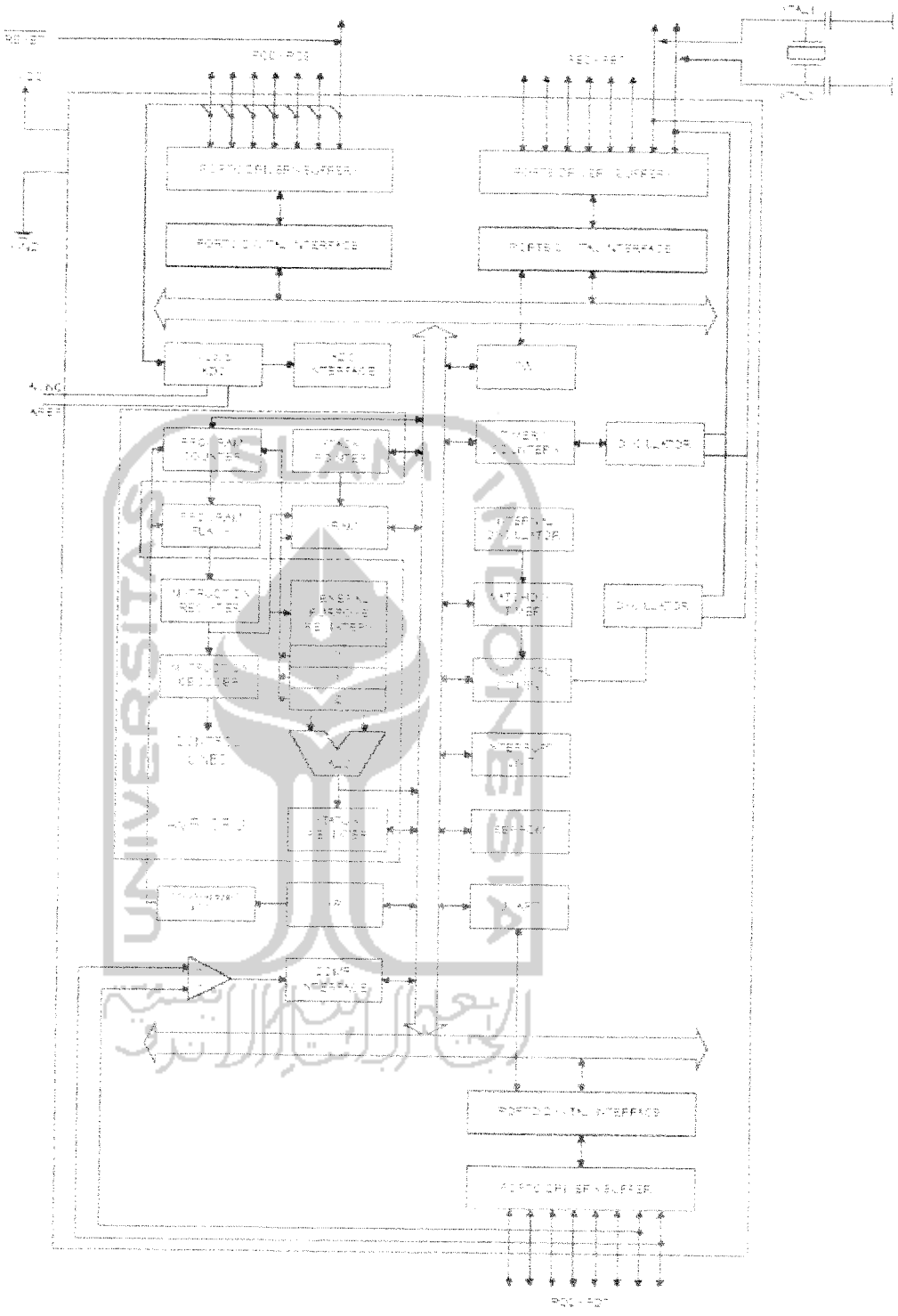
Penulisan data ke register perintah dilakukan dengan tujuan mengatur tampilan LCD, inisialisasi dan mengatur *Address Counter* maupun *Address Data*. Kondisi RS berlogika '0' menunjukan data ke register perintah. Perintah R/W berlogika '0' yang menunjukan proses penulisan data. Sedangkan penulisan data pada Register Data dilakukan untuk mengirimkan data yang akan ditampilkan pada LCD. Proses diawali dengan adanya logika 1 pada RS yang menunjukan akses pada Register Data, kondisi R/W diatur pada logika 0 yang

menunjukan pada proses penulisan data. Pengiriman data dari data bus DB0 – DB7 diawali dengan pemberian pulsa logika 1 ada E *clock* dan diakhiri dengan pulsa logika 0 pada E *clock*.

2.4. Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah suatu sistem mikroprosesor lengkap yang terintegrasi dalam sebuah IC (*integrated circuit*) atau *single chip*. Mikroprosesor itu sendiri merupakan suatu komponen rangkaian yang terintegrasi digital dengan skala besar atau integrasi skala yang sangat besar yang berkemampuan sebagai unit pengolahan pusat (CPU = *Central Processing Unit*). Komponen – komponen yang ada pada mikrokontroler antara lain, RAM/ROM, peralatan I/O, dan osilator. Setiap mikrokontroler memiliki spesifikasi yang berbeda dalam hal kecepatan pengolahan data, kapasitas memori flash, EEPROM, komunikasi serial, ADC, dan sebagainya.

Dalam hal ini untuk menyelesaikan suatu perancangan alat dengan menggunakan mikrokontroler, seperti alat ukur atau alat pendeteksi digunakan mikrokontroler yang mampu mengolah data dengan cepat dengan *error* atau kesalahan yang kecil. Berikut adalah diagram blok salah satu contoh mikrokontroler ATmega8 yang mampu mengolah data dengan cepat dengan ADC internal yang dimilikinya, ditunjukan pada Gambar 2.9.



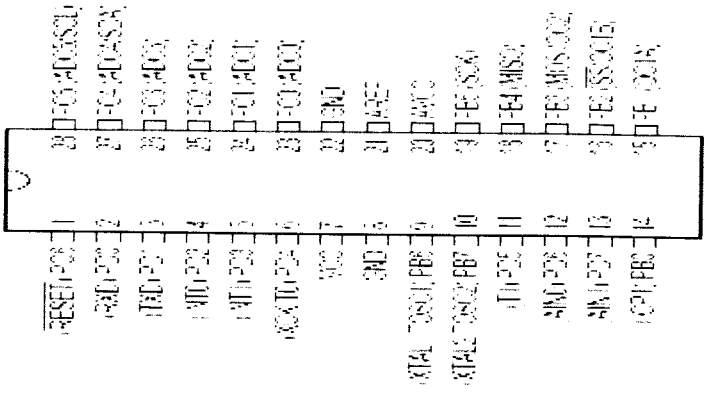
Gambar 2.9. Diagram blok mikrokontroler ATmega8 [8]

2.4.1. Mikrokontroler ATmega8

Dari Gambar 2.1 ATmega8 memiliki spesifikasi sebagai berikut :

a. Sistem mikroprosesor 8 bit berbasis RISC dengan kecepatan maksimal 16 MHz.
b. Saluran I/O sebanyak 22 buah, yaitu Port B, Port C, Port D.
c. ADC 10 bit sebanyak 4 saluran dan 8 bit sebanyak 2 saluran.
d. Tiga buah *Timer/Counter* dengan kemampuan pembandingan.
e. CPU yang terdiri atas 32 buah register.
f. *Watchdog Timer* dengan osilator internal sebesar 1 Mhz
g. SRAM sebesar 1K byte.
h. Memori *Flash* sebesar 8 kb dengan kemampuan *Read While Write*.
i. Unit interupsi internal dan eksternal.
j. Port antarmuka SPI
k. EEPROM sebesar 512 byte yang dapat diprogram saat operasi.
l. Antarmuka komparator analog.
m. Port USART untuk komunikasi serial.

Konfigurasi pin IC ATmega8 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10. Konfigurasi pin IC ATmega8 [data sheet]

Deskripsi pin ATmega8 sebagai berikut :

a. **VCC** merupakan pin yang berfungsi sebagai pin masukan catu daya.

b. **GND** merupakan pin Ground.

c. **Port B (PB0 - PB7)** merupakan pin I/O dua arah.

d. **Port C (PC0 - PC6)** merupakan pin I/O dua arah dan pin masukan ADC.

e. **Port D (PD0 - PD7)** merupakan pin I/O dua arah dan pin fungsi khusus yaitu, komparator analog, komunikasi serial, dan interupsi eksternal.

f. **RESET** merupakan pin yang digunakan untuk mereset mikrokontroler.

g. **XTAL1 dan XTAL2** merupakan pin masukan clock eksternal terdapat pada pin PB6 dan PB7.

h. **AVCC** merupakan pin masukan tegangan untuk ADC.

i. **AREF** merupakan pin masukan tegangan referensi ADC.

Tabel 2.2 Fungsi Port IC ATmega8

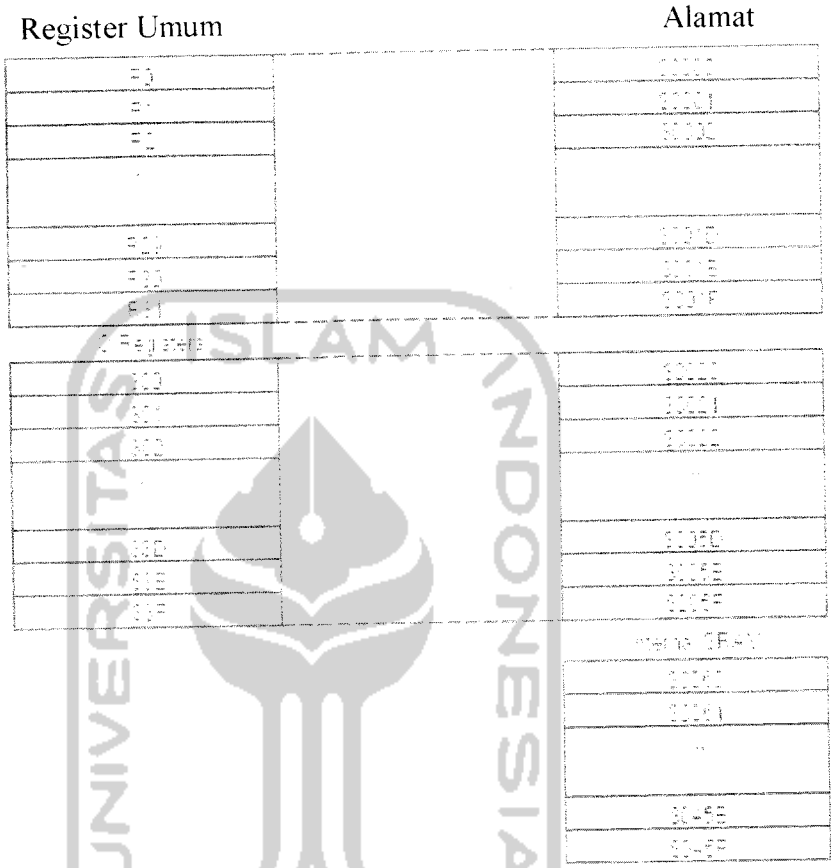
Port Pin	Fungsi *Alternate* / Pengganti
PB.3	MOSI (*master out slave in*)
PB.4	MISO (*master in slave out*)
PB.5	SCK (*system clock*)
PC.0	ADC0 (*analog to digital converter* 0)
PC.1	ADC1 (*analog to digital converter* 1)
PC.2	ADC2 (*analog to digital converter* 2)
PC.3	ADC3 (*analog to digital converter* 3)
PD.0	RXD (penerimaan data serial)
PD.1	TXD (pengiriman data serial)
PD.2	INT0 (*interrupt* eksternal 0)
PD.3	INT1 (*interrupt* eksternal 1)

2.4.2 Struktur Memori Mikrokontroler ATmega8

Perangkat Mikrokontroler ATmega8 memiliki alamat tersendiri untuk Program Memori dan Data Memori. Memori data terbagi menjadi 3 bagian, yaitu 32 buah register umum, 64 buah I/O, dan 1K byte SRAM Internal.

Register keperluan umum menempati *space* data pada alamat terbawa, yaitu $00 sampai $1F. Untuk register khusus untuk menangani I/O dan kontrol terhadap mikrokontroler menempati 64 alamat berikutnya, yaitu mulai dari $20 hingga $5F. Register tersebut merupakan register khusus digunakan untuk

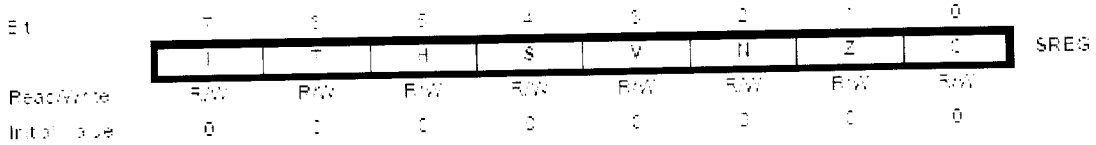
mengatur fungsi terhadap berbagai peripheral mikrokontroler, seperti kontrol register, timer/counter, fungsi – fungsi I/O, dan sebagainya.



Gambar 2.11. Konfigurasi Memori Data AVR ATmega8 [8]

2.4.3 Status Register (SREG)

Status Register merupakan register yang berisi status yang dihasilkan pada setiap operasi yang dilakukan ketika suatu instruksi dieksekusi, dan merupakan bagian dari ini CPU mikrokontroler.



Gambar 2.12. Status register ATmega8 [8]

a. **Bit 7 – I: Global Interupt Enable**

Bit harus diset untuk meng-enable interupsi. Setelah itu interupsi baru dapat diaktifkan dengan cara meng-enable bit kontrol register yang bersangkutan secara individu. Bit akan di-clear apabila terjadi suatu interupsi yang dipicu oleh hardware, dan bit tidak akan mengijinkan terjadinya interupsi, serta akan diset kembali oleh instruksi RETI.

b. **Bit 6 – T: Bit Copy Storage**

Instruksi BLD dan BST menggunakan bit-T sebagai sumber atau tujuan dalam operasi bit. Suatu bit dalam sebuah register GPR dapat diasalin ke bit T menggunakan instruksi BST, dan sebaliknya bit-T dapat disalin kembali kesuatu bit dalam register GPR menggunakan instruksi BLD.

c. **Bit 5 – H: Half Carry Flag**

d. **Bit 4 – S: *Sight Bit***

Bit-S merupakan hasil operasi EOR antara flag-N (Negatif) dan flag-V **(complemen dua overflow).**

e. **Bit 3 – V:Two's Complement Overflow Flag**

Bit berguna untuk mendukung operasi aritmatika.

f. **Bit 2 – N: Negative Flag**

Apabila suatu operasi menghasilkan bilangan negatif, maka flag-N akan diset.

g. **Bit 1 – Z: *Zero Flag***

Bit akan diset bila hasil operasi yang diperoleh adalah nol.

h. Bit 0 – C: *Carry Flag*

Apabila suatu operasi menghasilkan carry, maka bit akan diset.

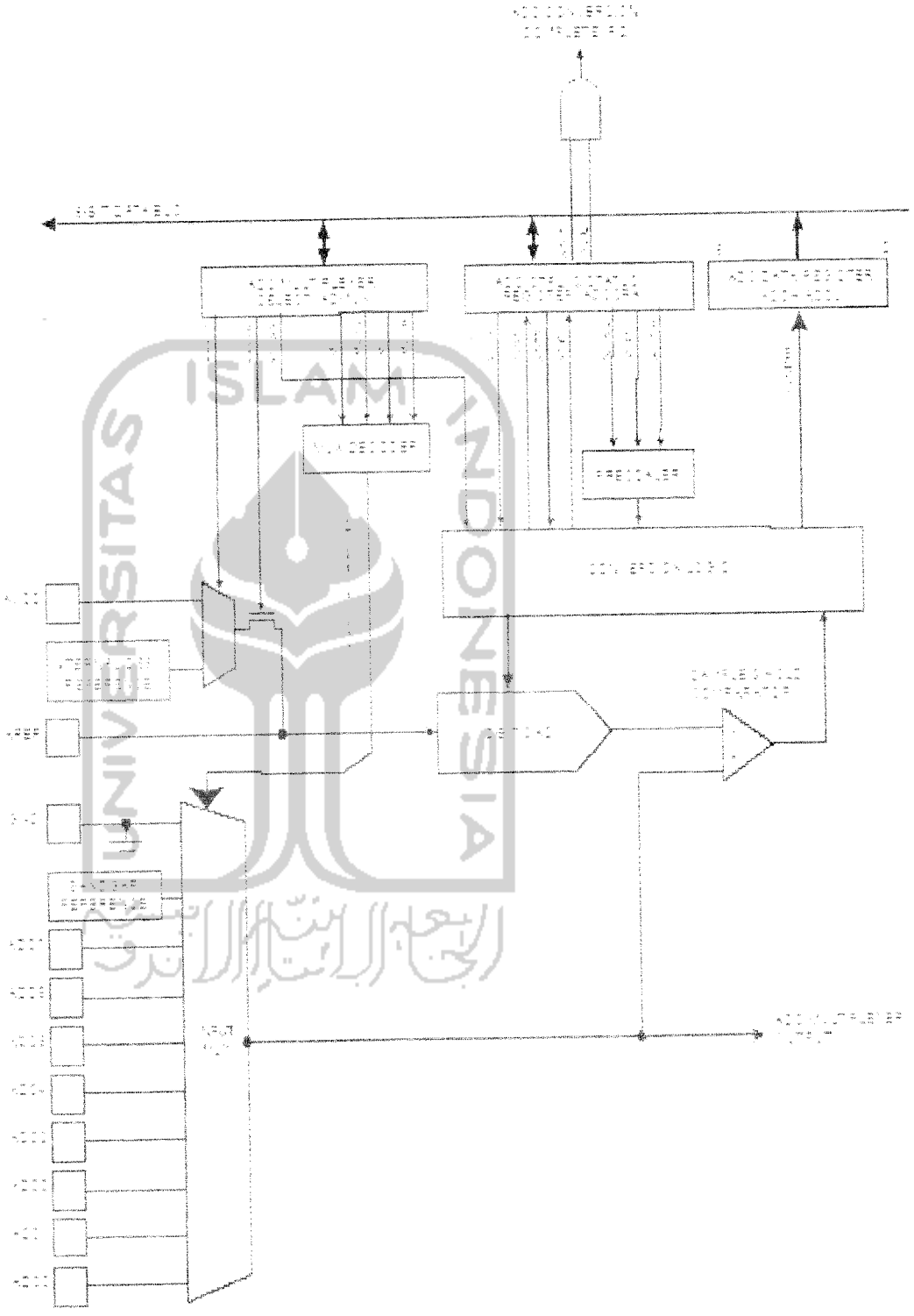
2.4.4. ADC Internal ATmega8

ADC adalah sebuah rangkaian yang berfungsi mengubah sinyal analog menjadi bit-bit sinyal digital. Sinyal analog yang masuk ke input ADC diubah menjadi suatu deretan bilangan biner yang mempresentasikan besarnya input sinyal analog yang masuk ke ADC.

Spesifikasi dari ADC Internal ATmega8 antara lain:

a. Resolusi: 10 bit ADC0 – ADC3 dan 8 bit ADC4 – ADC5
b. Tegangan Catu: 4.5 – 5.5V
c. Tegangan Input 0 - VCC
d. Waktu konversi: 65 - 260µs
e. Mode konversi *free running* dan *single conversion*
f. Tegangan Referensi *Internal* 2.56V
g. *Interrupt on* ADC *Conversion Complete*
h. 2 kanal input dengan penguatan 10 dan 200x (*differensial*)

ADC ini dapat menggunakan dua mode, yaitu *single conversion* dan *free running* untuk melakukan konversi sinyal analog yang masuk ke pin input menjadi sinyal digital. Bilangan biner yang mewakili sinyal analog pada suatu harga tertentu dikenal dengn nama cuplikan (*sample*), sedangkan frekuensi untuk mencuplik tersebut laju cuplikan (*sampling rate*). Diagram blok ADC internal ATmega8 ditunjukan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.13. Diagram blok ADC internal ATmega8 [8]

2.4.5. Resolusi

Resolusi merupakan perubahan yang dapat terjadi pada keluaran digital sebagai hasil perubahan pada input analog. Proses perubahan data analog menjadi data digital tergantung dari jumlah bit pada suatu ADC yang digunakan. Dimana resolusi adalah besaran terkecil (analog) yang masih dapat dikonversikan menjadi satuan digital.

$$\text{Resolusi} = (1/2^n) \times \text{Vref} \qquad (2.5)$$

Dimana :

n : Banyaknya bit ADC

Vref : Tegangan referensi yang digunakan (volt)

2.4.6. Akurasi

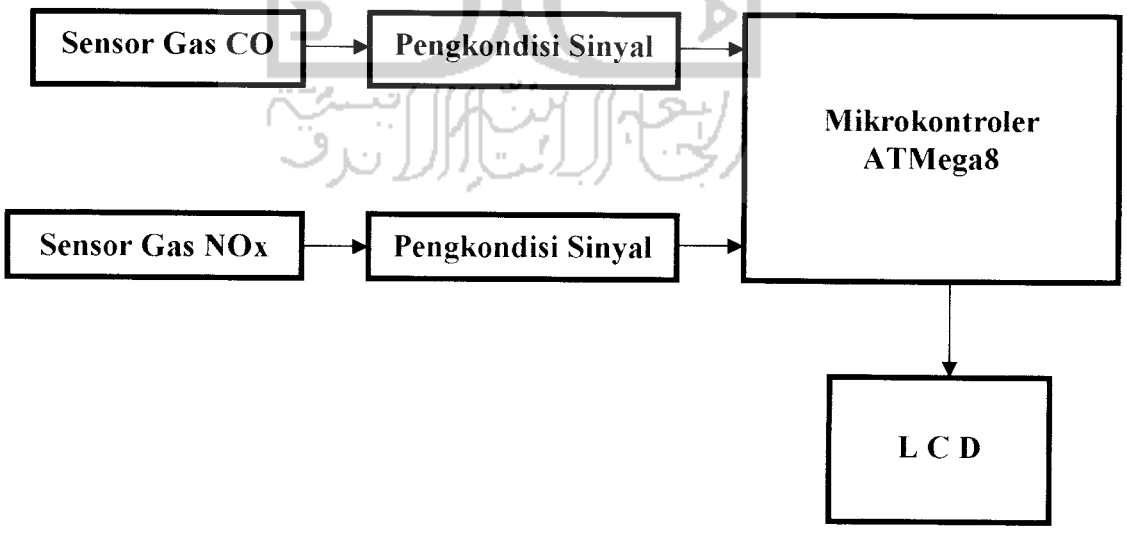
Akurasi dari ADC ditentukan oleh ketelitian dari komponen – komponen pada rangkaiannya. Seperti perbandingan kepresisian nilai tahanan – tahanan ADC, sumber tegangan referensi. Selain itu, akurasi merupakan spesifikasi yang menunjukan suatu ADC untuk mengkonversi suatu input analog. Semakin tinggi akurasi yang dimiliki ADC maka keluaran ADC ini mempunyai besaran yang semakin mendekati nilai yang seharusnya.

BAB III

PERANCANGAN ALAT

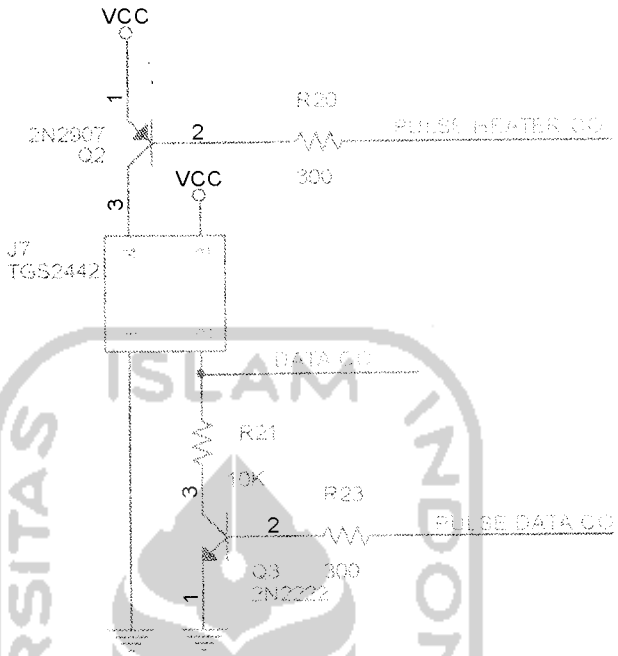
Dalam bab III akan dibahas mengenai perancangan sistem yang didalamnya terdapat perancangan rangkaian elektronik. Rangkaian pendeteksi gas ini digunakan untuk mengetahui kadar gas karbon monoksida dan oksida nitrogen, karena keluaran sensor kecil maka digunakan rangkaian penguat tegangan dengan tujuan memperbesar keluaran dari sensor, maksimal keluaran dari op-amp harus 5V karena batas maksimal input ke ADC adalah 5V. Pada rangkaian ini digunakan ADC yang akan mengkonversi data dari keluaran op-amp menjadi data digital agar dapat diolah dan dibaca dalam mikrokontroler, kemudian akan ditampilkan kedalam LCD dalam bentuk angka.

Implementasi sistem ini secara garis besar ditunjukkan pada Gambar 3.1.

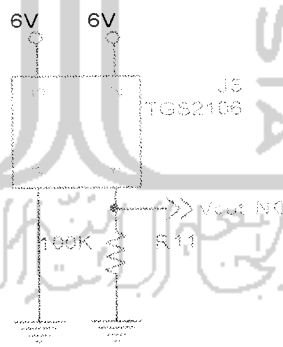


Gambar 3.1. Blok diagram keseluruhan sistem

3.1 Perancangan Rangkaian Sensor



Gambar 3.2. Rangkaian sensor gas TGS 2442



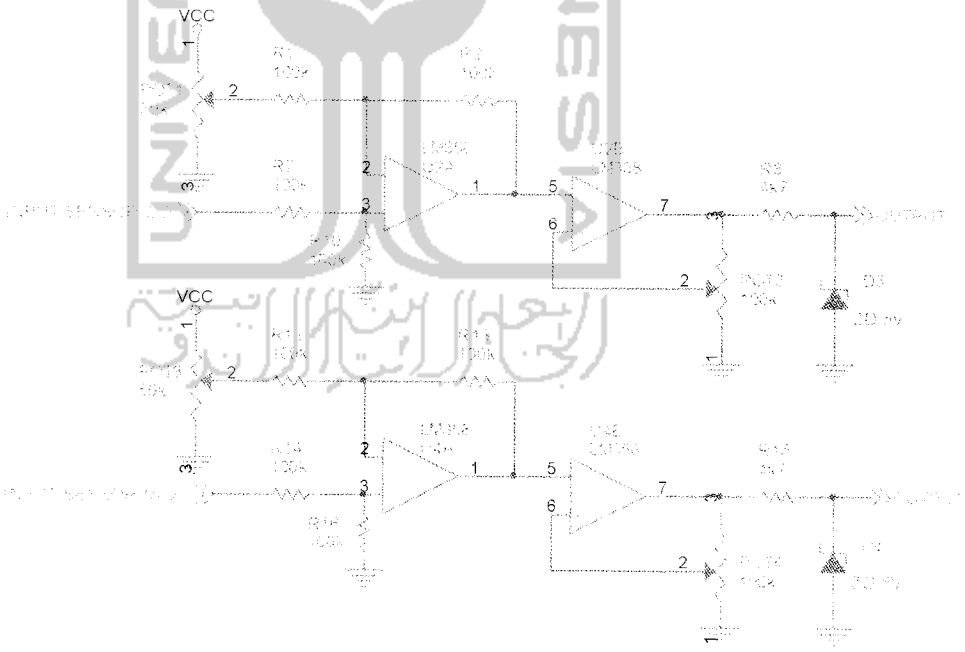
Gambar 3.3. Rangkaian sensor gas TGS 2106

Pada rangkaian sensor gas CO terdapat 2 transistor yaitu, 2N2907 dan 2N2222. Pada prinsipnya fungsi transistor ini sama yaitu sebagai *switching* atau saklar, perbedaannya pada jenis transistornya dan masukan yang masuk pada

basisnya, yaitu untuk 2N2907 akan ON ketika kaki basis berlogika 1 dan untuk 2N2222 akan ON ketika kaki basis berlogika 0. Kedua transistor diatas berfungsi untuk mensaklar ON atau OFF dalam beberapa detik agar arus tidak konstan karena bila arus konstan akan mempengaruhi kerja sensor dan dapat menyebabkan kerusakan. Pengaturan *switching* dilakukan oleh mikrokontroler yang berupa sinyal pulsa yang dihubungkan dengan kaki basis transistor.

3.2 Perancangan Rangkaian Op-Amp

Rangkaian op-amp berguna sebagai penguat. Dalam rangkaian ini menggunakan dua buah IC LM358 dimana tiap satu keping IC terdapat sepasang op-amp. Op-amp ini membutuhkan tegangan *single supply* atau 12V dan 0V saat beroperasi. Rangkaiannya ditunjukan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Rangkaian op-amp

Dalam perancangan rangkaian op-amp ini digunakan sistem selisih tegangan atau pengurang, dengan menggunakan V – R sebesar 50 KΩ sebagai pembagi tegangan antara VCC dan GND. Perancangan ini digunakan karena output dari sensor TGS 2442 sudah terdapat tegangan yaitu sekitar 2V yang ketika mendeteksi gas keluarannya akan meningkat, untuk membuat tegangan 2V menjadi 0V digunakan pembagi tegangan sebesar 50 KΩ dengan cara memutar V – R sampai diperoleh tegangan 2V, sehingga keluaran op-amp akan 0V. Sedangkan sensor TGS 2106 yang outputnya sudah terdapat tegangan sekitar 5.75V yang akan turun ketika mendeteksi gas, juga digunakan rangkaian pembagi tegangan yang berfungsi sebagai pengurang sehingga tegangan akan menjadi 5V. Setelah melewati rangkaian selisih tegangan atau pengurang tegangan keluaran akan melewati rangkaian penguat, rangkaian penguat ini berfungsi sebagai penyangga (*buffer*) sehingga penguatannya hanya 1 kali. Untuk membatasi tegangan agar tidak melebihi tegangan 5 volt digunakan diode zener.

3.3 Perancangan Rangkaian ADC

ADC yang digunakan dalam perancangan ini menggunakan ADC internal mikrokontroler ATMega8. ADC internal ini lebih mudah penggunaanya dari pada ADC eksternal seperti ADC0808 yang memerlukan rangkaian khusus. Input dari ADC ini berada pada Port C yaitu pada pin ADC0/PC0 dan ADC1/PC1 dimana inputnya adalah data dalam bentuk tegangan yang telah melewati rangkaian pengkondisi sinyal.

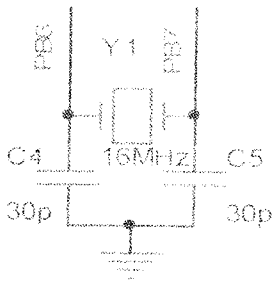
Proses inisialisasi ADC meliputi prosses penentuan clock, tegangan referensi, format keluaran data, dan mode pembacaan. Register yang perlu diset nilainya adalah ADMUX (ADC *Multiplexer Selection Register*), dan SFIOR (*Special Function IO Register*). ADMUX merupakan register 8 bit yang berfungsi menentukan tegangan referensi ADC, format data output, dan saluran ADC yang digunakan. Untuk mengkonversi data analog terdapat 2 mode yaitu, mode *single conversion* dan mode *free running*., pada perancangan ini digunakan mode *single conversion* karena data yang diolah lebih dari satu.

Proses pembacaan hasil konversi ADC, dilakukan dengan melakukan pengecekan terhadap bit ADIF (*ADC Interupt Flag*) pada register ADCSRA. ADIF akan bernilai satu jika konversi sebuah saluran ADC telah selesai dilakukan dan data hasil konversi siap untuk diambil, demikian sebaliknya. Data disimpan dalam 2 buah register yaitu, ADCH dan ADCL.

Dalam perancangan digunakan ADC 10 bit sehingga hasil konversi memiliki rentang 0 – 1023 yang berasal dari $2^{10} = 1024$, untuk tegangan referensi atau AREF digunakan VCC atau 5V dengan menggabungkan pin AREF dan pin AVCC dengan VCC.

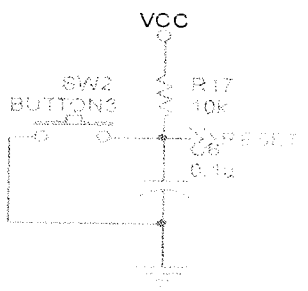
3.4 Perancangan Rangkaian Mikrokontroler ATMega8

Rangkaian minimum sistem dari mikrokontroler adalah rangkaian osilator dan rangkaian reset. Rangkaian osilator digunakan untuk membangkitkan *clock* seperti pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5. Rangkaian osilator

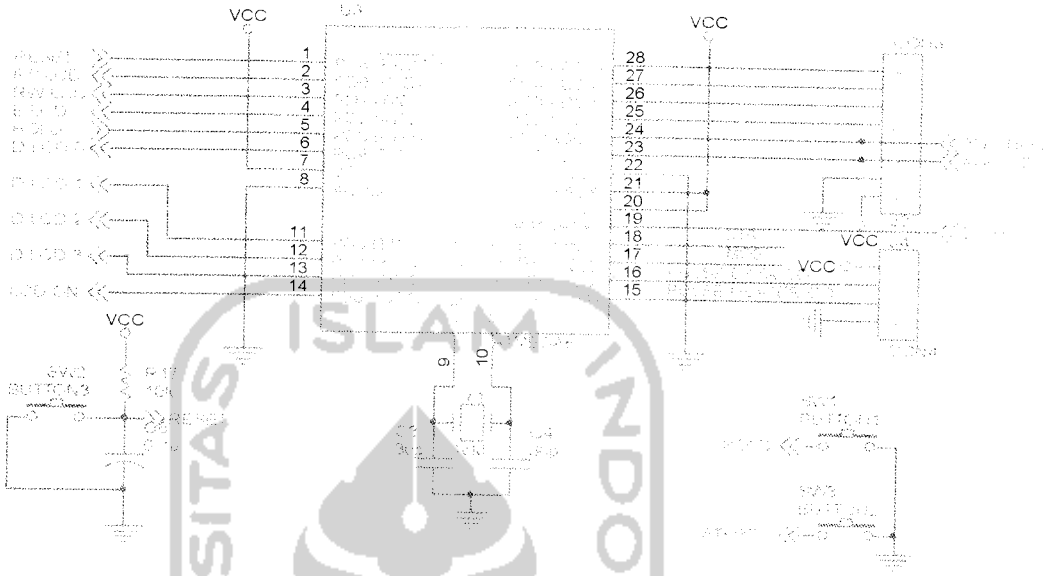
Pada rangkaian osilator ini digunakan kristal dengan frekuensi 16 MHz dengan dua buah kapasitor 30 pf. Sedangkan rangkaian reset pada Gambar 3.6 berfungsi untuk menjaga agar pin RST mikrokontroler selalu berlogika rendah saat mikrokontroler mengeksekusi program. Mikrokontroler direset pada transisi tegangan rendah ke tegangan tinggi oleh karena itu pada pin RST dipasang kapasitor yang terhubung ke ground dan resistor ke VCC yang menjaga RST bernilai 1 saat pengisian kapasitor dan bernilai 0 saat kapasitor penuh. Pada saat sumber tegangan diaktifkan kapasitor terhubung singkat sehingga arus mengalir dari VCC langsung ke pin RST sehingga reset berlogika 1, kemudian kapasitor terisi hingga tegangan pada kapasitor sama dengan VCC pada saat ini kapasitor penuh. Dengan demikian tegangan reset akan turun menjadi 0 sehingga pin RST berlogika 0.



Gambar 3.6. Rangkaian reset

Nilai kapasitor pada Gambar 3.6 dipilih 0.1 uF agar pengisian muatan lebih cepat sehingga pin RST juga lebih cepat berlogika 0.

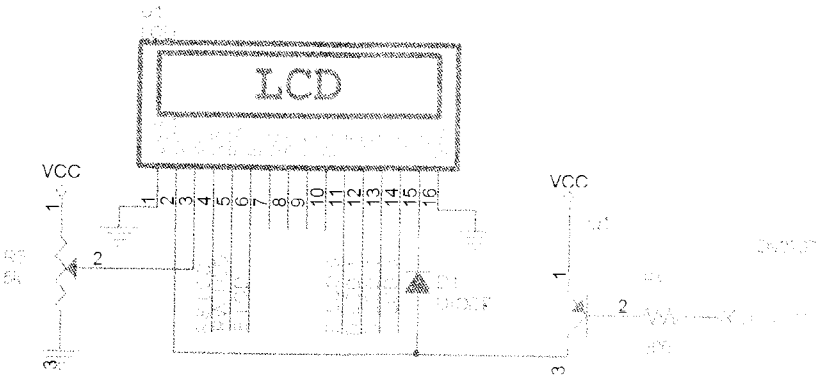
Rangkaian sistem minimum selengkapnya ditunjukan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7. Rangkaian sistem minimum

3.5 Perancangan Rangkaian LCD

LCD adalah alat yang berfungsi sebagai penampil. Pada perancangan ini digunakan LCD H1602B 2 x 16 baris buatan Hitachi yang mempunyai 16 pin yang berfungsi sebagai jalur data, dengan konsumsi daya rendah menggunakan catu daya sebesar 5V. Untuk jalur LED atau *backlight* yang terdapat pada pin 15 diberi sebuah diode agar tegangan tidak melebihi kebutuhan sehingga tidak merusak LCD sedangkan untuk mengatur kontras agar layar di LCD terlihat jelas pada rangkaian diberi V-R sebesar 10KΩ. Rangkaian selengkapnya ditunjukkan pada Gambar 3.8.

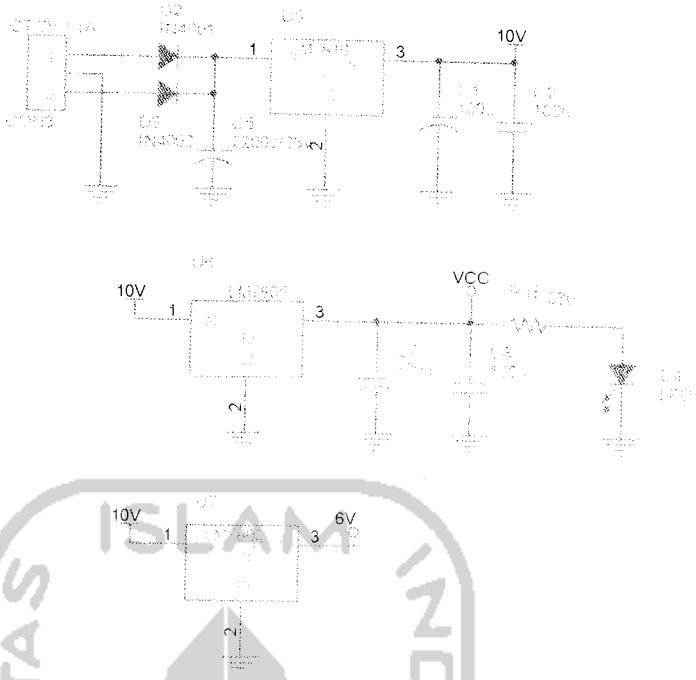


Gambar 3.8. Rangkaian LCD

Pada Rangkaian LCD diatas digunakan transistor 2N2907 untuk memudahkan pengontrolan catu daya yang berfungsi sebagai *switching* atau saklar yang terhubung ke mikrokontroler.

3.6 Perancangan Catu Daya

Untuk rangkaian catu daya digunakan transformator CT (*Center Tap*). Tegangan yang diambil dari trafo sebesar 12V CT AC, untuk mengubahnya menjadi DC digunakan 2 diode 1N4002 yang berfungsi menyearahkan arus, keluaran dari diode ini belum benar – benar bersih sehingga digunakan kapasitor untuk menghilangkan derau. Keluaran dari catu daya ini harus dibuat se-stabil mungkin agar rangkaian berjalan dengan normal dan tidak terjadi derau atau gangguan, digunakan regulator yang juga digunakan untuk menurunkan tegangan sesuai kebutuhan semua rangkaian. Rangkaian catu daya selengkapnya ditunjukan pada Gambar 3.9.



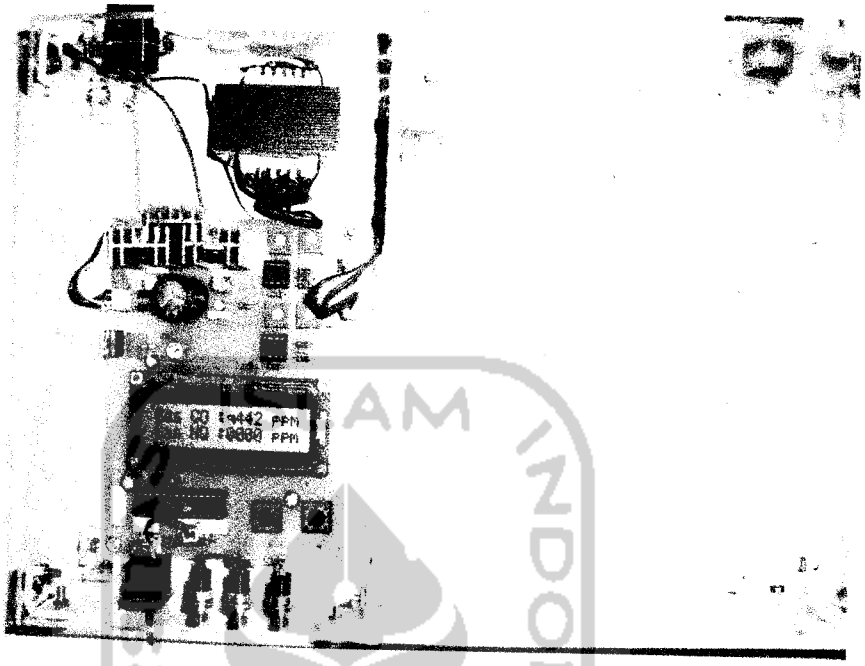
Gambar 3.9. Rangkaian catu daya

Rangkaian catu daya pada Gambar 3.9 diatas dibagi menjadi beberapa tegangan keluaran yaitu, tegangan 6V digunakan untuk mengoperasikan sensor gas TGS 2106, tegangan 12V digunakan untuk mengoperasikan op-amp, dan tegangan 5V digunakan untuk mengoperasikan sensor TGS 2442, op-amp untuk tegangan referensi, mikrokontroler, dan LCD.

3.7 *Prototype* Sistem Alat Uji Emisi

Prototype sistem alat uji emisi ini didesain seperti halnya sebuah ruangan berbentuk empat persegi panjang dengan bahan yang digunakan adalah akrilik dengan tebal 2 mm dengan ukuran panjang 30 cm, lebar 20 cm dan tinggi 8,5 cm. Ruangan ini dibagi menjadi dua dimana satu bagian sebagai ruang untuk sensor sekaligus ruang sampel gas, dan bagian yang lain digunakan untuk penempatan

rangkaian sensor, LCD beserta catu daya. *prototype* ditunjukan pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10. *Prototype* alat uji emisi

3.8 Perancangan Perangkat Lunak

Perangakat lunak merupakan sekumpulan instruksi yang digunakan sebagai sistem operasi yang mengontrol perangkat keras dalam memberikan masukan dan keluaran data serta pertukaran informasi. Jadi perangkat lunak direalisasikan untuk mendukung perangkat keras.

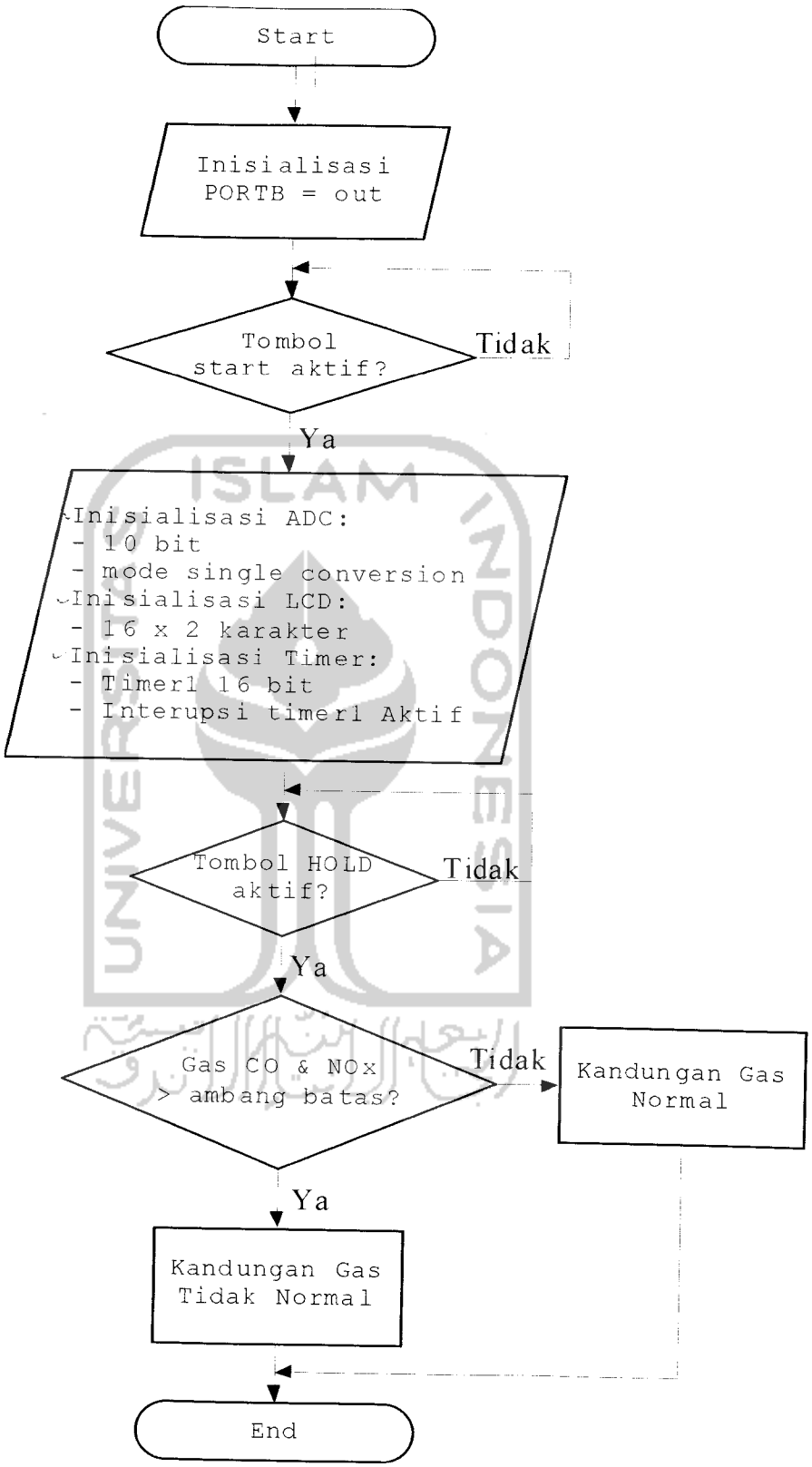
Dalam perancangan perangkat lunak dibahas tentang perancangan ADC, perubahan data digital menjadi kode ASCII agar dapat dibaca oleh LCD dan implementasi diagram alir yang meliputi inisialisasi program. Bahasa pemrograman yang biasa digunakan adalah bahasa *assembly*, kemudian dikembangkan kompailer untuk bahasa tingkat tinggi. Untuk mikrokontroler

keluarga AVR dan MCS-51 bahasa tingkat tinggi yang dikembangkan antara lain, *Basic*, *Pascal*, dan C. Bahasa C paling banyak dikembangkan semisal *code vision compailer*, *Keil compailer* dan *Small Device* C Compailer (SDCC). Pemograman yang digunakan dalam rangkaian ini menggunakan bahasa C menggunakan *code vision compailer*.

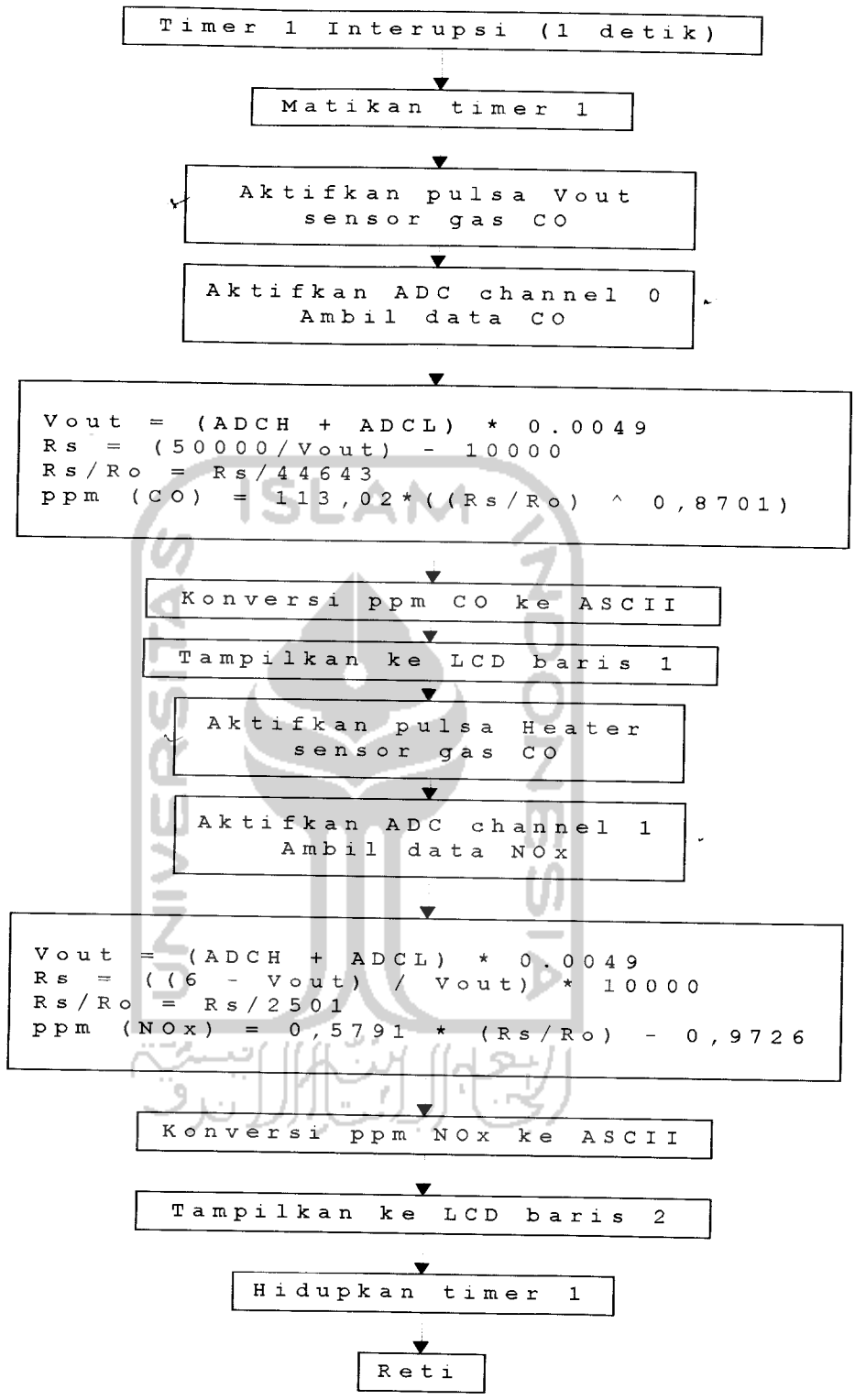
3.8.1. Program Pada Mikrokontroler

Program pada mikrokontroler ini berfungsi untuk mengambil data dari ADC yang inputnya adalah sinyal analog dari sensor yang telah melalui penguatan pada rangkaian op-amp. Data akan diolah oleh mikrokontroler kemudian ditampilkan pada LCD 2x16 karakter.

Untuk memudahkan dalam pembuatan program, diperlukan diagram alir sebagai kerangka dasar logika program. Diagram alir (*flowchart*) ditunjukan Gambar 3.11 dan Gambar 3.12.



Gambar 3.12. Diagram alir program utama mikrokontroler.



Gambar 3.12. Diagram alir program timer, ADC dan konversi ppm ASCII.

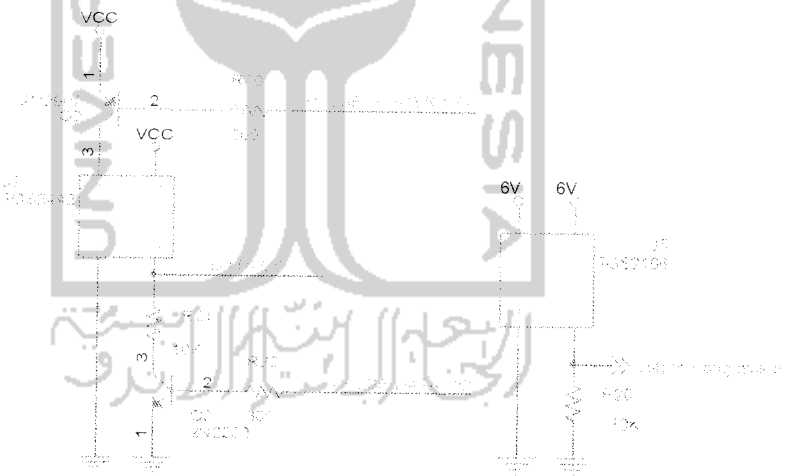
BAB IV

PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Tugas akhir ini ditujukan untuk mengetahui konsentrasi gas CO dan Nox yang dikeluarkan dari gas buang kendaraan bermotor dan bahan polutan industri. Dengan diketahuinya konsentrasi gas maka dapat digunakan untuk menentukan nilai standar emisi yang datanya akan ditampilkan ke LCD. Dalam proses ini dilakukan beberapa pengamatan, pengujian serta kalibrasi bagian-bagian dari sistem untuk membentuk sistem yang baik.

4.1 Pengujian Output Sensor TGS 2106

Berikut ini adalah Gambar rangkaian sensor TGS 2442 dan TGS 2106



Gambar 4.1. Rangkaian yang diukur pada sensor

Pada Gambar 4.1. keluaran dari sensor akan diamati dengan cara melakukan pengukuran dengan menggunakan multimeter digital. Sensor TGS

2442 memiliki memiliki sensitivitas yang tinggi pada konsentrasi 30 – 1000 ppm, sedangkan sensor TGS 2106 memiliki sensitivitas yang tinggi pada konsentrasi 0,1 – 10 ppm. Gas tidak hanya terdapat dalam gas buang kendaraan bermotor, untuk itu data dapat diambil dari beberapa sampel yaitu, asap rokok dan asap kertas yang terbakar. Dari hasil sampel diperoleh tegangan yang berbeda tergantung konsentrasi gasnya.

Tabel 4.1. Hasil pengukuran sampel gas

No.	Nama Sampel	Output TGS 2442 (V)	Konsentrasi (ppm)	Output TGS 2106 (V)	Konsentrasi (ppm)
1.	Asap Rokok 1	0.15	20	5	0
2.	Asap Rokok 2	0.2	26	5	0
3.	Asap Kertas (HVS)	0.13	18	5	0
4.	Asap Kertas (tisu)	0.12	15	5	0

Data pada Tabel 4.1 diperoleh dengan cara memasukan sampel asap ke dalam ruangan yang berbentuk kotak persegi yang didalamnya terdapat sensor gas.

4.2 Pengujian Rangkaian Op-Amp

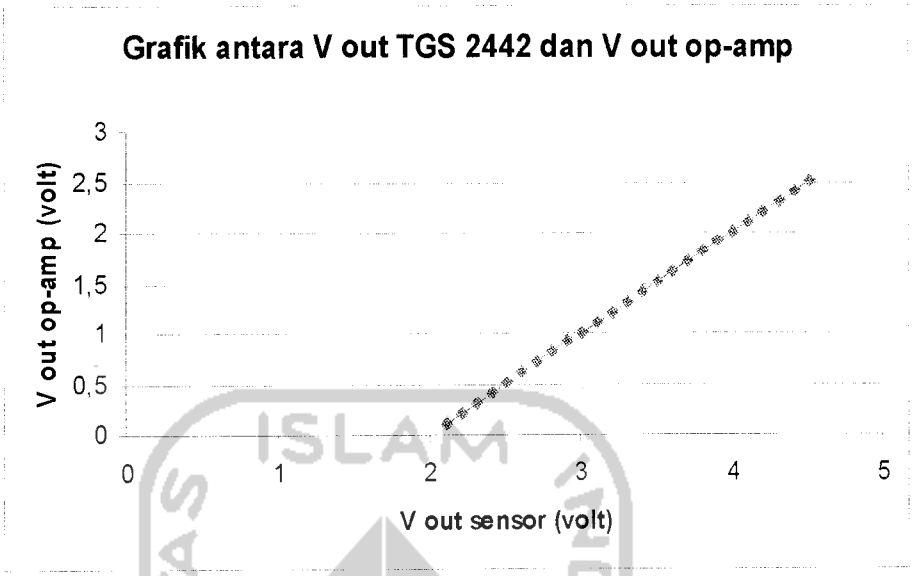
Pengujian ini dilakukan dengan mengambil data berupa tegangan yang berasal dari keluaran op-amp. Untuk sensor TGS 2442 data diambil ketika medeteksi gas dengan keluaran op-amp sebesar 0,11V, sedangkan sensor TGS 2106 diambil ketika mendeteksi gas dengan keluaran sensor 4,1V. Selanjutnya data diambil setiap kenaikan dan penurunan tegangan sebesar 0,1V dari nilai

pengukuran pertama dengan asumsi keluaran sensor akan melewati nilai tegangan tersebut sampai nilai maksimal kemampuan sensor. Data pengukuran keluaran sensor ditunjukan pada Tabel 4.2.

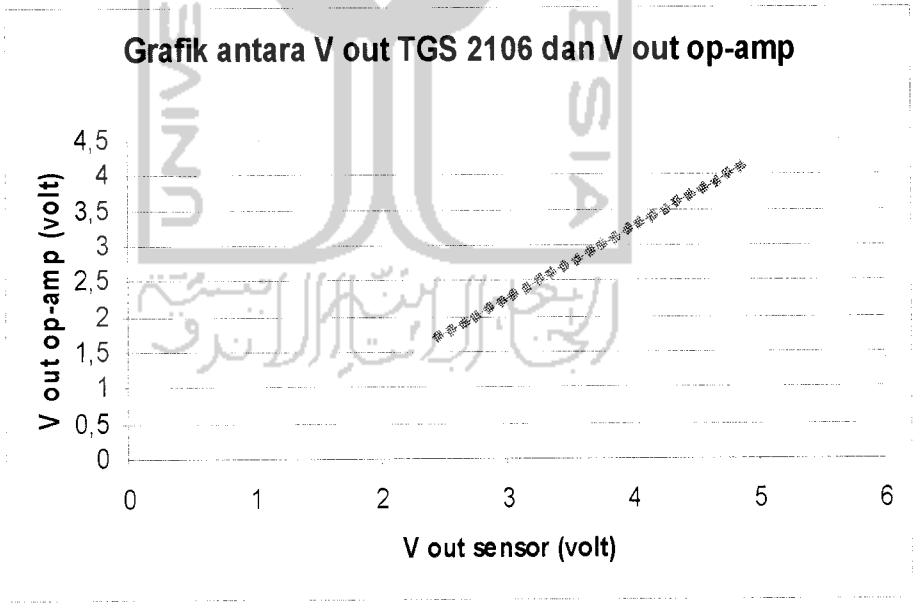
Tabel 4.2. Hasil pengukuran rangkaian op-amp

Output Sensor TGS 2442 (Volt)	**Output Op-Amp TGS 2442 (Volt)**	**Output Sensor TGS 2106 (Volt)**	**Output Op-Amp TGS 2106 (Volt)**
2.11	0.11	4.85	4.1
2.21	0.21	4.75	4
2.31	0.31	4.65	3.9
2.41	0.41	4.55	3.8
2.51	0.51	4.45	3.7
2.61	0.61	4.35	3.6
2.71	0.71	4.25	3.5
2.81	0.81	4.15	3.4
2.91	0.91	4.05	3.3
3.01	1.01	3.95	3.2
3.11	1.11	3.85	3.1
3.21	1.21	3.75	3
3.31	1.31	3.65	2.9
3.41	1.41	3.55	2.8
3.51	1.51	3.45	2.7
3.61	1.61	3.35	2.6
3.71	1.71	3.25	2.5
3.81	1.81	3.15	2.4
3.91	1.91	3.05	2.3
4.01	2.01	2.95	2.2
4.11	2.11	2.85	2.1
4.21	2.21	2.75	2
4.31	2.31	2.65	1.9
4.41	2.41	2.55	1.8
4.51	2.51	2.45	1.7

Dari data Tabel 4.2 didapatkan grafik



Gambar 4.2. Grafik pengukuran V out sensor TGS 2442 terhadap V out op-amp

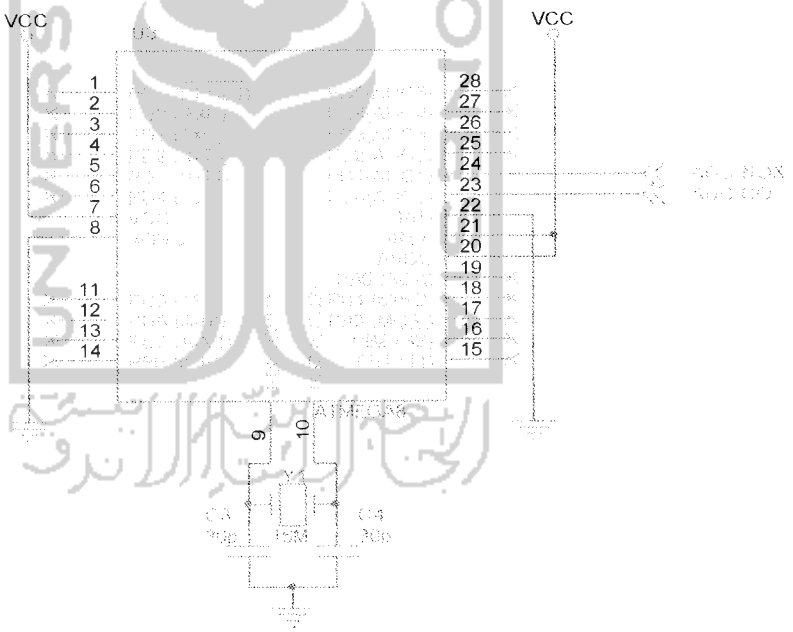


Gambar 4.3. Grafik pengukuran V out sensor TGS 2106 terhadap V out op-amp

Dari Gambar 4.2 dan 4.3 diperoleh grafik yang linier. Pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 karena keluaran sensor TGS 2442 dan sensor TGS 2106 sudah terdapat tegangan sebesar 2V dan 5.75V, untuk menjadikan nilai 0V dan 5V agar sesuai dengan karakteristik sensor dan sistem, maka digunakan metode selisih tegangan atau pengurang.

4.3 Pengujian ADC Internal ATmega8

Perancangan ini menggunakan ADC internal dengan metode *single conversion* yaitu proses konversinya secara bergantian. Adapun rangkaian ADC internal seperti pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4. ADC internal ATmega8

Output dari op-amp dihubungkan pada kaki 23 dan 24 atau ADC0 dan ADC2. ADC ini menggunakan konversi 10 bit dengan tegangan referensi (Vref) sebesar VCC (+5V). Sehingga diperoleh persamaan 4.1.

$$\text{nilai } ADC = \frac{Vin}{r} \qquad (4.1)$$

Dimana: ADC : hasil konversi

Vin : tegangan masukan ADC (volt)

r : resolusi (volt)

$$\text{Resolusi} = (1/2^n)\text{xVref} \qquad (4.2)$$

Dimana: n : banyaknya bit ADC

Vref : tegangan referensi (volt)

Karena menggunakan 10 bit ADC dengan tegangan referensi 5 volt maka diperoleh resolusi: $\frac{1}{2^{10}} \times 5 = 0.0048828125$ volt.

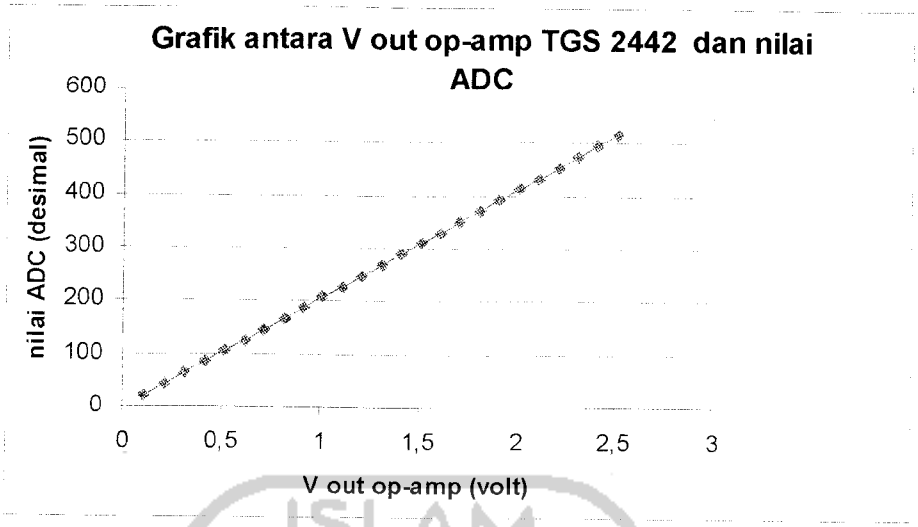
Tabel 4.3. Pengukuran output op-amp dan nilai digital ADC

Output Op-Amp TGS 2442 (Volt)	**Nilai ADC TGS 2442 (Desimal)**	**Output Op-Amp TGS 2106 (Volt)**	**Nilai ADC TGS 2106 (Desimal)**
0.11	23	4.1	840
0.21	43	4	819
0.31	63	3.9	799
0.41	84	3.8	778
0.51	104	3.7	758
0.61	125	3.6	737
0.71	145	3.5	717
0.81	166	3.4	696
0.91	186	3.3	676
1.01	207	3.2	655
1.11	227	3.1	635

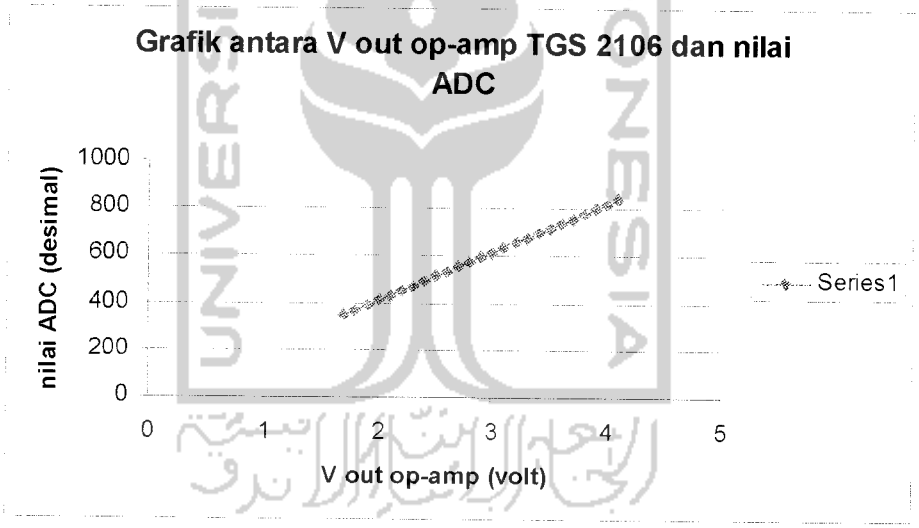
Tabel 4.3. (Lanjutan)

Output Op-amp TGS 2442 (Volt)	Nilai ADC TGS 2442 (Desimal)	Output Op-amp TGS 2106 (Volt)	Nilai ADC TGS 2106 (Desimal)
1.21	247	3	614
1.31	268	2.9	594
1.41	289	2.8	573
1.51	309	2.7	553
1.61	330	2.6	532
1.71	350	2.5	512
1.81	371	2.4	492
1.91	391	2.3	471
2.01	412	2.2	450
2.11	432	2.1	430
2.21	453	2	410
2.31	473	1.9	389
2.41	493	1.8	369
2.51	514	1.7	348

Data pada Tabel 4.3 diperoleh ketika sensor mendeteksi gas, dengan menggunakan persamaan 4.1. Untuk output op-amp TGS 2442 sebesar 0,11V dikonversi oleh ADC sehingga diperoleh nilai ADC sebesar 23, demikian seterusnya. Berdasarkan Tabel 4.3 setiap kenaikan 0,1V Vin ADC mempunyai kenaikan sebesar 20 digital ADC. Grafik antara output op-amp dan nilai ADC ditunjukan pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6.



Gambar 4.5. Grafik pengujian V out op-amp TGS 2442 terhadap nilai ADC



Gambar 4.6. Grafik pengujian V out op-amp TGS 2106 terhadap nilai ADC

Dari Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 diperoleh grafik yang linier, grafik ini harus linier karena dengan bertambah atau berkurangnya V out op-amp maka nilai ADC juga harus bertambah dan berkurang. Jika keadaan ini tidak diperoleh maka data

dianggap tidak valid atau disebabkan kesalahan pemrogaraman atau kerusakan hardware.

4.4 Perhitungan dan Penentuan ppm (*part per million*)

Pengamatan ini dilakukan dengan mengoperasikan semua sistem dengan cara sensor diberi gas dengan konsentrasi yang berbeda - beda. Untuk menghitung nilai ppm maka harus mencari Rs dan Rs/Ro, dengan persamaan:

$Rs = \frac{Vc \times RL}{Vout} - RL$ untuk sensor TGS 2242 dan,

$Rs = \frac{Vc - Vrl}{Vout} \times RL$ untuk sensor TGS 2106.

Dengan melihat spesifikasi pada data sheet, sensor yang mempunyai resistansi 6.81 – 68.1 KΩ untuk sensor TGS 2242, dan 5 – 50 KΩ untuk sensor TGS 2106, dapat digunakan untuk mencari Ro yaitu:

$Ro\text{max TGS 2242} = \frac{Rs\,\max}{Rs/Ro\,\max} = \frac{68.1K}{5} = 13620\ \Omega$ dan

$Ro\text{min TGS 2442} = \frac{Rs\,\min}{Rs/Ro\,\min} = \frac{6.81K}{0.09} = 75666.67\ \Omega$

Maka didapatkan,

$Ro\text{rata – rata TGS 2442} = \frac{13620 + 75666.67}{2} = \frac{89286.67}{2} = 44643\ \Omega$

Sedangkan untuk sensor TGS 2106:

$Ro\text{max TGS 2106} = \frac{Rs\,\max}{Rs/Ro\,\max} = \frac{50K}{10} = 5000\ \Omega$ dan

$Ro\text{min TGS 2106} = \frac{Rs\,\min}{Rs/Ro\,\min} = \frac{5}{2.5} = 2\ \Omega$

Maka diperoleh :

$$Rorata - rata\ TGS\ 2106 = \frac{5000+2}{2} = \frac{5002}{2} = 2501\ \Omega$$

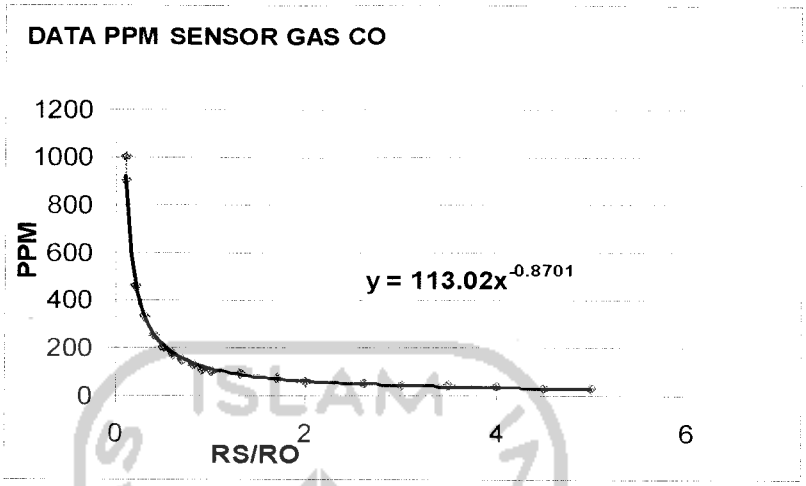
Sehingga Ro rata – rata bisa dianggap sebagai Ro. Sedangkan untuk mencari ppm digunakan persamaan $ppm = \frac{Rs}{Rorata - rata}$.

Setelah nilai Rs dan Ro dan diperoleh selanjutnya mencari nilai ppm yang didapatkan dari grafik hubungan antara Rs/Ro dengan ppm yang terdapat pada data sheet. ditujukan pada Tabel 4.4.

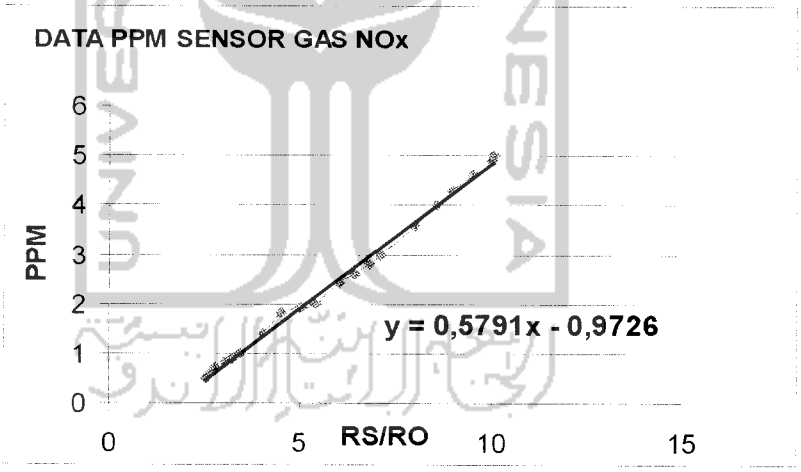
Tabel 4.4. Hubungan antara Rs/Ro dan ppm

Rs/Ro x	**ppm Gas CO y**	**Rs/Ro x**	**ppm Gas NOx y**
0.09	1000	2.5	0.5
0.1	900	2.65	0.6
0.2	460	2.75	0.7
0.3	330	3	0.8
0.4	250	3.2	0.9
0.5	200	3.4	1
0.6	170	4	1.4
0.7	150	4.5	1.8
0.8	130	5	1.9
0.9	110	5.4	2
1	100	6	2.4
1.3	90	6.4	2.6
1.7	70	6.8	2.8
2	60	7.1	3
2.6	50	8	3.6
3	45	8.6	4
3.5	40	9	4.3
4	35	9.5	4.6
4.5	32	10	4.9
5	30	10.05	5

Dari Tabel 4.5 diperoleh grafik antara nilai Rs/Ro dan ppm gas yang ditunjukan pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8.



Gambar 4.7. Grafik hubungan nilai Rs/Ro terhadap ppm gas CO



Gambar 4.8. Grafik hubungan nilai Rs/Ro terhadap ppm gas NOx

Dari hasil grafik pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 diperoleh juga persamaan yang nantinya akan digunakan untuk menentukan nilai ppm dalam pemrograman

mikrokontroler. Selanjutnya dari persamaan yang ada pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 diperoleh data ppm ditunjukan pada Tabel 4.5.

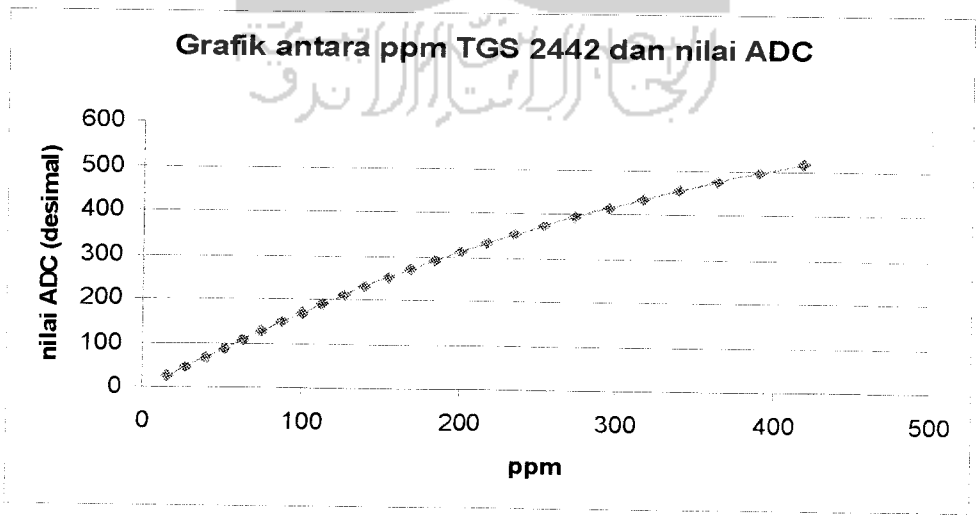
Tabel 4.5. Tabel perhitungan Rs, Rs/Ro dan ppm

Rs TGS 2442 (Ω)	Rs/Ro	ppm gas CO	Rs TGS 2106 (Ω)	Rs/Ro	ppm gas NOx
444546	9.96	15	4634	1.8	0.10
228095	5.11	27	5000	1.9	0.19
151290	3.39	39	5385	2.15	0.27
111951	2.50	51	5789	2.31	0.37
88039	1.97	63	6216	2.48	0.47
71967	1.61	75	6667	2.66	0.57
60422	1.35	87	7143	2.85	0.68
51728	1.16	99	7647	3.06	0.79
44945	1.00	112	8182	3.27	0.92
39505	0.88	126	8750	3.49	1.05
35045	0.79	140	9355	3.740	1.19
31322	0.70	154	10000	3.99	1.34
28168	0.63	169	10690	4.27	1.50
25461	0.57	184	11429	4.56	1.67
23113	0.52	200	12222	4.89	1.86
21056	0.47	217	13077	5.23	2.06
19240	0.43	235	14000	5.59	2.27
17624	0.39	254	15000	5.99	2.50

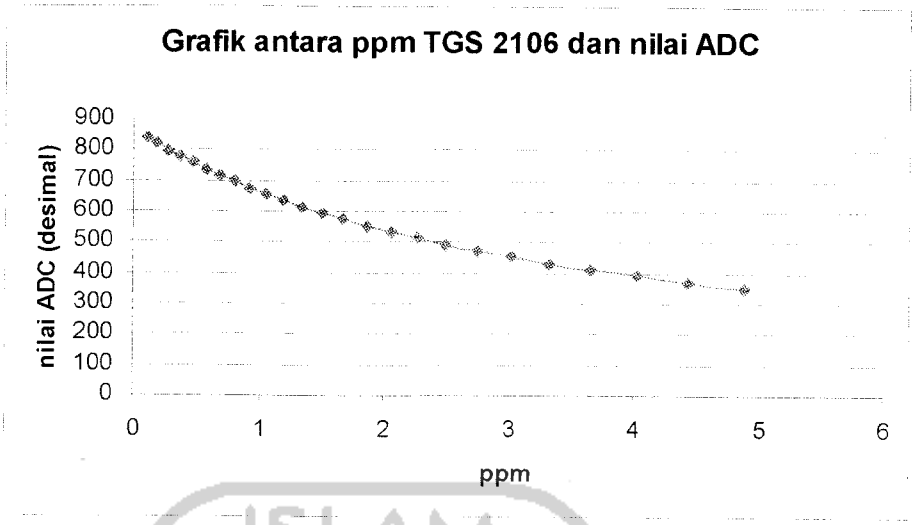
Tabel 4.5. (Lanjutan)

Rs TGS 2442 (Ω)	Rs/Ro	ppm	Rs TGS 2106 (Ω)	Rs/Ro	ppm
16178	0.36	273	16087	6.43	2.75
14876	0.33	294	17273	6.91	3.03
13697	0.31	315	18571	7.43	3.33
12624	0.28	339	20000	7.99	3.66
11645	0.26	364	21579	8.63	4.02
10747	0.24	390	23333	9.33	4.43
9920	0.22	418	25294	10.11	4.88

Nilai Rs TGS 2442 dan nilai Rs TGS 2106 diperoleh dari persamaan 2.1 dan persamaan 2.2, dimana Vout adalah data output op-amp. Sedangkan Vc adalah tegangan input sebesar 5V untuk TGS 2442 dan 6V untuk TGS 2106. Nilai Rs/Ro diperoleh dari hasil pembagian nilai resistansi (*Rs*) dengan *Ro*rata-rata. Tabel 4.3 diperoleh grafik antara nilai ppm dan nilai ADC yang ditunjukan pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10.



Gambar 4.9. Grafik pengujian ppm terhadap nilai ADC



Gambar 4.10. Grafik pengujian ppm terhadap nilai ADC

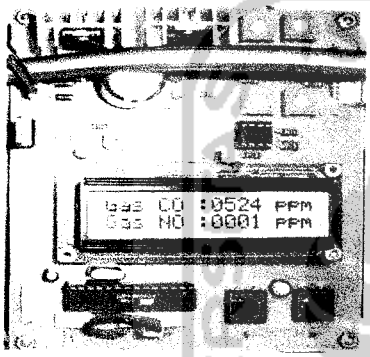
Dari Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 diperoleh grafik yang mendekati linier dan dapat dianalisa, untuk grafik sensor TGS 2442 nilai ppm akan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya nilai ADC, hal ini sesuai dengan karakteristik dari sensor dimana ketika sensor mendeteksi gas maka keluarannya semakin meningkat seiring banyaknya konsentrasi gas, sebaliknya pada grafik sensor TGS 2106 nilai ppm akan semakin menurun seiring dengan meningkatnya nilai ADC, hal ini juga sesuai dengan karakteristik dari sensor dimana ketika sensor mendeteksi gas maka keluarannya semakin menurun seiring banyaknya konsentrasi gas.

4.5 Pengujian Seluruh Sistem

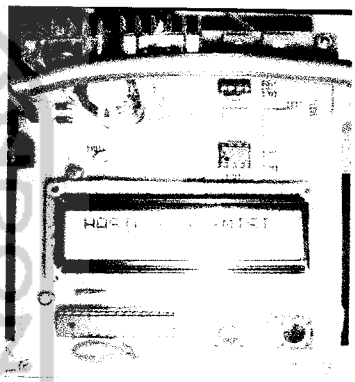
Pengujian ini dilakukan dengan mengoperasikan seluruh sistem, dengan menggunakan asap rokok dan asap kertas yang terbakar. Program rangkaian uji

emisi ini telah berjalan dengan baik, dengan mampu mendeteksi gas dengan menampilkan data berupa perubahan konsentrasi gas dan menetapkan normal tidaknya emisi gas buang, dimana ambang batas standar emisi untuk gas CO adalah 55 ppm, sedangkan untuk sensor gas Nox dalam alat ini hanya menampilkan konsentrasi saja karena belum ada standar emisinya.

Berikut tampilan konsentrasi dan hasil uji emisi normal ditunjukan pada Gambar 4.11 dan Gambar 4.12.

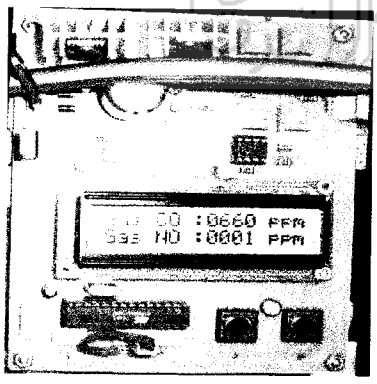


Gambar 4.11. Konsentrasi Gas

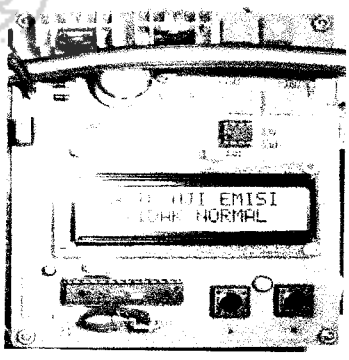


Gambar 4.12. Hasil Normal

Sedangkan untuk tampilan konsentrasi tidak normal ditunjukan pada Gambar 4.13 dan Gambar 4.14.



Gambar 4.13. Konsentrasi Gas



Gambar 4.14. Hasil Tidak Normal

Ketika konsentrasi gas CO lebih dari ambang batas atau lebih dari 55 ppm maka akan ditampilkan tidak normal dengan menekan tombol hold, demikian sebaliknya jika konsentrasi CO kurang dari ambang batas maka akan ditampilkan normal.

Rangkaian alat uji emisi ini juga dapat dimanfaatkan sebagai pendeteksi gas CO ruangan, pengontrol ventilasi mobil, pengontrol kualitas udara, dan pengontrol ventilasi *indooor parking garage* dengan penggunaan yang mudah.

Alat ini masih memiliki kekurangan berupa data yang ditampilkan tidak dapat dibandingkan dengan data dari alat pengukuran uji emisi standar, namun secara keseluruhan alat dapat bekerja dengan baik dengan adanya respon ketika ada gas yang dideteksi dari asap rokok, asap kertas dan peristiwa pembakaran yang mengeluarkan gas CO dan NOx.

BAB V

PENUTUP

Berdasarkan dari proses perancangan, pembuatan, pengamatan dan hasil uji sistem yang dibuat, maka dapat diambil beberapa kesimpulan dan saran untuk kemajuan, perbaikan dan pengembangan dari aplikasi sistem.

5.1 Kesimpulan

Dari proses perancangan, implementasi, analisis kinerja sistem elektronis dan pengujian sistem dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Program alat uji emisi sudah dapat menampilkan nilai standar uji emisi gas buang melalui LCD.
2. Sensor gas yang terdapat pada sistem telah dapat mendeteksi konsentrasi gas CO pada sampel – sampel asap yang berbeda. Sensor tersebut mengeluarkan tegangan yang berbeda – beda sesuai dengan konsentrasi yang terkandung pada sampel. Sampel – sampel asap dapat berupa : asap rokok , asap korek api dan asap kertas yang terbakar.
3. Alat hanya dapat mendeteksi gas CO (*Carbon Monoksida*) sampai dengan 26 ppm dan NOx (*Oksida Nitrogen*) sampai dengan 0.5 ppm, karena pengujian menggunakan sampel asap dengan ruangan yang terbatas.

5.2 Saran

1. Sistem alat uji emisi ini dapat dikembangkan lagi sebagai indikator dan pengukuran jenis gas yang lain dengan menambah beberapa sensor sehingga dapat digunakan untuk mengetahui konsentrasi gas dengan tepat dan dapat menjadi alat uji emisi standar.
2. Penggunaan mikrokontroler ATmega8 sangat efisien dan praktis karena bentuknya yang kecil dilengkapi ADC internal sampai 10 bit dengan kecepatan pengolahan data sangat cepat.
3. Penggunaan bahasa C pada mikrokontroler sangat praktis karena didalamnya sudah ada *include* atau *library* yang memudahkan dalam pemrograman.
4. Perancangan alat uji emisi membutuhkan rangkaian elektronis dan mekanis yang lebih komplek agar diperoleh hasil yang maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Budioko, Totok, 2005. *Belajar dengan Mudah dan Cepat Pemrograman Bahasa C dengan SDCC (Small Device C Compiler) pada Mikrokontroler AT89X051 AT89C51 52 Teori, Simulasi dan Aplikasi.* Yogyakarta: Gava Media

[2] Gempur Adnan Moha, Ir, 2005, *Buku Peraturan Menteri Lingkungan Hidup tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Nomor 05*, Jakarta

[3] Eko Putra, Agfianto, 2002. *Belajar Mikrokontroler AT89C51 52 55.* Gava Media: Yogyakarta

[4] Wardhana, Lingga, 2006. *Belajar Sendiri Mikrokontroler AVR Seri ATMega8535 Simulasi Hardware, dan Aplikasi*. Yogyakarta: ANDI

[5] Widodo Budiharto, S.Si, M.Kom. *Interfacing Komputer Dan Mikrokontroler*, Penerbit Media Elek Komputindo, Jakarta.

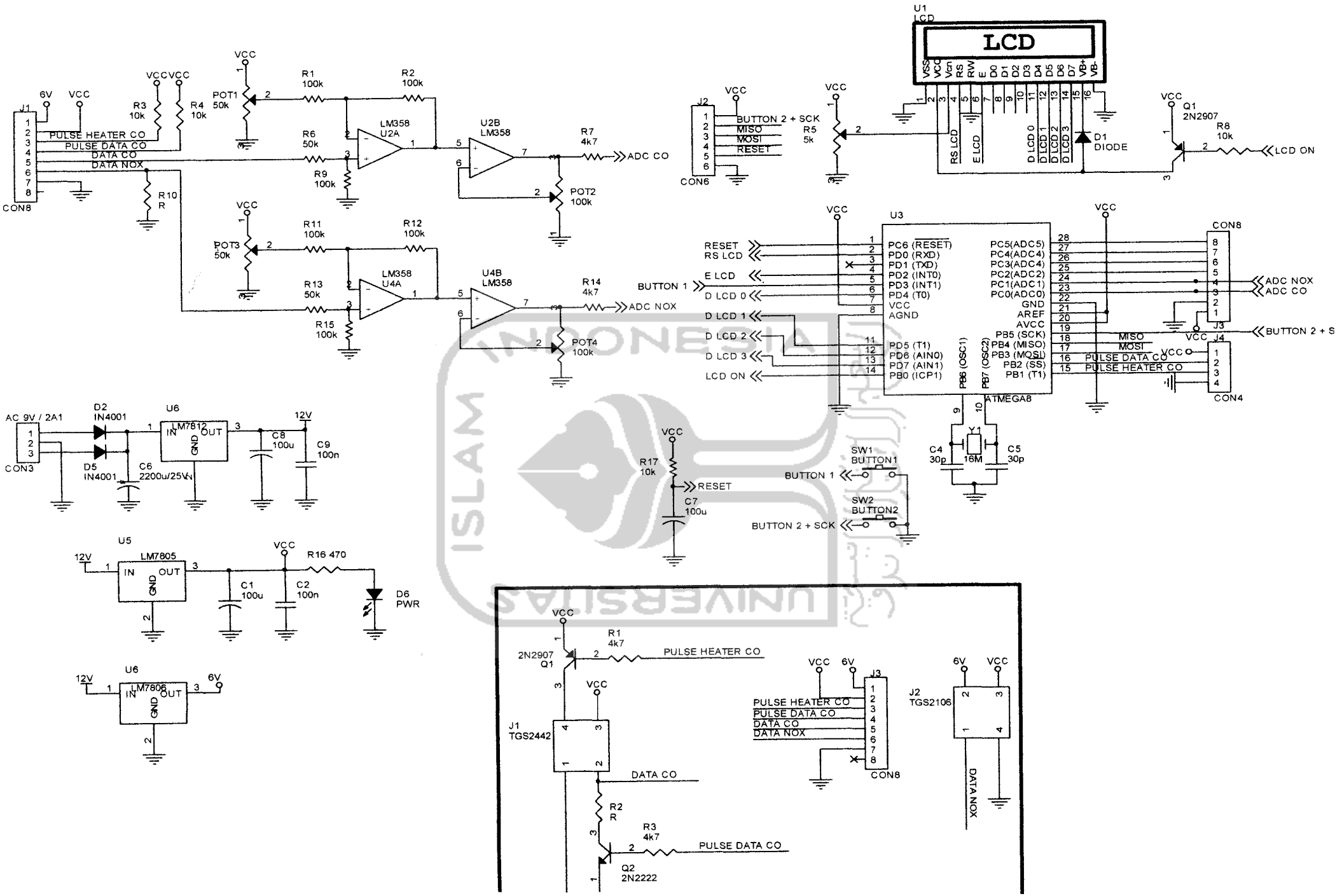
[6] _____, 2000, *TGS 2442 - for the detection of Carbon Monoxide*, http://www.digi-ware.com/img/dtgs2442.pdf

[7] _____, 2001, *TGS 2106 - for detection of Diesel Engine Exhaust Gas*, http://www.digi-ware.com/img/dTGS2107.pdf

[8] _____, 2003, *8-bit AVR with 8K Bytes In-System Programmable Flash*, http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2486.pdf

[9] _____,*H1602B LCD MODULE MANUAL Character 16X2*, http://www.digi-ware.com/img/dC1ox2B.pdf

LAMPIRAN


J1
CON8
6V
VCC
PULSE HEATER CO
PULSE DATA CO
DATA CO
DATA NOX
R3 10k
R4 10k
R10 R
POT1 50k
R1 100k
R2 100k
R6 50k
R9 100k
LM358 U2A
U2B LM358
R7 4k7
ADC CO
POT2 100k
POT3 50k
R11 100k
R12 100k
R13 50k
R15 100k
LM358 U4A
U4B LM358
R14 4k7
ADC NOX
POT4 100k
J2
CON6
BUTTON 2 + SCK
MISO
MOSI
RESET
R5 5k
U1 LCD
LCD
VSS VCC Von RS RW E D0 D1 D2 D3 D4 D5 D6 D7 VB+ VB-
RS LCD
E LCD
D LCD 0
D LCD 1
D LCD 2
D LCD 3
D1 DIODE
Q1 2N2907
R8 10k
LCD ON
U3
RESET
RS LCD
E LCD
D LCD 0
D LCD 1
D LCD 2
D LCD 3
LCD ON
BUTTON 1
PC6 (RESET)
PD0 (RXD)
PD1 (TXD)
PD2 (INT0)
PD3 (INT1)
PD4 (T0)
VCC
AGND
PD5 (T1)
PD6 (AIN0)
PD7 (AIN1)
PB0 (ICP1)
PC5(ADC5)
PC4(ADC4)
PC3(ADC4)
PC2(ADC2)
PC1(ADC1)
PC0(ADC0)
GND
AREF
AVCC
PB5 (SCK)
PB4 (MISO)
PB3 (MOSI)
PB2 (SS)
PB1 (T1)
PB6 (OSC1)
PB7 (OSC2)
ATMEGA8
CON8
ADC NOX
ADC CO
J3
BUTTON 2 + S
MISO
MOSI
PULSE DATA CO
PULSE HEATER CO
J4
CON4
AC 9V / 2A1
CON3
D2 IN4001
D5 IN4001
U6 LM7812
C6 2200u/25V
C8 100u
C9 100n
12V
R17 10k
RESET
C7 100u
SW1 BUTTON1
SW2 BUTTON2
BUTTON 1
BUTTON 2 + SCK
Y1 16M
C4 30p
C5 30p
U5 LM7805
R16 470
C1 100u
C2 100n
D6 PWR
U6 LM7806
6V
J1 TGS2442
R1 4k7
2N2907 Q1
PULSE HEATER CO
DATA CO
R2 R
R3 4k7
PULSE DATA CO
Q2 2N2222
J3
CON8
DATA NOX
J2 TGS2106

```
/* PROGRAM SENSOR GAS CO DAN NO
   CHIP:ATMEGA8
   INPUT : SENSOR GAS TGS2442 & TGS2160
   OUTPUT: ppm GAS (LCD 2X16)
   CONVERTER:ADC 10 BIT (internal)
*/

#include<mega8.h>
#include<delay.h>
#include<math.h>
#asm
   .equ __lcd_port=0x12 ;PORTD
#endasm
#include <lcd.h>
#define ADC_VREF_TYPE 0x40
void Conv_ASCII_CO(unsigned int data1);
void Conv_ASCII_NO(unsigned int data2);
void display_CO(); void display_NO();
void ADC_NO(); void ADC_CO();
float pow(float x, float y);
float ppm_CO,ppm_NO,RS_CO,RS_NO,V_out_CO,V_out_NO;
float X_CO,X_NO,data_CO,data_NO;
unsigned char ribuan1,ratusan1,puluhan1,satuan1,
ribuan2,ratusan2,puluhan2,satuan2;
unsigned int volt1,volt2;
bit flag_hold=0;
unsigned char read_adc(unsigned char adc_input)
{
ADMUX=adc_input|ADC_VREF_TYPE;
ADCSRA|=0x40;                    // Start the AD conversion
while ((ADCSRA & 0x10)==0);      // Wait for the AD conversion to complete
ADCSRA|=0x10;
return ADCW;
}

void main(void)
{
 DDRB=0b11011111; DDRD=0xff;     //PORTB output
 PORTB=0b11111111; PORTD=0xff;
 while(PINB.5);                  //tunggu tombol start di tekan
 PORTB.0=0;
 GICR=0b10000000;GIFR=0x80;
 MCUCR=0b00000000;
 ADMUX=ADC_VREF_TYPE;            //pilih channel
 ADCSRA=0x87;                    //single convertion

 lcd_init(16);                   //LCD 2x16
 lcd_gotoxy(1,0);
 lcd_putsf("SONY SUHENDRO");
 lcd_gotoxy(0,1);
 lcd_putsf("TE-UII-02524132");
 delay_ms(1500);
 lcd_clear();
 lcd_gotoxy(1,0);
 lcd_putsf("UJI EMISI GAS");
 lcd_gotoxy(0,1);
 lcd_putsf("BUANG KENDARAAN");
 delay_ms(1500);
 lcd_clear();
 lcd_gotoxy(0,0);
 lcd_clear();
```

```
lcd_gotoxy(0,0);                    //kolom 1 baris 1
lcd_putsf("Gas CO :     ppm");
lcd_gotoxy(0,1);                    //kolom 1 baris 2
lcd_putsf("Gas NO :     ppm");

TCCR1B=0b00000101;                  //Timer 1 prescaller 1024
TCNT1=-15625;                       //overflow 1 detik
TIMSK=0b00000100;                   //Timer 1 overflow interupsi
#asm("sei");                        //global interup aktif
  while (1)
      {
       if(flag_hold==1)
         {
          lcd_clear();
          lcd_gotoxy(0,0);
          lcd_putsf("HASIL UJI EMISI");
           if(ppm_CO<55)                    //set point gas normal/tdk normal
             {lcd_gotoxy(4,1); lcd_putsf("NORMAL");}
           else {lcd_gotoxy(2,1); lcd_putsf("TIDAK NORMAL");}
          while(PINB.5);
          flag_hold=0; lcd_clear();
          lcd_gotoxy(0,0);                  //kolom 1 baris 1
          lcd_putsf("GAS CO:      ppm");
          lcd_gotoxy(0,1);                  //kolom 1 baris 2
          lcd_putsf("GAS NO:      ppm");
         }
      }
 }

interrupt[9] void int_timer1(void) //interupsi timer 1 setiap 1 detik
       {                           //untuk bikin pulsa heater
        TCCR1B=0;                  //timer 1 off

        PORTB.2=1;                 //buat pulsa high (14 ms)
        delay_ms(2);
        ADC_CO();                 //ambil data CO
        delay_ms(2);
        PORTB.2=0;
        PORTB.1=1;
        delay_ms(14);
        PORTB.1=0;

        ADC_NO();                  //ambil data NO
        TIFR=00000100;             //TOV 1= 0
        TCNT1=-15625;              //overflow timer setiap 1 s
        TCCR1B=0b00000101;         //timer 1 di-ON kan lagi
        }
interrupt [EXT_INT1] void ext_int1_isr(void) //interupsi eksternal 1
     {
      flag_hold=1;
     }
void ADC_NO()                           //mbaca data gas NO
  {
  read_adc(0x01);                       //ch 1-> NO
  V_out_NO=ADCW*0.004882;               //V out=ADCW x 0.0049(Volt)
  RS_NO=((6-V_out_NO)/V_out_NO)*10000; //RS=((Vc-Vout)/Vout) x 10K
  X_NO=RS_NO/2501;                      //RS/R0, R0=2501 ohm
  ppm_NO=((0.5791*X_NO)-0.9726)*100;    //ppm (Y=0.5791X - 0.9726)
  Conv_ASCII_NO(ppm_NO);                //konversi ke ASCII
  if (flag_hold==0)
     {display_NO();}                   //tampilkan baris 1
```

```
  }

void ADC_CO()                                   //mbaca data gas CO
  {
  read_adc(0x00);                               //ch 0-> CO
  V_out_CO=ADCW*0.004882;                       //Vout=ADW x 0,0049 (Volt)
  RS_CO=(50000/V_out_CO)-10000;                 //RS=(Vc x RL)/Vout - RL
  X_CO=RS_CO/44643;                             //RS/R0 ; R0=44643
  ppm_CO=(113.02*pow(X_CO,-0.8701));            //ppm (Y=113,02 X^-0.8701)
  Conv_ASCII_CO(ppm_CO);                        //konversi ke ASCII
  if(flag_hold==0)
    {display_CO();}                             //tampilkan baris 2
  }

void display_CO()                               //tampilan data CO di LCD
      {
       lcd_gotoxy(8,0);                         //kol 8, brs 2
       lcd_putchar(ribuan1);
       lcd_putchar(ratusan1);
       lcd_putchar(puluhan1);
       lcd_putchar(satuan1);
       }
void display_NO()                               //tampilan data NO di LCD
      {
       lcd_gotoxy(8,1);                         //kol 8, brs 1
       //lcd_putchar(ribuan2);
       lcd_putchar(ratusan2);
       lcd_putchar(".");
       lcd_putchar(puluhan2);
       lcd_putchar(satuan2);
      }
void Conv_ASCII_CO(unsigned int data1)  //konversi data ppm CO ke kode
ASCII
      {
        ribuan1  = (data1/1000)+'0';
        ratusan1 = ((data1%1000)/100)+'0';
        puluhan1 = (((data1%1000)%100)/10)+'0';
        satuan1  = (((data1%1000)%100)%10)+'0';
      }

void Conv_ASCII_NO(unsigned int data2)  //konversi data ppm NO ke kode
ASCII
      {
        ribuan2  = (data2/1000)+'0';
        ratusan2 = ((data2%1000)/100)+'0';
        puluhan2 = (((data2%1000)%100)/10)+'0';
        satuan2  = (((data2%1000)%100)%10)+'0';
      }
```

```
// Include ATmega8.h

// CodeVisionAVR C Compiler
// (C) 1998-2004 Pavel Haiduc, HP InfoTech S.R.L.

// I/O registers definitions for the ATmega8

#ifndef _MEGA8_INCLUDED_
#define _MEGA8_INCLUDED_

#pragma used+
sfrb TWBR=0;
sfrb TWSR=1;
sfrb TWAR=2;
sfrb TWDR=3;
sfrb ADCL=4;
sfrb ADCH=5;
sfrw ADCW=4;      // 16 bit access
sfrb ADCSRA=6;
sfrb ADMUX=7;
sfrb ACSR=8;
sfrb UBRRL=9;
sfrb UCSRB=0xa;
sfrb UCSRA=0xb;
sfrb UDR=0xc;
sfrb SPCR=0xd;
sfrb SPSR=0xe;
sfrb SPDR=0xf;
sfrb PIND=0x10;
sfrb DDRD=0x11;
sfrb PORTD=0x12;
sfrb PINC=0x13;
sfrb DDRC=0x14;
sfrb PORTC=0x15;
sfrb PINB=0x16;
sfrb DDRB=0x17;
sfrb PORTB=0x18;
sfrb EECR=0x1c;
sfrb EEDR=0x1d;
sfrb EEARL=0x1e;
sfrb EEARH=0x1f;
sfrw EEAR=0x1e;   // 16 bit access
sfrb UBRRH=0x20;
sfrb UCSRC=0X20;
sfrb WDTCR=0x21;
sfrb ASSR=0x22;
sfrb OCR2=0x23;
sfrb TCNT2=0x24;
sfrb TCCR2=0x25;
sfrb ICR1L=0x26;
sfrb ICR1H=0x27;
sfrw ICR1=0x26;   // 16 bit access
sfrb OCR1BL=0x28;
sfrb OCR1BH=0x29;
sfrw OCR1B=0x28;  // 16 bit access
sfrb OCR1AL=0x2a;
sfrb OCR1AH=0x2b;
sfrw OCR1A=0x2a;  // 16 bit access
sfrb TCNT1L=0x2c;
sfrb TCNT1H=0x2d;
sfrw TCNT1=0x2c;  // 16 bit access
```

```
sfrb TCCR1B=0x2e;
sfrb TCCR1A=0x2f;
sfrb SFIOR=0x30;
sfrb OSCCAL=0x31;
sfrb TCNT0=0x32;
sfrb TCCR0=0x33;
sfrb MCUCSR=0x34;
sfrb MCUCR=0x35;
sfrb TWCR=0x36;
sfrb SPMCR=0x37;
sfrb TIFR=0x38;
sfrb TIMSK=0x39;
sfrb GIFR=0x3a;
sfrb GICR=0x3b;
sfrb SPL=0x3d;
sfrb SPH=0x3e;
sfrb SREG=0x3f;
#pragma used-

// Interrupt vectors definitions

#define EXT_INT0 2
#define EXT_INT1 3
#define TIM2_COMP 4
#define TIM2_OVF 5
#define TIM1_CAPT 6
#define TIM1_COMPA 7
#define TIM1_COMPB 8
#define TIM1_OVF 9
#define TIM0_OVF 10
#define SPI_STC 11
#define USART_RXC 12
#define USART_DRE 13
#define USART_TXC 14
#define ADC_INT 15
#define EE_RDY 16
#define ANA_COMP 17
#define TWI 18
#define SPM_READY 19

#endif
```

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

```
// CodeVisionAVR C Compiler
// (C) 1998-2000 Pavel Haiduc, HP InfoTech S.R.L.

#ifndef _DELAY_INCLUDED_
#define _DELAY_INCLUDED_

#pragma used+

void delay_us(unsigned int n);
void delay_ms(unsigned int n);

#pragma used-

#endif
```

```
/* INCLUDE LCD.H */

/* LCD driver routines

   CodeVisionAVR C Compiler
   (C) 1998-2003 Pavel Haiduc, HP InfoTech S.R.L.

   BEFORE #include -ING THIS FILE YOU
   MUST DECLARE THE I/O ADDRESS OF THE
   DATA REGISTER OF THE PORT AT WHICH
   THE LCD IS CONNECTED!

   EXAMPLE FOR PORTB:

     #asm
         .equ __lcd_port=0x18
     #endasm
     #include <lcd.h>

*/

#ifndef _LCD_INCLUDED_
#define _LCD_INCLUDED_

#pragma used+

void _lcd_ready(void);
void _lcd_write_data(unsigned char data);
// write a byte to the LCD character generator or display RAM
void lcd_write_byte(unsigned char addr, unsigned char data);
// read a byte from the LCD character generator or display RAM
unsigned char lcd_read_byte(unsigned char addr);
// set the LCD display position  x=0..39 y=0..3
void lcd_gotoxy(unsigned char x, unsigned char y);
// clear the LCD
void lcd_clear(void);
void lcd_putchar(char c);
// write the string str located in SRAM to the LCD
void lcd_puts(char *str);
// write the string str located in FLASH to the LCD
void lcd_putsf(char flash *str);
// initialize the LCD controller
unsigned char lcd_init(unsigned char lcd_columns);

#pragma used-
#pragma library lcd.lib

#endif
```

TGS 2106 - for detection of Diesel Engine Exhaust Gas

Features:

* High sensitivity to exhaust gases emitted by diesel-fueled engines
* Long life and low cost
* Uses simple electrical circuit

Applications:

* Automobile ventilation control



The sensing element is comprised of a metal oxide semiconductor layer formed on an alumina substrate of a sensing chip together with an integrated heater. In the presence of a detectable gas, the sensor's conductivity decreases depending on the gas concentration in the air. A simple electrical circuit can convert the change in conductivity to an output signal which corresponds to the gas concentration.

The **TGS 2106** has high sensitivity and quick response to exhaust gases emitted by diesel-fueled engines. As a result of this feature, TGS2106 is an ideal sensor for application in automatic damper control systems for automobile ventilation.

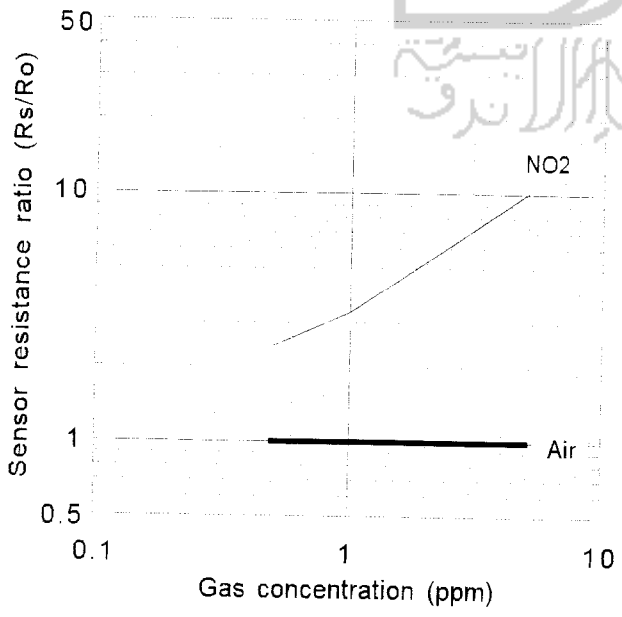
The figure below represents typical sensitivity characteristics, all data having been gathered at standard test conditions (see reverse side of this sheet). The Y-axis is indicated as *sensor resistance ratio* (Rs/Ro) which is defined as follows:

Rs = Sensor resistance in displayed gases at various concentrations

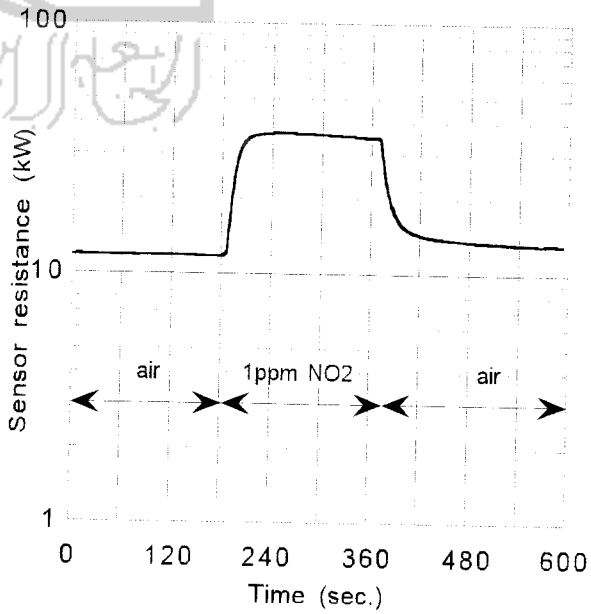
Ro = Sensor resistance in clean air

The figure below represents the typical response pattern of the TGS2106 when the atmosphere changes from clean air to the listed gas concentrations and then reverts back to clean air again.

Sensitivity Characteristics:



Sensor Response Pattern:

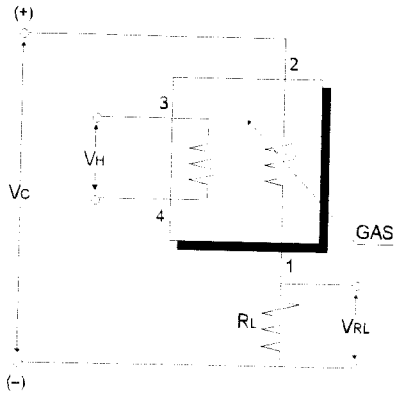


IMPORTANT NOTE: OPERATING CONDITIONS IN WHICH FIGARO SENSORS ARE USED WILL VARY WITH EACH CUSTOMER'S SPECIFIC APPLICATIONS. FIGARO STRONGLY RECOMMENDS CONSULTING OUR TECHNICAL STAFF BEFORE DEPLOYING FIGARO SENSORS IN YOUR APPLICATION AND, IN PARTICULAR, WHEN CUSTOMER'S TARGET GASES ARE NOT LISTED HEREIN. FIGARO CANNOT ASSUME ANY RESPONSIBILITY FOR ANY USE OF ITS SENSORS IN A PRODUCT OR APPLICATION FOR WHICH SENSOR HAS NOT BEEN SPECIFICALLY TESTED BY FIGARO.

Basic Measuring Circuit:

The sensor requires two voltage inputs: heater voltage (V_H) and circuit voltage (V_C). The heater voltage (V_H) is applied to the integrated heater in order to maintain the sensing element at a specific temperature which is optimal for sensing. Circuit voltage (V_C) is applied to allow measurement of voltage (V_{RL}) across a load resistor (R_L) which is connected in series with the sensor.

A common power supply circuit can be used for both V_C and V_H to fulfill the sensor's electrical requirements. The value of the load resistor (R_L) should be chosen to optimize the alarm threshold value, keeping power dissipation (P_S) of the semiconductor below a limit of 15mW. Power dissipation (P_S) will be highest when the value of Rs is equal to R_L on exposure to gas.



Specifications:

Model number			TGS 2106	
Sensing element type			S1	
Standard package			Plastic (blue)	
Target gases			Diesel exhaust (NO_2)	
Typical detection range			0.1 ~ 10 ppm	
Standard circuit conditions	Heater voltage	V_H	6.2V DC ±5%	
	Circuit voltage	V_C	15.0V DC Max.	$P_S \leq 15mW$
	Load resistance	R_L	Variable	$P_S \leq 15mW$
Electrical characteristics under standard test conditions	Heater resistance	R_H	50Ω ±10% at room temp.	
	Heater current	I_H	87mA	
	Heater power consumption	P_H	580mW	V_H = 6.2V DC
	Sensor resistance	Rs	5 ~ 50kΩ in air	
	Sensitivity (change ratio of Rs)		2.0 ~ 7.0	Rs(0.5ppm of NO_2) / Rs (air)
Standard test conditions	Test gas conditions		Air at 20±2 C, 65±5%RH	
	Circuit conditions		R_L = 10kΩ±1%, V_C = 6.2V DC ±3%, V_H = 6.2V DC ±3%	
	Conditioning period before test		2~7 days	

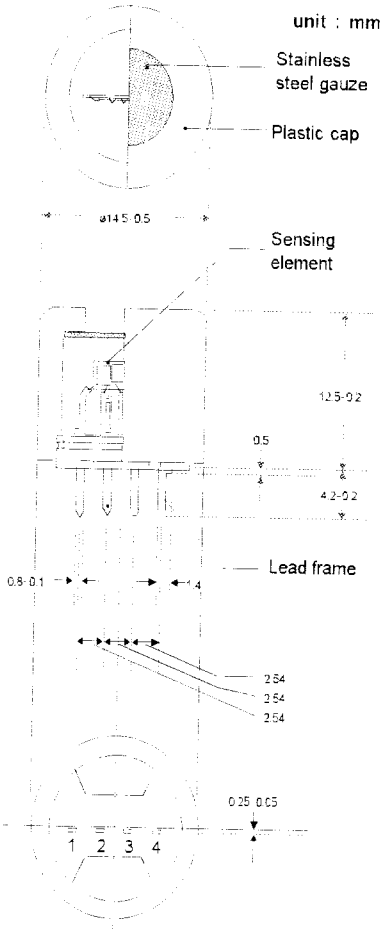
The value of power dissipation (P_S) can be calculated by utilizing the following formula:

$$P_S = \frac{(V_C - V_{RL})^2}{R_S}$$

Sensor resistance (Rs) is calculated with a measured value of V_{RL} by using the following formula:

$$R_S = \frac{V_C - V_{RL}}{V_{RL}} \times R_L$$

Structure and Dimensions:



Pin connection
1: Sensor electrode(-)
2: Sensor electrode(+)
3: Heater(+)
4: Heater(-)

FIGARO ENGINEERING INC.
1-5-11 Senba-nishi
Mino, Osaka 562 JAPAN
Phone: (81)-727-28-2561
Fax: (81)-727-28-0467
email: figaro@figaro.jp.org

FIGARO

PRODUCT INFORMATION

TGS 2442 - for the detection of Carbon Monoxide

Features:

* Low power consumption
* High sensitivity/selectivity to carbon monoxide (CO)
* Miniature size
* Low sensitivity to alcohol vapor
* Long life and low cost
* Low humidity dependency

Applications:

* CO detectors
* Air quality controllers
* Indoor parking lot ventilation

PERPUSTAKAAN ... YAKARTA

TGS 2442 utilizes a multilayer sensor structure. A glass layer for thermal insulation is printed between a ruthenium oxide (RuO_2) heater and an alumina substrate. A pair of Au electrodes for the heater are formed on a thermal insulator. The gas sensing layer, which is formed of tin dioxide (SnO_2), is printed on an electrical insulation layer which covers the heater. A pair of Au electrodes for measuring sensor resistance are formed on the electrical insulator. Activated charcoal is filled between the internal cover and the outer cover for the purpose of reducing the influence of noise gases.

TGS 2442 displays good selectivity to carbon monoxide, making it ideal for CO monitors. In the presence of CO, the sensor's conductivity increases depending on the gas concentration in the air. A simple pulsed electrical circuit operating on a one second circuit voltage cycle can convert the change in conductivity to an output signal which corresponds to gas concentration.

The figure below represents typical sensitivity characteristics, all data having been gathered at standard test conditions (see reverse side of this sheet). The Y-axis is indicated as *sensor resistance ratio* (Rs/Ro) which is defined as follows:

Rs = Sensor resistance of displayed gases at various concentrations

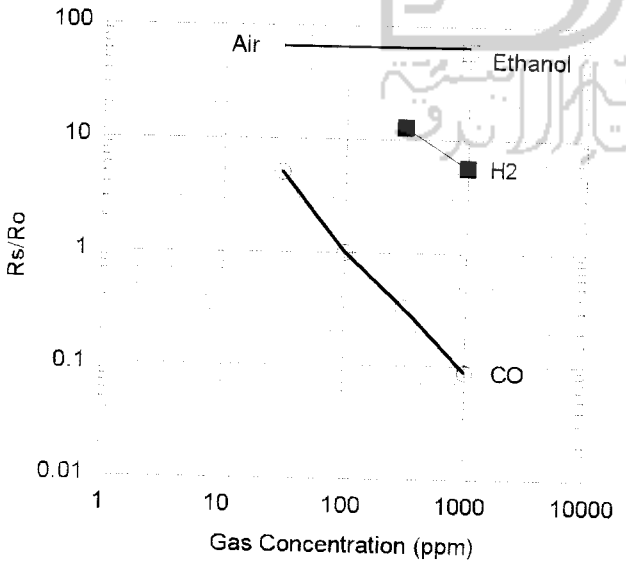
Ro = Sensor resistance in 100ppm CO

The figure below represents typical temperature and humidity dependency characteristics. Again, the Y-axis is indicated as *sensor resistance ratio* (Rs/Ro), defined as follows:

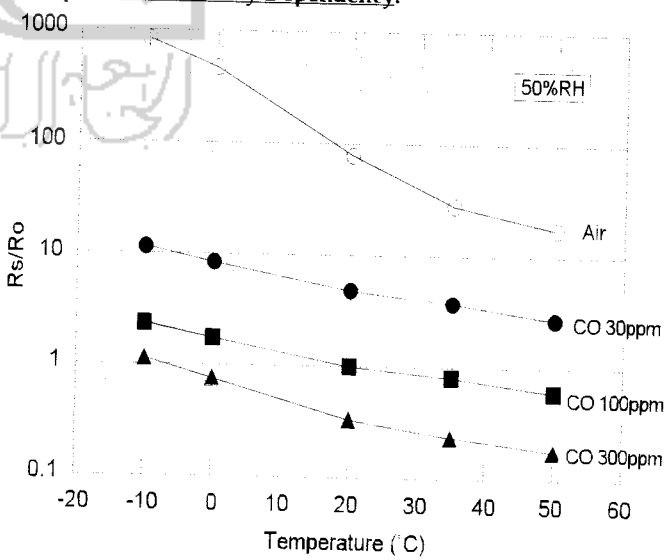
Rs = Sensor resistance at 30ppm, 100ppm and 300ppm of CO at various temperatures and 50%R.H.

Ro = Sensor resistance at 300ppm of CO at 25°C and 50% R.H.

Sensitivity Characteristics:



Temperature/Humidity Dependency:

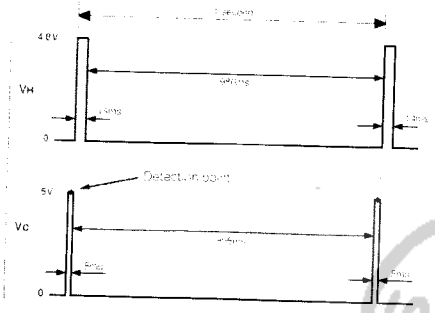


IMPORTANT NOTE: OPERATING CONDITIONS IN WHICH FIGARO SENSORS ARE USED WILL VARY WITH EACH CUSTOMER'S SPECIFIC APPLICATIONS. FIGARO STRONGLY RECOMMENDS CONSULTING OUR TECHNICAL STAFF BEFORE DEPLOYING FIGARO SENSORS IN YOUR APPLICATION AND, IN PARTICULAR, WHEN CUSTOMER'S TARGET GASES ARE NOT LISTED HEREIN. FIGARO CANNOT ASSUME ANY RESPONSIBILITY FOR ANY USE OF ITS SENSORS IN A PRODUCT OR APPLICATION FOR WHICH SENSOR HAS NOT BEEN SPECIFICALLY TESTED BY FIGARO.

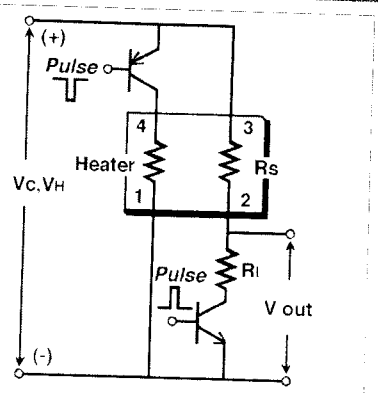
Basic Measuring Circuit:

Circuit voltage (Vc) is applied across the sensing element which has a resistance (Rs) between the sensor's two electrodes (pins No. 2 and No. 3) and a load resistor (R_L) connected in series. The sensing element is heated by the heater which is connected to pins No. 1 and No. 4.

Heating cycle--The sensor requires application of a 1 second heating cycle which is used in connection with a circuit voltage cycle of 1 second. Each V_H cycle is comprised by 4.8V being applied to the heater for the first 14ms, followed by 0V pulse for the remaining 986ms. The Vc cycle consists of 0V applied for 995ms, followed by 5.0V for 5ms. For achieving optimal sensing characteristics, the sensor's signal should be measured after the midpoint of the 5ms Vc pulse of 5.0V (*for reference, see timing chart below*).

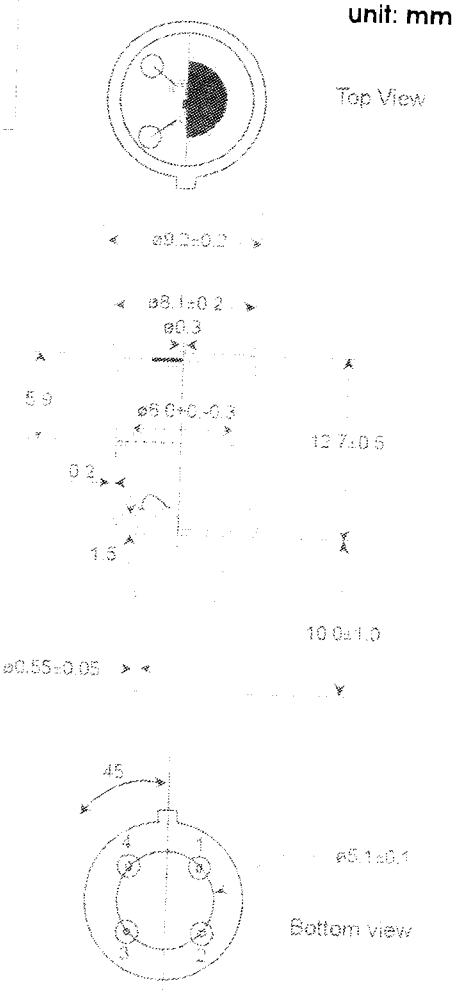


NOTE: Application of a Vc pulse condition is required to prevent possible migration of heater materials into the sensing element material. Under extreme conditions of high humidity and temperature, a constant Vc condition could result in such migration and cause long term drift of Rs to higher values. A 5ms Vc pulse results in significantly less driving force for migration than a constant Vc condition, rendering the possibility of migration negligibly small.



Structure and Dimensions:

unit: mm



Specifications:

Model number			TGS 2442
Sensing element type			M1
Standard package			TO-5 metal can
Target gases			Carbon monoxide
Typical detection range			30 ~ 1000 ppm
Standard circuit conditions	Heater voltage cycle	V_H	V_H=4.2V±0.2V DC, 14ms V_H=0V, 986ms
	Circuit voltage cycle	V_C	V_C=0V for 995m s. V_C=5.0V±0.2V DC for 5ms
	Load resistance	R_L	Variable (≥10kΩ)
Electrical characteristics under standard test conditions	Heater resistance	R_H	12 ± 2.5Ω at room temp.
	Heater current	I_H	approx. 300mA in case of V_H=4.2V
	Heater power consumption	P_H	approx. 1.4mW (ave.)
	Sensor resistance	Rs	6.81kΩ ~ 68.1kΩ in 100ppm of carbon monoxide
	Sensitivity (change ratio of Rs)	β	0.23 ~ 0.49
Standard test conditions	Test gas conditions		Carbon monoxide in air at 30±2 °C, 85±5%RH
	Circuit conditions		Same as Std. Circuit Condition (above)
	Conditioning period before test		> 2 days (under no load)

Sensor resistance (Rs) is calculated with a measured value of Vout as follows:

$$Rs = \frac{Vcx\,RL}{Vout} - RL$$

The value of sensitivity (β) is calculated with two measured values of Rs as follows:

$$\beta = \frac{Rs\,(CO,300ppm)}{Rs\,(CO,100ppm)}$$

To facilitate usage of this sensor, TGS2442 is shipped in presorted groupings which have a more narrowly defined range of β:

Code:		
	A: 0.23 ~ 0.34	D: 0.32 ~ 0.43
	B: 0.26 ~ 0.37	E: 0.35 ~ 0.46
	C: 0.29 ~ 0.40	F: 0.38 ~ 0.49

The above six classification will be further subdivided into the following rankings of Rs values in 100ppm of CO.

Code:		
	1: 6.81 ~ 21.5kΩ	3: 14.7 ~ 46.6kΩ
	2: 10.0 ~ 31.6kΩ	4: 21.5 ~ 68.1kΩ

For information on warranty, please refer to Standard Terms and Conditions of Sale of Figaro USA Inc.

REV: 6.00

FIGARO USA INC.
3703 West Lake Ave. Suite 203
Glenview, IL 60025 USA
Tel: 847-832-1701
Fax: 847-832-1705
email: figarousa@figarosensor.com

LM158,A-LM258,A
LM358,A

LOW POWER DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS

- INTERNALLY FREQUENCY COMPENSATED
- LARGE DC VOLTAGE GAIN: 100dB
- WIDE BANDWIDTH (unity gain): 1.1MHz (temperature compensated)
- VERY LOW SUPPLY CURRENT/OP (500µA) ESSENTIALLY INDEPENDENT OF SUPPLY VOLTAGE
- LOW INPUT BIAS CURRENT: 20nA (temperature compensated)
- LOW INPUT OFFSET VOLTAGE: 2mV
- LOW INPUT OFFSET CURRENT: 2nA
- INPUT COMMON-MODE VOLTAGE RANGE INCLUDES GROUND
- DIFFERENTIAL INPUT VOLTAGE RANGE EQUAL TO THE POWER SUPPLY VOLTAGE
- LARGE OUTPUT VOLTAGE SWING 0V TO (Vcc - 1.5V)



N
DIP8
(Plastic Package)



D & S
SO8 & miniSO8
(Plastic Micropackage)



P
TSSOP8
(Thin Shrink Small Outline Package)

DESCRIPTION

These circuits consist of two independent, high gain, internally frequency compensated which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. The low power supply drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, dc gain blocks and all the conventional op-amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, these circuits can be directly supplied with the standard +5V which is used in logic systems and will easily provide the required interface electronics without requiring any additional power supply.

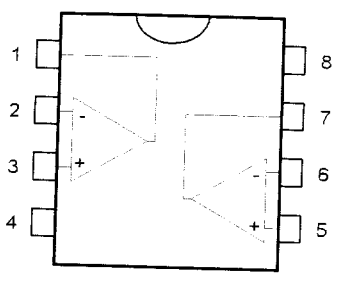
Inthe linear mode the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage.

ORDER CODE

Part Number	Temperature Range	Package			
		N	S	D	P
LM158,A	-55°C, +125°C				
LM258,A	-40°C, +105°C				
LM358,A	0°C, +70°C				
Example : LM258N					

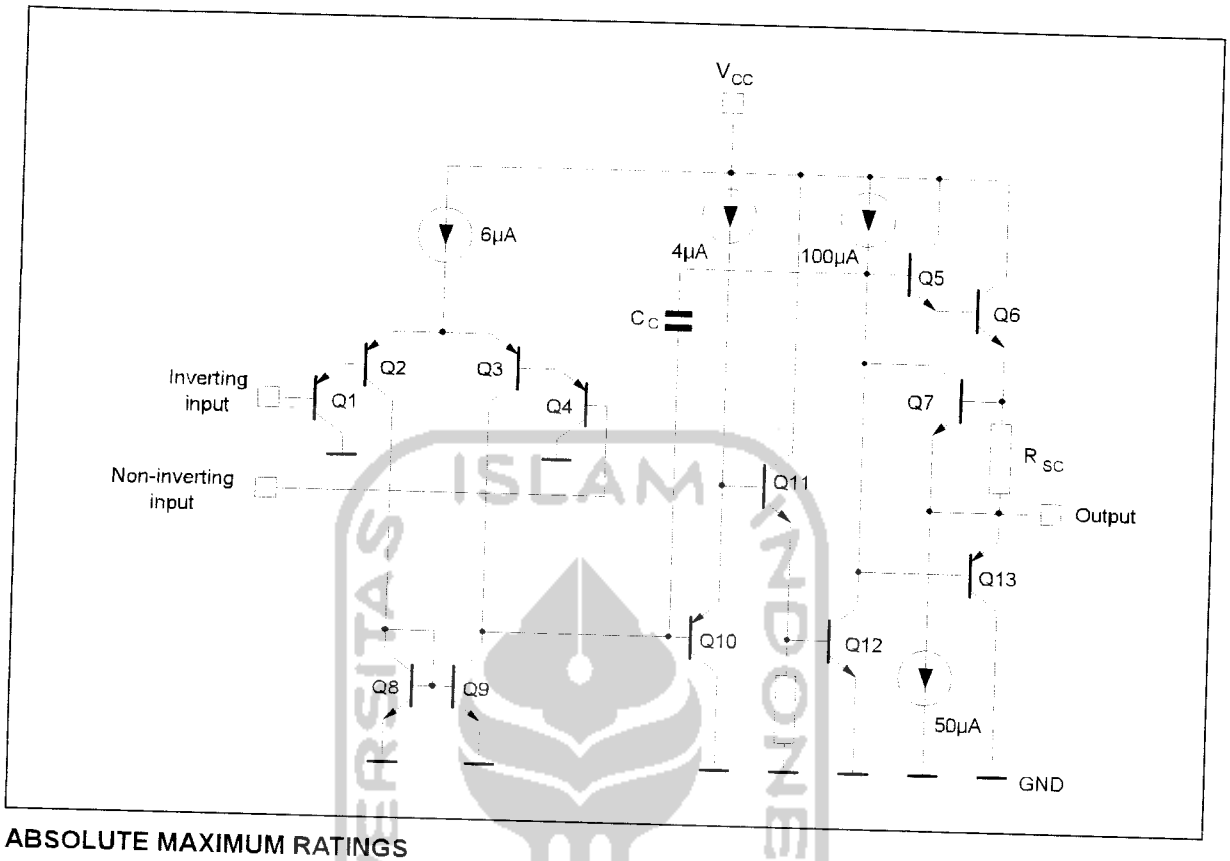
N = Dual in Line Package (DIP)
D = Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)
S = Small Outline Package (miniSO) only available in Tape & Reel (DT)
P = Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP) - only available in Tape &Reel (PT)

PIN CONNECTIONS (top view)



1 - Output 1
2 - Inverting input
3 - Non-inverting input
4 - V_{CC}^-
5 - Non-inverting input 2
6 - Inverting input 2
7 - Output 2
8 - V_{CC}^+

SCHEMATIC DIAGRAM (1/2 LM158)



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	LM158,A	LM258,A	LM358,A	Unit
V_{CC}	Supply voltage		+/-16 or 32		V
V_i	Input Voltage		-0.3 to +32		V
V_{id}	Differential Input Voltage		+32		V
P_{tot}	Power Dissipation [1]		500		mW
	Output Short-circuit Duration [2]		Infinite		
I_{in}	Input Current [3]		50		mA
T_{oper}	Opearting Free-air Temperature Range	-55 to +125	-40 to +105	0 to +70	°C
T_{stg}	Storage Temperature Range		-65 to +150		°C

1. Power dissipation must be considered to ensure maximum junction temperature (Tj) is not exceeded.
2. Short-circuits from the output to V_{CC} can cause excessive heating if V_{CC} > 15V. The maximum output current is approximately 40mA independent of the magnitude of V_{CC}. Destructive dissipation can result from simultaneous short-circuit on all amplifiers.
3. This input current only exists when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistor becoming forward biased and thereby acting as input diodes clamps. In addition to this diode action, there is also NPN parasitic action on the IC chip. this transistor action can cause the output voltages of the Op-amps to go to the V_{CC} voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration than an input is driven negative.
This is not destructive and normal output will set up again for input voltage higher than -0.3V.

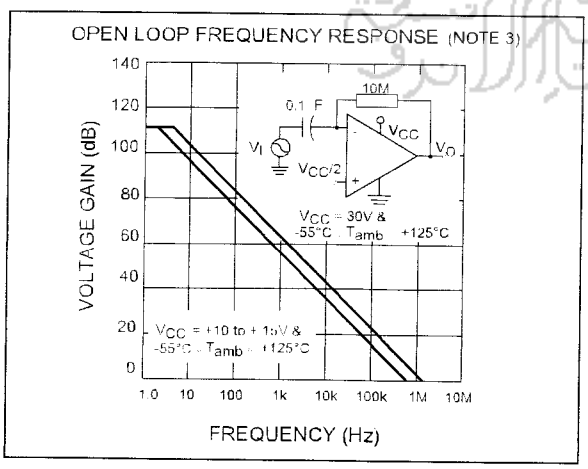
ELECTRICAL CHARACTERISTICS

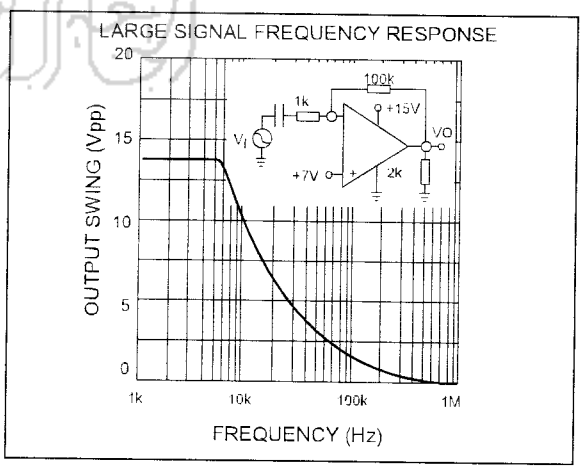
V_{CC}^+ = +5V, V_{CC}^- = Ground, V_o = 1.4V, T_{amb} = +25°C (unless otherwise specified)

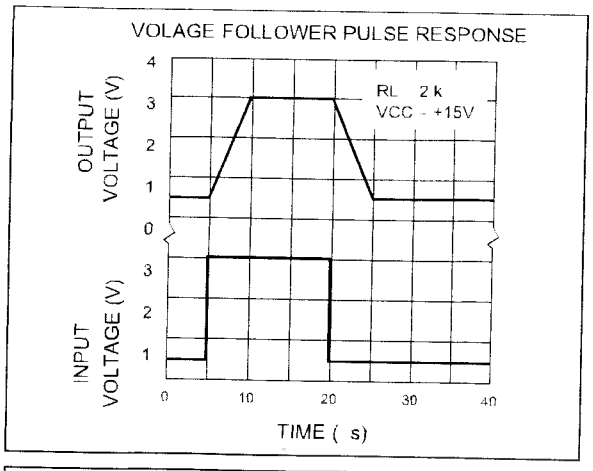
Symbol	Parameter	LM158A-LM258A LM358A			LM158-LM258 LM358			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
V_{io}	Input Offset Voltage - note 1) T_{amb} = +25°C LM158, LM258 LM158A $T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$ LM158, LM258		1	3 2 4		2	7 5 9 7	mV
I_{io}	Input Offset Current T_{amb} = +25°C $T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$		2	10 30		2	30 40	nA
I_{ib}	Input Bias Current - note 2) T_{amb} = +25°C $T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$		20	50 100		20	150 200	nA
A_{vd}	Large Signal Voltage Gain V_{CC} = +15V, R_L = 2kΩ+V_o = 1.4V to 11.4V T_{amb} = +25°C $T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$	50 25	100		50 25	100		V/mV
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio ($R_s \le 10k\Omega$) V_{CC}^+ = 5V to 30V T_{amb} = +25°C $T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$	65 65	100		65 65	100		dB
I_{CC}	Supply Current, all Amp, no load $T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$ V_{CC} = +5V $T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$ V_{CC} = +30V		0.7	1.2 1		0.7	1.2 2	mA
V_{icm}	Input Common Mode Voltage Range V_{CC} = +30V - note 3) T_{amb} = +25°C $T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$	0 0		V_{CC}^+ -1.5 V_{CC}^+ -2	0 0		V_{CC}^+ -1.5 V_{CC}^+ -2	V
CMR	Common Mode Rejection Ratio ($R_s \le 10k\Omega$) T_{amb} = +25°C $T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$	70 60	85		70 60	85		dB
I_{source}	Output Current Source V_{CC} = +15V, V_o = +2V, V_{id} = +1V	20	40	60	20	40	60	mA
I_{sink}	Output Sink Current (V_{id} = -1V) V_{CC} = +15V, V_o = +2V V_{CC} = +15V, V_o = +0.2V	10 12	20 50		10 12	20 50		mA µA
V_{OPP}	Output Voltage Swing (R_L = 2kΩ) T_{amb} = +25°C $T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$	0 0		V_{CC}^+ -1.5 V_{CC}^+ -2	0 0		V_{CC}^+ -1.5 V_{CC}^+ -2	

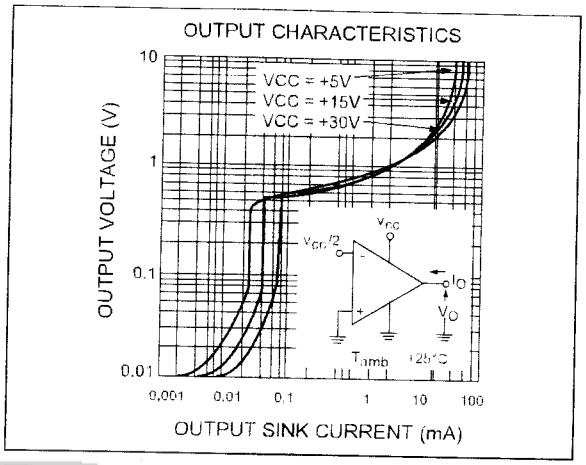
Symbol	Parameter	LM158A-LM258A LM358A			LM158-LM258 LM358			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
V_{OH}	High Level Output Voltage (V_{CC}^+ = 30V) T_{amb} = +25°C R_L = 2kΩ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ T_{amb} = +25°C R_L = 10kΩ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	26 26 27 27	27 28 		26 26 27 27	27 28 		V
V_{OL}	Low Level Output Voltage (R_L = 10kΩ) T_{amb} = +25°C $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		5	20 20		5	20 20	mV
SR	Slew Rate V_{CC} = 15V, V_i = 0.5 to 3V, R_L = 2kΩ, C_L = 100pF, unity Gain	0.3	0.6		0.3	0.6		V/µs
GBP	Gain Bandwidth Product V_{CC} = 30V, f =100kHz, V_{in} = 10mV, R_L = 2kΩ C_L = 100pF	0.7	1.1		0.7	1.1		MHz
THD	Total Harmonic Distortion f = 1kHz, A_V = 20dB, R_L = 2kΩ, V_o = $2V_{pp}$, C_L = 100pF, V_O = 2Vpp		0.02			0.02		%
e_n	Equivalent Input Noise Voltage f = 1kHz, R_s = 100Ω, V_{CC} = 30V		55			55		$\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$
DV_{io}	Input Offset Voltage Drift		7	15		7	30	µV/°C
DI_{lio}	Input Offset Current Drift		10	200		10	300	pA/°C
V_{o1}/V_{o2}	Channel Separation - note 4) 1kHz ≤f ≤20kHZ		120			120		dB

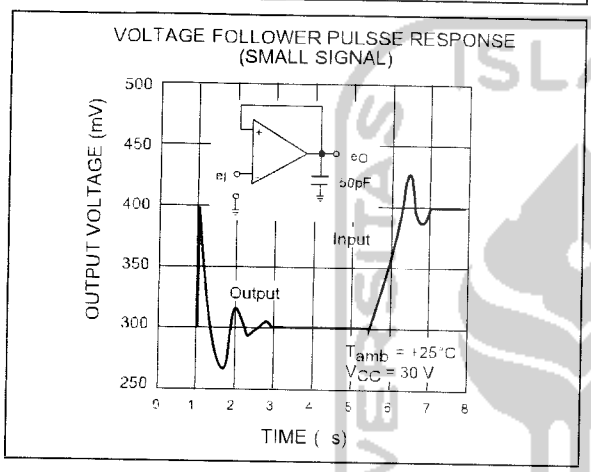
1. V_o = 1.4V, R_s = 0Ω, 5V < V_{CC}^+ < 30V, 0 < V_{ic} < V_{CC}^+ - 1.5V
2. The direction of the input current is out of the IC. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.
3. The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V. The upper end of the common-mode voltage range is V_{CC}^+ - 1.5V, but either or both inputs can go to +32V without damage.
4. Due to the proximity of external components insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequences.

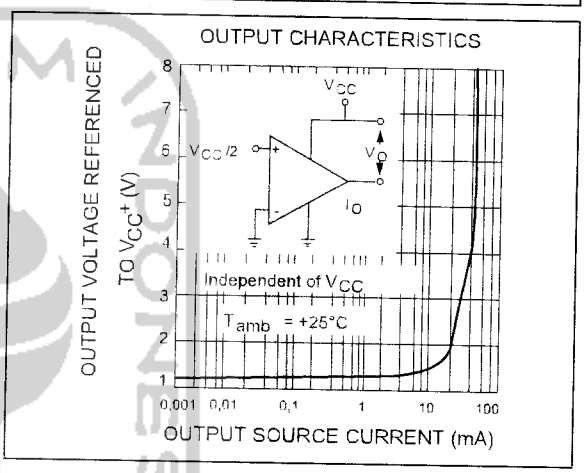


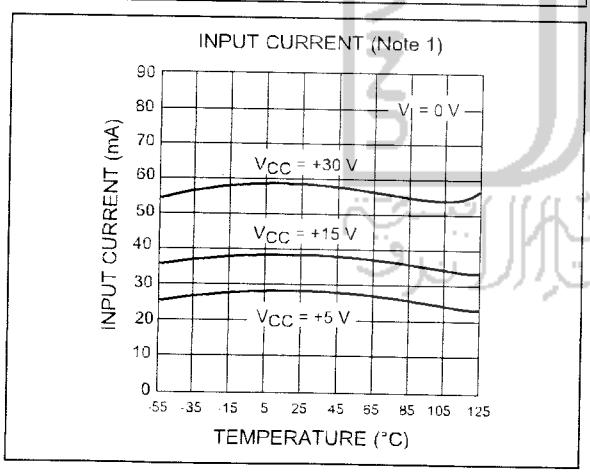


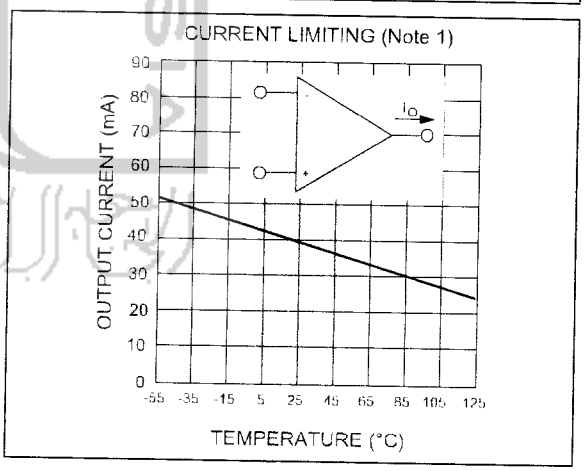

VOLAGE FOLLOWER PULSE RESPONSE
OUTPUT VOLTAGE (V)
INPUT VOLTAGE (V)
RL 2 k
VCC = +15V
TIME (s)


OUTPUT CHARACTERISTICS
OUTPUT VOLTAGE (V)
VCC = +5V
VCC = +15V
VCC = +30V
OUTPUT SINK CURRENT (mA)

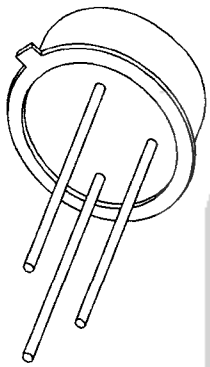

VOLTAGE FOLLOWER PULSSE RESPONSE
(SMALL SIGNAL)
OUTPUT VOLTAGE (mV)
Input
Output
Tamb = +25°C
VCC = 30 V
TIME (s)


OUTPUT CHARACTERISTICS
OUTPUT VOLTAGE REFERENCED TO VCC+ (V)
Independent of VCC
Tamb = +25°C
OUTPUT SOURCE CURRENT (mA)


INPUT CURRENT (Note 1)
INPUT CURRENT (mA)
VI = 0 V
VCC = +30 V
VCC = +15 V
VCC = +5 V
TEMPERATURE (°C)


CURRENT LIMITING (Note 1)
OUTPUT CURRENT (mA)
TEMPERATURE (°C)

DATA SHEET



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

2N2907; 2N2907A
PNP switching transistors

Product specification
Supersedes data of September 1994
File under Discrete Semiconductors, SC04

1997 May 30

Philips
Semiconductors

PHILIPS

PNP switching transistors

2N2907; 2N2907A

FEATURES

High current (max. 600 mA)

Low voltage (max. 60 V).

APPLICATIONS

Switching and linear amplification.

DESCRIPTION

PNP switching transistor in a TO-18 metal package.
NPN complements: 2N2222 and 2N2222A.

PINNING

PIN	DESCRIPTION
1	emitter
2	base
3	collector, connected to case

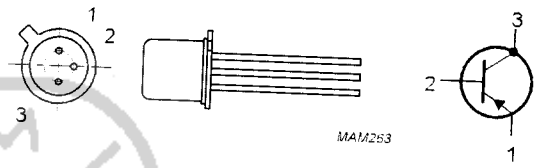


Fig.1 Simplified outline (TO-18) and symbol.

QUICK REFERENCE DATA

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{CBO}	collector-base voltage	open emitter	–	-60	V
V_{CEO}	collector-emitter voltage	open base			
	2N2907		–	-40	V
	2N2907A		–	-60	V
I_C	collector current (DC)		–	-600	mA
P_{tot}	total power dissipation	$T_{amb} \leq 25$ C	–	400	mW
h_{FE}	DC current gain	I_C = –150 mA; V_{CE} = –10 V	100	300	
f_T	transition frequency	I_C = –50 mA; V_{CE} = –20 V; f = 100 MHz	200	–	MHz
t_{off}	turn-off time	I_{Con} = –150 mA; I_{Bon} = –15 mA; I_{Boff} = 15 mA	–	300	ns

LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

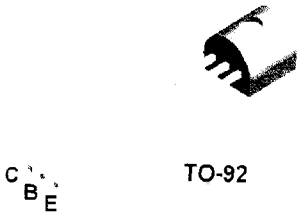
SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{CBO}	collector-base voltage	open emitter	–	-60	V
V_{CEO}	collector-emitter voltage	open base; I_C < -100 mA			
	2N2907		–	-40	V
	2N2907A		–	-60	V
V_{EBO}	emitter-base voltage	open collector	–	-5	V
I_C	collector current (DC)		–	-600	mA
I_{CM}	peak collector current		–	-800	mA
I_{BM}	peak base current		–	-200	mA
P_{tot}	total power dissipation	$T_{amb} \leq 25$ C	–	400	mW
		$T_{case} \leq 25$ C	–	1.2	W
T_{stg}	storage temperature		-65	+150	C
T_j	junction temperature		–	200	C
T_{amb}	operating ambient temperature		-65	+150	C

THERMAL CHARACTERISTICS

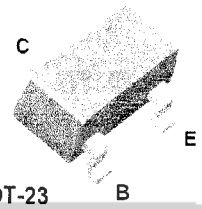
SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	VALUE	UNIT
$R_{th\ j\text{-}a}$	thermal resistance from junction to ambient	in free air	438	K/W
$R_{th\ j\text{-}c}$	thermal resistance from junction to case		146	K/W

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR™

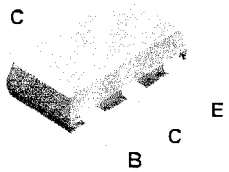
PN2222A MMBT2222A PZT2222A



TO-92



SOT-23
Mark: 1P



SOT-223

NPN General Purpose Amplifier

This device is for use as a medium power amplifier and switch requiring collector currents up to 500 mA. Sourced from Process 19.

Absolute Maximum Ratings*

T_A = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage	40	V
V_{CBO}	Collector-Base Voltage	75	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	6.0	V
I_C	Collector Current - Continuous	1.0	A
T_J, T_{stg}	Operating and Storage Junction Temperature Range	-55 to +150	°C

*These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired.

NOTES:
1) These ratings are based on a maximum junction temperature of 150 degrees C.
2) These are steady state limits. The factory should be consulted on applications involving pulsed or low duty cycle operations.

Thermal Characteristics

T_A = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Characteristic	Max			Units
		PN2222A	*MMBT2222A	**PZT2222A	
P_D	Total Device Dissipation Derate above 25°C	625 5.0	350 2.8	1,000 8.0	mW mW/°C
$R_{\theta JC}$	Thermal Resistance, Junction to Case	83.3			°C/W
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient	200	357	125	°C/W

*Device mounted on FR-4 PCB 1.6" X 1.6" X 0.06."

**Device mounted on FR-4 PCB 36 mm X 18 mm X 1.5 mm; mounting pad for the collector lead min. 6 cm^2.

© 1998 Fairchild Semiconductor Corporation

H1602B
LCD MODULE MANUAL

Character 16X2

Contents

1. Precautions in use of LCD Modules
2. General Specification
3. Absolute Maximum Ratings
4. Electrical Characteristics
5. Optical Characteristics
6. Interface Pin Function
7. Contour Drawing & Block Diagram
8. Function Description
9. Character Generator ROM Pattern
10. Instruction Table
11. Timing Characteristics
12. Backlight Information
13. Initializing of LCM

Supply Voltage For Logic	V_{DD}-V_{SS}	-0.3	-	7	V
Supply Voltage For LCD	V_{DD}-V_0	-0.3	-	13	V

4. Electrical Characteristics

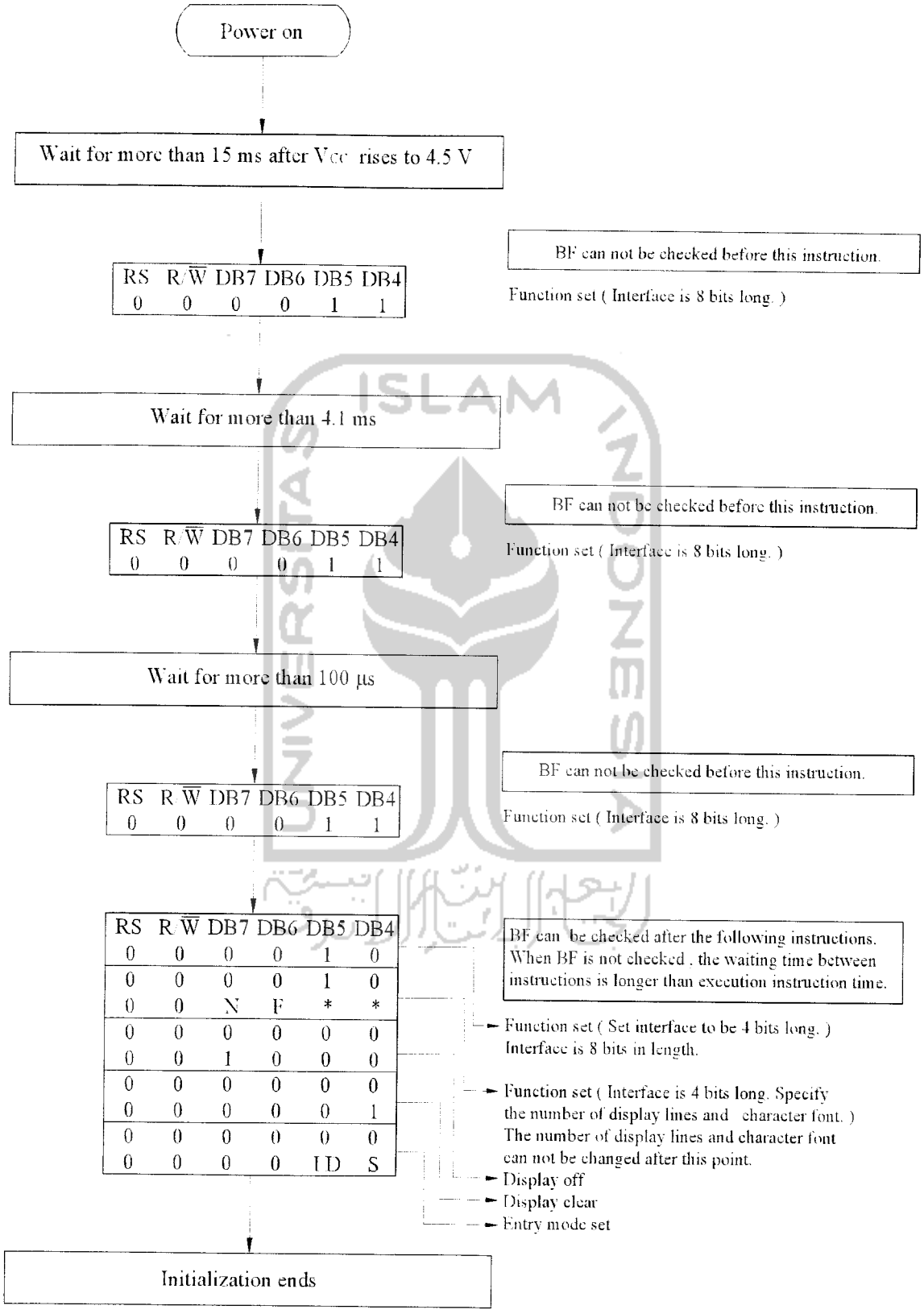
Item	Symbol	Condition	Min	Typ	Max	Unit
Supply Voltage For Logic	V_{DD}-V_{SS}	-	2.7	-	5.5	V
Supply Voltage For LCD	V_{DD}-V_0	Ta=0°C	-	-	4.2	V
		Ta=25°C	-	3.8	-	V
		Ta=+50°C	3.4	-	-	V
Input High Volt.	V_{IH}	-	2.2	-	V_{DD}	V
Input Low Volt.	V_{IL}	-	-	-	0.6	V
Output High Volt.	V_{OH}	-	2.4	-	-	V
Output Low Volt.	V_{OL}	-	-	-	0.4	V
Supply Current	I_{DD}	V_{DD}=5V	-	1.2	-	mA

5. Optical Characteristics

Item	Symbol	Condition	Min	Typ	Max	Unit
View Angle	(V)θ	CR≥2	10	-	40	deg
	(H)φ	CR≥2	-30	-	30	deg
Contrast Ratio	CR	-	-	3	-	-
Response Time	T rise	-	-	200	300	ms
	T fall	-	-	200	300	ms

6. Interface Pin Function

Pin No.	Symbol	Level	Description
1	V_{SS}	0V	Ground
2	V_{DD}	5.0V	Supply Voltage for logic
3	VO	(Variable)	Operating voltage for LCD
4	RS	H/L	H: DATA. L: Instruction code
5	R/W	H/L	H: Read(MPU←Module) L: Write(MPU→Module)
6	E	H,H→L	Chip enable signal
7	DB0	H/L	Data bit 0
8	DB1	H/L	Data bit 1
9	DB2	H/L	Data bit 2
10	DB3	H/L	Data bit 3
11	DB4	H/L	Data bit 4
12	DB5	H/L	Data bit 5
13	DB6	H/L	Data bit 6
14	DB7	H/L	Data bit 7
15	A	4.2V-4.6V	LED +
16	K	0V	LED -



4-Bit Ineterface

Features

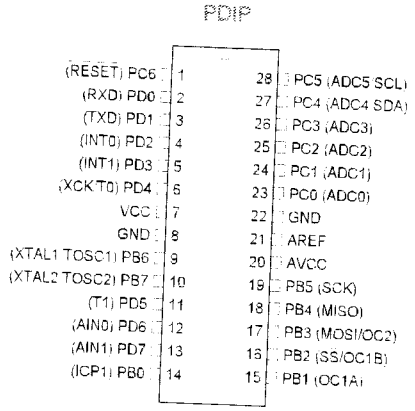
- High-performance, Low-power AVR® 8-bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
  - 130 Powerful Instructions – Most Single-clock Cycle Execution
  - 32 x 8 General Purpose Working Registers
  - Fully Static Operation
  - Up to 16 MIPS Throughput at 16 MHz
  - On-chip 2-cycle Multiplier
- Nonvolatile 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
  - 1K Byte Internal SRAM
  - Programming Lock for Software Security
- Peripheral Features
  - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler, one Compare Mode
  - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
  - Real Time Counter with Separate Oscillator
  - Three PWM Channels
  - 8-channel ADC in TQFP and MLF package
    Six Channels 10-bit Accuracy
    Two Channels 8-bit Accuracy
  - 6-channel ADC in PDIP package
    Four Channels 10-bit Accuracy
    Two Channels 8-bit Accuracy
  - 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
  - Five Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, and Standby
- I/O and Packages
  - 23 Programmable I/O Lines
  - 28-lead PDIP, 32-lead TQFP, and 32-pad MLF
- Operating Voltages
  - 2.7 - 5.5V (ATmega8L)
  - 4.5 - 5.5V (ATmega8)
- Speed Grades
  - 0 - 8 MHz (ATmega8L)
  - 0 - 16 MHz (ATmega8)
- Power Consumption at 4 Mhz, 3V, 25°C
  - Active: 3.6 mA
  - Idle Mode: 1.0 mA
  - Power-down Mode: 0.5 µA

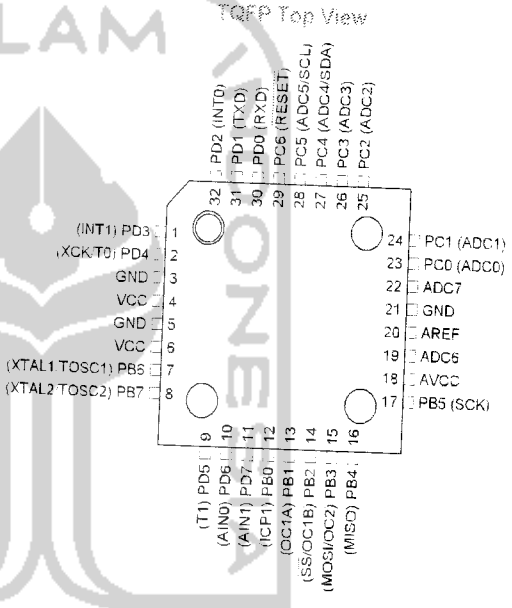
8-bit AVR® with 8K Bytes In-System Programmable Flash

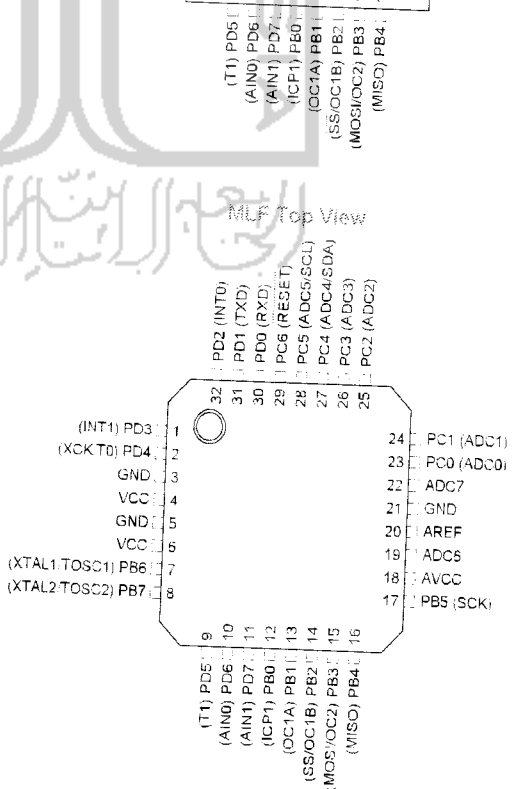
ATmega8
ATmega8L

Rev. 2486M–AVR–12/03

Pin Configurations





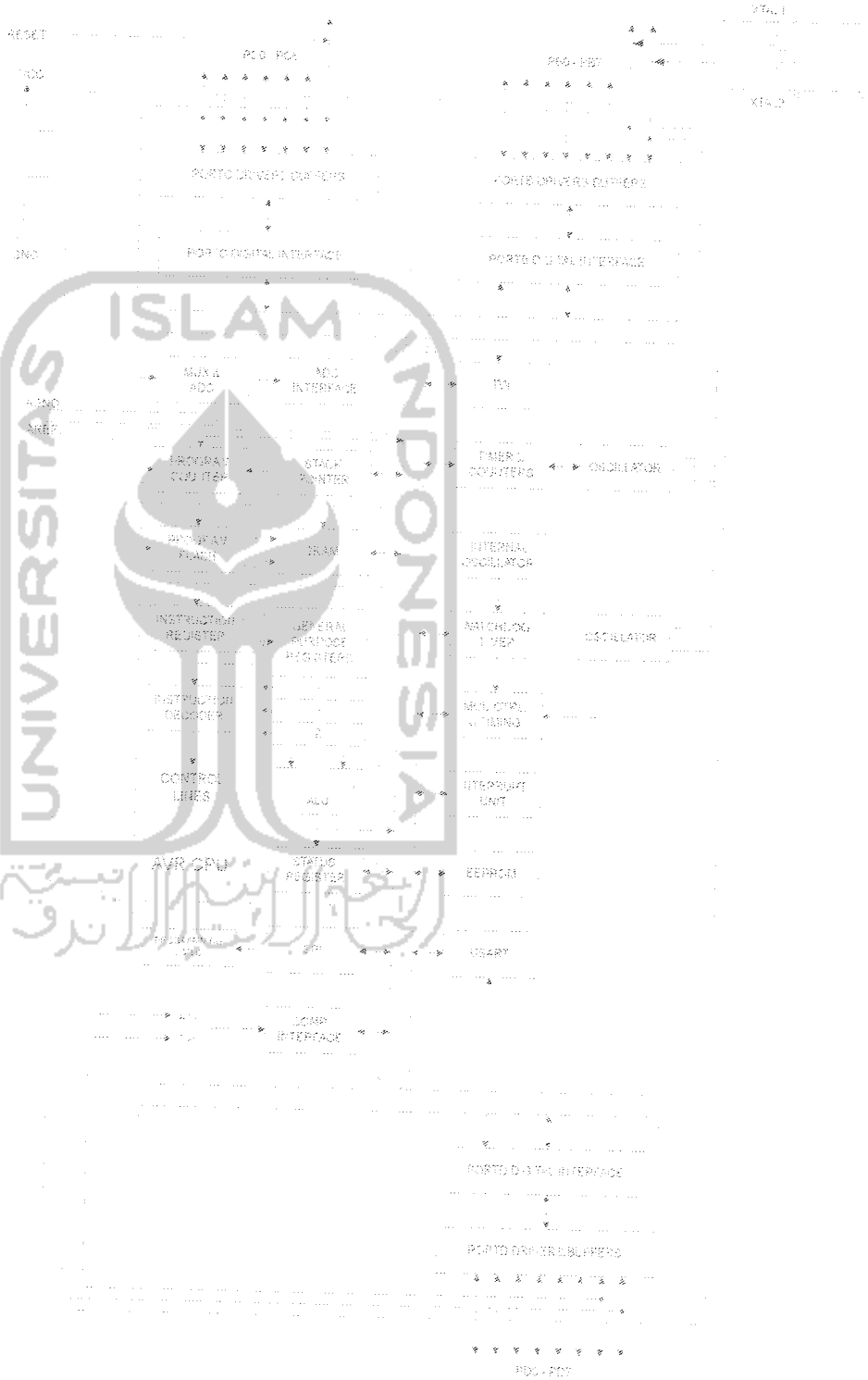


Overview

The ATmega8 is a low-power CMOS 8-bit microcontroller based on the AVR RISC architecture. By executing powerful instructions in a single clock cycle, the ATmega8 achieves throughputs approaching 1 MIPS per MHz, allowing the system designer to optimize power consumption versus processing speed.

Block Diagram

Figure 1. Block Diagram



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Interrupts

This section describes the specifics of the interrupt handling performed by the ATmega8. For a general explanation of the AVR interrupt handling, refer to "Reset and Interrupt Handling" on page 12.

Interrupt Vectors in ATmega8

Table 18. Reset and Interrupt Vectors

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

Notes:
1. When the BOOTRST Fuse is programmed, the device will jump to the Boot Loader address at reset, see "Boot Loader Support – Read-While-Write Self-Programming" on page 206.
2. When the IVSEL bit in GICR is set, Interrupt Vectors will be moved to the start of the boot Flash section. The address of each Interrupt Vector will then be the address in this table added to the start address of the boot Flash section.

Table 19 shows reset and Interrupt Vectors placement for the various combinations of BOOTRST and IVSEL settings. If the program never enables an interrupt source, the Interrupt Vectors are not used, and regular program code can be placed at these locations. This is also the case if the Reset Vector is in the Application section while the Interrupt Vectors are in the boot section or vice versa.

Table 19. Reset and Interrupt Vectors Placement

BOOTRST[1]	IVSEL	Reset Address	Interrupt Vectors Start Address
1	0	0x000	0x001
1	1	0x000	Boot Reset Address + 0x001
0	0	Boot Reset Address	0x001
0	1	Boot Reset Address	Boot Reset Address + 0x001

Note: 1. The Boot Reset Address is shown in Table 82 on page 217. For the BOOTRST Fuse "1" means unprogrammed while "0" means programmed.

The most typical and general program setup for the Reset and Interrupt Vector Addresses in ATmega8 is:

```
Address Labels Code       Comments
$000    rjmp    RESET     ; Reset Handler
$001    rjmp    EXT_INT0  ; IRQ0 Handler
$002    rjmp    EXT_INT1  ; IRQ1 Handler
$003    rjmp    TIM2_COMP ; Timer2 Compare Handler
$004    rjmp    TIM2_OVF  ; Timer2 Overflow Handler
$005    rjmp    TIM1_CAPT ; Timer1 Capture Handler
$006    rjmp    TIM1_COMPA; Timer1 CompareA Handler
$007    rjmp    TIM1_COMPB; Timer1 CompareB Handler
$008    rjmp    TIM1_OVF  ; Timer1 Overflow Handler
$009    rjmp    TIM0_OVF  ; Timer0 Overflow Handler
$00a    rjmp    SPI_STC   ; SPI Transfer Complete Handler
$00b    rjmp    USART_RXC ; USART RX Complete Handler
$00c    rjmp    USART_UDRE; UDR Empty Handler
$00d    rjmp    USART_TXC ; USART TX Complete Handler
$00e    rjmp    ADC       ; ADC Conversion Complete Handler
$00f    rjmp    EE_RDY    ; EEPROM Ready Handler
$010    rjmp    ANA_COMP  ; Analog Comparator Handler
$011    rjmp    TWSI      ; Two-wire Serial Interface
Handler
$012    rjmp    SPM_RDY   ; Store Program Memory Ready
Handler
;
$013  RESET: ldi     r16,high(RAMEND); Main program start
$014         out     SPH,r16       ; Set Stack Pointer to top of RAM
$015         ldi     r16,low(RAMEND)
$016         out     SPL,r16
$017         sei                   ; Enable interrupts
$018         <instr> xxx
...          ...     ...
```

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

```
Address Labels Code                    Comments
$000            rjmp    RESET          ; Reset handler
;
$001    RESET:  ldi     r16,high(RAMEND); Main program start
$002            out     SPH,r16        ; Set Stack Pointer to top of RAM
$003            ldi     r16,low(RAMEND)
$004            out     SPL,r16
$005            sei                    ; Enable interrupts
$006            <instr> xxx
;
.org $001
$001            rjmp    EXT_INT0       ; IRQ0 Handler
$002            rjmp    EXT_INT1       ; IRQ1 Handler
...             ...     ...;
$012            rjmp    SPM_RDY        ; Store Program Memory Ready
Handler
```

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

```
Address Labels Code                    Comments
.org $001
$001            rjmp    EXT_INT0       ; IRQ0 Handler
$002            rjmp    EXT_INT1       ; IRQ1 Handler
...             ...     ...;
$012            rjmp    SPM_RDY        ; Store Program Memory Ready
Handler
;
.org $c00
$c00            rjmp    RESET          ; Reset handler
;
$c01    RESET:  ldi     r16,high(RAMEND); Main program start
$c02            out     SPH,r16        ; Set Stack Pointer to top of RAM
$c03            ldi     r16,low(RAMEND)
$c04            out     SPL,r16
$c05            sei                    ; Enable interrupts
$c06            <instr> xxx
```

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

```
Address Labels   Code            Comments
;
.org $c00
$c00            rjmp    RESET           ; Reset handler
$c01            rjmp    EXT_INT0        ; IRQ0 Handler
$c02            rjmp    EXT_INT1        ; IRQ1 Handler
...             ...     ...;
$c12            rjmp    SPM_RDY         ; Store Program Memory Ready
Handler
$c13    RESET:  ldi     r16,high(RAMEND); Main program start
$c14            out     SPH,r16         ; Set Stack Pointer to top of RAM
$c15            ldi     r16,low(RAMEND)
$c16            out     SPL,r16
$c17            sei                     ; Enable interrupts
$c18            <instr> xxx
```

Moving Interrupts Between Application and Boot Space

The General Interrupt Control Register controls the placement of the Interrupt Vector table.

General Interrupt Control Register – GICR

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	INT1	INT0	–	–	–	–	IVSEL	IVCE	GICR
Read/Write	R/W	R/W	R	R	R	R	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

- **Bit 1 – IVSEL: Interrupt Vector Select**

When the IVSEL bit is cleared (zero), the Interrupt Vectors are placed at the start of the Flash memory. When this bit is set (one), the Interrupt Vectors are moved to the beginning of the Boot Loader section of the Flash. The actual address of the start of the boot Flash section is determined by the BOOTSZ Fuses. Refer to the section "Boot Loader Support – Read-While-Write Self-Programming" on page 206 for details. To avoid unintentional changes of Interrupt Vector tables, a special write procedure must be followed to change the IVSEL bit:

1. Write the Interrupt Vector Change Enable (IVCE) bit to one.
2. Within four cycles, write the desired value to IVSEL while writing a zero to IVCE.

Interrupts will automatically be disabled while this sequence is executed. Interrupts are disabled in the cycle IVCE is set, and they remain disabled until after the instruction following the write to IVSEL. If IVSEL is not written, interrupts remain disabled for four cycles. The I-bit in the Status Register is unaffected by the automatic disabling.

Note: If Interrupt Vectors are placed in the Boot Loader section and Boot Lock bit BLB02 is programmed, interrupts are disabled while executing from the Application section. If Interrupt Vectors are placed in the Application section and Boot Lock bit BLB12 is programed, interrupts are disabled while executing from the Boot Loader section. Refer to the section "Boot Loader Support – Read-While-Write Self-Programming" on page 206 for details on Boot Lock Bits.

- **Bit 0 – IVCE: Interrupt Vector Change Enable**

The IVCE bit must be written to logic one to enable change of the IVSEL bit. IVCE is cleared by hardware four cycles after it is written or when IVSEL is written. Setting the IVCE bit will disable interrupts, as explained in the IVSEL description above. See Code Example below.

Assembly Code Example

```
Move_interrupts:
  ; Enable change of Interrupt Vectors
  ldi  r16, (1<<IVCE)
  out  GICR, r16
  ; Move interrupts to boot Flash section
  ldi  r16, (1<<IVSEL)
  out  GICR, r16
  ret
```

C Code Example

```
void Move_interrupts(void)
{
  /* Enable change of Interrupt Vectors */
  GICR = (1<<IVCE);
  /* Move interrupts to boot Flash section */
  GICR = (1<<IVSEL);
}
```

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

External Interrupts

The external interrupts are triggered by the INT0, and INT1 pins. Observe that, if enabled, the interrupts will trigger even if the INT0..1 pins are configured as outputs. This feature provides a way of generating a software interrupt. The external interrupts can be triggered by a falling or rising edge or a low level. This is set up as indicated in the specification for the MCU Control Register – MCUCR. When the external interrupt is enabled and is configured as level triggered, the interrupt will trigger as long as the pin is held low. Note that recognition of falling or rising edge interrupts on INT0 and INT1 requires the presence of an I/O clock, described in "Clock Systems and their Distribution" on page 23. Low level interrupts on INT0/INT1 are detected asynchronously. This implies that these interrupts can be used for waking the part also from sleep modes other than Idle mode. The I/O clock is halted in all sleep modes except Idle mode.

Note that if a level triggered interrupt is used for wake-up from Power-down mode, the changed level must be held for some time to wake up the MCU. This makes the MCU less sensitive to noise. The changed level is sampled twice by the Watchdog Oscillator clock. The period of the Watchdog Oscillator is 1 µs (nominal) at 5.0V and 25°C. The frequency of the Watchdog Oscillator is voltage dependent as shown in "Electrical Characteristics" on page 237. The MCU will wake up if the input has the required level during this sampling or if it is held until the end of the start-up time. The start-up time is defined by the SUT Fuses as described in "System Clock and Clock Options" on page 23. If the level is sampled twice by the Watchdog Oscillator clock but disappears before the end of the start-up time, the MCU will still wake up, but no interrupt will be generated. The required level must be held long enough for the MCU to complete the wake up to trigger the level interrupt.

MCU Control Register – MCUCR

The MCU Control Register contains control bits for interrupt sense control and general MCU functions.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	SE	SM2	SM1	SM0	ISC11	ISC10	ISC01	ISC00	MCUCR
Read/Write	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	

- **Bit 3, 2 – ISC11, ISC10: Interrupt Sense Control 1 Bit 1 and Bit 0**

The External Interrupt 1 is activated by the external pin INT1 if the SREG I-bit and the corresponding interrupt mask in the GICR are set. The level and edges on the external INT1 pin that activate the interrupt are defined in Table 31. The value on the INT1 pin is sampled before detecting edges. If edge or toggle interrupt is selected, pulses that last longer than one clock period will generate an interrupt. Shorter pulses are not guaranteed to generate an interrupt. If low level interrupt is selected, the low level must be held until the completion of the currently executing instruction to generate an interrupt.

Table 31. Interrupt 1 Sense Control

ISC11	ISC10	Description
0	0	The low level of INT1 generates an interrupt request.
0	1	Any logical change on INT1 generates an interrupt request.
1	0	The falling edge of INT1 generates an interrupt request.
1	1	The rising edge of INT1 generates an interrupt request.

- **Bit 1, 0 – ISC01, ISC00: Interrupt Sense Control 0 Bit 1 and Bit 0**

The External Interrupt 0 is activated by the external pin INT0 if the SREG I-flag and the corresponding interrupt mask are set. The level and edges on the external INT0 pin that activate the interrupt are defined in Table 32. The value on the INT0 pin is sampled before detecting edges. If edge or toggle interrupt is selected, pulses that last longer than one clock period will generate an interrupt. Shorter pulses are not guaranteed to generate an interrupt. If low level interrupt is selected, the low level must be held until the completion of the currently executing instruction to generate an interrupt.

Table 32. Interrupt 0 Sense Control

ISC01	ISC00	Description
0	0	The low level of INT0 generates an interrupt request.
0	1	Any logical change on INT0 generates an interrupt request.
1	0	The falling edge of INT0 generates an interrupt request.
1	1	The rising edge of INT0 generates an interrupt request.

General Interrupt Control Register – GICR

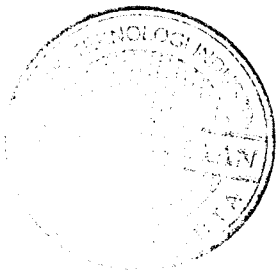
Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	INT1	INT0	–	–	–	–	IVSEL	IVCE	GICR
Read/Write	R/W	R/W	R	R	R	R	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

- **Bit 7 – INT1: External Interrupt Request 1 Enable**

When the INT1 bit is set (one) and the I-bit in the Status Register (SREG) is set (one), the external pin interrupt is enabled. The Interrupt Sense Control1 bits 1/0 (ISC11 and ISC10) in the MCU general Control Register (MCUCR) define whether the external interrupt is activated on rising and/or falling edge of the INT1 pin or level sensed. Activity on the pin will cause an interrupt request even if INT1 is configured as an output. The corresponding interrupt of External Interrupt Request 1 is executed from the INT1 Interrupt Vector.

- **Bit 6 – INT0: External Interrupt Request 0 Enable**

When the INT0 bit is set (one) and the I-bit in the Status Register (SREG) is set (one), the external pin interrupt is enabled. The Interrupt Sense Control0 bits 1/0 (ISC01 and ISC00) in the MCU general Control Register (MCUCR) define whether the external interrupt is activated on rising and/or falling edge of the INT0 pin or level sensed. Activity on the pin will cause an interrupt request even if INT0 is configured as an output. The corresponding interrupt of External Interrupt Request 0 is executed from the INT0 Interrupt Vector.



General Interrupt Flag Register – GIFR

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	INTF1	INTF0	–	–	–	–	–	–	GIFR
Read/Write	R/W	R/W	R	R	R	R	R	R	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

- **Bit 7 – INTF1: External Interrupt Flag 1**

When an event on the INT1 pin triggers an interrupt request, INTF1 becomes set (one). If the I-bit in SREG and the INT1 bit in GICR are set (one), the MCU will jump to the corresponding Interrupt Vector. The flag is cleared when the interrupt routine is executed. Alternatively, the flag can be cleared by writing a logical one to it. This flag is always cleared when INT1 is configured as a level interrupt.

- **Bit 6 – INTF0: External Interrupt Flag 0**

When an event on the INT0 pin triggers an interrupt request, INTF0 becomes set (one). If the I-bit in SREG and the INT0 bit in GICR are set (one), the MCU will jump to the corresponding Interrupt Vector. The flag is cleared when the interrupt routine is executed. Alternatively, the flag can be cleared by writing a logical one to it. This flag is always cleared when INT0 is configured as a level interrupt.

UNIVERSITAS INDONESIA

Analog-to-Digital Converter

Features

- 10-bit Resolution (8-bit Accuracy on ADC4 and ADC5)
- 0.5 LSB Integral Non-linearity
- ± 2 LSB Absolute Accuracy
- 65 - 260 µs Conversion Time
- Up to 15 kSPS at Maximum Resolution
- 6 Multiplexed Single Ended Input Channels
- 2 Additional Multiplexed Single Ended Input Channels (TQFP and MLF Package only)
- Optional Left Adjustment for ADC Result Readout
- 0 - V_{CC} ADC Input Voltage Range
- Selectable 2.56V ADC Reference Voltage
- Free Running or Single Conversion Mode
- Interrupt on ADC Conversion Complete
- Sleep Mode Noise Canceler

The ATmega8 features a 10-bit successive approximation ADC. The ADC is connected to an 8-channel Analog Multiplexer which allows eight single-ended voltage inputs constructed from the pins of Port C. The single-ended voltage inputs refer to 0V (GND).

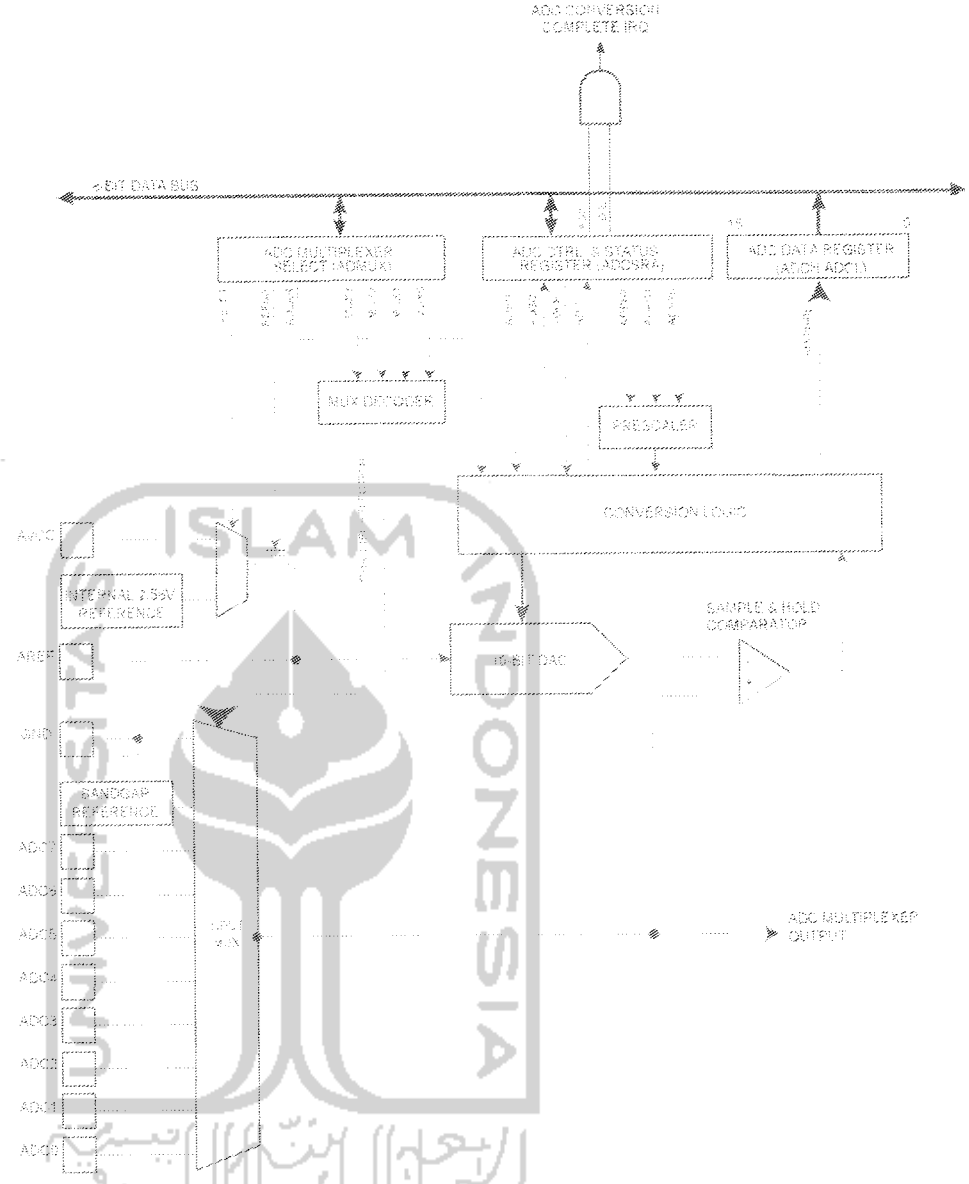
Note that ADC channels ADC4 and ADC5 are limited to 8-bit accuracy. Channels ADC[3:0] and ADC[7:6] offer full 10-bit accuracy.

The ADC contains a Sample and Hold circuit which ensures that the input voltage to the ADC is held at a constant level during conversion. A block diagram of the ADC is shown in Figure 90.

The ADC has a separate analog supply voltage pin, AVCC. AVCC must not differ more than ± 0.3V from V_{CC}. See the paragraph "ADC Noise Canceler" on page 198 on how to connect this pin.

Internal reference voltages of nominally 2.56V or AV_{CC} are provided On-chip. The voltage reference may be externally decoupled at the AREF pin by a capacitor for better noise performance.

Figure 90. Analog to Digital Converter Block Schematic Operation



The ADC converts an analog input voltage to a 10-bit digital value through successive approximation. The minimum value represents GND and the maximum value represents the voltage on the AREF pin minus 1 LSB. Optionally, AVCC or an internal 2.56V reference voltage may be connected to the AREF pin by writing to the REFSn bits in the ADMUX Register. The internal voltage reference may thus be decoupled by an external capacitor at the AREF pin to improve noise immunity.

The analog input channel is selected by writing to the MUX bits in ADMUX. Any of the ADC input pins, as well as GND and a fixed bandgap voltage reference, can be selected as single ended inputs to the ADC. The ADC is enabled by setting the ADC Enable bit, ADEN in ADCSRA. Voltage reference and input channel selections will not go into effect until ADEN is set. The ADC does not consume power when ADEN is cleared, so it is recommended to switch off the ADC before entering power saving sleep modes.

The ADC generates a 10-bit result which is presented in the ADC Data Registers, ADCH and ADCL. By default, the result is presented right adjusted, but can optionally be presented left adjusted by setting the ADLAR bit in ADMUX.

If the result is left adjusted and no more than 8-bit precision is required, it is sufficient to read ADCH. Otherwise, ADCL must be read first, then ADCH, to ensure that the content of the Data Registers belongs to the same conversion. Once ADCL is read, ADC access to Data Registers is blocked. This means that if ADCL has been read, and a conversion completes before ADCH is read, neither register is updated and the result from the conversion is lost. When ADCH is read, ADC access to the ADCH and ADCL Registers is re-enabled.

The ADC has its own interrupt which can be triggered when a conversion completes. When ADC access to the Data Registers is prohibited between reading of ADCH and ADCL, the interrupt will trigger even if the result is lost.

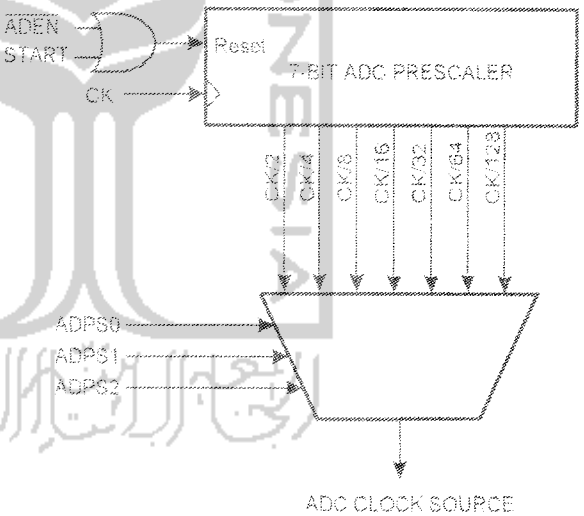
Starting a Conversion

A single conversion is started by writing a logical one to the ADC Start Conversion bit, ADSC. This bit stays high as long as the conversion is in progress and will be cleared by hardware when the conversion is completed. If a different data channel is selected while a conversion is in progress, the ADC will finish the current conversion before performing the channel change.

In Free Running mode, the ADC is constantly sampling and updating the ADC Data Register. Free Running mode is selected by writing the ADFR bit in ADCSRA to one. The first conversion must be started by writing a logical one to the ADSC bit in ADCSRA. In this mode the ADC will perform successive conversions independently of whether the ADC Interrupt Flag, ADIF is cleared or not.

Prescaling and Conversion Timing

Figure 91. ADC Prescaler



By default, the successive approximation circuitry requires an input clock frequency between 50 kHz and 200 kHz to get maximum resolution. If a lower resolution than 10 bits is needed, the input clock frequency to the ADC can be higher than 200 kHz to get a higher sample rate.

The ADC module contains a prescaler, which generates an acceptable ADC clock frequency from any CPU frequency above 100 kHz. The prescaling is set by the ADPS bits in ADCSRA. The prescaler starts counting from the moment the ADC is switched on by setting the ADEN bit in ADCSRA. The prescaler keeps running for as long as the ADEN bit is set, and is continuously reset when ADEN is low.

When initiating a single ended conversion by setting the ADSC bit in ADCSRA, the conversion starts at the following rising edge of the ADC clock cycle. A normal conversion

takes 13 ADC clock cycles. The first conversion after the ADC is switched on (ADEN in ADCSRA is set) takes 25 ADC clock cycles in order to initialize the analog circuitry.

The actual sample-and-hold takes place 1.5 ADC clock cycles after the start of a normal conversion and 13.5 ADC clock cycles after the start of an first conversion. When a conversion is complete, the result is written to the ADC Data Registers, and ADIF is set. In single conversion mode, ADSC is cleared simultaneously. The software may then set ADSC again, and a new conversion will be initiated on the first rising ADC clock edge.

In Free Running mode, a new conversion will be started immediately after the conversion completes, while ADSC remains high. For a summary of conversion times, see Table 73.

Figure 92. ADC Timing Diagram, First Conversion (Single Conversion Mode)

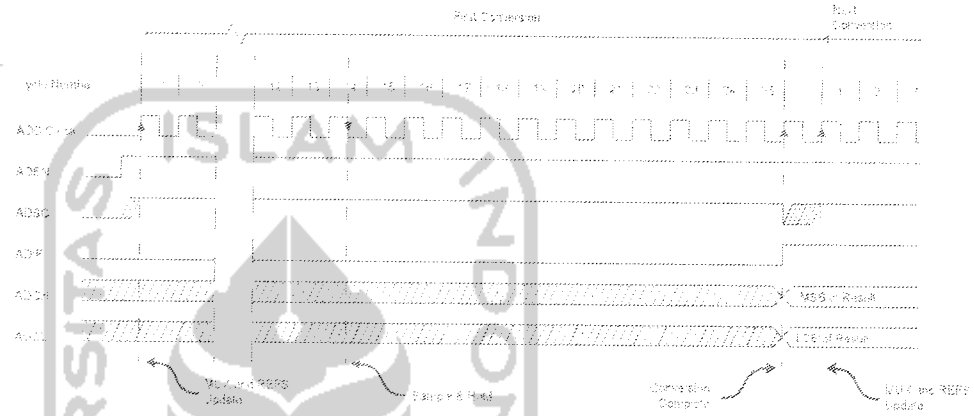


Figure 93. ADC Timing Diagram, Single Conversion

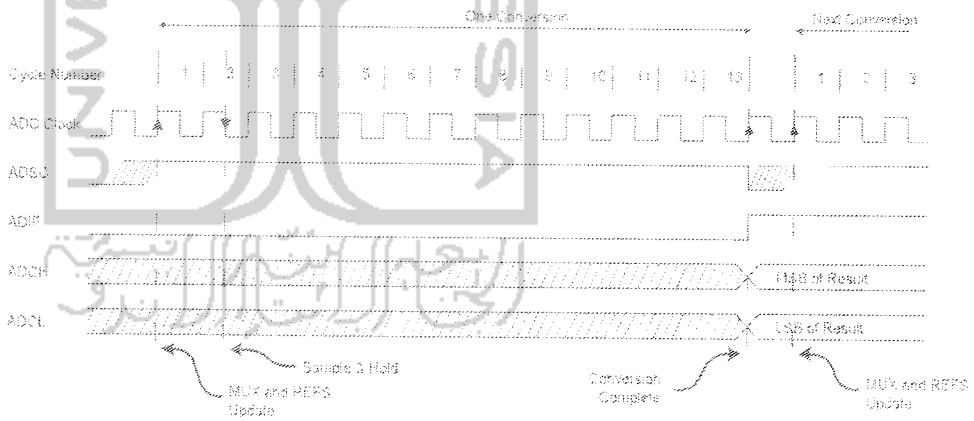


Figure 94. ADC Timing Diagram, Free Running Conversion

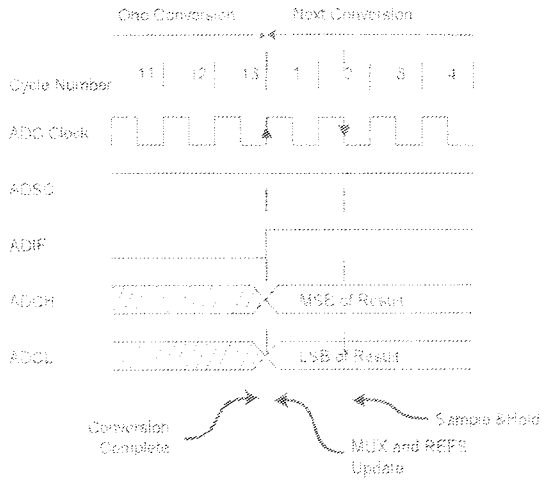


Table 73. ADC Conversion Time

Condition	Sample & Hold (Cycles from Start of Conversion)	Conversion Time (Cycles)
Extended conversion	13.5	25
Normal conversions, single ended	1.5	13

Changing Channel or Reference Selection

The MUXn and REFS1:0 bits in the ADMUX Register are single buffered through a temporary register to which the CPU has random access. This ensures that the channels and reference selection only takes place at a safe point during the conversion. The channel and reference selection is continuously updated until a conversion is started. Once the conversion starts, the channel and reference selection is locked to ensure a sufficient sampling time for the ADC. Continuous updating resumes in the last ADC clock cycle before the conversion completes (ADIF in ADCSRA is set). Note that the conversion starts on the following rising ADC clock edge after ADSC is written. The user is thus advised not to write new channel or reference selection values to ADMUX until one ADC clock cycle after ADSC is written.

If both ADFR and ADEN is written to one, an interrupt event can occur at any time. If the ADMUX Register is changed in this period, the user cannot tell if the next conversion is based on the old or the new settings. ADMUX can be safely updated in the following ways:

1. When ADFR or ADEN is cleared.
2. During conversion, minimum one ADC clock cycle after the trigger event.
3. After a conversion, before the Interrupt Flag used as trigger source is cleared.

When updating ADMUX in one of these conditions, the new settings will affect the next ADC conversion.

ADC Input Channels

When changing channel selections, the user should observe the following guidelines to ensure that the correct channel is selected:

In Single Conversion mode, always select the channel before starting the conversion. The channel selection may be changed one ADC clock cycle after writing one to ADSC. However, the simplest method is to wait for the conversion to complete before changing the channel selection.

In Free Running mode, always select the channel before starting the first conversion. The channel selection may be changed one ADC clock cycle after writing one to ADSC. However, the simplest method is to wait for the first conversion to complete, and then change the channel selection. Since the next conversion has already started automatically, the next result will reflect the previous channel selection. Subsequent conversions will reflect the new channel selection.

ADC Voltage Reference

The reference voltage for the ADC (V_{REF}) indicates the conversion range for the ADC. Single ended channels that exceed V_{REF} will result in codes close to 0x3FF. V_{REF} can be selected as either AVCC, internal 2.56V reference, or external AREF pin.

AVCC is connected to the ADC through a passive switch. The internal 2.56V reference is generated from the internal bandgap reference (V_{BG}) through an internal amplifier. In either case, the external AREF pin is directly connected to the ADC, and the reference voltage can be made more immune to noise by connecting a capacitor between the AREF pin and ground. V_{REF} can also be measured at the AREF pin with a high impedant voltmeter. Note that V_{REF} is a high impedant source, and only a capacitive load should be connected in a system.

If the user has a fixed voltage source connected to the AREF pin, the user may not use the other reference voltage options in the application, as they will be shorted to the external voltage. If no external voltage is applied to the AREF pin, the user may switch between AV_{CC} and 2.56V as reference selection. The first ADC conversion result after switching reference voltage source may be inaccurate, and the user is advised to discard this result.

ADC Noise Canceler

The ADC features a noise canceler that enables conversion during sleep mode to reduce noise induced from the CPU core and other I/O peripherals. The noise canceler can be used with ADC Noise Reduction and Idle mode. To make use of this feature, the following procedure should be used:

1. Make sure that the ADC is enabled and is not busy converting. Single Conversion mode must be selected and the ADC conversion complete interrupt must be enabled.
2. Enter ADC Noise Reduction mode (or Idle mode). The ADC will start a conversion once the CPU has been halted.
3. If no other interrupts occur before the ADC conversion completes, the ADC interrupt will wake up the CPU and execute the ADC Conversion Complete interrupt routine. If another interrupt wakes up the CPU before the ADC conversion is complete, that interrupt will be executed, and an ADC Conversion Complete interrupt request will be generated when the ADC conversion completes. The CPU will remain in Active mode until a new sleep command is executed.

Note that the ADC will not be automatically turned off when entering other sleep modes than Idle mode and ADC Noise Reduction mode. The user is advised to write zero to ADEN before entering such sleep modes to avoid excessive power consumption.

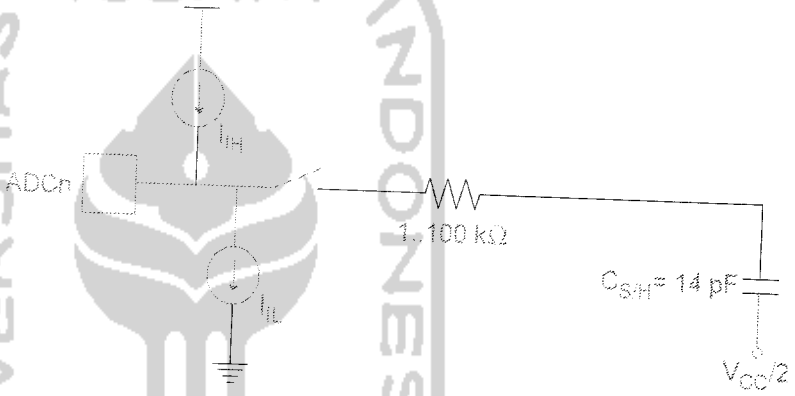
Analog Input Circuitry

The analog input circuitry for single ended channels is illustrated in Figure 95. An analog source applied to ADCn is subjected to the pin capacitance and input leakage of that pin, regardless of whether that channel is selected as input for the ADC. When the channel is selected, the source must drive the S/H capacitor through the series resistance (combined resistance in the input path).

The ADC is optimized for analog signals with an output impedance of approximately 10 kΩ or less. If such a source is used, the sampling time will be negligible. If a source with higher impedance is used, the sampling time will depend on how long time the source needs to charge the S/H capacitor, with can vary widely. The user is recommended to only use low impedant sources with slowly varying signals, since this minimizes the required charge transfer to the S/H capacitor.

Signal components higher than the Nyquist frequency ($f_{ADC}/2$) should not be present for either kind of channels, to avoid distortion from unpredictable signal convolution. The user is advised to remove high frequency components with a low-pass filter before applying the signals as inputs to the ADC.

Figure 95. Analog Input Circuitry

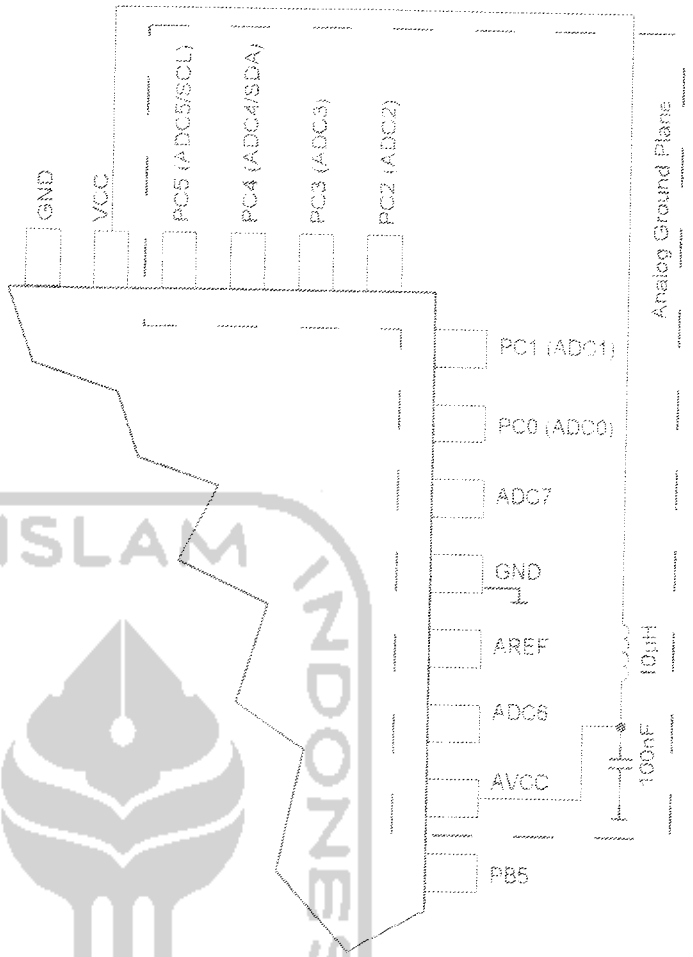


Analog Noise Canceling Techniques

Digital circuitry inside and outside the device generates EMI which might affect the accuracy of analog measurements. If conversion accuracy is critical, the noise level can be reduced by applying the following techniques:

1. Keep analog signal paths as short as possible. Make sure analog tracks run over the analog ground plane, and keep them well away from high-speed switching digital tracks.
2. The AVCC pin on the device should be connected to the digital V_{CC} supply voltage via an LC network as shown in Figure 96.
3. Use the ADC noise canceler function to reduce induced noise from the CPU.
4. If any ADC [3..0] port pins are used as digital outputs, it is essential that these do not switch while a conversion is in progress. However, using the Two-wire Interface (ADC4 and ADC5) will only affect the conversion on ADC4 and ADC5 and not the other ADC channels.

Figure 96. ADC Power Connections



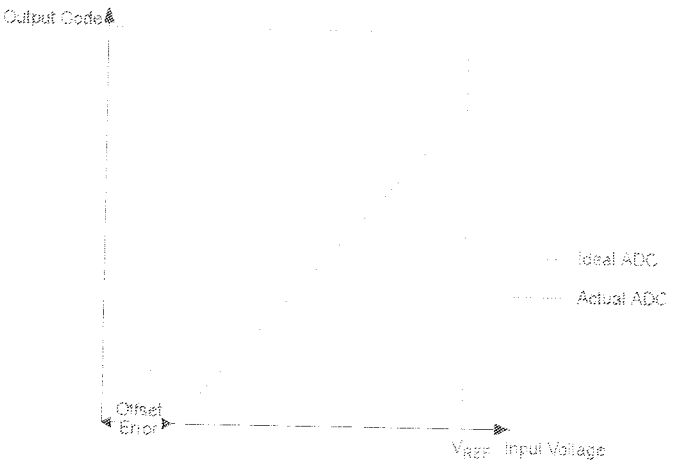
ADC Accuracy Definitions

An n-bit single-ended ADC converts a voltage linearly between GND and V_{REF} in 2^n steps (LSBs). The lowest code is read as 0, and the highest code is read as 2^n-1.

Several parameters describe the deviation from the ideal behavior:

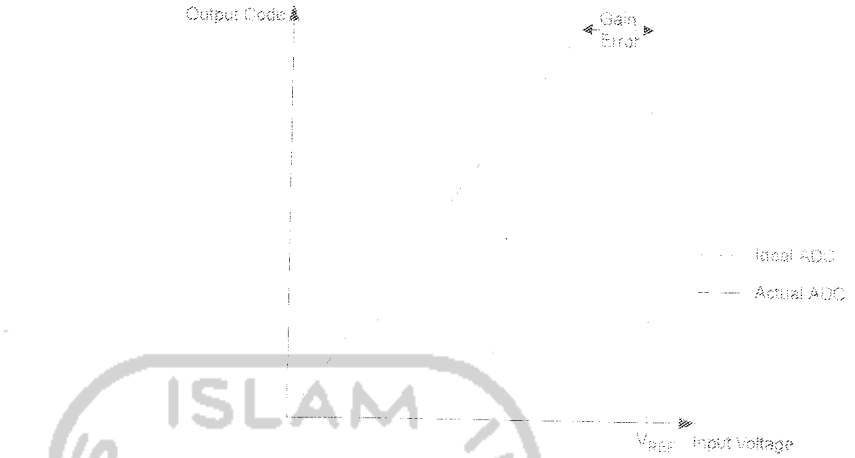
- Offset: The deviation of the first transition (0x000 to 0x001) compared to the ideal transition (at 0.5 LSB). Ideal value: 0 LSB.

Figure 97. Offset Error



- Gain error: After adjusting for offset, the gain error is found as the deviation of the last transition (0x3FE to 0x3FF) compared to the ideal transition (at 1.5 LSB below maximum). Ideal value: 0 LSB

Figure 98. Gain Error



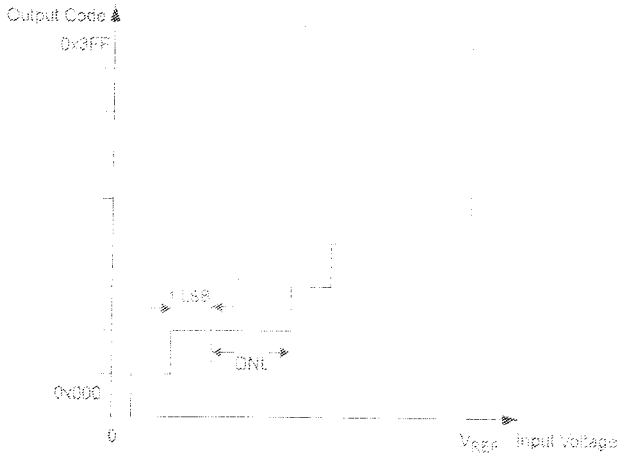
- Integral Non-linearity (INL): After adjusting for offset and gain error, the INL is the maximum deviation of an actual transition compared to an ideal transition for any code. Ideal value: 0 LSB.

Figure 99. Integral Non-linearity (INL)



- Differential Non-linearity (DNL): The maximum deviation of the actual code width (the interval between two adjacent transitions) from the ideal code width (1 LSB). Ideal value: 0 LSB.

Figure 100. Differential Non-linearity (DNL)



- Quantization Error: Due to the quantization of the input voltage into a finite number of codes, a range of input voltages (1 LSB wide) will code to the same value. Always ±0.5 LSB.
- Absolute accuracy: The maximum deviation of an actual (unadjusted) transition compared to an ideal transition for any code. This is the compound effect of offset, gain error, differential error, non-linearity, and quantization error. Ideal value: ±0.5 LSB.

ADC Conversion Result

After the conversion is complete (ADIF is high), the conversion result can be found in the ADC Result Registers (ADCL, ADCH).

For single ended conversion, the result is

$$ADC = \frac{V_{IN} \cdot 1024}{V_{REF}}$$

where V_{IN} is the voltage on the selected input pin and V_{REF} the selected voltage reference (see Table 74 on page 203 and Table 75 on page 203). 0x000 represents analog ground, and 0x3FF represents the selected reference voltage minus one LSB.

ADC Multiplexer Selection Register – ADMUX

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	REFS1	REFS0	ADLAR	–	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0	ADMUX
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

- **Bit 7:6 – REFS1:0: Reference Selection Bits**

These bits select the voltage reference for the ADC, as shown in Table 74. If these bits are changed during a conversion, the change will not go in effect until this conversion is complete (ADIF in ADCSRA is set). The internal voltage reference options may not be used if an external reference voltage is being applied to the AREF pin.

Table 74. Voltage Reference Selections for ADC

REFS1	REFS0	Voltage Reference Selection
0	0	AREF, Internal V_{ref} turned off
0	1	AVCC with external capacitor at AREF pin
1	0	Reserved
1	1	Internal 2.56V Voltage Reference with external capacitor at AREF pin

- **Bit 5 – ADLAR: ADC Left Adjust Result**

The ADLAR bit affects the presentation of the ADC conversion result in the ADC Data Register. Write one to ADLAR to left adjust the result. Otherwise, the result is right adjusted. Changing the ADLAR bit will affect the ADC Data Register immediately, regardless of any ongoing conversions. For a complete description of this bit, see "The ADC Data Register – ADCL and ADCH" on page 205.

- **Bits 3:0 – MUX3:0: Analog Channel Selection Bits**

The value of these bits selects which analog inputs are connected to the ADC. See Table 75 for details. If these bits are changed during a conversion, the change will not go in effect until this conversion is complete (ADIF in ADCSRA is set).

Table 75. Input Channel Selections

MUX3..0	Single Ended Input
0000	ADC0
0001	ADC1
0010	ADC2
0011	ADC3
0100	ADC4
0101	ADC5
0110	ADC6
0111	ADC7
1000	
1001	
1010	
1011	
1100	
1101	
1110	1.23V (V_{BG})
1111	0V (GND)

ADC Control and Status Register A – ADCSRA

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	ADEN	ADSC	ADFR	ADIF	ADIE	ADPS2	ADPS1	ADPS0	ADCSRA
Read/Write	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	

- **Bit 7 – ADEN: ADC Enable**

Writing this bit to one enables the ADC. By writing it to zero, the ADC is turned off. Turning the ADC off while a conversion is in progress, will terminate this conversion.

- **Bit 6 – ADSC: ADC Start Conversion**

In Single Conversion mode, write this bit to one to start each conversion. In Free Running mode, write this bit to one to start the first conversion. The first conversion after ADSC has been written after the ADC has been enabled, or if ADSC is written at the same time as the ADC is enabled, will take 25 ADC clock cycles instead of the normal 13. This first conversion performs initialization of the ADC.

ADSC will read as one as long as a conversion is in progress. When the conversion is complete, it returns to zero. Writing zero to this bit has no effect.

- **Bit 5 – ADFR: ADC Free Running Select**

When this bit is set (one) the ADC operates in Free Running mode. In this mode, the ADC samples and updates the Data Registers continuously. Clearing this bit (zero) will terminate Free Running mode.

- **Bit 4 – ADIF: ADC Interrupt Flag**

This bit is set when an ADC conversion completes and the Data Registers are updated. The ADC Conversion Complete Interrupt is executed if the ADIE bit and the I-bit in SREG are set. ADIF is cleared by hardware when executing the corresponding interrupt Handling Vector. Alternatively, ADIF is cleared by writing a logical one to the flag. Beware that if doing a Read-Modify-Write on ADCSRA, a pending interrupt can be disabled. This also applies if the SBI and CBI instructions are used.

- **Bit 3 – ADIE: ADC Interrupt Enable**

When this bit is written to one and the I-bit in SREG is set, the ADC Conversion Complete Interrupt is activated.

- **Bits 2:0 – ADPS2:0: ADC Prescaler Select Bits**

These bits determine the division factor between the XTAL frequency and the input clock to the ADC.

Table 76. ADC Prescaler Selections

ADPS2	ADPS1	ADPS0	Division Factor
0	0	0	2
0	0	1	2
0	1	0	4
0	1	1	8
1	0	0	16
1	0	1	32
1	1	0	64
1	1	1	128

The ADC Data Register – ADCL and ADCH

ADLAR = 0

Bit	15	14	13	12	11	10	9	8	
	–	–	–	–	–	–	ADC9	ADC8	ADCH
	ADC7	ADC6	ADC5	ADC4	ADC3	ADC2	ADC1	ADC0	ADCL
	7	6	5	4	3	2	1	0	
Read/Write	R	R	R	R	R	R	R	R	
	R	R	R	R	R	R	R	R	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	

ADLAR = 1

Bit	15	14	13	12	11	10	9	8	
	ADC9	ADC8	ADC7	ADC6	ADC5	ADC4	ADC3	ADC2	ADCH
	ADC1	ADC0	–	–	–	–	–	–	ADCL
	7	6	5	4	3	2	1	0	
Read/Write	R	R	R	R	R	R	R	R	
	R	R	R	R	R	R	R	R	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	

When an ADC conversion is complete, the result is found in these two registers.

When ADCL is read, the ADC Data Register is not updated until ADCH is read. Consequently, if the result is left adjusted and no more than 8-bit precision is required, it is sufficient to read ADCH. Otherwise, ADCL must be read first, then ADCH.

The ADLAR bit in ADMUX, and the MUXn bits in ADMUX affect the way the result is read from the registers. If ADLAR is set, the result is left adjusted. If ADLAR is cleared (default), the result is right adjusted.

- **ADC9:0: ADC Conversion result**

These bits represent the result from the conversion, as detailed in "ADC Conversion Result" on page 202.