

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT
PENGEKSTRAK MINYAK IKAN MENGGUNAKAN
KONTROLER LOGIKA FUZZY**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK SISTEM KONTROL**

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



Disusun oleh:
LINDA AYU SITORESMI
NIM. 0310630075-63

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2010**

LEMBAR PERSETUJUAN

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT
PENGEKSTRAK MINYAK IKAN MENGGUNAKAN
KONTROLER LOGIKA FUZZY**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK SISTEM KONTROL**

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



Disusun oleh:

**LINDA AYU SITORESMI
NIM. 0310630075-63**

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Ir. Erni Yudaningtyas, MT.
NIP. 19650913 199002 2 001

Ir. Retnowati, MT.
NIP. 19511224 198203 2 001

LEMBAR PENGESAHAN

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT
PENGEKSTRAK MINYAK IKAN MENGGUNAKAN
KONTROLER LOGIKA FUZZY**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK SISTEM KONTROL**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:
LINDA AYU SITORESMI
NIM. 0310630075-63

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 4 Agustus 2010

MAJELIS PENGUJI

Fitriana Suhartati, ST., MT.
NIP. 19741017 199802 2 001

Goegoes Dwi Nusantoro, ST., MT.
NIP. 19711013 200604 1 001

Tri Nurwati, ST., MT.
NIP. 19790615 200812 2 003

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Rudy Yuwono, ST., MSc
NIP. 19710615 199802 1 003

PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi berjudul **“PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT PENGEKSTRAK MINYAK IKAN MENGGUNAKAN KONTROLER LOGIKA FUZZY”** ini disusun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak dan mama tercinta, adik-adikku, serta saudara yang telah banyak memberikan kasih sayang, dukungan dan doa.
2. Bapak Rudy Yuwono, ST., M.Sc selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Bapak M.Aziz Muslim, ST.,MT.,Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
4. Bapak Ir.Purwanto, MT. selaku KKDK Sistem Kontrol.
5. Ibu Ir. Erni Yudaningtyas, MT. selaku dosen pembimbing skripsi yang telah banyak memberikan pengarahan dan bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini serta atas segala bentuk bantuan dan saran yang membangun.
6. Ibu Ir. Retnowati, MT. selaku dosen pembimbing skripsi yang telah banyak memberikan saran, motivasi, serta pengarahan dalam penyusunan skripsi ini.
7. Bapak, Ibu dosen serta segenap staf dan karyawan Jurusan Teknik Elektro baik secara langsung maupun tidak langsung telah banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.
8. Lucky Anto Wicaksono yang telah banyak memberikan dukungan dan doa.
9. Mas Vikry atas segala bantuan dan pelajaran yang berharga.
10. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Elektro Brawijaya, teman-teman angkatan 2003 dan angkatan 2005 yang terus memberi semangat dan dukungannya.
11. Semua pihak yang telah memberikan bantuan serta dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung atas penyusunan skripsi ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa skripsi ini belum sempurna, karena keterbatasan ilmu dan kendala-kendala lain yang terjadi selama pengerjaan skripsi ini. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat dan dapat digunakan untuk pengembangan lebih lanjut.

Malang, 2 Agustus 2010

Penulis



DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	x
RINGKASAN	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Ruang Lingkup	2
1.4. Tujuan	2
1.5. Sistematika Penulisan	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Minyak Ikan	4
2.2. Pengolahan Ikan	4
2.3. Ekstraksi	7
2.4. Sistem Kontrol Logika <i>Fuzzy</i>	8
2.4.1 Logika <i>Fuzzy</i>	8
2.4.2 Struktur Dasar Kontrol Logika <i>Fuzzy</i>	8
2.4.3 Fungsi Keanggotaan	9
2.4.4 Kontrol Logika <i>Fuzzy</i>	11
2.4.4.1 Fuzzifikasi	11
2.4.4.2 Aturan <i>Fuzzy</i> (<i>Fuzzy Rule</i>)	12
2.4.4.3 Metode Inferensi	13
2.4.4.4 Defuzzifikasi	14
2.5. Pengkondisi Sinyal	15
2.5.1. Penguat Operasional (Op-Amp)	15
2.5.1.1. Pengikut Tegangan (<i>Voltage Follower</i>)	17
2.5.1.2. Penguat Diferensial	18

2.5.1.3. Penguat Instrumentasi.....	19
2.5.2. Rangkaian Jembatan Wheatstone.....	21
2.6. Sensor Suhu LM35	23
2.7. Sensor Tekanan.....	23
2.8. <i>Relay</i>	24
2.9. Transistor	24
2.9.1 Transistor sebagai <i>Switch</i>	24
2.9.2 <i>Thyristor/SCR (Silicon Control Rectifier)</i>	26
2.9.3 TRIAC	28
2.10. Pemanas (<i>heater</i>)	29
2.11. Motor DC	29
2.12. Mikrokontroler AT89S51	30
2.13. PWM (<i>Pulse Width Modulation</i>)	34
2.14. ADC.....	35
2.15. LCD Tipe M1632.....	36
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	38
3.1. Studi Literatur	38
3.2. Penentuan Spesifikasi Alat	38
3.3. Perealisasian Alat.....	39
3.3.1. Perancangan Perangkat Keras dan Realisasi Tiap Blok.....	39
3.3.2. Perancangan dan Penyusunan Perangkat Lunak	39
3.4. Pengujian Alat dan Analisis.....	39
3.4.1. Pengujian Perangkat Keras.....	39
3.4.2. Pengujian Keseluruhan Sistem.....	39
3.4.3. Analisis.....	39
3.5. Pengambilan Kesimpulan	39
BAB IV PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT	40
4.1. Cara Kerja Alat	40
4.2. Perancangan Mekanik Alat.....	41
4.3. Perancangan Perangkat Keras.....	42
4.3.1. Sensor Suhu LM35.....	42

4.3.2. Sensor Tekanan (<i>Straingage</i>)	42
4.3.3. ADC 0804.....	42
4.3.4. Rangkaian Pengkondisi Sinyal pada Sensor Suhu	43
4.3.5. Rangkaian Pengkondisi Sinyal pada Sensor Tekanan.....	44
4.3.6. Rangkaian Mikrokontroler AT89S51.....	44
4.3.7. Rangkaian Driver Pemanas dan Pemanas	45
4.3.8. Rangkaian Driver Motor dan Motor.....	46
4.3.9. LCD.....	46
4.4. Perancangan Perangkat Lunak.....	47
4.4.1 Perancangan Sistem <i>Fuzzy</i>	47
4.4.1.1 Menentukan Variabel Masukan dan Variabel Keluaran	47
4.4.1.2 Menentukan Jenis Fungsi Keanggotaan Masukan dan Keluaran serta Masing-masing Labelnya	47
4.4.1.3 Fuzzifikasi	49
4.4.1.4 <i>Rule Evaluation</i>	53
4.4.1.5 Defuzzifikasi	57
4.4.2 Perancangan Algoritma Perangkat Lunak	57
BAB V PENGUJIAN ALAT	58
5.1. Pengujian Perangkat Keras	58
5.1.1. Pengujian Minimum Sistem Mikrokontroler	58
5.1.2. Pengujian Sensor Suhu LM35.....	59
5.1.3. Pengujian Sesnsor Tekanan.....	62
5.1.4. Pengujian LCD.....	64
5.1.5. Pengujian Rangkaian <i>Driver</i> Motor	65
5.2. Pengujian Sistem secara Keseluruhan	66
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	69
6.1. Kesimpulan	69
6.2. Saran	69
DAFTAR PUSTAKA	70

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Fungsi Pin-pin pada LCD M1632 37

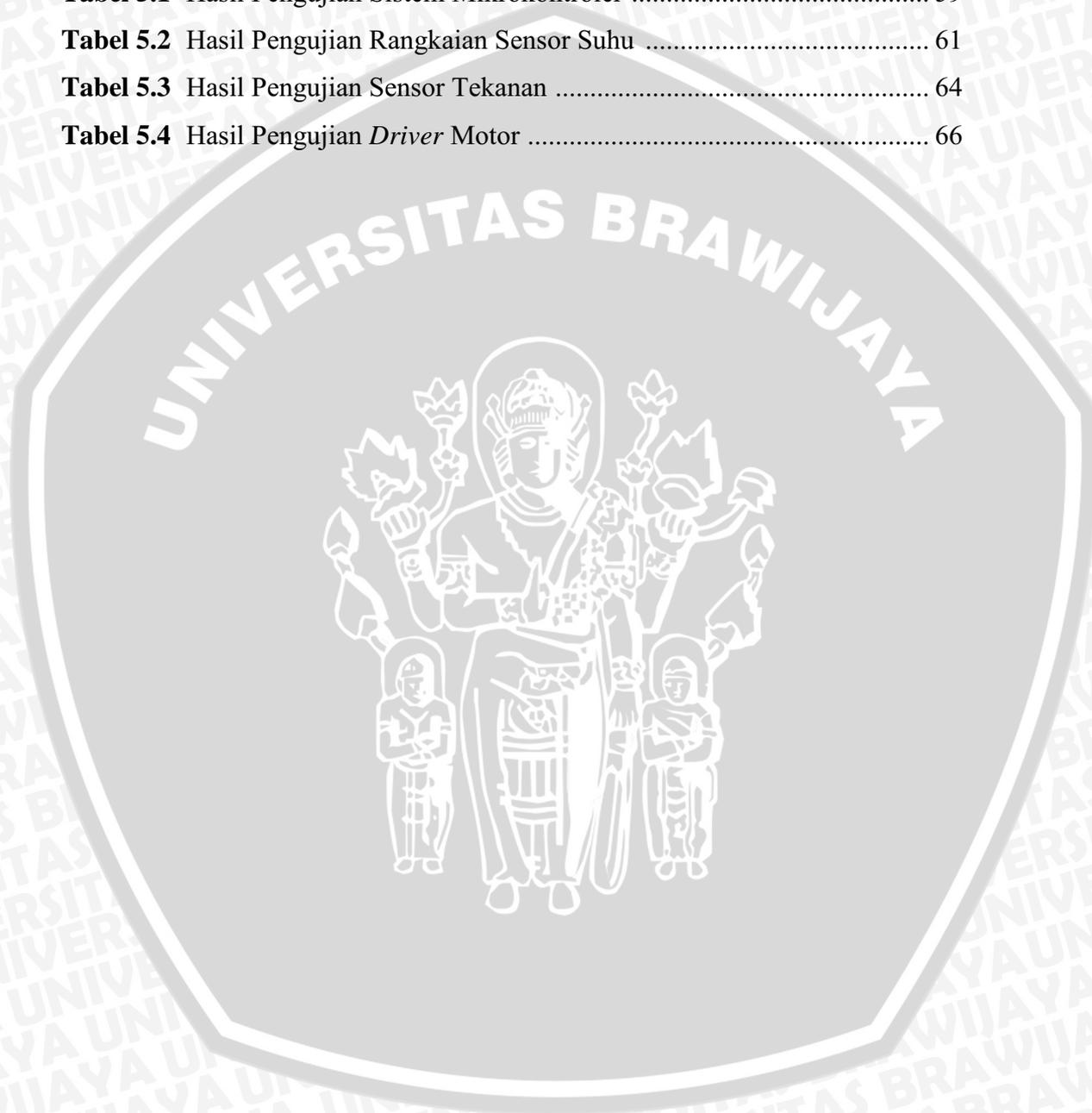
Tabel 4.1 Kaidah Atur 54

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Sistem Mikrokontroler 59

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Rangkaian Sensor Suhu 61

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Sensor Tekanan 64

Tabel 5.4 Hasil Pengujian *Driver* Motor 66

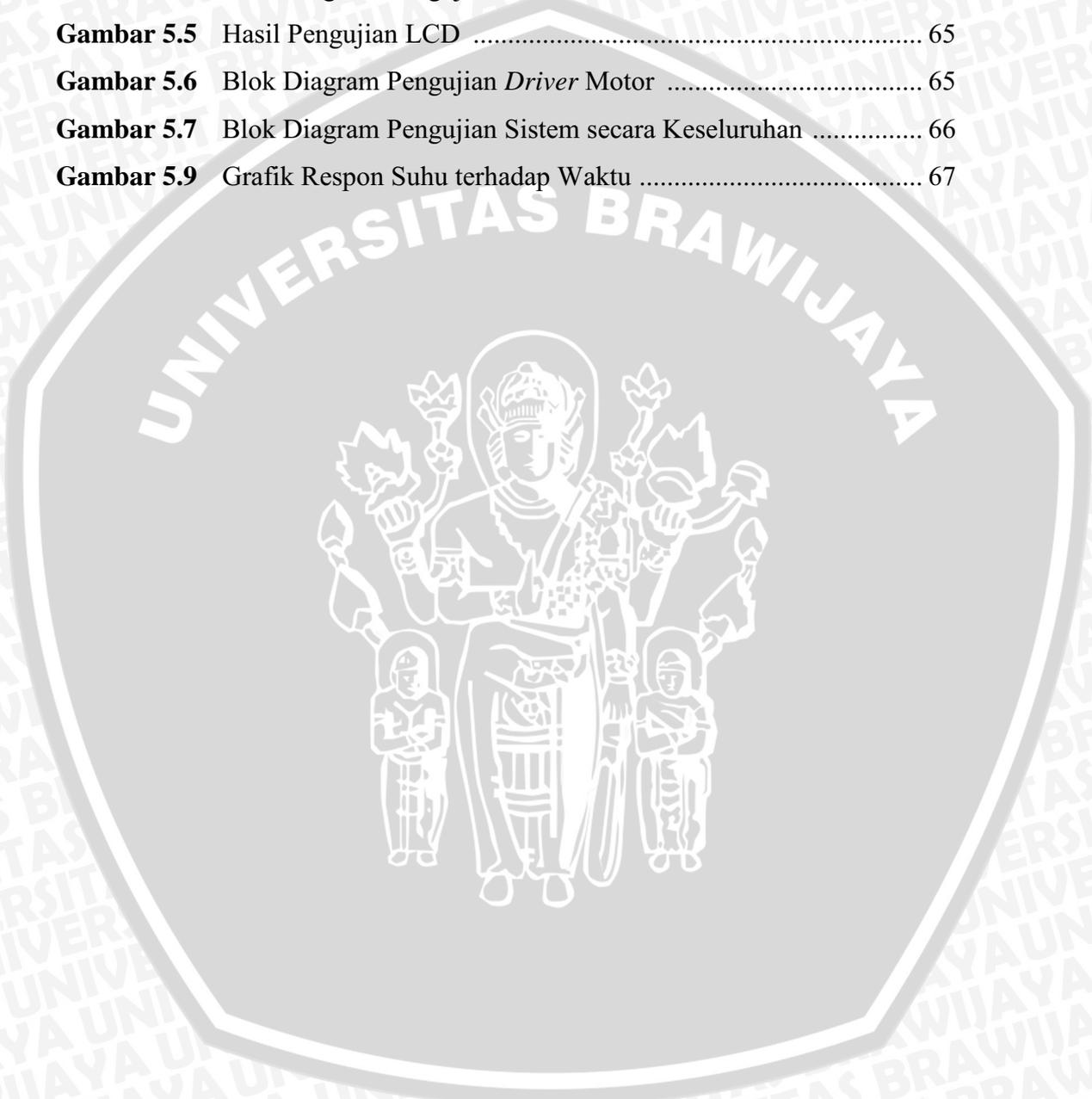


DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Proses Pengolahan Ikan pada Skala Industri	5
Gambar 2.2	Diagram Pengolahan Ikan pada Skala Perumahan	6
Gambar 2.3	Diagram Blok Sistem Kontrol Logika <i>Fuzzy</i> secara Umum	9
Gambar 2.4	Kontroler <i>Fuzzy</i>	8
Gambar 2.5	Struktur Dasar Kontrol Logika <i>Fuzzy</i>	9
Gambar 2.6	Fungsi Keanggotaan Bentuk S	10
Gambar 2.7	Fungsi Keanggotaan Bentuk π	10
Gambar 2.8	Fungsi Keanggotaan Bentuk Triangular (T)	11
Gambar 2.9	Inferensi <i>Fuzzy</i> dengan Metode MAX-MIN	14
Gambar 2.10	Inferensi <i>Fuzzy</i> dengan Metode MAX-DOT	14
Gambar 2.11	Simbol Op-Amp	16
Gambar 2.12	Pengikut Tegangan	17
Gambar 2.13	Penguat Diferensial	18
Gambar 2.14	Penguat Instrumentasi	19
Gambar 2.15	Jembatan DC Wheatstone	21
Gambar 2.16	Skema LM35	23
Gambar 2.17	Skema <i>Straingage</i>	24
Gambar 2.18	Gambar Fisik <i>Relay</i>	24
Gambar 2.19	Rangkaian Transistor Bias Basis	25
Gambar 2.20	Skema SCR	26
Gambar 2.21	Struktur Thyristor/SCR	26
Gambar 2.22	Rangkaian ekuivalen thyristor/SCR	27
Gambar 2.23	Karakteristik kurva I-V SCR	28
Gambar 2.24	Simbol TRIAC	28
Gambar 2.25	Karakteristik kurva I-V TRIAC	29
Gambar 2.26	Blok Diagram AT89S51	31
Gambar 2.27	Konfigurasi Pin Mikrokontroler AT89S51	32
Gambar 2.28	Sinyal Keluaran PWM	34
Gambar 2.29	Konfigurasi Pin ADC 0804	35
Gambar 2.30	Diagram Blok LCD Tipe M1632	37

Gambar 4.1	Blok Diagram Alat	40
Gambar 4.2	Skema Alat	41
Gambar 4.3	Sensor Suhu LM35	42
Gambar 4.4	Sensor Tekanan (<i>Straingage</i>)	42
Gambar 4.5	Rangkaian ADC 0804	43
Gambar 4.6	Rangkaian Pengkondisi Sinyal pada Sensor Suhu	43
Gambar 4.7	Rangkaian Pengkondisi Sinyal pada Sensor Tekanan (<i>straingage</i>)	44
Gambar 4.8	Minimum Sistem Mikrokontroler AT89S51	45
Gambar 4.9	Rangkaian <i>Driver</i> Pemanas dan Pemanas	46
Gambar 4.10	Rangkaian <i>Driver</i> Motor dan Motor	46
Gambar 4.11	Rangkaian LCD	46
Gambar 4.12	Blok Diagram Pengendali Suhu	47
Gambar 4.13	Fungsi Keanggotaan Masukan Suhu	48
Gambar 4.14	Fungsi Keanggotaan Masukan <i>Error</i> Suhu	48
Gambar 4.15	Fungsi Keanggotaan Keluaran	49
Gambar 4.16	Fuzzifikasi Nilai <i>Crisp</i> 68°C dengan Derajat Keanggotaan yang Belum Diketahui	49
Gambar 4.17	Nilai <i>crisp</i> 68°C Memotong Grafik KP	50
Gambar 4.18	Nilai <i>crisp</i> 68°C Memotong Grafik CP	51
Gambar 4.19	Fuzzifikasi Nilai <i>Crisp</i> 68°C dengan Derajat Keanggotaan yang Telah Diketahui	52
Gambar 4.20	Fuzzifikasi Nilai <i>Error</i> 2°C dengan Derajat Keanggotaan yang Belum Diketahui	52
Gambar 4.21	Fuzzifikasi Nilai <i>Error</i> 2°C dengan Derajat Keanggotaan yang Telah Diketahui	53
Gambar 4.22	Metode Inferensi untuk Masukan Suhu 68°C dengan <i>error</i> 2°C	55
Gambar 4.23	Hasil Fuzzifikasi Suhu 68°C	55
Gambar 4.24	Hasil Fuzzifikasi <i>Error</i> 2°C	56
Gambar 4.25	Operasi Min	56
Gambar 4.26	Operasi Max	56
Gambar 4.27	Diagram Alir Program Pengendalian Suhu pada Pengekstrak	

Ikan	57
Gambar 5.1 Blok Diagram Pengujian Mikrokontroler	58
Gambar 5.2 Blok Diagram Pengujian Sensor Suhu	60
Gambar 5.3 Grafik Perubahan Tegangan terhadap Perubahan Suhu	62
Gambar 5.4 Blok Diagram Pengujian Sensor Tekanan	63
Gambar 5.5 Hasil Pengujian LCD	65
Gambar 5.6 Blok Diagram Pengujian <i>Driver</i> Motor	65
Gambar 5.7 Blok Diagram Pengujian Sistem secara Keseluruhan	66
Gambar 5.9 Grafik Respon Suhu terhadap Waktu	67



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Foto Alat	72
Lampiran 2	<i>Listing</i> Program	74
Lampiran 3	<i>Datasheet</i> Komponen	78



RINGKASAN

Linda Ayu Sitoresmi, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang, Juli 2010, *Perancangan dan Pembuatan Alat Pengekstrak Minyak Ikan Menggunakan Kontroler Logika Fuzzy*, Dosen Pembimbing: Ir. Erni Yudaningtyas, MT. dan Ir. Retnowati, MT.

Pengolahan ikan di industri maupun di rumah tangga memiliki beberapa kekurangan. Proses pemasakan/perebusan menyebabkan minyak tercampur dengan air. Di samping itu, proses penyaringan setelah pemasakan tersebut dapat membuat banyak minyak ikut terbuang bersama air saringan. Cara pengolahan ikan ini kurang efektif, membuang banyak air untuk menyaring, serta jumlah minyak ikan yang diperoleh tidak maksimal.

Penelitian ini bertujuan untuk membuat alat pengestrak minyak ikan dengan panas terkendali, meminimalisir kekurangan dari pengolahan ikan yang kurang efektif, agar didapatkan jumlah minyak ikan yang optimal.

Penulis membuat alat pengestrak minyak ikan menggunakan kontroler logika *fuzzy* yang algoritmanya berdasarkan aturan, agar memudahkan pengolahan datanya. Prinsip kerja alat ini menggunakan cara pemanasan ikan dengan metode *steam* (uap air). Cara ini meminimalisir adanya kontak antara air dan minyak. Alat ini terdiri atas sensor suhu LM35, sensor tekanan *straingage*, ADC 0804, mikrokontroler AT89S51, SCR, Optotriac, *relay*, pemanas (*heater*), motor penggerak tabung penampung.

Set point suhu adalah 70°C. Fungsi keanggotaan masukan adalah suhu, terdiri atas 3 label, yaitu Kurang Panas (KP), Cukup Panas (CP) dan Panas (P). Fungsi keanggotaan keluaran adalah PWM berbentuk *singleton*, dengan 3 label yaitu Kecil (K) dengan *duty cycle* 25%, Sedang (S) dengan *duty cycle* 50%, dan Besar (B) dengan *duty cycle* 100%. Dalam pengujian terhadap 1 kg ikan kembung, pemanas mencapai *steady state* pada suhu 70°C dalam waktu 75 menit dengan *recovery time* saat diberi gangguan sebesar 20 menit. Suspensi minyak ikan yang dihasilkan adalah 300mL, dengan kandungan minyak ikan sebesar 0.037% dan 0.098%.

Kata kunci: *steam*, LM35, ADC 0804, AT89S51, *fuzzy control*

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ikan adalah salah satu bahan pangan yang dianjurkan untuk dikonsumsi karena banyak mengandung gizi yang bermanfaat untuk tubuh. Salah satu kandungan gizi yang penting dari ikan adalah asam lemak omega-3. Ikan dengan omega-3 bermanfaat untuk menurunkan kolesterol, mengurangi tekanan darah tinggi (Supari, 2009), meningkatkan kekebalan tubuh dan kemampuan belajar, menghambat pertumbuhan kanker, serta mencegah dan mengobati penyakit jantung (Winarno, 2009).

Kandungan gizi pada ikan didapatkan dari minyak ikan. Minyak ikan ini diperoleh dengan cara mengekstrak/mengambil minyak dari ikan. Terdapat banyak metode ekstraksi untuk mendapatkan ekstrak ikan, melalui berbagai cara pengolahan ikan. Pengolahan ikan yang sederhana misalnya dengan cara ikan digoreng, dibakar, dikukus, direbus, dan lain-lain. Cara pengolahan ini menyebabkan nilai gizi yang terkandung dalam ikan berkurang. Pada artikelnya tentang gizi pada ikan, Astawan (2009) menyebutkan bahwa ikan yang digoreng atau dibakar rasanya lebih nikmat, tetapi nilai gizinya turun. Selain itu, adanya minyak berlebih pada saat penggorengan dapat meningkatkan kadar lemak pada ikan. Cara pengolahan ikan yang lain; misalnya dengan cara dikukus atau direbus; melibatkan banyak air, membuat minyak ikan bercampur dengan air, sehingga perlu dilakukan penyaringan untuk memisahkan minyak ikan dan air kukusan/rebusan.

Ekstraksi yang dilakukan secara tidak tepat menyebabkan kandungan gizi di dalam minyak ikan menjadi tidak maksimal. Perlakuan terhadap ikan harus setepat mungkin agar didapat hasil ekstrak yang baik. Menurut Mudjiharto (2002), proses pengambilan ekstrak ikan yang dilakukan dengan temperatur terkendali pada suhu 50°C hingga 80°C dapat menghasilkan minyak ikan dengan kandungan gizi yang optimal.

Berdasarkan uraian di atas, perlu dibuat suatu alat pengekstrak minyak ikan dengan suhu terkendali, agar didapatkan minyak ikan dengan jumlah yang

optimal. Dalam skripsi ini akan dibuat suatu alat pengekstrak minyak ikan menggunakan kontroler logika *fuzzy*, di mana algoritma yang digunakan berdasarkan pada aturan (*ruled based system*) sehingga pengolahan datanya menjadi mudah.

1.2 Rumusan Masalah

Dari masalah yang telah disebutkan di atas maka dalam skripsi ini, rumusan masalah ditekankan pada:

1. Bagaimana membuat alat pengekstrak minyak ikan dengan suhu terkendali?
2. Bagaimana merancang pengendaliannya menggunakan kontroler logika *fuzzy*?

1.3 Ruang Lingkup

Dalam perancangan skripsi ini, ruang lingkup permasalahan dibatasi oleh hal-hal sebagai berikut:

1. *Set point* temperatur adalah 70°C.
2. Lama waktu ekstraksi adalah 2 jam.
3. Ikan yang digunakan adalah ikan kembung dengan berat 1 kg, volume air yang dipanaskan 2 L.

1.4 Tujuan

Skripsi ini bertujuan untuk membuat alat pengekstrak minyak ikan dengan panas terkendali, meminimalisir kekurangan dari pengolahan ikan yang kurang tepat, agar didapatkan jumlah minyak ikan yang optimal.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam skripsi ini sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Memuat latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan, dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Membahas teori-teori yang mendukung perencanaan dan pembuatan alat.

BAB III Metodologi

Berisi tentang metodologi penelitian dan perencanaan alat serta pengujian.

BAB IV Perencanaan dan Pembuatan Alat

Perancangan dan perealisasiian alat.

BAB V Pengujian Alat

Memuat hasil pengujian terhadap alat yang telah direalisasikan.

BAB VI Kesimpulan dan Saran

Memuat kesimpulan dan saran-saran.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Perancangan alat pengekstrak minyak ikan ini melibatkan beberapa teori dasar dan komponen-komponen. Pada bab ini akan dijelaskan teori-teori serta komponen-komponen yang terkait.

2.1 Minyak Ikan

Ikan adalah binatang laut yang paling banyak dikonsumsi manusia karena memiliki kandungan protein yang tinggi. Selain itu, ikan juga mengandung vitamin, air dan lemak. Lemak ikan berbeda dengan minyak ikan. Pada suhu kamar, lemak berbentuk padat, sedangkan minyak ikan berbentuk cair. Lemak tersusun atas asam lemak jenuh, sedangkan minyak ikan disusun oleh asam lemak tidak jenuh. Lemak dan minyak ikan adalah bahan-bahan yang tidak larut dalam air (Fitriana, 2006).

Pada minyak ikan terdapat omega-3, yaitu asam eikosapentaenoat/*Eicosa Pentaenoic Acid* (EPA) dan asam dokosaheksaenoat/*Docosa Hexaenoic Acid* (DHA). Selain sebagai sumber asam lemak omega-3, minyak ikan juga merupakan sumber asam lemak omega-6, asam linoleat dan asam arakhidonat (Nettleton, 1995).

Kandungan omega-3 pada ikan tergantung pada jenis ikan, umur ikan, ketersediaan makanan dan daerah penangkapan ikan. Ikan di daerah dingin kandungan omega-3nya lebih besar daripada ikan di daerah panas. Kandungan omega-3 pada ikan laut lebih tinggi daripada ikan air tawar (Monsen, 1985; Vlieg and Body dalam Wang, 1990).

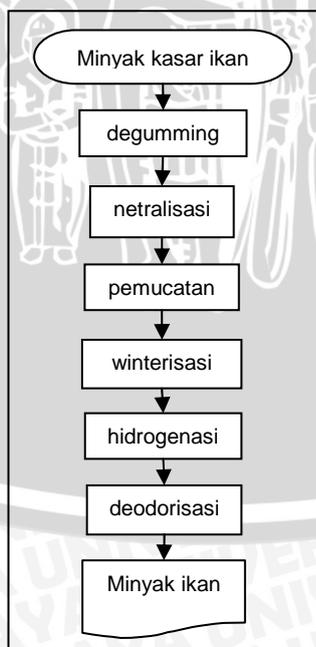
2.2 Pengolahan Ikan

Menurut Afifah (2008), tubuh ikan yang mengandung banyak air menjadi media yang cocok untuk pertumbuhan bakteri maupun organisme lain. Karena itu, ikan perlu diolah agar ikan bebas dari bakteri. Cara yang umum adalah dengan mengurangi kadar air dalam ikan. Dengan cara ini aktivitas bakteri akan terhambat, sehingga proses pembusukan dapat dicegah. Pengurangan kadar air dapat dilakukan dengan beberapa cara, antara lain:

1. Menggunakan udara panas. Cara ini memanfaatkan udara yang telah dipanasi oleh cahaya matahari (penjemuran), atau oven, atau melalui alat pengering khusus.
2. Menggunakan proses osmosis. Cara ini memanfaatkan perbedaan tekanan osmosis dari dalam ikan dengan tekanan osmosis di luar ikan.
3. Menggunakan tekanan mekanis.
4. Menggunakan panas. Cara ini memanfaatkan panas dari luar ikan, seperti misalnya pada proses pengasapan dan perebusan.

Pengurangan kadar air dengan cara perebusan/pemasakan merupakan langkah pertama yang dilakukan untuk mendapatkan minyak ikan. Pada skala industri, minyak ikan merupakan hasil sampingan dari pembuatan tepung ikan. Pertama, ikan dimasak/direbus terlebih dahulu, kemudian disaring menggunakan alat saring berbentuk corong. Setelah minyak ikan terkumpul, kemudian dituangkan air panas ke dalam corong.

Selanjutnya akan terjadi pengendapan kotoran, yang nantinya dibuang melalui bagian bawah corong. Langkah ini dilakukan 2-3 kali hingga didapatkan minyak ikan kasar. Diagram proses pengolahan minyak ikan pada industri dapat dilihat pada gambar 2.1.

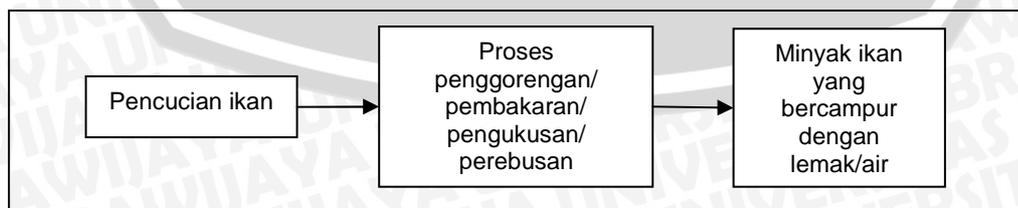


Gambar 2.1 Diagram Proses Pengolahan Ikan pada Skala Industri

Langkah lain yang dilakukan pada skala industri adalah pertama-tama ikan dimasak/direbus, kemudian dikeringkan dengan menggunakan uap panas pada keadaan hampa. Selanjutnya dilakukan langkah-langkah untuk pemurnian minyak ikan.

Proses pemurnian minyak ikan meliputi penghilangan *gum* (*degumming*), netralisasi, pemucatan (*bleaching*), winterisasi, dehidrogenasi dan deodorisasi. Penghilangan *gum* (*degumming*) adalah proses menghilangkan kotoran yang mungkin masih menempel pada ikan setelah proses pencucian. Proses netralisasi dilakukan untuk membersihkan ikan. Proses ini dapat dilakukan dengan beberapa cara, antara lain dengan soda api, alkali karbonat, kapur dan bahan kimia lainnya. Proses pemucatan (*bleaching*) berguna untuk menghilangkan zat warna sampai pada tingkat warna yang diinginkan. Proses winterisasi dan dehidrogenasi berperan dalam pendinginan ikan dan pewarnaan. Proses deodorisasi dilakukan untuk menghilangkan bau yang tak sedap dan menghilangkan asam lemak bebas. Setelah melalui proses pengolahan ikan ini, selain diperoleh minyak ikan, juga dihasilkan stearin yang dapat dijadikan bahan makanan omega-3. Sedangkan minyak ikan dimanfaatkan lebih lanjut menjadi *margarine*, *shortening*, pengemulsi dan bahan makanan omega-3.

Pengolahan ikan pada skala industri memerlukan proses yang panjang. Namun kita dapat memperoleh minyak ikan dengan skala yang lebih kecil, yaitu skala perumahan. Pada skala perumahan minyak ikan diolah dengan cara yang lebih sederhana. Minyak ikan diperoleh dengan cara-cara sederhana, seperti digoreng, dibakar, dikukus, direbus, dan lain-lain. Proses ini dapat menghasilkan minyak ikan dengan waktu cukup singkat, namun kerugiannya adalah nilai gizi di dalam minyak ikan menjadi berkurang. Diagram pengolahan ikan pada skala perumahan dapat dilihat dalam gambar 2.2.



Gambar 2.2 Diagram Pengolahan Ikan pada Skala Perumahan

Pada artikelnya tentang gizi pada ikan, Astawan (2009) menyebutkan bahwa ikan yang digoreng atau dibakar rasanya lebih nikmat, tetapi nilai gizinya turun. Selain itu, adanya minyak berlebih pada saat penggorengan dapat meningkatkan kadar lemak pada ikan.

Pengolahan ikan yang lain misalnya dengan cara direbus; seperti pada proses pertama dalam mendapat minyak ikan di industri; akan melibatkan banyak air, membuat minyak ikan bercampur dengan air, sehingga perlu dilakukan beberapa kali penyaringan untuk memisahkan minyak ikan dan air kukusan/rebusan. Cara ini tidak praktis dan membutuhkan banyak tenaga dan kemungkinan besar sejumlah minyak ikan juga ikut tersaring dan terbuang bersama air saringan.

Pada proses pemasakan/perebusan, jika suhu yang digunakan terlalu tinggi dapat menyebabkan protein dalam ikan mengalami degradasi atau penguraian. Menurut Mudjiharto (2002), proses pengambilan ekstrak ikan yang dilakukan dengan temperatur terkendali pada suhu 50°C hingga 80°C dapat menghasilkan minyak ikan dengan kandungan gizi yang baik.

2.3 Ekstraksi

Ekstraksi adalah suatu proses pemisahan suatu zat dari bahan yang dapat berupa bahan padat maupun cair, dengan bantuan pelarut (*solvent*). Berdasarkan prinsip beda kelarutannya, ekstraksi dibedakan menjadi dua macam, yaitu ekstraksi cair-cair (*liquid extraction* atau *solvent extraction*) dan ekstraksi padat-cair (*leaching*).

Pada ekstraksi cair-cair (*liquid extraction*), *solute* dipisahkan dari cairan pembawa (diluen) menggunakan pelarut/solven. Sifat cairan pembawa (diluen) dan pelarut (solven) ini adalah *immiscible*/tidak saling campur. Pada ekstraksi padat-cair (*leaching*), *solute* dipisahkan dari padatan pembawanya menggunakan solven cair. Ekstraksi minyak/*lipid* termasuk dalam ekstraksi padat-cair.

Pada umumnya pemisahan lemak dalam jaringan hewan, misalnya ikan, adalah dengan menggunakan pelarut kloroform *methanol* dan air (Fitriani, 2006). Ada dua metode ekstraksi lemak dalam ikan, yaitu metode Folch dkk dan metode Bligh dan Dyer. Metode Folch menggunakan campuran pelarut kloroform dan metanol dengan perbandingan 2:1, v/v. sedangkan metode Bligh dan Dyer

menggunakan campuran pelarut kloroform:metanol:air dengan perbandingan 1:2:0,8, v/v/v ([http:// www.lipidlibrary.co.uk /topics/extract/file.pdf](http://www.lipidlibrary.co.uk/topics/extract/file.pdf)).

2.4 Sistem Kontrol Logika Fuzzy

2.4.1 Logika Fuzzy

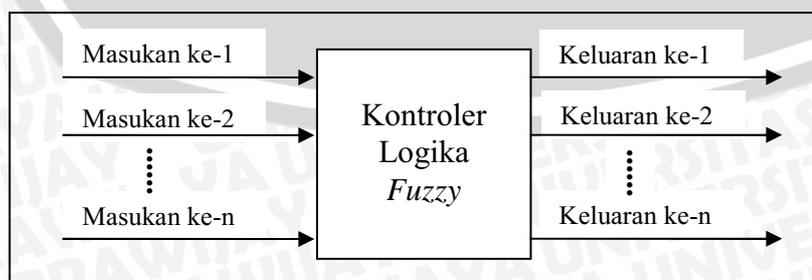
Fuzzy secara harfiah berarti samar, sedangkan kebalikannya dari samar adalah tegas (*crisp*). Dalam kehidupan sehari-hari nilai samar lebih akrab daripada nilai tegas. Temperatur/suhu tertentu biasa dinyatakan sebagai panas, agak panas, atau sangat dingin daripada dinyatakan dalam suatu nilai terukur tertentu. Tahun 1965 L.A. Zadeh memodifikasi teori himpunan yang disebut himpunan kabur (*Fuzzy Set*).

Himpunan *fuzzy* didasarkan pada gagasan untuk memperluas jangkauan fungsi karakteristik sehingga fungsi tersebut akan mencakup bilangan real pada interval $[0,1]$. Nilai keanggotaannya menunjukkan bahwa suatu item dalam semesta pembicaraan tidak hanya berada pada 0 atau 1, namun juga nilai yang terletak diantaranya. Dengan kata lain nilai kebenaran suatu item tidak hanya bernilai benar atau salah. Nilai 0 menunjukkan salah, nilai 1 menunjukkan benar dan masih ada nilai-nilai yang terletak diantaranya.

Sejak 1985 pengendalian berbasis logika *fuzzy* mengalami perkembangan pesat, terutama dalam hubungannya dengan penyelesaian masalah kendali yang bersifat tak linier, sulit dimodelkan, berubah karakteristiknya terhadap waktu (*time varying*) dan kompleks.

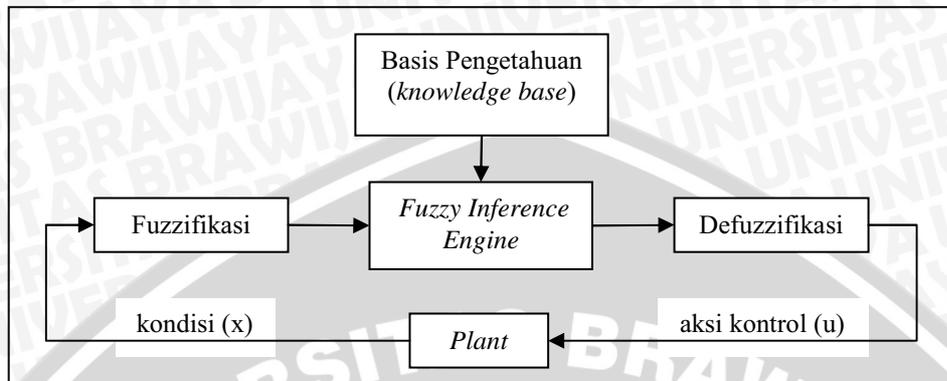
2.4.2 Struktur Dasar Kontrol Logika Fuzzy

Dalam sistem kontrol dengan logika *fuzzy*, dilibatkan suatu blok kontroler yang menerima satu atau lebih masukan dan mengumpangkan satu atau lebih keluaran menuju ke *plant* atau blok lain sebagaimana terlihat dalam Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Kontroler *Fuzzy*
Sumber : Coughanowr, D; 1991

Komponen utama penyusun *Fuzzy Logic Controller* adalah unit fuzzifikasi, *fuzzy inference*, basis pengetahuan dan unit defuzzifikasi. Struktur dasar kontrol logika *fuzzy* dapat dilihat dalam Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Struktur Dasar Kontrol Logika *Fuzzy*
Sumber : Yan, J;1994

Basis pengetahuan terdiri dari dua jenis (Yan, 1994) :

- Basis data
Mendefinisikan parameter *fuzzy* sebagai bagian dari himpunan *fuzzy* dengan menentukan batas-batas fungsi keanggotaan pada semesta pembicaraan untuk tiap-tiap variabel.
- Basis aturan
Memetakan nilai masukan *fuzzy* menjadi nilai keluaran *fuzzy*.

2.4.3 Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan menotasikan nilai kebenaran anggota-anggota himpunan *fuzzy*. Interval nilai yang digunakan untuk menentukan fungsi keanggotaan, yaitu nol dan satu. Tiap fungsi keanggotaan memetakan elemen himpunan *crisp* ke semesta himpunan *fuzzy* (Yan, 1996:11).

Suatu himpunan *fuzzy* A dalam semesta pembicaraan U dinyatakan dengan fungsi keanggotaan, μ_A yang harganya berada dalam interval [0,1]. (Kuswadi, 2000:27). Secara matematika hal ini dinyatakan dengan :

$$\mu_A : U \rightarrow [0,1] \quad (2.1)$$

Berikut ini beberapa macam keanggotaan yang sering digunakan antara lain fungsi keanggotaan S, π , T (triangular).

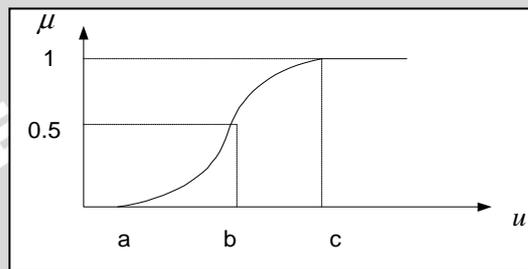
1. Fungsi keanggotaan bentuk S

Definisi fungsi-S adalah sebagai berikut:

$$S(u,a,b,c) = \begin{cases} 0 & u < a \\ 2\left(\frac{u-a}{c-a}\right)^2 & a \leq u \leq b \\ 1-2\left(\frac{u-a}{c-a}\right)^2 & b \leq u \leq c \\ 1 & u > c \end{cases} \quad (2.2)$$

$$b = \frac{(a+c)}{2}$$

Bentuk fungsi keanggotaan bentuk S ditunjukkan dalam Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Fungsi Keanggotaan Bentuk S
Sumber : Yan, J;1994:18

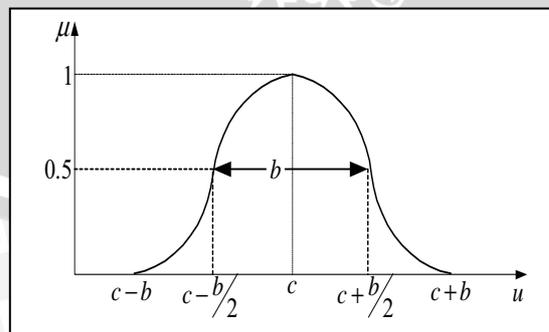
Fungsi keanggotaan bentuk S ini digunakan bila diinginkan himpunan *fuzzy* mempunyai nilai kebenaran mendekati nol dan satu lebih banyak.

2. Fungsi keanggotaan bentuk π

Definisi fungsi- π adalah sebagai berikut:

$$\pi(u;a,b,c) = \begin{cases} S(u;c-b, c-\frac{b}{2}, c) & u \leq c \\ 1-S(u;c, c+\frac{b}{2}, c+b) & u \geq c \end{cases} \quad (2.3)$$

Bentuk fungsi keanggotaan bentuk π ditunjukkan dalam Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Fungsi Keanggotaan Bentuk π
Sumber : Yan, J;1994:19

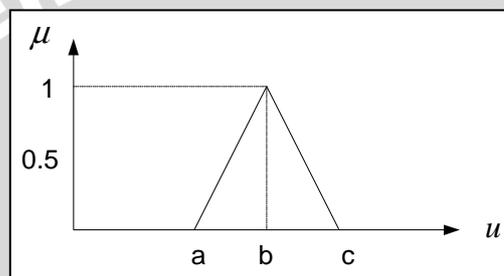
Fungsi keanggotaan bentuk π digunakan jika diinginkan elemen himpunan *fuzzy* memiliki nilai kebenaran mendekati nol lebih banyak.

3. Fungsi keanggotaan bentuk Triangular

Definisi fungsi triangular sebagai berikut:

$$T(u; a, b, c) = \begin{cases} 0 & u < a \\ \frac{u-a}{b-a} & a \leq u \leq b \\ \frac{c-u}{c-b} & b \leq u \leq c \\ 0 & u > c \end{cases} \quad (2.4)$$

Fungsi keanggotaan bentuk Triangular ditunjukkan dalam Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Fungsi Keanggotaan Bentuk Triangular (T)
Sumber : Yan, J;1994:19

Fungsi keanggotaan bentuk T ini digunakan bila diinginkan himpunan *fuzzy* mempunyai nilai kebenaran tidak nol.

2.4.4 Kontrol Logika *Fuzzy*

Kontrol logika *fuzzy* adalah sistem berbasis aturan (*rule based system*) yang di dalamnya terdapat himpunan aturan *fuzzy* yang mempresentasikan mekanisme pengambilan keputusan. Aturan yang dibuat digunakan untuk memetakan variabel *input* ke variabel *output* dengan pernyataan *If - Then*.

Kontroler ini akan menggunakan data tertentu (*crisp*) dari sejumlah sensor kemudian mengubahnya menjadi bentuk linguistik atau fungsi keanggotaan melalui proses fuzzifikasi. Lalu dengan aturan *fuzzy*, *inference engine* yang akan menentukan hasil keluaran *fuzzy*. Setelah itu hasil ini akan diubah kembali menjadi bentuk numerik melalui proses defuzzifikasi.

2.4.4.1 Fuzzifikasi

Proses fuzzifikasi merupakan proses untuk mengubah variabel non *fuzzy* (variabel numerik) menjadi variabel *fuzzy* (variabel linguistik). Nilai masukan-

masukan yang masih dalam bentuk variabel numerik yang telah dikuantisasi sebelum diolah oleh pengendali logika *fuzzy* harus diubah terlebih dahulu ke dalam variabel *fuzzy*. Melalui fungsi keanggotaan yang telah disusun, maka dari nilai-nilai masukan tersebut menjadi informasi *fuzzy* yang berguna nantinya untuk proses pengolahan secara *fuzzy* pula. Proses ini disebut fuzzifikasi. (Yan, 1994:49).

Proses fuzzifikasi diekspresikan sebagai berikut:

$$x = \text{fuzzifier}(x_0) \tag{2.5}$$

di mana

x_0 = nilai *crisp* variabel masukan

x = himpunan *fuzzy* variabel yang terdefinisi

fuzzifier = operator fuzzifikasi yang memetakan himpunan *crisp* ke himpunan *fuzzy*

Pedoman memilih fungsi keanggotaan untuk proses fuzzifikasi, menurut Jun Yan, menggunakan :

1. Himpunan *fuzzy* dengan distribusi simetris.
2. Gunakan himpunan *fuzzy* dengan jumlah ganjil, berkaitan erat dengan jumlah kaidah (*rules*).
3. Mengatur himpunan *fuzzy* agar saling menumpuk.
4. Menggunakan fungsi keanggotaan bentuk segitiga atau trapezoidal.

2.4.4.2 Aturan Fuzzy (*Fuzzy Rule*)

Fuzzy rule adalah bagian yang menggambarkan dinamika suatu sistem terhadap masukan yang dikarakteristikan oleh sekumpulan variabel-variabel linguistik dan berbasis pengetahuan seorang operator ahli. Pernyataan tersebut umumnya dinyatakan oleh suatu pernyataan bersyarat.

Dalam pengendali berbasis *fuzzy* aturan pengendalian *fuzzy* berbentuk aturan “IF – THEN”. Untuk sebuah sistem MISO (*Multi Input Single Output*) basis aturan pengendalian *fuzzy* berbentuk seperti berikut ini:

Rule 1 IF X_1 is A_{11} AND ... AND x_m is A_{1m} THEN Y is B_1

Rule 2 IF X_1 is A_{21} AND ... AND x_m is A_{2m} THEN Y is B_2

⋮

Rule n IF X_n is A_{n1} AND ... AND x_m is A_{nm} THEN Y is B_n

dengan X_j merupakan variabel masukan sistem, A_{ij} merupakan *fuzzy set* untuk X_j , Y merupakan variabel keluaran sistem, B_i merupakan *fuzzy set* untuk Y , AND adalah operator *fuzzy*.

2.4.4.3 Metode Inferensi

Metode inferensi merupakan proses untuk mendapatkan keluaran dari suatu kondisi masukan dengan mengikuti aturan-aturan yang telah ditetapkan. Keputusan yang didapatkan pada proses ini masih dalam bentuk *fuzzy* yaitu derajat keanggotaan keluaran.

Ada beberapa cara untuk mengidentifikasi aturan mana yang akan dipakai dengan menggunakan nilai keanggotaan masukan. Menurut Jun Yan, diantara bermacam metode inferensi *fuzzy* ada dua metode yang paling sering digunakan pada kontrol logika *fuzzy* yaitu :

1. Metode INFERENSI MAX – MIN

Pada metode Max–Min aturan operasi minimum Mamdani digunakan untuk implikasi *fuzzy*. Persamaan aturan minimum adalah

$$\mu_{C_i} = \bigcup_1^n \alpha_i \wedge \mu_{C_i} \quad (2.6)$$

dengan $\alpha_i = \mu_{A_i}(x_0) \wedge \mu_{B_i}(y_0)$

Sebagai contoh , terdapat dua basis kaidah atur *fuzzy*, yaitu :

Rule 1 : Jika x adalah A_1 dan y adalah B_1 maka z adalah C_1

Rule 2 : Jika x adalah A_2 dan y adalah B_2 maka z adalah C_2

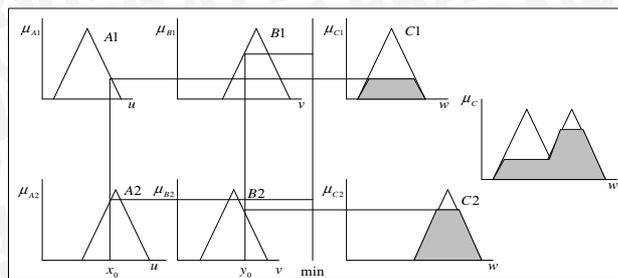
Pada metode penalaran Max-Min fungsi keanggotaan konsekuen dinyatakan dengan

$$\mu_{C_i}(W) = \mu_{C_i} \vee \mu_{C_2} = [\alpha_1 \wedge \mu_{C_1}(w)] \vee [\alpha_2 \wedge \mu_{C_2}(w)] \quad (2.7)$$

$$\text{di mana } \alpha_1 = \mu_{A_1}(x_0) \wedge \mu_{B_1}(y_0) \quad (2.8)$$

$$\alpha_2 = \mu_{A_2}(x_0) \wedge \mu_{B_2}(y_0) \quad (2.9)$$

Lebih jelas metode ini dideskripsikan dalam Gambar 2.9.



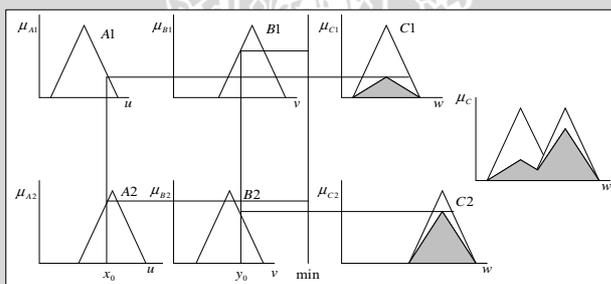
Gambar 2.9 Inferensi *Fuzzy* dengan Metode MAX-MIN
 Sumber : Yan, J;1994:55

2. Metode INFERENSI MAX – DOT

Pada metode inferensi Max-Dot, aturan operasi Larsen digunakan untuk fungsi implikasi *fuzzy*. Metode MAX-DOT fungsi keanggotaan konsekuen C dinyatakan dengan:

$$\mu_c(\omega) = (\alpha_1 \bullet \mu_{c1}(\omega)) \vee (\alpha_2 \bullet \mu_{c2}(\omega)) \tag{2.10}$$

Metode penalaran MAX-DOT diperlihatkan dalam Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Inferensi *Fuzzy* dengan Metode MAX-DOT
 Sumber : Yan, J;1994:55

2.4.4.4 Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah proses untuk mendapatkan nilai numerik dari data *fuzzy* yang dihasilkan dari proses inferensi. (Yan, 1994 : 55). Proses defuzzifikasi dinyatakan sebagai berikut :

$$y_0 = defuzzifier(y) \tag{2.11}$$

di mana

y = aksi kontrol *fuzzy*

y_0 = aksi kontrol *crisp*

defuzzifier = operator defuzzifikasi

Dua metode defuzzifikasi yang umum digunakan adalah :

1. Metode *Center Of Area*

Metode ini didefinisikan sebagai berikut:



$$U = \frac{\sum_{i=1}^n w_i u_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (2.12)$$

di mana $U = \text{output}$

$w_i = \text{bobot nilai benar } w_i$

$u_i = \text{nilai linguistik pada fungsi keanggotaan output}$

$n = \text{banyak derajat keanggotaan}$

2. Metode *Mean of Maximum*

Metode ini didefinisikan sebagai berikut:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n z_i}{n} \quad (2.13)$$

di mana $n = \text{jumlah proposisi/domain}$

$Z = \text{output}$

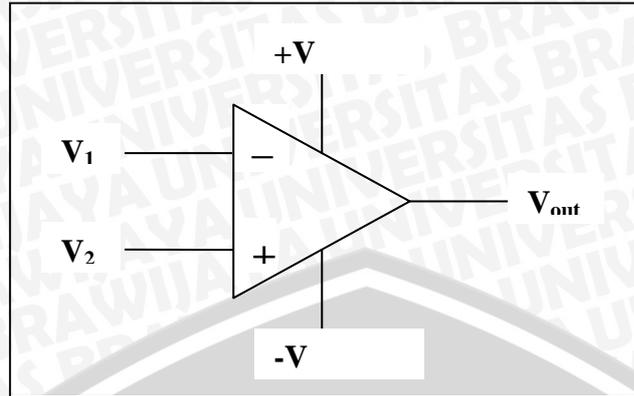
$z_i = \text{domain yang memiliki derajat keanggotaan terbesar/ maksimum}$

2.5 Pengkondisi Sinyal

2.5.1 Penguat Operasional (Op-Amp)

Penguat operasional atau op-amp merupakan komponen elektronika yang berfungsi untuk memperkuat sinyal arus searah (DC) maupun arus bolak-balik (AC). Penguat operasional terdiri atas transistor, resistor dan kapasitor yang dirangkai dan dikemas dalam rangkaian terpadu (*integrated circuit*).

Karakteristik ideal op-amp adalah memiliki penguatan rangkaian terbuka yang sangat tinggi ($A \geq 100.000$), memiliki tahanan masukan yang sangat tinggi ($R_{in} > 1M\Omega$), dan memiliki tahanan keluaran yang kecil ($R_{out} = 50\Omega-75\Omega$). Simbol op-amp ditunjukkan dalam gambar 2.11.



Gambar 2.11 Simbol Op-Amp
 Sumber: Kilian, 1999:61

Keterangan:

- V_1 = tegangan masukan *inverting* (volt)
- V_2 = tegangan masukan *non-inverting* (volt)
- $+V_{supply}$ = sumber tegangan (volt)
- $-V_{supply}$ = sumber tegangan (volt)
- V_{out} = tegangan keluaran (volt)

Op-amp terdiri atas dua tegangan masukan (masukan *inverting* dan *non-inverting*), satu tegangan keluaran, dan dua catu daya. Nilai tegangan keluaran op-amp tidak akan melebihi nilai sumber tegangannya. Tegangan keluaran op-amp pada rangkaian *open loop* seperti pada gambar 2.4 dirumuskan dengan

$$V_{out} = A(V_2 - V_1) \tag{2.14}$$

di mana

- V_{out} = tegangan keluaran (volt)
- A = penguatan rangkaian terbuka (*open-loop gain*)
- V_2 = tegangan masukan *non-inverting* (volt)
- V_1 = tegangan masukan *inverting* (volt)

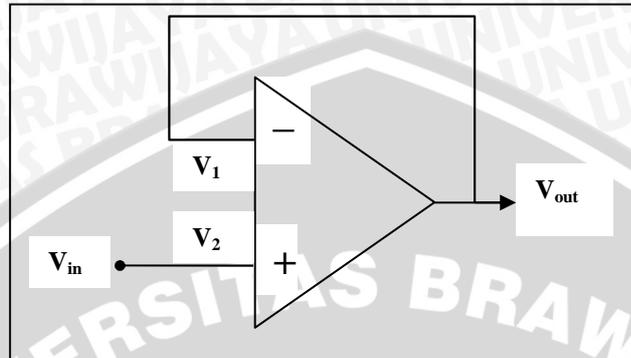
Beberapa asumsi perlu dibuat dalam melakukan analisis rangkaian op-amp. Hal ini dilakukan untuk memudahkan melakukan analisis. Asumsi-asumsi ini dibuat berdasarkan karakteristik ideal op-amp. Asumsi-asumsi tersebut antara lain:

1. Tegangan masukan *inverting* = tegangan masukan *non-inverting* ($V_2 = V_1$)
2. Arus masukan ≈ 0 A ($I_{in} \approx 0$ A)
3. Tahanan keluaran ≈ 0 Ω ($R_{out} \approx 0$ Ω)



2.5.1.1 Pengikut Tegangan (*Voltage Follower*)

Rangkaian op-amp pengikut tegangan dapat meneruskan arus tanpa mengubah nilai tegangan yang masuk ke op-amp. Rangkaian pengikut tegangan dapat dilihat dalam gambar 2.12.



Gambar 2.12 Pengikut Tegangan
Sumber: Kilian, 1999:67

Keterangan:

V_1 = tegangan masukan *inverting* (volt)

V_2 = tegangan masukan *non-inverting* (volt)

V_{in} = tegangan masukan (volt)

V_{out} = tegangan keluaran (volt)

Persamaan dasar op-amp adalah

$$V_{out} = A(V_2 - V_1) \quad (2.15)$$

di mana V_{out} = tegangan keluaran (volt)

A = penguatan rangkaian terbuka (*open-loop gain*)

V_2 = tegangan masukan *non-inverting* (volt)

V_1 = tegangan masukan *inverting* (volt)

Dalam rangkaian dapat dilihat bahwa tegangan keluaran V_{out} terhubung dengan tegangan masukan *inverting* V_1 , sehingga $V_{out} = V_1$.

$$V_{out} = A(V_2 - V_{out}) \quad (2.16)$$

Dengan menyelesaikan persamaan di atas, didapat

$$V_{out} = \frac{AV_2}{1+A} \quad (2.17)$$

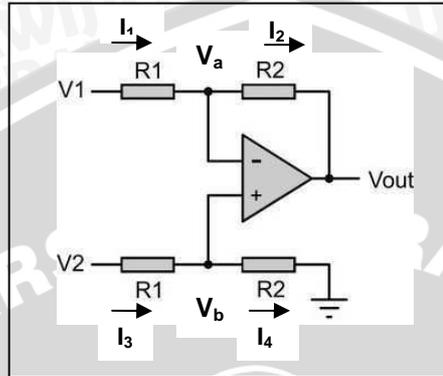
Karena A jauh lebih besar dari 1, maka

$$V_{out} = \frac{AV_2}{A} \approx V_2 \quad (2.18)$$

Persamaan di atas menunjukkan bahwa tegangan keluaran V_{out} sama dengan tegangan masukan V_2 . Hal ini berarti penguatan tegangannya adalah 1.

2.5.1.2 Penguat Diferensial

Penguat diferensial mampu memperkuat sinyal kecil yang berada dalam sinyal yang jauh lebih besar. Tegangan keluaran dari penguat diferensial sebanding dengan perbedaan tegangan pada kedua tegangan masukannya. Rangkaian penguat diferensial ditunjukkan dalam gambar 2.13.



Gambar 2.13 Penguat Diferensial

Sumber: <http://franzaditya.blogspot.com/>

Keterangan:

V_1, V_2 = tegangan masukan (volt)

R_1, R_2 = resistansi (ohm)

I_1, I_2, I_3, I_4 = kuat arus yang melalui masing-masing tahanan (ampere)

Dengan asumsi bahwa tidak ada arus yang masuk ke dalam op-amp, maka tegangan pada masukan *inverting* sama dengan tegangan masukan *non-inverting* ($V_a = V_b$), arus I_1 sama dengan arus I_2 ($I_1 = I_2$), dan arus I_3 sama dengan arus I_4 ($I_3 = I_4$).

$$I_3 = I_4 \quad (2.19)$$

$$\frac{V_2 - V_b}{R_1} = \frac{V_b - 0}{R_2} \quad (2.20)$$

Persamaan di atas disederhanakan menjadi

$$V_b = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_2 \quad (2.21)$$

Untuk arus I_1 dan I_2 dapat diturunkan sebagai berikut

$$I_1 = I_2 \quad (2.22)$$

$$\frac{V_1 - V_a}{R_1} = \frac{V_a - V_{out}}{R_2} \quad (2.23)$$

Persamaan di atas disederhanakan menjadi

$$V_{out} = \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1} \right) V_a - \frac{R_2}{R_1} V_1 \quad (2.24)$$

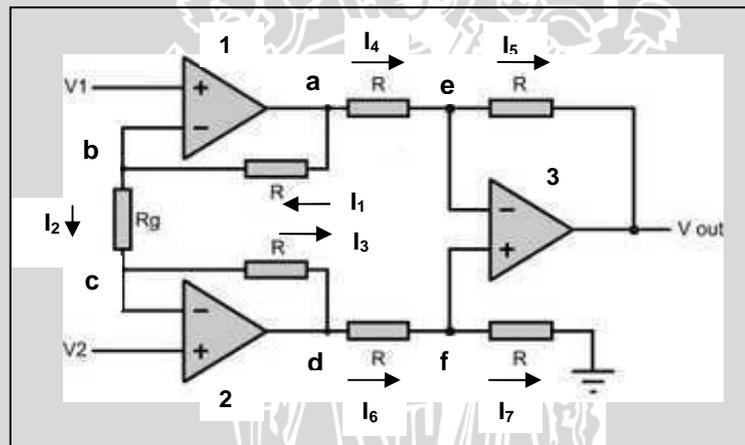
Karena $V_a = V_b$, maka V_b pada persamaan 2.21 dapat disubstitusikan ke V_a pada persamaan 2.24, sehingga didapat

$$V_{out} = \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1} \right) \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_2 - \frac{R_2}{R_1} V_1 \quad (2.25)$$

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1) \quad (2.26)$$

2.5.1.3 Penguat Instrumentasi

Penguat instrumentasi terdiri atas tiga op-amp dan tujuh buah tahanan. Rangkaian ini tersusun atas rangkaian penguat diferensial dan penguat penyangga (*buffer*). Nilai R_g diatur dengan cara diubah-ubah hingga didapatkan nilai penguatan yang diinginkan. Gambar 2.14 menunjukkan rangkaian penguat instrumentasi.



Gambar 2.14 Penguat Instrumentasi

Sumber: <http://franzaditya.blogspot.com/>

Keterangan:

V_1, V_2 = tegangan masukan (volt)

R, R_g = resistansi (ohm)

$I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6, I_7$ = kuat arus yang melalui tahanan (ampere)

Dengan asumsi bahwa tidak ada arus yang masuk ke dalam op-amp 1 dan op-amp 2, maka $V_1 = V_b$ dan $V_2 = V_c$. Arus pada suatu kawat penghantar akan sama besar selama tidak ada percabangan pada kawat penghantar, sehingga

$$I_1 = I_2 \quad (2.27)$$

$$\frac{V_a - V_b}{R} = \frac{V_b - V_c}{R_g} \quad (2.28)$$

Karena $V_1 = V_b$ dan $V_2 = V_c$, maka persamaan 2.28 menjadi

$$\frac{V_a - V_1}{R} = \frac{V_1 - V_2}{R_g} \quad (2.29)$$

$$V_a = \frac{R}{R_g}(V_1 - V_2) + V_1 \quad (2.30)$$

Dengan cara yang sama, untuk arus I_2 dan I_3 adalah sebagai berikut

$$I_2 = I_3 \quad (2.31)$$

$$\frac{V_b - V_c}{R_g} = \frac{V_c - V_d}{R} \quad (2.32)$$

Karena $V_1 = V_b$ dan $V_2 = V_c$, maka persamaan 2.32 menjadi

$$\frac{V_1 - V_2}{R_g} = \frac{V_2 - V_d}{R} \quad (2.33)$$

$$V_d = \left(\frac{R}{R_g} + 1 \right) V_2 - \frac{R}{R_g} V_1 \quad (2.34)$$

Karena tidak ada arus yang masuk ke dalam op-amp 3, maka

$$I_4 = I_5 \quad (2.35)$$

$$\frac{V_a - V_e}{R} = \frac{V_e - V_{out}}{R} \quad (2.36)$$

$$V_a = 2V_e - V_{out} \quad (2.37)$$

Dengan cara yang sama, untuk arus I_6 dan I_7 adalah sebagai berikut

$$I_6 = I_7 \quad (2.38)$$

$$\frac{V_d - V_f}{R} = \frac{V_f - 0}{R} \quad (2.39)$$

$$V_d = 2V_f \quad (2.40)$$

Pada op-amp 3, selisih tegangan masukan *inverting* dan tegangan masukan *non-inverting* ≈ 0 V, sehingga $V_e = V_f$, persamaan 2.40 menjadi

$$V_d = 2V_e \quad (2.41)$$

Persamaan 2.41 disubstitusikan ke persamaan 2.37, sehingga persamaan 2.37 menjadi

$$V_a = V_d - V_{out} \quad (2.42)$$

$$V_{out} = V_d - V_a \quad (2.43)$$

Persamaan 2.34 dan 2.30 disubstitusikan ke persamaan 2.43, sehingga persamaan 2.43 menjadi

$$V_{out} = \left(\left(\frac{R}{R_g} + 1 \right) V_2 - \frac{R}{R_g} V_1 \right) - \left(\frac{R}{R_g} (V_1 - V_2) + V_1 \right) \quad (2.44)$$

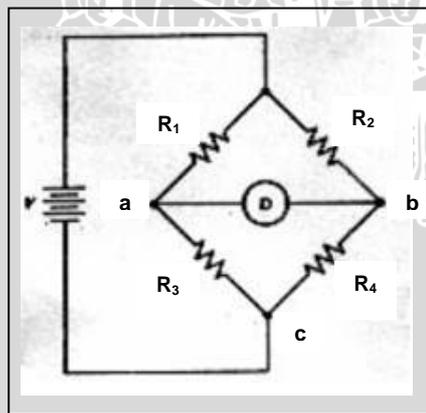
Persamaan 2.44 disederhanakan menjadi

$$V_{out} = \left(\frac{2R}{R_g} + 1 \right) (V_2 - V_1) \text{ volt} \quad (2.45)$$

2.5.2 Rangkaian Jembatan Wheatstone

Rangkaian jembatan digunakan sebagai alat pengukur perubahan tahanan yang akurat. Rangkaian jembatan adalah rangkaian pasif yang digunakan untuk mengukur impedansi dengan menggunakan teknik penyesuaian potensial.

Rangkaian jembatan yang paling sederhana dan umum digunakan adalah rangkaian jembatan DC Wheatstone. Rangkaian jembatan Wheatstone ditunjukkan dalam gambar 2.15.



Gambar 2.15 Jembatan DC Wheatstone
<http://www.imansofyani.co.cc/>

Keterangan:

- V = tegangan sumber (volt)
- R_1, R_2, R_3, R_4 = resistansi-resistansi jembatan (ohm)
- D = detektor kesetimbangan

Rangkaian ini digunakan dalam aplikasi pengkondisi sinyal di mana transduser mengubah tahanan dengan perubahan variabel dinamik. Pada Gambar

2.15, label D adalah detektor kesetimbangan yang digunakan untuk membandingkan potensial titik a dan b dari rangkaian. Kita asumsikan impedansi detektor kesetimbangan adalah tak hingga, yaitu suatu rangkaian terbuka. Beda potensial, ΔV antara titik a dan b, adalah

$$\Delta V = V_a - V_b \quad (2.46)$$

di mana

V_a = potensial titik a terhadap c (volt)

V_b = potensial titik b terhadap c (volt)

Nilai V_a dan V_b dapat dicari dengan rumus pembagi tegangan sebagai berikut

$$V_a = \frac{R_3}{R_1 + R_3} V \quad (2.47)$$

$$V_b = \frac{R_4}{R_2 + R_4} V \quad (2.48)$$

di mana

V = tegangan sumber dari jembatan DC Wheatstone (volt)

R_1, R_2, R_3, R_4 = resistansi- resistansi jembatan (ohm)

Persamaan (2.46), (2.47), dan (2.48) dikombinasikan menjadi

$$\Delta V = \frac{R_3}{R_1 + R_3} V - \frac{R_4}{R_2 + R_4} V \quad (2.49)$$

$$\Delta V = \frac{R_2 R_3 - R_1 R_4}{(R_1 + R_3)(R_2 + R_4)} V \quad (2.50)$$

Persamaan (2.50) menunjukkan bahwa beda potensial pada detektor adalah fungsi dari tegangan sumber dan nilai resistansi. Pada persamaan tersebut dapat dilihat bahwa dengan kombinasi khusus dari resistansi akan menghasilkan perbedaan tegangan nol, yaitu keadaan setimbang. Pada keadaan setimbang ini, persamaan (2.50) menjadi

$$R_2 R_3 = R_1 R_4 \quad (2.51)$$

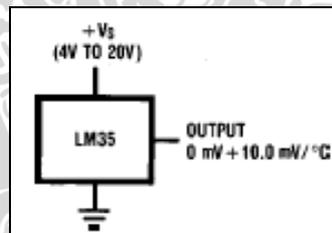
Jika sebuah jembatan Wheatstone dirangkai dan resistansi diatur untuk mendapatkan keadaan setimbang, nilai-nilai resistansi harus memenuhi persamaan (2.51). Tegangan sumber tidak berpengaruh, selama kondisi setimbang dipertahankan.

2.6 Sensor Suhu LM35

LM35 merupakan sensor suhu terintegrasi yang mempunyai tegangan keluaran yang linier. LM35 mempunyai impedansi keluaran yang rendah, keluaran yang linier dan kalibrasi yang tepat sehingga mudah dihubungkan dengan rangkaian lain. Adapun fitur yang ada pada LM35 adalah sebagai berikut:

- Kalibrasi dalam derajat Celcius
- Faktor skala linier adalah $10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$
- Keakuratan yang digunakan $0,50^{\circ}\text{C}$ (pada suhu $+ 25^{\circ}\text{C}$)
- Jangkauan suhu -55°C sampai 150°C
- Beroperasi pada tegangan 4 V sampai 30 V
- Pemanasan sendiri yang rendah, $0,08^{\circ}\text{C}$ dalam udara
- Ketidaklinieran hanya $\pm \frac{1}{4}^{\circ}\text{C}$
- Impedansi keluaran kecil, 0,1 ohm untuk arus beban 1mA

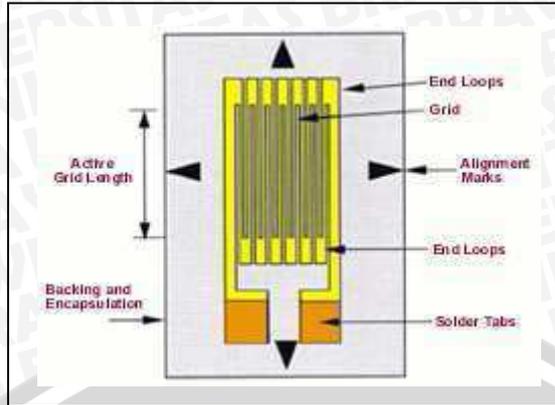
Dalam Gambar 2.16 ditunjukkan skema sensor suhu LM35.



Gambar 2.16 Skema LM35
Sumber: Datasheet LM35

2.7 Sensor Tekanan

Sensor tekanan (*strain gauge/strain gage*) digunakan untuk mengetahui pengaruh tekanan di dalam alat terhadap proses pemanasan yang terjadi. Prinsip kerja sensor tekanan adalah tahanan berubah seiring dengan perubahan ketegangan diakibatkan oleh adanya tekanan. Skema *strain gage* dapat dilihat pada gambar 2.17.

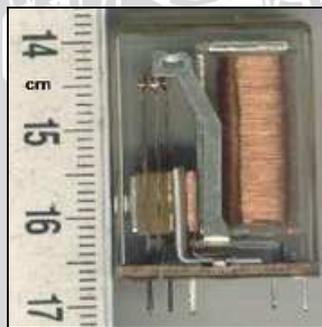


Gambar 2.17 Skema Strain gage
 Sumber: <http://web.deu.edu.tr>

2.8 Relay

Relay adalah saklar elektronik yang dikendalikan oleh rangkaian listrik lainnya. Pada bentuk aslinya, relay ini beroperasi dengan menggunakan sebuah elektromagnet untuk membuka atau menutup sebuah saklar atau lebih.

Relay dapat aktif dan mati berdasarkan arus listrik yang dia terima. Pada relay terdapat dua jenis saklar, yaitu saklar NC (*normally close*) dan saklar NO (*normally open*). Pada saklar NC (*normally close*), saat tidak mendapat arus listrik saklar ini sudah tertutup (aktif), sedangkan saat menerima arus listrik saklar ini akan terbuka (tidak aktif). Begitu pula sebaliknya untuk saklar NO. Contoh gambar fisik dari relay ditunjukkan dalam Gambar 2.18.



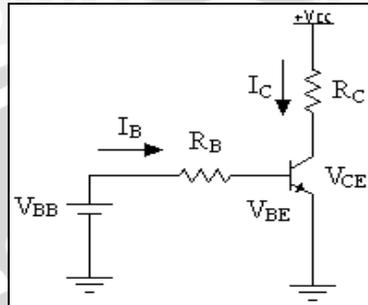
Gambar 2.18 Gambar Fisik Relay

2.9 Transistor

2.9.1 Transistor sebagai Switch

Transistor merupakan suatu komponen aktif semikonduktor yang bekerja menggunakan aliran elektron di dalam bahannya. Transistor terdiri dari tiga daerah semikonduktor. Untuk transistor tipe NPN terdiri dari daerah emiter tipe n, daerah basis tipe p, dan daerah kolektor tipe n. Transistor tipe PNP, terdiri dari

daerah emiter tipe p, daerah kolektor tipe p, dan daerah basis tipe n. Transistor menggunakan dua persambungan pn yaitu persambungan Emiter Basis (EBJ) dan Kolektor Basis (CBJ). Kondisi pembiasan kedua persambungan ini akan menentukan mode operasi transistor. Pada transistor tipe NPN bias basis, rangkaian dasarnya dapat dilihat dalam Gambar 2.19.



Gambar 2.19 Rangkaian Transistor Bias Basis
Sumber: Malvino, 1999:138

Keterangan:

V_{BB} = tegangan masukan basis (volt)

V_{BE} = tegangan antara basis dan emiter (volt)

V_{CE} = tegangan antara kolektor dan emiter (volt)

R_B = tahanan pada basis (ohm)

R_C = tahanan pada kolektor (ohm)

I_B = arus pada basis (ampere)

I_C = arus pada kolektor (ampere)

Berdasarkan hukum *Ohm*, maka arus basis pada rangkaian yang ditunjukkan dalam gambar 2.19 adalah :

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \quad (2.52)$$

dengan $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$ untuk transistor silikon. Berdasarkan hukum *Kirchoff* diperoleh persamaan berikut

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \quad (2.53)$$

di mana

V_{CE} = tegangan antara kolektor dan emiter (volt)

V_{CC} = tegangan masukan kolektor (volt)

I_C = arus pada kolektor (ampere)

R_C = tahanan pada kolektor (ohm)

Arus kolektor pada saat penjumlahan ($I_{C(sat)}$) adalah

$$I_{C(sat)} \cong \frac{V_{CC}}{R_C} \quad (2.54)$$

Arus basis yang tepat menimbulkan penjuanan ($I_{B(\text{sat})}$) adalah

$$I_{B(\text{sat})} \cong \frac{I_{C(\text{sat})}}{\beta_{\text{dc}}} \quad (2.55)$$

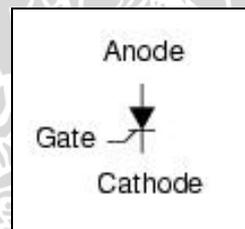
di mana $\beta_{\text{dc}} = I_C/I_B$

Tegangan antara kolektor dan emiter pada penjuanan adalah

$$V_{\text{CE}(\text{sat})} = V_{\text{CE}} \quad (2.56)$$

2.9.2 Thyristor/SCR (Silicon Control Rectifier)

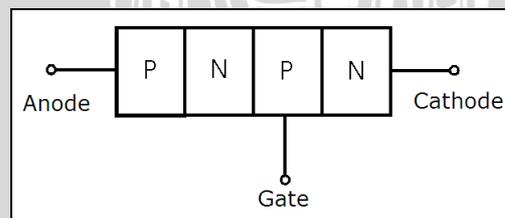
Thyristor adalah suatu bahan semikonduktor dengan empat lapis bahan penghantar tipe N dan P. SCR adalah suatu jenis *thyristor*, namun pada beberapa literatur, SCR seringkali disebut dengan *thyristor* saja. Dalam pembahasan ini, *thyristor* yang disebutkan mengacu pada SCR. Skema/symbol SCR ditunjukkan dalam gambar 2.20.



Gambar 2.20 Skema SCR

Sumber: <http://www.id.wikipedia.org/>

Thyristor bertindak sebagai saklar. *Thyristor* akan menghantarkan arus ketika *gate*-nya dipicu, dan terus menghantarkan arus selama *thyristor* dibias maju. Struktur *thyristor*/SCR ditunjukkan dalam gambar 2.21.

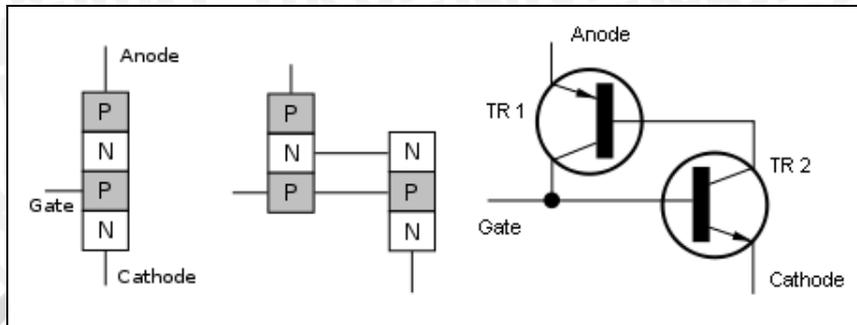


Gambar 2.21 Struktur *Thyristor*/SCR

Sumber: <http://www.radio-electronics.com>

Thyristor terdiri atas empat *layer*, dengan tiga terminal bahan semikonduktor. Masing-masing *layer* terdiri atas bahan tipe N atau P, misalnya P-N-P-N. Terminal utama disebut dengan anoda dan katoda. Terminal kontrol disebut dengan *gate*. *Gate* dihubungkan dengan bahan tipe P dekat katoda.

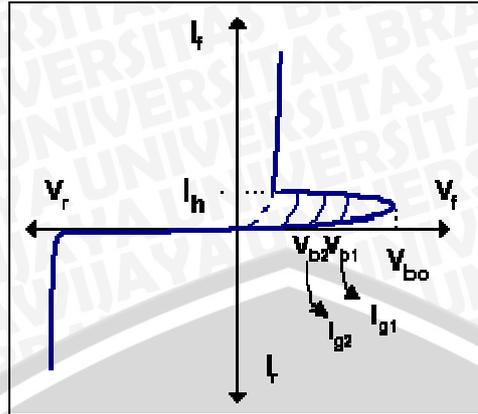
Cara kerja *thyristor* dapat dianggap seperti sepasang transistor bipolar yang dihubungkan. Transistor yang emitemnya dihubungkan dengan katoda adalah transistor tipe n-p-n. Sedangkan transistor yang emitemnya dihubungkan ke anoda adalah transistor tipe p-n-p. *Gate* dihubungkan dengan basis transistor n-p-n.



Gambar 2.22 Rangkaian ekuivalen *thyristor*/SCR
<http://www.wikipedia.org/>

Susunan seperti pada gambar 2.22 membentuk *loop* umpan balik positif terhadap *thyristor*. Keluaran transistor satu akan menjadi masukan untuk transistor kedua. Sebaliknya, keluaran transistor kedua akan menjadi masukan untuk transistor pertama. Sehingga hasilnya adalah penguatan arus total menjadi jauh lebih besar dari 1. Ini berarti bahwa saat arus mulai mengalir, arus akan mengalir dengan cepat, sampai kedua transistor saturasi.

Saat *gate* tidak dipicu, jika suatu tegangan diberikan ke *thyristor*, tidak ada arus yang mengalir, karena kedua transistor tidak terkonduksi. Sehingga tidak ada jalan yang dapat dilalui oleh arus. Saat ada arus kecil yang mengalir melalui *gate*, maka transistor kedua (TR 2) akan *on*. Saat TR 2 *on*, akan ada jatuh tegangan antara kolektor TR 2 dan emiter TR 2 (katoda). Ini menyebabkan arus mengalir melalui basis TR 1, membuat TR 1 *on*. Kolektor TR 1 memberikan tegangan pada emiter TR 1 dan menyebabkan arus mengalir di emiter TR 2. Cara ini hanya membutuhkan pulsa *trigger* yang kecil pada *gate* untuk membuat *thyristor on*. Sekali *thyristor* aktif/*on*, *thyristor* akan terus aktif, dan hanya bisa dimatikan dengan cara memutuskan tegangan sumber atau dengan membuat arus anoda-katoda berada di bawah arus *holding* (I_h) seperti ditunjukkan dalam kurva karakteristik SCR berikut.



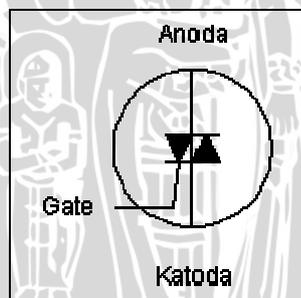
Gambar 2.23 Karakteristik kurva I-V SCR
 Sumber: <http://www.electroniclab.com>

Keterangan:

- I_h = arus *holding* (mA)
- I_g = arus *trigger gate* (mA)
- V_{bo} = tegangan *breakover* (V)

2.9.3 TRIAC

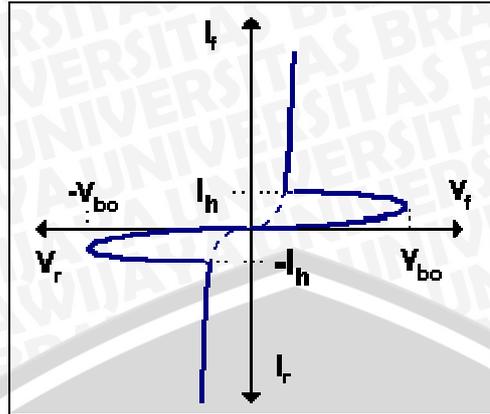
SCR adalah *thyristor* yang *uni-directional*, karena ketika *on* hanya bisa melewatkan arus satu arah saja, yaitu dari anoda menuju katoda. Struktur TRIAC sebenarnya sama dengan dua buah SCR yang arahnya bolak-balik dan kedua *gate*-nya disatukan. Simbol TRIAC ditunjukkan dalam gambar 2.24. TRIAC biasa disebut *bi-directional thyristor*.



Gambar 2.24 Simbol TRIAC
 Sumber: <http://www.electroniclab.com>

TRIAC bekerja mirip seperti SCR yang paralel bolak-balik, sehingga dapat melewatkan arus dua arah. Kurva karakteristik dari TRIAC adalah seperti dalam gambar 2.25.





Gambar 2.25 Karakteristik kurva I-V TRIAC
Sumber: <http://www.electroniclab.com>

Keterangan:

I_h = arus *holding* (mA)

I_g = arus *trigger gate* (mA)

V_{bo} = tegangan *breakover* (V)

2.10 Pemanas (*heater*)

Pemanas digunakan untuk memanaskan air yang ada di dalam tabung. Pemanas ini berupa elemen yang mengubah energi listrik menjadi energi panas melalui proses pemanasan Joule (Wikipedia, 2008). Berdasarkan hukum pertama Joule, jika arus listrik I ampere dialirkan di sepanjang suatu konduktor (elemen) dengan resistansi R ohm dalam waktu t sekon, akan menghasilkan suatu energi panas Q joule pada elemen. Hukum pertama Joule ini dapat dilihat pada persamaan berikut

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t \quad (2.57)$$

di mana

Q = energi panas yang dibangkitkan (joule)

I = arus yang mengalir pada konduktor (ampere)

R = resistansi (ohm)

t = waktu (sekon)

2.11 Motor DC

Motor DC berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik yang mengeluarkan arus searah sebagai daya penggerakannya. Arus searah dialirkan pada rotor dan stator. Pada kumparan medan arus DC dialirkan untuk membangkitkan fluks medan magnet yang dihasilkan polaritasnya tetap, sedangkan pada kumparan jangkar diperlukan arus yang berubah-ubah untuk

menghasilkan GGL. Untuk itu diperlukan komutator dan sikat gesek pada rotornya. Rotor dihubungkan dengan lamel-lamel komutator. Sikat gesek yang telah dihubungkan oleh sumber daya akan bergesekan dengan komutator.

Pergesekan ini menyebabkan terhubung dan terputusnya lilitan pada *armature*. Gejala-gejala yang ditimbulkan dalam motor untuk lebih jelasnya yaitu:

1. Gaya yang timbul sebanding dengan arusnya.
2. Arah gaya yang timbul tegak lurus dengan fluks magnetiknya.
3. Jika kerapatan fluks bertambah yaitu dengan meletakkan kutub-kutub sedekat mungkin maka gaya yang timbul semakin besar.

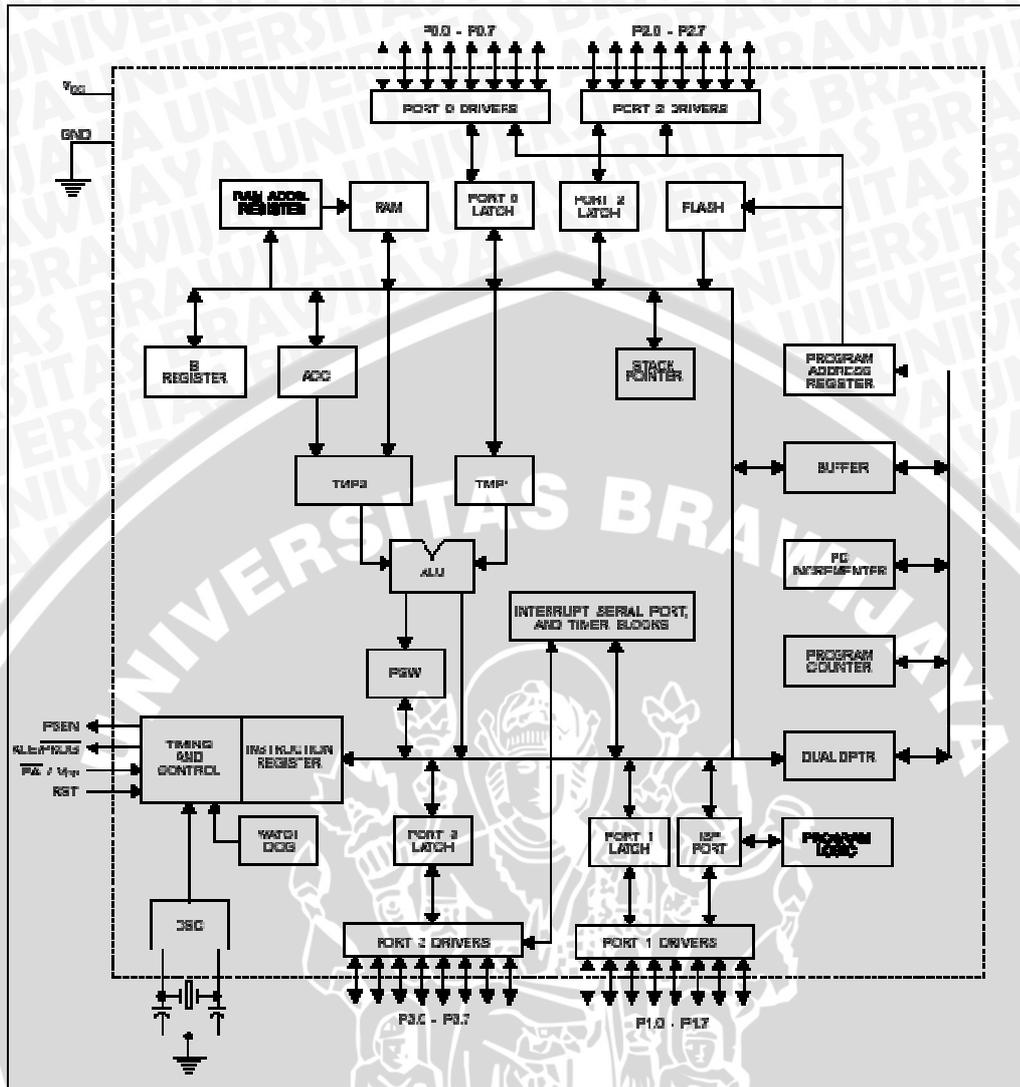
2.12 Mikrokontroler AT89S51

AT89S51 adalah mikrokontroler keluaran Atmel dengan 4K *byte Flash PEROM (Programmable and Erasable Read Only Memory)*, AT89S51 merupakan memori dengan teknologi *non-volatile memory*, isi memori tersebut dapat diisi ulang ataupun dihapus berkali-kali. Memori ini biasa digunakan untuk menyimpan instruksi (perintah) berstandar *MCS-51 code* sehingga memungkinkan mikrokontroler ini untuk bekerja dalam *single chip operation mode* (mode operasi keping tunggal) yang tidak memerlukan *external memory* (memori luar) untuk menyimpan *source code* tersebut.

Secara umum konfigurasi yang dimiliki mikrokontroler AT89S51 adalah sebagai berikut:

- Sebuah CPU 8 bit dengan menggunakan teknologi dari Atmel.
- Memiliki memori baca-tulis (RAM) sebesar 128 *byte*.
- Empat buah *programmable port I/O*, masing-masing terdiri atas 8 buah jalur I/O.
- Sebuah *port serial* dengan kontrol *full duplex*.
- *Reprogrammable Flash memory* yang besarnya 4 kbyte untuk memori program.
- Mampu beroperasi sampai 33 MHz.

Mikrokontroler AT89S51 mempunyai kompatibilitas instruksi dan konfigurasi pin dengan mikrokontroler MCS-51. Blok diagram MCS-51 ditunjukkan dalam Gambar 2.26.



Gambar 2.26 Blok Diagram AT89S51.
Sumber: Atmel, 1997:3

Konfigurasi pin mikrokontroler AT89S51 ditunjukkan dalam gambar 2.27.

P1.0	1	40	VCC
P1.1	2	39	P0.0 (AD0)
P1.2	3	38	P0.1 (AD1)
P1.3	4	37	P0.2 (AD2)
P1.4	5	36	P0.3 (AD3)
(MOSI) P1.5	6	35	P0.4 (AD4)
(MISO) P1.6	7	34	P0.5 (AD5)
(SCK) P1.7	8	33	P0.6 (AD6)
RST	9	32	P0.7 (AD7)
(RXD) P3.0	10	31	EA/VPP
(TXD) P3.1	11	30	ALE/PROG
(INT0) P3.2	12	29	PSEN
(INT1) P3.3	13	28	P2.7 (A15)
(T0) P3.4	14	27	P2.6 (A14)
(T1) P3.5	15	26	P2.5 (A13)
(WR) P3.6	16	25	P2.4 (A12)
(RD) P3.7	17	24	P2.3 (A11)
XTAL2	18	23	P2.2 (A10)
XTAL1	19	22	P2.1 (A9)
GND	20	21	P2.0 (A8)

Gambar 2.27 Konfigurasi Pin Mikrokontroler AT89S51

Sumber : <http://www.atmel.com/>

Deskripsi dari bagan konfigurasi mikrokontroler AT89S51 adalah sebagai berikut:

- VCC (*power supply*)
- GND (*ground*)
- Port 0, yaitu pin p0.7...p0.0

Port 0 dapat berfungsi sebagai I/O biasa, *low order multiplex address/data* ataupun menerima kode *byte* pada saat *Flash Programming*. Pada saat sebagai I/O biasa *port* ini dapat memberikan *output sink* ke delapan buah *Transistor Transistor Logic* (TTL) *input* atau dapat diubah sebagai *input* dengan memberikan logika 1 pada *port* tersebut.

- Port 1, yaitu pin p1.0...p1.7

Port 1 berfungsi sebagai I/O biasa atau menerima *low order address bytes* selama pada saat *Flash Programming*. Port ini mempunyai internal *pull up* dan berfungsi sebagai *input* dengan memberikan logika 1. Sebagai *output port* ini dapat memberikan *output sink* keempat buah *input* TTL. Fasilitas khusus dari *port* 1 ini adalah adanya *In-System Programming*, yaitu *port* 1.5 sebagai MOSI, *port* 1.6 sebagai MISO, *port* 1.7 sebagai SCK.

- Port 2, yaitu mulai pin p2.0...p2.7

Port 2 berfungsi sebagai I/O biasa atau *high order address*, pada saat mengakses memori secara 16 bit (Movx @DPTR). Pada saat mengakses

memori secara 8 bit (Mov @Rn), *port* ini akan mengeluarkan sisi dari *Special Function Register*. *Port* ini mempunyai *pull up* dan berfungsi sebagai *input* dengan memberikan logika 1. Sebagai *output*, *port* ini dapat memberikan *output sink* keempat buah *input* TTL.

- Pin 3.0, sebagai RXD (*Port Serial Input*).
- Pin 3.1, sebagai TXD (*Port Serial Output*).
- Pin 3.2, sebagai INT0 (*Port External Interrupt 0*).
- Pin 3.3, sebagai INT1 (*Port External Interrupt 1*).
- Pin 3.4, sebagai T0 (*Port External Timer 0*).
- Pin 3.5, sebagai T1 (*Port External Timer 1*).
- Pin 3.6, sebagai WR (*External Data Memory Write Strobe*).
- Pin 3.7, sebagai RD (*External Data Memory Read Strobe*).
- Pin 9, sebagai RST.

Reset akan aktif dengan memberikan *input high* selama 2 *cycle*.

- Pin 30, sebagai ALE/PROG

Pin ini dapat berfungsi sebagai *Address Latch Enable* (ALE) yang *me-latch low byte address* pada saat mengakses memori eksternal. Sedangkan pada saat *Flash Programming* (PROG) berfungsi sebagai *pulse input*. Pada operasi normal ALE akan mengeluarkan sinyal *clock* sebesar 1/16 frekuensi *oscillator*, kecuali pada saat mengakses memori eksternal. Sinyal *clock* pada saat ini dapat pula di-*disable* dengan *men-set* bit 0 *Special Function Register*.

- Pin 29, sebagai PSEN

Pin ini berfungsi pada saat mengeksekusi program yang terletak pada memori eksternal. PSEN akan aktif dua kali setiap *cycle*.

- Pin 31, Sebagai EA/VPP

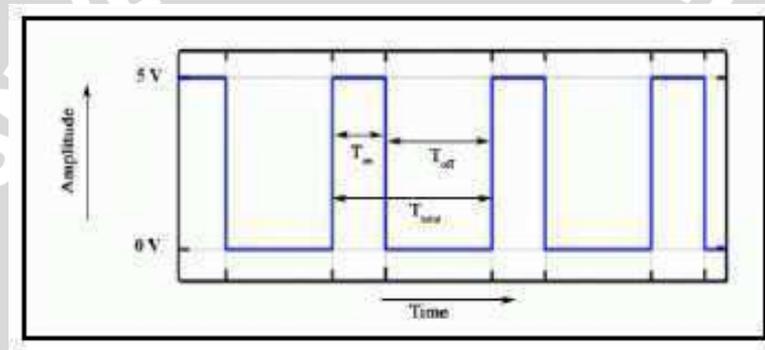
Pada kondisi *low*, pin ini akan berfungsi sebagai EA yaitu mikrokontroler akan menjalankan program yang ada pada memori eksternal setelah sistem di-*reset*. Jika berkondisi *high*, pin ini akan berfungsi untuk menjalankan program yang ada pada memori internal. Pada saat *Flash Programming* pin ini akan mendapat tegangan 12 volt (VPP).

- Pin 19, sebagai XTALL1 (*Input Oscillator*).

- Pin 18, sebagai XTALL2 (*Output Oscillator*).

2.13 PWM (*Pulse Width Modulation*)

PWM adalah sebuah cara memanipulasi lebar sinyal atau tegangan yang dinyatakan dengan pulsa dalam satu periode, yang akan digunakan untuk mentransfer data pada telekomunikasi atau mengatur tegangan sumber yang konstan untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda. Penggunaan PWM sangat banyak, antara lain untuk pemodulasian data untuk telekomunikasi, pengontrolan daya atau tegangan yang masuk ke beban regulator tegangan, mengatur kecepatan dari motor DC dan lain-lain. Sinyal atau keluaran PWM ditunjukkan dalam Gambar 2.28.



Gambar 2.28 Sinyal Keluaran PWM
Sumber: <http://insansainsprojects.wordpress.com>

Dalam Gambar 2.28 terlihat bahwa sinyal PWM adalah sinyal yang amplitudonya tetap, namun lebar pulsa yang aktif (*duty cycle*) per periodenya dapat diubah-ubah. Periodenya adalah waktu pulsa *high* (T_{on}) ditambah waktu pulsa *low* (T_{off}).

$$T_{total} = T_{on} + T_{off} \quad (2.58)$$

Sedangkan *duty cycle* (D) adalah lamanya pulsa high (1) T_{on} dalam satu periode. Jika $f(t)$ adalah sinyal PWM, maka besar *duty cycle*-nya adalah:

$$D = \frac{T_{on}}{(T_{on} + T_{off})} = \frac{T_{on}}{T_{total}} \quad (2.59)$$

Sedangkan, besarnya tegangan keluaran V_{out} (volt) adalah

$$V_{out} = D \times V_{in} \quad (2.60)$$

$$V_{out} = \frac{T_{on}}{T_{total}} \times V_{in} \quad (2.61)$$

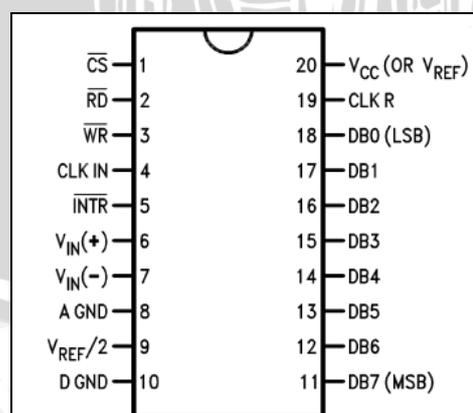
Duty cycle menyatakan fraksi waktu sinyal pada keadaan logika *high* dalam satu siklus. Satu siklus diawali oleh transisi *low to high* dari sinyal dan berakhir pada transisi berikutnya. Selama satu siklus, jika waktu sinyal pada keadaan *high* sama dengan *low* maka dikatakan sinyal mempunyai *duty cycle* 50%. *Duty cycle* 30% menyatakan sinyal berada pada logika 1 selama 30% dari waktu total.

2.14 ADC

Sinyal yang dapat diterima sistem minimum mikrokontroler berupa sinyal digital, sedangkan sinyal keluaran yang dihasilkan dari sensor berupa sinyal analog, sehingga diperlukan ADC (*Analog to Digital Converter*). Konverter analog ke digital adalah pengubah data analog (dari berbagai instrumen) ke digital dengan tujuan agar memudahkan pengolahan data biner selanjutnya.

Untuk keperluan pengubahan sinyal dari sensor digunakan ADC tipe 0804. ADC ini memiliki waktu konversi 100 μ s dan 1 kanal masukan.

ADC 0804 adalah CMOS 8 bit yang berturut-turut mendekati perubahan A/D yang menggunakan sebuah tangga hitung yang berbeda, perubahan-perubahan ini dimaksudkan untuk membantu pengoperasiannya. Ketelitian bus dengan TRI-STATE yang secara langsung menggerakkan bus data. Tampilan A/D ini seperti memori atau I/O bagian untuk mikrokontroler. Pengambilan data yang dilakukan oleh mikrokontroler adalah biner 8 bit. Gambar 2.29 menunjukkan konfigurasi pin ADC 0804.



Gambar 2.29 Konfigurasi Pin ADC 0804
Sumber: National Semiconductor, 1999

Resolusi sebuah ADC secara umum dapat dirumuskan dengan

$$\Delta V = V_{ref} \cdot 2^{-n} \quad (2.62)$$

di mana ΔV = resolusi (volt)

V_{ref} = tegangan referensi (volt)

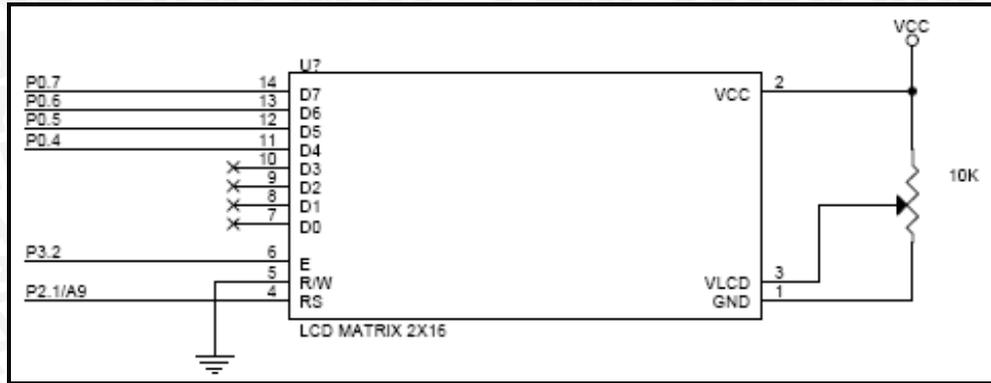
n = jumlah bit

2.15 LCD Tipe M1632

LCD tipe M1632 merupakan suatu jenis tampilan yang menggunakan *liquid crystal* dalam menampilkan suatu karakter secara *dot matrix*. LCD tipe M1632 diproduksi oleh SEIKO *instrument inc. corporation*. Spesifikasi dari LCD ini adalah sebagai berikut:

- Menampilkan 16 karakter pada tiap baris TN LCD dengan 5 x 7 dot matrik
- Pembangkit karakter ROM untuk 192 jenis karakter
- Pembangkit karakter RAM untuk 8 jenis karakter
- 80 x 8 bit data RAM
- Tegangan catu 5 volt dan temperatur operasi $0 - 50^{\circ} \text{C}$
- Otomatis *reset* pada saat dihidupkan
- Dilengkapi fungsi tambahan; *display clear*, *cursor home*, *display on/off*, *cursor on/off*, *display character blink*, *cursor shift*, *display shift*, dan *Internal data*.

Masukan yang diperlukan untuk mengendalikan modul LCD ini berupa *bus* data yang masih termultipleks dengan *bus* alamat serta 3 bit sinyal kontrol, yaitu RS, R/W dan E. Sementara pengendali *dot matrix* LCD dilakukan secara *internal* oleh kontroler yang sudah terpasang pada modul LCD. Gambar 2.30 adalah diagram blok dari LCD M1632.



Gambar 2.30. Diagram Blok LCD Tipe M1632

Sumber: www.delta-electronic.com

Fungsi pin dari LCD M1632 ditunjukkan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Fungsi Pin-pin pada LCD M1632

No Pin	Nama Pin	Fungsi
16	V – BL	Sebagai <i>ground</i> dari <i>backlight</i>
15	V + BL	Sebagai kutub positif dari <i>backlight</i>
7 - 14	DB0– DB7	Merupakan saluran data, berisi perintah dan data yang akan ditampilkan.
6	E	Sinyal operasi awal, sinyal ini mengaktifkan data tulis atau baca
5	R/W	Sinyal seleksi tulis atau baca 0 = tulis, 1 = baca
4	RS	Sinyal pemilih register 0 = register instruksi (tulis) 1 = register data (tulis dan baca)
3	Vlc	Untuk mengendalikan kecerahan LCD dengan mengubah Vlc
2	Vcc	Tegangan catu + 5 volt
1	Vss	Terminal <i>Ground</i>

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk merealisasikan alat yang akan dibuat secara umum adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur
2. Penentuan spesifikasi alat
3. Perealisasiian alat
4. Pengujian alat dan analisis
5. Pengambilan kesimpulan

3.1 Studi Literatur

Literatur yang dibutuhkan adalah dasar teori yang berhubungan dengan alat yang akan dirancang adalah sebagai berikut:

- a. Sensor suhu LM35 dan sensor tekanan *strain gage*
- b. Pengkondisi sinyal
- c. ADC 0804
- d. Sistem mikrokontroler AT89S51
- e. *Driver* pemanas dan *driver* motor
- f. Pemanas dan motor

3.2 Penentuan Spesifikasi Alat

Spesifikasi alat yang akan direalisasikan sebagai berikut:

- a. Sensor suhu LM35 untuk mendeteksi suhu pada alat
- b. Sensor tekanan *strain gage* untuk mendeteksi tekanan dalam alat
- c. Pengkondisi sinyal untuk menguatkan sinyal keluaran sensor suhu dan sensor tekanan
- d. ADC digunakan untuk mengkonversi sinyal analog menjadi sinyal digital
- e. Mikrokontroler AT89S51 sebagai kontroler
- f. Pemanas sebagai *plant*
- g. Arus yang mengalir pada pemanas dikendalikan dengan rangkaian SCR dan Optotriac
- h. Motor sebagai penggerak tabung penampung

- i. *Driver* motor berupa *relay* yang dirangkai dengan rangkaian transistor *Darlington pair*

3.3 Perealisasian Alat

3.3.1 Perancangan Perangkat Keras dan Realisasi Tiap Blok

Langkah-langkahnya sebagai berikut:

- a. Pembuatan blok diagram sistem
- b. Penentuan dan perhitungan komponen yang akan digunakan
- c. Merakit perangkat keras masing-masing blok

3.3.2. Perancangan dan Penyusunan Perangkat Lunak

Setelah mengetahui perangkat keras yang dirancang, dibutuhkan perangkat lunak untuk mengatur kerja dari alat ini. Perangkat lunak dibuat dalam bahasa *assembly*, selanjutnya diterapkan ke dalam mikrokontroler AT89S51.

3.4 Pengujian Alat dan Analisis

Untuk memastikan bahwa sistem berjalan sesuai dengan rencana, maka dilakukan pengujian alat, melalui pengujian perangkat keras per blok rangkaian dan keseluruhan sistem.

3.4.1 Pengujian Perangkat Keras

Pengujian perangkat keras dilakukan untuk menyesuaikan nilai tegangan dan arus yang diijinkan bekerja dalam komponen berdasarkan data sekunder komponen dari buku data komponen elektronika maupun *datasheet*.

3.4.2 Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian sistem secara keseluruhan dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja alat setelah perangkat keras dan perangkat lunak diintegrasikan bersama.

3.4.3 Analisis

Analisis dilakukan berdasarkan hasil yang didapat dari pengujian.

3.5 Pengambilan Kesimpulan

Pengambilan kesimpulan dilakukan berdasarkan analisis. Jika analisis menunjukkan bahwa hasil yang diperoleh telah sesuai dengan spesifikasi yang direncanakan, maka alat telah memenuhi harapan dan memerlukan pengembangan untuk penyempurnaannya.

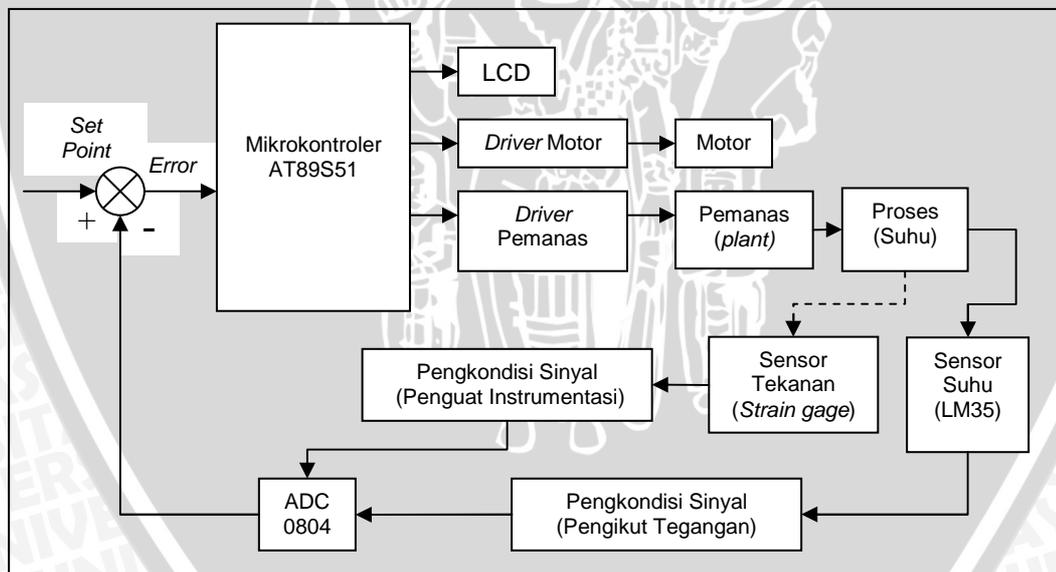
BAB IV PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Alat pengestrak minyak ikan ini dirancang secara blok per blok, agar analisis pada setiap blok dan analisis sistem secara keseluruhan mudah dilakukan. Perancangan alat ini meliputi:

1. Cara kerja alat
2. Perancangan perangkat keras (perancangan mekanik alat, sensor suhu LM35, ADC0804, sensor tekanan *strain gage*, pengkondisi sinyal pada sensor suhu dan *strain gage*, rangkaian mikrokontroler AT89S51, *driver* pemanas, pemanas, *driver* motor, motor DC, LCD)
3. Perancangan perangkat lunak (perancangan kontroler logika *fuzzy* dan perancangan algoritma perangkat lunak).

4.1 Cara Kerja Alat

Blok diagram alat dapat dilihat dalam gambar 4.1 berikut ini.



Gambar 4.1 Blok Diagram Alat
Sumber: Perancangan

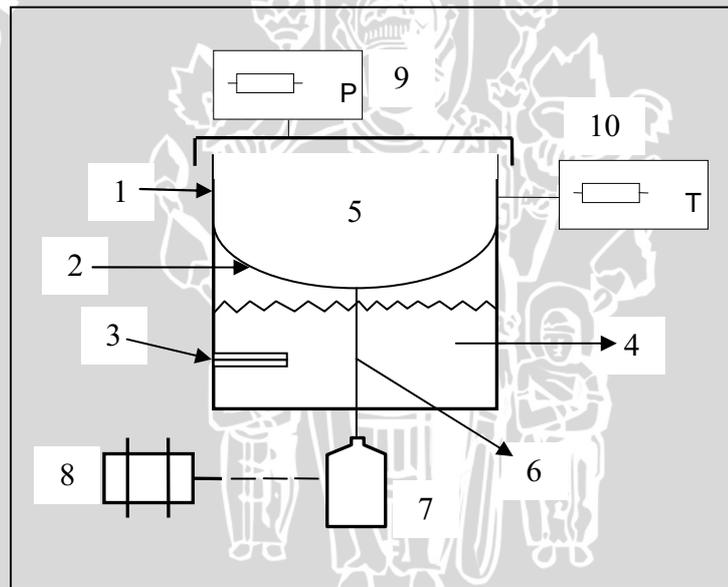
Prinsip kerja alat secara garis besar adalah sebagai berikut:

- Suhu dideteksi oleh sensor suhu LM35. Suhu dibaca oleh sensor dan diubah menjadi besaran elektrik berupa tegangan (analog). *Set point* suhu adalah 70°C.

- Besaran elektrik berupa tegangan (analog) dikonversi oleh *Analog to Digital Converter* (ADC) menjadi data berbentuk data biner (digital). Data ini selanjutnya akan dijadikan masukan bagi mikrokontroler.
- Data dari ADC diolah oleh mikrokontroler. Data ini dimasukkan sesuai dengan *range* yang ada pada masing-masing fungsi keanggotaan, kemudian dilakukan proses fuzzifikasi, inferensi dan defuzzifikasi sehingga dihasilkan besarnya *duty cycle*.
- Arus yang melewati SCR dan optotriac diatur berdasarkan *duty cycle* dari mikrokontroler. SCR mengatur arus yang melewati pemanas.
- Tekanan pada proses dibaca oleh sensor tekanan *strain gage*.

4.2 Perancangan Mekanik Alat

Skema alat ditunjukkan pada gambar 4.2. beserta keterangannya.



Gambar 4.2 Skema Alat
Sumber: Perancangan

Keterangan:

1. Tangki dengan penutup di atasnya.
2. Nampan solid dengan lubang di tengah (untuk dipasang pipa saluran) yang memisahkan ikan dan air di bawahnya.
3. Pemanas (*heater*).
4. Air.
5. Ruang tempat ikan diletakkan.
6. Pipa saluran menuju tabung penampung minyak ikan.
7. Tabung penampung minyak ikan.
8. Motor penggerak tabung penampung.
9. Sensor tekanan (*strain gage*).
10. Sensor suhu (LM35).

4.3 Perancangan Perangkat Keras

4.3.1 Sensor Suhu LM35

Sensor suhu LM35 digunakan untuk membaca suhu pada alat. Besaran fisik berupa suhu ini diubah oleh sensor menjadi besaran listrik berupa tegangan. Sebelum tegangan ini masuk ke ADC, sinyal tegangan dikondisikan dengan pengkondisi sinyal berupa rangkaian pengikut tegangan. Bentuk fisik sensor suhu ini ditunjukkan dalam gambar 4.3.

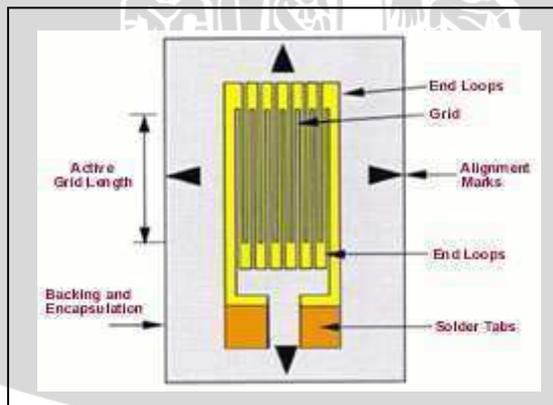


Gambar 4.3 Sensor Suhu LM35

Sumber: <http://christiantotjahyadi.wordpress.com>

4.3.2 Sensor Tekanan (*Strain gage*)

Sensor tekanan (*strain gage*) digunakan untuk mengetahui tekanan di dalam alat. *Strain gage* dirangkai bersama 3 buah resistansi menjadi jembatan Wheatstone. Saat tekanan berubah, maka resistansi *strain gage* berubah. Perubahan resistansi menyebabkan tegangan berubah. Tegangan ini dikondisikan oleh rangkaian penguat instrumentasi sebelum masuk ke ADC. Gambar 4.4 menunjukkan skema *strain gage*.



Gambar 4.4 Sensor Tekanan (*Strain gage*)

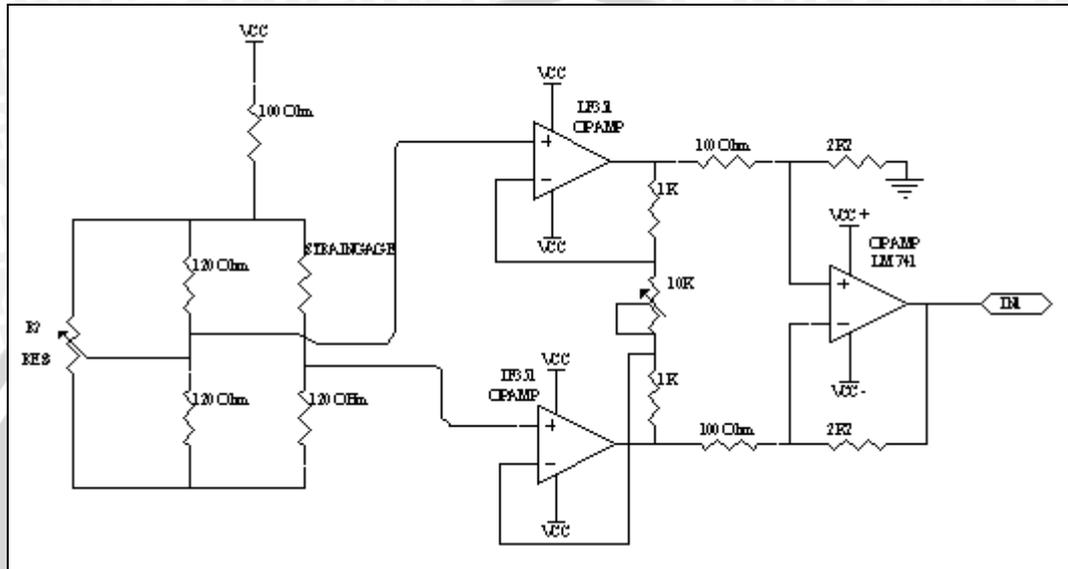
Sumber: <http://web.deu.edu.tr>

4.3.3 ADC 0804

ADC 0804 digunakan untuk mengubah sinyal analog (sinyal listrik) menjadi sinyal digital (biner) dengan tujuan untuk memudahkan pengolahan data bagi mikrokontroler. Rangkaian ADC 0804 ditunjukkan dalam gambar 4.5.

4.3.5 Rangkaian Pengkondisi Sinyal pada Sensor Tekanan

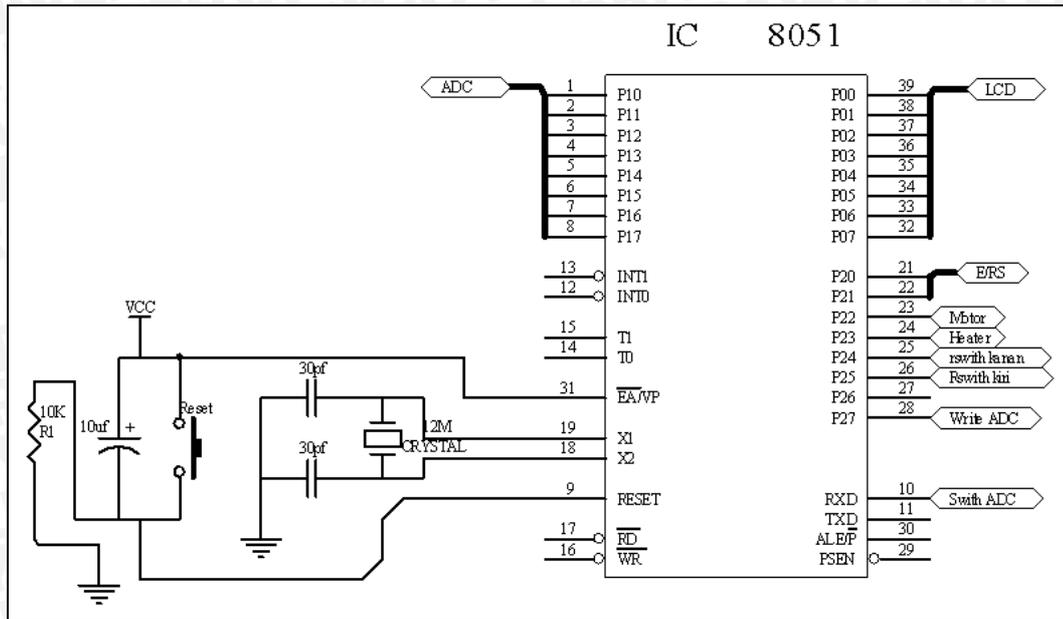
Pengkondisi sinyal yang dipakai untuk sensor tekanan adalah rangkaian penguat instrumentasi. Rangkaian ini diperlukan untuk menghasilkan tegangan yang sesuai sebagai masukan untuk ADC. Pengkondisi sinyal pada sensor tekanan ditunjukkan dalam gambar 4.7.



Gambar 4.7 Rangkaian Pengkondisi Sinyal pada Sensor Tekanan (*strain gage*)
Sumber: Perancangan

4.3.6 Rangkaian Mikrokontroler AT89S51

Pusat pengolahan data yang dipakai pada alat ini adalah mikrokontroler AT89S51. Minimum sistem dari mikrokontroler AT89S51 ditunjukkan dalam gambar 4.8.



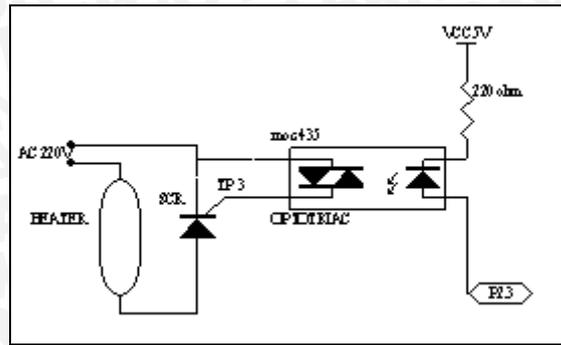
Gambar 4.8 Minimum Sistem Mikrokontroler AT89S51
Sumber: Perancangan

Pin yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Pin 1 sampai 8 (P1.0 – P1.7) dihubungkan dengan ADC.
- Pin 10 (RXD) digunakan untuk *switch* ADC.
- Pin 21 (P2.0) digunakan untuk *clock* LCD (E).
- Pin 22 (P2.1) digunakan untuk *reset/set* LCD (RS).
- Pin 23 (P2.2) digunakan untuk motor.
- Pin 24 (P2.3) digunakan untuk *heater*.
- Pin 25 (P2.4) digunakan untuk *redswitch* kanan.
- Pin 26 (P2.5) digunakan untuk *redswitch* kiri.
- Pin 28 (P2.7) digunakan untuk *write* ADC.
- Pin 32 sampai 39 (P0.7 – P0.0) digunakan untuk LCD.

4.3.7 Rangkaian Driver Pemanas dan Pemanas

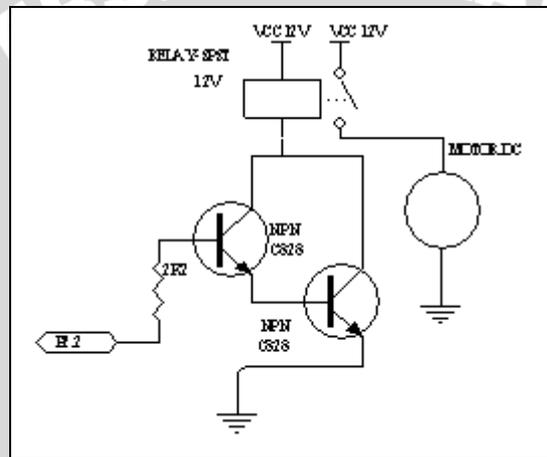
Rangkaian *driver* pemanas dan pemanas terdiri atas rangkaian optotriac dan SCR. Rangkaian ini ditunjukkan dalam gambar 4.9.



Gambar 4.9 Rangkaian *Driver* Pemanas dan Pemanas
Sumber: Perancangan

4.3.8 Rangkaian *Driver* Motor dan Motor DC

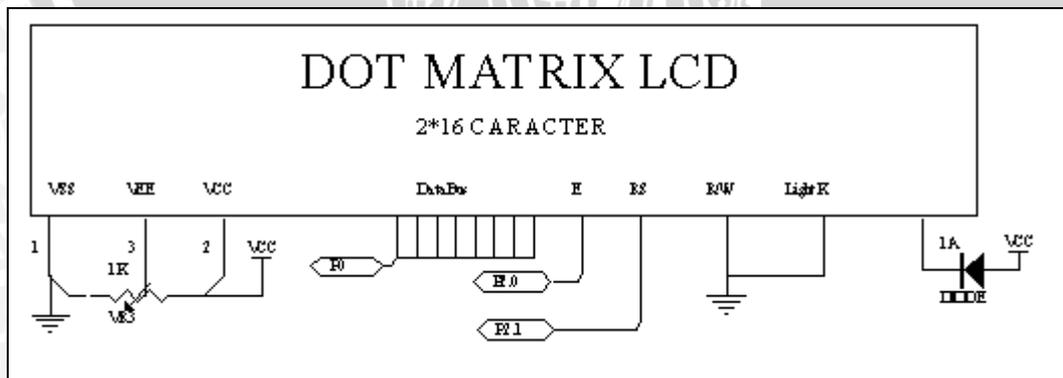
Rangkaian *driver* motor dan motor ditunjukkan dalam gambar 4.10.



Gambar 4.10 Rangkaian *Driver* Motor dan Motor
Sumber: Perancangan

4.3.9 LCD

Rangkaian tampilan LCD ditunjukkan dalam gambar 4.11.



Gambar 4.11 Rangkaian LCD
Sumber: Perancangan

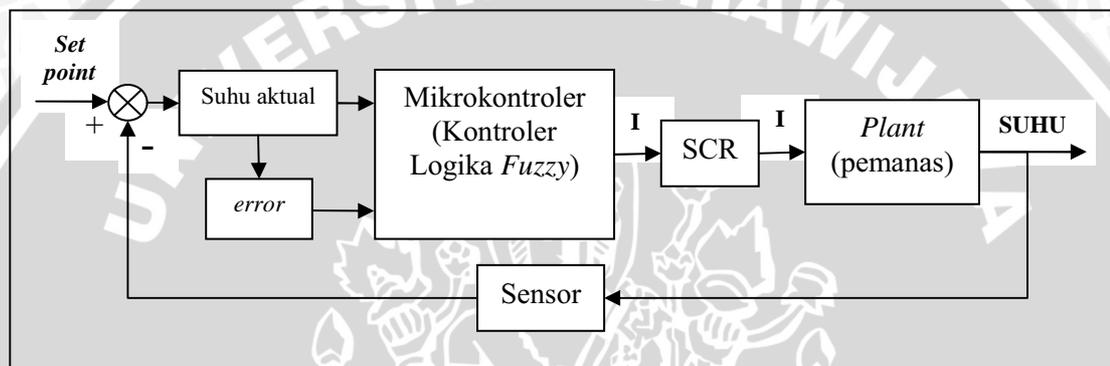
Pin yang digunakan yaitu:

- Data Bus dihubungkan ke pin 32 sampai 39 (P0.7 – P0.0) pada mikrokontroler.
- E/RS dihubungkan ke pin 21 (P2.0) dan pin 22 (P2.1) pada mikrokontroler.

4.4 Perancangan Perangkat Lunak

4.4.1 Perancangan Sistem *Fuzzy*

Blok diagram proses pengendalian menggunakan kontrol logika *fuzzy* ditunjukkan dalam gambar 4.12.



Gambar 4.12 Blok Diagram Pengendali Suhu

Langkah-langkah dalam kontrol logika *fuzzy* adalah sebagai berikut:

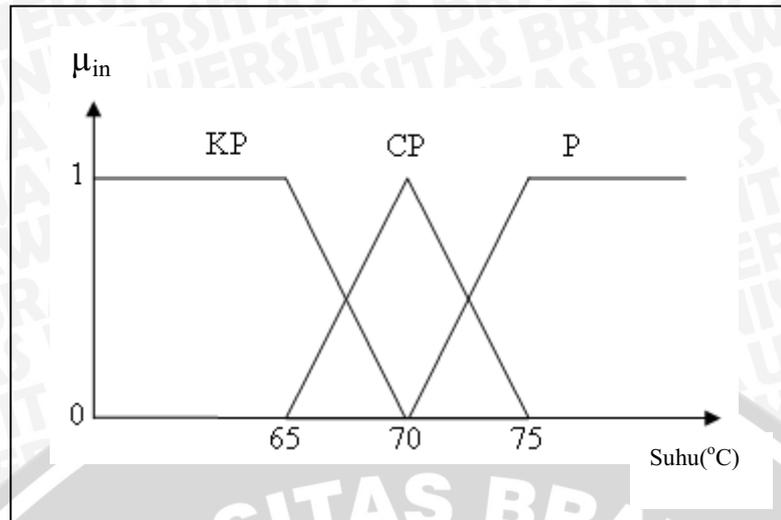
4.4.1.1 Menentukan Variabel Masukan dan Variabel Keluaran

Variabel masukan untuk kontroler logika *fuzzy* ini terdiri atas dua variabel masukan, yaitu suhu aktual dari pembacaan data oleh ADC dan *error* suhu yang terjadi. Sedangkan variabel keluaran berupa % *duty cycle* untuk PWM.

4.4.1.2 Menentukan Jenis Fungsi Keanggotaan Masukan dan Keluaran serta Masing-masing Labelnya

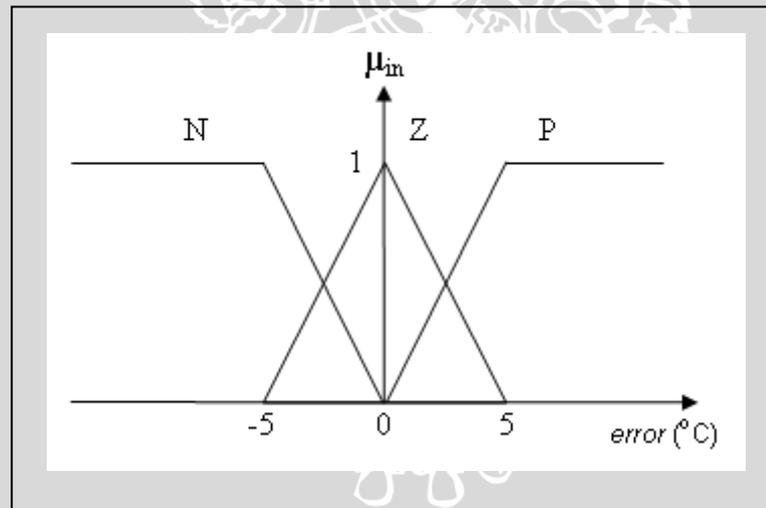
Fungsi keanggotaan masukan berbentuk segitiga dan trapesium. Sedangkan fungsi keanggotaan keluaran berbentuk *singleton*.

Fungsi keanggotaan masukan suhu mempunyai 3 label yaitu Kurang Panas (KP), Cukup Panas (CP) dan Panas (P). Fungsi keanggotaan masukan suhu dapat dilihat dalam gambar 4.13.



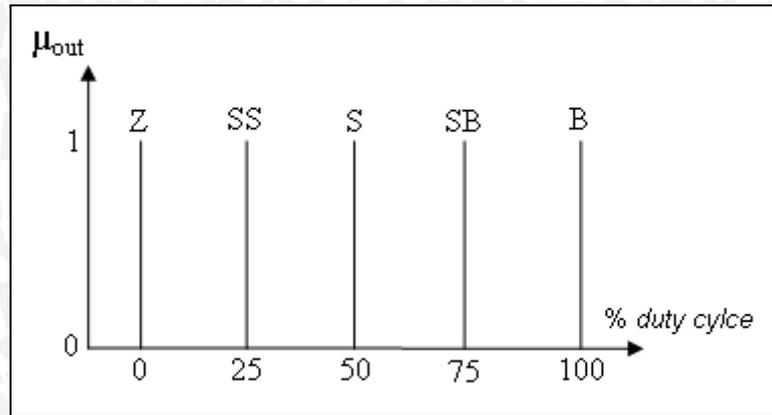
Gambar 4.13 Fungsi Keanggotaan Masukan Suhu

Suhu yang diinginkan adalah 70°C . Sehingga *set point* untuk *error* adalah 0. Fungsi keanggotaan masukan *error* mempunyai 3 label yaitu *Negative* (N), *Zero* (Z) dan *Positive* (P). Fungsi keanggotaan masukan *error* suhu dapat dilihat dalam gambar 4.14.



Gambar 4.14 Fungsi Keanggotaan Masukan *error* Suhu

Fungsi keanggotaan keluaran berbentuk *singleton* yang terdiri dari 5 label yaitu *Zero* (Z) untuk *duty cycle* 0 %, *Small Small* (SS) untuk *duty cycle* 25 %, *Small* (S) untuk *duty cycle* 50 %, *Small Big* (SB) untuk *duty cycle* 75 % dan *Big* (B) untuk *duty cycle* 100 %. Fungsi keanggotaan keluaran ditunjukkan dalam gambar 4.15.

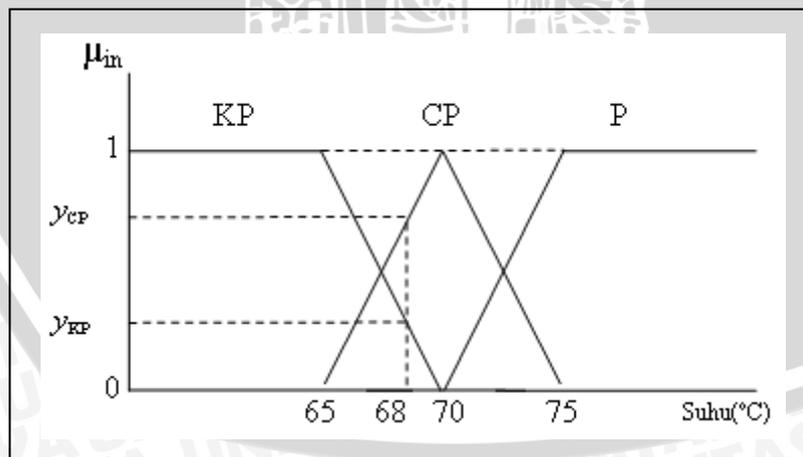


Gambar 4.15 Fungsi Keanggotaan Keluaran

4.4.1.3 Fuzzifikasi

Fuzzifikasi adalah proses mengubah besaran bukan *fuzzy* (*crisp*) ke besaran *fuzzy*, untuk mendapatkan derajat fungsi keanggotaan. Proses fuzzifikasi dimulai dengan cara memetakan nilai masukan sistem (*crisp*) ke dalam fungsi keanggotaan masukan untuk menentukan nilai kebenaran untuk setiap label fungsi keanggotaan. Dari proses ini akan didapatkan masukan *fuzzy*.

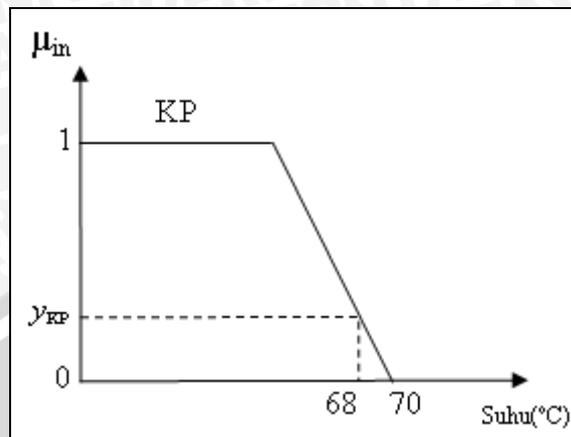
Masukan *crisp* pertama pada perancangan ini adalah pembacaan suhu oleh sensor. Pembacaan suhu yang berupa nilai *crisp* berada pada sumbu mendatar, selanjutnya dari nilai ini ditarik garis vertikal hingga memotong fungsi keanggotaan masukan. Dalam gambar 4.16 ditunjukkan fuzzifikasi untuk nilai *crisp* suhu 68°C.



Gambar 4.16 Fuzzifikasi Nilai *Crisp* 68°C dengan Derajat Keanggotaan yang Belum Diketahui

Suhu 68°C memotong fungsi keanggotaan masukan pada dua titik, yaitu pada grafik KP (Kurang Panas) dan CP (Cukup Panas). Nilai kebenaran suhu

68°C dihitung dengan cara memasukkan nilai 68 ke dalam persamaan garis yang berpotongan dengan nilai 68.



Gambar 4.17 Nilai *crisp* 68°C Memotong Grafik KP

Pada grafik KP, seperti ditunjukkan dalam gambar 4.17, persamaan garis yang berpotongan dengan nilai 68 adalah

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$$

$$A = (65, 1)$$

$$B = (70, 0)$$

$$\frac{y - 1}{0 - 1} = \frac{x - 65}{70 - 65}$$

$$\frac{y - 1}{-1} = \frac{x - 65}{5}$$

$$5y - 5 = 65 - x$$

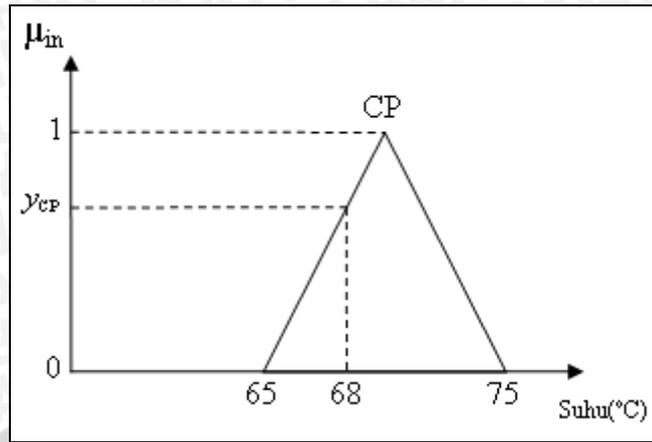
$$y = 14 - \frac{1}{5}x$$

Jika $x = 68$, maka

$$y_{KP} = 14 - \frac{1}{5} \cdot 68$$

$$y_{KP} = 14 - 13,6$$

$$y_{KP} = 0,4$$



Gambar 4.18 Nilai crisp 68°C Memotong Grafik CP

Dengan cara yang sama, pada grafik CP, seperti ditunjukkan dalam gambar 4.18, persamaan garis yang berpotongan dengan nilai 68 adalah

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$$

$$A = (65, 0)$$

$$B = (70, 1)$$

$$\frac{y - 0}{1 - 0} = \frac{x - 65}{70 - 65}$$

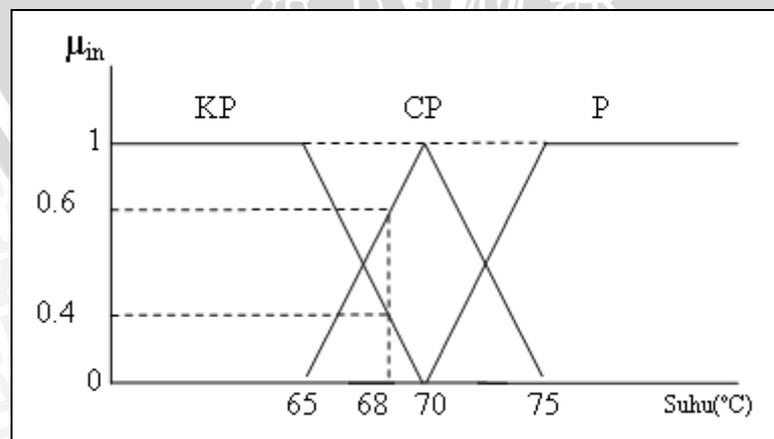
$$y = \frac{x - 65}{5}$$

Jika $x = 68$, maka

$$y_{CP} = \frac{68 - 65}{5}$$

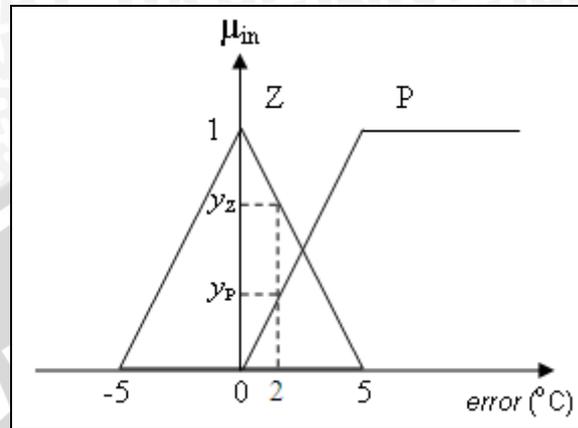
$$y_{CP} = 0,6$$

Setelah nilai y_{KP} dan y_{CP} diketahui, grafik fungsi keanggotaan masukan suhu pada suhu 68°C ditunjukkan dalam gambar 4.19.



Gambar 4.19 Fuzzifikasi Nilai Crisp 68°C dengan Derajat Keanggotaan yang Telah Diketahui

Masukan *crisp* berikutnya adalah *error* suhu yang terjadi. Sebagai contoh diambil *error* 2°C. Seperti pada fungsi keanggotaan suhu, nilai *crisp error* 2°C memotong fungsi keanggotaan *error* pada dua titik, yaitu pada grafik Z (*Zero*) dan P (*Positive*), seperti ditunjukkan dalam gambar 4.20.



Gambar 4.20 Fuzzifikasi Nilai *Error* 2°C dengan Derajat Keanggotaan yang Belum Diketahui

Persamaan garis grafik Z (*Zero*) yang dipotong oleh nilai *error* 2°C adalah

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$$

$$A = (0, 1)$$

$$B = (5, 0)$$

$$\frac{y - 1}{0 - 1} = \frac{x - 0}{5 - 0}$$

$$\frac{y - 1}{-1} = \frac{x}{5}$$

$$5y - 5 = -x$$

$$y = -\frac{1}{5}x + 1$$

Jika $x = 2$, maka

$$y_z = -\frac{1}{5} \cdot 2 + 1$$

$$y_z = 0.6$$

Sedangkan persamaan garis grafik P (*Positive*) yang dipotong oleh nilai *error* 2°C adalah

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$$

$$A = (0,0)$$

$$B = (5,1)$$

$$\frac{y - 0}{1 - 0} = \frac{x - 0}{5 - 0}$$

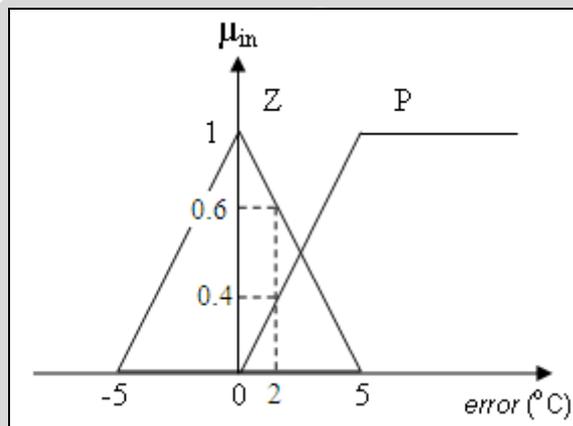
$$y = \frac{x}{5}$$

Jika $x = 2$, maka

$$y_p = \frac{2}{5}$$

$$y_p = 0.4$$

Setelah nilai y_z dan y_p diketahui, grafik fungsi keanggotaan masukan *error* 2°C ditunjukkan dalam gambar 4.21.



Gambar 4.21 Fuzzifikasi Nilai *Error* 2°C dengan Derajat Keanggotaan yang Telah Diketahui

4.4.1.4 Rule Evaluation

Rule evaluation berfungsi untuk menentukan keluaran *fuzzy* dari masukan *fuzzy* yang didapat dalam proses fuzzifikasi. *Rule evaluation* dilakukan berdasarkan aturan linguistik atau disebut juga kaidah atur.

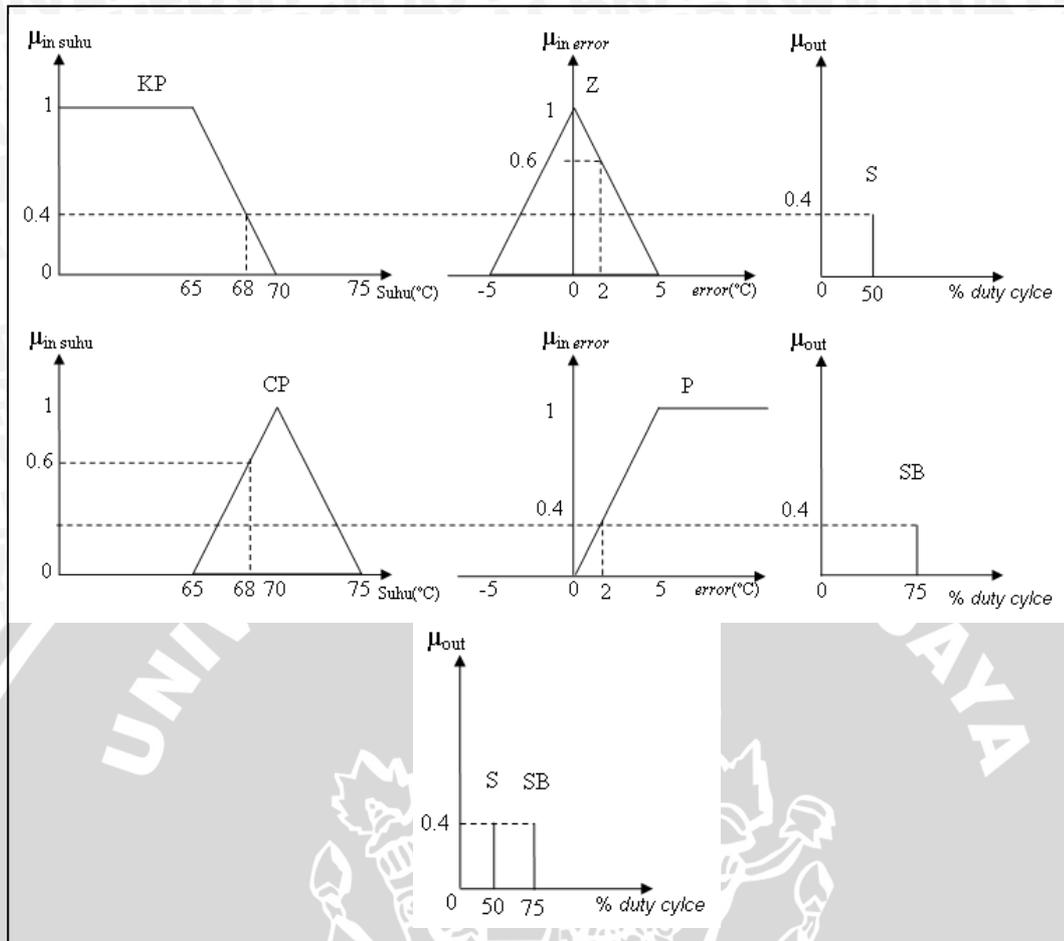
Kaidah atur kontrol logika *fuzzy* didasarkan pada bentuk Jika-Maka (IF-THEN). Kaidah atur yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1 Kaidah Atur

<i>error</i>	N	Z	P
SUHU			
KP	Z	S	B
CP	SS	S	SB
P	Z	S	Z

- Jika suhu Kurang Panas dan *error* adalah *Negative* maka *duty cycle* adalah *Zero*
- Jika suhu Kurang Panas dan *error* adalah *Zero* maka *duty cycle* adalah *Small*
- Jika suhu Kurang Panas dan *error* adalah *Positive* maka *duty cycle* adalah *Big*
- Jika suhu Cukup Panas dan *error* adalah *Negative* maka *duty cycle* adalah *Small Small*
- Jika suhu Cukup Panas dan *error* adalah *Zero* maka *duty cycle* adalah *Small*
- Jika suhu Cukup Panas dan *error* adalah *Positive* maka *duty cycle* adalah *Small Big*
- Jika suhu Panas dan *error* adalah *Negative* maka *duty cycle* adalah *Zero*
- Jika suhu Panas dan *error* adalah *Zero* maka *duty cycle* adalah *Small*
- Jika suhu Panas dan *error* adalah *Positive* maka *duty cycle* adalah *Zero*

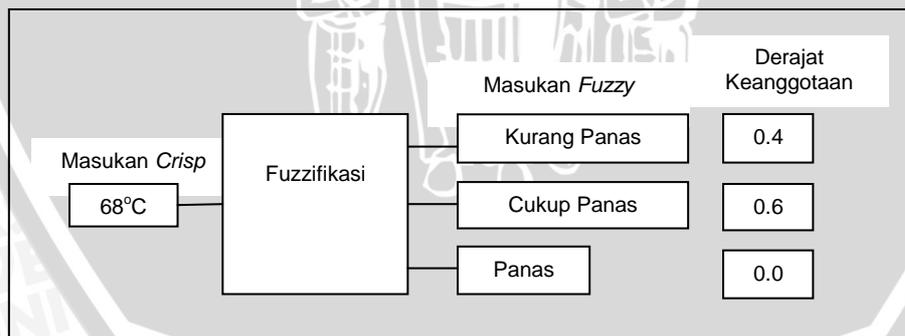
Inferensi merupakan proses untuk mendapatkan keluaran *fuzzy* dari kondisi-kondisi masukan berdasarkan kaidah atur yang telah ditetapkan. Bentuk keluaran *fuzzy* ini berupa derajat keanggotaan keluaran. Metode inferensi yang digunakan adalah metode max-min. Aturan implikasi *fuzzy* yang digunakan dalam metode ini adalah operasi minimum Mamdani. Dalam gambar 4.22 ditunjukkan proses inferensi untuk masukan suhu 68°C dengan *error* 2°C.



Gambar 4.22 Metode Inferensi untuk Masukan Suhu 68°C dengan error 2°C

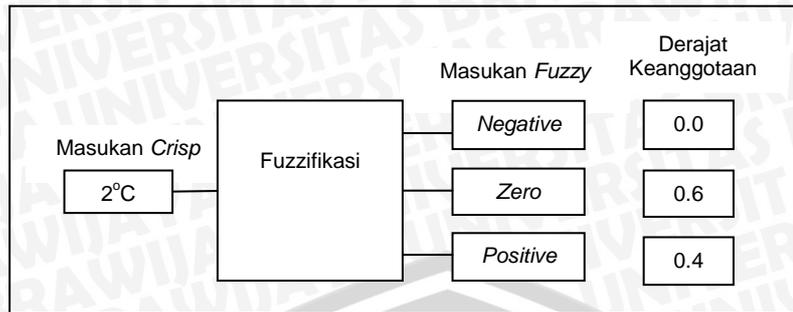
Proses inferensi dalam gambar 4.22 dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Hasil proses fuzzifikasi suhu 68°C ditunjukkan dalam gambar 4.23.



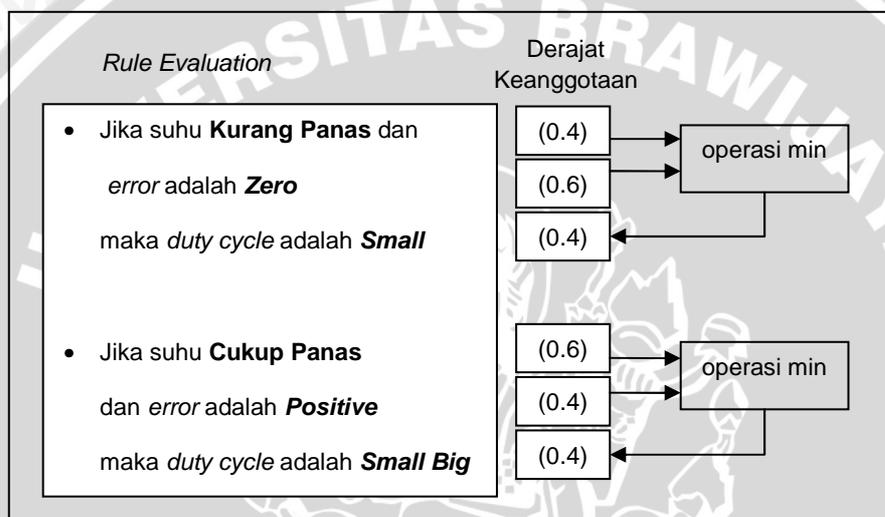
Gambar 4.23 Hasil Fuzzifikasi Suhu 68°C

2. Hasil proses fuzzifikasi error suhu 2°C ditunjukkan dalam gambar 4.24.



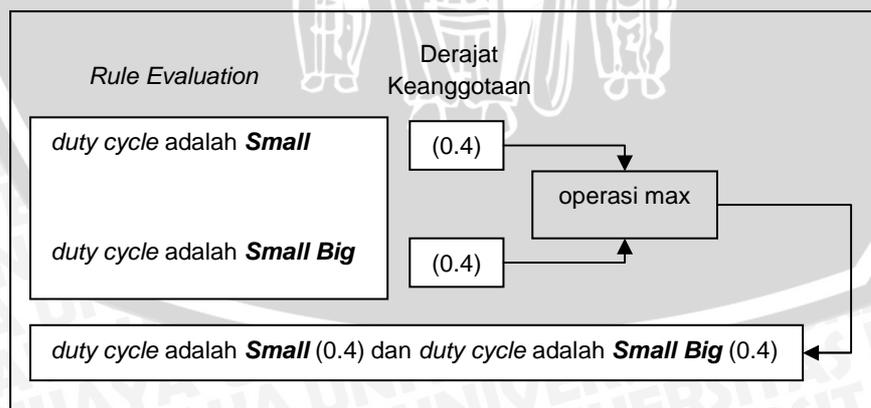
Gambar 4.24 Hasil Fuzzifikasi Error 2°C

- Kedua hasil fuzzifikasi ini dibandingkan dan disesuaikan dengan kaidah atur pada tabel 4.1, seperti ditunjukkan dalam gambar 4.25.



Gambar 4.25 Operasi Min

- Selanjutnya dilakukan operasi max terhadap hasil dari operasi min (*duty cycle Small* dan *Small Big*), seperti ditunjukkan dalam gambar 4.26.



Gambar 4.26 Operasi Max

4.4.1.5 Defuzzifikasi

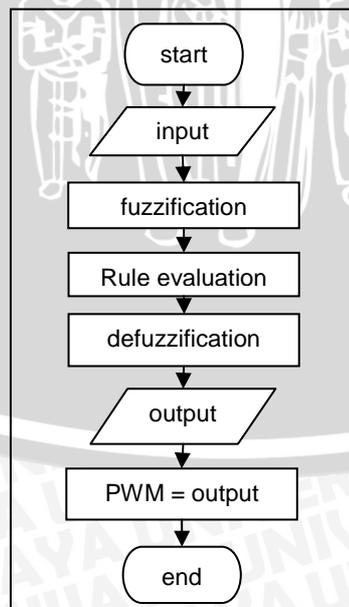
Defuzzifikasi adalah proses untuk mengubah keluaran *fuzzy* menjadi keluaran *crisp*. Pada alat ini, hasil dari defuzzifikasi berperan dalam mengatur besar % *duty cycle*. Metode defuzzifikasi yang digunakan adalah COA (*Center of Area*). Defuzzifikasi untuk masukan suhu 68°C dan *error* 2°C dapat dihitung sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 U &= \frac{\sum_{i=1}^n w_i u_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \\
 &= \frac{0.4 \times S + 0.4 \times SB}{0.4 + 0.4} \\
 &= \frac{0.4 \times 25\% + 0.4 \times 75\%}{0.4 + 0.4} \\
 &= \frac{10\% + 30\%}{0.8} \\
 &= 50\%
 \end{aligned}$$

Saat masukan suhu 68°C dan *error* 2°C maka keluaran PWM adalah 50% dari *duty cycle*.

4.4.2 Perancangan Algoritma Perangkat Lunak

Perancangan algoritma perangkat lunak pengendali suhu pada alat ini ditunjukkan dalam gambar 4.27.



Gambar 4.27 Diagram Alir Program Pengendalian Suhu pada Pengekstrak Ikan

BAB V

PENGUJIAN ALAT

Pengujian alat ini bertujuan untuk menentukan apakah alat yang dibuat telah berfungsi dengan baik dan sesuai dengan perencanaan. Pengujian ini meliputi pengujian setiap blok maupun pengujian secara keseluruhan. Pengujian setiap blok ini dilakukan untuk mempermudah analisis apabila alat tidak bekerja sesuai dengan perencanaan.

5.1 Pengujian Perangkat Keras

5.1.1 Pengujian Minimum Sistem Mikrokontroler

a. Tujuan

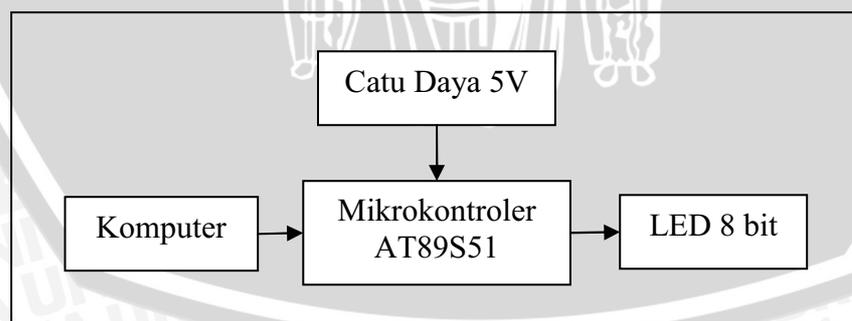
Mengetahui kondisi awal dari sistem mikrokontroler agar sesuai dengan yang diharapkan.

b. Peralatan

- komputer dan kabel penghubungnya
- minimum sistem mikrokontroler AT89S51
- lampu LED mewakili keluaran 8 bit
- catu daya 5 volt

c. Langkah Pengujian

- merangkai peralatan seperti Gambar 5.1. Keluaran terhubung dengan LED yang mewakili keluaran 8 bit



Gambar 5.1 Blok Diagram Pengujian Mikrokontroler

- mengisi mikrokontroler dengan program sederhana yaitu dengan mengeluarkan 0FH dan F0H pada Port A, kemudian di-*download* pada mikrokontroler AT89S51
- mengaktifkan catu daya

- mencatat data keluaran yang di wakili oleh lampu LED 8 bit ke dalam bentuk biner

d. Hasil Pengujian dan Analisis

Tabel 5.1. Hasil Pengujian Sistem Mikrokontroler

Kondisi	Keluaran pada LED display							
	Bit 0	Bit 1	Bit 2	Bit 3	Bit 4	Bit 5	Bit 6	Bit 7
I	1	1	1	1	0	0	0	0
II	0	0	0	0	1	1	1	1

Dari tabel terlihat bahwa Port A memberikan logika 0FH dan F0H secara bergantian sesuai dengan isi program. Dengan demikian rangkaian minimum sistem mikrokontroler AT89S51 sudah bisa bekerja dengan baik.

5.1.2. Pengujian Sensor Suhu LM35

a. Tujuan

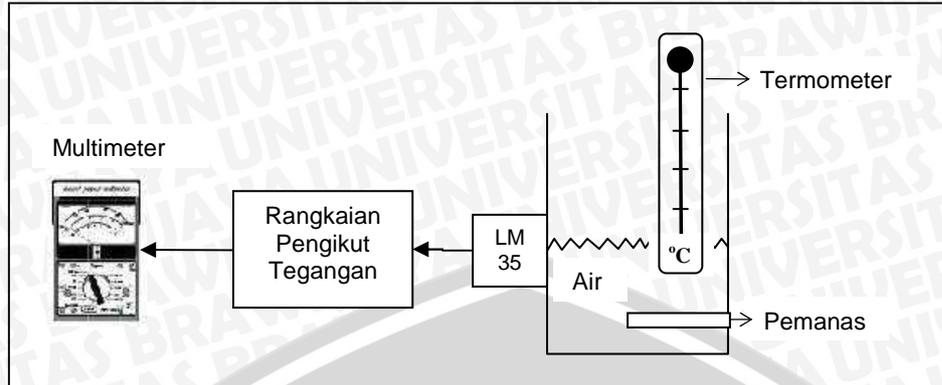
Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui respon sensor suhu LM35 pada alat pengestrak.

b. Peralatan

- rangkaian sensor suhu
- multimeter
- pemanas (*heater*)
- termometer

c. Langkah Pengujian

- merangkai peralatan seperti Gambar 5.2. Keluaran dari rangkaian sensor suhu dihubungkan dengan rangkaian pengikut tegangan, selanjutnya dihubungkan ke multimeter



Gambar 5.2 Blok Diagram Pengujian Sensor Suhu

- menyalakan pemanas
- mengamati perubahan suhu pada termometer dan tegangan pada multimeter
- mengambil data suhu dari termometer dan data tegangan dari multimeter

Jika respon sensor suhu baik, maka setiap perubahan suhu 1°C , keluaran sensor akan berubah $\pm 10\text{ mV}$.

d. Hasil Pengujian dan Analisis

Hasil dari pengukuran suhu dan tegangan pada saat pengujian dapat dilihat dalam tabel 5.2. Pada tabel tersebut juga disertakan data nilai tegangan berdasarkan perhitungan.

Tabel 5.2. Hasil Pengujian Rangkaian Sensor Suhu

No	Suhu (°C)	Tegangan Keluaran (mV)		Penyimpangan (%)
		Pengukuran	Perhitungan	
1	30	296	300	1.33
2	35	344	350	1.71
3	40	398	400	0.5
4	45	445	450	1.11
5	50	497	500	0.6
6	55	549	550	0.18
7	60	598	600	0.33
8	65	646	650	0.62
9	70	699	700	0.14
10	75	748	750	0.27
Rata-rata penyimpangan				0.68

Prosentase penyimpangan hasil pengukuran terhadap hasil perhitungan dihitung sebagai berikut:

$$\% \text{penyimpangan} = \left| \frac{V_{\text{perhitungan}} - V_{\text{pengukuran}}}{V_{\text{perhitungan}}} \right| \times 100\%$$

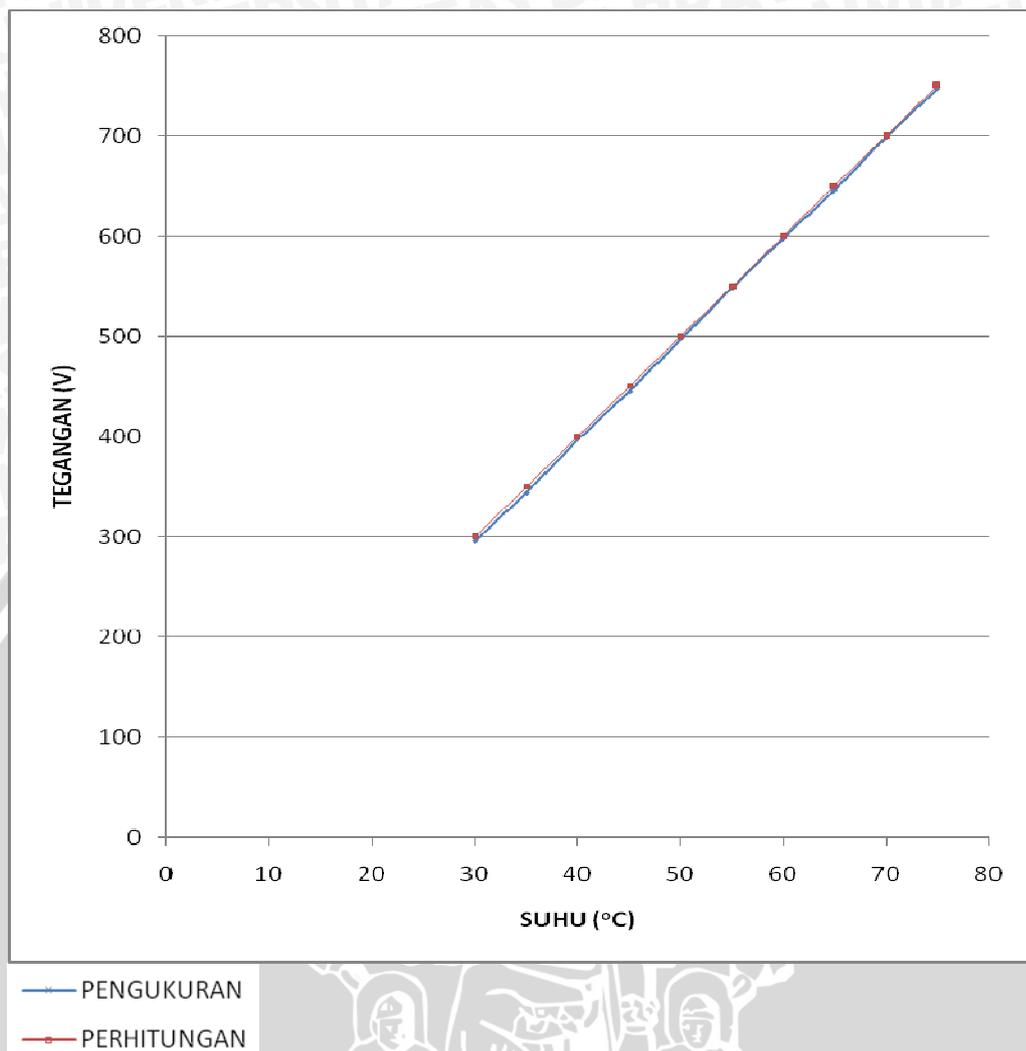
Contoh perhitungan prosentase penyimpangan pada suhu 40°C:

$$\% \text{penyimpangan} = \left| \frac{400 - 398}{400} \right| \times 100\% = 0,5\%$$

Rata-rata penyimpangan dihitung dengan:

$$\text{rata-rata penyimpangan} = \frac{\sum \text{penyimpangan}(\%)}{\text{banyak data}} = \frac{6,799\%}{10} = 0,68\%$$

Gambar 5.3 menunjukkan grafik perubahan tegangan terhadap perubahan suhu. Grafik ini dibuat berdasarkan data dalam tabel 5.2.



Gambar 5.3 Grafik Perubahan Tegangan terhadap Perubahan Suhu

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa tegangan keluaran sensor suhu terhadap perubahan suhu mendekati linier.

5.1.3. Pengujian Sensor Tekanan

a. Tujuan

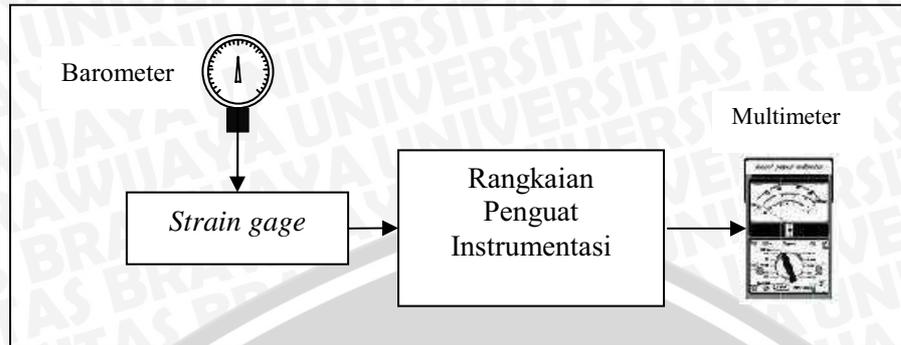
Tujuan pengujian sensor tekanan adalah untuk mengetahui respon sensor terhadap lama pemanasan yang berlangsung.

b. Peralatan

- barometer
- alat pengestrak
- multimeter

c. Langkah Pengujian

- merangkai blok pengujian rangkaian seperti pada gambar 5.4.



Gambar 5.4 Blok Diagram Pengujian Sensor Tekanan

- mengaktifkan catu daya alat
 - membiarkan pemanas aktif sampai batas waktu 40 menit
 - mencatat nilai penunjukan barometer dan tegangan pada multimeter
- d. Hasil Pengujian dan Analisis

Hasil pengujian dapat dilihat dalam tabel 5.3.



Tabel 5.3. Hasil Pengujian Sensor Tekanan

Waktu (menit)	Tekanan (Pa)	Tegangan (V)
0	0	0
2	20	0.3
4	30	0.4
6	50	0.6
8	45	0.5
10	80	0.9
12	110	1.1
14	90	1.0
16	130	1.5
18	120	1.4
20	140	1.6
22	130	1.4
24	160	1.9
26	180	2
28	220	2.3
30	200	2.2
32	230	2.6
34	220	2.5
36	240	2.7
38	280	3.3
40	300	3.5

Dari tabel 5.3 dapat kita lihat bahwa dengan bertambahnya waktu pemanasan, maka terjadi perubahan tekanan. Begitu juga dengan tegangan yang terbaca pada multimeter. Semakin lama waktu pemanasan, semakin besar tekanan yang dihasilkan. Namun perubahan ini tidak stabil dan tidak dapat diprediksikan.

5.1.4. Pengujian LCD

Pengujian LCD bertujuan untuk mengetahui baik buruknya kondisi LCD yang dipakai. Pengujian dilakukan dengan cara menampilkan karakter pada LCD. Agar dapat menampilkan karakter ke dalam LCD, maka perlu dibantu dengan

perangkat lunak. Gambar 5.5 menunjukkan hasil pengujian LCD setelah diberikan masukan karakter melalui perangkat lunak.



Gambar 5.5 Hasil Pengujian LCD

5.1.5. Pengujian Rangkaian Driver Motor

a. Tujuan

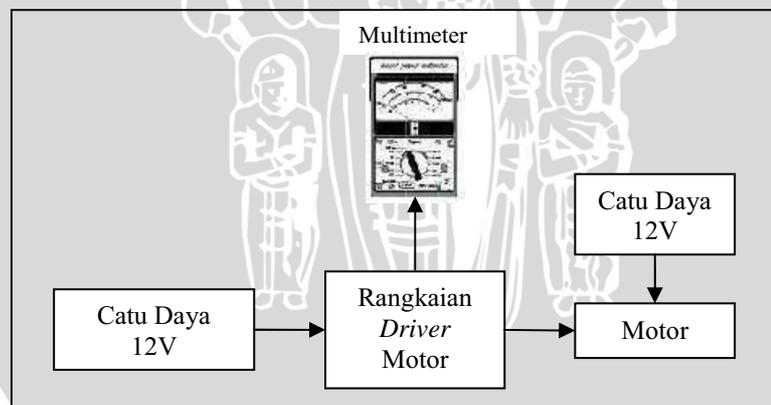
Tujuan pengujian rangkaian *driver* motor adalah untuk mengetahui apakah *driver* motor ini dapat bekerja dengan baik, yaitu mengaktifkan dan mematikan motor.

b. Peralatan

- catu daya 12V untuk rangkaian *driver* motor
- *driver* motor
- motor dengan catu daya 12V
- multimeter

c. Langkah Pengujian

- merangkai blok pengujian seperti dalam gambar 5.6.



Gambar 5.6 Blok Diagram Pengujian *Driver* Motor

- memberikan tegangan masukan pada rangkaian *driver* motor dan motor
- mengamati aktif atau tidaknya motor, serta mencatat tegangan yang terbaca pada multimeter

d. Hasil Pengujian dan Analisis

Data hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 5.4.

Tabel 5.4. Hasil Pengujian *Driver* Motor

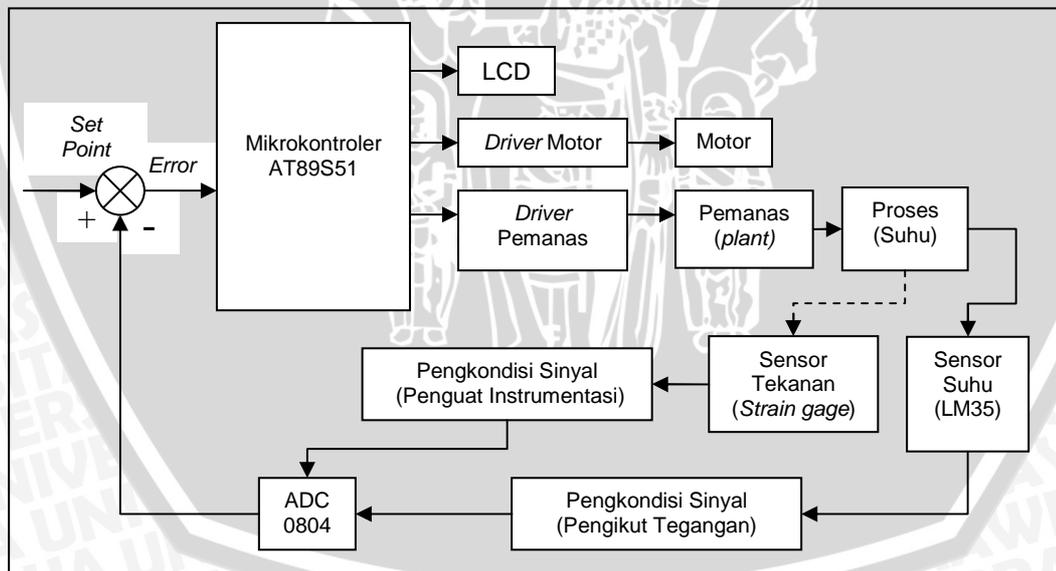
Tegangan Masukan (V_{DC})	Tegangan Keluaran Motor (V_{DC})	Kondisi Motor
12	12	Aktif
0	0	Tidak Aktif

Dari tabel 5.5 dapat diketahui bahwa jika diberi tegangan masukan sebesar 12V, maka motor akan aktif. Dan jika diberi tegangan masukan 0V, maka motor tidak aktif. Sehingga dapat disimpulkan bahwa *driver* motor bekerja sesuai dengan perencanaan.

5.2. Pengujian Sistem secara Keseluruhan

a. Tujuan

Pengujian sistem secara keseluruhan ini bertujuan untuk mengetahui apakah pengujian rangkaian dari setiap blok di atas dapat membentuk suatu sistem yang diharapkan. Melalui pengujian ini juga dapat diketahui apakah alat yang dirancang telah bekerja sesuai dengan prinsip kerja yang direncanakan. Blok diagram pengujian sistem secara keseluruhan ditunjukkan dalam gambar 5.7.



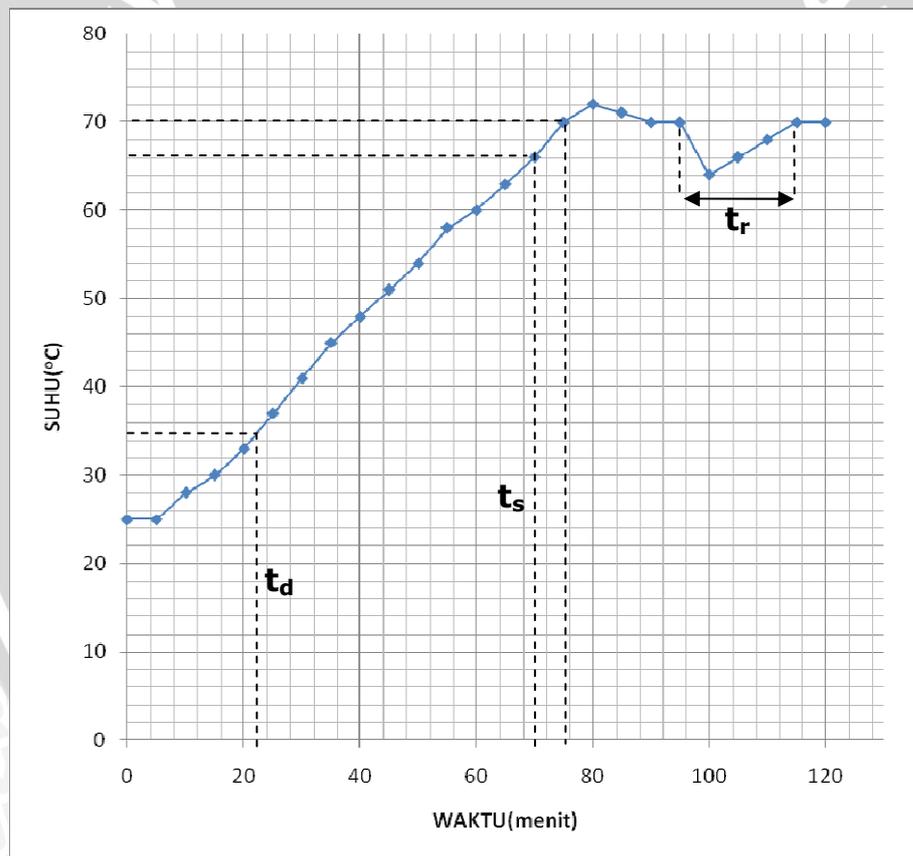
Gambar 5.7 Blok Diagram Pengujian Sistem secara Keseluruhan

b. Peralatan:

- catu daya 5V untuk mikrokontroler
- minimum sistem mikrokontroler AT89S51
- *driver* pemanas

- pemanas dengan catu daya 220V
 - *driver* motor
 - motor dengan catu daya 12V
 - multimeter
- c. Langkah Pengujian
- menggabungkan seluruh perangkat keras dan programnya dengan mekanik otomatisasi
 - menghidupkan saklar catu daya dan memastikan alat telah aktif
 - mengamati dan mencatat hasil pengujian
- d. Hasil Pengujian dan Analisis

Hasil pengujian sistem saat diberi gangguan dapat dilihat dalam tabel 5.8.



Gambar 5.8 Grafik Respon Suhu terhadap Waktu

Dari grafik pada gambar didapatkan data sebagai berikut:

1. Respon mencapai *steady state* dalam waktu 75 menit pada suhu 70°C.
2. *Delay time* (t_d) adalah waktu yang diperlukan oleh respon untuk pertama kali mencapai setengah nilai akhir.

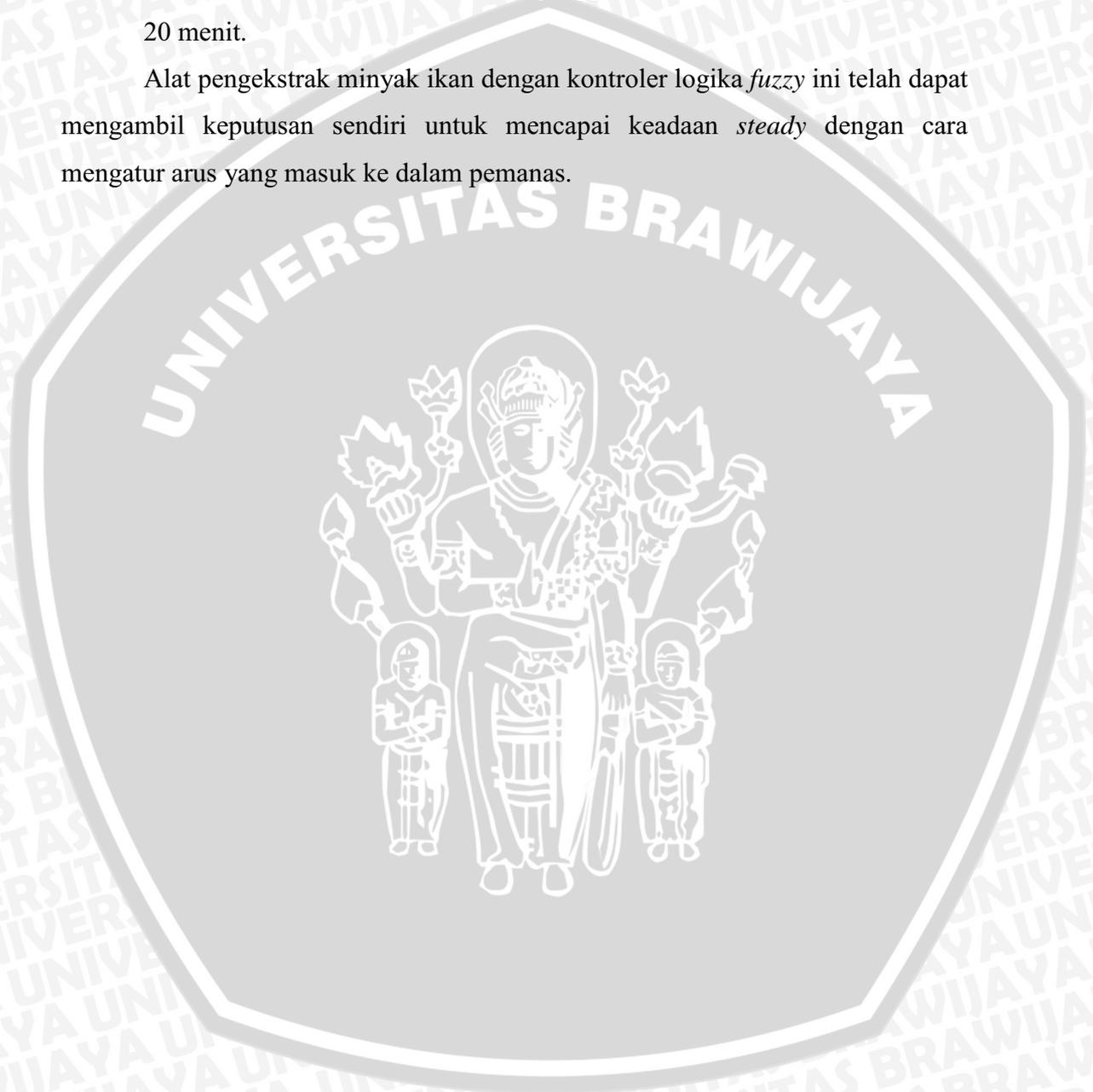
t_d yang didapatkan dari pengujian adalah 22,5 menit.

3. *Settling time* (t_s) adalah waktu yang diperlukan oleh respon untuk mencapai dan menetap pada 2% atau 5% dari nilai akhir.

t_s yang didapatkan dari pengujian yaitu 70 menit.

4. Nilai *recovery time* (t_r) saat diberi gangguan (ditambah air dingin) adalah 20 menit.

Alat pengekstrak minyak ikan dengan kontroler logika *fuzzy* ini telah dapat mengambil keputusan sendiri untuk mencapai keadaan *steady* dengan cara mengatur arus yang masuk ke dalam pemanas.



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil setelah melakukan penelitian, perancangan, pembuatan alat dan pengujian alat adalah:

1. Alat pengestrak minyak ikan ini mencapai keadaan mantap (*steady state*) sesuai dengan *set point*, yaitu pada suhu 70°C dalam waktu 75 menit, dengan kandungan minyak ikan sebesar 0,037% dan 0,098%.
2. Dengan kontroler logika *fuzzy*, alat pengestrak minyak ikan dapat mengambil keputusan sendiri. Saat diberi gangguan, *recovery time* yang diperlukan sistem sebesar 20 menit.

6.2 Saran

Dalam perancangan dan pembuatan alat ini masih terdapat kelemahan dan kekurangan. Saran-saran untuk penyempurnaan kinerja alat dan pengembangan lebih lanjut adalah sebagai berikut:

1. Pemanas yang digunakan pada alat ini dapat diganti dengan pemanas yang lebih baik, yaitu yang lebih cepat panas.
2. Kontroler yang digunakan dapat diganti dengan kontroler yang lain, agar dapat dicapai performansi sistem yang lebih baik.
3. Mekanika alat dapat diperbaiki dengan penutup yang lebih rapat dan peletakan saluran penampung yang lebih efisien, atau dengan mencoba menggunakan mekanika alat yang berbeda.
4. Perlu adanya penelitian lebih lanjut jika dibutuhkan kapasitas alat yang lebih besar (untuk skala industri).

DAFTAR PUSTAKA

- Afifah, D.N. 2008. *Ikan dan Hasil Perikanan Lainnya*. <http://sosekstore-perikananub.blogspot.com/2009/05/minyak-ikan-minyak-ikan-diperoleh.html> (diakses 22 November 2009).
- Anonymous. 1995. *Extraction*. <http://www.lipidlibrary.co.uk/topics/extract/file.pdf> (diakses 10 April 2010)
- Atmel Corp. 2008. *8-bit Microcontroller with 4K Bytes In-System Programmable Flash AT89S51*. www.atmel.com/AT89S51.pdf (diakses 19 Mei 2010).
- Coughlin, Robert F, Prisco, Frederick. 1992. *Penguat Operasional dan Rangkaian Terpadu Linier*. Jakarta: Erlangga.
- Fathir, Fuad. 27 Februari 2009. *Pembuatan Minyak Ikan*. http://fuadfathir.multiply.com/journal/item/4/Pembuatan_Minyak_Ikan (diakses 22 November 2009).
- Fitriani, Asih. 2006. *Profil Asam Lemak Omega-3 dalam Hati Ikan Manyung (Arius Thalassinus) yang Mengalami Pemanasan Pendauluan (Blanching)*. Tugas Akhir II. Semarang: FMIPA UNNES
- Kilian, C.T. 1996. *Modern Control Technology: Components and Systems*, 2nd Edition. Online Edition. Delmar.
- Malvino, A.P. 1994. *Prinsip-prinsip Elektronika*, Edisi Ketiga Jilid 1. Jakarta: Erlangga.
- National Semiconductor. 1999. *LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors*. www.national.com/LM35.pdf (diakses 20 Mei 2010)
- Nettleton, J.A. 1995. *Omega-3 Fatty Acids and Health*. New York: Chapman and Hall.
- Ogata, Katsuhiko. 1997. *Modern Control Engineering*, Third Edition. New Jersey: Prentice Hall.
- Philips Semiconductors. 2002. *Datasheet ADC0803/0804 CMOS 8-bit A/D Converters*. www.datasheetcatalog.com (diakses 10 Mei 2010)

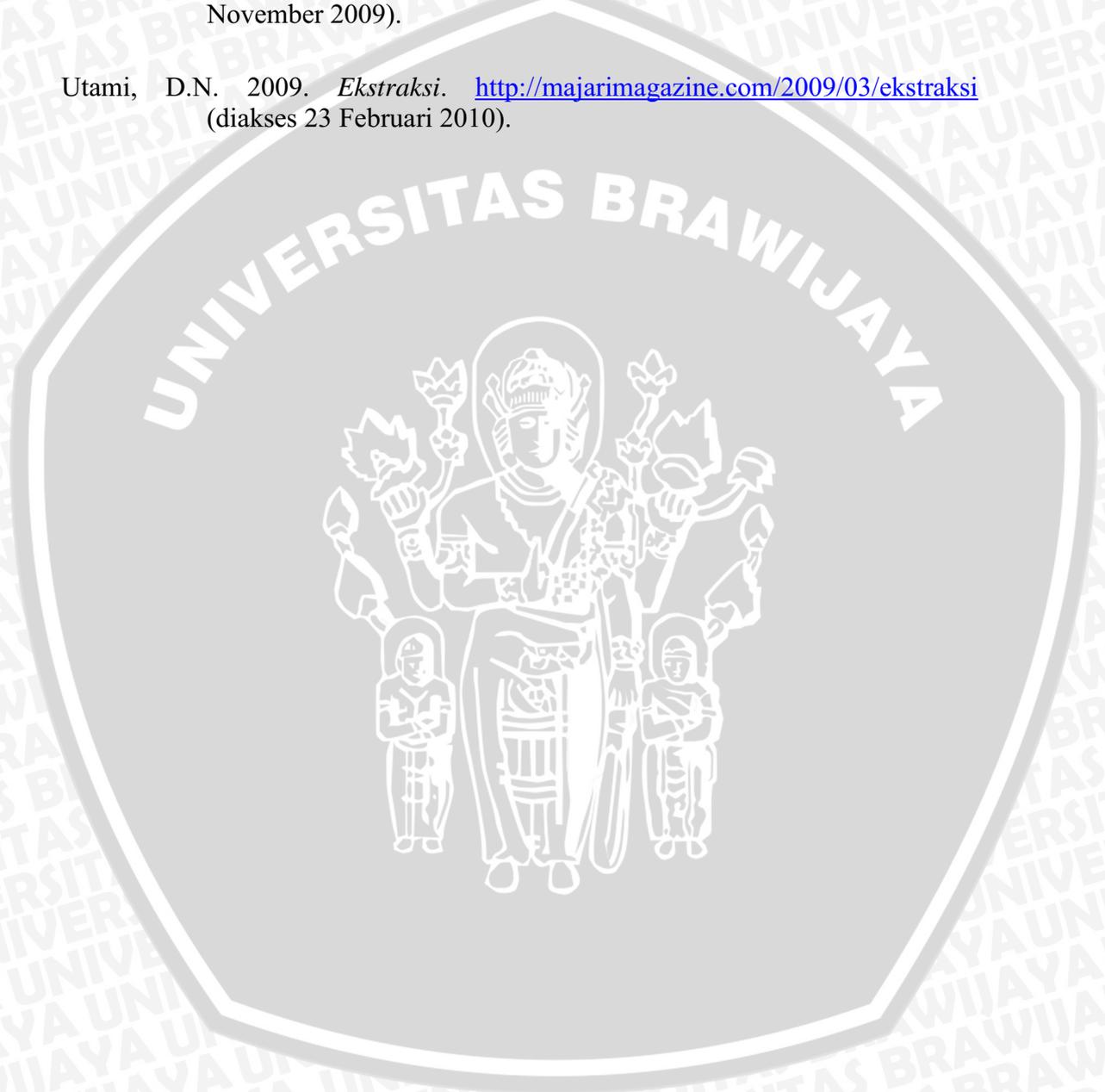
Priyawan, Frans A. 5 Februari 2009. *Penguat Operasional (Op Amp)*.

<http://franzaditya.blogspot.com/2009/02/penguat-operasional-op-amp.html> (diakses 22 November 2009).

Sofyani, Imam. 23 Oktober 2009. *Jembatan Wheatstone*.

http://www.imansofyani.co.cc/index.php?option=com_content&view=article&id=144:jw&catid=59:digilab&Itemid=59 (diakses 22 November 2009).

Utami, D.N. 2009. *Ekstraksi*. <http://majarimagazine.com/2009/03/ekstraksi> (diakses 23 Februari 2010).



LAMPIRAN I

Foto Alat



Foto alat tampak depan ditunjukkan dalam foto 1. Foto alat tampak belakang ditunjukkan dalam foto 2.



Foto 1 Alat Tampak Depan



Foto 2 Alat Tampak Belakang

Foto alat tampak atas ditunjukkan dalam foto 3 dan 4.



Foto 3 Alat Tampak Atas dengan Tutup Terpasang



Foto 4 Alat Tampak Atas dengan Tutup Terbuka

LAMPIRAN II

Listing Program



```
S_redswith    bit    p3.5
;
on_motor bit    p3.3
bb_motor bit    P3.4
;
heater        bit    p3.6
;
lcd_rs       bit    p3.1
LCD_E       bit    p3.0
ADC_WR      bit    p3.2
;
lcd_X       equ    50H
DITI       equ    51H
;
Satuan      equ    52h
Puluhan    equ    54h
Ratusan    equ    55h
;
```

```
org          00h
ljmp        mulai
```

```
write_inst:
    clr      LCD_RS ;RS      untuk menuliskan instruksi
```

```
write_LCD:
    mov     lcd_X,a
    mov     P2,A
    setb   LCD_E ;E
    clr    LCD_E ;E
    mov    a,lcd_X
    swap  a
    mov    P2,A
    setb  LCD_E ;E
    clr   LCD_E ;E
    call  delay
    ret
```

```
write_data:
    setb   LCD_RS ;RS      untuk menuliskan data / character
    jmp    write_LCD
```

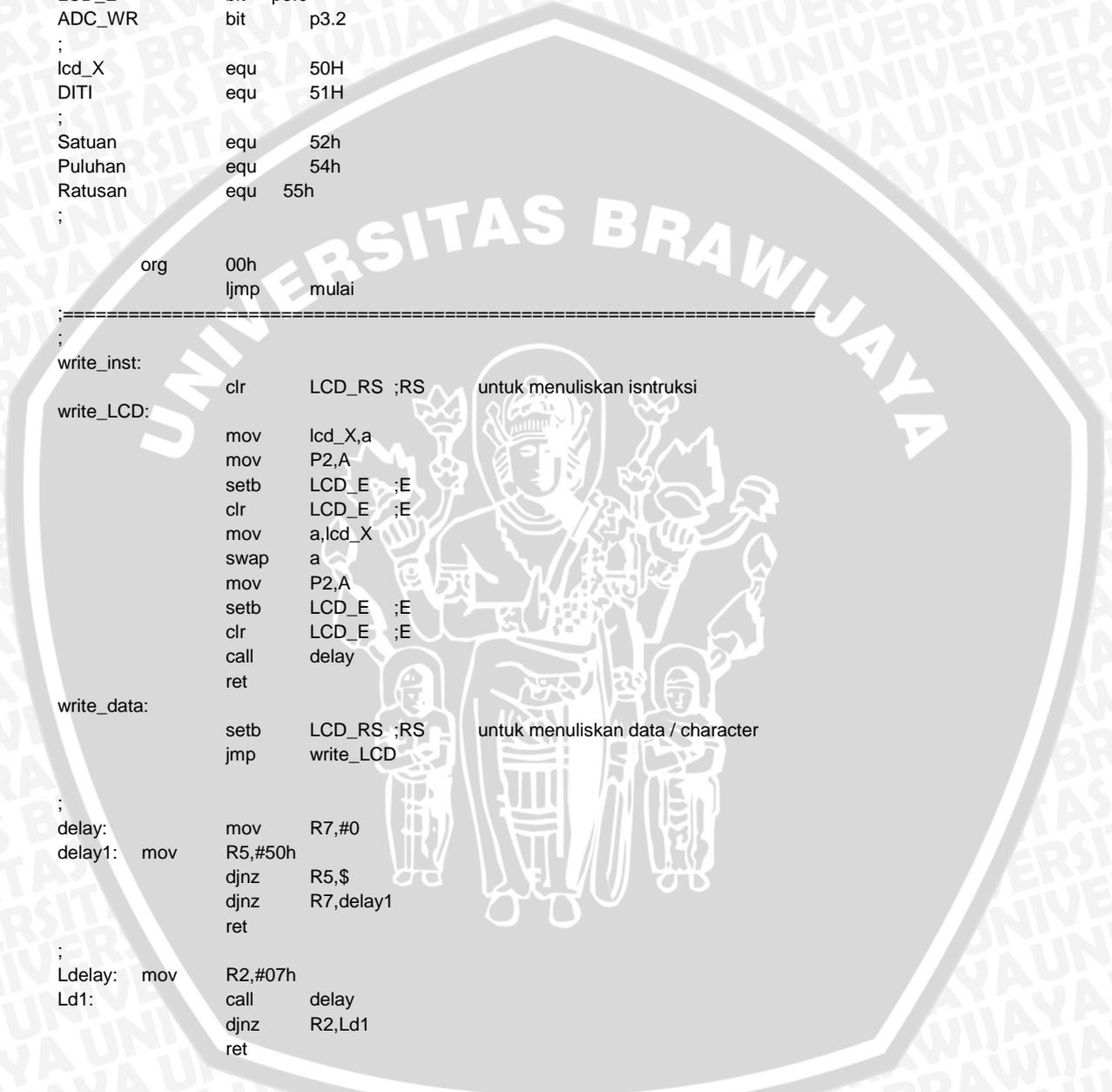
```
delay:
delay1:  mov     R7,#0
        djnz   R5,$
        djnz   R7,delay1
        ret
```

```
Ldelay:  mov     R2,#07h
Ld1:     call    delay
        djnz   R2,Ld1
        ret
```

```
barisa:  mov     A,#80h      ; menulis di baris atas
```

```
tulis16:
        mov     R3,#16      ; sebanyak 16 character
        call    write_inst
```

```
tulis1:  clr     A
        movc   A,@A+DPTR    ; ambil data dari pointer
        lnc   DPTR
        call   write_data
```



```

djnz      R3,Tulis1
ret
barisb:   mov      A,#0C0h      ; menulis di baris bawah
          jmp      tulis16

```

```

;=====

```

```

TAMPILAN:

```

```

MOV      DPTR,#ANGKA
LCALL    PERSATUAN
lcall    PERPULUHAN
lcall    PERSERATUS
RET

```

```

;=====

```

```

PERSATUAN:

```

```

CLR      A
MOV      A,#0C9H
CALL     WRITE_INST
CLR      A
MOV      A,SATUAN
MOVC     A,@A+DPTR
CALL     WRITE_DATA
RET

```

```

PERPULUHAN:

```

```

CLR      A
MOV      A,#0C8H
CALL     WRITE_INST
CLR      A
MOV      A,PULUHAN
MOVC     A,@A+DPTR
CALL     WRITE_DATA
RET

```

```

PERSERATUS:

```

```

CLR      A
MOV      A,#0C7H
CALL     WRITE_INST
CLR      A
MOV      A,RATUSAN
MOVC     A,@A+DPTR
CALL     WRITE_DATA
RET

```

```

;-----
ADCKU:

```

```

;

```

```

          clr      ADC_WR ; start of conversion
          setb     ADC_WR
          call     delay
elaSy:    djnz     R2,$
          djnz     R3,elaSy
          djnz     R3,$
          mov      A,P1
          mov      R1,A
          RET

```

```

;-----
CONVERSI:

```

```

MOV      A,#10
MOV      B,A
MOV      A,R1
DIV      AB
MOV      DITI,A
MOV      A,B
MOV      SATUAN,A
;

```

```
MOV A,#10
MOV B,A
MOV A,DITI
DIV AB
MOV RATUSAN,A
MOV A,B
MOV PULUHAN,A
```

RET

Mulai:

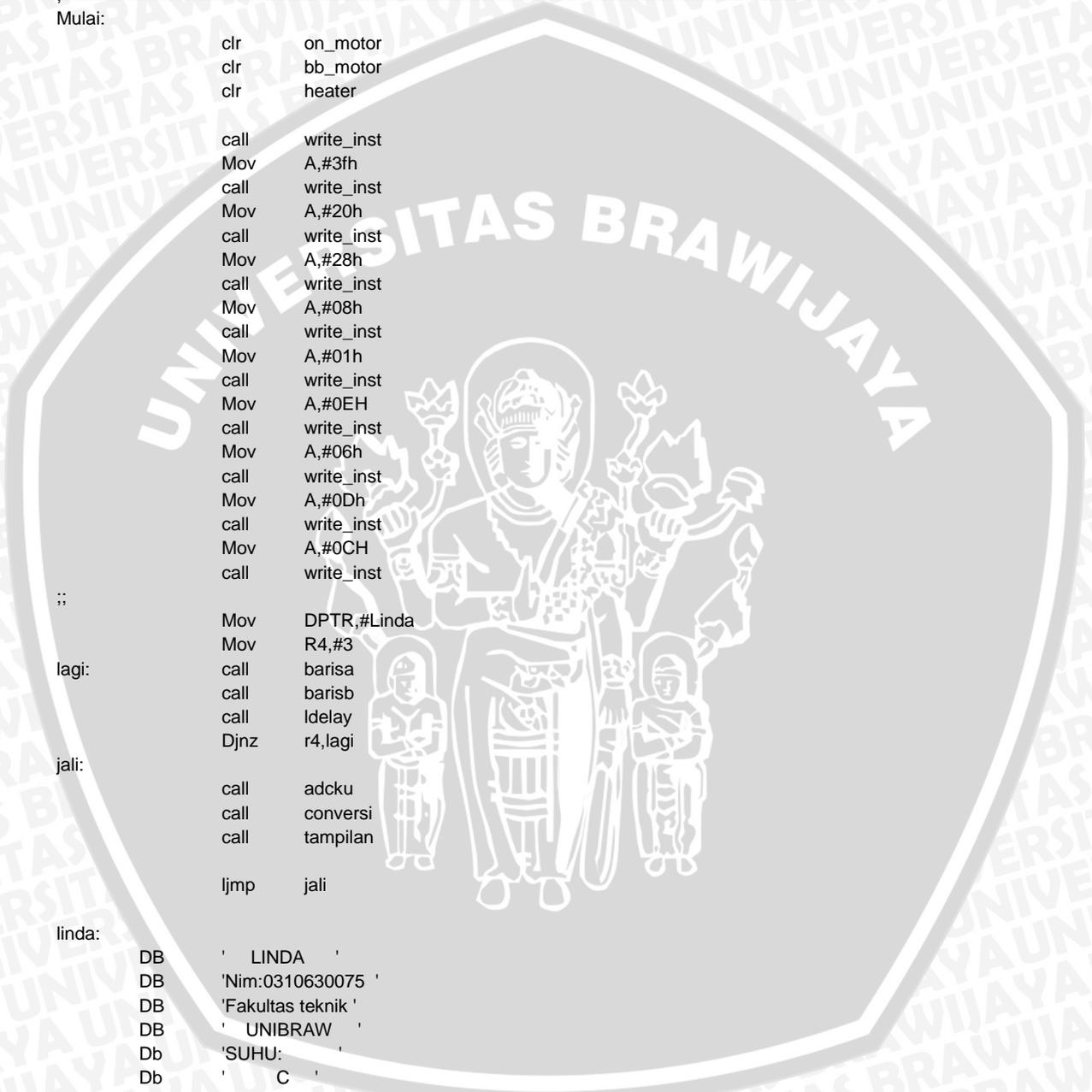
```
clr on_motor
clr bb_motor
clr heater

call write_inst
Mov A,#3fh
call write_inst
Mov A,#20h
call write_inst
Mov A,#28h
call write_inst
Mov A,#08h
call write_inst
Mov A,#01h
call write_inst
Mov A,#0EH
call write_inst
Mov A,#06h
call write_inst
Mov A,#0Dh
call write_inst
Mov A,#0CH
call write_inst
;;
Mov DPTR,#Linda
Mov R4,#3
lagi: call barisa
call barisb
call ldelay
Djnz r4,lagi

call adcku
call conversi
call tampilan

ljmp jali

linda: DB ' LINDA '
DB 'Nim:0310630075 '
DB 'Fakultas teknik '
DB ' UNIBRAW '
Db 'SUHU: '
Db ' C '
;
ANGKA: DB '0123456789 BCDEF'
end
```



LAMPIRAN III

Datasheet Komponen



ST 2SC828 / 828A

NPN Silicon Epitaxial Planar Transistor
for switching and AF amplifier applications.

These transistors are subdivided into three groups Q, R and S according to their DC current gain.

On special request, these transistors can be manufactured in different pin configurations.



1. Emitter 2. Collector 3. Base

TO-92 Plastic Package
Weight approx. 0.19g

Absolute Maximum Ratings ($T_a = 25^\circ\text{C}$)

	Symbol	Value		Unit
		ST 2SC828	ST 2SC828A	
Collector Base Voltage	V_{CBO}	30	45	V
Collector Emitter Voltage	V_{CEO}	25	45	V
Emitter Base Voltage	V_{EBO}	7		V
Peak Collector Current	I_{CM}	100		mA
Collector Current	I_C	50		mA
Power Dissipation	P_{tot}	400		mW
Junction Temperature	T_j	150		$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	T_s	-55 to +150		$^\circ\text{C}$

G S P FORM A IS AVAILABLE



SEMTECH ELECTRONICS LTD.

(Subsidiary of Semtech International Holdings Limited, a company listed on the Hong Kong Stock Exchange, Stock Code: 724)



ISO/TS 16949 : 2002
Certificate No. 05103

ISO 14001
Certificate No. 7116

ISO 9001 : 2000
Certificate No. 002-2004-02-04

Dated : 07/12/2002

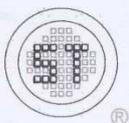


ST 2SC828 / 828A

Characteristics at $T_{amb}=25^{\circ}\text{C}$

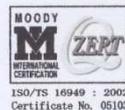
	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit	
DC Current Gain at $I_C=2\text{mA}$, $V_{CE}=5\text{V}$ Current Gain Group	Q					
	h_{FE}	130	-	280	-	
	R					
	h_{FE}	180	-	360	-	
	S					
	h_{FE}	260	-	520	-	
Collector Base Breakdown Voltage at $I_C=10\mu\text{A}$	ST 2SC828	$V_{(BR)CBO}$	30	-	-	V
	ST 2SC828A	$V_{(BR)CBO}$	45	-	-	V
Collector Emitter Breakdown Voltage at $I_C=2\text{mA}$	ST 2SC828	$V_{(BR)CEO}$	25	-	-	V
	ST 2SC828A	$V_{(BR)CEO}$	45	-	-	V
Emitter Base Breakdown Voltage at $I_E=10\mu\text{A}$		$V_{(BR)EBO}$	7	-	-	V
Collector Saturation Voltage at $I_C=50\text{mA}$, $I_B=5\text{mA}$		$V_{CE(sat)}$	-	0.14	-	V
Base Emitter Voltage at $I_C=10\text{mA}$, $V_{CE}=5\text{V}$		V_{BE}	-	-	0.8	V
Gain Bandwidth Product at $I_C=2\text{mA}$, $V_{CE}=10\text{V}$		f_T	-	220	-	MHz
Noise Figure at $V_{CE}=5\text{V}$, $I_E=0.2\text{mA}$, $R_G=2\text{k}\Omega$, $f=1\text{kHz}$		NF	-	6	-	dB

G S P FORM A IS AVAILABLE



SEMTECH ELECTRONICS LTD.

(Subsidiary of Semtech International Holdings Limited, a company listed on the Hong Kong Stock Exchange, Stock Code: 724)



ISO/TS 16949 : 2002
Certificate No. 05103

ISO 14001
Certificate No. 7116

ISO 9001 : 2000
Certificate No. 000-200-02-04

Dated : 07/12/2002

CMOS 8-bit A/D converters

ADC0803/0804

DESCRIPTION

The ADC0803 family is a series of three CMOS 8-bit successive approximation A/D converters using a resistive ladder and capacitive array together with an auto-zero comparator. These converters are designed to operate with microprocessor-controlled buses using a minimum of external circuitry. The 3-State output data lines can be connected directly to the data bus.

The differential analog voltage input allows for increased common-mode rejection and provides a means to adjust the zero-scale offset. Additionally, the voltage reference input provides a means of encoding small analog voltages to the full 8 bits of resolution.

FEATURES

- Compatible with most microprocessors
- Differential inputs
- 3-State outputs
- Logic levels TTL and MOS compatible
- Can be used with internal or external clock
- Analog input range 0 V to V_{CC}
- Single 5 V supply
- Guaranteed specification with 1 MHz clock

PIN CONFIGURATION

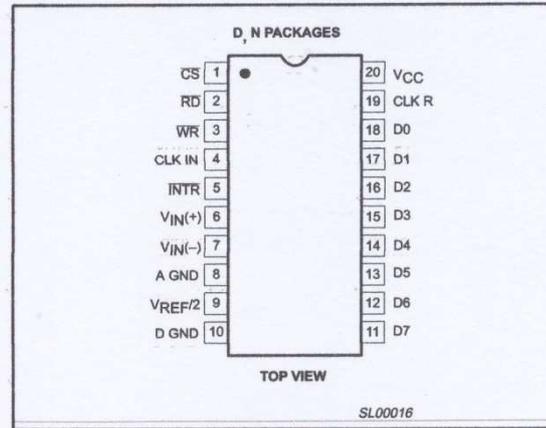


Figure 1. Pin configuration

APPLICATIONS

- Transducer-to-microprocessor interface
- Digital thermometer
- Digitally-controlled thermostat
- Microprocessor-based monitoring and control systems

ORDERING INFORMATION

DESCRIPTION	TEMPERATURE RANGE	ORDER CODE	TOPSIDE MARKING	DWG #
20-pin plastic small outline (SO) package	0 to 70 °C	ADC0803CD, ADC0804CD	ADC0803-1CD, ADC0804-1CD	SOT163-1
20-pin plastic small outline (SO) package	-40 to 85 °C	ADC0803LCD, ADC0804LCD	ADC0803-1LCD, ADC0804-1LCD	SOT163-1
20-pin plastic dual in-line package (DIP)	0 to 70 °C	ADC0803CN, ADC0804CN	ADC0803-1CN, ADC0804-1CN	SOT146-1
20-pin plastic dual in-line package (DIP)	-40 to +85 °C	ADC0803LCN, ADC0804LCN	ADC0803-1LCN, ADC0804-1LCN	SOT146-1

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	RATING	UNIT
V_{CC}	Supply voltage		6.5	V
	Logic control input voltages		-0.3 to +16	V
	All other input voltages		-0.3 to ($V_{CC} + 0.3$)	V
T_{amb}	Operating temperature range			
	ADC0803LCD/ADC0804LCD		-40 to +85	°C
	ADC0803LCN/ADC0804LCN		-40 to +85	°C
	ADC0803CD/ADC0804CD		0 to +70	°C
	ADC0803CN/ADC0804CN		0 to +70	°C
T_{stg}	Storage temperature		-65 to +150	°C
T_{sld}	Lead soldering temperature (10 seconds)		230	°C
P_D	Maximum power dissipation ¹	$T_{amb} = 25\text{ °C}$ (still air)		
	N package		1690	mW
	D package		1390	mW

NOTE:

1. Derate above 25 °C, at the following rates: N package at 13.5 mW/°C; D package at 11.1 mW/°C.

CMOS 8-bit A/D converters

ADC0803/0804

BLOCK DIAGRAM

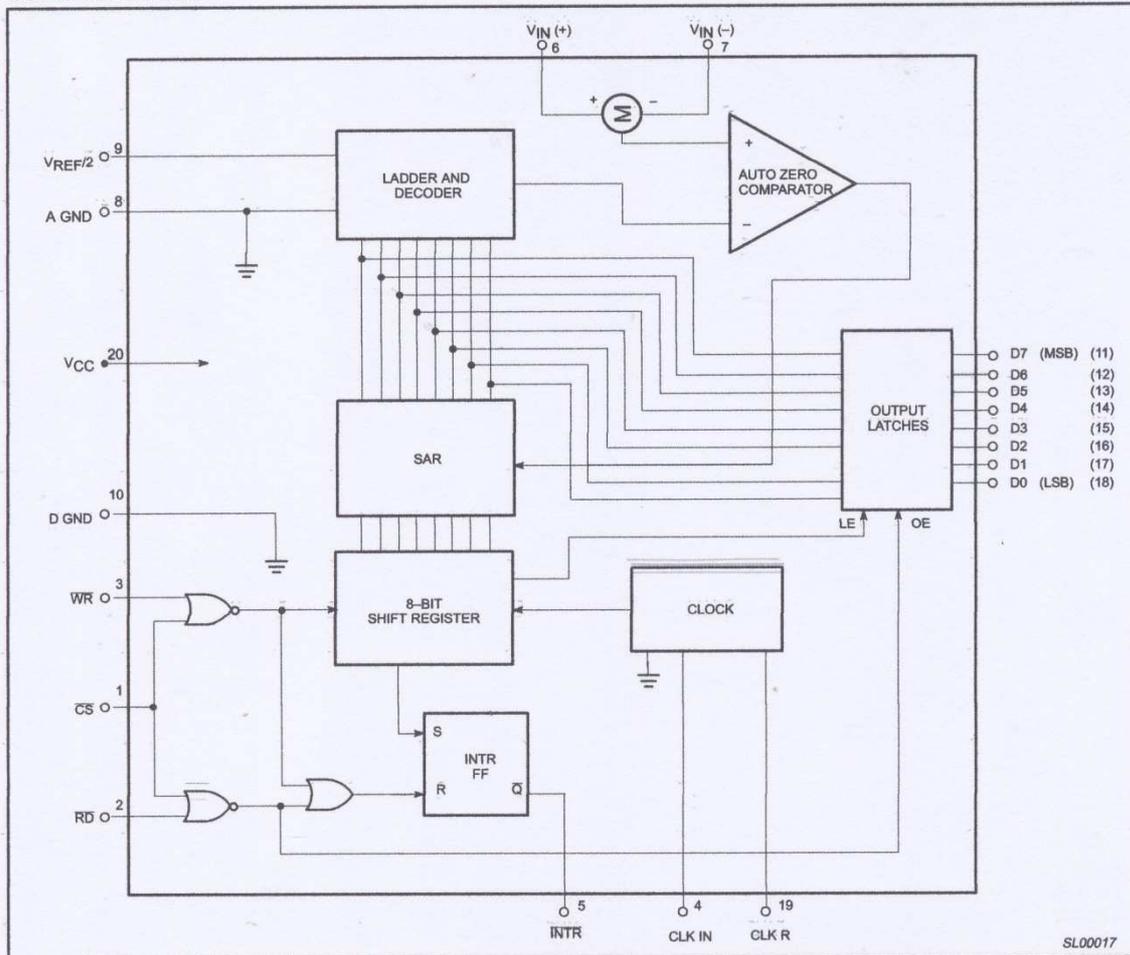


Figure 2. Block diagram

CMOS 8-bit A/D converters

ADC0803/0804

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $f_{CLK} = 1\text{ MHz}$, $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$, unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	LIMITS			UNIT
			Min	Typ	Max	
	ADC0803 relative accuracy error (adjusted)	Full-Scale adjusted			0.50	LSB
	ADC0804 relative accuracy error (unadjusted)	$V_{REF/2} = 2.500\text{ V}_{DC}$			1	LSB
R_{IN}	$V_{REF/2}$ input resistance ³	$V_{CC} = 0\text{ V}^2$	400	680		Ω
	Analog input voltage range ³		-0.05		$V_{CC} + 0.05$	V
	DC common-mode error	Over analog input voltage range		1/16	1/8	LSB
	Power supply sensitivity	$V_{CC} = 5\text{ V} \pm 10\%^1$		1/16		LSB
Control inputs						
V_{IH}	Logical "1" input voltage	$V_{CC} = 5.25\text{ V}_{DC}$	2.0		15	V_{DC}
V_{IL}	Logical "0" input voltage	$V_{CC} = 4.75\text{ V}_{DC}$			0.8	V_{DC}
I_{IH}	Logical "1" input current	$V_{IN} = 5\text{ V}_{DC}$		0.005	1	μA_{DC}
I_{IL}	Logical "0" input current	$V_{IN} = 0\text{ V}_{DC}$	-1	-0.005		μA_{DC}
Clock in and clock R						
V_{T+}	Clock in positive-going threshold voltage		2.7	3.1	3.5	V_{DC}
V_{T-}	Clock in negative-going threshold voltage		1.5	1.8	2.1	V_{DC}
V_H	Clock in hysteresis (V_{T+}) - (V_{T-})		0.6	1.3	2.0	V_{DC}
V_{OL}	Logical "0" clock R output voltage	$I_{OL} = 360\text{ }\mu\text{A}$, $V_{CC} = 4.75\text{ V}_{DC}$			0.4	V_{DC}
V_{OH}	Logical "1" clock R output voltage	$I_{OH} = -360\text{ }\mu\text{A}$, $V_{CC} = 4.75\text{ V}_{DC}$	2.4			V_{DC}
Data output and INTR						
V_{OL}	Logical "0" output voltage					
	Data outputs	$I_{OL} = 1.6\text{ mA}$, $V_{CC} = 4.75\text{ V}_{DC}$			0.4	V_{DC}
	INTR outputs	$I_{OL} = 1.0\text{ mA}$, $V_{CC} = 4.75\text{ V}_{DC}$			0.4	V_{DC}
V_{OH}	Logical "1" output voltage	$I_{OH} = -360\text{ }\mu\text{A}$, $V_{CC} = 4.75\text{ V}_{DC}$	2.4			V_{DC}
		$I_{OH} = -10\text{ }\mu\text{A}$, $V_{CC} = 4.75\text{ V}_{DC}$	4.5			
I_{OZL}	3-State output leakage	$V_{OUT} = 0\text{ V}_{DC}$, $\overline{CS} = \text{logical "1"}$	-3			μA_{DC}
I_{OZH}	3-State output leakage	$V_{OUT} = 5\text{ V}_{DC}$, $\overline{CS} = \text{logical "1"}$			3	μA_{DC}
I_{SC+}	+Output short-circuit current	$V_{OUT} = 0\text{ V}$, $T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	4.5	12		mA_{DC}
I_{SC-}	-Output short-circuit current	$V_{OUT} = V_{CC}$, $T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	9.0	30		mA_{DC}
I_{CC}	Power supply current	$f_{CLK} = 1\text{ MHz}$, $V_{REF/2} = \text{OPEN}$, $\overline{CS} = \text{Logical "1"}$, $T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$		3.0	3.5	mA

NOTES:

1. Analog inputs must remain within the range: $-0.05 \leq V_{IN} \leq V_{CC} + 0.05\text{ V}$.
2. See typical performance characteristics for input resistance at $V_{CC} = 5\text{ V}$.
3. $V_{REF/2}$ and V_{IN} must be applied after the V_{CC} has been turned on to prevent the possibility of latching.

Thyristor logic level

BT169W Series

GENERAL DESCRIPTION

Glass passivated, sensitive gate thyristor in a plastic envelope, suitable for surface mounting, intended for use in general purpose switching and phase control applications. This device is intended to be interfaced directly to microcontrollers, logic integrated circuits and other low power gate trigger circuits.

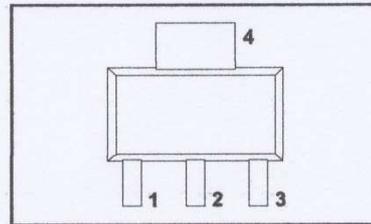
QUICK REFERENCE DATA

SYMBOL	PARAMETER	MAX.	MAX.	MAX.	MAX.	UNIT
V_{DRM}, V_{RRM}	Repetitive peak off-state voltages	BW 200	DW 400	EW 500	GW 600	V
$I_{T(AV)}$	Average on-state current	0.5	0.5	0.5	0.5	A
$I_{T(RMS)}$	RMS on-state current	0.8	0.8	0.8	0.8	A
I_{TSM}	Non-repetitive peak on-state current	8	8	8	8	A

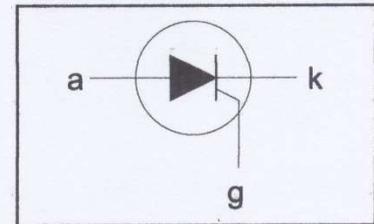
PINNING - SOT223

PIN	DESCRIPTION
1	cathode
2	anode
3	gate
tab	anode

PIN CONFIGURATION



SYMBOL



LIMITING VALUES

Limiting values in accordance with the Absolute Maximum System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.				UNIT
				B 200 ¹	D 400 ¹	E 500 ¹	G 600 ¹	
V_{DRM}, V_{RRM}	Repetitive peak off-state voltages		-					V
$I_{T(AV)}$	Average on-state current	half sine wave; $T_{sp} \leq 112^\circ\text{C}$ all conduction angles	-	0.63				A
$I_{T(RMS)}$	RMS on-state current	half sine wave; $T_j = 25^\circ\text{C}$ prior to surge	-	1				A
I_{TSM}	Non-repetitive peak on-state current	half sine wave; $T_j = 25^\circ\text{C}$ prior to surge $t = 10\text{ ms}$	-	8				A
		$t = 8.3\text{ ms}$	-	9				A
I^2t	I^2t for fusing	$t = 10\text{ ms}$	-	0.32				A ² s
dI_T/dt	Repetitive rate of rise of on-state current after triggering	$I_{TM} = 2\text{ A}; I_G = 10\text{ mA};$ $dI_G/dt = 100\text{ mA}/\mu\text{s}$	-	50				A/ μs
I_{GM}	Peak gate current		-	1				A
V_{GM}	Peak gate voltage		-	5				V
V_{RGM}	Peak reverse gate voltage		-	5				V
P_{GM}	Peak gate power		-	2				W
$P_{G(AV)}$	Average gate power	over any 20 ms period	-	0.1				W
T_{sig}	Storage temperature		-40	150				$^\circ\text{C}$
T_j	Operating junction temperature		-	125				$^\circ\text{C}$

¹ Although not recommended, off-state voltages up to 800V may be applied without damage, but the thyristor may switch to the on-state. The rate of rise of current should not exceed 15 A/ μs .

Thyristor
logic level

BT169W Series

THERMAL RESISTANCES

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$R_{th\ j-sp}$	Thermal resistance junction to solder point		-	-	15	K/W
$R_{th\ j-a}$	Thermal resistance junction to ambient	pcb mounted, minimum footprint pcb mounted; pad area as in fig.14	-	156 70	-	K/W K/W

STATIC CHARACTERISTICS

 $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$ unless otherwise stated

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
I_{GT}	Gate trigger current	$V_D = 12\text{ V}$; $I_T = 10\text{ mA}$; gate open circuit	-	50	200	μA
I_L	Latching current	$V_D = 12\text{ V}$; $I_{GT} = 0.5\text{ mA}$; $R_{GK} = 1\text{ k}\Omega$	-	2	6	mA
I_H	Holding current	$V_D = 12\text{ V}$; $I_{GT} = 0.5\text{ mA}$; $R_{GK} = 1\text{ k}\Omega$	-	2	5	mA
V_T	On-state voltage	$I_T = 2\text{ A}$	-	1.35	1.5	V
V_{GT}	Gate trigger voltage	$V_D = 12\text{ V}$; $I_T = 10\text{ mA}$; gate open circuit	-	0.5	0.8	V
		$V_D = V_{DRM(max)}$; $I_T = 10\text{ mA}$; $T_j = 125\text{ }^\circ\text{C}$; gate open circuit	0.2	0.3	-	V
I_D, I_R	Off-state leakage current	$V_D = V_{DRM(max)}$; $V_R = V_{RRM(max)}$; $T_j = 125\text{ }^\circ\text{C}$; $R_{GK} = 1\text{ k}\Omega$	-	0.05	0.1	mA

DYNAMIC CHARACTERISTICS

 $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$ unless otherwise stated

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
dV_D/dt	Critical rate of rise of off-state voltage	$V_{DM} = 67\% V_{DRM(max)}$; $T_j = 125\text{ }^\circ\text{C}$; exponential waveform; $R_{GK} = 1\text{ k}\Omega$	-	25	-	V/ μs
t_{gt}	Gate controlled turn-on time	$I_{TM} = 2\text{ A}$; $V_D = V_{DRM(max)}$; $I_G = 10\text{ mA}$; $dI_G/dt = 0.1\text{ A}/\mu\text{s}$	-	2	-	μs
t_q	Circuit commutated turn-off time	$V_D = 67\% V_{DRM(max)}$; $T_j = 125\text{ }^\circ\text{C}$; $I_{TM} = 1.6\text{ A}$; $V_R = 35\text{ V}$; $dI_{TM}/dt = 30\text{ A}/\mu\text{s}$; $dV_D/dt = 2\text{ V}/\mu\text{s}$; $R_{GK} = 1\text{ k}\Omega$	-	100	-	μs

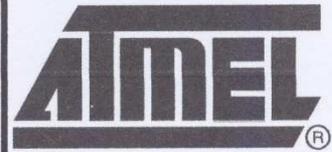
Features

- Compatible with MCS[®]-51 Products
- 4K Bytes of In-System Programmable (ISP) Flash Memory
 - Endurance: 10,000 Write/Erase Cycles
- 4.0V to 5.5V Operating Range
- Fully Static Operation: 0 Hz to 33 MHz
- Three-level Program Memory Lock
- 128 x 8-bit Internal RAM
- 32 Programmable I/O Lines
- Two 16-bit Timer/Counters
- Six Interrupt Sources
- Full Duplex UART Serial Channel
- Low-power Idle and Power-down Modes
- Interrupt Recovery from Power-down Mode
- Watchdog Timer
- Dual Data Pointer
- Power-off Flag
- Fast Programming Time
- Flexible ISP Programming (Byte and Page Mode)
- Green (Pb/Halide-free) Packaging Option

1. Description

The AT89S51 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcontroller with 4K bytes of In-System Programmable Flash memory. The device is manufactured using Atmel's high-density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry-standard 80C51 instruction set and pinout. The on-chip Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system or by a conventional nonvolatile memory programmer. By combining a versatile 8-bit CPU with In-System Programmable Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89S51 is a powerful microcontroller which provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.

The AT89S51 provides the following standard features: 4K bytes of Flash, 128 bytes of RAM, 32 I/O lines, Watchdog timer, two data pointers, two 16-bit timer/counters, a five-vector two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, on-chip oscillator, and clock circuitry. In addition, the AT89S51 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port, and interrupt system to continue functioning. The Power-down mode saves the RAM contents but freezes the oscillator, disabling all other chip functions until the next external interrupt or hardware reset.



8-bit Microcontroller with 4K Bytes In-System Programmable Flash

AT89S51

2487D-MICRO-6/08



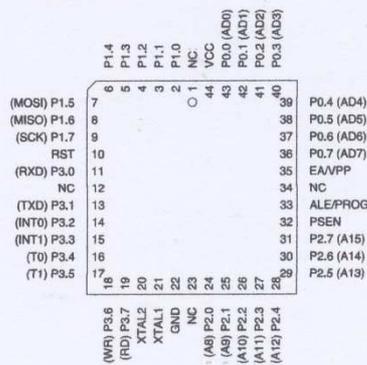


2. Pin Configurations

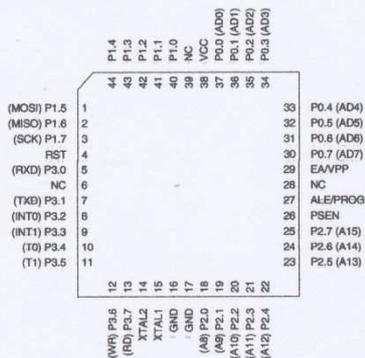
2.1 40-lead PDIP

P1.0	1	40	VCC
P1.1	2	39	P0.0 (AD0)
P1.2	3	38	P0.1 (AD1)
P1.3	4	37	P0.2 (AD2)
P1.4	5	36	P0.3 (AD3)
(MOSI) P1.5	6	35	P0.4 (AD4)
(MISO) P1.6	7	34	P0.5 (AD5)
(SCK) P1.7	8	33	P0.6 (AD6)
RST	9	32	P0.7 (AD7)
(RXD) P3.0	10	31	EA/VPP
(TXD) P3.1	11	30	ALE/PROG
(INT0) P3.2	12	29	PSEN
(INT1) P3.3	13	28	P2.7 (A15)
(T0) P3.4	14	27	P2.6 (A14)
(T1) P3.5	15	26	P2.5 (A13)
(WR) P3.6	16	25	P2.4 (A12)
(RD) P3.7	17	24	P2.3 (A11)
XTAL2	18	23	P2.2 (A10)
XTAL1	19	22	P2.1 (A9)
GND	20	21	P2.0 (A8)

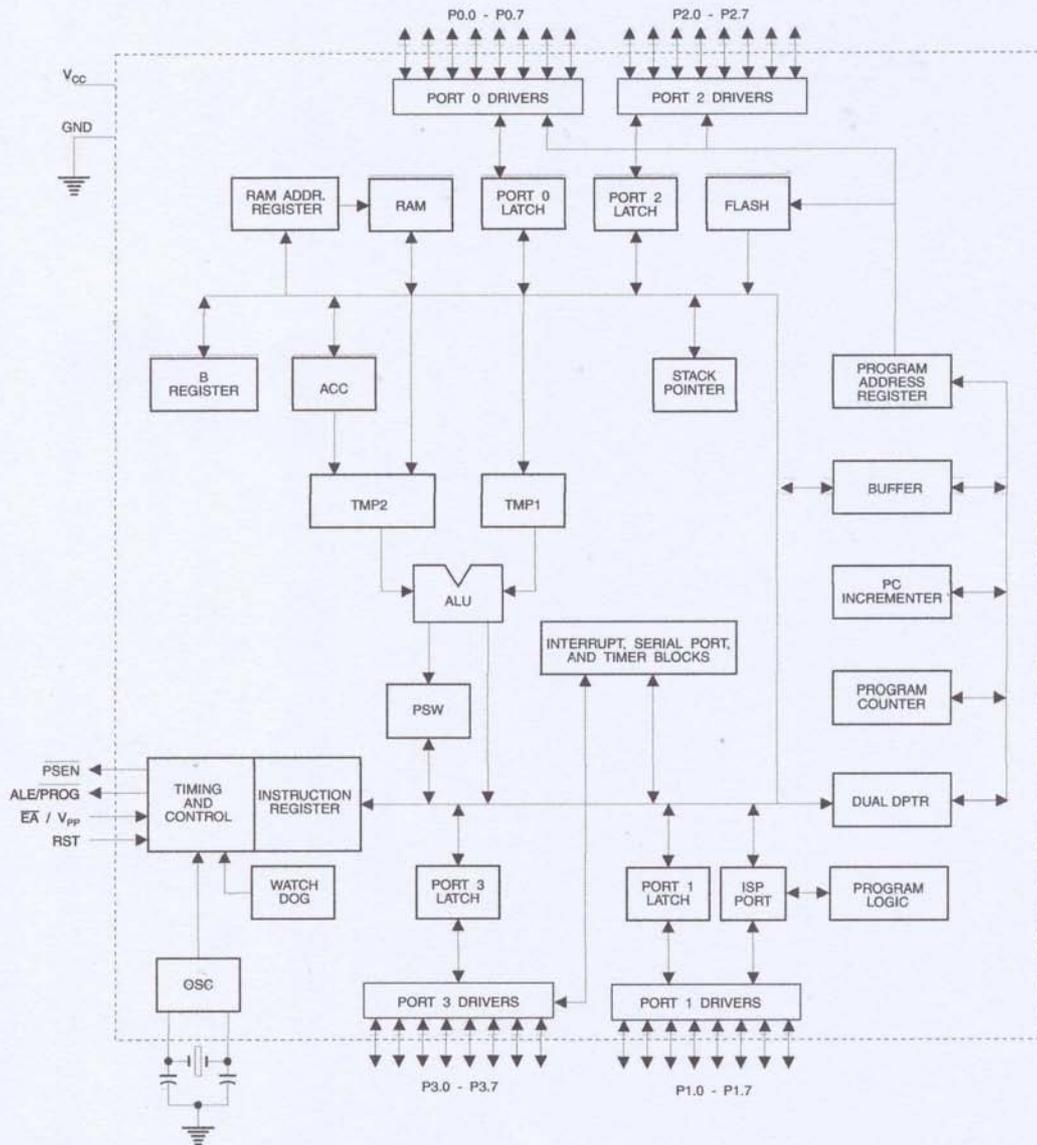
2.3 44-lead PLCC



2.2 44-lead TQFP



3. Block Diagram





4. Pin Description

4.1 VCC

Supply voltage.

4.2 GND

Ground.

4.3 Port 0

Port 0 is an 8-bit open drain bi-directional I/O port. As an output port, each pin can sink eight TTL inputs. When 1s are written to port 0 pins, the pins can be used as high-impedance inputs.

Port 0 can also be configured to be the multiplexed low-order address/data bus during accesses to external program and data memory. In this mode, P0 has internal pull-ups.

Port 0 also receives the code bytes during Flash programming and outputs the code bytes during program verification. **External pull-ups are required during program verification.**

4.4 Port 1

Port 1 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-ups. The Port 1 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 1 pins, they are pulled high by the internal pull-ups and can be used as inputs. As inputs, Port 1 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pull-ups.

Port 1 also receives the low-order address bytes during Flash programming and verification.

Port Pin	Alternate Functions
P1.5	MOSI (used for In-System Programming)
P1.6	MISO (used for In-System Programming)
P1.7	SCK (used for In-System Programming)

4.5 Port 2

Port 2 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-ups. The Port 2 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 2 pins, they are pulled high by the internal pull-ups and can be used as inputs. As inputs, Port 2 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pull-ups.

Port 2 emits the high-order address byte during fetches from external program memory and during accesses to external data memory that use 16-bit addresses (MOVX @ DPTR). In this application, Port 2 uses strong internal pull-ups when emitting 1s. During accesses to external data memory that use 8-bit addresses (MOVX @ RI), Port 2 emits the contents of the P2 Special Function Register.

Port 2 also receives the high-order address bits and some control signals during Flash programming and verification.

4.6 Port 3

Port 3 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-ups. The Port 3 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 3 pins, they are pulled high by the inter-

4 AT89S51

AT89S51

nal pull-ups and can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the pull-ups.

Port 3 receives some control signals for Flash programming and verification.

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89S51, as shown in the following table.

Port Pin	Alternate Functions
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	$\overline{\text{INT0}}$ (external interrupt 0)
P3.3	$\overline{\text{INT1}}$ (external interrupt 1)
P3.4	T0 (timer 0 external input)
P3.5	T1 (timer 1 external input)
P3.6	$\overline{\text{WR}}$ (external data memory write strobe)
P3.7	$\overline{\text{RD}}$ (external data memory read strobe)

4.7 RST

Reset input. A high on this pin for two machine cycles while the oscillator is running resets the device. This pin drives High for 98 oscillator periods after the Watchdog times out. The DISRTO bit in SFR AUXR (address 8EH) can be used to disable this feature. In the default state of bit DISRTO, the RESET HIGH out feature is enabled.

4.8 ALE/ $\overline{\text{PROG}}$

Address Latch Enable (ALE) is an output pulse for latching the low byte of the address during accesses to external memory. This pin is also the program pulse input ($\overline{\text{PROG}}$) during Flash programming.

In normal operation, ALE is emitted at a constant rate of 1/6 the oscillator frequency and may be used for external timing or clocking purposes. Note, however, that one ALE pulse is skipped during each access to external data memory.

If desired, ALE operation can be disabled by setting bit 0 of SFR location 8EH. With the bit set, ALE is active only during a MOVX or MOV C instruction. Otherwise, the pin is weakly pulled high. Setting the ALE-disable bit has no effect if the microcontroller is in external execution mode.

4.9 $\overline{\text{PSEN}}$

Program Store Enable ($\overline{\text{PSEN}}$) is the read strobe to external program memory.

When the AT89S51 is executing code from external program memory, $\overline{\text{PSEN}}$ is activated twice each machine cycle, except that two $\overline{\text{PSEN}}$ activations are skipped during each access to external data memory.

4.10 $\overline{\text{EA/VPP}}$

External Access Enable. $\overline{\text{EA}}$ must be strapped to GND in order to enable the device to fetch code from external program memory locations starting at 0000H up to FFFFH. Note, however, that if lock bit 1 is programmed, $\overline{\text{EA}}$ will be internally latched on reset.



\overline{EA} should be strapped to V_{CC} for internal program executions.

This pin also receives the 12-volt programming enable voltage (V_{PP}) during Flash programming.

4.11 XTAL1

Input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

4.12 XTAL2

Output from the inverting oscillator amplifier

5. Special Function Registers

A map of the on-chip memory area called the Special Function Register (SFR) space is shown in Table 5-1.

Note that not all of the addresses are occupied, and unoccupied addresses may not be implemented on the chip. Read accesses to these addresses will in general return random data, and write accesses will have an indeterminate effect.



August 1999

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/4^\circ\text{C}$ at room temperature and $\pm 3/4^\circ\text{C}$ over a full -55 to $+150^\circ\text{C}$ temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only $60\ \mu\text{A}$ from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55° to $+150^\circ\text{C}$ temperature range, while the LM35C is rated for a -40° to $+110^\circ\text{C}$ range (-10° with improved accuracy). The LM35 series is available packaged in

hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

Features

- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear + 10.0 mV/°C scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at +25°C)
- Rated for full -55° to $+150^\circ\text{C}$ range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than $60\ \mu\text{A}$ current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1/4^\circ\text{C}$ typical
- Low impedance output, $0.1\ \Omega$ for 1 mA load

Typical Applications

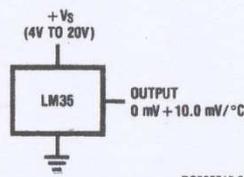
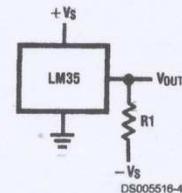


FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor
($+2^\circ\text{C}$ to $+150^\circ\text{C}$)



Choose $R_1 = -V_S/50\ \mu\text{A}$
 $V_{\text{OUT}} = +1,500\ \text{mV}$ at $+150^\circ\text{C}$
 $= +250\ \text{mV}$ at $+25^\circ\text{C}$
 $= -550\ \text{mV}$ at -55°C

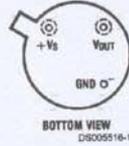
FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

TRI-STATE® is a registered trademark of National Semiconductor Corporation.

LM35

Connection Diagrams

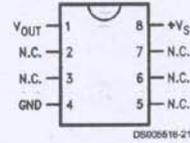
**TO-46
Metal Can Package***



*Case is connected to negative pin (GND)

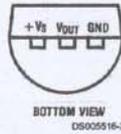
Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH, LM35CAH or LM35DH
See NS Package Number H03H

**SO-8
Small Outline Molded Package**



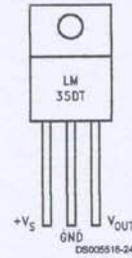
N.C. = No Connection

**TO-92
Plastic Package**



Order Number LM35CZ, LM35CAZ or LM35DZ
See NS Package Number Z03A

**TO-220
Plastic Package***



*Tab is connected to the negative pin (GND).

Note: The LM35DT pinout is different than the discontinued LM35DP.



Absolute Maximum Ratings (Note 10)

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

Supply Voltage	+35V to -0.2V
Output Voltage	+6V to -1.0V
Output Current	10 mA
Storage Temp.:	
TO-46 Package,	-60°C to +180°C
TO-92 Package,	-60°C to +150°C
SO-8 Package,	-65°C to +150°C
TO-220 Package,	-65°C to +150°C
Lead Temp.:	
TO-46 Package,	
(Soldering, 10 seconds)	300°C

TO-92 and TO-220 Package, (Soldering, 10 seconds)	260°C
SO Package (Note 12)	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
ESD Susceptibility (Note 11)	2500V
Specified Operating Temperature Range: T_{MIN} to T_{MAX} (Note 2)	
LM35, LM35A	-55°C to +150°C
LM35C, LM35CA	-40°C to +110°C
LM35D	0°C to +100°C

Electrical Characteristics

(Notes 1, 6)

Parameter	Conditions	LM35A			LM35CA			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.2	± 0.5		± 0.2	± 0.5		$^\circ\text{C}$
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	± 0.3			± 0.3		± 1.0	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{MAX}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{MIN}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4		± 1.5	$^\circ\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.18		± 0.35	± 0.15		± 0.3	$^\circ\text{C}$
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	+10.0	+9.9, +10.1		+10.0		+9.9, +10.1	mV/ $^\circ\text{C}$
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1$ mA	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		mV/mA
	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.5		± 3.0	± 0.5		± 3.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.01	± 0.05		± 0.01	± 0.05		mV/V
	$4V \leq V_S \leq 30V$	± 0.02		± 0.1	± 0.02		± 0.1	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5V, +25^\circ\text{C}$	56	67		56	67		μA
	$V_S = +5V$	105		131	91		114	μA
	$V_S = +30V, +25^\circ\text{C}$	56.2	68		56.2	68		μA
	$V_S = +30V$	105.5		133	91.5		116	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4V \leq V_S \leq 30V, +25^\circ\text{C}$	0.2	1.0		0.2	1.0		μA
	$4V \leq V_S \leq 30V$	0.5		2.0	0.5		2.0	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.5	+0.39		+0.5	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	$^\circ\text{C}$
Long Term Stability	$T_J = T_{MAX}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			$^\circ\text{C}$

LM35

Electrical Characteristics

(Notes 1, 6)

Parameter	Conditions	LM35			LM35C, LM35D			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy, LM35, LM35C (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		$^\circ\text{C}$
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	± 0.5			± 0.5		± 1.5	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$	± 0.8	± 1.5		± 0.8		± 1.5	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$	± 0.8		± 1.5	± 0.8		± 2.0	$^\circ\text{C}$
Accuracy, LM35D (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$				± 0.6	± 1.5		$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$				± 0.9		± 2.0	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$				± 0.9		± 2.0	$^\circ\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.3		± 0.5	± 0.2		± 0.5	$^\circ\text{C}$
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	+10.0	+9.8, +10.2		+10.0		+9.8, +10.2	mV/ $^\circ\text{C}$
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1 \text{ mA}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 2.0		± 0.4	± 2.0		mV/mA
	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.5		± 5.0	± 0.5		± 5.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.01	± 0.1		± 0.01	± 0.1		mV/V
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	± 0.02		± 0.2	± 0.02		± 0.2	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56	80		56	80		μA
	$V_S = +5\text{V}$	105		158	91		138	μA
	$V_S = +30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56.2	82		56.2	82		μA
	$V_S = +30\text{V}$	105.5		161	91.5		141	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	0.2	2.0		0.2	2.0		μA
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	0.5		3.0	0.5		3.0	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.7	+0.39		+0.7	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	$^\circ\text{C}$
Long Term Stability	$T_J = T_{\text{MAX}}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			$^\circ\text{C}$

Note 1: Unless otherwise noted, these specifications apply: $-55^\circ\text{C} \leq T_J \leq +150^\circ\text{C}$ for the LM35 and LM35A; $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq +110^\circ\text{C}$ for the LM35C and LM35CA; and $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +100^\circ\text{C}$ for the LM35D. $V_S = +5\text{Vdc}$ and $I_{\text{LOAD}} = 50 \mu\text{A}$, in the circuit of Figure 2. These specifications also apply from $+2^\circ\text{C}$ to T_{MAX} in the circuit of Figure 1. Specifications in **boldface** apply over the full rated temperature range.

Note 2: Thermal resistance of the TO-46 package is $400^\circ\text{C}/\text{W}$, junction to ambient, and $24^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to case. Thermal resistance of the TO-92 package is $180^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to ambient. Thermal resistance of the small outline molded package is $220^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to ambient. Thermal resistance of the TO-220 package is $90^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to ambient. For additional thermal resistance information see table in the Applications section.

Note 3: Regulation is measured at constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output due to heating effects can be computed by multiplying the internal dissipation by the thermal resistance.

Note 4: Tested Limits are guaranteed and 100% tested in production.

Note 5: Design Limits are guaranteed (but not 100% production tested) over the indicated temperature and supply voltage ranges. These limits are not used to calculate outgoing quality levels.

Note 6: Specifications in **boldface** apply over the full rated temperature range.

Note 7: Accuracy is defined as the error between the output voltage and $10\text{mV}/^\circ\text{C}$ times the device's case temperature, at specified conditions of voltage, current, and temperature (expressed in $^\circ\text{C}$).

Note 8: Nonlinearity is defined as the deviation of the output-voltage-versus-temperature curve from the best-fit straight line, over the device's rated temperature range.

Note 9: Quiescent current is defined in the circuit of Figure 1.

Note 10: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions. See Note 1.

Note 11: Human body model, 100 pF discharged through a $1.5 \text{ k}\Omega$ resistor.

Note 12: See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" or the section titled "Surface Mount" found in a current National Semiconductor Linear Data Book for other methods of soldering surface mount devices.

MOC3020 THRU MOC3023 OPTOCOUPLED/OPTOISOLATORS

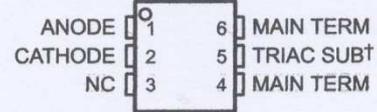
SOES025A – OCTOBER 1986 – REVISED APRIL 1998

- 400 V Phototriac Driver Output
- Gallium-Arsenide-Diode Infrared Source and Optically-Coupled Silicon Triac Driver (Bilateral Switch)
- UL Recognized . . . File Number E65085
- High Isolation . . . 7500 V Peak
- Output Driver Designed for 220 Vac
- Standard 6-Terminal Plastic DIP
- Directly Interchangeable with Motorola MOC3020, MOC3021, MOC3022, and MOC3023

typical 115/240 Vac(rms) applications

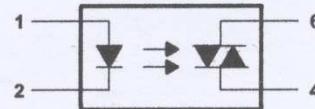
- Solenoid/Valve Controls
- Lamp Ballasts
- Interfacing Microprocessors to 115/240 Vac Peripherals
- Motor Controls
- Incandescent Lamp Dimmers

MOC3020 – MOC3023 . . . PACKAGE
(TOP VIEW)



† Do not connect this terminal
NC – No internal connection

logic diagram



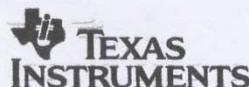
absolute maximum ratings at 25°C free-air temperature (unless otherwise noted)†

Input-to-output peak voltage, 5 s maximum duration, 60 Hz (see Note 1)	7.5 kV
Input diode reverse voltage	3 V
Input diode forward current, continuous	50 mA
Output repetitive peak off-state voltage	400 V
Output on-state current, total rms value (50-60 Hz, full sine wave): T _A = 25°C	100 mA
T _A = 70°C	50 mA
Output driver nonrepetitive peak on-state current (t _w = 10 ms, duty cycle = 10%, see Figure 7)	1.2 A
Continuous power dissipation at (or below) 25°C free-air temperature:	
Infrared-emitting diode (see Note 2)	100 mW
Phototriac (see Note 3)	300 mW
Total device (see Note 4)	330 mW
Operating junction temperature range, T _J	-40°C to 100°C
Storage temperature range, T _{stg}	-40°C to 150°C
Lead temperature 1,6 (1/16 inch) from case for 10 seconds	260°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

- NOTES:
1. Input-to-output peak voltage is the internal device dielectric breakdown rating.
 2. Derate linearly to 100°C free-air temperature at the rate of 1.33 mW/°C.
 3. Derate linearly to 100°C free-air temperature at the rate of 4 mW/°C.
 4. Derate linearly to 100°C free-air temperature at the rate of 4.4 mW/°C.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 1998, Texas Instruments Incorporated



MOC3020 THRU MOC3023 OPTOCOUPLEDERS/OPTOISOLATORS

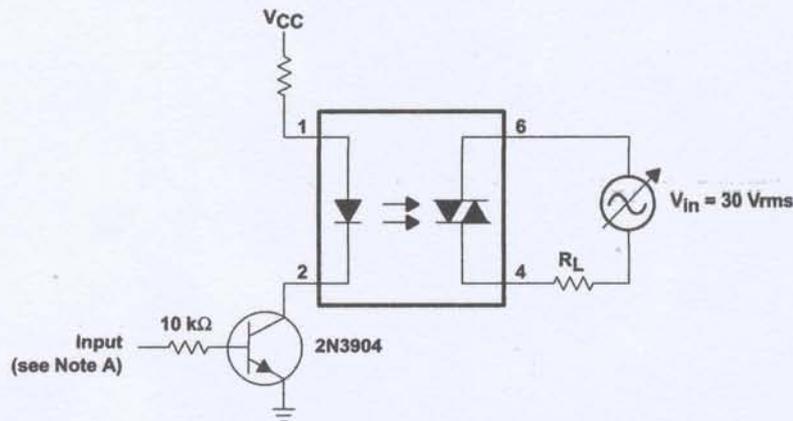
SOES025A – OCTOBER 1986 – REVISED APRIL 1998

electrical characteristics at 25°C free-air temperature (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
I_R	Static reverse current	$V_R = 3\text{ V}$		0.05	100	μA
V_F	Static forward voltage	$I_F = 10\text{ mA}$		1.2	1.5	V
$I_{(DRM)}$	Repetitive off-state current, either direction	$V_{(DRM)} = 400\text{ V}$, See Note 5		10	100	nA
dv/dt	Critical rate of rise of off-state voltage	See Figure 1		100		$\text{V}/\mu\text{s}$
$dv/dt(c)$	Critical rate of rise of commutating voltage	$I_O = 15\text{ mA}$, See Figure 1		0.15		$\text{V}/\mu\text{s}$
I_{FT}	Input trigger current, either direction	MOC3020	Output supply voltage = 3 V	15	30	mA
		MOC3021		8	15	
		MOC3022		5	10	
		MOC3023		3	5	
V_{TM}	Peak on-state voltage, either direction	$I_{TM} = 100\text{ mA}$		1.4	3	V
I_H	Holding current, either direction			100		μA

NOTE 5: Test voltage must be applied at a rate no higher than 12 V/ μs .

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION



NOTE A. The critical rate of rise of off-state voltage, dv/dt , is measured with the input at 0 V. The frequency of V_{in} is increased until the phototriac turns on. This frequency is then used to calculate the dv/dt according to the formula:

$$dv/dt = 2\sqrt{2}\pi f V_{in}$$

The critical rate of rise of commutating voltage, $dv/dt(c)$, is measured by applying occasional 5-V pulses to the Input and increasing the frequency of V_{in} until the phototriac stays on (latches) after the input pulse has ceased. With no further input pulses, the frequency of V_{in} is then gradually decreased until the phototriac turns off. The frequency at which turn-off occurs may then be used to calculate the $dv/dt(c)$ according to the formula shown above.

Figure 1. Critical Rate of Rise Test Circuit

