

**PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT  
PENGENDALI SUHU DAN KELEMBABAN RELATIF  
PADA RUANGAN BUDIDAYA JAMUR TIRAM PUTIH  
(*PLEUROTUS FLORIDAE*) MENGGUNAKAN FUZZY  
LOGIC CONTROL BERBASIS MIKROKONTROLER  
AT89C51**

**SKRIPSI**

Disusun oleh :

**NAMA : TOMY ANSARI**

**NIM : 01.17.105**



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
PROGRAM STUDI ELEKTRONIKA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
SEPTEMBER 2006**

---

LEMBAR PERSETUJUAN  
SKRIPSI

PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT PENGENDALI  
SUHU DAN KELEMBABAN RELATIF PADA RUANGAN  
BUDIDAYA JAMUR TIRAM PUTIH (*PLEUROTUS  
FLORIDAE*) MENGGUNAKAN FUZZY LOGIC CONTROL  
BERBASIS MIKROKONTROLER AT89C51

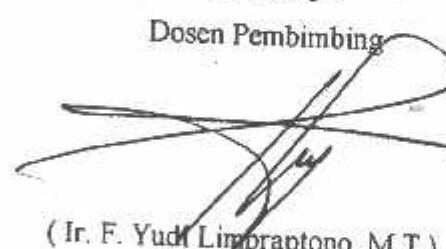
Diajukan guna memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana  
Teknik Elektronika Strata Satu (S-1)

Disusun oleh :

Nama : TOMY ANSARI

NIM : 01.17.105

Mengetahui  
Ketua Jurusan Teknik Elektro  
  
(Yudi Limpraptono, M.T.)

Menyetujui  
Dosen Pembimbing  
  
(Ir. F. Yudi Limpraptono, M.T.)

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
PROGRAM STUDI ELEKTRONIKA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
SEPTEMBER 2006

## ABSTRAKSI

Tomy Ansari, 01.17.105, Perencanaan dan Pembuatan Alat Pengendali Suhu dan Kelembaban Relatif Pada Ruangan Budidaya Jamur Tiram Putih (*Pleurotus floridiae*) Menggunakan Fuzzy Logic Control Berbasis Mikrokontroler AT89C51, Program Study Elektronika, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang. Dosen Pembimbing : Ir. F. Yudi Limpraptono, M.T.

Jamur tiram putih (*Pleurotus floridiae*) tumbuh dan berkembang dengan optimal pada suhu 21 – 28 °C dengan kelembaban relatif 90 - 95 %. Suhu dan kelembaban ini harus dijaga konstan dengan melakukan penyiraman dan pemanasan secara periodik. Penggunaan sistem kontrol fuzzy memiliki kelebihan tingkat linearitas yang tinggi dibandingkan dengan sistem kontrol digital biasa.

Output yang digunakan adalah pemanas, kipas dan air. Masing-masing output memiliki tiga tingkat kondisi yaitu negatif (N), zero (Z) dan positif (P). Pengambilan keputusan berdasarkan rule-rule yang dibuat berdasarkan nilai yang dikehendaki.

Set point (Z) diperoleh pada suhu 26 °C dan kelembaban 90 % RH. Negatif suhu pada 23 °C dan kelembaban 88 %RH. Positif suhu diperoleh pada 29 °C dan kelembaban 92 %RH.



## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan rasa syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta karuniaNya, Laporan Skripsi ini akhirnya dapat terselesaikan dengan baik tanpa rintangan yang berarti. Laporan Skripsi ini merupakan bentuk tertulis dari alat pengendali suhu dan kelembaban pada ruangan budidaya jamur tiram putih menggunakan fuzzy logic control berbasis mikrokontroler AT89C51.

Tersusunnya laporan ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan rasa terima kasih yang setinggi-tingginya kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Abraham Lomi, MSEE, selaku Rektor ITN Malang.
2. Bapak Ir. Mochtar Asroni, MSME Selaku Dekan FTI ITN Malang.
3. Bapak Ir. F. Yudi Limpraptono, MT. selaku Kajur T. Elektro ITN Malang.
4. Bapak Ir. F. Yudi Limpraptono, MT. selaku Dosen Pembimbing.
5. Rekan-rekan dan semua pihak yang telah membantu terselesaikannya Laporan Tugas Akhir ini.

Laporan Skripsi ini tentu masih jauh dari kesempurnaan mengingat keterbatasan pengetahuan dan kemampuan yang penulis miliki. Untuk itu segala saran dan kritik yang sifatnya membangun, penulis hargai demi perbaikan dimasa yang akan datang. Semoga dengan terselesaikannya Laporan Skripsi ini bisa bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi pembaca pada umumnya.

Malang, 22 september 2006

Penulis



## DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL .....	i
LEMBAR PERSETUJUAN .....	ii
ABSTRAKSI .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Metodologi .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II LANDASAN TEORI .....</b>	<b>6</b>
2.1 Jamur Tiram Putih ( <i>Pleurotus Floridae</i> ) .....	6
2.1.1 Morfologi Jamur Tiram Putih .....	6
2.1.2 Pemeliharaan Jamur Tiram Putih .....	9
2.2 Mikrokontroler AT 89C51 .....	10
2.2.1 Perangkat Keras AT89C51 .....	11

2.2.1.1	Konfigurasi Pin-pin AT89C51 .....	11
2.2.1.2	Karakteristik Oscilator .....	14
2.2.2	Organisasi Memori .....	15
2.3	Fuzzy Logic Control (FLC) .....	16
2.3.1	Unit Fuzzyfikasi .....	19
2.3.2	Basis Pengetahuan (Nolidge Base) .....	20
2.3.2.1	Basis Aturan .....	21
2.3.2.2	Basis Data .....	21
2.3.3	Unit Pengambilan Keputusan (Inference) .....	22
2.3.4	Defuzzyfikasi .....	23
2.4	Sensor Suhu LM 35 .....	24
2.5	Sensor Kelembaban HS 15P .....	25
2.6	ADC 0804 ( Analog to Digital Converter ) .....	26
2.7	Liquid Cristal Display ( LCD ) .....	27
2.7.1	Umum .....	27
2.7.2	Karakteristik LCD M162ABC .....	28
2.7.3	Konfigurasi Pin LCD M162ABC .....	29
2.8	Operasional Amplifier .....	30
2.8.1	Umum .....	30
2.8.2	Penguat Membalik .....	31
2.8.3	Penguat Tak Membalik .....	31
2.9	Multivibrator Astabil NE555 .....	32
2.10	Transistor Sebagai Saklar .....	34

2.11 Relay .....	35
2.12 DAC (Digital to Analog Converter) .....	36
<b>BAB III PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT .....</b>	<b>38</b>
3.1 Perencanaan Perangkat Keras .....	38
3.1.1 Perencanaan Sensor Suhu dan Penguat Tak Membalik .....	40
3.1.2 Perencanaan ADC 0804 .....	42
3.1.3 Perencanaan Sensor Kelembaban dan Multivibrator .....	43
3.1.4 Perencanaan Driver Motor Penyemprot .....	44
3.1.5 Perencanaan Rangkaian DAC .....	46
3.1.6 Perencanaan Rangkaian Driver Heater .....	46
3.1.7 Perencanaan Rangkaian Driver Kipas .....	47
3.1.8 Perencanaan LCD .....	48
3.1.9 Perencanaan Rangkaian Switch .....	49
3.1.10 Perencanaan Mikrokontroler .....	50
3.2 Perencanaan Perangkat Lunak .....	51
3.2.1 Fuzzyfikasi .....	52
3.2.2 Inferensi Fuzzy .....	54
3.2.3 Defuzzyfikasi .....	56
<b>BAB IV PENGUKURAN DAN PENGUJIAN .....</b>	<b>57</b>
4.1 Pengukuran Rangkaian Sensor Suhu dan Penguat Instrumentasi .....	57
4.1.1 Tujuan .....	57
4.1.2 Alat dan Bahan .....	57

4.1.3	Langkah Pengukuran	58
4.1.4	Hasil Pengukuran	58
4.1.5	Analisa Hasil Pengukuran	58
4.2	Pengukuran Rangkaian ADC	61
4.2.1	Tujuan	61
4.2.2	Alat dan Bahan	61
4.2.3	Langkah Pengukuran	61
4.2.4	Hasil Pengukuran	62
4.2.5	Analisa Hasil Pengukuran	62
4.3	Pengukuran Sensor Kelembaban dan Multivibrator	64
4.3.1	Tujuan	64
4.3.2	Alat dan Bahan	64
4.3.3	Langkah Pengukuran	64
4.3.4	Hasil Pengukuran	65
4.3.5	Analisa Hasil Pengukuran	65
4.4	Pengukuran Rangkaian DAC	66
4.4.1	Tujuan	66
4.4.2	Alat dan Bahan	66
4.4.3	Langkah Pengukuran	66
4.4.4	Hasil Pengukuran	67
4.4.5	Analisa Hasil Pengukuran	67
4.5	Penguukuran Rangkaian Driver Pompa	68
4.5.1	Tujuan	68

4.5.2	Alat dan Bahan .....	68
4.5.3	Langkah Pengukuran .....	68
4.5.4	Hasil Pengukuran .....	69
4.5.5	Analisa Hasil Pengukuran .....	69
4.6	Pengukuran Driver Kipas dan Heater .....	69
4.6.1	Tujuan .....	69
4.6.2	Alat dan Bahan .....	69
4.6.3	Langkah Pengukuran .....	70
4.6.4	Hasil Pengukuran .....	70
4.6.5	Analisa Hasil Pengukuran .....	71
4.7	Pengujian Software Fuzzy .....	72
4.7.1	Tujuan .....	72
4.7.2	Alat dan Bahan .....	72
4.7.3	Langkah Pengujian .....	72
4.7.4	Hasil Pengujian .....	73
<b>BAB V PENUTUP .....</b>		<b>76</b>
5.1	Kesimpulan .....	76
5.2	Saran .....	76
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>77</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>78</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1	Jamur Tiram Putih ( <i>Pleurotus Floridae</i> ) .....	7
Gambar 2-2	Konfigurasi Pin-pin IC AT89C51 .....	12
Gambar 2-3	Rangkaian Oscilator .....	14
Gambar 2-4	Himpunan Fuzzy Untuk Variabel Suhu .....	17
Gambar 2-5	Struktur Kontrol Logika Fuzzy Dasar .....	18
Gambar 2-6	Metode Penalaran Fuzzy Max_Min .....	22
Gambar 2-7	Penampaug dan Rangkaian Dasar LM 35 .....	25
Gambar 2-8	Sensor Kelembaban HS 15P .....	26
Gambar 2-9	Konfigurasi Pin-pin ADC 0804 .....	26
Gambar 2-10	Konfigurasi Pin-pin LCD MI62ABC .....	29
Gambar 2-11	Simbol Opamp .....	30
Gambar 2-12	Penguat Membalik .....	31
Gambar 2-13	Penguat Tak Membalik .....	32
Gambar 2-14	Voltage Follower .....	32
Gambar 2-15	Rangkaian Multivibrator Astabil .....	33
Gambar 2-16	Rangkaian Dasar Transistor .....	34
Gambar 2-17	Macam-macam Relay .....	35
Gambar 2-18	Rangkaian DAC Jaringan Tangga R-2R .....	36
Gambar 3-1	Blok Diagram Alat Pengendali Suhu dan Kelembaban .....	38
Gambar 3-2	Rangkaian Sensor Suhu .....	41
Gambar 3-3	Penguat Tak Membalik .....	41
Gambar 3-4	Rangkaian ADC 0804 .....	42

Gambar 3-5	Sensor Kelembaban dan Multivibrator Astabil .....	44
Gambar 3-6	Rangkaian Driver Motor Penyemprot .....	45
Gambar 3-7	Rangkaian DAC .....	46
Gambar 3-8	Rangkaian Driver Heater .....	47
Gambar 3-9	Rangkaian Driver Kipas .....	48
Gambar 3-10	Rangkaian LCD .....	49
Gambar 3-11	Rangkaian Tombol Switch .....	49
Gambar 3-12	Rangkaian Mikrokontroler AT89C51 .....	50
Gambar 3-13	Diagram Alir Pemrograman Fuzzy Secara Umum .....	51
Gambar 3-14	Fuzzyfikasi Suhu Dan Kelembaban .....	52
Gambar 3-15	Fuzzyfikasi Pemanas, Kipas dan Pelembab .....	54
Gambar 4-1	Blok Pengukuran Sensor Suhu .....	58
Gambar 4-2	Linearitas Sensor Suhu LM 35 .....	60
Gambar 4-3	Blok Pengukuran ADC .....	61
Gambar 4-4	Blok Pengukuran Sensor Kelembaban .....	63
Gambar 4-5	Foto Hasil Pengujian Gelombang Multivibrator Astabil .....	64
Gambar 4-6	Linearitas Sensor Kelembaban HS 15P .....	65
Gambar 4-7	Blok Pengukuran DAC .....	66
Gambar 4-8	Blok Pengukuran Driver Pompa .....	69
Gambar 4-9	Blok Pengukuran Driver Kipas dan Heater .....	70
Gambar 4-10	Perbandingan Kecepatan Suhu dan Kelembaban .....	76
Gambar 4-11	Foto Alat Keseluruhan .....	76
Gambar 4-12	Foto Tampilan Alat .....	76

## DAFTAR TABEL

Tabel 2-1	Perbandingan IC MCS-51 .....	11
Tabel 2-2	Fungsi Khusus Port 3 AT 89C51 .....	13
Tabel 2-3	Fungsi Pin-pin LCD M162ABC .....	29
Tabel 4-1	Hasil Pengukuran Sensor Suhu dan Penguat .....	58
Tabel 4-2	Perbandingan Hasil Pengukuran dan Hasil Perhitungan Sensor Suhu .....	60
Tabel 4-3	Hasil Pengukuran ADC .....	61
Tabel 4-4	Hasil Pengukuran Rangkaian Multivibratir Astabil .....	64
Tabel 4-5	Perbandingan Hasil Pengukuran dan Hasil Perhitungan Rangkaian Multivibrator Astabil .....	66
Tabel 4-6	Hasil Pengukuran DAC .....	67
Tabel 4-7	Perbandingan Hasil Perhitungan dan Hasil Pengukuran DAC .....	68
Tabel 4-8	Hasil Pengukuran Rangkaian Driver Pompa .....	69
Tabel 4-9	Hasil Pengukuran Rangkaian Driver Kipas dan Heater .....	71
Tabel 4-10	Pengujian Rule .....	74



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan dan kemajuan teknologi khususnya dalam bidang elektronika dewasa ini begitu pesat dan telah menjangkau segala bidang kehidupan masyarakat. Salah satunya adalah teknologi kontrol otomatis yang digunakan pada mesin atau sistem dan telah banyak berpengaruh pada kehidupan manusia. Pekerjaan yang dulunya harus dilakukan secara manual sekarang dapat dikerjakan secara otomatis tanpa banyak campur tangan manusia.

Jamur tiram putih (*Pleurotus floridae*) adalah salah satu produk pertanian yang mempunyai nilai gizi tinggi dan bermanfaat bagi kesehatan sehingga produk ini bisa dikonsumsi oleh siapa saja. Dalam proses budidaya, komoditi jamur tiram putih ini tidak membutuhkan lahan khusus yang luas, dan biasanya dilakukan dalam sebuah ruangan yang ukurannya tidak terlalu besar. Untuk membudidayakan jamur tiram putih ini dibutuhkan ketelitian dan kesabaran karena harus mengatur suhu dan kelembaban yang sesuai dengan perkembangan jamur tiram putih. Suhu yang dibutuhkan berkisar antara 21 °C – 28 °C dengan kelembaban 90% - 95% RH.

Kota Malang memiliki suhu kisaran rata-rata 23 °C - 25 °C dan kelembaban 72% RH (Dinas Infokom kota Malang; 2003: 1), karena itu tidak dapat memenuhi syarat kondisi optimal untuk pembudidayaan jamur tiram. Untuk mempertahankan suhu dan kelembaban ruangan yang sesuai dengan kebutuhan

---

jamur tiram dilakukan penyiraman dan penyemprotan setiap hari, yaitu dua kali sehari pagi dan sore.

Bila proses penyiraman dan penyemprotan ini dilakukan secara manual tentu menjadi kurang efektif dan efisien, karena akan menyebabkan terjadinya pemborosan energi dan waktu. Untuk mengatasi hal ini diperlukan suatu sistem yang dapat menjaga suhu pada kisaran  $21^{\circ}\text{C}$  -  $28^{\circ}\text{C}$  dengan kelembaban 90%-95% RH.

Dengan menerapkan Fuzzy Logic Control kita dapat menciptakan sistem ini. Fuzzy Logic Control mampu mengambil keputusan yang cukup akurat dengan dua macam masukan yaitu suhu dan kelembaban. Pengambilan keputusan dibatasi oleh rule-rule yang disusun berdasar pengalaman seseorang yang ahli dalam hal ini.

## 1.2 Rumusan Masalah

Mengacu pada permasalahan yang diuraikan pada latar belakang, maka rumusan masalah dapat ditekankan pada :

1. Bagaimana merancang dan membuat sistem yang dapat mendeteksi perubahan suhu dan kelembaban udara.
2. Bagaimana merancang dan membuat kontrol suhu dan kelembaban dengan *Fuzzy Logic Control* untuk ruangan jamur tiram putih.

## 1.3 Tujuan

Tujuan dari skripsi ini adalah merencanakan dan membuat suatu alat yang digunakan untuk mengatur suhu dan kelembaban ruangan pembudidayaan jamur

---

---

tiram putih pada 21 °C - 28 °C dan 90% – 95% RH dengan menerapkan teori *Fuzzy Logic Control*.

#### 1.4 Batasan Masalah

Dalam perencanaan dan pembuatan sistem pengaturan suhu dan kelembaban udara dalam ruangan budidaya jamur tiram putih dibatasi pada:

1. Ruang pembudidayaan jamur tiram yang dikontrol tidak menggunakan yang sebenarnya, melainkan menggunakan model ruangan (*prototype*). Di asumsikan bahwa bentuk ruangan yang digunakan serta jarak antara sensor dan aktuator tidak mempengaruhi aksi pengontrolan.
2. Tidak membahas tentang catu daya secara mendetail.
3. Pembahasan tentang pendingin, pemanas, dan pelembabnya dibatasi pada masalah pemenuhan suhu dan kelembaban sesuai dengan kebutuhan jamur tiram putih tanpa membahas teknik pembuatan dan instalasi pemanas, pendingin, dan pelembab serta tidak membahas termodinamika.
4. Suhu dan kelembaban luar tidak diperhitungkan.
5. Disipasi daya pada tiap-tiap komponen dan hal-hal lain di luar rumusan masalah tidak dibahas.
6. Piranti antar muka dan peralatan lain di buat pada suatu papan tercetak (PCB) tanpa memperhitungkan efek-efek rugi yang timbul antar jalur konduktor.
7. Suhu dan kelembaban ruangan dianggap merata.

#### 1.5 Metodologi

Penelitian yang dilakukan dalam penyusunan skripsi ini adalah penelitian yang bersifat aplikatif, yaitu pembuatan sistem pengontrol suhu dan kelembaban

---

---

ruangan untuk budidaya jamur tiram putih (*Pleurotus floridae*) dengan sistem *Fuzzy Logic Control* berbasis mikrokontroler AT89C51. Adapun metodologi yang digunakan adalah :

1. Study literatur , yaitu mempelajari dasar-dasar teori pembudidayaan jamur tiram putih (*Pleurotus floridae*), mikrokontroler AT89C51, ADC. *Fuzzy Logic Control* dan hal-hal yang berhubungan dengan pembuatan alat berdasarkan literatur-literatur yang ada.
2. Pembuatan alat dilakukan berdasarkan perancangan dan perhitungan-perhitungan tiap blok rangkaian untuk selanjutnya direalisasikan di atas PCB dan didukung oleh perangkat lunak.
3. Pengukuran dan pengujian alat dilakukan perblok dan secara keseluruhan sehingga diketahui unjuk kerja dari sistem yang dibuat.

#### **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan laporan tugas akhir adalah sebagai berikut:

#### **BAB I PENDAHULUAN**

Meliputi latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi dan sistematika penulisan.

#### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Tinjauan pustaka menjelaskan tentang teori dasar dan piranti-piranti yang digunakan dalam perancangan alat yang meliputi mikrokontroler AT89C51, sensor kelembaban, sensor suhu, ADC 0804, DAC 0808,

multivibrator dan kontrol logika fuzzy, serta komponen-komponen pendukung yang digunakan dalam pembuatan alat.

### **BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT**

Menjelaskan tentang diagram blok rangkaian, prinsip kerja, perencanaan dan pembuatan setiap blok rangkaian sehingga menjadi satu kesatuan sistem.

### **BAB IV PENGUKURAN DAN PENGUJIAN ALAT**

Menjelaskan tentang pengukuran dan pengujian alat per blok dan secara keseluruhan serta analisa dari hasil pengukuran dan pengujian yang dilakukan.

### **BAB V PENUTUP**

Berisikan tentang kesimpulan dan saran .

---

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Jamur Tiram Putih (*Pleurotus Floridae*)

##### 2.1.1 Morfologi Jamur Tiram Putih

Jamur tiram termasuk keluarga *Agaricaceae* atau *Tricholomataceae* dari kelas *Basidiomycetes*. Klasifikasi jamur tiram menurut Alexopolous (1962) adalah sebagai berikut<sup>[1]</sup> :

Super Kingdom	: <i>Eukaryota</i>
Kingdom	: <i>Myceteae</i>
Divisio	: <i>Amastigomycota</i>
Sub-Divisio	: <i>Basidiomycotae</i>
Kelas	: <i>Basidiomycetes</i>
Ordo	: <i>Agaricales</i>
Familia	: <i>Agaricaceae</i>
Genus	: <i>Pleurotus</i>
Spesies	: <i>Pleurotus spp.</i>

Jamur tiram adalah jamur kayu yang tumbuh berderet menyamping pada batang kayu lapuk. Jamur ini memiliki tubuh buah yang tumbuh mekar membentuk corong dangkal seperti kerang (tiram). Tubuh buah jamur ini memiliki tudung (*pileus*) dan tangkai (*stipe*). Pileus berbentuk mirip cangkang tiram berukuran 5 - 15 cm dan permukaan bagian bawah berlapis-lapis seperti insang berwarna putih dan lunak. Sedangkan tangkainya dapat berukuran pendek atau panjang tergantung pada kondisi lingkungan dan iklim yang mempengaruhi

---

pertumbuhannya.

Jamur tiram adalah tanaman makroskopik yang tidak memiliki klorofil. Jamur sebagai tanaman memiliki inti, berspora, dan merupakan sel-sel lepas atau bersambungan membentuk benang yang bersekat atau tidak bersekat yang disebut hifa. Hifa jamur disebut miselium (kumpulan hifa). Miselium jamur bercabang-cabang dan pada titik-titik pertemuannya membentuk bintik kecil yang disebut sporangium yang akan tumbuh menjadi pin *head* (tunas atau calon tubuh buah jamur) dan akhirnya berkembang menjadi jamur (tubuh buah).



**Gambar 2-1**

**Jamur Tiram Putih (*Pleurotus Floridae*)<sup>(1)</sup>**

Jamur tiram banyak tumbuh secara liar di kawasan yang berdekatan dengan hutan, menempel pada kayu atau dahan kering. Jamur ini tumbuh terutama pada waktu musim hujan. Daya tarik jamur tiram adalah pada warna tubuh buahnya yang bervariasi, mulai dari putih (sehingga disebut jamur tiram putih), kecokelatan, keabu-abuan, dan lain-lain. Jamur tiram terdiri atas sekitar sepuluh jenis, dengan bentuk dan warna tubuh buah maupun nama setempat yang berbeda.

Syarat tumbuh jamur tiram meliputi beberapa parameter terutama temperatur, kelembaban relatif, waktu, kandungan CO<sub>2</sub> dan cahaya yang mempengaruhi dari pertumbuhan jamur tiram itu sendiri. Parameter pertumbuhan jamur tiram yang dibahas dalam laporan tugas akhir ini antara lain pengaturan suhu (temperatur) dan kelembaban relatif. Suhu yang dibutuhkan dalam pertumbuhan jamur tiram adalah 21° C - 28° C dan kelembaban relatif 90% - 95% RH.

Budidaya jamur kayu secara tradisional tidak memerlukan ruang pemeliharaan. Gelondongan kayu yang sudah ditanami bibit cukup ditempatkan dibawah timbunan pohon. Namun dalam budi daya jamur tiram secara intensif, pemeliharaan harus dilakukan di ruangan (bangunan) yang sesuai dan memenuhi persyaratan, baik bentuk, ukuran, maupun lingkungannya.

Bangunan dapat dibuat dari bahan bambu, kayu, atau besi. Bangunan yang terbuat dari kayu harus dipilih dari kayu yang sudah diawetkan, agar tidak mudah menjadi lembab. Jika jamur sudah menghasilkan tubuh buah, sejumlah besar spora (bibit jamur) yang dihasilkan akan bertebaran di dalam ruangan. Jika menempel pada kayu yang lembab, misalnya tiang atau bagian bangunan, spora tersebut akan berkecambah dan tumbuh. Pertumbuhan jamur ini dapat menyebabkan kayu menjadi lapuk, sehingga tiang atau bagian bangunan akan rusak, bahkan ambruk. Bangunan yang terbuat dari besi relatif lebih baik, dan biasanya dinding terbuat dari lembaran plastik hitam atau cokelat tua, sehingga mudah digulung / diangkat ke atas jika diperlukan.



### **2.1.2 Pemeliharaan Jamur Tiram Putih**

Bibit jamur yang ditanam pada umumnya masih dalam bentuk serat atau *miselia*. Pertumbuhan jamur di dalam *miselia* masih terbatas. Di dalam substrat tanam, *miselia* ini akan tumbuh dan berkembang ke segala arah. Jika perkembangan *miselia* sudah cukup dan keadaan lingkungan memadai, maka *miselia* tersebut akan tumbuh kuncup atau bakal tubuh buah, berupa bulatan sebesar kepala jarum pentul. Jika kondisi lingkungan memungkinkan, kuncup tersebut akan tumbuh membesar hingga akhirnya membentuk tubuh buah yang disebut batang jamur.

Pertumbuhan batang jamur dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan. Oleh karena itu, dalam pemeliharaan jamur, masalah-masalah yang berhubungan dengan lingkungan harus benar-benar dikelola dengan baik. Faktor-faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap pertumbuhan jamur tiram antara lain<sup>[1]</sup>:

#### **1. Air**

Kandungan air di dalam substrat sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan perkembangan *miselia* jamur. Kandungan air yang terlalu rendah akan menyebabkan pertumbuhan dan perkembangan jamur terganggu atau terhenti sama sekali. Sebaliknya, kandungan air yang terlalu tinggi akan menyebabkan sebagian besar *miselia* akan membusuk dan mati. Untuk mendapatkan kandungan air yang cukup di dalam substrat tanam dapat dilakukan penyiraman, yaitu dua kali sehari, pagi dan sore.

#### **2. Temperatur**

Pada umumnya, jamur akan tumbuh dengan baik pada kisaran temperatur

antara 22° C - 28° C

### 3. Kelembaban Udara

Selama pertumbuhan bibit dan pertumbuhan tubuh buah, kelembaban udara diatur sekitar 90% RH. Jika kelembaban kurang, misalnya sekitar 80% RH, maka substrat tanam akan mengering. Agar kelembaban terjamin, maka perlu dilakukan penyiraman dengan menggunakan air.

## 2.2 Mikrokontroler AT 89C51

Perbedaan mendasar antara mikrokontroler dengan mikroprosesor adalah pada mikrokontroler selain memiliki CPU (*Central Processing Unit*) seperti halnya mikroprosesor juga dilengkapi dengan input output (*I/O*) dan memori sebagai satu kesatuan sistem dalam chipnya. Dengan demikian sebuah mikrokontroler dapat juga dikatakan sebagai mikrokomputer dalam keping tunggal (*Single Chip Microcomputer*) yang dapat berdiri sendiri.

Mikrokontroler AT89C51 adalah mikrokontroler ATMEL yang kompatibel penuh dengan mikrokontroler keluarga MCS-51 dari INTEL. Mikrokontroler ini memiliki *performance* yang tinggi dan merupakan mikrokomputer 8 bit yang dilengkapi 4 Kbyte EPROM (*Erasable and Programmable Read Only Memory*) dan 128 Byte RAM (*Random Access Memory*) internal.

Secara umum mikrokontroler AT89C51 memiliki <sup>[2]</sup>:

- CPU 8 bit
- 4 Kbyte ROM

- 128 byte RAM
- 2 buah timer dan counter 16 bit
- 64 K ruang memory eksternal
- Port serial yang dapat diprogram
- Bolean processor (operasi bit)
- 210 bit addressable locations.

Perbandingan beberapa mikrokontroler dalam keluarga MCS-51 ditunjukkan dalam tabel berikut:

**Tabel 2-1**  
Perbandingan IC MCS-51 <sup>[2]</sup>

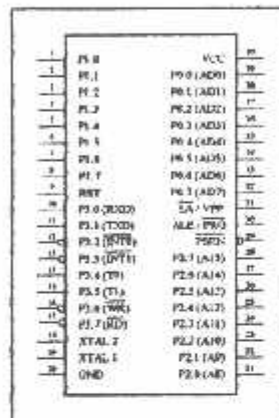
PART NUMBER	ON-CHIP CODE MEMORY	ON-CHIP DATA MEMORY	TIMER
8031	0K	128 BYTES	2
8032	0K	256 BYTES	3
8051	4K ROM	128 BYTES	2
8052	8K ROM	256 BYTES	3
8751	4K EPROM	128 BYTES	2
8752	8K EPROM	256 BYTES	3
AT89C51	4K EEPROM	128 BYTES	2

## 2.2.1 Perangkat Keras AT 89C51

### 2.2.1.1 Konfigurasi Pin-pin AT89C51

Gambar berikut ini menunjukkan penampang pin-pin IC 89C51. Dari 40 pin yang dimiliki, 32 pin difungsikan sebagai jalur I/O, 2 pin untuk sumber

tegangan, 2 pin untuk sumber clock, 1 untuk reset dan 3 pin untuk control chips. Dari 32 pin I/O, 24 pin (P0, P2 dan P3) mempunyai dua fungsi masing-masing dapat dioperasikan sebagai port I/O atau jalur kontrol atau dapat juga sebagai bus alamat dan bus data dalam pengaksesan memori eksternal.



**Gambar 2-2**  
**Konfigurasi Pin-pin IC AT89C51<sup>(3)</sup>**

Fungsi dari masing-masing pin tersebut sebagai berikut:

- Port 0 ( pin 32 – 39 ) adalah Port I/O serbaguna, dapat juga dimultipleks untuk data bus dan address bus (LSB) pada rancangan yang menggunakan memori eksternal.
- Port 1 ( pin 1 – 8 ) adalah port I/O.
- Port 2 ( pin 21 – 28 ) adalah port I/O serbaguna, atau untuk *address bus* (MSB) pada rancangan yang menggunakan memori eksternal.
- Port 3 ( pin 10 – 17 ) adalah port I/O. Port ini juga mempunyai fungsi khusus seperti pada tabel berikut :

Tabel 2-2  
Fungsi Khusus Port 3 AT89C51<sup>[2]</sup>

BIT	NAMA	ALAMAT BIT	FUNGSI
P3.0	RXD	B0H	Menerima data port serial
P3.1	TXD	B1H	Mengirim data port serial
P3.2	INT0	B2H	Eksternal interrupt 0
P3.3	INT1	B3H	Eksternal interrupt 1
P3.4	T0	B4H	Eksternal input timer/counter 0
P3.5	T1	B5H	Eksternal input timer/counter 1
P3.6	WR	B6H	Write strobe data memori eksternal
P3.7	RD	B7H	Read strobe data memori eksternal

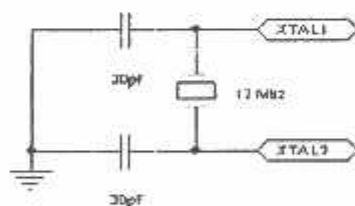
- Reset ( pin 9 ) adalah pin reset master dari AT 89C51.
- $\overline{\text{ALE/PROG}}$  (*Address Latch Enable / Program*, pin 30 ) adalah pin untuk demultiplek bus alamat (LSB) dan bus data selama mengakses memori eksternal. Sinyal ALE membangkitkan pulsa sebesar 1/6 frekuensi oscilator dan dapat digunakan sebagai clock yang dapat digunakan secara umum.
- $\overline{\text{PSEN}}$  ( *Program Store Enable*, pin 29 ) adalah sinyal kontrol untuk memungkinkan mikrokontroler membaca program ( *code* ) dari memori eksternal dan biasanya dihubungkan dengan pin  $\overline{\text{OE}}$  dari EPROM. Jika eksekusi program dari ROM internal atau dari flash memori maka PSEN berada dalam kondisi tidak aktif ( *high* ).
- EA/VPP ( *Eksternal Access* , pin 31 ) adalah pin untuk mengakses memori. Jika pin ini diberi logika rendah ( *ground* ), mikrokontroler akan mengakses memori eksternal. Bila pin ini diberi logika high ( +VCC ), mikrokontroler

akan mengakses memori internal ( ROM / flash memori ). Pada IC mikrokontroler 8031/8032 pin ini harus dihubungkan ke ground karena chips tidak memiliki ROM internal.

- XTAL1, XTAL2 ( pin 18, 19 ) adalah pin oscilator yang dikemudikan oleh x'tal. Diperlukan kapasitor penstabil 30pF dengan nilai x'tal sebesar 4 – 16 Mhz pada keluarga MCS-51.
- Power ( pin 40 dan 20 ) adalah masing-masing untuk sumber tegangan supply +5V dan ground.

### 2.2.1.2 Karakteristik Oscilator

XTAL1 dan XTAL2 secara berurutan merupakan input dan output dari sebuah inverting amplifier yang dapat dikonfigurasi penggunaannya sebagai on-chip oscilator baik menggunakan sebuah kristal quartz atau resonator keramik. Bila menggunakan oscilator eksternal, pin XTAL1 dibiarkan tidak terhubung dan XTAL2 dihubungkan ke output oscilator eksternal. Namun bila menggunakan oscilator internal, pin XTAL1 dan XTAL2 dihubungkan seperti gambar berikut :



**Gambar 2-3**  
Rangkaian Oscilator <sup>[3]</sup>

### 2.2.2 Organisasi Memori

Memori AT89C51 terdiri dari dua bagian yaitu memori data dan memori program. Memori program berfungsi untuk menyimpan instruksi-instruksi yang akan dijalankan sedangkan memori data berfungsi untuk menyimpan data-data yang sedang dan akan diakses oleh mikrokontroler. Memori ini dapat berupa memori internal, memori eksternal atau gabungan keduanya.

Data memori dapat dibagi dua yaitu data memori yang dapat diakses secara langsung ( *direct addressing* ) dan tak langsung ( *indirect addressing* ). Untuk alamat bawah pertama dari 00H sampai dengan 7FH sebanyak 128 byte terbagi dalam tiga bagian utama berdasarkan kegunaannya yaitu :<sup>[4]</sup>

- a. Register bank, yaitu memori khusus yang memiliki kecepatan akses paling tinggi. Register ini terdiri dari 32 bit pada alamat 00H sampai dengan 1FH dan dibagi 4 masing-masing 8 bit ( R0 - R7 ) yaitu register bank 0, register bank 1, register bank 2 dan register bank 3. Pemilihan register dilakukan melalui pengaturan RS0 dan RS1 pada Program Status Word Register. Dalam kondisi default ( setelah sistem reset ) register ini beralamat 00H - 07H.
  - b. Bit Addressable RAM, yaitu suatu memori yang menunjuk alamat bit-bit tertentu. Memori ini terdiri dari 128 lokasi ( 16 byte ) pada alamat 20H - 2FH. Alamat-alamat ini dapat diakses sebagai byte atau bit, tergantung dari instruksi yang digunakan.
  - c. General Purpose RAM, yaitu memori yang beralamat dari 30H - 7FH. Memori ini dapat diakses secara langsung baik menggunakan mode direct addressing maupun indirect addressing.
-

128 byte lokasi memori bagian atas dari mikrokontroler 89C51 merupakan *Special Function Register* ( *SFR* ) yang beralamatkan 80H – FFH. Dari keseluruhan alamat tersebut diatas hanya 21 alamat SFR yang didefinisikan dan sisanya pada chip mikrokontroler AT89C52.

### 2.3 Fuzzy Logic Control (FLC)

Logika Fuzzy diperkenalkan oleh Prof. Lotfi. A.Zadeh pada tahun 1965 yang menjadi guru besar di University of California. Beliau mengemukakan suatu himpunan yang disebut himpunan *fuzzy* (*fuzzy set*) untuk menerangkan suatu logika bertingkat yang kemudian dikenal dengan logika *fuzzy*. Zadeh memilih kata “*fuzz*” untuk merepresentasikan suatu nilai logika kontinyu antara 0 (pasti salah) dan 1 (pasti benar) <sup>[10]</sup>.

Logika fuzzy merupakan suatu logika yang lebih dekat dengan cara berpikir manusia dibandingkan dengan logika klasik. Pada himpunan fuzzy nilai keanggotaan terletak pada rentang 0 sampai 1. Logika fuzzy bekerja dengan mengubah variabel kontrol crisp (panas atau dingin, cepat atau lambat) ke dalam tingkatan yang lebih halus (hangat atau sejuk, cukup cepat atau agak lambat) dengan derajat keanggotaan yang bervariasi. Berbeda dengan teori logika digital, dalam logika fuzzy suatu kejadian tidak harus mutlak benar atau salah.

Sebuah sistem berbasis logika *fuzzy* dapat mengurangi ketidak akuratan yang terjadi pada sistem klasik. Himpunan klasik (*crisp set*) memiliki persyaratan keanggotaan yang membatasi nilai anggota-anggota himpunannya hanya pada 1 atau 0 saja. Batasan dari logika ini terdefinisi dengan tajam pada angka 0 dan 1, sehingga tingkat keakuratannya menjadi rendah. Pada himpunan *fuzzy*, sebuah

---



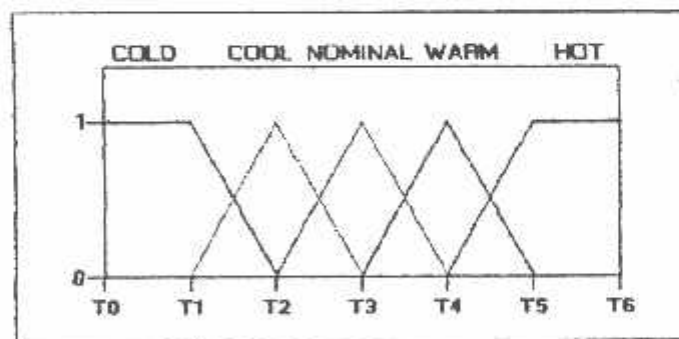
himpunan atau anggota himpunan dapat menjadi anggota himpunan dengan tingkat keanggotaan antara 0 sampai 1. Ada transisi yang bertahap dari unsur yang menjadi anggota atau bukan anggota himpunan dalam sebuah himpunan fuzzy.

Himpunan Fuzzy memiliki 2 atribut, yaitu:

- a. **Linguistik**, yaitu penamaan suatu grup yang mewakili suatu keadaan atau kondisi tertentu dengan menggunakan bahasa alami, seperti MUDA, PAROBAYA, TUA.
- b. **Numeris**, yaitu suatu nilai (angka) yang menunjukkan ukuran dari suatu variable, seperti 30, 27, 60, dsb.

Hal-hal yang perlu diketahui dalam memahami sistem fuzzy, yaitu:

- a. **Variabel fuzzy**, merupakan variabel yang hendak dibahas dalam suatu sistem fuzzy. Contohnya temperatur, kelembaban, umur, dsb.
- b. **Himpunan fuzzy**, merupakan suatu grup yang mewakili suatu kondisi atau keadaan tertentu dalam suatu variabel fuzzy. Contohnya Variabel temperatur terbagi menjadi 5 himpunan fuzzy, yaitu: DINGIN, SEJUK, NORMAL, HANGAT dan PANAS seperti gambar berikut.



Gambar 2-4

Himpunan Fuzzy Untuk Variabel Suhu<sup>[11]</sup>

- c. **Semesta pembicaraan**, adalah keseluruhan nilai yang diperbolehkan untuk dioperasikan dalam suatu variabel fuzzy. Semesta pembicaraan merupakan himpunan bilangan real yang senantiasa naik (bertambah) secara monoton dari kiri ke kanan. Nilai semesta pembicaraan dapat berupa bilangan positif maupun negatif. Adakalanya nilai semesta pembicaraan ini tidak dibatasi batas atasnya. Contoh semesta pembicaraan untuk variabel temperatur: [0 15 20 25 30 35]
- d. **Domain**, adalah keseluruhan nilai yang diijinkan dalam semesta pembicaraan dan boleh dioperasikan dalam suatu himpunan fuzzy. Seperti halnya semesta pembicaraan, domain merupakan himpunan bilangan real yang senantiasa naik (bertambah) secara monoton dari kiri ke kanan. Nilai domain dapat berupa bilangan positif maupun negatif. Contoh domain himpunan fuzzy adalah :

- Dingin = [0201]
- Sejuk = [1525]
- Normal = [2030]
- Hangat = [2535]
- Panas = [3040]



Gambar 2-5  
Struktur Kontrol Logika Fuzzy Dasar <sup>[12]</sup>

Elemen utama kontroler logika fuzzy terdiri dari unit fuzzifikasi, unit mekanisme pengambil keputusan, unit defuzzifikasi, dan unit basis pengetahuan. Basis pengetahuan terbagi dua yaitu basis data untuk menentukan fungsi keanggotaan himpunan fuzzy dan basis aturan untuk memetakan nilai fuzzy dari masukan ke nilai keluaran.

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

### 2.3.1. Unit Fuzzifikasi

Fuzzifikasi merupakan proses perubahan dari variabel non fuzzy (*crisp*, contohnya: 25, 40, 50). menjadi variable fuzzy (contohnya muda, parobaya, tua ). Fuzzifikasi berfungsi untuk mengubah hasil pengukuran ke dalam pernyataan linguistik. Operasi fuzzifikasi melibatkan transformasi sebuah himpunan nonfuzzy ke dalam himpunan fuzzy. Proses fuzzifikasi dilakukan dengan menentukan fungsi keanggotaan.

Proses fuzzifikasi diekspresikan sebagai berikut:

$$x = \text{fuzzifier}(X_0) \quad (2.1)$$

dengan:  $X_0$  = vektor nilai *crisp* variabel masukan

$x$  = vektor himpunan fuzzy variabel yang terdefinisi

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

Pedoman memilih fungsi keanggotaan untuk proses fuzzifikasi adalah<sup>[12]</sup>:

1. Himpunan fuzzy dengan distribusi simetris.
2. Gunakan himpunan fuzzy dengan jumlah ganjil, pemilihan sebaiknya 5 atau 7.
3. Mengatur himpunan fuzzy agar saling menumpuk.
4. Menggunakan fungsi keanggotaan bentuk segitiga atau trapesioda.

### 2.3.2 Basis Pengetahuan (*Knowledge Base*)

Bagian terpenting logika fuzzy lainnya adalah basis pengetahuan yang mengandung dua jenis informasi utama, yaitu basis aturan dan basis data. Pengetahuan (*knowledge*) adalah suatu pengertian tentang beberapa wilayah subyek yang diperoleh melalui pendidikan dan pengalaman. Meskipun fuzzy tidak mungkin mendapat pengalaman atau belajar dan meneliti seperti manusia, tapi ia dapat memperoleh pengetahuan yang dibutuhkannya itu melalui upaya yang diberikan oleh seorang pakar manusia. Pengetahuan dapat terdiri dari fakta, pemikiran, teori, prosedur dan hubungannya satu sama lain. Pengetahuan juga merupakan informasi terorganisasi dan teranalisa agar bisa lebih mudah dimengerti dan bisa diterapkan dalam pemecahan masalah dan pengambilan keputusan.

Hampir semua pangkalan pengetahuan (*knowledge base*) sangat terbatas dalam arti terfokuskan kepada suatu masalah khusus. Pada saat pangkalan

pengetahuan itu sudah terbentuk, maka fuzzy bisa digunakan untuk memberi kemampuan baru kepada komputer atau alat agar bisa berfikir, menalar dan membuat inferensi (mengambil keputusan berdasarkan pengalaman) dan membuat pertimbangan-pertimbangan yang didasarkan kepada fakta dan hubungan-hubungannya yang terkandung dalam pangkalan pengetahuan itu.

### 2.3.2.1 Basis Aturan

Basis aturan terdiri atas aturan-aturan kontrol fuzzy yang menyatakan hubungan dalam pengontrolan. Aturan-aturan kontrol fuzzy disusun berdasarkan pada tujuan dan ketentuan pengontrolan yang diberikan oleh orang yang ahli pada bidangnya untuk mencapai sasaran pengontrolan.

Bentuk umum dari aturan logika fuzzy ini sebagai berikut,

$$\text{If (kondisi), Then (aksi)} \quad (2.2)$$

Aturan yang digunakan dalam logika fuzzy berupa aturan "If-Then". Aturan "If" menunjukkan situasi sedangkan aturan "Then" menunjukkan aksi. Aturan "If" disebut antiseden (*antecedent*) sedangkan "Then" disebut konsekuen (*consequent*). Antiseden ini menunjukkan daerah masukan yang dikarakteristikan dalam semesta himpunan variabel masukan.<sup>[12]</sup>

### 2.3.2.2 Basis Data

Basis data mendefinisikan fungsi keanggotaan himpunan fuzzy, variabel masukan dan keluaran pengendali, serta menyediakan definisi yang perlu dari parameter fuzzy sebagai himpunan fuzzy dengan fungsi keanggotaan yang didefinisikan pada himpunan semesta untuk masing-masing variabel. Penyusunan

basis data melibatkan pendefinisian himpunan semesta untuk masing-masing variabel, penentuan jumlah fuzzy dan perancangan fungsi keanggotaannya.

### 2.3.3 Unit Pengambilan Keputusan (*Inference*)

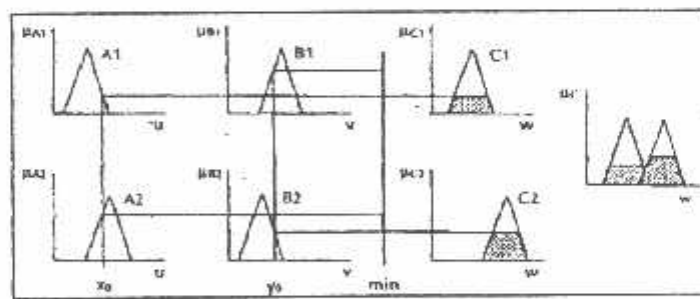
*Inference* adalah proses untuk menghasilkan aksi keluaran (aksi kontrol fuzzy) dari suatu kondisi masukan dengan mengikuti aturan-aturan (*rule*) yang telah ditetapkan. Keputusan yang dihasilkan dari proses ini masih dalam bentuk fuzzy, yaitu berupa derajat keanggotaan keluaran. Di antara bermacam-macam metode pengambilan keputusan, yang paling umum digunakan adalah metode pengambilan keputusan MAX-MIN yang akan diperlihatkan sebagai berikut:

Diasumsikan suatu basis aturan kontrol fuzzy dengan hanya dua aturan:

*Aturan 1* IF  $x = A_1$  AND  $y = B_1$  THEN  $z = C_1$

*Aturan 2* IF  $x = A_2$  AND  $y = B_2$  THEN  $z = C_2$

Dari aturan tersebut diperoleh nilai derajat kebenaran (*fire strength*). Saat antiseden dihubungkan melalui operator "AND", derajat kebenaran mengasumsikan nilai derajat kebenaran terkecil dari antiseden. Nilai minimum ini yang akan menjadi nilai kebenaran bagi aturan tersebut.



Gambar 2-6

Metode Penalaran Fuzzy MAX-MIN <sup>[12]</sup>

Misalkan derajat kebenaran dari aturan ke-i ditunjukkan oleh  $\phi_i$ . Untuk masukan  $x_0$  dan  $y_0$ , derajat kebenaran  $\phi_1, \phi_2$  dari basis aturan dapat ditunjukkan oleh:

$$\phi_1 = \mu_{A1}(x_0) \wedge \mu_{B1}(y_0) \quad (2.3)$$

$$\phi_2 = \mu_{A2}(x_0) \wedge \mu_{B2}(y_0) \quad (2.4)$$

Kontribusi kontrol untuk masing-masing aturan kontrol dihitung berdasarkan pada derajat kebenaran  $\phi$  dari bagian konsekuen dari aturan tersebut.

Dalam pengambilan keputusan fuzzy MAX-MIN, keputusan kontrol yang ditimbulkan oleh aturan ke-i dapat diekspresikan oleh  $\phi_i \wedge \mu_{Ci}(w)$ . Sehingga keanggotaan dari konsekuen tersimpul C diberikan oleh:

$$\mu_C(w) = (\phi_1 \wedge \mu_{C1}(w)) \vee (\phi_2 \wedge \mu_{C2}(w)) \quad (2.5)$$

Secara ringkas pengambil keputusan fuzzy merupakan inti dari susunan Kontrol Logika Fuzzy (KLF) yang mempunyai kemampuan untuk mensimulasikan pembuatan keputusan manusia yang didasarkan pada konsep fuzzy dan menyimpulkan aksi kontrol fuzzy menggunakan aturan-aturan pengambilan keputusan dalam logika fuzzy.

#### 2.3.4 Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah proses pemetaan dari suatu aksi kontrol fuzzy ke suatu aksi kontrol non fuzzy (*crisp*). Strategi defuzzifikasi bertujuan untuk menghasilkan aksi kontrol non fuzzy yang paling baik mewakili distribusi kemungkinan dari aksi kontrol fuzzy, yang dapat dinyatakan oleh:

$$Y_0 = \text{defuzzifier}(y) \quad (2.6)$$

dimana  $y$  adalah aksi kontrol fuzzy,  $Y_o$  adalah aksi kontrol *crisp*, dan defuzzifier adalah operator defuzzifikasi.

Dalam implementasi real time, defuzzifikasi yang paling umum digunakan adalah metode *center of area* (COA). Strategi COA adalah dengan mendapatkan gravitasi dari distribusi kemungkinan aksi kontrol. Umpamakan suatu sistem fuzzy MISO (Multi Input Single Output), jumlah aturan ditunjukkan oleh  $n$ , momen (sekeliling sumbu nol sepanjang himpunan semesta keluaran) fungsi keanggotaan dari himpunan fuzzy yang didefinisikan untuk keluaran aturan ke- $i$  ditunjukkan oleh  $M_i$ , dan luasnya ditunjukkan oleh  $A_i$ , serta derajat kebenaran dari aturan ke- $i$  ditunjukkan oleh  $\mu_i$ . Maka nilai kontrol *crisp*  $W$  yang didefuzzifikasi menggunakan metode COA diberikan oleh:

$$w = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i M_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i A_i} \quad (2.7)$$

Secara ringkas antar muka defuzzifikasi meliputi:

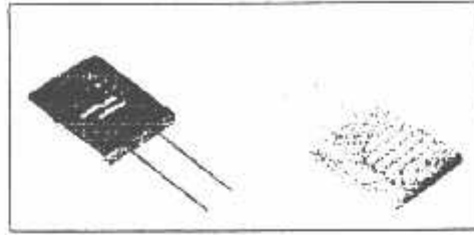
1. Pemetaan nilai variabel keluaran ke dalam himpunan semesta yang sesuai.
2. Menghasilkan suatu aksi kontrol nonfuzzy dari suatu aksi kontrol fuzzy yang tersimpulkan.

#### 2.4 Sensor Suhu LM35

Seri LM35 adalah sensor suhu yang terintegrasi dalam sebuah chip tunggal 3 kaki yang diproduksi oleh National Semiconductor. Sensor ini mampu mendeteksi suhu  $-55$  °C sampai dengan  $+150$  °C dengan akurasi sebesar  $0,5$  °C. Dalam penerapannya, sensor ini tidak membutuhkan komponen eksternal tambahan sehingga lebih mudah dan murah, memiliki jangkauan tegangan kerja



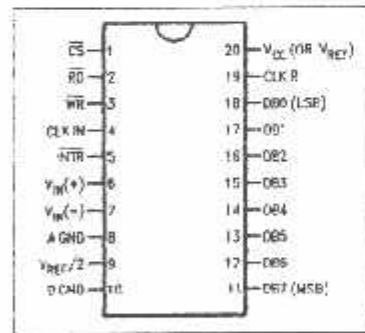




Gambar 2-8  
Sensor Kelembaban HSI15P<sup>[13]</sup>

## 2.6 ADC 0804 ( Analog to Digital Converter )

*Analog to Digital Converter* ( ADC ) adalah sebuah perangkat elektronik yang berfungsi untuk mengubah besaran analog ( tegangan / arus ) menjadi data digital. ADC digunakan sebagai *interface* pada perangkat digital untuk berkomunikasi dengan perangkat analog. ADC 0804 memiliki kelebihan antara lain kompatibel dengan mikrokontroler dan mikroprosesor, beroperasi pada tegangan input sebesar 0 - 5 V dengan tegangan referensi 5V, mempunyai resolusi 8 bit, mudah di *interface* kan, dan mempunyai waktu konversi optimum sebesar  $100 \mu s$ <sup>[5]</sup>, serta dilengkapi dengan fasilitas yang lengkap untuk berhubungan dengan mikroprosesor seperti RD, WR, dan INTR.



Gambar 2-9  
Konfigurasi Pin-pin ADC 0804<sup>[5]</sup>

Spesifikasi lain dari ADC adalah ketelitian ( *akurasi* ), *linieritas* dan waktu konversi ( *conversion time* ). Akurasi atau ketelitian adalah harga terdekat dimana suatu pembacaan instrumen mendekati harga sebenarnya dari variabel yang diukur. Linearitas menunjukkan kemampuan ADC untuk menghasilkan logika keluaran yang bervariasi secara linear. Sedangkan waktu konversi adalah waktu yang diperlukan ADC untuk menghasilkan kode biner yang valid untuk tegangan masukan yang diberikan. Semakin pendek waktu konversi berarti kecepatan konversi semakin tinggi. Resolusi ADC adalah ukuran kemampuan ADC untuk menguraikan besaran analog menjadi besaran digital. Resolusi ADC 0804 dapat dihitung berdasarkan persamaan :

$$\text{Resolusi} = V_{\text{ref}} / (2^n - 1) \quad (2.8)$$

Dimana :  $V_{\text{ref}}$  = Tegangan referensi = 5 V

$n$  = Jumlah bit data = 8

## 2.7 Liquid Crystal Display (LCD)

### 2.7.1 Umum

LCD (*Liquid Crystal Display*) merupakan komponen optoelektronik yang dipengaruhi oleh sinar (*optolistrik*), pembangkit cahaya (*light-emitting*) dan komponen lain yang mempengaruhi perubahan sinar. LCD terbuat dari bahan kristal cair yang merupakan suatu komponen organik yang mempunyai sifat optik seperti benda padat meskipun bahan tetap cair. Contoh bahan ini adalah kolesteril nonanoat (*cholesteryl nonanoat*) dan *p-azoxyanisole*.

Sel kristal cair terdiri dari selapis bahan kristal cair yang diapit (*sandwich*) antara gelas tipis dan elektroda lapisan logam transparan yang diendapkan

(*deposid*) pada bagian dalam gelas. Karena sel-sel kristal cair merefleksikan atau mengatur cahaya yang ada dan bukan membangkitkan cahaya maka daya listrik yang diperlukan sangat kecil. Energi yang dipergunakan hanyalah untuk mengaktifkan kristal cairnya.

LCD membutuhkan sumber listrik bolak balik yang berbentuk sinus atau segi empat karena bila digunakan arus searah maka akan terbentuk penempelan elektrolisa pada elektroda-elektrodanya yang dapat merusak komponen ini.

### **2.7.2 Karakteristik LCD M162ABC**

LCD yang digunakan sebagai penampil data adalah tipe M162ABC yang mempunyai kapasitas 32 karakter, terbagi menjadi 2 baris masing-masing 16 karakter huruf atau angka. Semua perintah baik yang akan ditampilkan maupun berupa instruksi, semuanya dapat diakses lewat prosesor.

Dalam setiap karakter terdiri dari 5x7 titik ditambah dengan kursornya dan terdapat 192 karakter di dalam ROM yang dapat ditulis dalam LCD. Disamping itu juga tersedia 80 x 8 bit display data RAM yang artinya panjang maksimum karakter yang dapat ditampilkan adalah 80 karakter. Beberapa fungsi perintah yang dapat dilakukan antara lain <sup>[8]</sup>

- Menggeser kursor
  - Menggeser tampilan
  - Tampilan huruf yang berkedip-kedip
  - Display on/off
  - Kursor on/off
  - Menghapus display
-

## 2.7.3 Konfigurasi Pin LCD M162ABC



Gambar 2-10

Konfigurasi Pin-pin LCD M162ABC <sup>[8]</sup>

LCD M162ABC mempunyai 16 pin yang mempunyai fungsi sebagai berikut:

Tabel 2-3

Fungsi Pin-pin LCD M162ABC <sup>[8]</sup>

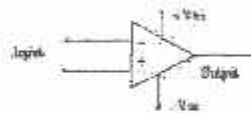
Nama	I/O	Tujuan	Fungsi
DB <sub>0</sub> - DB <sub>3</sub> (Pin 11 - 14)	I/O	MPU	Empat data terendah, tri-state bidirectional, data dibaca dari modul ke MPU atau ditulis dari MPU ke modul. Bila data yang dilewatkan 4 bits, jalur tak dapat digunakan
DB <sub>4</sub> - DB <sub>7</sub> (Pin 7 - 10)	I/O	MPU	Empat data tertinggi, tri-state bidirectional, data dibaca dari modul ke MPU atau ditulis dari MPU ke modul. Bila data yang dilewatkan 4 bits, melewati jalur ini.
E (pin 6)	I	MPU	Sinyal Enable instruksi
R/W (pin 5)	I	MPU	Read = 1 or Write = 0, instruksi
RS (pin 4)	I	MPU	Register Set, 0 = perintah, 1 = data register
V+BL, V-BL (pin 15, 16)	-	Suplay	Sumber tegangan untuk Back light ( sumber cahaya ).
V <sub>LC</sub> , V <sub>DD</sub> , V <sub>SS</sub> (pin 3, 2, 1)	-	Suplay	V <sub>LC</sub> = mengatur kekontrasan tampilan

## 2.8 Operasional Amplifier

### 2.8.1 Umum

Operasional amplifier atau yang umum disingkat *opamp* adalah suatu rangkaian penguat terintegrasi dalam chip *Integrated Circuit (IC)* yang memiliki karakteristik khusus untuk aplikasi yang sangat luas. Karakteristik dari sebuah opamp adalah <sup>[9]</sup>:

- Impedansi input tinggi.
- Impedansi output rendah.
- Penguatan / gain tak terhingga.
- Memiliki dua buah jalan masukan diferensial.
- Memiliki satu buah jalan keluaran.



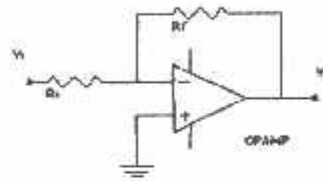
**Gambar 2-11**  
Simbol Opamp <sup>[9]</sup>

Idealnya sebuah opamp memiliki tegangan pada kedua input diferensialnya sebesar 0V karena tidak ada arus yang mengalir pada kedua inputnya. Tegangan dan arus yang terdapat pada kedua inputnya disebut tegangan atau arus offset yang besarnya tergantung masing-masing type opampnya yang dikeluarkan pabrik.

Besarnya penguatan dari sebuah opamp merupakan perbandingan antara tegangan output  $V_o$  dengan tegangan input  $V_i$ . Misalkan sebuah opamp memiliki penguatan 100000 kali dan tegangan inputnya  $V_i = 0$  volt, maka tegangan output  $V_o = 0$  volt. Saat tegangan  $V_i = 1$  mV, tegangan output  $V_o$  akan sama dengan  $\pm$

100V. Akan tetapi bila diukur tegangan yang diperoleh mungkin sebesar 11,5 volt. Ini disebut tegangan saturasi yang besarnya tergantung dari tegangan suplay. Tegangan output  $V_o$  akan konstan bilamana telah mencapai tegangan saturasi walaupun penguatan dinaikkan.

### 2.8.2 Penguat Membalik



Gambar 2-12  
Penguat Membalik <sup>[9]</sup>

Dari gambar di atas, bila tegangan yang jatuh pada kedua input opamp diberi simbol  $V_1$  maka :

$$V_1 = 0 \text{ V}$$

$$\frac{V_1 - V_i}{R_i} + \frac{V_1 - V_o}{R_f} = 0$$

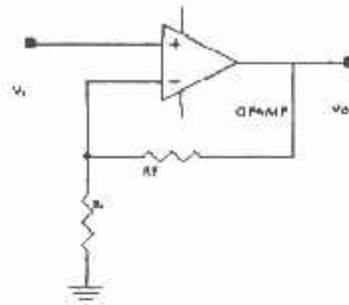
$$\frac{V_i}{R_i} + \frac{V_o}{R_f} = 0$$

$$A = -\frac{R_f}{R_i} \tag{2.9}$$

$$V_o = -\frac{R_f}{R_i} V_i \tag{2.10}$$

### 2.8.3 Penguat Tak Membalik

Penguat tak membalik merupakan kebalikan dari penguat membalik, dimana polaritas tegangan output sama dengan polaritas tegangan inputnya.



**Gambar 2-13**  
**Penguat Tak Membalik** <sup>[9]</sup>

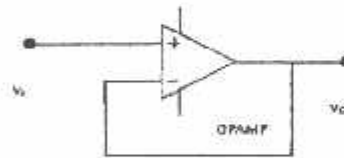
Dari rangkaian di atas besarnya penguatan adalah :

$$\frac{V_i - V_o}{R_f} + \frac{V_i}{R_i} = 0$$

$$V_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_i}\right)V_i \quad (2.11)$$

$$\mu = 1 + \frac{R_f}{R_i} \quad (2.12)$$

Bila penguatan sebesar 1x dikatakan bahwa opamp berfungsi sebagai voltage follower atau sebagai buffer, dengan menghubungkan output  $V_o$  dengan input negatif tanpa melewati  $R_f$  seperti gambar berikut ini.



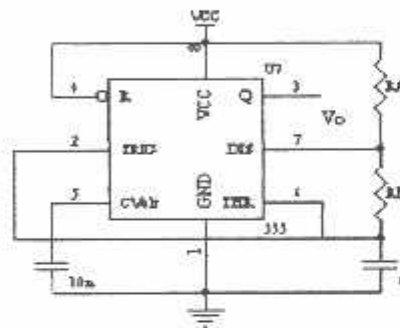
**Gambar 2-14**  
**Voltage Follower** <sup>[9]</sup>

## 2.9 Multivibrator Astabil NE555

NE555 adalah sebuah IC timer yang dirancang untuk digunakan secara luas, baik untuk multivibrator astabil maupun monostabil. IC ini pertama kali



dikeluarkan oleh Signetics Corporation yang serupa dengan opamp penggunaan umum, mudah digunakan, dapat diandalkan serta murah harganya. Multivibrator astabil adalah suatu multivibrator yang keluarannya tidak terpengaruh oleh keadaan. Multivibrator jenis ini biasanya digunakan sebagai sumber detak atau clock. Multivibrator yang kedua adalah multivibrator monostabil dimana multivibrator ini akan aktif bila mendapat triger pada input trigernya.



Gambar 2-15

#### Rangkaian Multiibrator Astabil NE555 <sup>[7]</sup>

Cara kerja multivibrator astabil NE555 ini adalah pada saat tegangan pada pin 2 dan pin 6 berada di bawah  $V_{LT} = 1/3 V_{CC}$ , keluaran pin 3 menjadi tinggi. Pada periode ini, pin 7 menjadi terbuka sehingga kapasitor C mengisi melalui RA dan RB sampai tegangan  $V_C$  tepat di atas  $V_{UT} = 2/3 V_{CC}$ . Pada saat  $V_C$  di atas  $V_{UT}$ , keluaran pin 3 menjadi rendah dan pin 7 juga menjadi rendah. Kapasitor C selanjutnya membuang muatannya melalui RB sampai tegangan  $V_C$  berada di bawah  $V_{LT}$  dan kapasitor kembali mengisi seperti proses sebelumnya.

Besarnya frekwensi (f) adalah :

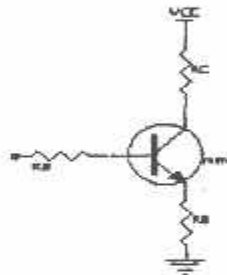
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1,44}{(RA + 2.RB).C} \quad (2.13)$$

Duty cycle (D) sebesar :

$$\begin{aligned}
 D &= \frac{RB}{RA + 2RB} \\
 t1 &= 0,693(RA + RB)C \\
 t2 &= 0,693(RB)C \\
 T &= t1 + t2 = 0,693(RA + 2RB)C
 \end{aligned}
 \tag{2.14}$$

### 2.10 Transistor Sebagai Saklar

Transistor adalah sebuah komponen aktif yang dibentuk dari bahan semikonduktor. Kaki-kaki transistor BJT (*Bipolar Junction Transistor*) diberi nama Colector ( C ), Base ( B ) dan Emitor ( E ), baik untuk tipe NPN maupun untuk tipe PNP.



Gambar 2.16  
Rangkaian Dasar Transistor <sup>[15]</sup>

Persamaan-persamaan yang berlaku dalam rangkaian di atas adalah :

$$\begin{aligned}
 Vcc - IcRc - Vce - IeRe &= 0 \\
 hfe &= Ic / Ib \\
 Ic &= Ib \cdot hfe \\
 Vbb - IbRb - Vbe - IeRe &= 0
 \end{aligned}
 \tag{2.15}$$

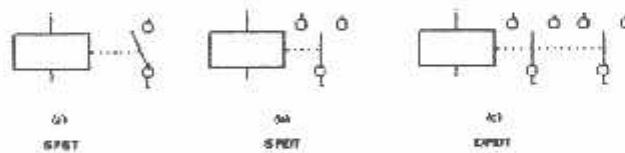
Besarnya tegangan  $V_{be}$  dan  $V_{ce}$  on masing-masing  $V_{be} = 0,7$  volt untuk silikon dan  $0,3$  untuk germanium serta  $V_{ce\ on} = 0,2$  volt dan arus  $I_e \approx I_c$ .

## 2.11 Relay

Relay adalah piranti listrik yang dioperasikan oleh perubahan kondisi pada input, dan berguna untuk membuka atau menutup satu atau lebih sambungan di output. Masukan yang mengaktifkan relay lazimnya berupa besaran listrik, namun dapat juga besaran mekanik, termik, atau yang lain. Saklar pembatas (*limit switch*) dan piranti sederhana lain yang serupa bukanlah relay. Ada beberapa jenis relay, kebanyakan dari jenis elektromagnet (*electromagnetic relay*), dan relay zat padat (*solid-state relay*).

Bagian utama sebuah relay elektromagnet adalah *armature* dan *actuator*. *Armature* adalah unsur yang bergerak yang turut juga menentukan tujuan rancangan relay. Pada umumnya kontak-kontak juga melekat jadi satu dengan *armature*. Sedangkan *actuator* adalah penggerak relay, yaitu bagian relay yang merubah tenaga listrik menjadi usaha mekanik.

Berdasarkan jumlah kontak, ada beberapa macam relay seperti *Single Pole single throw (SPST)*, *single pole double throw (SPDT)*, dan *double pole double throw (DPDT)* seperti gambar.



Gambar 2-17  
Macam-macam Relay <sup>[16]</sup>

Kaki-kaki pada sebuah relay ditandai dengan NC, NO, dan COM. NC (*Normally Closed*) adalah kaki relay ketika tidak diberi tenaga dalam kondisi

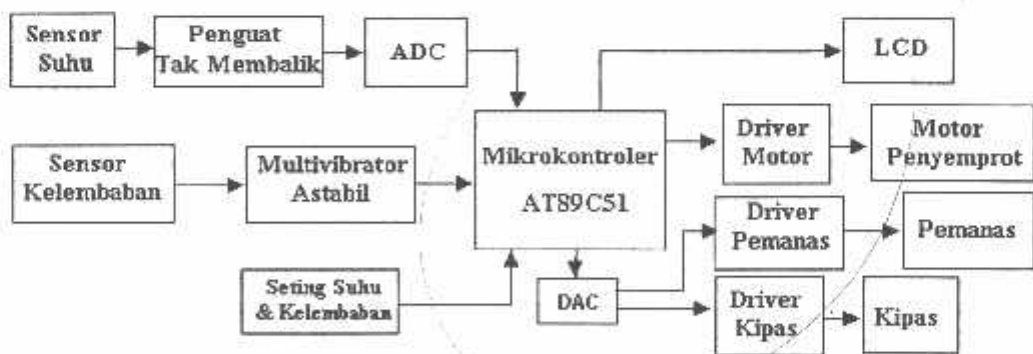
## BAB III

### PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT

Pada Bab III ini akan membahas “Perencanaan dan Pembuatan Alat Pengendali Suhu dan Kelembaban Relatif Pada Ruang Budidaya Jamur Tiram Putih (*Pleurotus Floridae*) Menggunakan *Fuzzy Logic Control* Berbasis Mikrokontroler AT89C51 “. Adapun perencanaan dan pembuatan alat ini dibagi menjadi dua tahap yaitu tahap perencanaan dan pembuatan perangkat keras (*hardware*) dan perencanaan dan pembuatan perangkat lunak (*software*). Tahap perencanaan dan pembuatan perangkat keras dibagi menjadi dua bagian yaitu perangkat pengendali sistem (rangkaiannya) dan perangkat mekanik (ruangan budidaya). Tahap perencanaan dan pembuatan perangkat lunak juga dibagi menjadi dua bagian yaitu fuzzy logic dan assembler AT89C51.

#### 3.1 Perencanaan Perangkat Keras

Blok diagram alat pengendali suhu dan kelembaban relatif pada ruang budidaya jamur tiram putih (*pleurotus floridae*) ini seperti gambar berikut.



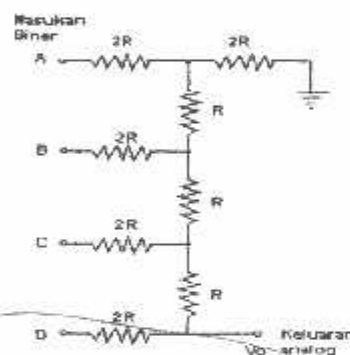
Gambar 3-1

Blok Diagram Alat Pengendali Suhu dan Kelembaban

menutup. NO (*Normally Open*) adalah kaki relay ketika tidak diberi tenaga dalam kondisi membuka. Sedangkan COM (*Command*) adalah kaki relay yang berhubungan dengan kaki NC, dan NO.

### 2.13 DAC (*Digital to Analog Converter*)

DAC (*Digital to Analog Converter*) adalah suatu rangkaian yang berfungsi untuk merubah data digital menjadi data analog. Dalam praktek sehari-hari dijumpai beberapa jenis DAC, baik yang sudah dalam satu paket solid state (IC) atau masing menggunakan rangkaian tahanan. Rangkaian dasar sebuah DAC disusun oleh beberapa tahanan  $R - 2R$  atau lebih dikenal dengan jaringan *tangga*  $R - 2R$ , seperti gambar berikut.



**Gambar 2-18**  
DAC Jaringan Tangga  $R - 2R$  <sup>[7]</sup>

Keuntungan gabungan dari resistor ini adalah bahwa hanya digunakan dua nilai resistor. Resistor  $R$  masing-masing  $10K$  dan resistor  $2R$  masing-masing  $20K$ . Bilangan biner, yang dinyatakan oleh kombinasi level tegangan, dimasukkan ke terminal masukan resistip dimulai dari LSB pada pin A dan MSB pada pin D. Masing-masing bit bernilai  $8/15$ ,  $4/15$ ,  $2/15$  dan  $1/15$  dari tegangan

Vcc sehingga bila biner 0001 dimasukkan pada input DAC, nilai output DAC adalah  $1/15 \times V_{cc}$  dimana Vcc sebesar 5V. Bila logika biner menjadi 0100, maka output DAC adalah  $4/15 \times V_{cc}$  dan seterusnya.

Berdasarkan gambar di atas, fungsi dari masing-masing blok diagram dapat dijelaskan sebagai berikut.

- Sensor suhu, berfungsi untuk mendeteksi besaran suhu dan merubahnya menjadi besaran listrik.
  - Penguat tak membalik, berfungsi untuk memperkuat besaran listrik yang dihasilkan oleh sensor suhu sehingga mampu dibaca oleh rangkaian ADC.
  - ADC 0804, berfungsi untuk merubah besaran listrik (tegangan) analog menjadi data digital sehingga dapat diproses dan diolah oleh MCU.
  - Sensor kelembaban, berfungsi untuk mendeteksi kelembaban udara relatif dan merubahnya ke besaran listrik.
  - Multivibrator astabil, berfungsi untuk membangkitkan pulsa-pulsa dengan frekwensi yang dikontrol oleh sensor kelembaban.
  - MCU AT89C51, berfungsi sebagai pusat pengendali dan pengolahan data berdasarkan program yang dibuat, sehingga berjalan sesuai dengan yang diinginkan.
  - LCD, berfungsi untuk menampilkan data dan proses yang sedang berjalan.
  - DAC, berfungsi untuk merubah data digital menjadi besaran listrik analog.
  - Driver, berfungsi untuk menggerakkan beban seperti motor, kipas dan heater yang dikendalikan oleh MCU sesuai dengan kondisi suhu dan kelembaban saat itu.
  - Seting suhu & kelembaban, berfungsi untuk memilih setingan suhu dan kelembaban ruang budidaya.
-

Secara garis besar, prinsip kerja alat ini adalah suhu dan kelembaban ruang budidaya dibaca oleh sensor. Besaran yang dihasilkan sensor suhu dikuatkan terlebih dahulu untuk menyesuaikan dengan rangkaian ADC dan selanjutnya dikonversi menjadi data digital oleh rangkaian ADC. Rangkaian multivibrator astabil akan membangkitkan pulsa-pulsa yang frekwensinya dikendalikan oleh sensor kelembaban.

Di dalam MCU, data suhu dan kelembaban diproses sesuai dengan program yang ada untuk menentukan aksi yang akan dilakukan. Apabila suhu ruangan terukur lebih kecil dari nilai yang ditetapkan, pemanas dan kipas akan dijalankan sampai suhu normal kembali dan akan dimatikan setelah mencapai nilai maksimumnya. Begitu pula dengan kelembaban udara, apabila kelembaban udara yang terukur turun sampai di bawah nilai minimum, motor penyemprot akan dijalankan sampai kelembaban udara kembali normal dan akan dimatikan setelah kelembaban mencapai nilai maksimum. Suhu dan kelembaban ruang budidaya dapat diatur melalui tombol setting sesuai dengan kebutuhan.

### **3.1.1 Perencanaan Sensor Suhu dan Penguat Tak Membalik**

Untuk mengubah besaran suhu menjadi besaran listrik diperlukan sensor suhu. Sensor suhu yang digunakan adalah sensor suhu tipe LM35 dari National Semiconductor. Sensor ini mampu bekerja pada suhu  $-55$  sampai dengan  $150$  °C. Dari data sheet, diketahui bahwa perubahan tegangan output sensor setiap derajat celsiusnya adalah  $10$  mV. Dalam perencanaan diinginkan sensor mampu mengukur suhu sampai  $100$  °C untuk ditampilkan.

---





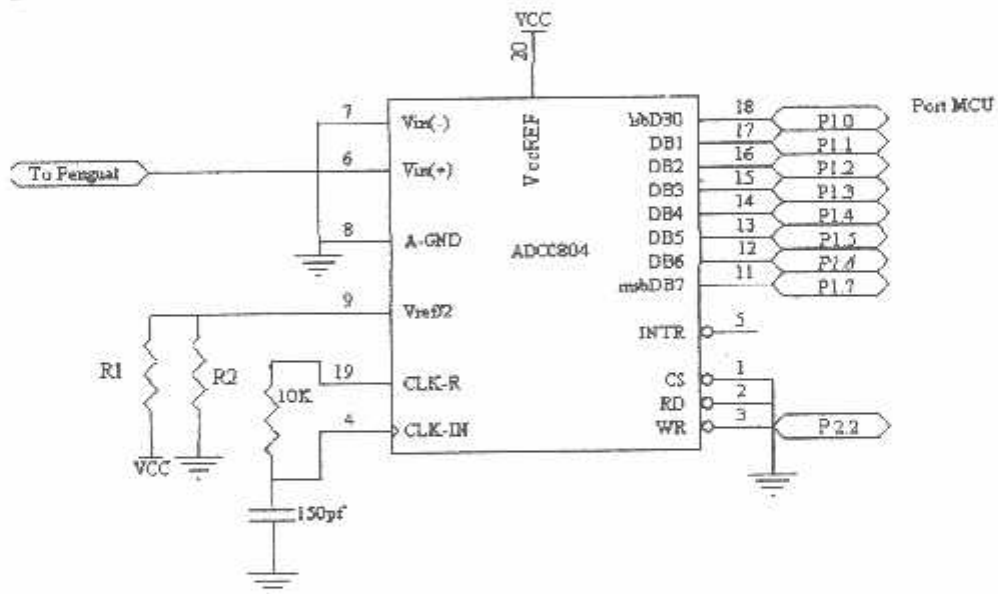
$$0,96 = R_f / 1 \text{ K}$$

$$R_f = 0,96 / 1 \text{ K} = 960 \Omega$$

Tahanan  $960 \Omega$  selanjutnya diganti dengan resistor variabel  $1 \text{ K}\Omega$  untuk proses kalibrasi suhu.

### 3.1.2 Perencanaan Rangkaian ADC 0804

Sebagai pengubah tegangan analog ke bentuk data digital digunakan IC ADC 0804 yang diproduksi oleh National Semiconductor. IC ini mempunyai kecepatan konversi  $\pm 100 \mu\text{s}$  dan kompatibel dengan mikrokontroler atau mikroprosesor.



**Gambar 3.4**  
**Rangkaian ADC 0804**

Keterangan :

Pin 1,2,7,8,10 dihubungkan ke ground, dan pin 20 ke VCC.

Pin 3 dan pin 11- 18 (DB0-DB7) dihubungkan dengan Mikrokontroler.

Pin 6 merupakan input analog, berhubungan dengan output penguat tak membalik.

Pin 4 dan 19 di pullup 10 K $\Omega$  dan kapasitor 150 pF sebagai sumber clock.

Pin 9 merupakan pin tegangan referensi ( $V_{ref}/2$ ).

Tegangan pada pin 9 sebesar  $V_{ref}/2$  diperoleh dengan memasang dua buah tahanan sama besar sesuai dengan persamaan :

$$V_{ref}/2 = R2 / (R1+R2) \cdot V_{cc}$$

$$5 / 2 = R2 / (R1+R2) \cdot 5$$

$$2,5 R1 = 2,5 R2$$

$$R1 = R2$$

Selanjutnya R1 dan R2 ditetapkan sebesar 10 K $\Omega$

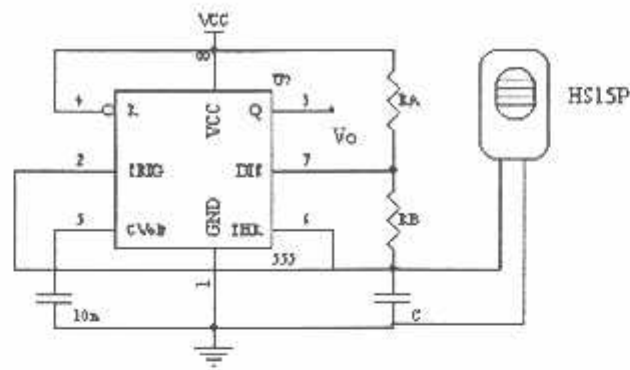
Resolusi dari ADC 0804 adalah :

$$Resolusi = \frac{V_{ref}}{2^n - 1}$$

$$Resolusi = \frac{5}{2^8 - 1} = 19,6mV/bit$$

### **3.1.3 Perencanaan Sensor Kelembaban dan Multivibrator Astabil**

Sensor kelembaban yang digunakan adalah sensor kelembaban type HHS15P. Sensor ini memiliki karakteristik dimana kenaikan kelembaban berbanding terbalik dengan impedansi sensor. Dengan kata lain bila kelembaban udara naik, maka impedansi sensor akan turun. Dengan karakteristik ini, sensor langsung dihubungkan dengan rangkaian multivibrator seperti gambar berikut ini :



Gambar 3-5

### Sensor Kelembaban dan Multivibrator Astabil

Frekwensi (f) multivibrator direncanakan sebesar 50 Khz, dan kapasitor C ditetapkan sebesar 1 nF.

$$F = \frac{1,44}{(Ra + 2.Rb).C}$$

$$50000 = \frac{1,44}{(Ra + 2.Rb).1.10^{-9}}$$

$$Ra + 2.Rb = \frac{1,44}{50000 \times 1.10^{-9}}$$

$$Ra + 2.Rb = 28000\Omega$$

Ra ditetapkan sebesar 10 K $\Omega$ , maka :

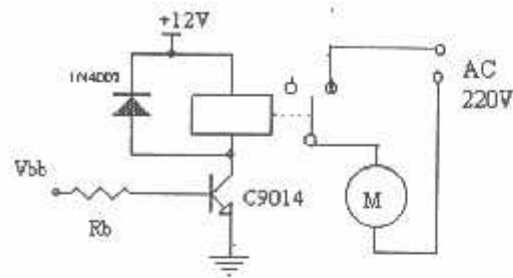
$$Rb = \frac{28000 - 10000}{2}$$

$$Rb = 9 K\Omega$$

dan dipilih Rb = 10 K $\Omega$ .

#### 3.1.4 Perencanaan Rangkaian Driver Motor Penyemprot

Driver motor berfungsi untuk menggerakkan motor penyemprot air. Motor yang digunakan adalah motor AC 220V yang dikendalikan oleh sebuah relay seperti gambar berikut.



**Gambar 3-6**  
**Rangkaian Driver Motor Penyemprot**

Dari gambar di atas, diketahui :

$$V_{cc} = 12V \quad V_{bb} = 5V$$

$$H_{fe} = 250$$

$$V_{ce(sat)} = 0,2V$$

$$V_{be(sat)} = 0,7V$$

$$X_l \text{ relay} = 350 \Omega$$

Tahanan  $R_b$  dapat dihitung sebagai berikut :

$$V_{cc} - I_c \cdot X_l - V_{ce(sat)} = 0$$

$$I_c = (V_{cc} - V_{ce(sat)}) / X_l$$

$$I_c = (12 - 0,2) / 350 = 33,714 \text{ mA}$$

$$I_b = I_c / H_{fe}$$

$$I_b = 33,714 \text{ mA} / 250$$

$$I_b = 134,8 \text{ uA}$$

$$R_b = (V_{bb(sat)} - V_{be(sat)}) / I_b$$

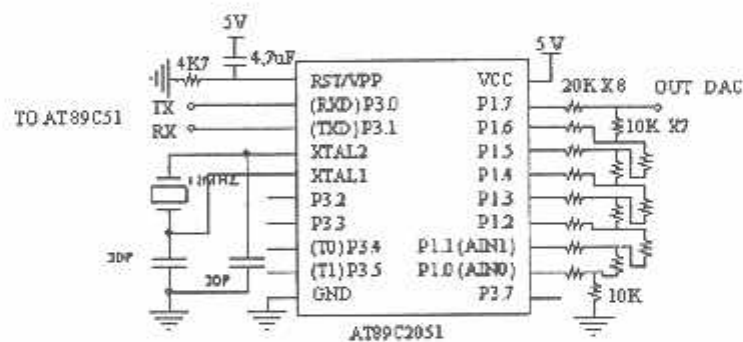
$$R_b = (5 - 0,7) / 134,8 \text{ uA}$$

$$R_b = 31899 \Omega \approx 33 \text{ K}\Omega$$

Dioda pada rangkaian di atas berfungsi untuk meredam tegangan kejut yang diakibatkan oleh kontak mekanik relay.

### 3.1.5 Perencanaan Rangkaian DAC

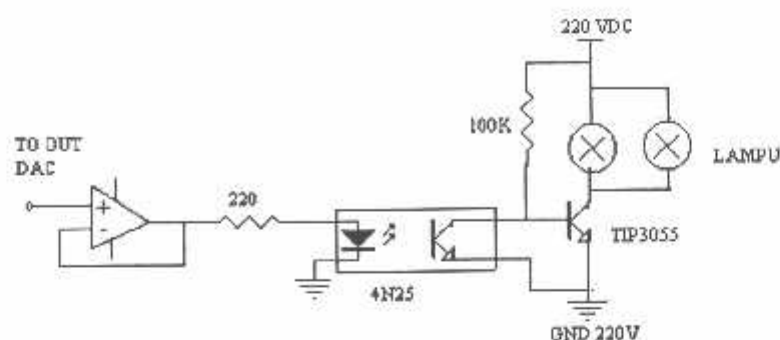
Data pengendali heater dan kipas dari MCU dikirim secara serial melalui port serial TX dan RX. Untuk menerima data serial dari MCU dan merubahnya kembali ke bentuk data paralel 8 bit menggunakan MCU 89C2051. Port RX berfungsi untuk menerima data serial yang dikirim oleh MCU 89C51, sedangkan port 1.0 – 1.7 sebagai output data yang berhubungan dengan DAC, seperti gambar berikut.



**Gambar 3-7**  
**Rangkaian DAC**

### 3.1.6 Perencanaan Rangkaian Driver Heater

Heater berfungsi untuk menaikkan suhu ruangan apabila suhu turun sampai batas minimum yang diijinkan. Panas yang dihasilkan diharapkan dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. Sebagai pemanas digunakan dua buah lampu 220V/ 2,5W yang dipasang paralel seperti gambar berikut .



**Gambar 3-8**  
**Rangkaian Driver Heater**

Direncanakan arus yang mengalir pada LED saat output DAC maximum 5V sebesar 15 mA dengan tegangan jatuh pada LED ( $V_{led}$ ) sebesar 1,6 V. Maka :

$$R_s = (V_{cc} - V_{led}) / I$$

$$R_s = (5 - 1,6) / 15 \text{ mA}$$

$$R_s = 226,67 \Omega \approx 220 \Omega$$

Tahanan  $R_b$  100K adalah tahanan yang berfungsi sebagai pembagi tegangan dengan komponen phototransistor. Phototransistor dalam keadaan saturasi, arus maksimum yang mengalir adalah :

$$I = (V_{cc} - V_{CE_{SAT}}) / R$$

Dimana  $V_{CE_{SAT}} = 0,2V$

$$I = (220 - 0,2) / 100K$$

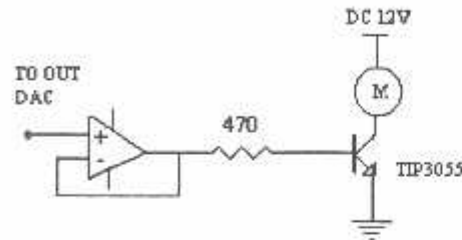
$$I = 2,2 \text{ mA}$$

### 3.1.7 Perencanaan Rangkaian Driver Kipas

Kipas yang digunakan dalam alat ini adalah kipas dengan spesifikasi sebagai berikut.

$$V_{cc} = 12 \text{ Vdc}$$

$$I = 0,08\text{A}$$



**Gambar 3-9**  
**Rangkaian Driver Kipas**

Diketahui data-data sbb:

$$V_{cc} = 12 \text{ V}$$

$$I_{C_{MAX}} = 0,08\text{A}$$

$$H_{fe} = 10$$

$$I_b = I_c / H_{fe}$$

$$I_b = 0,08 / 10$$

$$I_b = 8 \text{ mA}$$

$$R_b = (V_{bb} - V_{be_{SAT}}) / I_b$$

$$R_b = (5 - 0,7) / 8 \text{ mA}$$

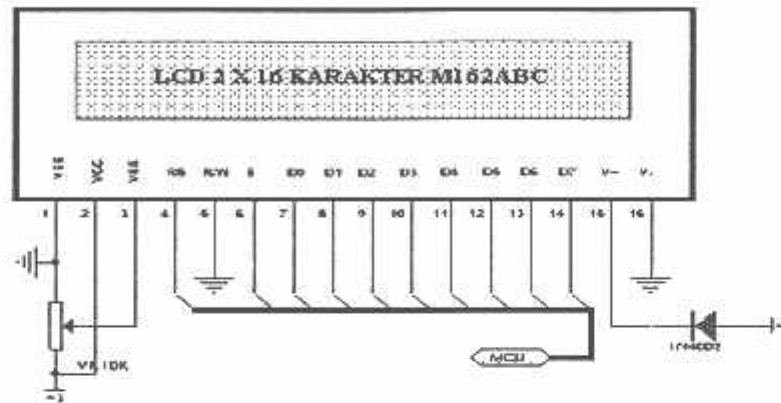
$$R_b = 537,5 \Omega \approx 470 \Omega$$

### 3.1.8 Perencanaan Rangkaian LCD

Dalam perencanaan ini dipergunakan LCD M1632 Dot Matrik 2 x 16 karakter sebagai tampilan hasil pengukuran. Pin-pin kontrol LCD M1632 yang diperlukan adalah pin RS dan pin Enable yang masing-masing dihubungkan pada



port P3.6 dan port P3.7 dari mikrokontroler, sedangkan pin R/W dihubungkan ke ground. Untuk mengirim data ke LCD digunakan port P0.1-P0.7 sehingga data bus LCD yang digunakan DB0-DB7, jadi pengiriman data memakai mode 8 bit.

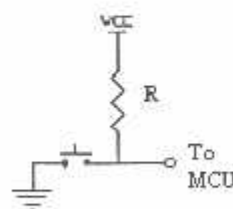


**Gambar 3-10**  
**Rangkaian LCD**

Resistor variabel 10K untuk mengatur kontras / terang gelap karakter dan dioda IN4002 berfungsi untuk mendapatkan tegangan yang dibutuhkan pin 15 (V-) sebesar 4,2V sekaligus menjaga polaritas tegangan LCD dari kemungkinan kerusakan akibat polaritas yang terbalik.

### 3.1.9 Perencanaan Rangkaian Tombol Switch

Rangkaian tombol switch untuk Up, Down dan Select seperti gambar.



**Gambar 3-11**  
**Rangkaian Tombol Switch**



### 3.2 Perencanaan Perangkat Lunak

Rangkaian yang telah dibuat tidak akan dapat bekerja sebagai mana mestinya tanpa dukungan perangkat lunak. Tahap pembuatan perangkat lunak dimulai dengan penentuan variabel input output fuzzy untuk selanjutnya menentukan rule control. Logika fuzzy yang dibuat tidak dapat dimengerti oleh mikrokontroler AT89C51 karena bahasa yang digunakan berbeda. Oleh karena itu, maka logika fuzzy yang dibuat harus dikonversi ke dalam bahasa yang dimengerti oleh mikrokontroler AT89C51 yaitu bahasa assembly.



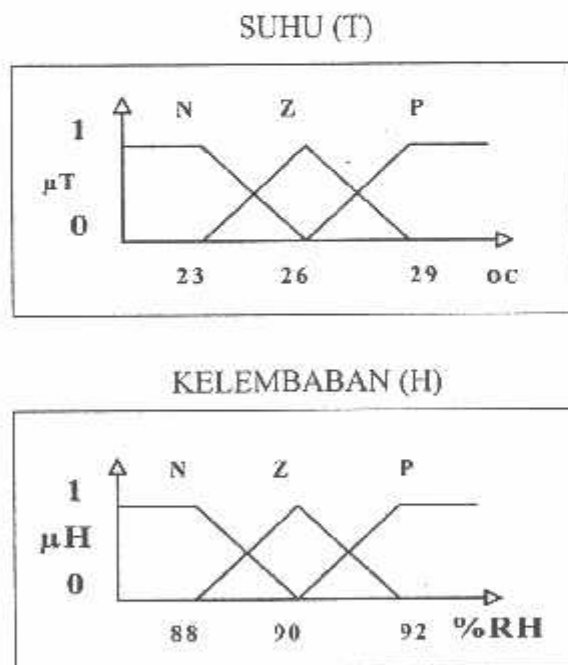
Gambar 3-13

Diagram Alir Pemrograman Fuzzy Secara Umum

Program ini dirancang agar mikrokontroler mampu membaca *input* (masukan) dari sensor suhu dan sensor kelembaban yang kemudian akan dibentuk himpunan keanggotaan dari kedua masukan tersebut atau yang sering disebut dengan *fuzzyfikasi*. Setelah proses *fuzzyfikasi* terlaksana, mikrokontroler akan melakukan *inferensi rule*. Aturan-aturan yang digunakan disimpan sebagai *data base*. Hasil dari *inferensi rules* akan di-*difuzzyfikasi* sebelum dikeluarkan sebagai keputusan.

### 3.2.1 Fuzzyfikasi

Pada proses fuzzyfikasi, suhu dan kelembaban masing-masing dibagi menjadi tiga fungsi anggota segitiga simetris yaitu *negative (N)*, *zero (Z)*, *positive (P)*, seperti tampak pada gambar 3-14.



Gambar 3-14

Fuzzyfikasi Suhu dan Kelembaban

Langkah pertama yang dilakukan adalah penentuan batas-batas tiap anggota adalah :

Himpunan untuk suhu :

- $23^{\circ}\text{C} < \text{suhu} < 26^{\circ}\text{C}$  masuk dalam himpunan N
- $26^{\circ}\text{C}$  masuk dalam himpunan Z
- $26^{\circ}\text{C} < \text{suhu} < 29^{\circ}\text{C}$  masuk dalam himpunan P

*Set point* yang diinginkan adalah  $26^{\circ}\text{C}$ , karena itu nilai  $26^{\circ}\text{C}$  diletakkan ditengah himpunan (Z).

Himpunan untuk kelembaban:

- $88\% \text{RH} < \text{kelembaban} < 90\% \text{RH}$  masuk dalam himpunan N
- $90\% \text{RH}$  masuk dalam himpunan Z
- $90\% \text{RH} < \text{kelembaban} < 92\% \text{RH}$  masuk dalam himpunan P

*Set point* untuk kelembaban adalah  $90\% \text{RH}$ .

Sistem dirancang memiliki tiga macam keluaran yang dikontrol yaitu :

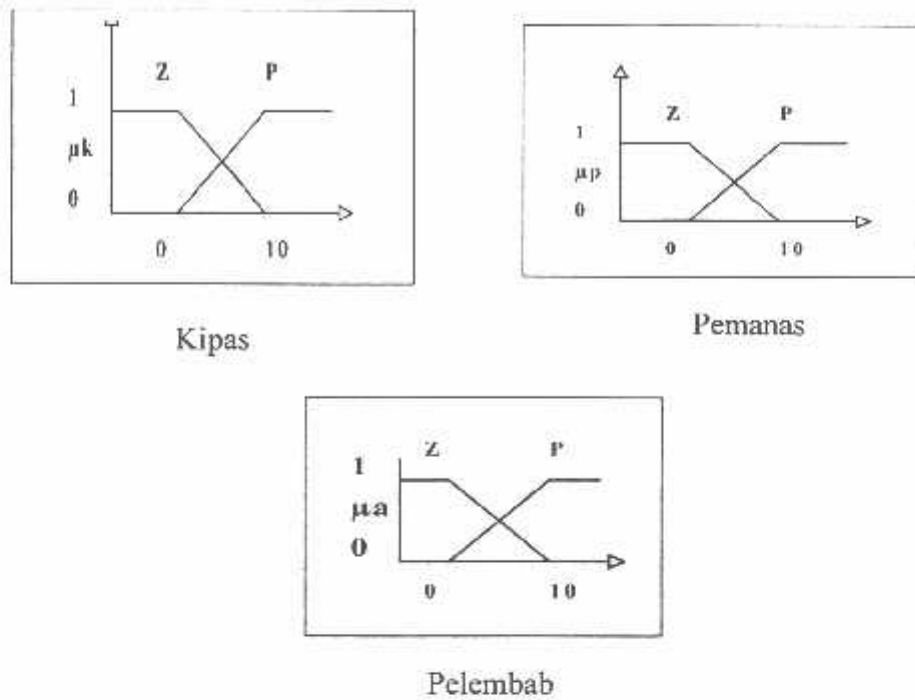
1. kipas dengan 2 kondisi: *on* dan *off*
2. pemanas dengan 2 kondisi: *on* dan *off*.
3. pelembab dengan 2 kondisi : *on* dan *off*.

Karena itu, kipas dibagi menjadi 2 fungsi anggota yaitu *zero* (Z), *positive* (P).

Pemanas juga dibagi menjadi 2 fungsi yaitu *zero* (Z), *positive* (P). Pelembab

dibagi menjadi 2 fungsi anggota yaitu *zero* (Z) dan *positive* (P).

---



Gambar 3-15

### Fuzzyfikasi Kipas, Pemanas dan Pelembab

Setiap kali terdapat masukan dari suhu dan kelembaban, akan diperiksa terletak pada himpunan manakah masukan tersebut berapa derajat keanggotaannya ( $\mu$ ).

#### 3.2.2 Inferensi Fuzzy

Setelah proses *fuzzyfikasi* selesai maka dilakukan prose *inferensi fuzzy*. Karena masing-masing masukan dibagi menjadi tiga keanggotaan maka *rules* disusun sebanyak sembilan (9) *rule* seperti berikut :

		S U H U		
		N	Z	P
K E L E M B A B A N	N	PEMANAS AIR	AIR	AIR KIPAS
	Z	PEMANAS	OFF	KIPAS
	P	PEMANAS	OFF	KIPAS

*If suhu is N and kelembaban is N then pemanas and air is ON* (rule 1)

*If suhu is N and kelembaban is Z then pemanas is ON* (rule 2)

*If suhu is N and kelembaban is P then pemanas is ON* (rule 3)

*If suhu is Z and kelembaban is N then air is ON* (rule 4)

*If suhu is Z and kelembaban is Z then all is OFF* (rule 5)

*If suhu is Z and kelembaban is P then all is OFF* (rule 6)

*If suhu is P and kelembaban is N then air and kipas is ON* (rule 7)

*If suhu is P and kelembaban is Z then kipas is ON* (rule 8)

*If suhu is P and kelembaban is P then kipas is ON* (rule 9)

*Rules* digunakan sebagai dasar untuk mengambil keputusan atau melakukan salah satu aksi dari empat macam pilihan yaitu kipas, pemanas, air atau off.

Aksi yang telah diputuskan akan disimpan dalam variabel "aksi" dan sekaligus menentukan aksi tersebut P atau Z. Satu kali proses *inferensi fuzzy* ini menghasilkan empat keputusan aksi dan empat nilai derajat keanggotaan.

Pada proses *reasoning*, nilai-nilai derajat keanggotaan ( $\mu$ ) yang diperoleh akan dibandingkan satu dengan yang lainnya. Karena proses ini menggunakan metode *MAX-MIN* jadi nilai derajat keanggotaan ( $\mu$ ) untuk aksi yang dipilih adalah nilai  $\mu$  yang paling kecil.

### 3.2.3 Defuzzyfikasi

Dari proses *Inferensi fuzzy* diperoleh keputusan aksi yang akan dilakukan dan derajat keanggotaan dari aksi tersebut ( $\mu$ ). Hasil ini perlu dikembalikan dari besaran fuzzy menjadi besaran sesungguhnya melalui proses defuzzyfikasi dengan metode COA.

$$v_o = \frac{\sum_{k=1}^m v_k \mu_v(v_k)}{\sum_{k=1}^m \mu_v(v_k)}$$

$v_o$  = nilai keluaran

$m$  = tingkat kuantitasi

$v_k$  = elemen ke-k

$\mu_v(v_k)$  = derajat keanggotaan elemen-elemen pada fuzzy set  $v$

$V$  = semesta pembicaraan

Pada perancangan ini, nilai  $V_k$  untuk kipas dan pemanas adalah 0,5 dan 10 sedangkan nilai  $V_k$  untuk air adalah 0 dan 10.



**BAB IV**  
**PENGUKURAN DAN PENGUJIAN**

**4.1 Pengukuran Rangkaian Sensor Suhu dan Penguat Instrumentasi**

**4.1.1 Tujuan**

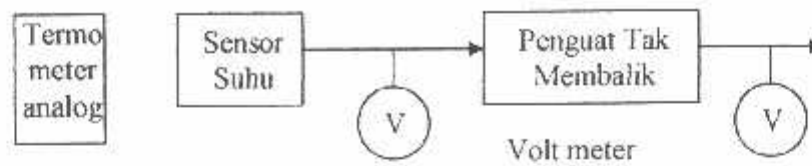
1. Mengetahui perubahan tegangan output  $V_o$  terhadap perubahan suhu.
2. Mengetahui gain dari penguat instrumentasi.

**4.1.2 Peralatan dan Bahan**

1. Termometer analog
2. Multi meter digital DT-830D
3. Rangkaian sensor suhu dan penguat.

**4.1.3 Langkah Pengukuran**

1. Mempersiapkan semua peralatan.
  2. Menghubungkan kabel positif multimeter pada output sensor LM35, kabel hitam pada ground, dan switch pada posisi pengukuran 2000mV
  3. Mengamati penunjukan suhu pada termometer, membaca tegangan keluaran sensor LM35 pada multimeter, mencatat dalam tabel.
  4. Mengukur tegangan keluaran penguat instrumentasi dan mencatat pada tabel.
  5. Mengulangi langkah 3 dan 4 untuk semua suhu yang diberikan pada tabel 4-1
-



Gambar 4-1  
Blok Pengukuran Sensor Suhu

#### 4.1.4 Hasil Pengukuran

Tabel 4-1  
Hasil Pengukuran Sensor Suhu dan Penguat

No	Suhu Termometer ( $^{\circ}\text{C}$ )	$V_o$ LM35 (mV)	$V_o$ Penguat (mV)
1	20	200	415
2	24	242	480
3	25	250	495
4	26	256	510
5	27	267	536
6	28	285	570
7	29	298	600
8	30	300	604
9	31	317	630
10	32	324	650

#### 4.1.5 Analisa Hasil pengukuran

Perubahan tegangan output sensor suhu LM35 per derajat selsius sebesar 10 mV. Tegangan output sensor ( $V_o \text{ sen}$ ) pada suhu  $20^{\circ}\text{C}$  dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 V_o \text{ sen} &= T \cdot 10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C} \\
 &= 20 \cdot 10 \text{ mV} / ^{\circ}\text{C} \\
 &= 200 \text{ mV}
 \end{aligned}$$

Besarnya penguatan adalah :

$$V_{o \text{ amp}} = A \cdot V_{in}$$

$$A = \text{Resolusi ADC} / \text{Resolusi Sensor}$$

$$A = 19,6 \text{ mV} / 10 \text{ mV}$$

$$A = 1,96X$$

$V_o$  penguat pada suhu 20 °C :

$$V_o = A \times V_{in \text{ hitung}}$$

$$= 1,96 \times 200$$

$$= 392 \text{ mV}$$

Besarnya kesalahan relatif tegangan output sensor (  $Kr_{\text{sen}}$  ) sebesar :

$$Kr = \frac{\text{Hasil pengukuran} - \text{hasil perhitungan}}{\text{Hasil perhitungan}} \times 100\%$$

$$Kr = \frac{2,00 - 2,00}{2,00} \times 100\%$$

$$= 0,00 \%$$

Kesalahan relatif penguatan (  $Kr_A$  ) adalah :

$$Kr = \frac{\text{Hasil pengukuran} - \text{hasil perhitungan}}{\text{Hasil perhitungan}} \times 100\%$$

$$Kr = \frac{2,075 - 1,96}{1,96} \times 100\%$$

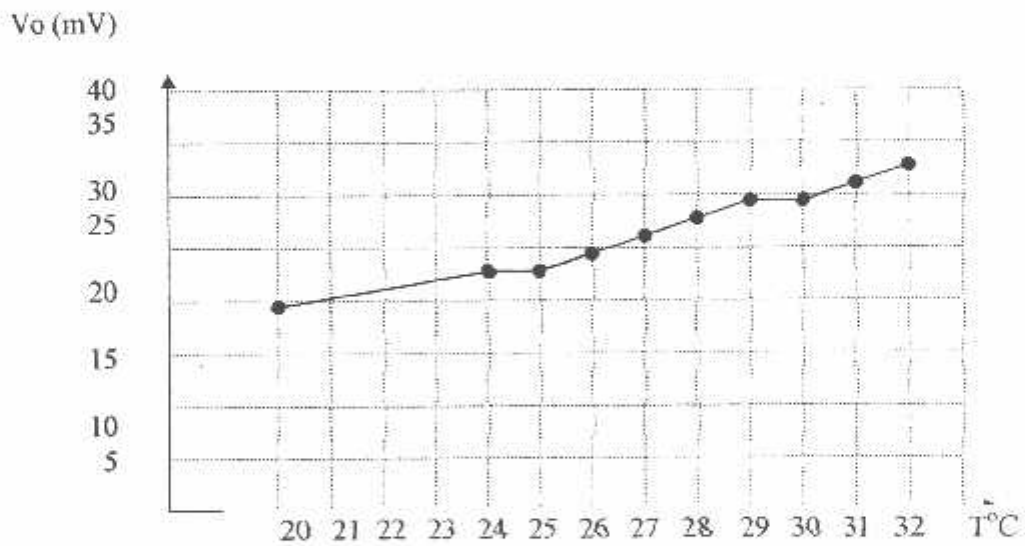
$$= 5,87 \%$$

Dengan cara yang sama untuk suhu yang lain dapat dihitung yang hasilnya seperti pada tabel 4-2 berikut.

Tabel 4-2

Perbandingan Hasil Perhitungan Dengan Hasil Pengukuran Sensor Suhu

Suhu (°C)	Vsen ukur (mV)	Vo ukur (mV)	Vsen hitung (mV)	Vo hitung (mV)	A Ukur (kali)	A Hitung (kali)	Kr Sensor (%)	Kr Gain (%)
20	200	415	200	392,0	2,07	1,96	0,00	5,87
24	242	480	240	470,4	1,98	1,96	0,83	1,20
25	250	495	250	490,0	1,98	1,96	0,00	1,02
26	256	510	260	509,6	1,99	1,96	1,54	1,64
27	267	536	270	529,2	2,01	1,96	1,11	2,42
28	285	570	280	548,8	2,00	1,96	1,78	2,04
29	298	600	290	568,4	2,01	1,96	2,76	2,72
30	300	604	300	588,0	2,01	1,96	0,00	2,72
31	317	630	310	607,6	1,99	1,96	2,26	1,40
32	324	650	320	627,2	2,01	1,96	1,25	2,35
Rata-rata					2,005	1,96	1,153	2,338



Gambar 4-2

Linearitas Sensor Suhu LM35]

## 4.2 Pengukuran Rangkaian ADC

### 4.2.1 Tujuan

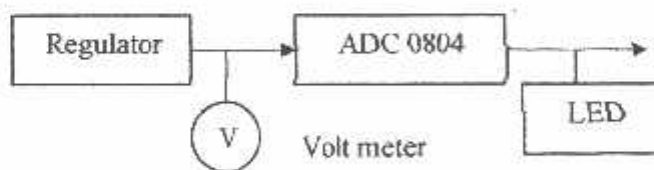
Mengetahui perubahan logika keluaran ADC terhadap perubahan input

### 4.2.2 Alat dan Bahan

1. Multimeter digital DT-830B
2. Rangkaian ADC
3. LED (*Light Emitting Dioda*)
4. Regulator 0 – 5 V

### 4.2.3 Langkah Pengukuran

1. Menghubungkan output power suplay pada input ADC, tegangan power suplay dalam keadaan minimum.
2. Menghubungkan 8 buah LED pada output ADC yang diseri dengan tahanan pembatas arus.
3. Menghidupkan peralatan catat logika keluaran ADC dalam tabel.
4. Mengulangi langkah 3 untuk setiap tegangan input seperti tabel 4-3.



**Gambar 4-3**  
**Blok Pengukuran ADC**

#### 4.2.4 Hasil Pengukuran

Tabel 4-3  
Hasil Pengukuran ADC

V in (V)	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	HEX
0	0	0	0	0	0	0	0	0	00
1	0	0	1	1	0	0	1	1	33
2	0	1	1	0	0	1	1	0	66
3	1	0	0	1	1	0	0	1	99
4	1	1	0	0	1	1	0	0	CC
5	1	1	1	1	1	1	1	1	FF

#### 4.2.5 Analisa Hasil Pengukuran

ADC 0804 mempunyai resolusi perubahan bit sebesar :

$$\text{Resolusi} = V_{\text{in max}} / V_{\text{out max}}$$

$$\text{Resolusi} = 5 / \text{FFh} = 5 / 256 = 19,53 \text{ mV}$$

$$\text{Logika keluaran} = V_{\text{in}} / V_{\text{resolusi}}$$

Untuk tegangan input 0 V :

$$\begin{aligned} V_o &= 0 / 0,0195 \\ &= 0 \text{ desimal} \\ &= 00 \text{ hexa desimal} \end{aligned}$$

Untuk tegangan input 1 V:

$$\begin{aligned} V_o &= 1 / 0,0195 \\ &= 51 \text{ desimal} \\ &= 33 \text{ hexa desimal} \end{aligned}$$

Untuk tegangan input 2 V:

$$\begin{aligned} V_o &= 2 / 0,0195 \\ &= 102 \text{ desimal} \end{aligned}$$

= 66 hexa desimal

Untuk tegangan input 3 V :

$$V_o = 3 / 0,0195$$

= 153 desimal

= 99 hexa desimal

Untuk tegangan input 4 V :

$$V_o = 4 / 0,0195$$

= 205 desimal

= CD hexa desimal

Untuk tegangan input 5 V :

$$V_o = 5 / 0,0195$$

= 256 desimal

= FF hexa desimal

Dengan demikian kesalahan relatif ( $K_r$ ) pengukuran adalah 0 %.

### **4.3 Pengukuran Sensor Kelembaban dan Multivibrator Astabil**

#### **4.3.1 Tujuan**

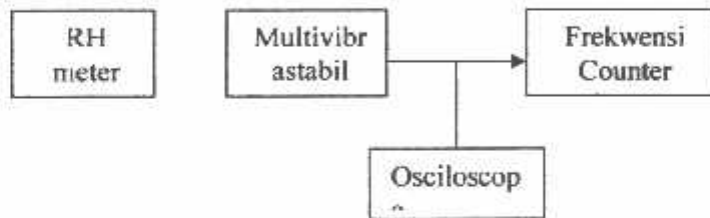
Mengetahui perubahan frekwensi multivibrator astabil terhadap perubahan kelembaban udara.

#### **4.3.2 Alat dan Bahan**

1. Frekwensi counter
2. Oscilloscope
3. RH meter
4. Rangkaian sensor kelembaban.

### 4.3.3 Langkah Pengukuran

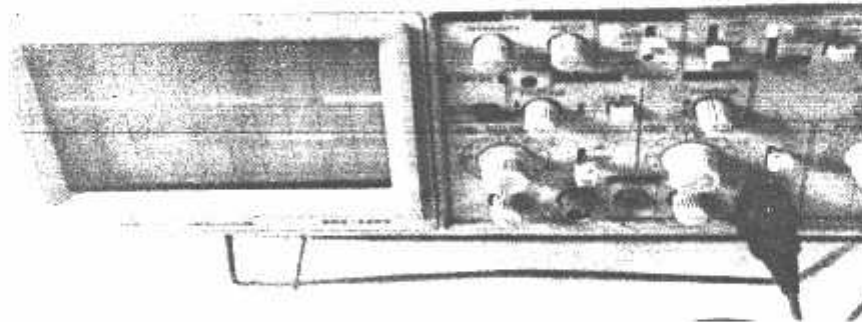
1. Mempersiapkan alat yang dibutuhkan
2. Mengukur frekwensi multivibrator pada saat RH meter menunjukkan nilai kelembaban ruangan dan mencatat hasilnya.
3. Menaikkan kelembaban ruangan dan mengamati perubahan frekwensi multivibrator dan RH meter, mencatat hasilnya pada tabel.
4. Mengulangi langkah 3 untuk semua nilai yang diberikan pada tabel 4-4.



Gambar 4-4

### Blok Pengukuran Sensor Kelembaban

### 4.3.4 Hasil Pengukuran



T / div = 50  $\mu$ S    V / div = 2 V    Div = 4,5

Gambar 4-5



## Foto Hasil Pengujian Gelombang Multivibrator Astabil

Tabel 4-4

## Hasil Pengukuran Multivibrator Astabil

No	RH meter (%)	Frek. Counter (KHz)	Oscilloscope
1	71	4,4	T/div = 50uS V/div = 2 V Div = 4,5
2	75	4,0	T/div = 50uS V/div = 2 V Div = 5
3	80	3,5	T/div = 50uS V/div = 2 V Div = 5,5
4	85	3,1	T/div = 50uS V/div = 2 V Div = 6
5	90	2,7	T/div = 50uS V/div = 2 V Div = 7

## 4.3.5 Analisa Hasil Pengukuran

Dari data hasil pengukuran oscilloscope dapat dihitung frekwensi multivibrator sebagai berikut :

$$F = 1 / T$$

$$T = T / \text{div} \cdot \text{div}$$

$$T = 4,5 \cdot 50 \text{ uS}$$

$$= 2,25 \cdot 10^{-4} \text{ detik}$$

$$F = 1 / T = 1 / 2,25^{-4}$$

$$= 4444,4 \text{ Hz}$$

Tegangan  $V_{p-p}$  sinyal adalah:

$$V_{p-p} = V / \text{div} \cdot \text{div}$$

$-2,2,3 = 4,6$  volt

*Handwritten note: 40-91*

Kesalahan relatif (Kr) frekwensi adalah:

$$Kr = \frac{\text{Hasil pengukuran} - \text{hasil perhitungan}}{\text{Hasil perhitungan}} \times 100\%$$

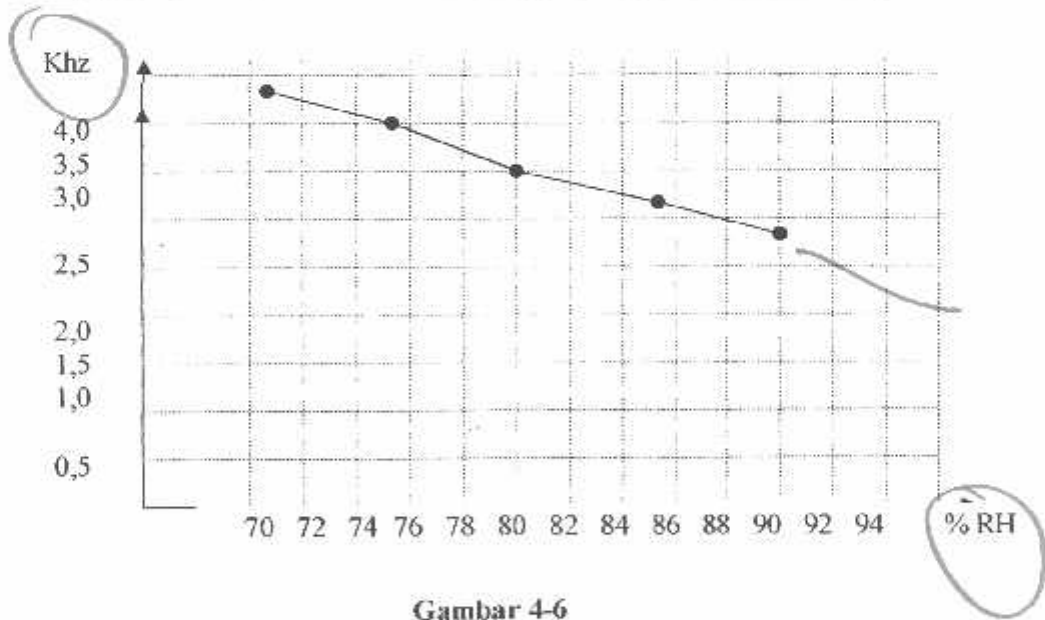
$$Kr = \frac{4400 - 4444,44}{4444,44} \times 100\%$$

$$= 1\%$$

Dengan cara yang sama untuk nilai yang lain diperoleh seperti tabel berikut ini.

**Tabel 4-5**  
**Perbandingan Hasil Pengukuran Dengan Hasil Perhitungan Multivibrator**

No	RH meter (%)	Frek. Counter (KHz)	Frek. Oscilloscope (Hz)	Kr (%)
1	71	4,4	4444,44	1,00
2	75	4,0	4000,00	0,00
3	80	3,5	3636,36	3,75
4	85	3,1	3333,33	7,0
5	90	2,7	2857,14	5,50
Rata - rata				3,45



**Gambar 4-6**  
**Linearitas Sensor Kelembaban HS 15P**



#### 4.4.5 Analisa Hasil Pengukuran

Untuk menentukan tegangan keluaran DAC dengan cara :

$$V_o = (\text{Nilai desimal} / 255) \times V_{cc}$$

Untuk input 00H,

$$V_o = (0 / 255) \times 5$$

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

Untuk input 33H,

$$V_o = (51 / 255) \times 5$$

$$V_o = 1,0 \text{ V}$$

Kesalahan relatif (Kr) adalah :

$$Kr = \frac{\text{Hasil pengukuran} - \text{hasil perhitungan}}{\text{Hasil perhitungan}} \times 100\%$$

Untuk nilai yang lain seperti pada tabel berikut :

Tabel 4-7

## Perbandingan Hasil Pengukuran dan Perhitungan Rangkaian DAC

No	Hexa	Input								Vo Hitung (Volt)	Output (Volt)	Kr (%)
		D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0			
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0
2	33	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1,06	6,00
3	66	0	1	1	0	0	1	1	0	2	2,04	2,00
4	99	1	0	0	1	1	0	0	1	3	3,05	1,67
5	CC	1	1	0	0	1	1	0	0	4	4,00	0
6	FF	1	1	1	1	1	1	1	1	5	5,00	0
Rata-rata												1,934

#### 4.5 Pengukuran Rangkaian Driver Pompa

##### 4.5.1 Tujuan

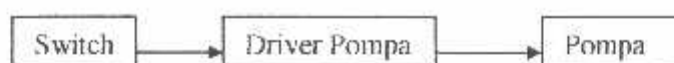
Mengetahui kerja rangkaian driver pompa

##### 4.5.2 Alat dan Bahan

1. Rangkaian driver pompa
2. Motor pompa
3. Kabel secukupnya

##### 4.5.3 Langkah Pengukuran

1. Mempersiapkan semua peralatan yang dibutuhkan.
2. Menghubungkan input rangkaian driver ke ground.
3. Mengamati perubahan kontak relay dan motor pompa
4. Merubah posisi input driver ke Vcc +5 V
5. Mengamati perubahan kontak relay dan motor pompa



Gambar 4-8

Blok Pengukuran Driver Pompa

#### 4.5.4 Hasil Pengujian

Tabel 4-8

Hasil Pengujian Rangkaian Driver Pompa

Input Logika	Posisi Kontak	Motor Pompa
Low	Normali Close ( NC )	Mati
High	Normali Open ( NO )	Hidup

#### 4.5.5 Analisa Hasil Pengujian

Ketika input rangkaian driver berlogika low, tidak ada arus  $I_b$  yang mengalir karena  $V_{bb} = 0$ . Transistor menjadi cutoff, dan kaki collector dan emitor seperti saklar yang terbuka. Akibatnya arus  $I_c$  menjadi nol dan kontak relay tetap pada posisi Normaly Close (NC). Pada saat lain, ketika input driver berlogika high, tegangan  $V_{bb} = 5V$  dan arus  $I_b$  akan mengalir melewati tahanan  $R_b$ , basis dan emitor. Transistor menjadi saturasi dan kaki kolektor dan kaki emitor seperti rangkaian saklar yang tertutup. Arus  $I_c$  akan mengalir melewati koil relay, kolektor dan emitor kembali ke ground. Akibatnya timbul medan magnet yang akan menarik kontak relay ke posisi normaly open (NO).

### 4.6 Pengukuran Rangkaian Driver Kipas dan Heater

#### 4.6.1 Tujuan

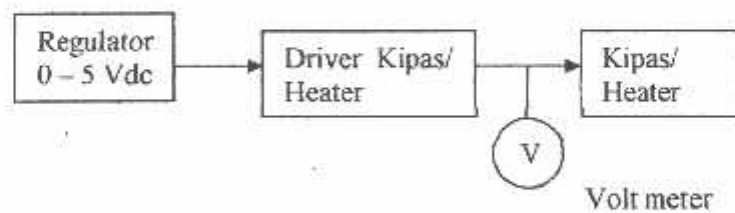
- Mengetahui unjuk kerja rangkaian driver kipas dan heater

#### 4.6.2 Alat dan Bahan

1. Rangkaian driver kipas dan heater
2. Kipas dan heater
3. Multimeter digital DT-830D
4. Regulator 0 – 5 Vdc

#### 4.6.3 Langkah Pengukuran

1. Mempersiapkan peralatan yang dibutuhkan
2. Mengatur tegangan input driver pada posisi 0 V.
3. Mengamati perubahan yang terjadi pada heater dan kipas, mencatat pada tabel.
4. Mengukur tegangan yang jatuh pada heater dan kipas, mencatat hasilnya pada tabel.
5. Mengulangi langkah 3 untuk nilai input seperti yang diberikan oleh tabel berikut.



Gambar 4-9

Blok Pengukuran Driver Kipas dan Heater

#### 4.6.4 Hasil Pengukuran

Tabel 4-9

Hasil Pengukuran Driver Kipas dan Heater

No	V in (Volt)	Vo Heater (Volt)	Vo Kipas (Volt)	Kondisi Heater	Kondisi Kipas
1	0	0	0	Hidup	Mati
2	1	0	1,24	Hidup	Mati
3	2	86	3,60	Hidup	Hidup
4	3	164	6,72	Hidup	Hidup
5	4	195	10,3	Mati	Hidup
6	5	215	11,4	Mati	Hidup

#### 4.6.5 Analisa Hasil Pengukuran

Tegangan jauh pada sebuah LED sekitar 1,6 V. Tegangan ini adalah tegangan minimum yang dibutuhkan untuk dapat bekerja sebagaimana mestinya. Apabila tegangan input kurang dari tegangan minimum, LED tidak akan menyala sehingga foto transistor dalam keadaan cut off. Input basis transistor TIP 3055 mendapatkan tegangan dari Vcc sehingga menjadikannya saturasi dan heater menjadi hidup.

Setelah tegangan input diatas 1,6 V, LED akan menyala dan menyebabkan basis foto transistor mendapat sinar. Hal ini akan menyebabkan terjadi penurunan tegangan pada input basis TIP 3055. Semakin tinggi tegangan input LED, cahaya yang dihasilkan akan semakin kuat dan akan menyebabkan penurunan tegangan pada basis transistor TIP 3055 sampai foto transistor menjadi saturasi sebesar 0,2 V. Dalam kondisi foto transistor saturasi, transistor TIP 3055 menjadi cut off karena tegangan pada kaki basisnya dibawah tegangan VBE sebesar 0,7 V.



Pada rangkaian driver kipas, perubahan tegangan input akan menyebabkan perubahan daerah kerja transistor. Ketika input tegangan dibawah tegangan  $V_{BE}$  0,7 V, transistor dalam kondisi cut off. Akibatnya tidak ada arus yang mengalir melalui kipas atau kipas mati. Ketika tegangan input mulai bergerak naik di atas tegangan  $V_{BE}$  0,7 V, transistor mulai aktif dan arus akan mengalir melalui koil kipas menuju ground melewati kaki kolektor dan emitor. Kecepatan kipas akan mencapai maksimum setelah transistor dalam kondisi saturasi. Pada saat ini, kecepatan kipas akan konstant karena antara kaki kolektor dan emitor terjadi short walaupun tegangan input basis dinaikkan.

#### **4.7 Pengujian Software Fuzzy**

##### **4.7.1 Tujuan**

Mengetahui respon alat terhadap perubahan suhu dan kelembaban

##### **4.7.2 Alat dan Bahan**

Alat pengontrol suhu dan kelembaban

##### **4.7.3 Langkah Pengujian**

1. Suhu ruang miniatur dibuat menjadi 21 °C dengan nilai kelembaban 88 %RH.
  2. Menyalakan dan mengamati waktu yang diperlukan oleh alat untuk mencapai nilai set point yang diinginkan. Hasil pembacaan sensor suhu dan sensor kelembaban ditampilkan dengan LCD.
  3. Alat dimatikan.
-

4. Menaikkan suhu ruang miniatur sampai mencapai 29 °C dengan nilai kelembaban 96 %RH
5. Menyalakan dan mengamati waktu yang diperlukan oleh alat untuk mencapai nilai set point yang diinginkan. Hasil pembacaan sensor suhu dan sensor kelembaban ditampilkan dengan LCD.
6. Alat dibiarkan tetap menyala dan diberi gangguan dengan memasukkan lampu pijar 60 W.
7. Mengamati aksi yang dilakukan alat.

#### 4.7.4 Hasil Pengujian

Setelah alat dinyalakan dengan suhu awal lingkungan 21 °C (NB) dan kelembaban 81 %RH (NB), alat melakukan aksi sesuai dengan *rules* yang diberikan. Kemudian alat dimatikan kemudian suhu ruangan dinaikkan menjadi 29 °C dengan nilai kelembaban 95 %RH. Ini berarti suhu dan kelembaban dibuat menjadi PB. Alat dinyalakan ternyata aksi yang dilakukan juga sesuai dengan *rules* yang diberikan, seperti pada tabel berikut ini.

**Tabel 4-10**  
**Pengujian Rules**

% RH °C	% RH					
	81	85	88	90	92	95
20	Air, Pemanas	Air, Pemanas	Air, Pemanas	Pemanas	Pemanas	Pemanas
23	Air, Pemanas	Air, Pemanas	Air, Pemanas	Pemanas	Pemanas	Pemanas
25	Air, Pemanas	Air, Pemanas	Air, Pemanas	Pemanas	Pemanas	Pemanas
26	Air	Air	Air	Off	Off	Off
28	Air, Kipas	Air, Kipas	Air, Kipas	Kipas	Kipas	Kipas
29	Air, Kipas	Air, Kipas	Air, Kipas	Kipas	Kipas	Kipas

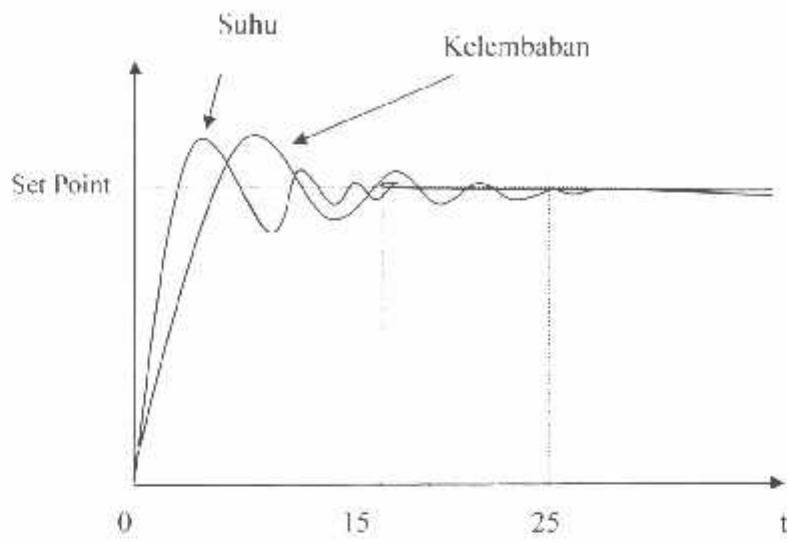
#### 4.7.5 Analisa Hasil Pengujian

Dari tabel hasil pengujian di atas diketahui bahwa sistem telah bekerja sebagai mana mestinya, sesuai dengan rule yang direncanakan sebelumnya.

#### S U H U

K E L E M B A B A N		N	Z	P
	N	PEMANAS AIR	AIR	AIR KIPAS
	Z	PEMANAS	OFF	KIPAS
	P	PEMANAS	OFF	KIPAS

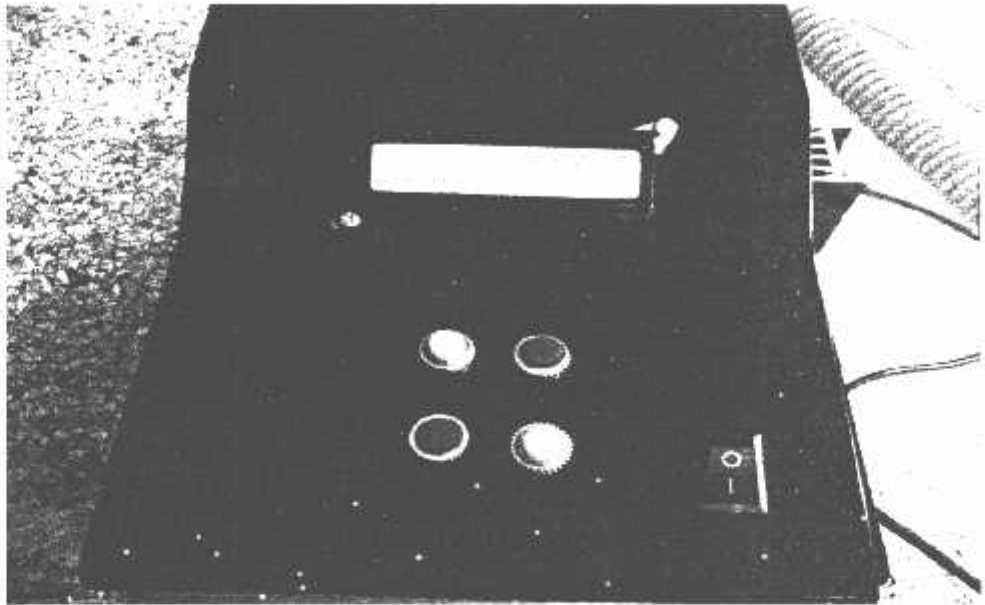
Rata-rata waktu yang diperlukan untuk mengubah suhu per 1°C adalah 15 menit. Sedangkan rata-rata waktu yang diperlukan untuk mengubah kelembaban per 1 %RH adalah 25 menit. *Set point* untuk suhu adalah 26 °C dan *set point* untuk kelembaban adalah 90% RH.



**Gambar 4-10**  
**Perbandingan Kecepatan Suhu dan Kelembaban**



**Gambar 4-11**  
**Foto Alat Keseluruhan**



**Gambar 4-12**  
**Foto Tampilan Alat**



## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

1. Pengaturan suhu pada *prototype* ruangan jamur tiram putih dapat dikontrol dengan baik menggunakan driver pemanas dan driver kipas.
2. Rangkaian sensor suhu yang digunakan untuk mengubah besaran suhu menjadi besaran elektrik mempunyai prosentase kesalahan pendeteksian sebesar 1,153%.
3. Nilai kelembaban diperoleh dengan cara menghitung nilai perubahan frekwensi ( $\Delta f$ ) multivibrator astabil sebagai akibat perubahan kapasitansi sensor dengan kesalahan pendeteksian sebesar 3,45 %.
4. Semakin dekat suhu dan kelembaban mula-mula dengan set point maka semakin cepat pula sistem mencapai keadaan mantap.

#### 5.2 Saran

Dalam aplikasi di lapangan harus memperhatikan semua aspek yang berhubungan dengan budidaya jamur tiram putih (*Pleurotus Floridae*), termasuk penempatan sensor dan peralatan pendukung, sehingga diperoleh ketelitian yang diharapkan.

---

## DAFTAR PUSTAKA

1. Suriawira, H. Unus, *Budidaya Jamur Tiram*, Kanisius, Yogyakarta, 2006.
2. Malik, Moh. Ibnu & Anistardi, *Bereksperimen Dengan Mikrokontroler 8031*, Elex Media Komputindo, Jakarta, 1999.
3. Atmel, *Data Sheet AT89C51*, Atmel Corporation.
4. Hafindo Elektronik & Education, *Pelatihan Microcontroller MCS-51 Programming and Interfacing*, Hafindo Elektronik & Education, Malang, 2001.
5. National Semiconductor, *Data Sheet ADC 0804*, National Semiconductor.
6. Cooper, Wiliam D., *Instrumentasi Elektronik dan Teknik Pengukuran*, Erlangga, Jakarta, 1991.
7. Tokheim, Roger L., *Elektronika Digital*, Erlangga, Jakarta, 1995.
8. Seiko Instruments Inc., *Liquid Crystal Display Model M1632 User Manual*, Seiko Instruments Inc.
9. Coughlin, Robert F. dan Frederik F. Driscoll, *Penguat Operasional dan Rangkaian Terpadu Linier*, Erlangga, Jakarta, 1994.
10. Jamshudi, *Fuzzy Logic and Control, Software and Hardware Application*, 1993.
11. Yan, Jun, *Using Fuzzy Logic ( Toward Intelligence System )*, 1994
12. Data Sheet HS15P.
13. Wasito S., *Data Sheet Book 1*, Gramedia, Jakarta, 1997.
14. Malvino, Albert Paul, *Prinsip-prinsip Elektronik*, Erlangga, Jakarta, 1994
15. Protel Design System Library, Protel.





PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

PT. BNI (PEKSERU) MALANG  
BANK NTAQA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting) Fax. (0341) 553015 Malang 65145  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

**NAMA** : TOMY ANSARI  
**NIM** : 01.17.105  
**JURUSAN** : TEKNIK ELEKTRO  
**JUDUL SKRIPSI** : PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT  
PENGENDALI SUHU DAN KELEMBABAN RELATIF  
PADA RUANGAN BUDIDAYA JAMUR TIRAM PUTHI  
(*PLEUROTUS FLORIDAE*) MENGGUNAKAN FUZZY  
LOGIC CONTROL BERBASIS MIKROKONTROLER  
AT89C51

Dipertahankan dihadapan Team Penguji Skripsi Jenjang Program Strata satu (S 1) pada :

**Hari** : Sabtu  
**Tanggal** : 23 September 2006  
**Dengan Nilai** : 73,5 (B+)



(Ir. Mochtar Asroni, MSME)

Ketua

Panitia Ujian Skripsi

(Ir. F. Yudi Limpraptono, MT.)

Sekretaris

Anggota Penguji,

(M. Ashar, ST. MT.)

Penguji I

(Ir. Usman Juanda, MM.)

Penguji II



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

PT. BNI (PERSERO) MALANG  
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting) Fax. (0341) 553015 Malang 65145  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

1. Nama : TOMY ANSARI
2. NIM : 01.17.105
3. Jurusan : Teknik Elektro S-1
4. Konsentrasi : Teknik Elektronika
5. Judul Skripsi : PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT PENGENDALI SUHU DAN KELEMBABAN RELATIF PADA RUANGAN BUDIDAYA JAMUR TIRAM PUTIH (*PLEUROTUS FLORIDAE*) MENGGUNAKAN FUZZY LOGIC CONTROL BERBASIS MIKROKONTROLER AT89C51
6. Tanggal Pengajuan Skripsi : 2 Februari 2006
7. Selesai Menulis Skripsi : 4 Oktober 2006
8. Dosen Pembimbing : Ir. F. Yudi Limpraptono, MT.
9. Telah Dievaluasi Dengan Nilai : 75

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1

(Ir. F. Yudi Limpraptono, MT.)

Diperiksa dan disetujui,

Dosen Pembimbing

(Ir. F. Yudi Limpraptono, MT.)



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK


PT. BNI (PERSERO) MALANG  
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting) Fax. (0341) 553015 Malang 65145  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

FORMULIR PERBAIKAN SKRIPSI

Nama : Tomy Ansari  
NIM : 01.17.105  
Masa Bimbingan : 2 Februari 2006 s/d 5 Agustus 2006  
Judul :

PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT PENGENDALI SUHU DAN  
KELEMBABAN RELATIF PADA RUANGAN BUDIDAYA JAMUR TIRAM PUTIH  
(*PLEUROTUS FLORIDAE*) MENGGUNAKAN FUZZY LOGIC CONTROL  
BERBASIS MIKROKONTROLER AT89C51

No	Tanggal	Uraian	Paraf
1.	7 Oktober 2006	Blok Diagram System Fuzzy	
2.	7 Oktober 2006	Pengujian System	
3.	7 Oktober 2006	Defuzzifikasi calculating (sistem inferensi)	
4.	7 Oktober 2006	Frekwensi Vs % RH	

Malang, 7 Oktober 2006



( M. Ashar, ST. MT. )



## **4.8 Pengujian Sistem**

### **4.8.1 Tujuan**

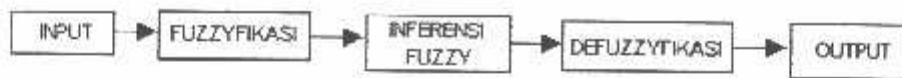
Mengetahui respon alat terhadap perubahan suhu dan kelembaban

### **4.8.2 Alat dan Bahan**

1. Alat pengontrol suhu dan kelembaban
2. Lampu pijar
3. RH meter
4. Termometer analog

### **4.8.3 Langkah Pengujian**

1. Suhu ruang miniatur dibuat menjadi 21 °C dengan nilai kelembaban 88 %RH.
  2. Mengaktifkan alat dan mengamati waktu yang diperlukan untuk mencapai nilai set point yang diinginkan.
  3. Alat dimatikan.
  4. Menaikkan suhu ruang miniatur sampai mencapai 29 °C dengan nilai kelembaban 96 %RH.
  5. Menyalakan alat dan mengamati waktu yang diperlukan oleh alat untuk mencapai nilai set point yang diinginkan.
  6. Alat dibiarkan tetap menyala dan diberi gangguan dengan memasukkan lampu pijar 60 W.
  7. Mengamati aksi yang dilakukan alat.
-



**Gambar 3-16**

**Blok Diagram system Fuzzy**

Dari blok diagram di atas dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Input adalah variabel yang akan diproses, yaitu variabel suhu dan kelembaban yang dihasilkan oleh sensor suhu LM 35 dan sensor kelembaban HS 1SP dan telah berupa data digital.
- Pada proses fuzzyfikasi, data suhu dan kelembaban yang masih berupa data digital biasa dirubah menjadi variabel fuzzy, yaitu dingin (N), hangat (Z) dan panas (P) untuk variabel suhu dan kering (Z), normal (Z) dan lembab (P) untuk variabel kelembaban. Penentuan batas-batas anggota variabel tersebut didasarkan pada kebutuhan pertumbuhan jamur tiram putih.
- Proses inferensi adalah proses dalam menentukan aksi keluaran dari sistem fuzzy. Dalam pengambilan keputusan didasarkan atas rule-rule atau aturan yang telah ditetapkan dan umumnya berbentuk pernyataan “if” – “then”. Keluaran dari proses inferensi ini masih berupa logika fuzzy yaitu dalam bentuk derajat keanggotaan.
- Pada proses defuzzyfikasi, aksi kontrol logika fuzzy dirubah kembali kebentuk aksi kontrol non fuzzy yang mewakili distribusi kemungkinan dari aksi kontrol fuzzy. Metode yang digunakan adalah metode *center of area* (COA) yaitu dengan mendapatkan grafitasi dari distribusi kemungkinan aksi kontrol.
- Pada bagian output, keluaran dari proses defuzzyfikasi diteruskan ke beban yang sesuai yaitu pemanas, pompa penyemprot dan kipas.

#### 4.8.4 Hasil Pengujian

Setelah alat dinyalakan dengan suhu awal lingkungan 21 °C (NB) dan kelembaban 88 %RH (NB), alat melakukan reaksi yaitu pemanas dan pompa hidup serta kipas mati. Kemudian alat dimatikan kemudian suhu ruangan dinaikkan menjadi 29 °C dengan nilai kelembaban 95 %RH. Ini berarti suhu dan kelembaban dibuat menjadi PB. Alat dinyalakan dan reaksi yang diberikan adalah kebalikan dari NB yaitu pemanas dan pompa mati serta kipas hidup.

% RH °C	81	85	88	90	92	95
20	Air, Pemanas	Air, Pemanas	Air, Pemanas	Pemanas	Pemanas	Pemanas
23	Air, Pemanas	Air, Pemanas	Air, Pemanas	Pemanas	Pemanas	Pemanas
25	Air, Pemanas	Air, Pemanas	Air, Pemanas	Pemanas	Pemanas	Pemanas
26	Air	Air	Air	Off	Off	Off
28	Air, Kipas	Air, Kipas	Air, Kipas	Kipas	Kipas	Kipas
29	Air, Kipas	Air, Kipas	Air, Kipas	Kipas	Kipas	Kipas

#### 4.7.5 Analisa Hasil Pengujian

Dari tabel hasil pengujian di atas diketahui bahwa sistem telah bekerja sebagai mana mestinya, sesuai dengan rule-rule yang telah direncanakan sebelumnya.

S U H U

K E L E M B A B A N		N	Z	P
	N	PEMANAS AIR	AIR	AIR KIPAS
	Z	PEMANAS	OFF	KIPAS
	P	PEMANAS	OFF	KIPAS

Rata-rata waktu yang diperlukan untuk mengubah suhu per 1°C adalah 15 menit. Sedangkan rata-rata waktu yang diperlukan untuk mengubah kelembaban per 1 %RH adalah 25 menit. *Set point* untuk suhu adalah 26 °C dan *set point* untuk kelembaban adalah 90% RH.



# LM555 Timer

## General Description

The LM555 is a highly stable device for generating accurate time delays or oscillation. Additional terminals are provided for triggering or resetting if desired. In the time delay mode of operation, the time is precisely controlled by one external resistor and capacitor. For astable operation as an oscillator, the free running frequency and duty cycle are accurately controlled with two external resistors and one capacitor. The circuit may be triggered and reset on falling waveforms, and the output circuit can source or sink up to 200mA or drive TTL circuits.

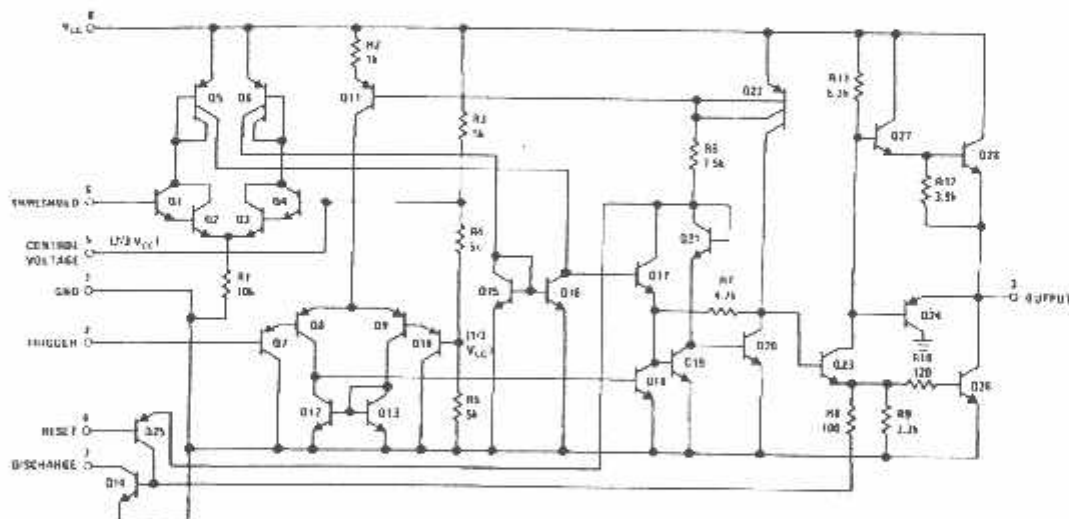
## Features

- Direct replacement for SE555/NE555
- Timing from microseconds through hours
- Operates in both astable and monostable modes
- Adjustable duty cycle
- Output can source or sink 200 mA
- Output and supply TTL compatible
- Temperature stability better than 0.005% per °C
- Normally on and normally off output
- Available in 8-pin MSOP package

## Applications

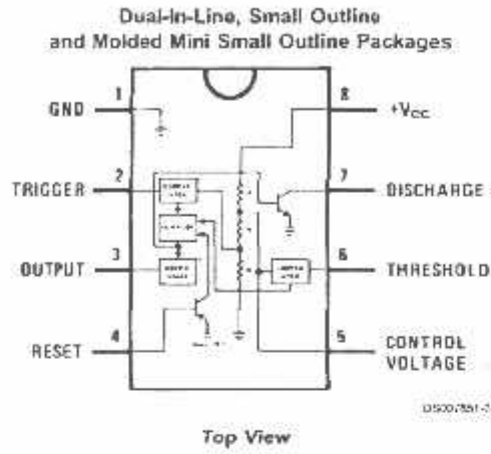
- Precision timing
- Pulse generation
- Sequential timing
- Time delay generation
- Pulse width modulation
- Pulse position modulation
- Linear ramp generator

## Schematic Diagram



DS007851-1

## Connection Diagram



## Ordering Information

Package	Part Number	Package Marking	Media Transport	NSC Drawing
8-Pin SOIC	LM555CM	LM555CM	Rails	M08A
	LM555CMX	LM555CM	2.5k Units Tape and Reel	
8-Pin MSOP	LM555CMM	Z55	1k Units Tape and Reel	MUA08A
	LM555CMMX	Z55	3.5k Units Tape and Reel	
8-Pin MOIP	LM555CN	LM555CN	Rails	N08E

**Absolute Maximum Ratings** (Note 2)

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

Supply Voltage	+18V
Power Dissipation (Note 3)	
LM555CM, LM555CN	180 mW
LM555CVM	613 mW
Operating Temperature Ranges	
LM555C	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

**Soldering Information**

Dual-In-Line Package	
Soldering (10 Seconds)	260°C
Small Outline Packages (SOIC and MSOP)	
Vapor Phase (60 Seconds)	215°C
Infrared (15 Seconds)	220°C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

**Electrical Characteristics** (Notes 1, 2)

( $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_{CC} = +5\text{V}$  to  $+15\text{V}$  unless otherwise specified)

Parameter	Conditions	Limits			Units
		LM555C			
		Min	Typ	Max	
Supply Voltage		4.5		16	V
Supply Current	$V_{CC} = 5\text{V}$ , $R_A = \infty$ $V_{CC} = 15\text{V}$ , $R_C = \infty$ (Low State) (Note 4)		3 10	6 15	mA
Timing Error, Monostable					
Initial Accuracy			1		%
Drift with Temperature	$R_A = 1\text{k to }100\text{k}\Omega$ $C = 0.1\mu\text{F}$ , (Note 5)		50		ppm/°C
Accuracy over Temperature			1.5		%
Drift with Supply			0.1		%/V
Timing Error, Astable					
Initial Accuracy			2.25		%
Drift with Temperature	$R_A, R_C = 1\text{k to }100\text{k}\Omega$ $C = 0.1\mu\text{F}$ , (Note 5)		150		ppm/°C
Accuracy over Temperature			3.0		%
Drift with Supply			0.30		%/V
Threshold Voltage			0.65 $\bar{7}$		$\times V_{CC}$
Trigger Voltage	$V_{CC} = 15\text{V}$ $V_{CC} = 5\text{V}$		5 1.67		V
Trigger Current			0.5	0.9	$\mu\text{A}$
Reset Voltage		0.4	0.5	1	V
Reset Current			0.1	0.4	mA
Threshold Current	(Note 6)		0.1	0.25	$\mu\text{A}$
Control Voltage Level	$V_{CC} = 15\text{V}$ $V_{CC} = 5\text{V}$	9 2.6	10 3.33	11 4	V
Pin 7 Leakage Output High			1	100	nA
Pin 7 Sat (Note 7)					
Output Low	$V_{CC} = 15\text{V}$ , $I_T = 15\text{mA}$		180		mV
Output Low	$V_{CC} = 4.5\text{V}$ , $I_T = 4.5\text{mA}$		80	200	mV

### Electrical Characteristics (Notes 1, 2) (Continued)

( $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_{CC} = +5\text{V}$  to  $+15\text{V}$ , unless otherwise specified)

Parameter	Conditions	Limits			Units
		LM555C			
		Min	Typ	Max	
Output Voltage Drop (Low)	$V_{OUT} = 15\text{V}$				
	$I_{sink} = 10\text{mA}$		0.1	0.25	V
	$I_{sink} = 50\text{mA}$		0.4	0.75	V
	$I_{sink} = 100\text{mA}$		2	2.5	V
	$I_{sink} = 200\text{mA}$		2.5		V
	$V_{OUT} = 5\text{V}$				
	$I_{sink} = 8\text{mA}$				V
	$I_{sink} = 5\text{mA}$		0.25	0.35	V
Output Voltage Drop (High)	$I_{OUT(peak)} = 200\text{mA}$ , $V_{CC} = 15\text{V}$		12.5		V
	$I_{OUT(peak)} = 100\text{mA}$ , $V_{CC} = 15\text{V}$	12.75	13.3		V
	$V_{CC} = 5\text{V}$	2.75	3.3		V
Rise Time of Output			100		ns
Fall Time of Output			100		ns

**Note 1:** All voltages are measured with respect to the ground pin, unless otherwise specified.

**Note 2:** Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits. Electrical Characteristics state DC and AC electrical specifications under particular test conditions which guarantee specific performance limits. This assumes that the device is within the Operating Ratings. Specifications are not guaranteed for parameters where no limit is given, however, the typical value is a good indication of device performance.

**Note 3:** For operating (absolute) temperatures the device must be derated above  $25^\circ\text{C}$  based on a  $+150^\circ\text{C}$  maximum junction temperature and a thermal resistance of  $108^\circ\text{C/W}$  (DIP),  $174^\circ\text{C/W}$  (SO-8), and  $204^\circ\text{C/W}$  (MSOP) junction to ambient.

**Note 4:** Supply current when output high (typical)  $I_{OH}$  at  $V_{CC} = 5\text{V}$ .

**Note 5:** Tested at  $V_{CC} = 5\text{V}$ ,  $V_{OUT} = 15\text{V}$ .

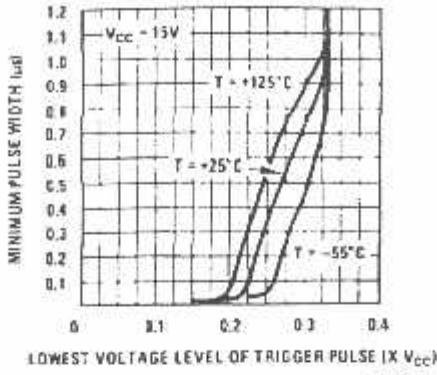
**Note 6:** This test defines the maximum value of  $R_{th} + R_{\theta}$  for 15V operation. The maximum total ( $R_{th} + R_{\theta}$ ) is  $2040$ .

**Note 7:** No protection diodes, excessive pin 7 current, or necessary providing the package dissipation rating will not be exceeded.

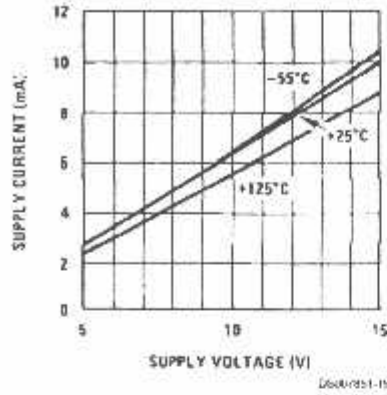
**Note 8:** Refer to OPT055X (including military), MicroT and LM555J versions for specifications.

# Typical Performance Characteristics

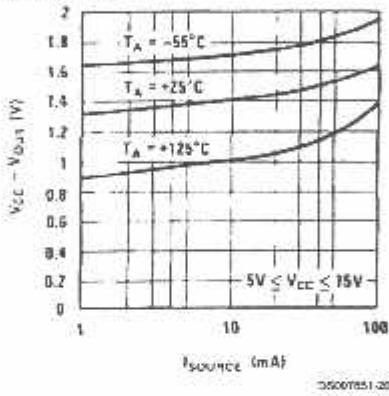
Minimum Pulse Width Required for Triggering



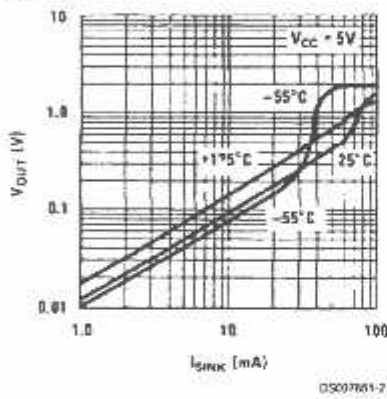
Supply Current vs. Supply Voltage



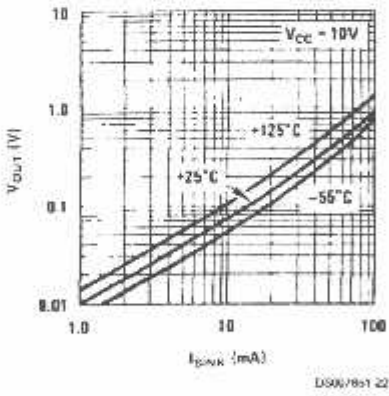
High Output Voltage vs. Output Source Current



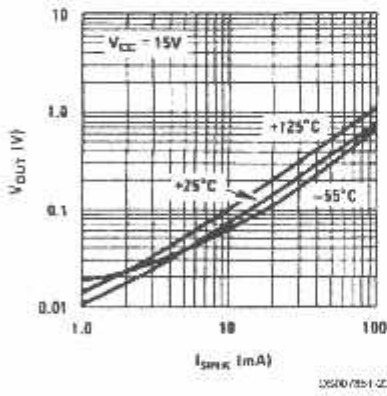
Low Output Voltage vs. Output Sink Current



Low Output Voltage vs. Output Sink Current

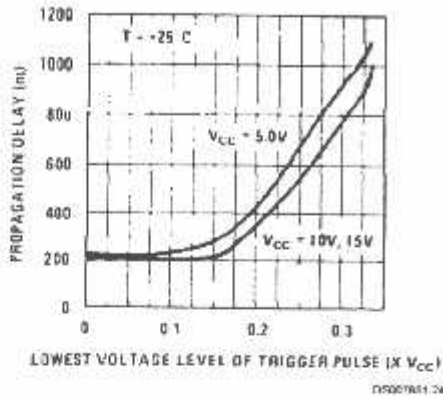


Low Output Voltage vs. Output Sink Current

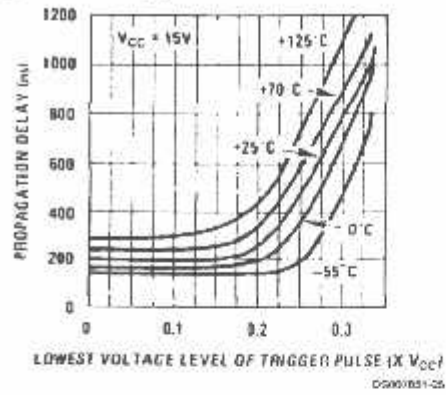


Typical Performance Characteristics (Continued)

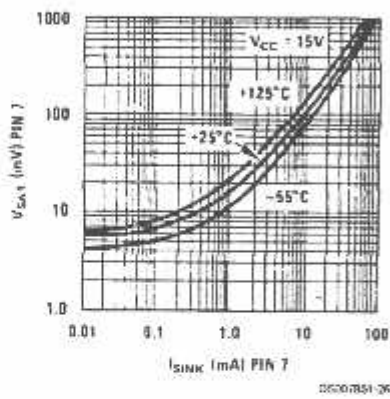
Output Propagation Delay vs. Voltage Level of Trigger Pulse



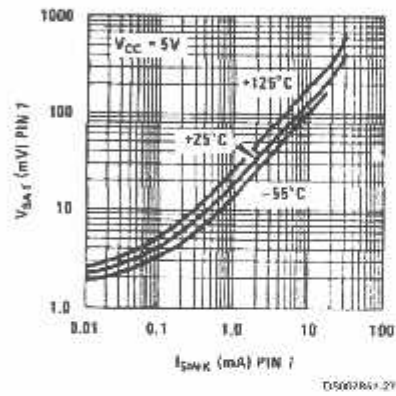
Output Propagation Delay vs. Voltage Level of Trigger Pulse



Discharge Transistor (Pin 7) Voltage vs. Sink Current



Discharge Transistor (Pin 7) Voltage vs. Sink Current



## Applications Information

### MONOSTABLE OPERATION

In this mode of operation, the timer functions as a one-shot (Figure 1). The external capacitor is initially held discharged by a transistor inside the timer. Upon application of a negative trigger pulse of less than  $1/3 V_{CC}$  to pin 2, the flip-flop is set which both releases the short circuit across the capacitor and drives the output high.

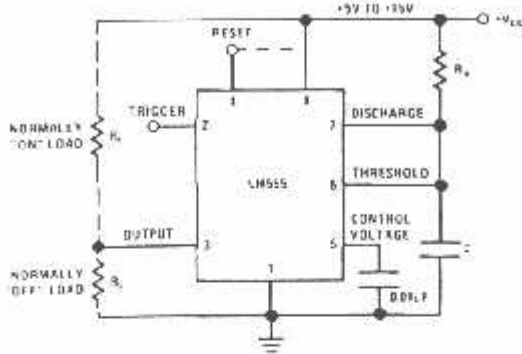
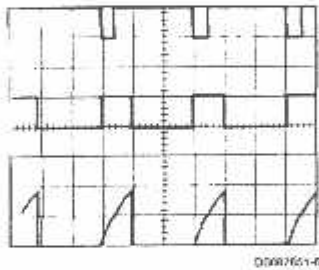


FIGURE 1. Monostable

The voltage across the capacitor then increases exponentially for a period of  $t = 1.1 R_A C$ , at the end of which time the voltage equals  $2/3 V_{CC}$ . The comparator then resets the flip-flop which in turn discharges the capacitor and drives the output to its low state. Figure 2 shows the waveforms generated in this mode of operation. Since the charge and the threshold level of the comparator are both directly proportional to supply voltage, the timing interval is independent of supply.



$V_{CC} = 5V$   
 TIME = 0.1  $\mu s$ /Div  
 $R_A = 9.1k\Omega$   
 $C = 0.01\mu F$

Top Trace: Input 5V/Div  
 Middle Trace: Output 5V/Div  
 Bottom Trace: Capacitor Voltage 2V/Div.

FIGURE 2. Monostable Waveforms

During the timing cycle when the output is high, the further application of a trigger pulse will not effect the circuit so long as the trigger input is returned high at least 10 $\mu s$  before the end of the timing interval. However, the circuit can be reset during this time by the application of a negative pulse to the reset terminal (pin 4). The output will then remain in the low state until a trigger pulse is again applied.

When the reset function is not in use, it is recommended that it be connected to  $V_{CC}$  to avoid any possibility of false triggering.

Figure 3 is a nomograph for easy determination of R-C values for various time delays.

NOTE: In monostable operation, the trigger should be driven high before the end of timing cycle.

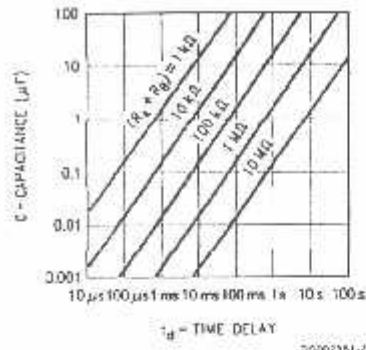


FIGURE 3. Time Delay

### ASTABLE OPERATION

If the circuit is connected as shown in Figure 4 (pins 2 and 6 connected) it will trigger itself and free run as a multivibrator. The external capacitor charges through  $R_A + R_B$  and discharges through  $R_B$ . Thus the duty cycle may be precisely set by the ratio of these two resistors.

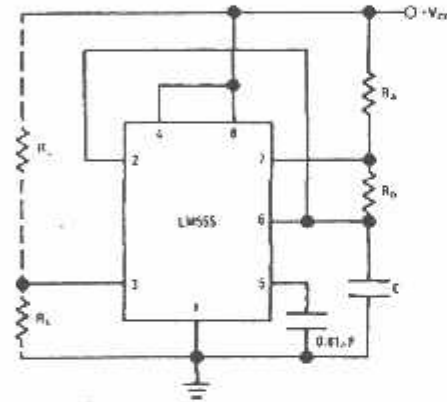
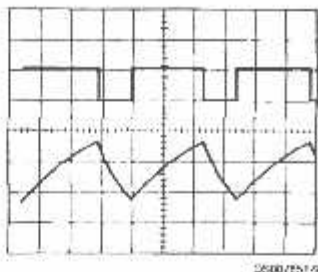


FIGURE 4. Astable

In this mode of operation, the capacitor charges and discharges between  $1/3 V_{CC}$  and  $2/3 V_{CC}$ . As in the triggered mode, the charge and discharge times, and therefore the frequency are independent of the supply voltage.

## Applications Information (Continued)

Figure 5 shows the waveforms generated in this mode of operation.



$V_{CC} = 5V$   
 TIME = 20ps/DIV.  
 $R_A = 1.9k\Omega$   
 $R_B = 3k\Omega$   
 $C = 0.01\mu F$

Top Trace: Output 5V/Div.  
 Bottom Trace: Capacitor Voltage 1V/Div.

FIGURE 5. Astable Waveforms

The charge time (output high) is given by:

$$t_1 = 0.693 (R_A + R_B) C$$

And the discharge time (output low) by:

$$t_2 = 0.693 (R_B) C$$

Thus the total period is:

$$T = t_1 + t_2 = 0.693 (R_A + 2R_B) C$$

The frequency of oscillation is:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B) C}$$

Figure 6 may be used for quick determination of these RC values.

The duty cycle is:

$$D = \frac{R_B}{R_A + 2R_B}$$

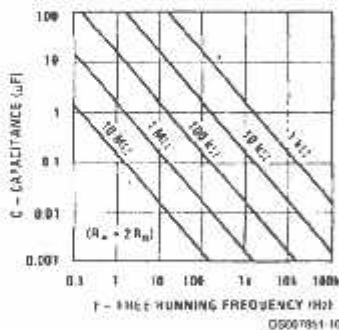
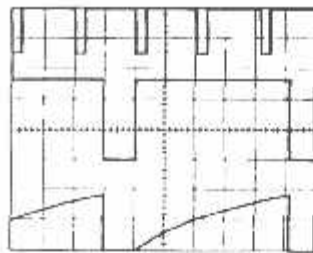


FIGURE 6. Free Running Frequency

## FREQUENCY DIVIDER

The monostable circuit of Figure 1 can be used as a frequency divider by adjusting the length of the timing cycle. Figure 7 shows the waveforms generated in a divide by three circuit.



$V_{CC} = 5V$   
 TIME = 20ps/DIV.  
 $R_A = 9.1k\Omega$   
 $C = 0.01\mu F$

Top Trace: Input 4V/Div.  
 Middle Trace: Output 2V/Div.  
 Bottom Trace: Capacitor 2V/Div.

FIGURE 7. Frequency Divider

## PULSE WIDTH MODULATOR

When the timer is connected in the monostable mode and triggered with a continuous pulse train, the output pulse width can be modulated by a signal applied to pin 5. Figure 8 shows the circuit, and in Figure 9 are some waveform examples.

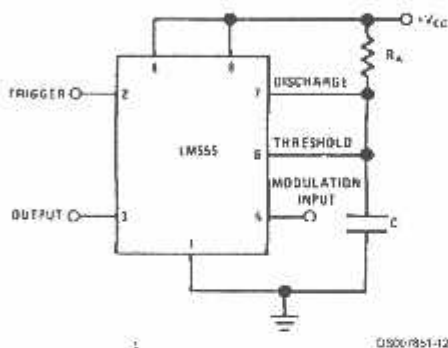
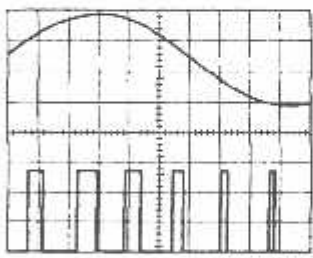


FIGURE 8. Pulse Width Modulator



$V_{CC} = 5V$   
 TIME = 0.2 ns/DIV.  
 $R_A = 9.1k\Omega$   
 $C = 0.01\mu F$

Top Trace: Modulation 1V/Div.  
 Bottom Trace: Output Voltage 2V/Div.

FIGURE 9. Pulse Width Modulator



## Applications Information (Continued)

### PULSE POSITION MODULATOR

This application uses the timer connected for astable operation, as in Figure 10, with a modulating signal again applied to the control voltage terminal. The pulse position varies with the modulating signal, since the threshold voltage and hence the time delay is varied. Figure 11 shows the waveforms generated for a triangle wave modulation signal.

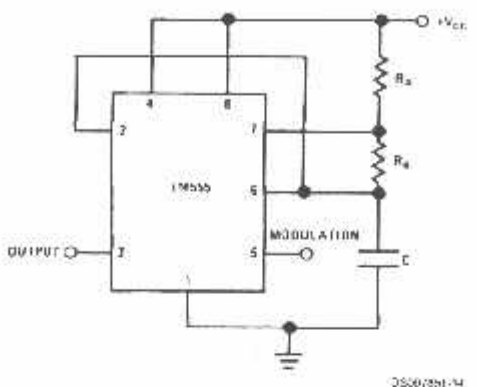
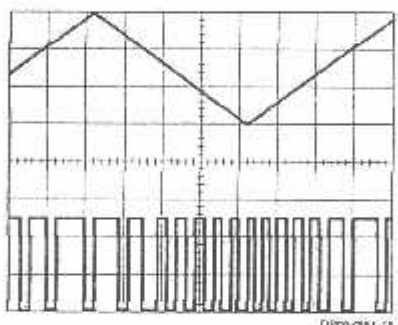


FIGURE 10. Pulse Position Modulator



$V_{CC} = 5V$   
 TIME = 0.1 ms/DIV  
 $R_A = 3.9k\Omega$   
 $R_B = 3k\Omega$   
 $C = 0.01\mu F$

Top Trace: Modulation input 1V/Div.  
 Bottom Trace: Output 2V/Div.

FIGURE 11. Pulse Position Modulator

### LINEAR RAMP

When the pullup resistor,  $R_A$ , in the monostable circuit is replaced by a constant current source, a linear ramp is generated. Figure 12 shows a circuit configuration that will perform this function.

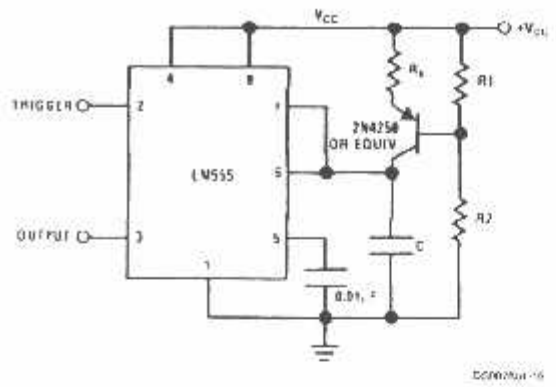
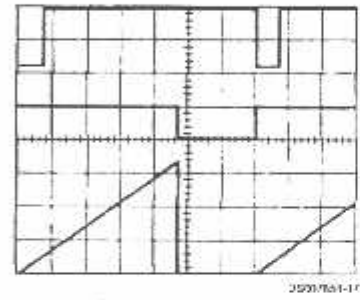


FIGURE 12.

Figure 13 shows waveforms generated by the linear ramp. The time interval is given by:

$$T = \frac{2/3 V_{CC} R_E (R_1 + R_2) C}{R_1 V_{CC} - V_{BE} (R_1 + R_2)}$$

$V_{BE} = 0.6V$



$V_{CC} = 5V$   
 TIME = 20µs/DIV  
 $R_1 = 47k\Omega$   
 $R_2 = 100k\Omega$   
 $R_E = 2.7k\Omega$   
 $C = 0.01\mu F$

Top Trace: Input 3V/Div  
 Middle Trace: Output 5V/Div  
 Bottom Trace: Capacitor Voltage 1V/Div.

FIGURE 13. Linear Ramp

## Applications Information (Continued)

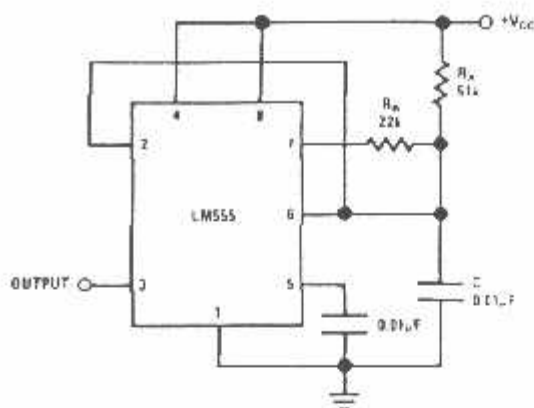
## 50% DUTY CYCLE OSCILLATOR

For a 50% duty cycle, the resistors  $R_A$  and  $R_B$  may be connected as in Figure 14. The time period for the output high is the same as previous,  $t_1 = 0.693 R_A C$ . For the output low it is  $t_2 =$

$$\left[ (R_A R_B) / (R_A + R_B) \right] C \ln \left[ \frac{R_B - 2R_A}{2R_B - R_A} \right]$$

Thus the frequency of oscillation is

$$F = \frac{1}{t_1 + t_2}$$



07097251/11

FIGURE 14. 50% Duty Cycle Oscillator

Note that this circuit will not oscillate if  $R_B$  is greater than  $1/2 R_A$  because the junction of  $R_A$  and  $R_B$  cannot bring pin 2 down to  $1/3 V_{CC}$  and trigger the lower comparator.

## ADDITIONAL INFORMATION

Adequate power supply bypassing is necessary to protect associated circuitry. Minimum recommended is  $0.1\mu\text{F}$  in parallel with  $1\mu\text{F}$  electrolytic.

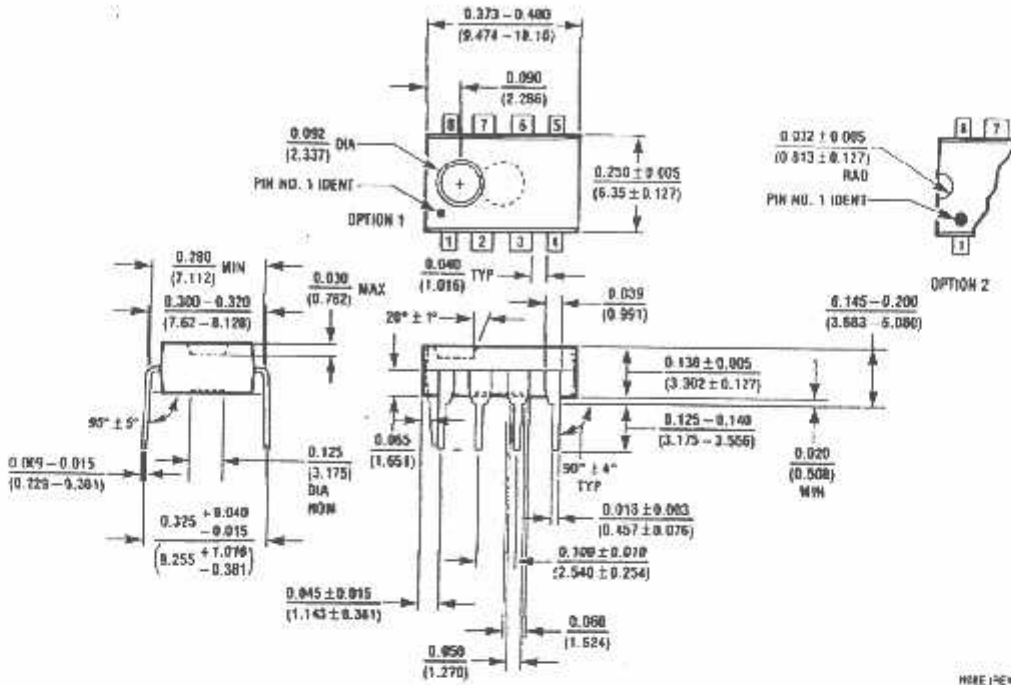
Lower comparator storage time can be as long as  $10\mu\text{s}$  when pin 2 is driven fully to ground for triggering. This limits the monostable pulse width to  $10\mu\text{s}$  minimum.

Delay time reset to output is  $0.47\mu\text{s}$  typical. Minimum reset pulse width must be  $0.3\mu\text{s}$ , typical.

Pin 7 current switches within  $30\text{ns}$  of the output (pin 3) voltage.



Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



Molded Dual-In-Line Package (N)  
NS Package Number N08E

H08E (REV. F)

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

**National Semiconductor Corporation Americas**  
Tel: 1-800-272-9950  
Fax: 1-800-737-7010  
Email: support@nsc.com  
www.national.com

**National Semiconductor Europe**  
Fax: +49 (0) 180-530 85 88  
Email: europe.support@nsc.com  
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 8208  
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171  
Français Tel: +33 (0) 1 41 51 8750

**National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group**  
Tel: 65-2544466  
Fax: 65-2504466  
Email: ap.support@nsc.com

**National Semiconductor Japan Ltd.**  
Tel: 81-3-5639-7580  
Fax: 81-3-5639-7507

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, so circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

## LF351 Wide Bandwidth JFET Input Operational Amplifier

### General Description

The LF351 is a low cost high speed JFET input operational amplifier with an internally trimmed input offset voltage (BI-FET II™ technology). The device requires a low supply current and yet maintains a large gain bandwidth product and a fast slew rate. In addition, well matched high voltage JFET input devices provide very low input bias and offset currents. The LF351 is pin compatible with the standard LM741 and uses the same offset voltage adjustment circuitry. This feature allows designers to immediately upgrade the overall performance of existing LM741 designs.

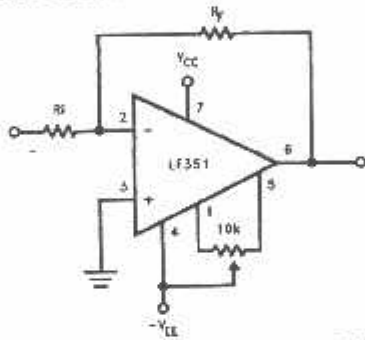
The LF351 may be used in applications such as high speed integrators, fast D/A converters, sample-and-hold circuits and many other circuits requiring low input offset voltage, low input bias current, high input impedance, high slew rate and wide bandwidth. The device has low noise and offset voltage drift, but for applications where these requirements are critical, the LF356 is recommended. If maximum supply

current is important, however, the LF351 is the better choice.

### Features

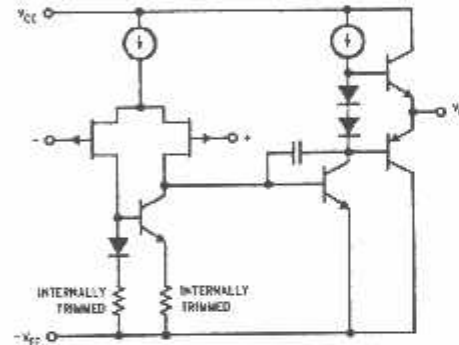
- Internally trimmed offset voltage 10 mV
- Low input bias current 50 pA
- Low input noise voltage 25 nV/√Hz
- Low input noise current 0.01 pA/√Hz
- Wide gain bandwidth 4 MHz
- High slew rate 19 V/μs
- Low supply current 1.8 mA
- High input impedance 10<sup>12</sup>Ω
- Low total harmonic distortion A<sub>V</sub> = 10, <0.02%
- R<sub>L</sub> = 10k, V<sub>O</sub> = 20 Vp-p, BW = 20 Hz-20 kHz
- Low 1/f noise corner 50 Hz
- Fast settling time to 0.01% 2 μs

### Typical Connection



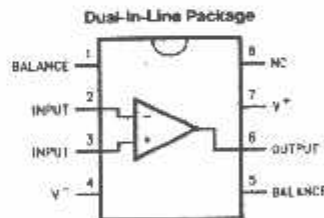
TL/H/5648-11

### Simplified Schematic



TL/H/5648-12

### Connection Diagrams



TL/H/5648-13

Order Number LF351M or LF351N  
See NS Package Number M08A or N08E

### Absolute Maximum Ratings

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

Supply Voltage	+18V
Power Dissipation (Notes 1 and 8)	670 mW
Operating Temperature Range	0°C to +70°C
T <sub>J</sub> (MAX)	115°C
Differential Input Voltage	±30V
Input Voltage Range (Note 2)	±15V
Output Short Circuit Duration	Continuous
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Lead Temp. (Soldering, 10 sec.)	
Metal Can	300°C
DIP	260°C

$\theta_{JA}$

N Package	120°C/W
M Package	TRD

### Soldering Information

Dual In-Line Package	
Soldering (10 sec.)	260°C
Small Outline Package	
Vapor Phase (60 sec.)	215°C
Infrared (15 sec.)	220°C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

ESD rating to be determined.

### DC Electrical Characteristics (Note 3)

Symbol	Parameter	Conditions	LF351			Units
			Min	Typ	Max	
V <sub>OS</sub>	Input Offset Voltage	R <sub>S</sub> = 10 k $\Omega$ , T <sub>A</sub> = 25°C		5	10	mV
		Over Temperature			13	mV
$\Delta V_{OS}/\Delta T$	Average TC of Input Offset Voltage	R <sub>S</sub> = 10 k $\Omega$		10		$\mu V/^{\circ}C$
I <sub>OS</sub>	Input Offset Current	T <sub>J</sub> = 25°C, (Notes 3, 4)		25	100	pA
		T <sub>J</sub> $\leq$ 70°C			4	nA
I <sub>B</sub>	Input Bias Current	T <sub>J</sub> = 25°C, (Notes 3, 4)		50	200	pA
		T <sub>J</sub> $\leq$ 70°C			8	nA
R <sub>IN</sub>	Input Resistance	T <sub>J</sub> = 25°C		10 <sup>12</sup>		$\Omega$
A <sub>VOL</sub>	Large Signal Voltage Gain	V <sub>S</sub> = $\pm$ 15V, T <sub>A</sub> = 25°C	25	100		V/mV
		V <sub>O</sub> = $\pm$ 10V, R <sub>L</sub> = 2 k $\Omega$ Over Temperature	15			V/mV
V <sub>O</sub>	Output Voltage Swing	V <sub>S</sub> = $\pm$ 15V, R <sub>L</sub> = 10 k $\Omega$	$\pm$ 12	$\pm$ 13.5		V
V <sub>CM</sub>	Input Common-Mode Voltage Range	V <sub>S</sub> = $\pm$ 15V	$\pm$ 11	$\pm$ 15		V
				12		V
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio	R <sub>S</sub> $\leq$ 10 k $\Omega$	70	100		dB
PSRR	Supply Voltage Rejection Ratio	(Note 5)	70	100		dB
I <sub>S</sub>	Supply Current			1.8	3.4	mA

### AC Electrical Characteristics (Note 3)

Symbol	Parameter	Conditions	LF351			Units
			Min	Typ	Max	
SR	Slew Rate	$V_S = \pm 15V, T_A = 25^\circ C$		13		V/ $\mu s$
GBW	Gain Bandwidth Product	$V_S = \pm 15V, T_A = 25^\circ C$		4		MHz
$e_n$	Equivalent Input Noise Voltage	$T_A = 25^\circ C, R_S = 100\Omega, f = 1000 Hz$		25		nV/ $\sqrt{Hz}$
$i_n$	Equivalent Input Noise Current	$T_J = 25^\circ C, f = 1000 Hz$		0.01		pA/ $\sqrt{Hz}$

Note 1: For operating at elevated temperature, the device must be derated based on the thermal resistance,  $\theta_{JA}$ .

Note 2: Unless otherwise specified the absolute maximum negative input voltage is equal to the negative power supply voltage.

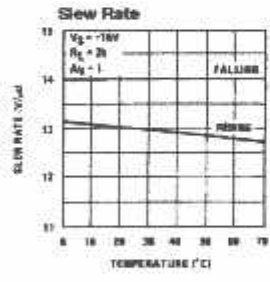
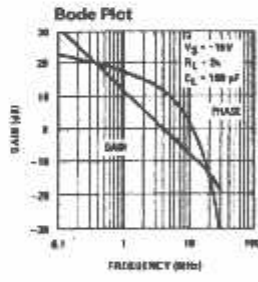
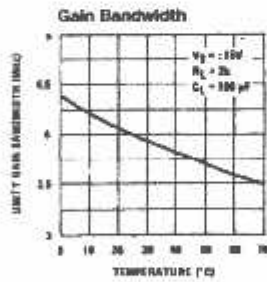
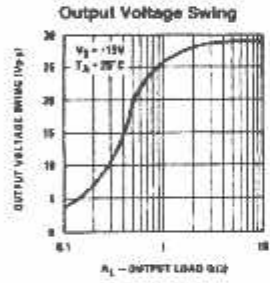
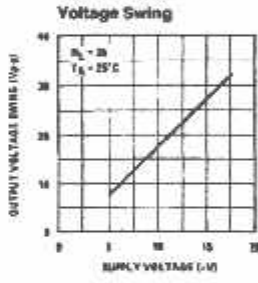
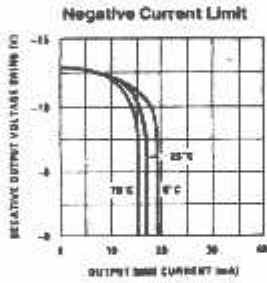
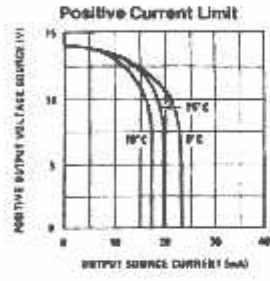
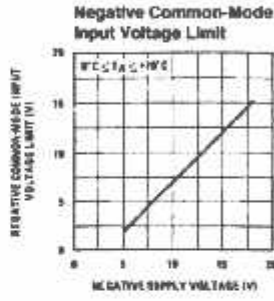
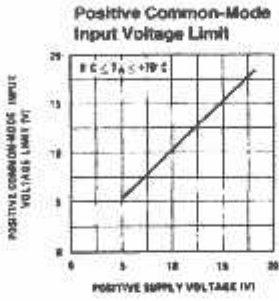
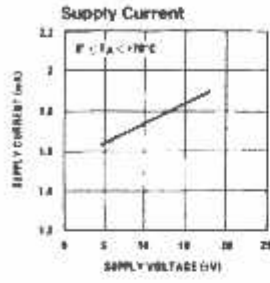
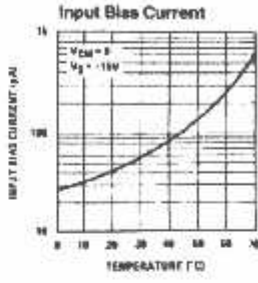
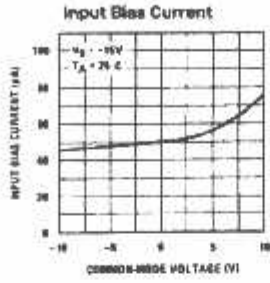
Note 3: These specifications apply for  $V_S = \pm 15V$  and  $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$ .  $V_{OS}$ ,  $I_B$  and  $I_{CB}$  are measured at  $V_{CU} = 0$ .

Note 4: The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every  $10^\circ C$  increase in the junction temperature,  $T_J$ . Due to the limited production test time, the input bias currents measured are correlated to junction temperature. In normal operation the junction temperature rises above the ambient temperature as a result of internal power dissipation,  $P_D$ .  $T_J = T_A + \theta_{JA} P_D$  where  $\theta_{JA}$  is the thermal resistance from junction to ambient. Use of a heat sink is recommended if input bias current is to be kept to a minimum.

Note 5: Supply voltage rejection ratio is measured for both supply magnitudes increasing or decreasing simultaneously in accordance with common practice. From  $\pm 15V$  to  $\pm 5V$ .

Note 6: Max. Power Dissipation is defined by the package characteristics. Operating the part near the Max. Power Dissipation may cause the part to operate outside guaranteed limits.

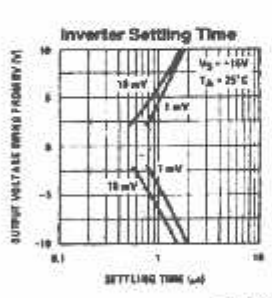
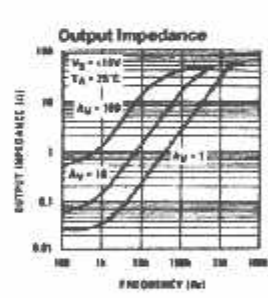
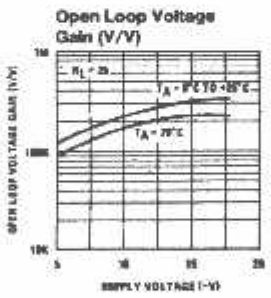
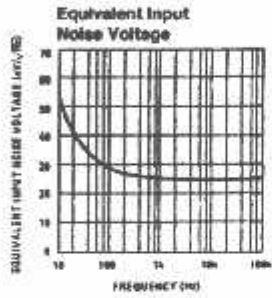
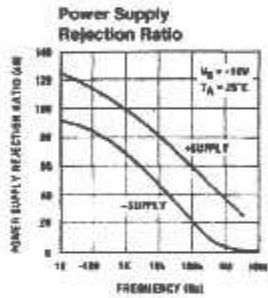
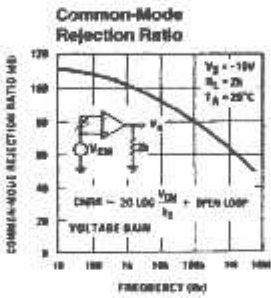
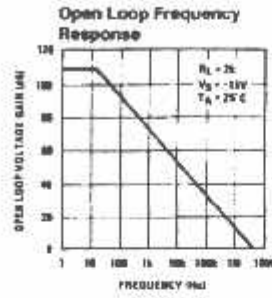
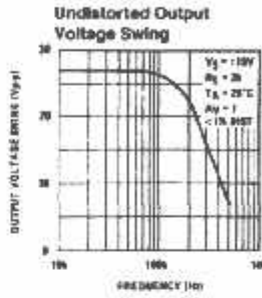
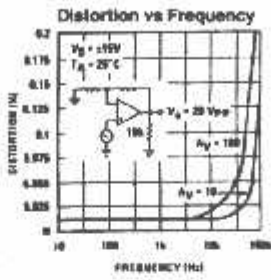
# Typical Performance Characteristics



TLH/5848-2

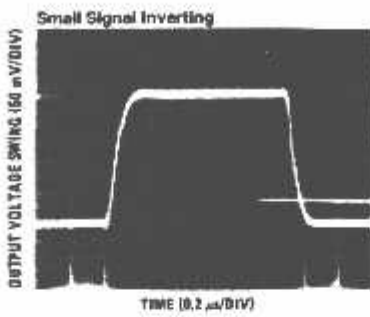


Typical Performance Characteristics (Continued)

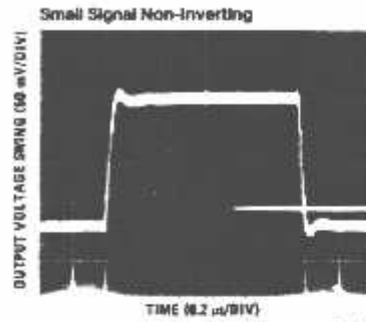


TL79V5648-3

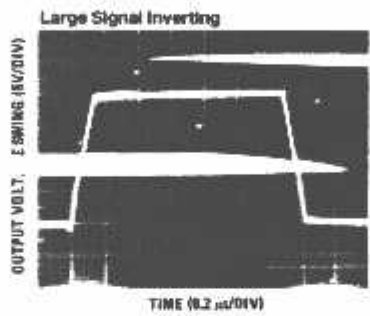
## Pulse Response



TL/H/5648-4



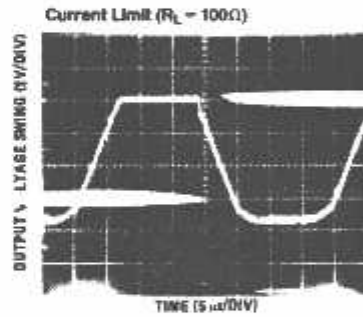
TL/H/5648-5



TL/H/5648-6



TL/H/5648-7



TL/H/5648-8

## Application Hints

The LF351 is an op amp with an internally trimmed input offset voltage and JFET input devices (BI-FET II™). These JFETs have large reverse breakdown voltages from gate to source and drain eliminating the need for clamps across the inputs. Therefore, large differential input voltages can easily be accommodated without a large increase in input current. The maximum differential input voltage is independent of the supply voltages. However, neither of the input voltages should be allowed to exceed the negative supply as this will

cause large currents to flow which can result in a destroyed unit.

Exceeding the negative common-mode limit on either input will force the output to a high state, potentially causing a reversal of phase to the output.

Exceeding the negative common-mode limit on both inputs will force the amplifier output to a high state. In neither case does a latch occur since raising the input back within the

### Application Hints (Continued)

common-mode range again puts the input stage and thus the amplifier in a normal operating mode.

Exceeding the positive common-mode limit on a single input will not change the phase of the output; however, if both inputs exceed the limit, the output of the amplifier will be forced to a high state.

The amplifier will operate with a common-mode input voltage equal to the positive supply; however, the gain bandwidth and slew rate may be decreased in this condition. When the negative common-mode voltage swings to within 3V of the negative supply, an increase in input offset voltage may occur.

The LF351 is biased by a zener reference which allows normal circuit operation on +4V power supplies. Supply voltages less than these may result in lower gain bandwidth and slew rate.

The LF351 will drive a 2 k $\Omega$  load resistance to  $\pm 10V$  over the full temperature range of 0°C to +70°C. If the amplifier is forced to drive heavier load currents, however, an increase in input offset voltage may occur on the negative voltage swing and finally reach an active current limit on both positive and negative swings.

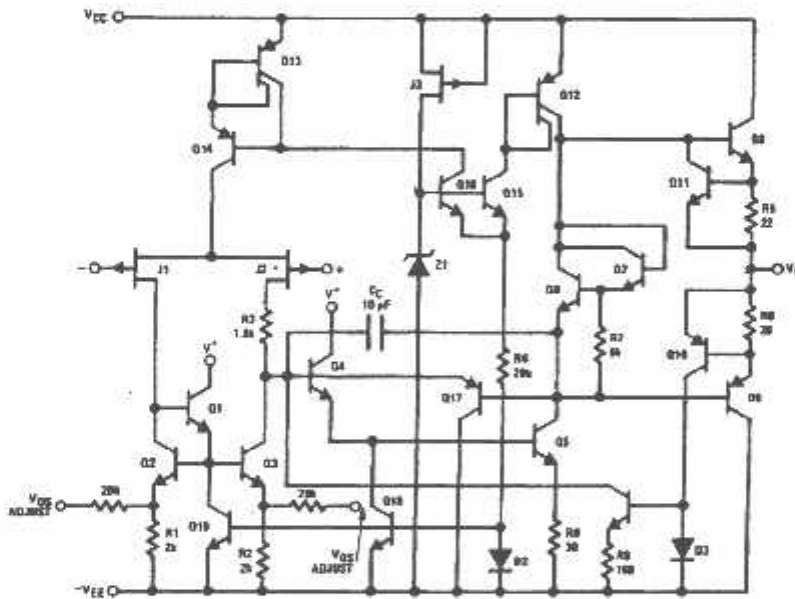
Precautions should be taken to ensure that the power supply for the integrated circuit never becomes reversed in polarity or that the unit is not inadvertently installed back-

wards in a socket as an unlimited current surge through the resulting forward diode within the IC could cause fusing of the internal conductors and result in a destroyed unit.

As with most amplifiers, care should be taken with lead dress, component placement and supply decoupling in order to ensure stability. For example, resistors from the output to an input should be placed with the body close to the input to minimize "pick-up" and maximize the frequency of the feedback pole by minimizing the capacitance from the input to ground.

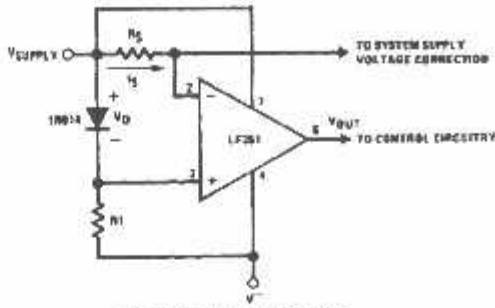
A feedback pole is created when the feedback around any amplifier is resistive. The parallel resistance and capacitance from the input of the device (usually the inverting input) to AC ground set the frequency of the pole. In many instances the frequency of this pole is much greater than the expected 3 dB frequency of the closed loop gain and consequently there is negligible effect on stability margin. However, if the feedback pole is less than approximately 5 times the expected 3 dB frequency a lead capacitor should be placed from the output to the input of the op amp. The value of the added capacitor should be such that the RC time constant of this capacitor and the resistance it parallels is greater than or equal to the original feedback pole time constant.

### Detailed Schematic



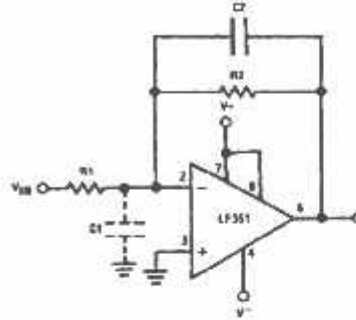
## Typical Applications

Supply Current Indicator/Limiter



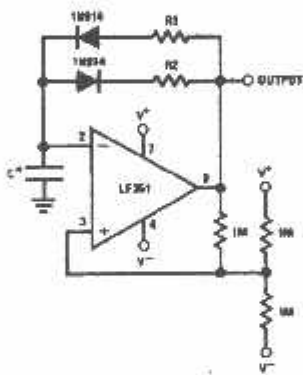
\*  $V_{OUT}$  switches high when  $R_2R_s > V_b$

Hi- $Z_{IN}$  Inverting Amplifier



Parasitic input capacitance  $C_1$  (3 pF for LF351 plus any additional layout capacitance) interacts with feedback elements and creates undesirable high frequency pole. To compensate, add  $C_2$  such that  $R_2C_2 = R_1C_1$ .

Ultra-Low (or High) Duty Cycle Pulse Generator



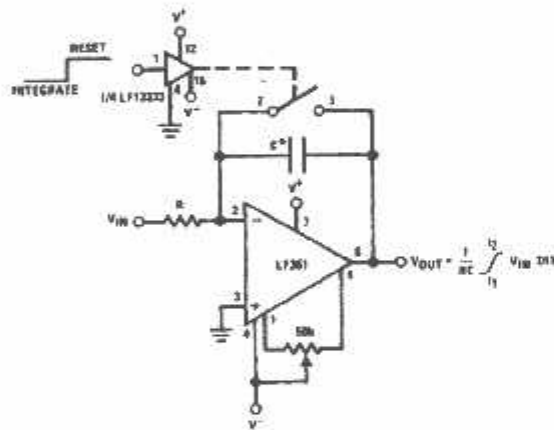
$$* \text{OUTPUT HIGH} = R_1C < \frac{4.8 - 2V_S}{4.8 - V_S}$$

$$* \text{OUTPUT LOW} = R_2C < \frac{2V_S - 7.8}{V_S - 7.8}$$

where  $V_S = V^+ + |V^-|$

\*low leakage capacitor

Long Time Integrator

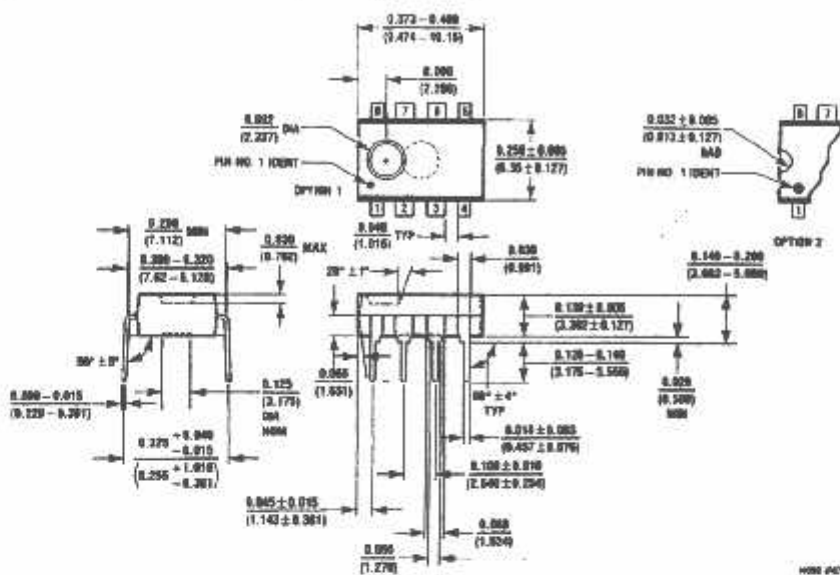


\*Low leakage capacitor  
= 50k pot used for less sensitive  $V_{CC}$  input

TL/H/5848-10



**Physical Dimensions** inches (millimeters) (Continued)



**Molded Dual-In-Line Package (N)**  
**Order Number LF351N**  
**MS Package Number N08E**

**LIFE SUPPORT POLICY**

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform, when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

<p><b>National Semiconductor Corporation</b>          1111 West Barber Road          Arlington, TX 79017          Tel: (800) 722-9968          Fax: (800) 737-7018</p>	<p><b>National Semiconductor Europe</b>          Fax: (+49) 0-180-520 85 84          Email: onpage@sem2.nsc.com          Deutsch Tel: (+49) 0-180-532 85 55          English Tel: (+49) 0-180-532 78 32          Francais Tel: (+49) 0-180-532 83 58          Italian Tel: (+49) 0-180-534 18 30</p>	<p><b>National Semiconductor Hong Kong Ltd.</b>          13th Floor, Stratford Block,          Ocean Centre, 5 Canton Rd,          Tsimshatsui, Kowloon          Hong Kong          Tel: (852) 2727-1620          Fax: (852) 2736-8860</p>	<p><b>National Semiconductor Japan Ltd.</b>          Tel: 81-043-228-2300          Fax: 81-043-299-2408</p>
--	--	--	---

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are granted and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

**Petra Fuzzy Development System for MCS51 Family Versi 1.0**

PetraFuz51 adalah software yang digunakan untuk development Fuzzy Inference System.

Beberapa fasilitas yang tersedia dalam software PetraFuz51 adalah

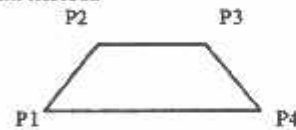
1. Desain Fuzzy Inference System yang meliputi :
  - Desain Crisp Input dan Crisp Output.
    - Jumlah maximum Crisp Input adalah 5 input dan jumlah maximum Crisp Output adalah 3 output.
    - Fasilitas ini terdapat pada menu **Edit | Crisp Input dan Edit | Crisp Output**.
  - Desain Input dan Output Membership Function.
    - Jumlah maximum Label atau Variabel Fuzzy adalah 8 label.
    - Fasilitas ini terdapat pada menu **Edit | Input Membership Functions dan Edit | Output Membership Functions**.
  - Desain Rule.
    - Jumlah maximum Rule adalah 1000 rule.
    - Fasilitas ini terdapat pada menu **Edit | Rules**.
2. Fuzzy Logic Evaluator
  - Fasilitas ini dapat digunakan untuk evaluate Fuzzy Input, Fuzzy Output dan Crisp Output dengan mengubah nilai Crisp Input secara manual sesuai dengan yang diinginkan.
  - Metode Defuzzifikasi yang digunakan adalah Centre of Gravity atau Centre of Area.
  - Fasilitas ini terdapat pada menu **Evaluate | Fuzzy Logic Evaluator**
3. Control Surface
  - Fasilitas ini dapat digunakan untuk menggambar grafik Crisp Output terhadap Crisp Input. Bila Crisp Output atau Crisp Input lebih dari satu maka nilai yang lain di anggap konstan.
  - Fasilitas ini terdapat pada menu **Evaluate | Control Surface**
4. Generate MCS51 Code
  - Fasilitas ini disediakan untuk generate struktur database dari Fuzzy Inference System yang telah didesain. Code yang dihasilkan dalam bentuk assembly language untuk MCS51 dengan extension file ASM.
  - File ASM hasil generate mempunyai format khusus, hanya bisa digunakan untuk PetraFuz Routine Engine yang terdapat dalam internal ROM dalam minimum sistem 89C51 yang diproduksi oleh Innovative Electronics. (lihat penjelasan tentang penggunaan PetraFuz Routine Engine).
  - Untuk penggunaan File ASM hasil generate ini dapat dilakukan dengan perintah INCLUDE pada user program (lihat contoh program).
  - Fasilitas ini terdapat pada menu **Tools | Generate Code | MCS51**.

**Install program PetraFuz51**

1. Buat directory PETRAFUZ di harddisk.
2. Masuk ke directory PETRAFUZ.
3. Copy file PetraFuz.zip ke directory PETRAFUZ.
4. Extract file PetraFuz.zip ke directory PETRAFUZ dengan menggunakan WinZip 6.3
5. Buat shortcut untuk menjalankan PETRAFUZ.EXE

**Langkah-langkah untuk desain Fuzzy Inference System dengan menggunakan PetraFuz51**

1. Desain Crisp Input
  - Click pada menu **Edit | Crisp Input**.
  - Click tombol **Add** untuk menambah Crisp Input baru.
  - Click tombol **Edit** untuk mengedit crisp input
  - kemudian tuliskan nama, satuan, nilai minimum, nilai maximum dan jumlah membership function dari crisp input.
2. Desain Input Membership Function.
  - Click pada menu **Edit | Input Membership Function**.
  - Click pada **Input Name** untuk memilih crisp input yang diinginkan.
  - Click pada **Membership Function Index** untuk memilih label yang ingin didesain fuzzy set-nya.
  - Isikan nama label, nilai Point1, nilai Point2, nilai Point3 dan nilai Point4.
  - Untuk menentukan nilai Point dapat juga dilakukan dengan cara menggeser Point tersebut dengan menggunakan mouse. Cara menggeser : gerakan mouse menuju Point yang diinginkan (sampai muncul label pointer), kemudian drag point tersebut.



- Bentuk Fuzzy Set yang bisa digunakan hanya Trapezium, Segitiga dan Singleton.
3. Desain Crisp Output.
    - Click menu **Edit | Crisp Output**.
    - Langkah desain sama dengan desain Crisp Input.
  4. Desain Output Membership Function.
    - Click pada menu **Edit | Output Membership Function**.
    - Langkah desain sama dengan desain Input Membership Function.
    - Bentuk Fuzzy Set hanya boleh singleton.
  5. Desain Rule.
    - Click pada menu **Edit | Rules**.
    - Click tombol **Add** untuk menambah Rule baru.
  6. Generate database code dalam MCS51 assembly language.
    - Click pada menu **Tools | Generate Code | MCS51**.
  7. Membuat user program.
    - Pada user program, include-kan database yang dihasilkan dari langkah 6
  8. Down Load user program ke minimum sistem.
    - Click pada **Windows Start Button**
    - Click pada **Windows Run Button**
    - Ketikkan **C:\DT51R3\DT51L.EXE C:\DATA\APP1.HEX - C1\***

(\* Dengan asumsi DT51 MinSys terhubung pada COM1, DT51L.EXE berada pada directory C:\DT51R3, dan user program pada directory C:\DATA)

**Penggunaan PetraFuz Routine Engine**

PetraFuz Routine Engine merupakan suatu procedure yang melakukan proses Fuzzy Inference yaitu meliputi proses Fuzzifikasi, Evaluate Rule

dan Defuzzifikasi. Metode Defuzzifikasi yang digunakan adalah Centre of Gravity atau Centre of Area.

PetraFuz routine terletak di internal ROM pada address 0900h. Untuk menjalankan routine ini dapat digunakan perintah LCALL 0900h

Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam penggunaan PetraFuz engine :

1. Internal RAM pada address 08h-62h dipakai oleh PetraFuz routine engine pada saat routine ini dipanggil. Karena itu stack pointer atau user variabel harus dimulai dari address 63h.
2. PetraFuz engine mengambil Crisp Input dari internal RAM pada address 08h-0Ch (tersedia 5 input). Sedangkan Crisp Output yang dihasilkan oleh PetraFuz engine terletak di internal RAM pada address 0Dh-0Fh (tersedia 3 output).
3. Sebelum PetraFuz routine engine dipanggil, Crisp Input harus diisi terlebih dahulu pada address 08h-0Ch (seperti pada point 2) secara berurutan dimana Crisp Input pertama di address 08h, Crisp Input kedua di address 09h demikian seterusnya. Sedangkan Crisp Output pertama berada di address 0Dh, Crisp Output kedua di address 0Eh dan Crisp Output ketiga di address 0Fh.

NB : Jika anda menggunakan DTS1 ADDA, anda dapat memanfaatkan routine-routine sbb

1. InitADC : Routine untuk meng-initialisasi ADC pada DTS1 ADDA

Input : None  
Output : None  
Address: 08C0H

2. ReadADC : Routine untuk mengambil data dari ADC

Input : DPTR = Channel Address  
(6000h-6007h=Ch0-Ch3)  
Output : ACC = Data ADC  
Address: 08C7H

Contoh format source code :

```
;Fuzzy Address :
Fuzzify      EQU 0900h ; Address
                ; PetraFuz
                ; Engine Routine
CURRENT_INS  EQU 08h   ; Address Crisp
                ; Input Pertama
COG_OUTS     EQU 0Dh   ; Address Crisp
                ; Output Pertama

InitADC      EQU 08C0H
ReadADC      EQU 08C7H

;User equation atau konstanta:
DEMAX       EQU 060h
K3P         EQU 01h
K3N         EQU 01h

;User variabel :
                .DATA
                ORG 63h
SPOINT      DS 1
OUT         DS 1
PV          DS 1
```

```
ORG 2000H
LJMP START

INCLUDE SUHU.ASM
;Include Database Membership Function dan
;Rule yang dihasilkan oleh PetraFuz51

START        MOV SP,#66h
                ;Stack Pointer dimulai dari 066h karena
                ;63h - 65h dipakai untuk user variabel

                LCALL InitADC
                LCALL ReadADC
                MOV CURRENT_INS,A
                ;mengisi nilai Crisp Input pertama

                LCALL ReadADC
                MOV CURRENT_INS+1,A
                ;mengisi nilai Crisp Input kedua

                LCALL FUZZIFY
                ;memanggil PetraFuz Routine Engine

                MOV A,COG_OUTS
                ;mengambil Crisp Output pertama
                MOV B,COG_OUTS+1
                ;mengambil Crisp Output kedua
                ...

END
```

Contact Person :

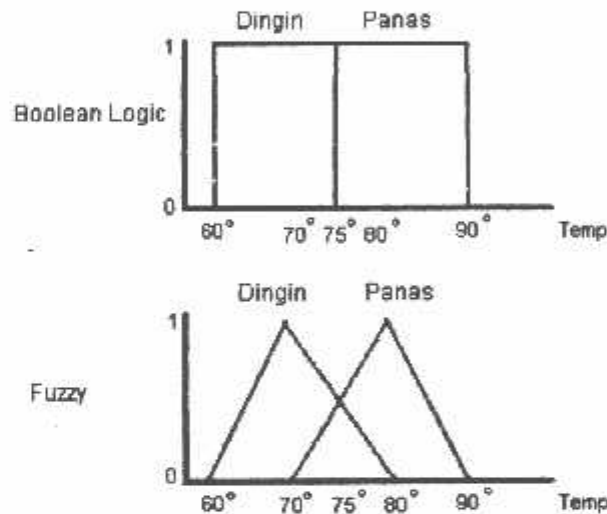
Thiang, S.T.  
Laboratorium Sistem Kendali  
Jurusan Teknik Elektro  
Universitas Kristen Petra  
Jl Siwalankerto 121 - 131  
Surabaya - 60236  
Telp : 031-8439040 ext. 1361, 1354  
Email : petrafuz@petra.ac.id, thiang@petra.ac.id



Banyak sekali sistem kontrol pada saat ini yang menginginkan output yang mempunyai ketelitian yang tinggi, sehingga sistem kontrol tersebut membutuhkan suatu sistem yang cukup kompleks. Dengan adanya fuzzy maka tidak diperlukan lagi suatu sistem kontrol yang sangat kompleks.

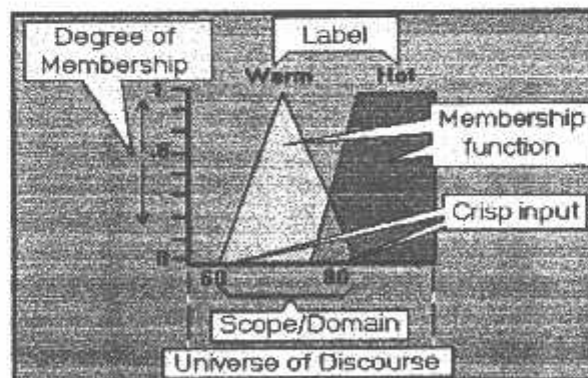
## SISTEM FUZZY

Sistem Fuzzy ditemukan pertama kali oleh Prof. Lotfi Zadeh pada pertengahan tahun 1960 di Universitas California. Sistem ini diciptakan karena *boolean logic* tidak mempunyai ketelitian yang tinggi, hanya mempunyai logika 0 dan 1 saja. Sehingga untuk membuat sistem yang mempunyai ketelitian yang tinggi maka kita tidak dapat menggunakan *boolean logic*. Bedanya fuzzy dengan *boolean logic* dapat diilustrasikan pada gambar 1.



Gambar 1. Perbedaan Fuzzy Logic dan Boolean Logic

Dari contoh gambar 1, pada saat suhu berada pada 75° maka sistem yang pertama akan bingung karena batas kondisi dingin < 75 dan kondisi panas > 75°, pada fuzzy logic, suhu 75° dapat dinyatakan dengan 0.50 dingin dan 0.50 panas. Pengambilan nilai 0.50 berasal dari proses fuzzifikasi yang akan diterangkan pada proses fuzzification.



Gambar 2. Istilah yang digunakan dalam fuzzy

Pada gambar 2 dapat dilihat istilah yang digunakan dalam fuzzy dan keterangannya adalah sebagai berikut:

- 1. Degree of membership**  
Fungsi dari degree of membership ini adalah untuk memberikan bobot pada suatu input yang telah kita berikan, sehingga input tadi dapat dinyatakan dengan nilai. Misalnya suhu adalah dingin, dengan adanya degree of membership maka suhu dingin tersebut dapat mempunyai suatu nilai misal 0,5. Batas dari degree of membership adalah dari 0 – 1.
- 2. Scope / Domain**  
Merupakan suatu batas dari kumpulan input tertentu. Misalnya suhu dingin adalah dari 10 – 50 derajat, sangat cepat adalah dari 200 – 500 rpm.
- 3. Label**  
Adalah kata – kata untuk memberikan suatu keterangan pada Scope / Domain. Contohnya : panas, dingin, cepat, sangat cepat, dll.
- 4. Membership Function**  
Suatu bentuk bangun yang merepresentasikan suatu batas dari scope / domain.
- 5. Crisp input**  
Nilai input analog yang kita berikan untuk mencari degree of membership.
- 6. Universe of discourse**  
Batas input yang telah kita berikan dalam merancang suatu fuzzy system. Batas ini berbeda dengan batas scope / domain. Universe of discourse adalah batas semua input yang akan diberikan sedangkan scope / domain adalah suatu batas yang menentukan bahwa input tersebut dinyatakan panas, dingin, cepat, dll.

Pada fuzzy system terdapat tiga proses yaitu :

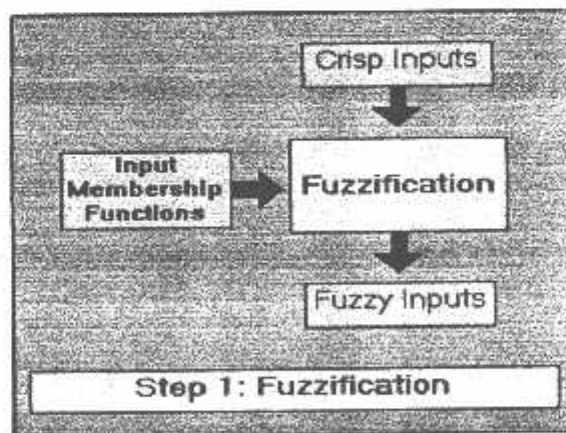
1. Fuzzification.
2. Rule evaluation.
3. Defuzzification.

## FUZZIFICATION

Proses ini berfungsi untuk merubah suatu besaran analog menjadi fuzzy input.

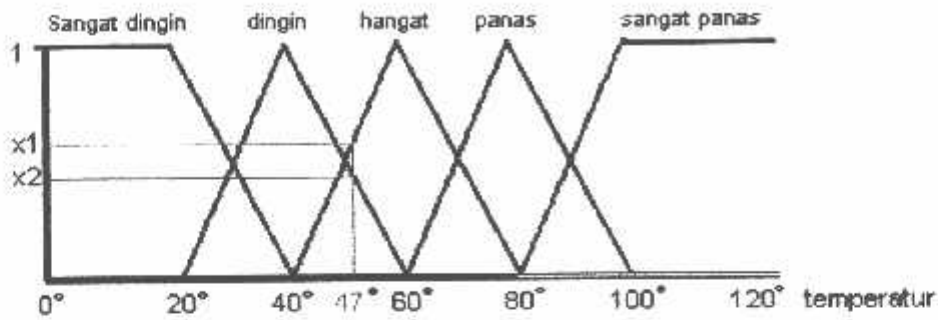
Secara diagram blok dapat anda lihat pada gambar 3. Prosesnya adalah sebagai berikut: suatu besaran analog dimasukkan sebagai input (crisp input), lalu input tersebut dimasukkan pada batas scope / domain sehingga input tersebut dapat dinyatakan dengan label (dingin, panas, cepat, dll) dari membership function. Membership function ini biasanya dinamakan membership function input. Dari membership function kita bisa mengetahui berapa degree of membership function-nya.

Bentuk membership function yang digunakan dalam DT-51 PetraFuz adalah bentuk trapesium dan segitiga seperti yang ditunjukkan di gambar 4.



Gambar 3. Proses Fuzzification

Contoh dari proses Fuzzification adalah seperti yang ditunjukkan di gambar 4. Sebuah sistem fuzzy untuk mengukur suhu mempunyai 5 buah membership function yang mempunyai label sangat dingin, dingin, hangat, panas, sangat panas. Kemudian input yang diperoleh dari crisp input adalah  $47^{\circ}$  maka pengambilan fuzzy inputnya adalah seperti pada gambar 4.

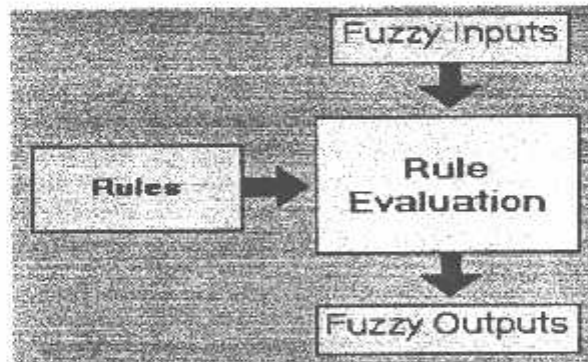


Gambar 4. Proses perubahan dari crisp input menjadi fuzzy input

Sehingga didapat 2 fuzzy input yang masing-masing adalah: dingin ( $x_2$ ) dan hangat ( $x_1$ ). Nilai  $x_1$  dan  $x_2$  dapat dicari dengan rumus persamaan garis. Yang menentukan sistem anda sensitif atau tidak adalah membership function ini. Jika membership function-nya banyak maka sistem anda menjadi sensitif. Yang dimaksud dengan sensitif dalam hal ini adalah jika input-nya berubah sedikit saja maka sistem akan cepat merespon dan menghasilkan suatu output lain. Output dari proses fuzzification ini adalah sebuah nilai input fuzzy atau yang biasanya dinamakan fuzzy input.

## RULE EVALUATION

Proses ini berfungsi untuk mencari suatu nilai fuzzy output dari fuzzy input. Prosesnya adalah sebagai berikut: suatu nilai fuzzy input yang berasal dari proses fuzzification kemudian dimasukkan kedalam sebuah rule yang telah dibuat untuk dijadikan sebuah fuzzy output. Gambar diagram bloknya dapat anda lihat pada gambar 5.



Gambar 5. Diagram blok proses Rule Evaluation

Ini merupakan bagian utama dari fuzzy, karena disinilah sistem anda akan menjadi pintar atau tidak. Jika anda tidak pintar dalam mengatur rule maka sistem yang akan dikontrol menjadi kacau. Format dari rule adalah sebagai berikut:

*If antecedent1 operator antecedent2 then consequent1 operator consequent2*

Contoh:

*If suhu is panas and kelembaban is kering then penyemprot is sangat lama*

Adanya dua *antecedent* belum tentu berarti ada dua sensor. Contohnya jika anda melakukan pengontrolan motor DC maka feedback dari motor juga dapat digunakan sebagai masukan Error sebagai input pertama dan turunan errornya atau yang biasanya disebut *dError* sebagai input kedua.

Ada beberapa operator yang digunakan dalam fuzzy: AND, OR, NOT. Jika operator yang digunakan adalah AND maka input terkecil yang diambil. Misalnya:

*If suhu is panas (0.15) and kelembaban is kering (0.19) then penyemprot is sangat lama.*

Nilai fuzzy output dari pernyataan tersebut adalah 0.15. Nilai 0.15 dan 0.19 dari contoh diatas diambil dari dua membership function input dengan cara menarik garis lurus vertikal dari nilai yang diinginkan. Seperti yang dijelaskan pada gambar 4.

Jika operator yang digunakan adalah OR maka fuzzy output-nya diambil dari nilai yang terbesar. Jika operator yang digunakan adalah operator NOT maka fuzzy output-nya adalah kebalikannya, misalnya NOT 0.9 maka akan menghasilkan 0.1 dan NOT 0.8 akan menghasilkan 0.2. Dalam melakukan perancangan dengan menggunakan DT-51 PetraFuz kita hanya menggunakan operator AND. Misalnya dari gambar 4 akan ditentukan nilai fuzzy output-nya dengan nilai fuzzy input = 10, rule – rule yang ada adalah sebagai berikut:

Rule:	Fuzzy output
1. if suhu is sangat dingin (1) then kipas is sangat lambat	1
2. if suhu is dingin (0) then kipas is lambat	0
3. if suhu is hangat (0) then kipas is sedang	0
4. if suhu is panas (0) then kipas is cepat	0
5. if suhu is sangat panas (0) then kipas is sangat cepat	0

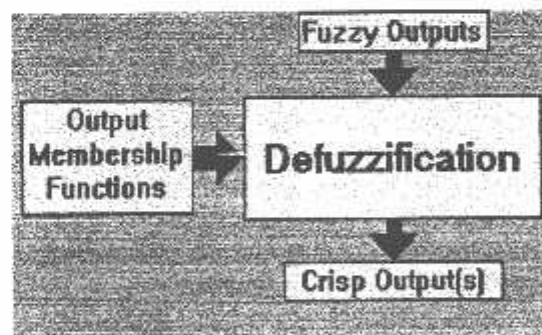
Maka fuzzy output adalah: 1, 0, 0, 0, 0.

Jumlah rule maksimum = jumlah membership input 1 x jumlah membership input 2 x jumlah membership input n.

## DEFUZZIFICATION

Proses ini berfungsi untuk menentukan suatu nilai crisp output.

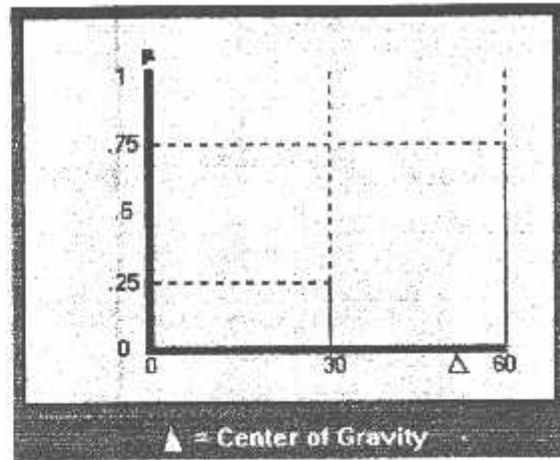
Prosesnya adalah sebagai berikut: suatu nilai fuzzy output yang berasal dari rule evaluation diambil kemudian dimasukkan ke dalam suatu membership function output. Bentuk bangun yang digunakan dalam membership function output adalah bentuk singleton yaitu garis lurus vertikal ke atas, seperti yang ditunjukkan pada gambar 7. Besar nilai fuzzy output dinyatakan sebagai degree of membership function output. Nilai-nilai tersebut dimasukkan ke dalam suatu rumus yang dinamakan COG (Center Of Gravity) untuk mendapatkan hasil akhir yang disebut crisp output. Crisp output adalah suatu nilai analog yang akan kita butuhkan untuk mengolah data pada sistem yang telah dirancang.



Gambar 6. Proses Defuzzification

Rumus yang digunakan dalam proses ini adalah :

$$\text{Crisp Output (Y)} = \frac{\sum_i (\text{fuzzy output}_i) \times (\text{Singleton position on x axis}_i)}{\sum_i (\text{fuzzy output}_i)}$$



Gambar 7. Bentuk fuzzy output

Dengan contoh seperti gambar 7, maka perhitungan nilai crisp output-nya adalah :

$$\frac{(0) \times (0) + (.25) \times (30) + (.75) \times (60)}{0 + .25 + .75} = 52.5$$

## DT-51 PETRAFUZ

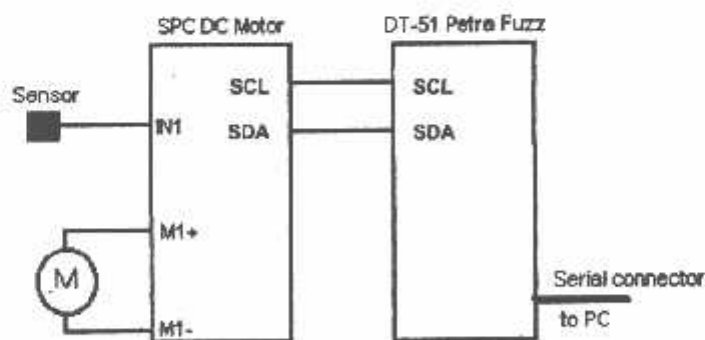
DT-51 PetraFuz merupakan suatu hardware yang didalamnya berisi kernel fuzzy dengan bahasa Assembly MCS-51. Sehingga kita dapat dengan mudah melakukan perancangan suatu sistem fuzzy berbasis 8051. Jumlah maksimal crisp input adalah 5 dan jumlah maksimal crisp output adalah 3. Jumlah maksimal membership function input dan output adalah 8. Untuk membership function input digunakan 4 point karena bentuknya adalah segitiga dan trapesium. Dan 1 point per output-nya. Sedangkan jumlah rule maksimum adalah 1024.

Contoh aplikasi yang akan kita rancang adalah sebuah pengaturan kecepatan motor dengan menggunakan sistem fuzzy. Hardware yang kita butuhkan adalah:

1. DT-51 PetraFuz
2. de KITS SPC DC Motor + Motor DC + Speed Encoder
3. Trafo 350 mA 9 V AC (untuk power supply DT-51 PetraFuz)
4. Beberapa kabel untuk konektor.

## HARDWARE CONNECTION

Untuk koneksi tiap rangkaian dapat anda lihat pada gambar 8.



Gambar 8. Diagram blok koneksi hardware

likasi ini menggunakan sebuah modul de KITS SPC DC Motor sebagai driver motor serta untuk mengontrol kecepatan motor menggunakan PWM.

## 1 MEMASUKKAN DATA KE PETRAFUZ

sini kita menggunakan dua input yaitu Error (= kecepatan yang diminta - kecepatan sekarang) dan dError (= or sekarang - Error sebelumnya) dengan nilai universe of discourse adalah -510 s/d 510. Nilai ini didapatkan i percobaan yang telah kita lakukan. Dan nilai crisp output adalah dari -255 s/d 255.

langkah pertama dalam merancang Fuzzy system adalah sebagai berikut:

Merancang membership function input.

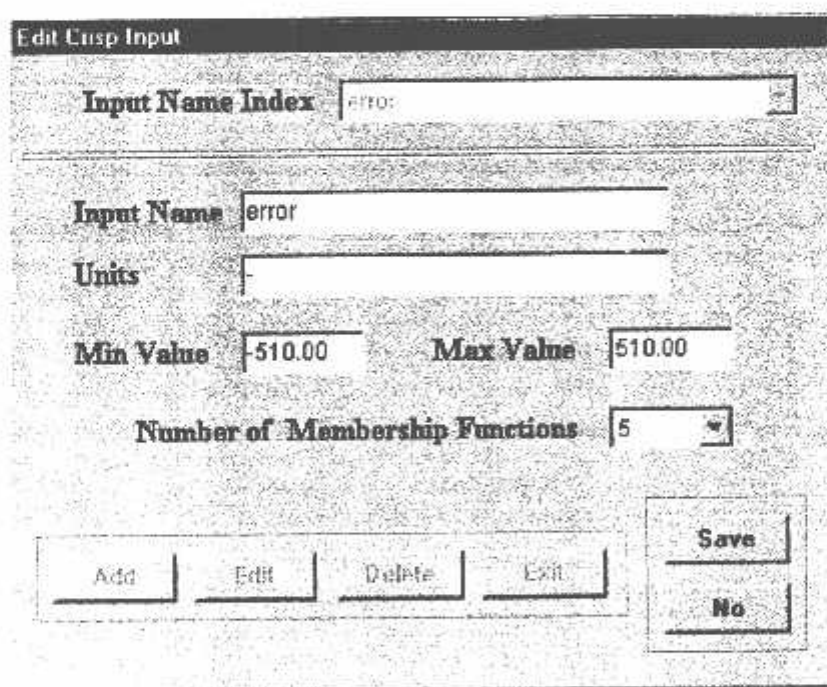
a. Pilih menu Edit → Crisp Input.

- Klik tombol **Add** untuk menambahkan input.
- Setelah selesai mengisi nilai – nilai pada form yang telah tersedia maka klik tombol **Save** untuk menyimpan data.
- Jika ingin menambah input lagi maka ulangi lagi prosesnya mulai dari penekanan tombol **Add**.

Keterangan:

- Input Name : Tempat anda memasukkan nama input ke-n (contoh: suhu, error)
- Units : Satuan dari sistem anda (derajat, rpm, volt, dll)
- Min Value : Batas bawah dari Universe of Discourse.
- Max Value : Batas atas dari Universe of Discourse.
- Number of membership function : Jumlah dari membership input.
- Add : Untuk menambah input.
- Edit : Untuk mengedit input yang telah ada.
- Delete : Untuk menghapus input.
- Exit : Keluar dari Form Edit Crisp Input.
- Save : Untuk menyimpan pengisian Crisp Input.
- No : Untuk membatalkan penyimpanan.

Pada contoh ini nilai – nilainya dapat anda lihat pada gambar 9 dan gambar 10.



Gambar 9. Pemasukan nilai – nilai untuk input yang pertama yaitu Error



**Edit Crisp Input**

**Input Name Index**

---

**Input Name**

**Units**

**Min Value**       **Max Value**

**Number of Membership Functions**

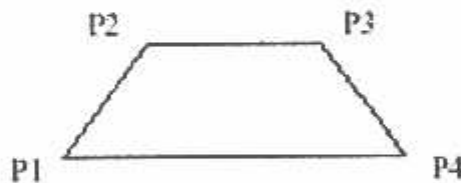
 
  
  

Gambar 10. Pemasukan nilai – nilai input kedua yaitu dError

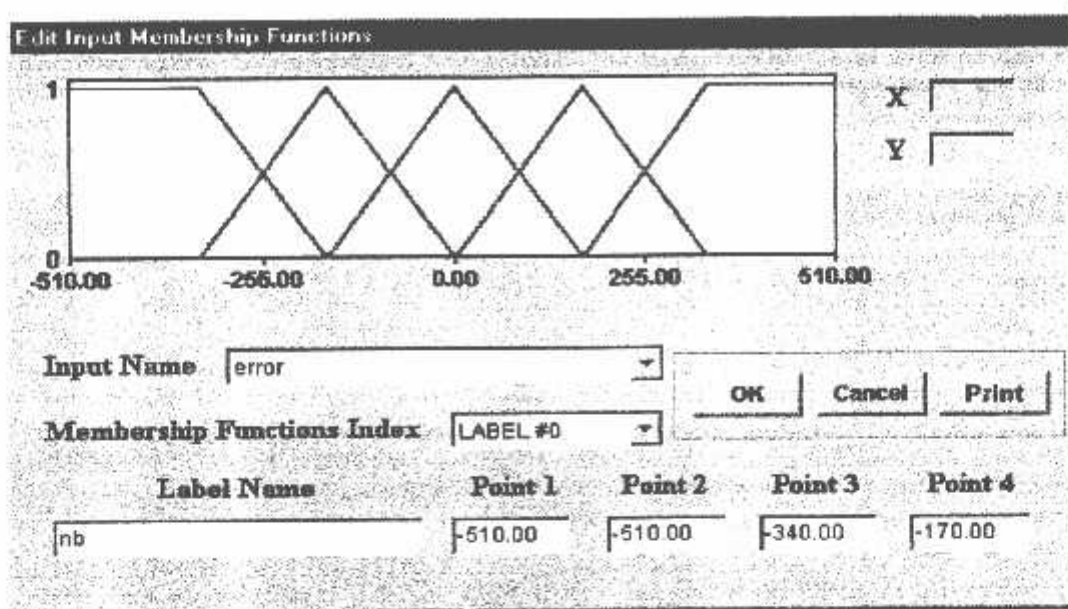
b. Pilih menu Edit → Input Membership Function.

- Pilih salah satu input pada Input Name
- Pilih Membership Function Index.
- Isi nama label pada Label Name kemudian isi nilai Point1, Point2, Point3, Point4 sesuai dengan yang anda inginkan yaitu bentuk segitiga atau trapesium. Cara pemasukan nilai dapat anda lihat pada gambar 11. Jika ingin membuat bentuk segitiga maka isi Point2 = Point3.
- Lalu ulangi langkah kedua di atas sampai pemasukan membership function input-nya selesai. Maksudnya selesai di sini adalah jumlah membership function input-nya sama dengan **Number of Membership Functions** pada form pemasukan crisp input di atas yaitu langkah a.
- Klik tombol OK jika sudah selesai.

Pada contoh aplikasi ini anda dapat melihat gambar 12.



Gambar 11. Cara pembuatan bangun dari membership function



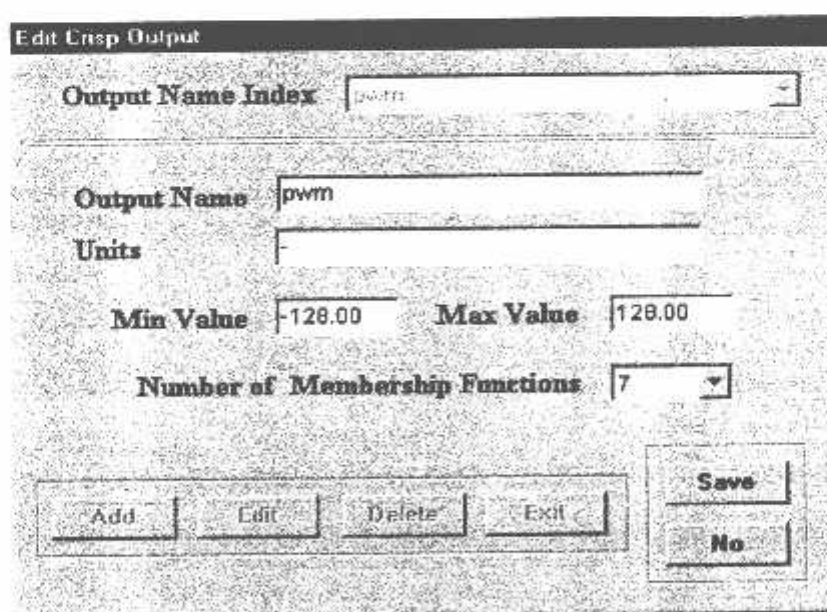
Gambar 12. Bentuk membership function untuk input Error dan input dError

Nilai-nilai yang digunakan untuk input Error dan dError dalam aplikasi pengaturan kecepatan motor adalah sebagai berikut:

Label Name	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4
NB	-510	-510	-340	-170
NS	-340	-170	-170	0
Z	-170	0	0	170
PS	0	170	170	340
PB	-170	340	510	510

Tabel 1. Nama label membership function input dan posisi-posisi point-nya

2. Merancang membership function output-nya.
  - a. Pilih menu Edit → Crisp Output  
Keterangannya sama dengan pada saat memberikan input pada langkah pemasukan nilai crisp input. Contoh dapat dilihat pada gambar 13.

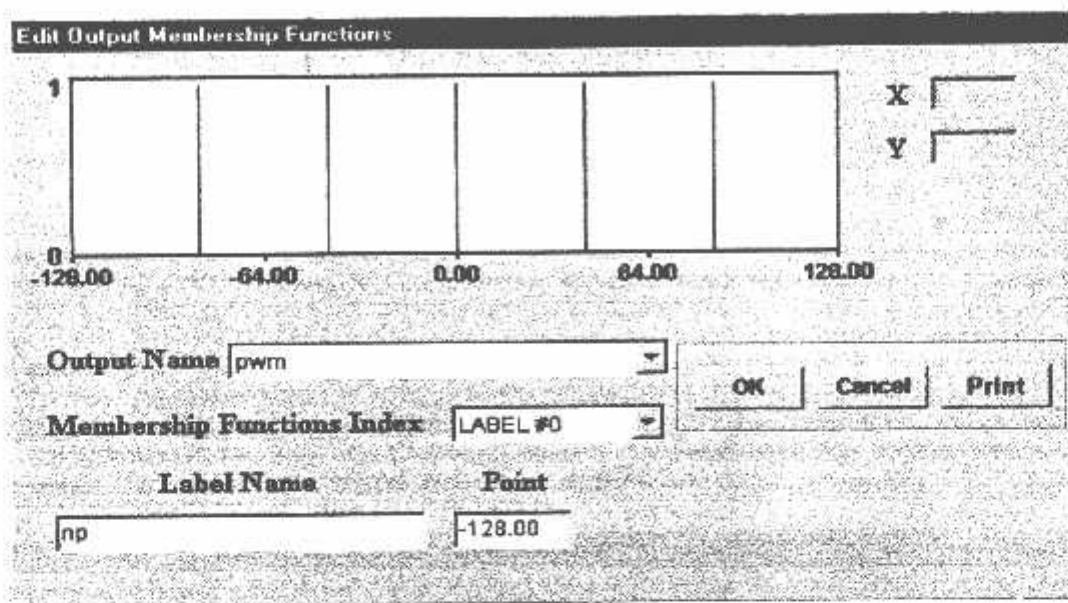


Gambar 13. Proses pemasukan nilai crisp output



b. Pilih menu Edit → Output Membership Function.

Untuk membuat bentuk dari membership function output. Cara memasukkan nilai sama dengan langkah memasukkan membership function input, tetapi Point yang dimasukkan hanya satu, karena bentuk membership function output adalah singleton. Pada gambar 14 akan diperlihatkan bentuk membership function output.



Gambar 14. Bentuk dari membership function output

Nilai – nilai yang dimasukkan dalam perancangan membership function output dalam aplikasi pengaturan kecepatan motor adalah sebagai berikut :

Label Name	Point
NB	-128
NM	-86
NS	-43
Z	0
PS	43
PM	86
PB	128

Tabel 2. Nama label membership function output dan posisi-posisi point-nya

Keterangan:

- NB : Negative Big
- NM : Negative Medium
- NS : Negative Small
- Z : Zero
- PS : Positif Small
- PM : Positif Medium
- PB : Positif Big

3. Merancang rule.

Pilih menu Edit → Rules.

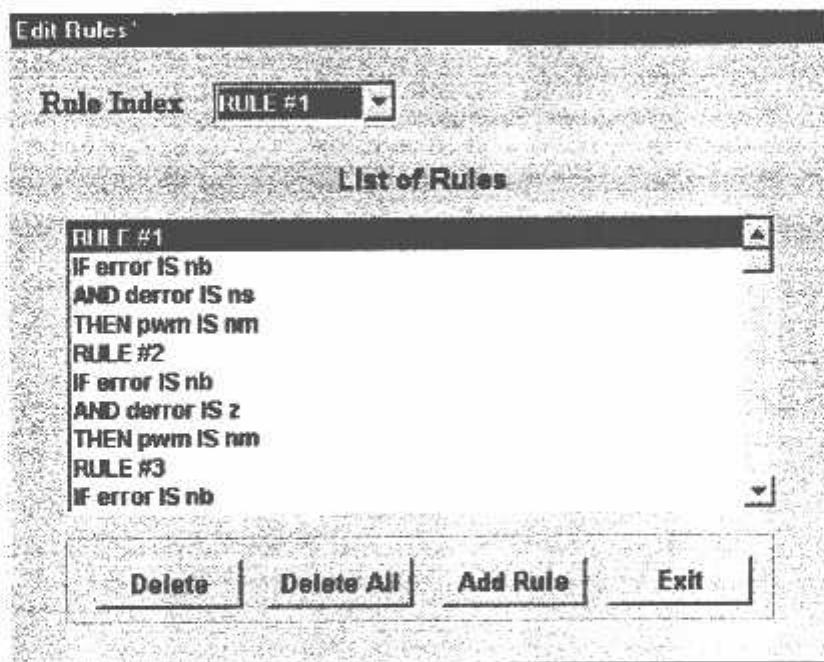
- Untuk menambahkan rule klik tombol **Add Rule**.
- Untuk menghapus satu rule, pilih dahulu rule yang akan di hapus kemudian klik tombol **Delete**.
- Untuk menghapus semua rule klik tombol **Delete All**.

Perancangan rule dapat anda lakukan dengan menggunakan cara matriks. Contohnya seperti gambar 15.

		Error				
		NB	NS	Z	PS	PB
Derror	NB	NS	NS	PB	PS	PS
	NS	NM	NM	PM	PS	PM
	Z	NM	NB	Z	PM	PB
	PS	NB	NB	NS	PM	PB
	PB	NB	NB	NM	PB	PB

Gambar 15. Rule yang digunakan dalam aplikasi ini

Jika kondisi Error adalah NB dan dError adalah NB, berarti kecepatan sekarang jauh lebih besar dibandingkan dengan kecepatan yang diminta, tetapi ada perubahan Error sangat besar mendekati ke kondisi yang diminta. Oleh karena itu kecepatan harus diperlambat tetapi sangat kecil. Jadi untuk rule pertama adalah: if Error is NB and dError is NB then PWM is NS. Jika kondisi Errornya adalah PB dan dErrornya adalah NB, berarti kecepatan sekarang jauh lebih lambat dibandingkan dengan kecepatan yang diminta, tetapi ada perubahan Error sangat besar mendekati ke kondisi yang diminta. Oleh karena itu kecepatan harus dipercepat tetapi sangat kecil. Jadi rule berikutnya adalah: if Error is PB and dError is NB then PWM is PS. Dalam merancang suatu rule anda harus berhati – hati. Jika tidak maka sistem anda malah tidak akan berjalan sesuai dengan yang kita inginkan. Gambar 16 akan menunjukkan menu dari pembuatan rule.

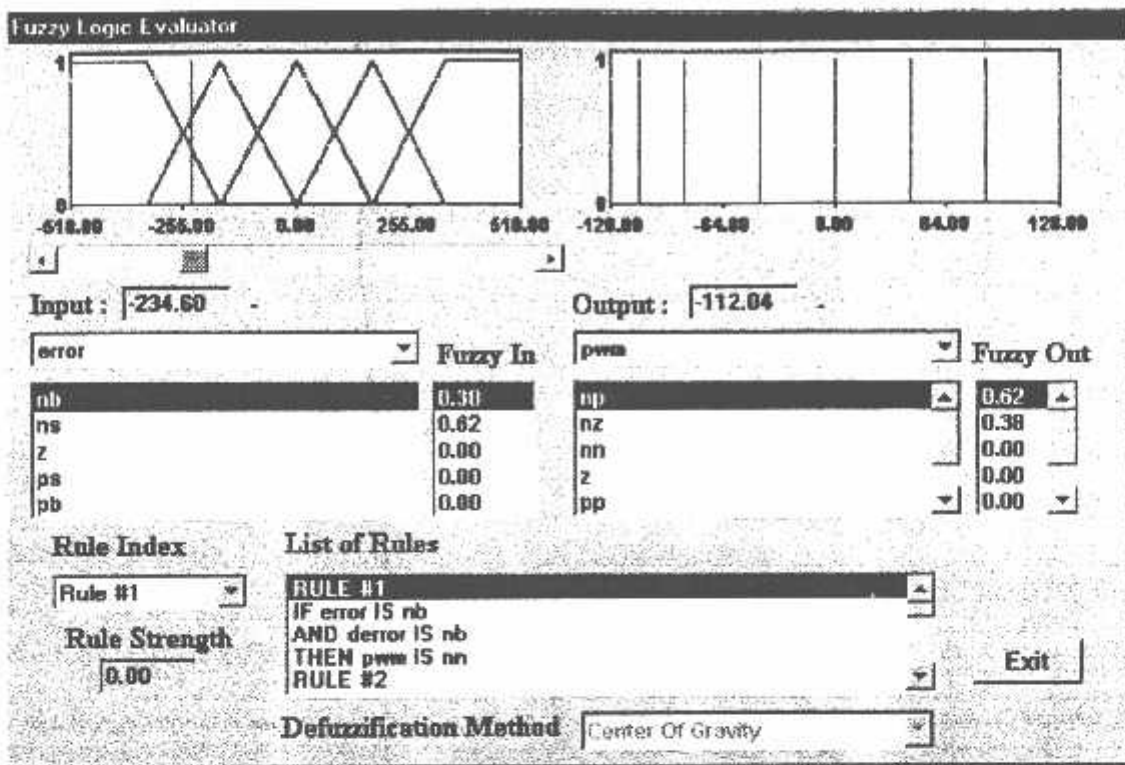


Gambar 16. Form pengisian rule pada PetraFuz

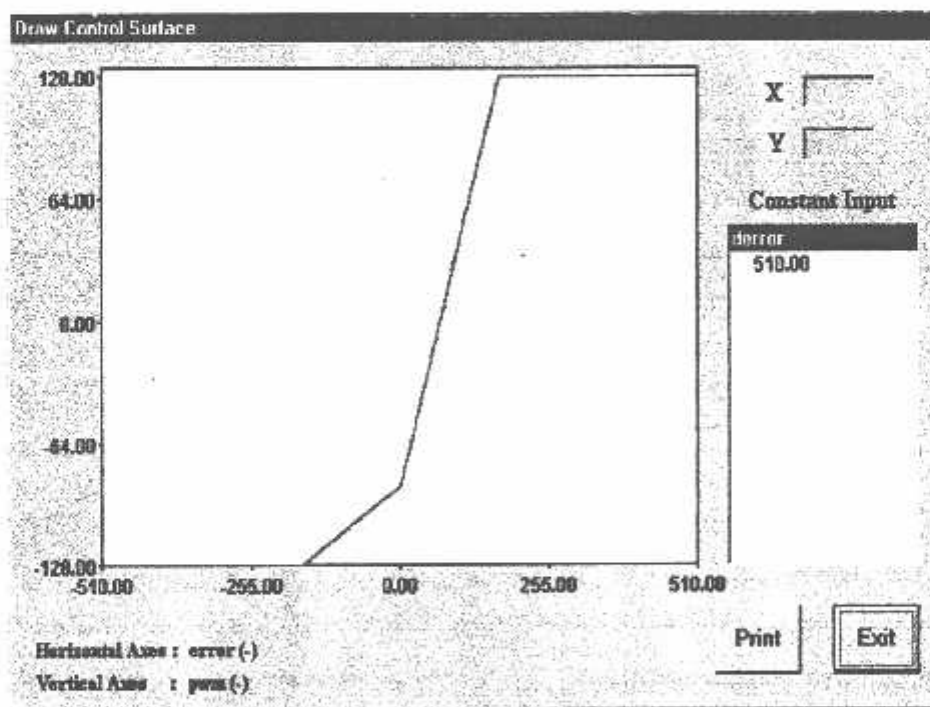
#### 4. Mensimulasi fuzzy

Anda dapat mensimulasi sistem anda sebelum dimasukkan ke dalam sistem yang sebenarnya. Tetapi simulasi ini tidak harus anda lakukan, karena semua nilai yang ditampilkan pada input dan output belum dinormalisasikan. Anda dapat membaca tentang normalisasi dan denormalisasi pada **Proses Normalisasi dan Denormalisasi**.

Untuk simulasi interaktif pilih menu Evaluate → Fuzzy Logic Evaluator. Jika ingin tidak interaktif pilih menu Evaluate → Control Surface. Pada simulasi interaktif user bisa merubah nilai – nilai input dan dapat melihat nilai output pada saat terjadi perubahan. Pada simulasi tidak interaktif user hanya dapat melihat simulasi pada saat hanya satu input yang berubah dan yang satunya tetap. Contohnya dapat anda lihat pada gambar 17 untuk simulasi yang interaktif dan gambar 18 untuk simulasi yang tidak interaktif.



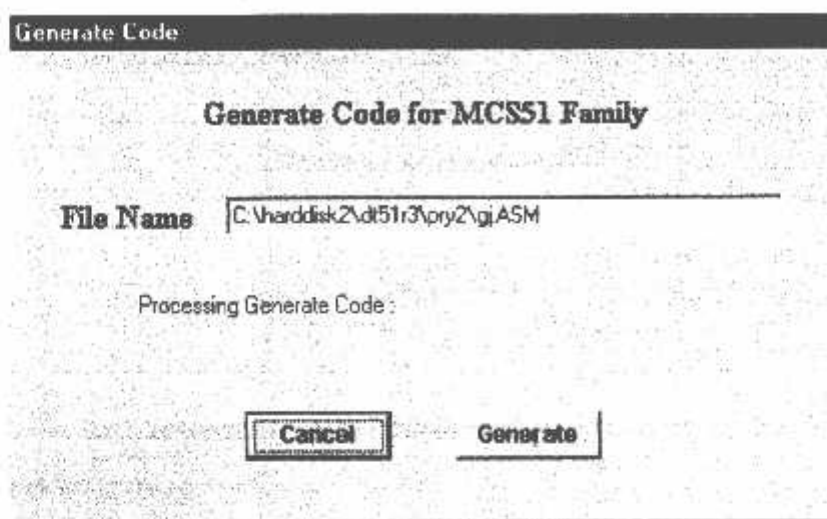
Gambar 17. Contoh simulasi Interaktif



Gambar 18. Contoh simulasi tidak interaktif dengan memberikan nilai dError konstan

5. Mengkonversi fuzzy ke kode MCS-51

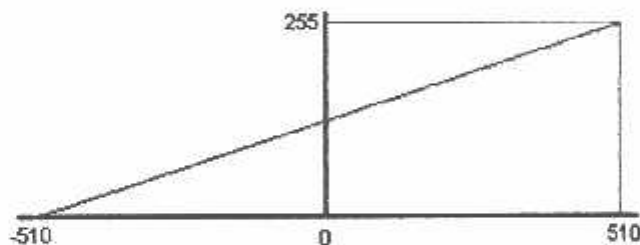
Pilih menu Tools → Generate Code → MCS-51 Family. Lalu simpan dengan nama terserah anda. Lalu tekan tombol Save. Setelah itu akan muncul jendela Generate Code seperti yang ditunjukkan pada gambar 19. Lalu klik tombol Generate.



Gambar 19. Menu Generate Code.

## PROSES NORMALISASI DAN DENORMALISASI

Sebelum membuat suatu program assembly dari sistem ini, proses yang terlebih dahulu dilakukan adalah menormalisasikan input dan output menjadi 0 sampai 255 karena mikrokontroler yang akan digunakan adalah mikrokontroler 8 bit. Cara menormalisasikan input dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan garis. Contohnya jika terdapat input antara -510 s/d 510 (input sesungguhnya) dan akan dinormalisasikan menjadi 0 s/d 255 (input untuk mikrokontroler) maka penyelesaiannya dapat anda lihat pada gambar 20.



Gambar 20. Proses normalisasi crisp input

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

$$\begin{aligned} y_1 &= 0 \\ y_2 &= 255 \\ x_1 &= -510 \\ x_2 &= 510 \end{aligned}$$

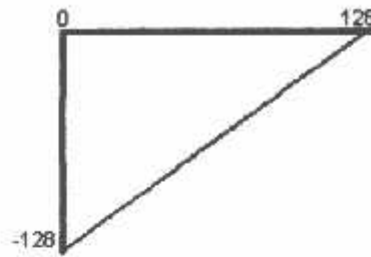
$$\frac{y - 0}{x - (-510)} = \frac{255 - 0}{510 - (-510)}$$

$$y = 0.25x - 127.5 \quad \text{rumus normalisasi}$$

Tujuan dari proses denormalisasi adalah untuk mencari nilai crisp output sesungguhnya sehingga kita dapat mengolah data tersebut. Proses pengerjaannya sama dengan proses normalisasi. Untuk proses denormalisasi batasnya adalah 0 s/d 255 untuk koordinat x (output dari mikrokontroler) dan -128 s/d 128 untuk koordinat y (output sesungguhnya). Caranya adalah sebagai berikut: di sini akan dihitung proses denormalisasi dua kali yaitu

dari 0 s/d 128 untuk denormalisasi nilai -128 s/d 0 dan dari 129 s/d 255 untuk denormalisasi nilai 1 s/d 128. Prosesnya dapat anda lihat seperti gambar 21 dan 22.

Proses 1:



Gambar 21. Proses denormalisasi tahap 1

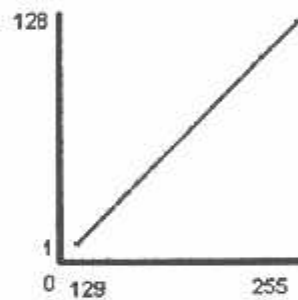
Proses pengerjaan denormalisasi tahap 1:

$$\begin{aligned} y_1 &= -128 \\ y_2 &= 0 \\ x_1 &= 0 \\ x_2 &= 128 \end{aligned}$$

$$\frac{y+128}{x-0} = \frac{0+128}{128-0}$$

$$y = x - 128 \quad \text{rumus denormalisasi 1}$$

Proses 2:



Gambar 22. Proses denormalisasi tahap 2

Proses pengerjaan denormalisasi tahap 2:

$$\begin{aligned} y_1 &= 1 \\ y_2 &= 128 \\ x_1 &= 129 \\ x_2 &= 255 \end{aligned}$$

$$\frac{y-1}{x-129} = \frac{128-1}{255-129}$$

$$y = \frac{127x}{126} - \frac{16383}{126} + 1 \quad \text{rumus denormalisasi 2}$$

## PEMROGRAMAN DENGAN BAHASA ASSEMBLY

Setelah kita menemukan rumus untuk normalisasi dan denormalisasi, maka program assembly dapat dibuat. Jika anda ingin membuat suatu fuzzy system untuk aplikasi yang lain, tidak perlu harus sama dengan program yang telah ada, tetapi yang perlu diketahui sebelum membuat suatu fuzzy sistem adalah bagaimana cara untuk menormalisasikan input dan mendenormalisasikan output-nya sebelum data dapat diolah. Hal ini dilakukan agar nilai-nilai tersebut dapat diterima oleh DT-51 PetraFuz.

Routine fuzzify dari PetraFuz terletak di alamat 0900h, untuk menjalankannya anda harus menggunakan perintah LCALL 0900h. Berikut ini adalah contoh format yang digunakan dalam menggunakan DT-51 PetraFuz.

```
Fuzzify      EQU  0900H
Current_ins  EQU  0BH
Cog_Outs     EQU  0DH
```

Keterangan:

- Fuzzify : Routine PetraFuz
- Current\_ins : Crisp Input PetraFuz
- Cog\_Outs : Crisp Output PetraFuz

Jika anda mau memakai internal RAM maka anda harus memakai dengan alamat minimal 063H. Karena 08H – 62H digunakan oleh routine PetraFuz Engine.

Contoh program perhitungan error:

```
MOV A, SP          ; memasukkan nilai SP (kecepatan yang diminta)
MOV R0, PV         ; memasukkan nilai PV (kecepatan sekarang)
SUBB A, R0
MOV ERROR, A
```

Contoh program perhitungan dError:

```
MOV A, ERROR      ; Error(n)
MOV R0, ERROR-1   ; Error(n-1)
SUBB A, R0
MOV DERROR, A
```

Di dalam aplikasi ini yang dinormalisasikan adalah hasil dari Error dan dError (bukan Error dan dError), setelah itu baru dimasukkan sebagai input ke DT-51 PetraFuz. Nilai Error yang sesungguhnya harus disimpan ke dalam suatu register, karena Error yang belum dinormalisasi akan digunakan dalam perhitungan denormalisasi yaitu untuk nilai Error(n-1).

Contoh program untuk memasukkan data Error dan dError ke dalam DT-51 PetraFuz, setelah itu memanggil prosedur Fuzzify dan melihat hasilnya di register accumulator.

```
MOV CURRENT_INS,ERROR
MOV CURRENT_INS+1,DERROR
LCALL FUZIFY
MOV A,COG_OUTS
```

Hasil dari register accumulator di atas adalah nilai crisp output dan nilai tersebut harus didenormalisasikan.

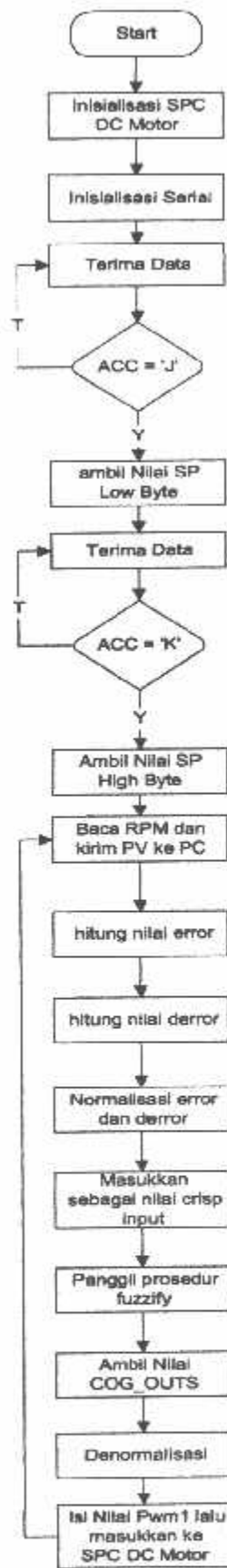
Contoh di atas bukanlah contoh program secara khusus melainkan contoh program secara garis besar. Hal ini dikarenakan tidak adanya program untuk normalisasi dan denormalisasi. Sebelum nilai crisp input dimasukkan ke dalam DT-51 PetraFuz, nilainya harus dinormalisasikan terlebih dahulu. Nilai crisp output yang telah diperoleh di register accumulator pada contoh di atas juga belum didenormalisasikan.

Di dalam pembuatan suatu program assembly, kalau bisa hindari pembuatan program aritmatika yang cukup kompleks, misalnya perkalian atau pembagian 16 x 16 bit. Hal ini dilakukan agar proses fuzzifikasi tidak memakan banyak waktu.

Flowchart untuk aplikasi pengaturan kecepatan motor DC dengan sistem Fuzzy dapat dilihat pada gambar 23.

Proses kerjanya adalah sebagai berikut:

1. Pertama kali dilakukan proses inialisasi de KITS SPC DC Motor dan komunikasi serial.
2. Terima data serial dari PC dan tunggu sampai karakter J dikirimkan. Lalu ambil nilai SP Low Byte.
3. Terima data serial lagi dari PC dan tunggu sampai karakter K dikirimkan, lalu ambil nilai SP High Byte.
4. Setelah itu baca nilai RPM sekarang dan kirimkan ke PC.
5. Hitung nilai Error dan dError, tetapi jangan lupa untuk menormalisasikan nilai tersebut.
6. Setelah normalisasi dilakukan maka masukkan kedua nilai yaitu Error dan dError ke dalam DT-51 PetraFuz.
7. Panggil prosedur fuzzify, lalu ambil hasilnya.
8. Setelah hasil didapatkan, maka hasil itu harus didenormalisasi sehingga akan muncul nilai crisp output yang sebenarnya.
9. Nilai crisp output kita masukkan sebagai nilai PWM untuk mengatur putaran motor DC tersebut. Ulangi langkah 4 - 9 sampai nilai RPM yang diinginkan tercapai.



Gambar 23. Flowchart untuk program assembly pada aplikasi ini

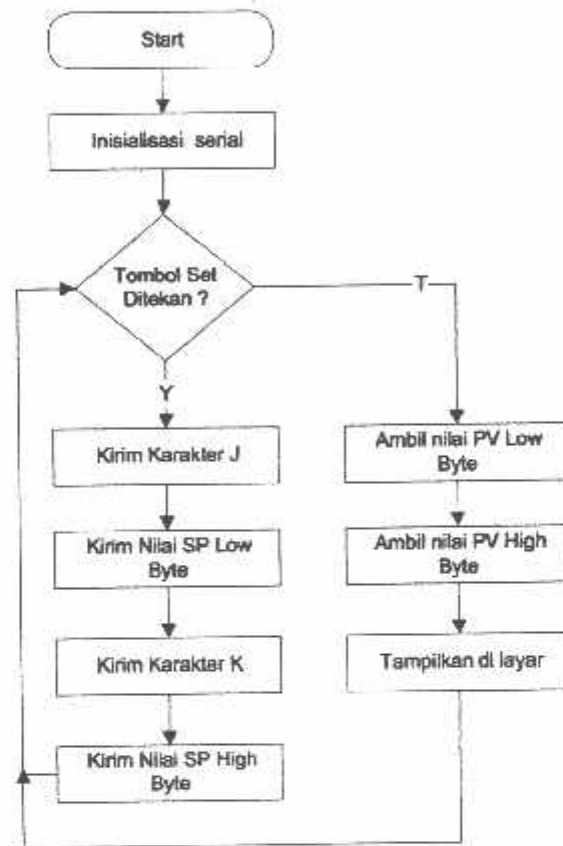


Selain menggunakan program assembly aplikasi ini juga menggunakan sebuah program **tescoma.exe** yang dibuat dengan Delphi 5, yang berfungsi untuk komunikasi serial antara PC dengan DT-51 PetraFuzz. Untuk komunikasi serial digunakan sebuah komponen Delphi yang bernama **comport**. Program assembly harus di-download sebelum **tescoma.exe** dijalankan. Hal ini dilakukan karena program PC akan menggunakan port serial yang sama sehingga akan menghalangi proses download ke DT-51 PetraFuzz.

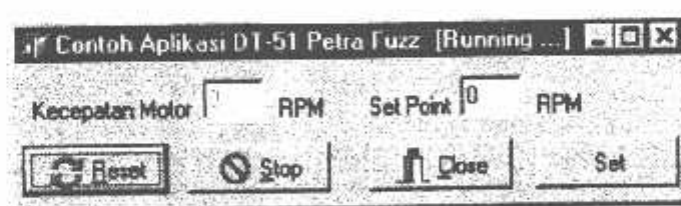
Penjelasan cara kerjanya adalah sebagai berikut:

1. Pertama kali inisialisasi port serial dengan baudrate 9600 Bps, dan port serial diset pada COM 2.
2. Tunggu apakah tombol **Set** ditekan.
3. Jika tombol **Set** ditekan maka kirim karakter **J** kemudian kirim nilai **SP Low Byte**. Setelah itu kirim karakter **K** kemudian kirim nilai **SP High Byte**.
4. Jika tombol **Set** tidak ditekan maka ambil nilai **PV low byte** dan ambil nilai **PV high byte**.

Flowchart **tescoma.exe** dapat dilihat pada gambar 24. Contoh tampilannya dapat dilihat pada gambar 25.



Gambar 24. Flowchart untuk komunikasi serial dgn PC



Gambar 25. Tampilan program Delphi

Cara penggunaan program tersebut adalah sebagai berikut:

- Pertama kali isi nilai Set Point lalu tekan tombol **Set**.
- Jika anda ingin mengisi nilai Set Point lagi maka tekan tombol **Reset** terlebih dahulu baru setelah itu isi nilai Set Point dan kemudian tekan tombol **Set**.
- Fungsi tombol **Stop** adalah untuk menghentikan proses pengiriman data serial terakhir.
- Jika ingin keluar dari program maka tekan tombol **Close**.

## TIPS PEMROGRAMAN

Pada saat menggunakan PetraFuz, ada baiknya anda melihat beberapa hal berikut ini:

1. Usahakan untuk tidak menggunakan ruang memori internal yang terlalu besar, terutama bila ingin menggunakan banyak variabel yang membutuhkan ruang memori tersendiri.
2. Jangan lupa memindah Stack Pointer jika menggunakan memori internal terutama jika menggunakan modul lain. Contohnya, jika anda menggunakan modul de KITS SPC DC Motor, di awal program Stack Pointer harus dipindah ke alamat 6DH.
3. Pada saat compiling source code dengan menggunakan ASM51 maka anda harus mengedit source yang berasal dari hasil generate PetraFuz yaitu ".CODE" dengan "CSEG". Dan semua labelnya harus diakhiri dengan ":".

Listing program pengatur kecepatan motor dan program pembantunya terdapat di H2UFUZ.ZIP.

### Perhatian:

File DCMOTOR1.INC dan ENG\_I2C1.INC yang terdapat dalam H2UFUZ.ZIP merupakan versi yang telah dimodifikasi, BUKAN merupakan versi asli yang terdapat dalam disket de KITS SPC DC Motor. Modifikasi dilakukan untuk memaksimalkan ruang memori yang terbatas dengan cara membebaskan sebagian alamat yang tidak digunakan agar bisa digunakan sebagai ruang untuk Stack Pointer.

## Features

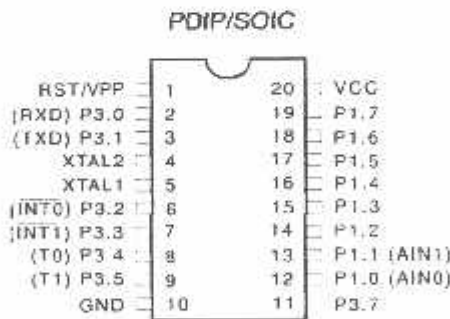
- Compatible with MCS-51™ Products
- 2K Bytes of Reprogrammable Flash Memory
  - Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- 2.7V to 6V Operating Range
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Two-Level Program Memory Lock
- 128 x 8-Bit Internal RAM
- 15 Programmable I/O Lines
- Two 16-Bit Timer/Counters
- Six Interrupt Sources
- Programmable Serial UART Channel
- Direct LED Drive Outputs
- On-Chip Analog Comparator
- Low Power Idle and Power Down Modes

## Description

The AT89C2051 is a low-voltage, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 2K Bytes of Flash programmable and erasable read only memory (PEROM). The device is manufactured using Atmel's high density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry standard MCS-51™ instruction set. By combining a versatile 8-bit CPU with Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89C2051 is a powerful microcomputer which provides a highly flexible and cost effective solution to many embedded control applications.

The AT89C2051 provides the following standard features: 2K Bytes of Flash, 128 bytes of RAM, 15 I/O lines, two 16-bit timer/counters, a five vector two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, a precision analog comparator, on-chip oscillator and clock circuitry. In addition, the AT89C2051 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 hardware reset.

## Pin Configuration



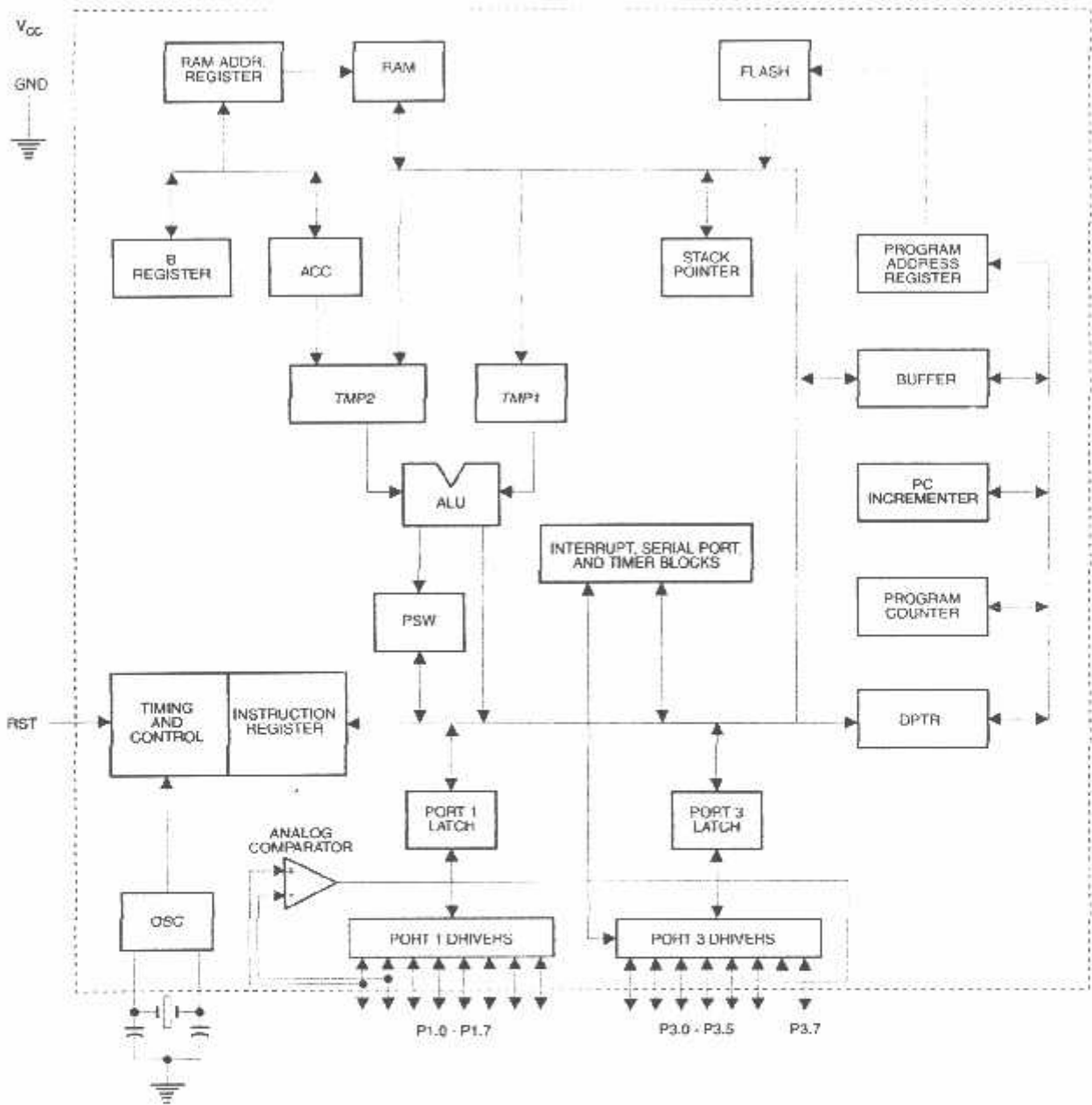
## 8-Bit Microcontroller with 2K Bytes Flash

**AT89C2051**

0368D-B-12/97



### Block Diagram



**Pin Description**

**V<sub>cc</sub>**  
Supply voltage.

**GND**  
Ground.

**Port 1**  
Port 1 is an 8-bit bidirectional I/O port. Port pins P1.2 to P1.7 provide internal pullups. P1.0 and P1.1 require external pullups. P1.0 and P1.1 also serve as the positive input (AIN0) and the negative input (AIN1), respectively, of the on-chip precision analog comparator. The Port 1 output buffers can sink 20 mA and can drive LED displays directly. When 1s are written to Port 1 pins, they can be used as inputs. When pins P1.2 to P1.7 are used as inputs and are externally pulled low, they will source current (I<sub>IL</sub>) because of the internal pullups.

Port 1 also receives code data during Flash programming and verification.

**Port 3**  
Port 3 pins P3.0 to P3.5, P3.7 are seven bidirectional I/O pins with internal pullups. P3.6 is hard-wired as an input to the output of the on-chip comparator and is not accessible as a general purpose I/O pin. The Port 3 output buffers can sink 20 mA. When 1s are written to Port 3 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current (I<sub>IL</sub>) because of the pullups.

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89C2051 as listed below:

Port Pin	Alternate Functions
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	INT0 (external interrupt 0)
P3.3	INT1 (external interrupt 1)
P3.4	T0 (timer 0 external input)
P3.5	T1 (timer 1 external input)

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

**RST**  
Reset input. All I/O pins are reset to 1s as soon as RST goes high. Holding the RST pin high for two machine cycles while the oscillator is running resets the device.

Each machine cycle takes 12 oscillator or clock cycles.

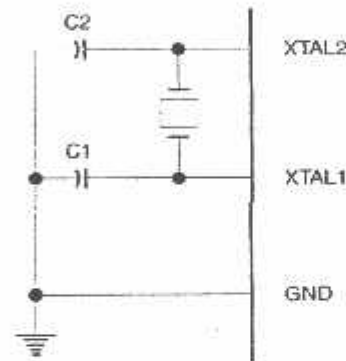
**XTAL1**  
Input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

**XTAL2**  
Output from the inverting oscillator amplifier.

**Oscillator Characteristics**

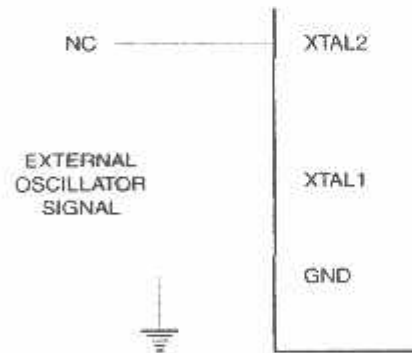
XTAL1 and XTAL2 are the input and output, respectively, of an inverting amplifier which can be configured for use as an on-chip oscillator, as shown in Figure 1. Either a quartz crystal or ceramic resonator may be used. To drive the device from an external clock source, XTAL2 should be left unconnected while XTAL1 is driven as shown in Figure 2. There are no requirements on the duty cycle of the external clock signal, since the input to the internal clocking circuitry is through a divide-by-two flip-flop, but minimum and maximum voltage high and low time specifications must be observed.

Figure 1. Oscillator Connections



Note: C1, C2 = 30 pF ± 10 pF for Crystals  
= 40 pF ± 10 pF for Ceramic Resonators

Figure 2. External Clock Drive Configuration





## Special Function Registers

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

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.

User software should not write 1s to these unlisted locations, since they may be used in future products to invoke new features. In that case, the reset or inactive values of the new bits will always be 0.

Table 1. AT89C2051 SFR Map and Reset Values

0F8H								0FFH
0F0H	B 00000000							0F7H
0E8H								0EFH
0E0H	ACC 00000000							0E7H
0D8H								0DFH
0D0H	PSW 00000000							0D7H
0C8H								0CFH
0C0H								0C7H
0B8H	IP XXX00000							0BFH
0B0H	P3 11111111							0B7H
0A8H	IE 0XX00000							0AFH
0A0H								0A7H
98H	SCON 00000000	SBUF XXXXXXXX						9FH
90H	P1 11111111							97H
88H	TCON 00000000	TMOD 00000000	TL0 00000000	TL1 00000000	TH0 00000000	TH1 00000000		8FH
80H		SP 00001111	DPL 00000000	DPH 00000000			PCON 0XX00000	87H

**Restrictions on Certain Instructions**

The AT89C2051 and is an economical and cost-effective member of Atmel's growing family of microcontrollers. It contains 2K bytes of flash program memory. It is fully compatible with the MCS-51 architecture, and can be programmed using the MCS-51 instruction set. However, there are a few considerations one must keep in mind when utilizing certain instructions to program this device.

All the instructions related to jumping or branching should be restricted such that the destination address falls within the physical program memory space of the device, which is 2K for the AT89C2051. This should be the responsibility of the software programmer. For example, LJMP 7E0H would be a valid instruction for the AT89C2051 (with 2K of memory), whereas LJMP 900H would not.

**1. Branching instructions:**

LCALL, LJMP, ACALL, AJMP, SJMP, JMP @A+DPTR

These unconditional branching instructions will execute correctly as long as the programmer keeps in mind that the destination branching address must fall within the physical boundaries of the program memory size (locations 00H to 7FFH for the 89C2051). Violating the physical space limits may cause unknown program behavior.

CJNE [...], DJNZ [...], JB, JNB, JC, JNC, JBC, JZ, JNZ With these conditional branching instructions the same rule above applies. Again, violating the memory boundaries may cause erratic execution.

For applications involving interrupts the normal interrupt service routine address locations of the 80C51 family architecture have been preserved.

**2. MOVX-related instructions, Data Memory:**

The AT89C2051 contains 128 bytes of internal data memory. Thus, in the AT89C2051 the stack depth is limited to 128 bytes, the amount of available RAM. External DATA memory access is not supported in this device, nor is external PROGRAM memory execution. Therefore, no MOVX [...] instructions should be included in the program.

A typical 80C51 assembler will still assemble instructions, even if they are written in violation of the restrictions mentioned above. It is the responsibility of the controller user to know the physical features and limitations of the device being used and adjust the instructions used correspondingly.

**Program Memory Lock Bits**

On the chip are two lock bits which can be left unprogrammed (U) or can be programmed (P) to obtain the additional features listed in the table below:

**Lock Bit Protection Modes<sup>(1)</sup>**

Program Lock Bits			Protection Type
	LB1	LB2	
1	U	U	No program lock features.
2	P	U	Further programming of the Flash is disabled.
3	P	P	Same as mode 2, also verify is disabled.

Note: 1. The Lock Bits can only be erased with the Chip Erase operation.

**Idle Mode**

In idle mode, the CPU puts itself to sleep while all the on-chip peripherals remain active. The mode is invoked by software. The content of the on-chip RAM and all the special functions registers remain unchanged during this mode. The idle mode can be terminated by any enabled interrupt or by a hardware reset.

P1.0 and P1.1 should be set to '0' if no external pullups are used, or set to '1' if external pullups are used.

It should be noted that when idle is terminated by a hardware reset, the device normally resumes program execution, from where it left off, up to two machine cycles before the internal reset algorithm takes control. On-chip hardware inhibits access to internal RAM in this event, but access to the port pins is not inhibited. To eliminate the possibility of an unexpected write to a port pin when Idle is terminated by reset, the instruction following the one that invokes Idle should not be one that writes to a port pin or to external memory.

**Power Down Mode**

In the power down mode the oscillator is stopped, and the instruction that invokes power down is the last instruction executed. The on-chip RAM and Special Function Registers retain their values until the power down mode is terminated. The only exit from power down is a hardware reset. Reset redefines the SFRs but does not change the on-chip RAM. The reset should not be activated before V<sub>CC</sub> is restored to its normal operating level and must be held active long enough to allow the oscillator to restart and stabilize.

P1.0 and P1.1 should be set to '0' if no external pullups are used, or set to '1' if external pullups are used.





## Programming The Flash

The AT89C2051 is shipped with the 2K bytes of on-chip PEROM code memory array in the erased state (i.e., contents = FFH) and ready to be programmed. The code memory array is programmed one byte at a time. *Once the array is programmed, to re-program any non-blank byte, the entire memory array needs to be erased electrically.*

**Internal Address Counter:** The AT89C2051 contains an internal PEROM address counter which is always reset to 000H on the rising edge of RST and is advanced by applying a positive going pulse to pin XTAL1.

**Programming Algorithm:** To program the AT89C2051, the following sequence is recommended.

1. Power-up sequence:  
Apply power between  $V_{CC}$  and GND pins  
Set RST and XTAL1 to GND
2. Set pin RST to 'H'  
Set pin P3.2 to 'H'
3. Apply the appropriate combination of 'H' or 'L' logic levels to pins P3.3, P3.4, P3.5, P3.7 to select one of the programming operations shown in the PEROM Programming Modes table.

To Program and Verify the Array:

4. Apply data for Code byte at location 000H to P1.0 to P1.7.
5. Raise RST to 12V to enable programming.
6. Pulse P3.2 once to program a byte in the PEROM array or the lock bits. The byte-write cycle is self-timed and typically takes 1.2 ms.
7. To verify the programmed data, lower RST from 12V to logic 'H' level and set pins P3.3 to P3.7 to the appropriate levels. Output data can be read at the port P1 pins.
8. To program a byte at the next address location, pulse XTAL1 pin once to advance the internal address counter. Apply new data to the port P1 pins.
9. Repeat steps 5 through 8, changing data and advancing the address counter for the entire 2K bytes array or until the end of the object file is reached.
10. Power-off sequence:  
set XTAL1 to 'L'  
set RST to 'L'  
Turn  $V_{CC}$  power off

**Data Polling:** The AT89C2051 features  $\overline{\text{Data Polling}}$  to indicate the end of a write cycle. During a write cycle, an attempted read of the last byte written will result in the complement of the written data on P1.7. Once the write cycle has been completed, true data is valid on all outputs, and the next cycle may begin. Data Polling may begin any time after a write cycle has been initiated.

**Ready/Busy:** The Progress of byte programming can also be monitored by the  $\overline{\text{RDY/BSY}}$  output signal. Pin P3.1 is pulled low after P3.2 goes High during programming to indicate BUSY. P3.1 is pulled High again when programming is done to indicate READY.

**Program Verify:** If lock bits LB1 and LB2 have not been programmed code data can be read back via the data lines for verification:

1. Reset the internal address counter to 000H by bringing RST from 'L' to 'H'.
2. Apply the appropriate control signals for Read Code data and read the output data at the port P1 pins.
3. Pulse pin XTAL1 once to advance the internal address counter.
4. Read the next code data byte at the port P1 pins.
5. Repeat steps 3 and 4 until the entire array is read.

The lock bits cannot be verified directly. Verification of the lock bits is achieved by observing that their features are enabled.

**Chip Erase:** The entire PEROM array (2K bytes) and the two Lock Bits are erased electrically by using the proper combination of control signals and by holding P3.2 low for 10 ms. The code array is written with all "1"s in the Chip Erase operation and must be executed before any non-blank memory byte can be re-programmed.

**Reading the Signature Bytes:** The signature bytes are read by the same procedure as a normal verification of locations 000H, 001H, and 002H, except that P3.5 and P3.7 must be pulled to a logic low. The values returned are as follows.

- (000H) = 1EH indicates manufactured by Atmel
- (001H) = 21H indicates 89C2051

## Programming Interface

Every code byte in the Flash array can be written and the entire array can be erased by using the appropriate combination of control signals. The write operation cycle is self-timed and once initiated, will automatically time itself to completion.

All major programming vendors offer worldwide support for the Atmel microcontroller series. Please contact your local programming vendor for the appropriate software revision.



Flash Programming Modes

Mode	RST/VPP	P3.2/PROG	P3.3	P3.4	P3.5	P3.7
Write Code Data <sup>(1)(3)</sup>	12V		L	H	H	H
Read Code Data <sup>(1)</sup>	H	H	L	L	H	H
Write Lock	Bit - 1		H	H	H	H
	Bit - 2		H	H	L	L
Chip Erase	12V	(?)	H	L	L	L
Read Signature Byte	H	H	L	L	L	L

- Notes:
1. The internal PEROM address counter is reset to 000H on the rising edge of RST and is advanced by a positive pulse at XTAL 1 pin.
  2. Chip Erase requires a 10-ms  $\overline{\text{PROG}}$  pulse.
  3. P3.1 is pulled Low during programming to indicate RDY/BSY.

Figure 3. Programming the Flash Memory

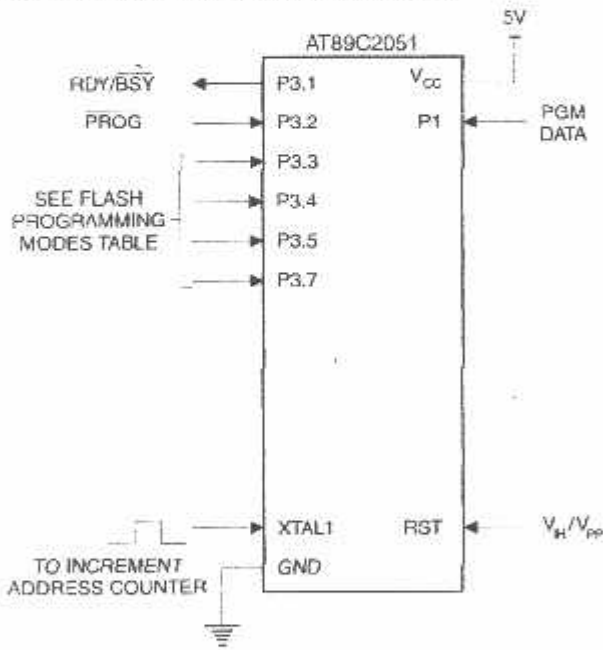
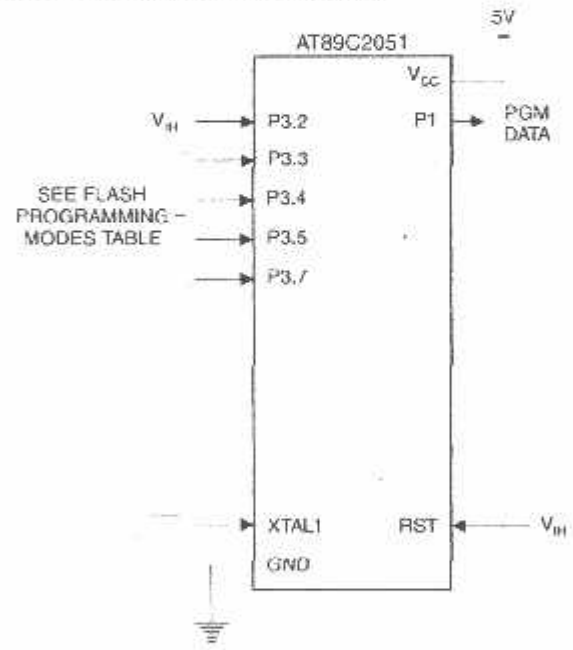


Figure 4. Verifying the Flash Memory





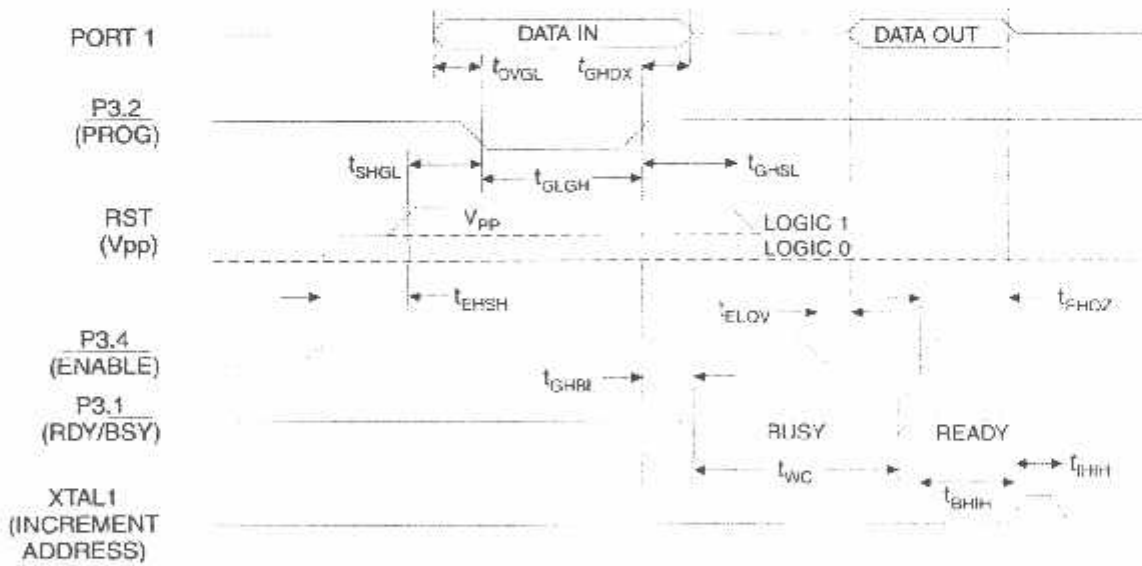
## Flash Programming and Verification Characteristics

$T_A = 0^\circ\text{C}$  to  $70^\circ\text{C}$ ,  $V_{CC} = 5.0 \pm 10\%$

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
$V_{PP}$	Programming Enable Voltage	11.5	12.5	V
$I_{PP}$	Programming Enable Current		250	$\mu\text{A}$
$t_{DVGL}$	Data Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	1.0		$\mu\text{s}$
$t_{GHDX}$	Data Hold After $\overline{\text{PROG}}$	1.0		$\mu\text{s}$
$t_{EHS}$	P3.4 ( $\overline{\text{ENABLE}}$ ) High to $V_{PP}$	1.0		$\mu\text{s}$
$t_{SHGL}$	$V_{PP}$ Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	10		$\mu\text{s}$
$t_{GHS}$	$V_{PP}$ Hold After $\overline{\text{PROG}}$	10		$\mu\text{s}$
$t_{GLGH}$	$\overline{\text{PROG}}$ Width	1	110	$\mu\text{s}$
$t_{ELOV}$	$\overline{\text{ENABLE}}$ Low to Data Valid		1.0	$\mu\text{s}$
$t_{EQZ}$	Data Float After $\overline{\text{ENABLE}}$	0	1.0	$\mu\text{s}$
$t_{GHL}$	$\overline{\text{PROG}}$ High to $\overline{\text{BUSY}}$ Low		50	ns
$t_{WC}$	Byte Write Cycle Time		2.0	ms
$t_{BHH}$	$\overline{\text{RDY/BSY}}$ to Increment Clock Delay	1.0		$\mu\text{s}$
$t_{HHL}$	Increment Clock High	200		ns

Note: 1. Only used in 12-volt programming mode.

## Flash Programming and Verification Waveforms



## Absolute Maximum Ratings\*

Operating Temperature .....	-55°C to +125°C
Storage Temperature .....	-65°C to +150°C
Voltage on Any Pin with Respect to Ground .....	-1.0V to +7.0V
Maximum Operating Voltage.....	6.6V
DC Output Current.....	25.0 mA

\*NOTICE: Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

## DC Characteristics

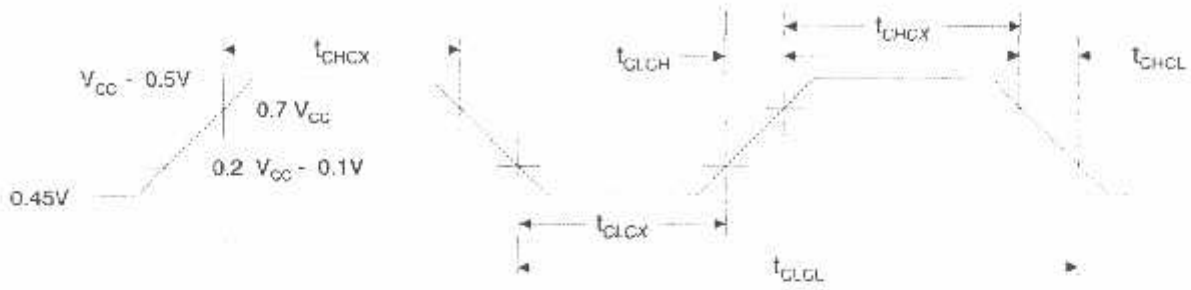
$T_A = -40^\circ\text{C}$  to  $85^\circ\text{C}$ ,  $V_{CC} = 2.0\text{V}$  to  $6.0\text{V}$  (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Condition	Min	Max	Units
$V_{IL}$	Input Low Voltage		-0.5	$0.2 V_{CC} - 0.1$	V
$V_{IH}$	Input High Voltage	(Except XTAL1, RST)	$0.2 V_{CC} + 0.9$	$V_{CC} + 0.5$	V
$V_{IH1}$	Input High Voltage	(XTAL1, RST)	$0.7 V_{CC}$	$V_{CC} + 0.5$	V
$V_{OL}$	Output Low Voltage <sup>(1)</sup> (Ports 1, 3)	$I_{OL} = 20\text{ mA}$ , $V_{CC} = 5\text{V}$ $I_{OL} = 10\text{ mA}$ , $V_{CC} = 2.7\text{V}$		0.5	V
$V_{OH}$	Output High Voltage (Ports 1, 3)	$I_{OH} = -80\ \mu\text{A}$ , $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$	2.4		V
		$I_{OH} = -30\ \mu\text{A}$	$0.75 V_{CC}$		V
		$I_{OH} = -12\ \mu\text{A}$	$0.9 V_{CC}$		V
$I_{IL}$	Logical 0 Input Current (Ports 1, 3)	$V_{IN} = 0.45\text{V}$		-50	$\mu\text{A}$
$I_{TL}$	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1, 3)	$V_{IN} = 2\text{V}$ , $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$		-750	$\mu\text{A}$
$I_{LI}$	Input Leakage Current (Port P1.0, P1.1)	$0 < V_{IN} < V_{CC}$		$\pm 10$	$\mu\text{A}$
$V_{OS}$	Comparator Input Offset Voltage	$V_{CC} = 5\text{V}$		20	mV
$V_{CM}$	Comparator Input Common Mode Voltage		0	$V_{CC}$	V
RRST	Reset Pulldown Resistor		50	300	K $\Omega$
$C_{IO}$	Pin Capacitance	Test Freq. = 1 MHz, $T_A = 25^\circ\text{C}$		10	pF
$I_{CC}$	Power Supply Current	Active Mode, 12 MHz, $V_{CC} = 6\text{V}/3\text{V}$		15/5.5	mA
		Idle Mode, 12 MHz, $V_{CC} = 6\text{V}/3\text{V}$ P1.0 & P1.1 = 0V or $V_{CC}$		5/1	mA
	Power Down Mode <sup>(2)</sup>	$V_{CC} = 6\text{V}$ P1.0 & P1.1 = 0V or $V_{CC}$		100	$\mu\text{A}$
		$V_{CC} = 3\text{V}$ P1.0 & P1.1 = 0V or $V_{CC}$		20	$\mu\text{A}$

- Notes: 1. Under steady state (non-transient) conditions,  $I_{OL}$  must be externally limited as follows:  
 Maximum  $I_{OL}$  per port pin: 20 mA  
 Maximum total  $I_{OL}$  for all output pins: 80 mA  
 If  $I_{OL}$  exceeds the test condition,  $V_{OL}$  may exceed the related specification. Pins are not guaranteed to sink current greater than the listed test conditions.
2. Minimum  $V_{CC}$  for Power Down is 2V.



## External Clock Drive Waveforms



## External Clock Drive

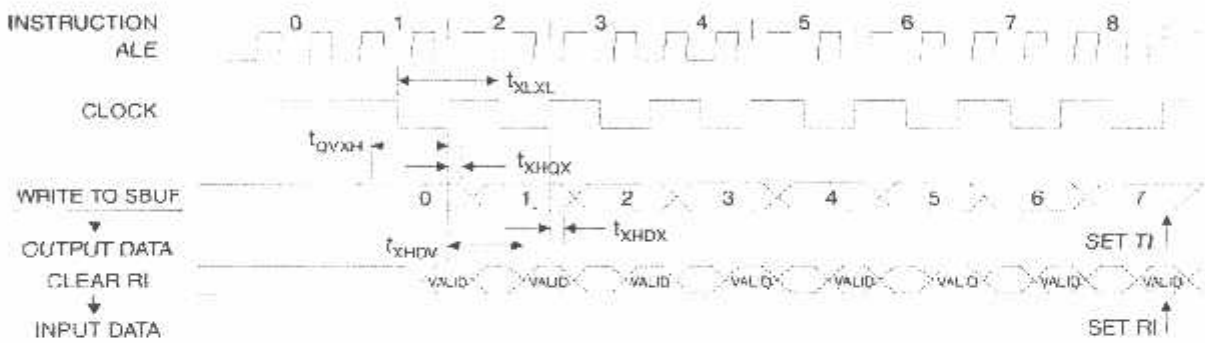
Symbol	Parameter	$V_{CC} = 2.7V \text{ to } 6.0V$		$V_{CC} = 4.0V \text{ to } 6.0V$		Units
		Min	Max	Min	Max	
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency	0	12	0	24	MHz
$t_{CLCL}$	Clock Period	83.3		41.6		ns
$t_{CHCX}$	High Time	30		15		ns
$t_{CLCX}$	Low Time	30		15		ns
$t_{CLCH}$	Rise Time		20		20	ns
$t_{CHCL}$	Fall Time		20		20	ns

**Serial Port Timing: Shift Register Mode Test Conditions**

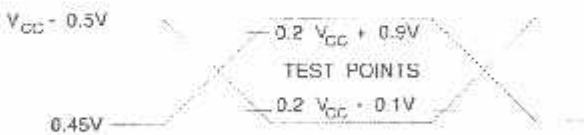
( $V_{CC} = 5.0V \pm 20\%$ ; Load Capacitance = 80 pF)

Symbol	Parameter	12 MHz Osc		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
$t_{XLXL}$	Serial Port Clock Cycle Time	1.0		$12t_{CLCL}$		$\mu s$
$t_{QVXH}$	Output Data Setup to Clock Rising Edge	700		$10t_{CLCL}-133$		ns
$t_{XHQX}$	Output Data Hold After Clock Rising Edge	50		$2t_{CLCL}-117$		ns
$t_{XHDX}$	Input Data Hold After Clock Rising Edge	0		0		ns
$t_{XHDX}$	Clock Rising Edge to Input Data Valid		700		$10t_{CLCL}-133$	ns

**Shift Register Mode Timing Waveforms**



**AC Testing Input/Output Waveforms<sup>(1)</sup>**



Note: 1. AC Inputs during testing are driven at  $V_{CC} - 0.5V$  for a logic 1 and 0.45V for a logic 0. Timing measurements are made at  $V_{IH}$  min. for a logic 1 and  $V_{IL}$  max. for a logic 0.

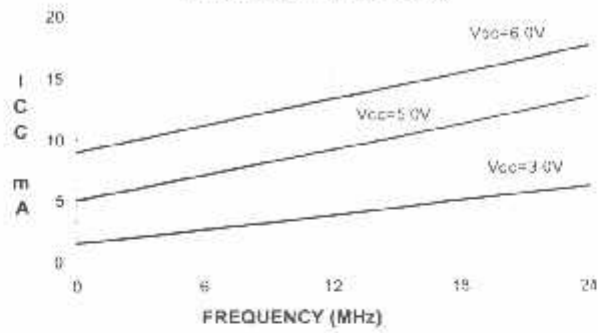
**Float Waveforms<sup>(1)</sup>**



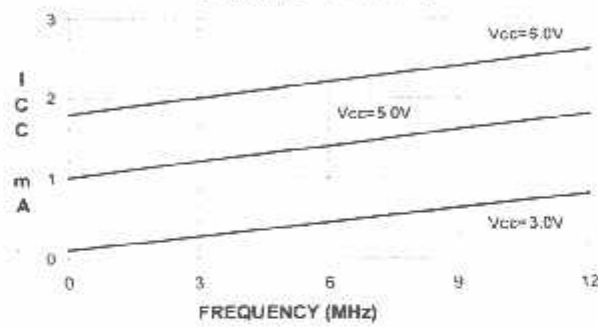
Note: 1. For timing purposes, a port pin is no longer floating when a 100 mV change from load voltage occurs. A port pin begins to float when 100 mV change from the loaded  $V_{OH}/V_{OL}$  level occurs.



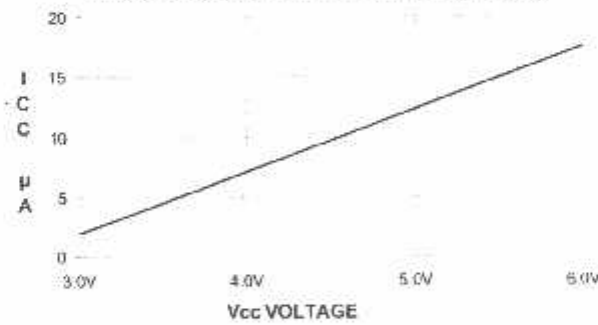
**AT89C2051**  
TYPICAL  $I_{CC}$  - ACTIVE (85°C)



**AT89C2051**  
TYPICAL  $I_{CC}$  - IDLE (85°C)



**AT89C2051**  
TYPICAL  $I_{CC}$  vs. VOLTAGE - POWER DOWN (85°C)



- Notes:
1. XTAL1 tied to GND for  $I_{CC}$  (power down)
  2. P1.0 and P1.1 =  $V_{CC}$  or GND
  3. Lock bits programmed

## Ordering Information

Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range
12	2.7V to 6.0V	AT89C2051-12PC	20P3	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C2051-12SC	20S	
		AT89C2051-12PI	20P3	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C2051-12SI	20S	
		AT89C2051-12PA	20P3	Automotive (-40°C to 105°C)
		AT89C2051-12SA	20S	
24	4.0V to 6.0V	AT89C2051-24PC	20P3	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C2051-24SC	20S	
		AT89C2051-24PI	20P3	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C2051-24SI	20S	

Package Type	
<b>20P3</b>	20 Lead, 0.300" Wide, Plastic Dual In-line Package (PDIP)
<b>20S</b>	20 Lead, 0.300" Wide, Plastic Gull Wing Small Outline (SOIC)

