

**RANCANG BANGUN ALAT PENGUKURAN SUHU  
RUANGAN BERBASIS *FUZZY LOGIC* DAN  
JARINGAN TCP/IP**

**SKRIPSI**

Oleh :

**Muhammad Ali Bahrudin  
NIM. 06550087**



**JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN)  
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG  
2013**

**RANCANG BANGUN ALAT PENGUKURAN SUHU  
RUANGAN BERBASIS *FUZZY LOGIC* DAN  
JARINGAN TCP/IP**

**SKRIPSI**

**Diajukan Kepada :  
Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri  
Maulana Malik Ibrahim Malang  
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam Memperoleh  
Gelar Sarjana Komputer (S.Kom.)**

**OLEH:  
MUHAMMAD ALI BAHRUDDIN  
NIM. 06550087**

**JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI  
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG  
2013**

## LEMBAR PERSETUJUAN

### RANCANG BANGUN ALAT PENGUKURAN SUHU RUANGAN BERBASIS *FUZZY LOGIC* DAN JARINGAN TCP/IP

#### SKRIPSI

Oleh:  
**Muhammad Ali Bahruddin**  
NIM. 06550087

Telah Disetujui Oleh :

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Totok Chamidy, M.Kom  
NIP.196912222006041001

Zainal Abidin, M.Kom  
NIP. 197606132005011004

Tanggal,

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Informatika

Ririen Kusumawati, M.Kom  
NIP.197203092005012002

**LEMBAR PENGESAHAN  
RANCANG BANGUN ALAT PENGUKURAN SUHU  
RUANGAN BERBASIS *FUZZY LOGIC* DAN  
JARINGAN TCP/IP**

**SKRIPSI**

Oleh:  
**M. ALI BAHRUDDIN**  
**NIM. 06550087**

Telah Di Pertahankan Di Depan Dewan Penguji Skripsi Dan Dinyatakan  
Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk Memperoleh Gelar  
Sarjan Komputer (S.Kom)

**Tanggal, 12 April 2013**

**Susunan Dewan Penguji :  
Tangan**

**Tanda**

1. Penguji Utama : Muhammad Faisal, M.T ( )  
NIP.197405102005011007
2. Ketua Penguji : A'la Syauqi, M.Kom ( )  
NIP.197712012008011007
3. Sekretaris Penguji : Totok Chamidy, M.Kom ( )  
NIP.196912222006041001
4. Anggota Penguji : Zainal Abidin, M.Kom ( )  
NIP. 197606132005011004

Mengetahui dan Mengesahkan  
**Ketua Jurusan Teknik Informatika**

Ririen Kusumawati, M.Kom  
NIP.197203092005012002

## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Segala puji hanya untuk Allah yang menguasai seluruh alam. Sholawat serta salam semoga tetap dicurahkan oleh Allah atas para Nabi dan Rasul, khususnya kepada Rasulullah -Muhammad dan para sahabat serta pengikutnya.

Secara sadar penulis mengakui, bahwa karena keterbatasan yang menyelimuti diri penulis, ditambah referensi dan pengalaman di dunia mikrokontroler yang kurang, dengan izin Allah melahirkan karya tulis ini dalam bentuk yang masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu segala tegur sapa dari pihak manapun sangat penulis harapkan untuk menutup semua cela dan kekurangan karya tulis ini.

Terselesaikannya penulisan karya ini tidak lepas dari jasa baik semua pihak, terutama kepada Ibu Ririen Kusumawati, M.Kom selaku Ketua Jurusan Teknik Informatika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang; Bapak Zainal Abidin, M.Kom selaku dosen wali dan inspirator saya dalam berinovasi dan berkreasi; khususnya kepada Bapak Totok Chamidy, M.Kom selaku Pembimbing I yang tetap sabar menghadapi kebodohan dan kekurangan saya ; dan teman – teman di PPAM yang selalu hadir dalam hidup saya, penulis mengucapkan *syukron katsiron, jazakumullah khaira jaza*.

Hanya kepada Allah SWT semua kembali, dan semoga amal baik mereka mendapatkan ridlo dari Allah SWT. Amien.

M. Ali Bahrudin

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>x</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xii</b>
<b>BAB I.....</b>	<b>13</b>
<b>PENDAHULUAN.....</b>	<b>13</b>
<b>1.1 Latar Belakang.....</b>	<b>13</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah .....</b>	<b>15</b>
<b>1.3 Batasan Masalah.....</b>	<b>16</b>
<b>1.4 Tujuan Penelitian.....</b>	<b>16</b>
<b>1.5 Manfaat Penelitian.....</b>	<b>16</b>
<b>1.6 Sistematika Pembahasan.....</b>	<b>16</b>
<b>BAB II .....</b>	<b>18</b>
<b>KAJIAN PUSTAKA .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 Suhu.....</b>	<b>18</b>
<b>2.2 Logika Fuzzy.....</b>	<b>19</b>
<b>2.2.1 Notasi Himpunan Fuzzy.....</b>	<b>19</b>
<b>2.2.2 Fungsi Keanggotaan .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2.3 Operator Dasar Zadeh.....</b>	<b>24</b>
<b>2.2.4 Operasi Himpunan Fuzzy .....</b>	<b>25</b>
<b>2.3 Jaringan .....</b>	<b>26</b>
<b>2.4 Modul TCP/IP .....</b>	<b>32</b>
<b>2.5 Mikrokontroler .....</b>	<b>34</b>
<b>2.5.1. Spesifikasi Mikrokontroler .....</b>	<b>36</b>
<b>2.6 Suhu Dalam Kajian Islam .....</b>	<b>43</b>
<b>BAB III.....</b>	<b>46</b>
<b>ANALISIS DAN PERANCANGAN SISTEM.....</b>	<b>46</b>
<b>3.1 Perancangan Perangkat Keras .....</b>	<b>46</b>
<b>3.1.1 Perancangan modul ATmega32/L dan Sensor LM35 .....</b>	<b>46</b>

3.1.2	Perancangan modul ATmega32/L dan TCP/IP .....	47
3.2	Perancangan Perangkat Lunak .....	48
3.2.1	Perangkat Lunak Mikrokontroler .....	48
3.2.2	Perancangan Perangkat Lunak di Desktop(PC) .....	51
3.2.3	Perancangan Operasi Logika Fuzzy .....	52
3.2.3.1.	Pendefinisian Variabel Fuzzy .....	52
3.2.3.2.	Implikasi <i>Fuzzy</i> .....	61
BAB IV	.....	<b>64</b>
HASIL DAN PEMBAHASAN	.....	<b>64</b>
4.1	Perangkat Keras .....	64
4.2	Perangkat Lunak .....	65
4.3	Sistem Kerja <i>Software</i> .....	65
4.4	Hasil uji coba .....	74
4.5.1.	Uji Coba Alat pengukur suhu dengan PC tanpa melalui <i>switch</i> .....	75
4.5.2.	Ujicoba Keakuratan Alat Pengukur Suhu .....	75
4.5.3.	Uji Coba Alat pengukur suhu melalui <i>switch hub</i> .....	76
4.5.4.	Uji Coba menggunakan jaringan wireless .....	77
Bab V	.....	<b>79</b>
Kesimpulan dan Saran	.....	<b>79</b>
5.1	Kesimpulan .....	79
5.2	Saran .....	79
DAFTAR PUSTAKA	.....	<b>81</b>
Lampiran – Lampiran	.....	<b>83</b>
Lampiran 1	.....	<b>83</b>
Dokumen ASHRAE	.....	<b>83</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Representasi Linier naik.....	22
Gambar 2. 2 Representasi Linier turun.....	22
Gambar 2. 4 representasi kurva segitiga.....	23
Gambar 2. 3 Representasi kurva segitiga.....	23
Gambar 2. 5 representasi kurva S naik.....	24
Gambar 2. 6 representasi krva S turun.....	24
Gambar 2. 7 kurva bentuk lonceng.....	25
Gambar 2. 8 Block Diagram Mikrokontroler.....	39
Gambar 2. 9 Konfigurasi Pin ATMega32.....	44
Gambar 2. 10 Konfigurasi Oscilator.....	44
Gambar 2. 11 Memory Lock Bits.....	45
Gambar 3. 1 rangkaian minimum system ATMega32/L dan LM35.....	51
Gambar 3. 2 rangkaian modul ATMega32/L dan Modul NM7010A Starter Kit..	52
Gambar 3. 3 Flowchart perangkat lunak mikrokontroler ATMega32/L.....	55
Gambar 3. 4 Interface dari perangkat lunak di PC.....	56
Gambar 3. 5 Representasi Anggota himpunan untuk variabel SUHU.....	61
Gambar 3. 6 Representasi Anggota himpunan untuk variabel KIPAS.....	66
Gambar 4. 3 Akses alamat IP mikrokontroler.....	77
Gambar 4. 4 Flowchart pada aplikasi di desktop.....	78
Gambar 4. 5 Perangkat lunak di PC yang menampilkan nilai suhu beserta grafiknya.....	80

## DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 hasil pengambilan nilai suhu tanpa melalui swith ( <i>peer to peer</i> ).....	81
Tabel 4. 2 pengambilan suhu dengan sensor dan termometer digital.....	82
Tabel 4. 3 hasil pengambilan nilai suhu melalui swith .....	83
Tabel 4. 4 Hasil pengukuran suhu ruang server dari lantai 1, 2, 3, dan 4 gedung Fakultas SAINTEK.....	84
Tabel 4. 5 perbedaan suhu ketika ruang <i>server</i> kosong dan ketika ada staf .....	85



## ABSTRAK

Bahrudin, M. Ali, 2013, **RANCANG BANGUN ALAT PENGUKURAN SUHU RUANGAN BERBASIS FUZZY LOGIC DAN JARINGAN TCP/IP**. Tugas akhir/skripsi. Jurusan Teknik Informatika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing : (I) Totok Chamidy M.Kom.(II) Zainal Abidin M.Kom.

*Kata kunci: alat pengukur suhu, jaringan TCP/IP, fuzzy logic*

Pengukuran dan monitoring parameter fisik adalah pekerjaan yang sering dilakukan oleh manusia. Pengukuran merupakan kegiatan yang bertujuan untuk mengetahui kondisi fisik yang dimiliki suatu objek. Monitoring merupakan suatu kegiatan yang bertujuan mengamati dan mengawasi segala bentuk perubahan kondisi fisik suatu objek. Pengukuran kondisi suhu suatu lingkungan sangat bermanfaat bagi manusia, seperti dibidang kesehatan, teknologi, dan industri. Berbagai metode pengukuran jarak jauh dapat dilakukan, salah satunya dengan menggunakan protokol TCP/IP. Dengan memanfaatkan modul *network embedded* dan mikrokontroler, sensor suhu dapat difungsikan sebagai sistem terpisah dari komputer server, dan tidak membebani komputer server. Pengukuran suhu dengan tujuan menjaga kondisi sebuah ruang, dibutuhkan pengambilan keputusan ketika muncul kondisi ruang yang tidak sesuai dengan parameter yang ditentukan. Pada penelitian ini untuk membantu kendali kontrol suhu ruangan, digunakan logika fuzzy

## ABSTRACT

Bahrudin, M. Ali, 2013, **DESIGN TOOL ROOM TEMPERATURE MEASUREMENTS BASED ON FUZZY LOGIC AND NETWORKING TCP / IP**. Thesis. Informatical Engineering Programme Faculty of Science and Technology The State of Islamic University Maulana Malik Ibrahim Malang.

Promotor: (I) Totok Chamidy M.Kom.

(II) Zainal Abidin, M. Kom.

Measurement and monitoring of physical parameters in occupation is often done by humans. Measurement is an activity that aims to determine the physical condition of an object owned. Monitoring is an activity aimed at something for overseeing and monitoring all forms of physical state changes of an object. Environmental conditions of a temperature measurement is very useful for humans, such as the fields of health, technology, and industry. Various methods of measuring distance can be done, one of them by using TCP / IP. By leveraging the network modules and embedded microcontroller, the temperature sensor can be used as a separate system from the server computer, and do not overload the server computer. Temperature measurements with the aim of maintaining the condition of a room, it takes decision-making when it comes up a condition that does not comply with the specified parameters. In this research, to help control the room temperature control, use fuzzy logic.

Keywords: Temperature gauge, TCP / IP network, fuzzy logic

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Pengukuran dan monitoring parameter fisik adalah pekerjaan yang sering dilakukan oleh manusia. Pengukuran merupakan kegiatan yang bertujuan untuk mengetahui kondisi fisik yang dimiliki suatu objek. Monitoring merupakan suatu kegiatan yang bertujuan mengamati dan mengawasi segala bentuk perubahan kondisi fisik suatu objek.

Banyak macam kondisi fisik suatu objek, salah satunya adalah suhu. Suhu merupakan nilai fisik yang menunjukkan panas dan dingin dalam skala angka, suhu menunjukkan ukuran energi *thermal* suatu benda atau radiasi. Dalam Al Quran, setiap gejala fisik di alam mengikuti hukum hukum yang telah ditetapkan Allah baginya, sebagaimana yang disebut dalam surat arra'du ayat 15 berikut,

وَلِلَّهِ يَسْجُدُ مَنْ فِي السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ طَوْعًا وَكَرْهًا وَظُلْمًا بِالْغُدُوِّ وَالْآصَالِ

“ Hanya kepada Allah lah tunduk/patuh segala apa yang ada dilangit dan di bumi baik atas kesadarannya sendiri ataupun karena terpaksa, (dan sujud pula) bayang-bayangnya diwaktu pagi dan petang” (ar Raad :15)

Begitu juga besaran fisik yang dimiliki oleh suhu, Allah telah menetapkan ukuran ukuran setiap ciptaan bagi tiap makhluknya. Sebagaiman disebut dalam surat Al Furqon ayat 2

الَّذِي لَهُ مُلْكُ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ وَلَمْ يَتَّخِذْ وَلَدًا وَلَمْ يَكُنْ لَهُ شَرِيكٌ فِي الْمُلْكِ وَخَلَقَ كُلَّ شَيْءٍ فَقَدَرَهُ تَقْدِيرًا

“**Yang** memiliki kerajaan langit dan bumi, tidak mempunyai anak, tidak ada sekutu bagi-Nya dalam kekuasaan-Nya, dan Dia menciptakan segala sesuatu, lalu menetapkan ukuran – ukurannya dengan tepat ”

Pengukuran kondisi suhu suatu lingkungan sangat bermanfaat bagi manusia, seperti dibidang kesehatan, teknologi, dan industri. Dalam bidang kesehatan, pengukuran suhu digunakan untuk dalam pengoperasian ruang penyimpanan obat, ataupun pengoperasian ruang steril di rumah sakit. Sedangkan dalam bidang teknologi, pengukuran suhu dimanfaatkan, salah satunya untuk pengoperasian ruang *server*. Dan dalam bidang industri, pengukuran suhu biasanya digunakan dalam pergudangan atau ruang penyimpanan, salah satu contohnya, ruang penyimpanan ikan atau daging.

Pengukuran dan keterjagaan suhu yang dibutuhkan sebuah lingkungan terkait dengan isi dari lingkungan tersebut. Sebagai contoh, pada ruang penyimpanan ikan, berdasarkan dokumen terbitan FAO, suhu dalam ruang penyimpanan ikan berpengaruh pada usia keawetan ikan selama penyimpanan, atau pada ruang *server*, ASHRAE menerbitkan standar suhu bagi ruang *server* untuk menjaga keandalan, konsumsi energi dan performa peralatan IT di dalam ruang *server*, yang berkisar pada suhu 18<sup>0</sup>C - 27<sup>0</sup>C.

Untuk menjaga kondisi suhu, pengukuran terhadap kondisi suhu ruangan terus dilakukan. Namun terdapat ruangan yang suhu didalamnya sering mengalami perubahan karena peralatan di dalamnya, seperti pada ruang *server*, ketika beban kerja peralatan IT di dalam ruang *server* meningkat, suhu peralatan tersebut akan naik, dan akan berpengaruh pada suhu ruangan. Dalam keadaan tersebut diperlukan pengukuran dan pemantauan suhu secara terus menerus selama ruangan beroperasi. Namun, kegiatan pengukuran dan pemantauan tersebut memiliki beberapa keterbatasan, diantaranya, faktor keamanan, yaitu terbatasnya akses masuk kedalam ruang *server*, dalam prosedur keamanan yang diterbitkan lembaga NIST disebutkan, hanya petugas yang berwenang yang dapat memasuki ruang *server*, dan

keharusan ruang *server* tetap terkunci kecuali terdapat prosedur spesifik yang mengatur pintu ruang *server* boleh terbuka.

Sebagai solusi untuk keterbatasan tersebut, dilakukan pengukuran dan pemantauan yang dapat dilakukan dari luar ruang *server*. Dengan pengukuran yang dilakukan dari luar ruangan, maka pemantauan suhu ruang *server* dapat dilakukan secara terus menerus tanpa harus memasuki ruang *server*. Berbagai metode pengukuran jarak jauh dapat dilakukan, salah satunya dengan menggunakan protokol TCP/IP. Dengan memanfaatkan modul network *embedded* dan mikrokontroler, sensor suhu dapat difungsikan sebagai sistem terpisah dari komputer *server*, dan tidak membebani komputer *server*.

Pemanfaatan protokol TCP/IP memudahkan pemantauan suhu dilakukan dalam suatu jaringan, dimana mikrokontroler dan sensor suhu berfungsi sebagai *server* dan bersifat *embedded*. Selain melakukan pemantauan suhu ruang *server*, untuk menjaga kondisi suhu diperlukan pula pengontrolan suhu ruang *server* tanpa mengganggu prosedur keamanan ruang *server*. Pada masa kini, telah banyak berkembang sistem kontrol untuk mengatur mesin pendingin ruang *server*. Banyak metode digunakan untuk mengatur kinerja mesin pendingin ruang, salah satunya menggunakan metode logika *fuzzy*. Logika ini dapat membantu memproses nilai masukan, yang berupa hasil pengamatan suhu, untuk mengendalikan mesin pendingin dengan menghasilkan nilai keluaran berupa kecepatan putaran kipas pendingin.

Pada penelitian ini, protokol TCP/IP dan logika *fuzzy* akan digunakan untuk pembuatan alat pemantauan suhu ruangan, sehingga dapat dibuat alat pemantau suhu dari jarak jauh.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang di atas, maka rumusan masalah untuk penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Bagaimana mengkomunikasikan modul mikrokontroler dan suhu dengan PC melalui jaringan TCP/IP
- Bagaimana pemrosesan nilai pemantauan suhu dengan logika *fuzzy*

### 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Penelitian ini menggunakan satu sensor suhu
- Perangkat yang dibuat sebatas pengiriman data suhu ke komputer
- Parameter pengukuran yang digunakan berdasarkan standar suhu ruang *server/data center* yang dikeluarkan oleh ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) yaitu  $18^{\circ}\text{C} - 27^{\circ}\text{C}$ .
- Logika *fuzzy* digunakan untuk memproses masukan nilai suhu dan menghasilkan *output* berupa perkiraan kecepatan rotasi kipas pendingin yang sesuai nilai suhu.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

- Membangun alat pengukuran suhu ruangan menggunakan logika *fuzzy* dan memanfaatkan jaringan TCP/IP

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain :

- Kemudahan pemantauan dan pengukuran suhu dari jarak jauh dengan memanfaatkan jaringan TCP/IP
- Kemudahan pemantauan dan pengukuran suhu pada ruangan yang memiliki batasan untuk didatangi manusia tetapi membutuhkan kondisi suhu yang harus selalu terpantau

## 1.6 Sistematika Pembahasan

Sistematika penulisan penelitian ini dibagi menjadi 5 bab, yakni:

### - BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang pemilihan judul Rancang Bangun Sistem Pengukuran Suhu Ruangan Berbasis *Fuzzy Logic* dan Jaringan TCP/IP, didalamnya terdapat rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

### - BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini dibahas teori – teori yang menjadi acuan dalam pembuatan analisa dan pemecahan dari permasalahan yang dibahas, sehingga memudahkan penulis dalam menyelesaikan masalah.

### - BAB III ANALISIS DAN PERANCANGAN SISTEM

Pada bab ini dijelaskan mengenai tahapan – tahapan yang dilalui dalam penyelesaian tugas akhir, diawali tahap perencanaan, desain dan perancangan sistem pengukuran suhu ruangan menggunakan logika *fuzzy* dan jaringan TCP/IP.

### - BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan berisi tentang deskripsi program, cara pemakaian aplikasi, datasheet rangkaian dan beberapa fungsi algoritma yang menjelaskan proses pengolahan data yang dijelaskan dengan gambar.

### - BAB V PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan yang diambil dari pembahasan pembuatan sistem pengukuran suhu ruangan dan saran untuk pengembangan.

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 Suhu

Suhu menunjukkan derajat panas benda. Mudahnya, semakin tinggi suhu suatu benda, semakin panas benda tersebut. Secara mikroskopis, suhu menunjukkan energi yang dimiliki oleh suatu benda. Setiap atom dalam suatu benda masing-masing bergerak, baik itu dalam bentuk perpindahan maupun gerakan di tempat berupa getaran. Makin tingginya energi atom-atom penyusun benda, makin tinggi suhu benda tersebut.

Suhu adalah besaran yang menyatakan derajat panas dingin suatu benda dan alat yang digunakan untuk mengukur suhu adalah thermometer. Dalam kehidupan sehari-hari masyarakat untuk mengukur suhu cenderung menggunakan indera peraba. Tetapi dengan adanya perkembangan teknologi maka diciptakanlah termometer untuk mengukur suhu dengan valid.

Pada abad 17 terdapat 30 jenis skala yang membuat para ilmuwan kebingungan. Hal ini memberikan inspirasi pada *Anders Celcius* (1701 – 1744) sehingga pada tahun 1742 dia memperkenalkan skala yang digunakan sebagai pedoman pengukuran suhu. Skala ini diberi nama sesuai dengan namanya yaitu Skala Celcius. Apabila benda didinginkan terus maka suhunya akan semakin dingin dan partikelnya akan berhenti bergerak, kondisi ini disebut kondisi nol mutlak. Skala Celcius tidak bisa menjawab masalah ini maka *Lord Kelvin* (1842 – 1907) menawarkan skala baru yang diberi nama Kelvin. Skala kelvin dimulai dari 273 K ketika air membeku dan 373 K ketika air mendidih. Sehingga nol mutlak sama dengan 0 K atau  $-273^{\circ}\text{C}$ . Selain skala tersebut ada juga skala Reamur dan Fahrenheit. Untuk skala

Reamur air membeku pada suhu  $0^{\circ}\text{R}$  dan mendidih pada suhu  $80^{\circ}\text{R}$  sedangkan pada skala Fahrenheit air membeku pada suhu  $32^{\circ}\text{F}$  dan mendidih pada suhu  $212^{\circ}\text{F}$ .

## 2.2 Logika Fuzzy

Pada teori himpunan klasik, suatu variabel hanya mempunyai dua kemungkinan, menjadi anggota himpunan atau tidak menjadi anggota himpunan. Dalam teori himpunan crisp batasan – batasan antara anggota himpunan dan bukan anggota himpunan jelas sekali. Logika *Fuzzy* merupakan suatu logika yang memiliki nilai kekaburan atau kesamaran (*fuzzyness*) antara benar atau salah. Dalam teori logika *fuzzy* suatu nilai bias bernilai benar atau salah secara bersama, namun berapa besar keberadaan dan kesalahan suatu tergantung pada bobot keanggotaan yang dimilikinya. Logika *fuzzy* memiliki derajat keanggotaan dalam rentang 0 hingga 1.

Didalam himpunan *fuzzy* terdapat perbedaan dengan himpunan klasik. Himpunan *fuzzy* merupakan perluasan dari himpunan klasik, sehingga dalam himpunan *fuzzy* terdapat beberapa kemungkinan atau beberapa nilai (*multivalued logic*), bukan hanya 2 kemungkinan atau nilai seperti pada himpunan klasik (George and Bo, 1995). Saat ini logika *fuzzy* telah berhasil menerobos kendala-kendala yang dulu pernah ditemui dan segera menjadi basis teknologi tinggi. Penerapan teori logika ini dianggap mampu menciptakan sebuah revolusi dalam teknologi. Sebagai contoh, mulai tahun 90-an para manufaktur industri yang bergerak di bidang *Distributed Control Sistem (DCSs)*, *Proramnable Logic Control (PLCs)*, dan *Microcontrollers (MCUs)* telah menyatukan sistem logika *fuzzy* pada barang produksi mereka dan memiliki prospek ekonomi yang baik.

### 2.2.1 Notasi Himpunan Fuzzy

Misalkan  $U$  adalah kumpulan objek yang secara umum dinyatakan dengan  $\{u\}$ .  $U$  disebut semesta pembicaraan dan  $u$  mewakili elemen-elemen dari  $U$ . Suatu himpunan *fuzzy*  $F$  dalam semesta pembicaraan  $U$  dapat direpresentasikan oleh suatu fungsi keanggotaan (membership function)  $\mu_F$  yang mewakili nilai dalam interval  $[0,1]$  untuk tiap  $u$  dalam  $U$  dinyatakan sebagai  $\mu_F : U \rightarrow [0,1]$ . Himpunan *fuzzy* dalam  $U$  biasanya dinyatakan sebagai himpunan pasangan berurutan  $u$  dan derajat keanggotaan,

$$F = \{(u, \mu_F(u)) \mid u \in U\} \dots \dots \dots (2.1)$$

Jika  $U$  kontinyu, himpunan  $F$  dapat ditulis :

$$F = \int_U \frac{\mu_F(u)}{u} \dots \dots \dots (2.2)$$

Jika  $U$  diskrit, himpunan  $F$  dapat ditulis :

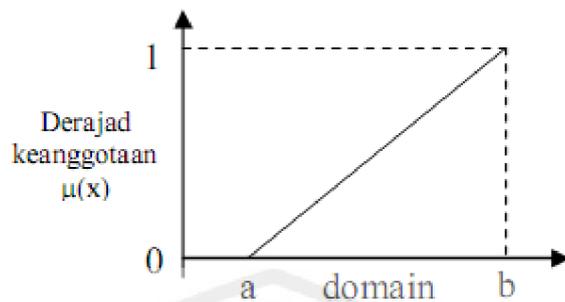
$$F = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_F(u_i)}{u_i} \dots \dots \dots (2.3)$$

### 2.2.2 Fungsi Keanggotaan

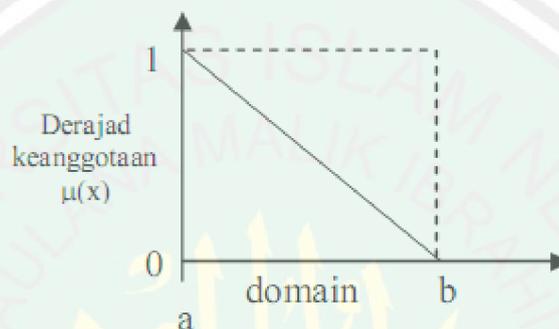
Fungsi keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik *input* data ke dalam nilai keanggotaannya yang memiliki interval antara 0 sampai 1. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi. Ada beberapa fungsi yang dapat digunakan, yaitu:

#### a. Representasi Linier

Ada dua keadaan himpunan *fuzzy* linier. Pertama kenaikan himpunan dimulai pada nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan nol (0) bergerak ke kanan menuju ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih tinggi (Gambar 2.1). Kedua, merupakan kebalikan dari yang pertama. Garis lurus dimulai dari nilai tertinggi kemudian bergerak turun ke nilai yang lebih rendah (Gambar 2.2)



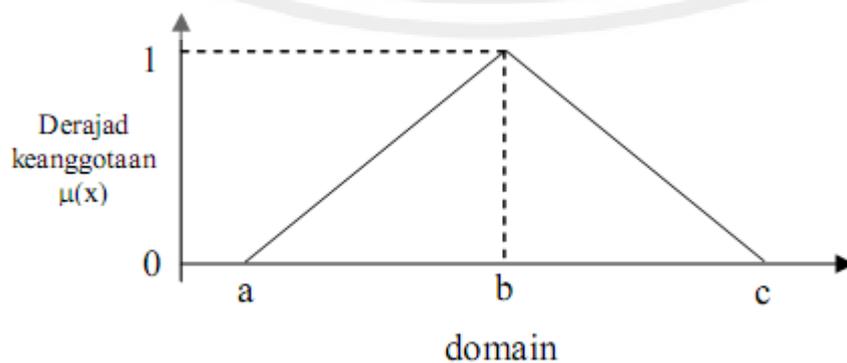
Gambar 2. 1 Representasi Linier naik



Gambar 2. 2 Representasi Linier turun

## b. Representasi kurva segitiga

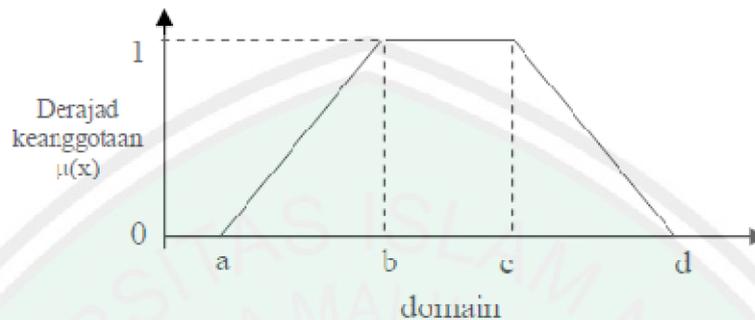
Kurva segitiga pada dasarnya merupakan gabungan antara dua garis(linier) seperti pada gambar 2.3



Gambar 2. 3 Representasi kurva segitiga

c. Representasi Kurva Segitiga

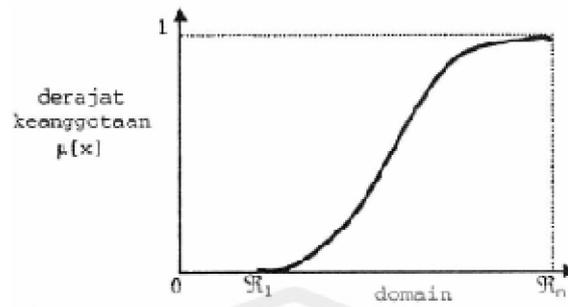
Kurva segitiga pada dasarnya seperti bentuk segitiga hanya saja ada beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan 1 (Gambar 2.4)



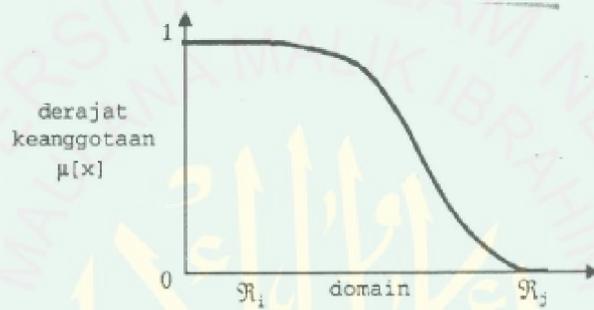
Gambar 2. 4 representasi kurva segitiga

d. Representasi Kurva-S

Kurva-S atau *sigmoid* berhubungan dengan kenaikan dan penurunan secara tak linear. Kurva PERTUMBUHAN dan PENYUSUTAN merupakan kurva-S. Kurva-S untuk PERTUMBUHAN akan bergerak dari sisi paling kiri (nilai keanggotaan = 0) ke sisi paling kanan (nilai keanggotaan = 1) seperti pada Gambar 2.5. Sedangkan Kurva-S PENYUSUTAN akan bergerak dari sisi paling kanan (nilai keanggotaan = 1) ke sisi paling kiri (nilai keanggotaan = 0) seperti terlihat pada Gambar 2.6



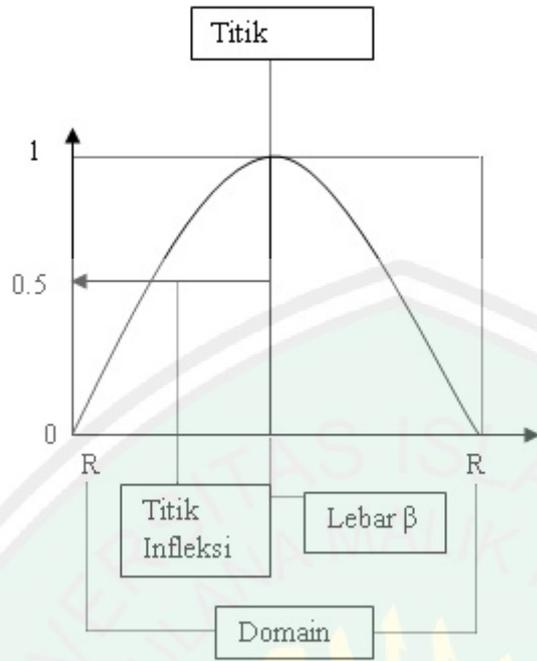
Gambar 2. 5 representasi kurva S naik



Gambar 2. 6 representasi kurva S turun

e. Representasi Kurva Bentuk Lonceng

Gambar 2.8 menunjukkan kurva bentuk lonceng (*bell curve*). Kurva bentuk lonceng ini terbagi atas tiga kelas, yaitu: kurva PI, beta, dan Gauss.



Gambar 2. 7 kurva bentuk lonceng

### 2.2.3 Operator Dasar Zadeh

Seperti halnya himpunan konvensional, ada beberapa operasi yang didefinisikan secara khusus untuk mengkombinasi dan memodifikasi himpunan *fuzzy*. Nilai keanggotaan sebagai hasil dari operasi 2 himpunan sering dikenal dengan nama *fire strength* atau  $\alpha$ -predikat. Ada 3 operator dasar yang diciptakan oleh Zadeh, yaitu:

a. Operator AND

Operator ini berhubungan dengan operasi interseksi pada himpunan.  $\alpha$ -predikat sebagai hasil operasi dengan operator AND diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terkecil antar elemen pada himpunan-himpunan yang bersangkutan.

$$\mu_{A \cap B} = \min(\mu_A(x), \mu_B(y)) \dots \dots \dots (2.4)$$

b. Operator OR

Operator ini berhubungan dengan operasi union pada himpunan.  $\alpha$ -predikat sebagai hasil operasi dengan operator OR diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terbesar antar elemen pada himpunan-himpunan yang bersangkutan.

$$\mu_{A \cup B} = \max(\mu_A(x), \mu_B(y)) \dots \dots \dots (2.5)$$

c. Operator NOT

Operator ini berhubungan dengan operasi komplemen pada himpunan.  $\alpha$ -predikat sebagai hasil operasi dengan operator NOT diperoleh dengan mengurangi nilai keanggotaan elemen pada himpunan yang bersangkutan dari 1.

$$\mu_{A'} = 1 - \mu_A(x) \dots \dots \dots (2.6)$$

**2.2.4 Operasi Himpunan Fuzzy**

Jika A dan B adalah dua buah himpunan Fuzzy dalam semesta pembicaraan U dengan fungsi keanggotaan  $\mu_A(u)$  dan  $\mu_B(u)$ , maka pada kedua himpunan Fuzzy tersebut dapat berlaku operasi :

a. Kesamaan (*equality*)

Dua buah himpunan Fuzzy A dan B dapat dinyatakan sama jika :

$$\mu_A(u) = \mu_B(u) ; \text{ untuk semua } u \in U \dots \dots \dots (2.7)$$

b. Gabungan (*union*)

Fungsi keanggotaan dari gabungan dua buah himpunan Fuzzy A dan B,  $\mu_{A \cup B}$ , dapat dinyatakan sebagai :

$$\mu_{A \cup B}(u) = \max\{\mu_A(u), \mu_B(u)\}; \text{ untuk semua } u \in U \dots \dots \dots (2.8)$$

c. Irisan (*intersection*)

Fungsi keanggotaan dari irisan dua buah himpunan Fuzzy A dan B,  $\mu_{A \cap B}$ , dapat dinyatakan sebagai :

$$\mu_{A \cap B}(u) = \min\{\mu_A(u), \mu_B(u)\}; \text{ untuk semua } u \in U \dots \dots \dots (2.9)$$

d. Komplemen (*complement*)

Fungsi keanggotaan dari komplemen himpunan Fuzzy A,  $\mu_{\bar{A}}$ , dapat dinyatakan sebagai :

$$\mu_{\bar{A}}(u) = 1 - \mu_A(u); \text{ untuk semua } u \in U \dots \dots \dots (2.10)$$

### 2.3 Jaringan

Struktur TCP/IP dikembangkan oleh DARPA (US Defense Advanced Research Project Agency) untuk paket-paket yang dikirim melalui jaringan ARPANET. TCP/IP digunakan sebagai protokol dalam jaringan internet. Hampir sama dengan model OSI, TCP/IP juga dibagi – bagi menjadi beberapa lapis protokol yang bertingkat. TCP/IP merupakan protokol standar secara *de facto* (Sutanta, 2005). Operasi dalam protokol TCP/IP adalah memindahkan PDU sebagai data yang dialirkan dari satu sistem ke sistem lainnya dalam jaringan sebagai paket – paket data.

Konsep jaringan komputer muncul pertama kali di Amerika Serikat sebagai proyek pengembangan komputer MODEL I, di laboratorium Bell dan kelompok riset universitas Harvard yang dipimpin oleh Professor H. Aiken. Pada akhir tahun 1950, berkembang konsep distribusi proses pada super komputer yang didasarkan pada waktu. Hal ini merupakan awal

aplikasi dan terbentuknya jaringan komputer. Ada beberapa alasan perlunya jaringan, antara lain:

- a. Transaksi sering terjadi pada tempat berbeda yang berjauhan dari tempat pengolahan data, sehingga data perlu dikirim ke tempat pengolahan data
- b. Penggunaan teknologi komunikasi yang didukung komputer seringkali lebih efisien.
- c. Pembagian pengolahan data
- d. Penghematan biaya perangkat keras(Sutanta,2005).

Jaringan akan muncul ketika ada 2 atau lebih peralatan komunikasi data digunakan untuk menghubungkan data. “pertukaran informasi antar proses yang berjalan pada dua stasiun berbeda yang terhubung melalui LAN mungkin dapat disebut sebagai interaksi klien/server. Penyebutan klien dan server menjelaskan fungsi utama stasiun dalam jaringan. Proses meminta akses terhadap suatu berkas disebut sebagai *client*, sedangkan proses yang mendukung akses terhadap suatu berkas disebut sebagai *server*(Keiser,2002).

Dalam jaringan dikenal 2 model protokol yang populer, yaitu OSI dan TCP/IP. Struktur protokol model TCP/IP terbagi dalam 4 lapisan protokol, yaitu sebagai berikut:

a. *Application Layer*

Pada layer ini terletak semua aplikasi yang menggunakan TCP/IP. Lapisan ini melayani permintaan *user* untuk mengirim dan menerima data. Contoh layanan yang diberikan adalah HTTP, FTP, dan SMTP.

b. *Transport Layer*

Berisi protokol yang bertanggung jawab untuk mengadakan komunikasi antara dua *host*. Protokol tersebut adalah TCP(*Transmission Control Protocol*) dan UDP(*User Datagram Protocol*). Secara khusus TCP bertanggung jawab untuk memverifikasi

pengiriman yang benar data dari klien ke *server*. dalam jaringan Data dapat hilang, TCP menambahkan dukungan untuk mendeteksi kesalahan atau hilangnya data dan untuk memicu transmisi ulang sampai data diterima dengan benar dan lengkap.

c. *Network Layer*

Protokol yang berada pada lapisan ini bertanggung jawab dalam proses paket ke alamat yang tepat. Pada lapisan ini terdapat tiga macam protocol, yaitu IP, ARP, dan ICMP.

d. *Physical Layer*

Protokol ini bertanggung jawab mengirim dan menerima data dari dan ke media fisik. Protokol pada lapisan ini harus mampu menterjemahkan sinyal listrik menjadi data digital yang dapat dimengerti masing – masing *host* yang berasal dari peralatan.

Ethernet merupakan salah satu jenis teknologi jaringan komputer untuk LAN(*Local Area Network*), yang secara komersial diperkenalkan pada tahun 1980. Distandarkan dalam IEEE 802.3, *Ethernet* menggantikan teknologi pengkabelan jaringan secara besar – besaran.

Ethernet merupakan jenis skenario perkabelan dan pemrosesan sinyal untuk data jaringan komputer yang dikembangkan oleh Robert Metcalfe dan David Boggs di *Xerox Palo Alto Research Center* (PARC) pada tahun 1972.

Versi awal Xerox Ethernet dikeluarkan pada tahun 1975 dan di desain untuk menyambungkan 100 komputer pada kecepatan 2,94 megabit per detik melalui kabel sepanjang satu kilometer.

Desain tersebut menjadi sedemikian sukses di masa itu sehingga Xerox, Intel dan *Digital Equipment Corporation* (DEC) mengeluarkan standar Ethernet 10Mbps yang banyak digunakan pada jaringan komputer saat ini. Selain itu, terdapat standar Ethernet dengan kecepatan 100Mbps yang dikenal sebagai Fast Ethernet.

Asal Ethernet bermula dari sebuah pengembangan WAN di University of Hawaii pada akhir tahun 1960 yang dikenal dengan nama "ALOHA". Universitas tersebut memiliki daerah geografis kampus yang luas dan berkeinginan untuk menghubungkan komputer-komputer yang tersebar di kampus tersebut menjadi sebuah jaringan komputer kampus.

Proses standarisasi teknologi Ethernet akhirnya disetujui pada tahun 1985 oleh Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), dengan sebuah standar yang dikenal dengan Project 802. Standar IEEE selanjutnya diadopsi oleh International Organization for Standardization (ISO), sehingga menjadikannya sebuah standar internasional dan mendunia yang ditujukan untuk membentuk jaringan komputer. Karena kesederhanaan dan keandalannya, Ethernet pun dapat bertahan hingga saat ini, dan bahkan menjadi arsitektur jaringan yang paling banyak digunakan.

Jika dilihat dari kecepatannya, Ethernet terbagi menjadi empat jenis, yakni sebagai berikut:

- a. 10 Mbit/detik, yang sering disebut sebagai Ethernet saja (standar yang digunakan: 10Base2, 10Base5, 10BaseT, 10BaseF)
- b. 100 Mbit/detik, yang sering disebut sebagai Fast Ethernet (standar yang digunakan: 100BaseFX, 100BaseT, 100BaseT4, 100BaseTX)
- c. 1000 Mbit/detik atau 1 Gbit/detik, yang sering disebut sebagai Gigabit Ethernet (standar yang digunakan: 1000BaseCX, 1000BaseLX, 1000BaseSX, 1000BaseT).
- d. 10000 Mbit/detik atau 10 Gbit/detik. Standar ini belum banyak diimplementasikan.

Spesifikasi Ethernet mendefinisikan fungsi-fungsi yang terjadi pada lapisan fisik dan lapisan data-link dalam model referensi jaringan tujuh lapis OSI, dan cara pembuatan paket data ke dalam *frame* sebelum ditransmisikan di atas kabel.

Ethernet merupakan sebuah teknologi jaringan yang menggunakan metode transmisi Baseband yang mengirim sinyalnya secara serial 1 bit pada satu waktu. Ethernet beroperasi dalam modus *half-duplex*, yang berarti setiap *station* dapat menerima atau mengirim data tapi tidak dapat melakukan keduanya secara sekaligus. Fast Ethernet serta Gigabit Ethernet dapat bekerja dalam modus *full-duplex* atau *half-duplex*.

Ethernet menggunakan metode kontrol akses media *Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection* untuk menentukan *station* mana yang dapat mentransmisikan data pada waktu tertentu melalui media yang digunakan. Dalam jaringan yang menggunakan teknologi Ethernet, setiap komputer akan "mendengar" terlebih dahulu sebelum "berbicara", artinya mereka akan melihat kondisi jaringan apakah tidak ada komputer lain yang sedang mentransmisikan data. Jika tidak ada komputer yang sedang mentransmisikan data, maka setiap komputer yang mau mengirimkan data dapat mencoba untuk mengambil alih jaringan untuk mentransmisikan sinyal. Sehingga, dapat dikatakan bahwa jaringan yang menggunakan teknologi Ethernet adalah jaringan yang dibuat berdasarkan basis First-Come, First-Served, daripada melimpahkan kontrol sinyal kepada Master Station seperti dalam teknologi jaringan lainnya.

Jika dua *station* hendak mencoba untuk mentransmisikan data pada waktu yang sama, maka kemungkinan akan terjadi *collision* (kolisi/tabrakan), yang akan mengakibatkan dua *station* tersebut menghentikan transmisi data, sebelum akhirnya mencoba untuk mengirimkannya lagi pada interval waktu yang acak (yang diukur dengan satuan milidetik). Semakin banyak *station* dalam sebuah jaringan Ethernet, akan mengakibatkan jumlah kolisi

yang semakin besar pula dan kinerja jaringan pun akan menjadi buruk. Kinerja Ethernet yang seharusnya 10 Mbit/detik, jika dalam jaringan terpasang 100 node, umumnya hanya menghasilkan kinerja yang berkisar antara 40% hingga 55% dari bandwidth yang diharapkan (10 Mbit/detik). Salah satu cara untuk menghadapi masalah ini adalah dengan menggunakan *Switch Ethernet* untuk melakukan segmentasi terhadap jaringan Ethernet ke dalam beberapa collision domain.

Ethernet mentransmisikan data melalui kabel jaringan dalam bentuk paket-paket data yang disebut dengan *Ethernet Frame*. Sebuah *Ethernet frame* memiliki ukuran minimum 64 byte, dan maksimum 1518 byte dengan 18 byte di antaranya digunakan sebagai informasi mengenai alamat sumber, alamat tujuan, protokol jaringan yang digunakan, dan beberapa informasi lainnya yang disimpan dalam *header* serta *trailer (footer)*. Dengan kata lain, maksimum jumlah data yang dapat ditransmisikan (*payload*) dalam satu buah frame adalah 1500 byte.

Ethernet menggunakan beberapa metode untuk melakukan enkapsulasi paket data menjadi Ethernet frame, yakni sebagai berikut:

1. Ethernet II (yang digunakan untuk TCP/IP)
2. Ethernet 802.3 (atau dikenal sebagai Raw 802.3 dalam sistem jaringan Novell, dan digunakan untuk berkomunikasi dengan Novell NetWare versi 3.11 atau yang sebelumnya)
3. Ethernet 802.2 (juga dikenal sebagai Ethernet 802.3/802.2 without Subnetwork Access Protocol, dan digunakan untuk konektivitas dengan Novell NetWare 3.12 dan selanjutnya)

4. Ethernet SNAP (juga dikenal sebagai Ethernet 802.3/802.2 with SNAP, dan dibuat sebagai kompatibilitas dengan sistem Macintosh yang menjalankan TCP/IP)

Sayangnya, setiap format frame Ethernet di atas tidak saling cocok/kompatibel satu dengan lainnya, sehingga menyulitkan instalasi jaringan yang bersifat heterogen. Untuk mengatasinya, lakukan konfigurasi terhadap protokol yang digunakan via sistem operasi.

Ethernet dapat menggunakan topologi jaringan fisik apa saja (bisa berupa topologi bus, topologi ring, topologi star atau topologi mesh) serta jenis kabel yang digunakan (bisa berupa kabel koaksial (bisa berupa *Thicknet* atau *Thinnet*), kabel tembaga (kabel UTP atau kabel STP), atau kabel serat optik). Meskipun demikian, *topologi star* lebih disukai. Secara logis, semua jaringan Ethernet menggunakan topologi bus, sehingga satu *node* akan menaruh sebuah sinyal di atas bus dan sinyal tersebut akan mengalir ke semua node lainnya yang terhubung ke bus.

Sistem komunikasi melalui *Ethernet* dengan cara memecah arus data menjadi paket-paket individu yang disebut sebagai *Frame*. Setiap *Frame* berisi source dan alamat tujuan, dan pengecekan error, sehingga apabila data yang rusak atau hilang dapat segera dideteksi dan dikirim ulang.

Techweb.com mendefinisikan *Embedded Ethernet* sebagai sebuah implementasi chip tunggal pada sebuah standar jaringan *Ethernet*. Singkatnya, hanya dengan memasang *Ethernet* pada sebuah perangkat, dan perangkat tersebut memiliki kemampuan komunikasi melalui *Ethernet* tanpa harus menggunakan komputer.

Salah satu solusi populer dalam pemanfaatan *embedded Ethernet* adalah penggunaan mikrokontroler 8-bit, seperti Rabbit 2000, AVR, atau PIC, dan penggunaan *Ethernet MAC* seperti CS8900A atau RTL8029AS.

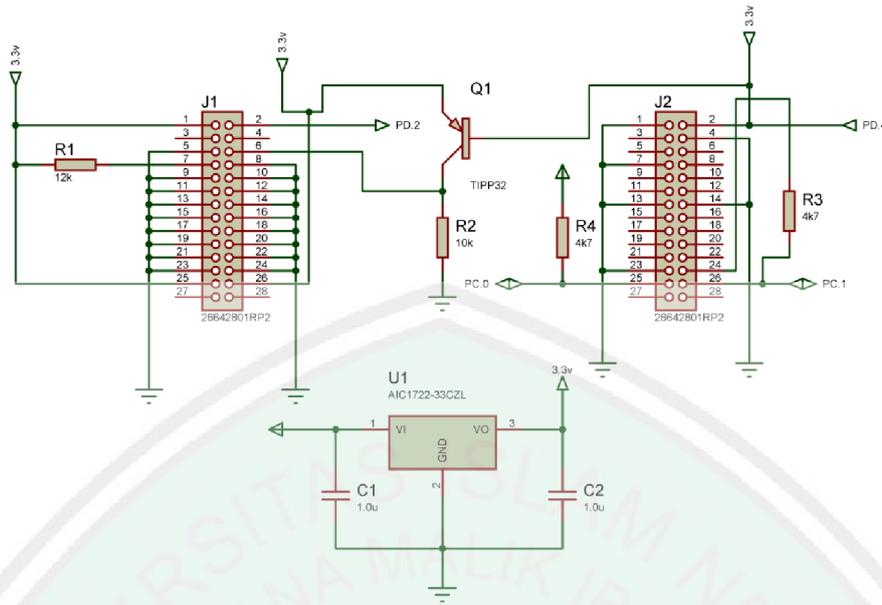
## 2.4 Modul TCP/IP

TCP/IP Starter kit merupakan suatu sarana pengembangan TCP/IP berbasis modul jaringan NM7010A yang berfungsi sebagai sarana komunikasi antara mikrokontroler dengan jaringan internet atau ethernet tanpa memerlukan bantuan komputer. TCP/IP Starter Kit ini dapat digunakan untuk aplikasi-aplikasi yang membutuhkan komunikasi dengan jaringan internet atau ethernet, seperti: serial to internet converter, web server, smart house dsb.

NM7010A adalah modul jaringan yang menyertakan W3100A-LF (TCP/IP hardware chip), ethernet PHY (IP101A), dan MAG-Jack (RJ45 dengan X'FMR). Modul ini merupakan pilihan tepat dan murah jika ingin membangun sistem berbasis *embedded*. Untuk dapat membuat rangkaian ini dapat bekerja maka perlu dibuat rangkaian *minimum system* yang terdiri dari:

- a. 1 Transistor PNP C9015,
- b. 2 Resistor 10K ohm  $\frac{1}{4}$  W,
- c. 2 Resistor 4K7 ohm  $\frac{1}{4}$  W,
- d. 1 Resistor 12K ohm  $\frac{1}{4}$  W,
- e. 1 Kapasitor 1uF/16V,
- f. 1 Kapasitor 10uF/16V.

Modul NM7010A-LF menggunakan catu daya +3,3VDC sehingga dalam aplikasi ini AIC1722-33CZL digunakan untuk menurunkan tegangan catu *minimum system* mikrokontroler ATmega32/L. Tetapi NM7010A-LF memiliki antarmuka yang dapat bekerja pada level tegangan 5V, jadi tidak diperlukan rangkaian *level converter*. Rangkaian NM7010A-LF terdapat pada Gambar 2.10, transistor PNP C9015 digunakan untuk melakukan negasi logika pin PD.4. 1 AIC1722-33CZL,



Gambar 2.10 rangkaian *minimum system* modul NM7010A-LF



Gambar 2.11 Modul TCP/IP NM7010A-LF

Setelah melihat bentuk fisik dari modul jaringan tersebut, dibawah ini akan ditampilkan konfigurasi header dari TCP/IP Starter Kit. Fungsi dari header ini adalah sebagai I/O. data yang dikirimkan sudah berubah menjadi paket data serial.

Tabel 2.1 konfigurasi NM7010A-LF dengan ATmega32/L

Mikrokontroler	Modul NM7010A-LF
----------------	------------------

ATMega32/L	
GND	GND
PC.0	I_SCL(JP2-pin 25)
PC.1	I_SDA(JP2-pin 26)
PD.2	/INT(JP1-pin2)
PD.4	/RESET(JP2-pin2)

## 2.5 Mikrokontroler

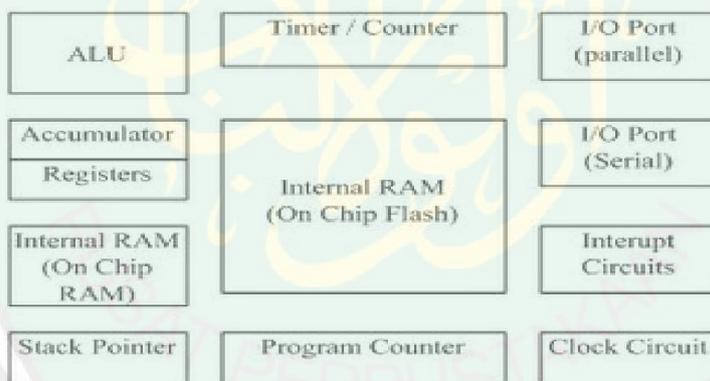
Mikrokontroler adalah suatu chip yang dapat digunakan sebagai pengontrol utama sistem elektronika, misalnya sistem pengukur suhu digital (thermometer digital), sistem keamanan rumah (Home Remote System), sistem kendali mesin produksi, dan lain-lain. Hal ini dikarenakan dalam chip tersebut sudah terdapat unit pemroses, memori ROM (Read Only Memory), RAM (Random Access Memory), *Input-Output*, dan fasilitas pendukung lainnya.

Saat ini sudah banyak para pemula, praktisi, dan hobist beralih ke mikrokontroler AVR, dibandingkan mikrokontroler keluarga MCS51 seperti AT89S51/52. Mikrokontroler AVR standar memiliki 8 bit, dimana semua instruksi dikemas dalam kode 6 bit dan sebagian besar instruksi dieksekusi dalam 1 (satu) siklus *clock*, berbeda dengan instruksi MCS51 yang membutuhkan 12 siklus *clock*. Hal ini karena kedua jenis mikrokontroler tersebut memiliki arsitektur yang berbeda.

AVR berteknologi RISC (Reduced Instruction Set Computing), sedangkan seri MCS51 berteknologi CISC (Complex Instruction Set Computing). AVR dapat dikelompokkan menjadi empat kelas, yaitu keluarga ATtiny, keluarga ATMega dan AT86RFxx. Pada dasarnya yang

membedakan masing-masing kelas adalah memori, peripheral, dan fungsinya. Prinsip kerja mikrokontroler adalah sebagai berikut :

- a. Berdasarkan nilai yang berada pada register Program Counter, mikrokontroler mengambil data pada ROM dengan alamat sebagaimana yang tertera pada register Program Counter. Selanjutnya isi dari register Program Counter ditambah dengan satu (Increment) secara otomatis. Data yang diambil pada ROM merupakan urutan instruksi program yang telah dibuat dan diisikan sebelumnya oleh pengguna.
- b. Instruksi yang diambil tersebut diolah dan dijalankan oleh mikrokontroler. Proses pengerjaan bergantung pada jenis instruksi, bisa membaca, mengubah nilai-nilai pada register, RAM, isi Port, atau melakukan pembacaan dan dilanjutkan dengan perubahan data.



Gambar 2. 8 Block Diagram Mikrokontroler

- c. Program Counter telah berubah nilainya (baik karena penambahan secara otomatis sebagaimana dijelaskan pada langkah 1 di atas atau karena perubahan data pada langkah 2). Selanjutnya yang dilakukan mikrokontroler adalah mengulang kembali siklus ini pada langkah 1. Demikian seterusnya hingga catu daya dimatikan.

Dapat disimpulkan bahwa pada dasarnya proses kerja mikrokontroler sangatlah tergantung pada urutan instruksi yang dijalankannya, yaitu program yang ditulis dalam ROM. Dan jika dikaitkan dengan *embedded* sistem, mikrokontroler bertugas untuk membagi kerja dari sistem yang ditambahkan berdasarkan cara kerja sistem tersebut. Sehingga walau telah ditambahkan sistem atau proses yang lain, sistem yang ada sebelumnya tetap bisa melakukan proses sebagaimana mestinya yang diatur dengan mikrokontroler.

### 2.5.1. Spesifikasi Mikrokontroler

Secara teknis hanya ada 2 jenis mikrokontroler yaitu RISC dan CISC dan masing-masing mempunyai keturunan/keluarga sendiri-sendiri.

- a. RISC kependekan dari Reduced Instruction Set Computer : instruksi terbatas tapi memiliki fasilitas yang lebih banyak
- b. CISC kependekan dari Complex Instruction Set Computer : instruksi bisa dikatakan lebih lengkap tapi dengan fasilitas secukupnya.

Tentang jenisnya banyak sekali ada keluarga Motorola dengan seri 68xx, keluarga MCS51 yang diproduksi Atmel, Philip, Dallas, keluarga PIC dari Microchip, Renesas, Zilog. Masing masing keluarga juga masih terbagi lagi dalam beberapa tipe. Jadi sulit sekali untuk menghitung jumlah mikrokontroler. Berikut beberapa penjelasan mengenai spesifikasi mikrokontroler :

#### a. MCS51

Meskipun termasuk tua, keluarga Mikrokontroler MCS51 adalah Mikrokontroler yang paling populer saat ini. Keluarga ini diawali oleh Intel yang mengenalkan IC Mikrokontroler type 8051 pada awal tahun 1980-an, 8051 termasuk sederhana dan harganya murah

sehingga banyak digemari, banyak pabrik IC besar lain yang ikut memproduksinya, tentu saja masing-masing pabrik menambahkan kemampuan pada mikrokontroler buatannya meskipun semuanya masih dibuat berdasarkan 8051. Sampai kini sudah ada lebih 100 macam mikrokontroler turunan 8051, sehingga terbentuklah sebuah 'keluarga besar mikrokontroler' dan biasa disebut sebagai MCS51. Belakangan ini, pabrik IC Atmel ikut menambah anggota keluarga MCS51. Atmel merupakan pabrik IC yang sangat menguasai teknologi pembuatan Flash PEROM, jadi sudah selayaknya. Kalau Atmel memasukkan Flash PEROM ke dalam mikrokontroler buatannya. Usaha Atmel ini ternyata bagaikan menambah 'darah' baru bagi keluarga MCS51, dengan adanya Flash PEROM yang harganya murah maka tercapailah angan-angan banyak orang untuk membuat alat berbasis mikrokontroler yang sesederhana mungkin dan semurah mungkin. Produksi mikrokontroler MCS51 Atmel dibagi dua macam, yang berkaki 40 setara dengan 8051 yang asli, bedanya mikrokontroler Atmel berisikan Flash PEROM dengan kapasitas berlainan. AT89C51 mempunyai Flash PEROM dengan kapasitas 2 Kilo Byte, AT89C52 4 Kilo Byte, AT89C53 12 Kilo Byte, AT89C55 20 Kilo Byte dan AT89C8252 berisikan 8 Kilo Byte Flash PEROM dan 2 Kilo Byte EEPROM.

Yang berkaki 20 adalah MCS51 yang disederhanakan, penyederhanaan dilakukan dengan cara mengurangi jalur untuk *input/output* paralel, kemampuan yang lain sama sekali tidak mengalami pengurangan. Penyederhanaan ini dimaksudkan untuk membentuk mikrokontroler yang bentuk fisiknya sekecil mungkin tapi mempunyai kemampuan sama.

Atmel memproduksi 3 buah mikrokontroler 'mini' ini, masing-masing adalah AT89C1051 dengan kapasitas Flash PEROM 1 Kilo Byte, AT89C2051 2 Kilo Byte dan AT89C4051 4 Kilo Byte. Ketiga mikrokontroler ini secara umum disebut sebagai AT89Cx051. Notasi "C" pada tipe sebuah mikrokontroler produksi Atmel mengindikasikan bahwa chip tersebut dalam pemrogramannya harus menggunakan rangkaian terpisah yang biasa

disebut dengan "downloader". Sehingga bila ingin melakukan pemrograman ulang sebuah chip AT89Cxx harus mengeluarkannya (mencabut) dari rangkaian aplikasi.

#### **b. Mikrokontroler AT89S51**

Mikrokontroller 8-bit dengan 4K. Byte ISP (In System Programming) Mikrokontroler saat ini tidak asing lagi dalam dunia elektronika, hampir semua peralatan elektronik dewasa ini menggunakan perangkat ini, mikrokontroler merupakan pengendali utama dalam peralatan elektronik saat ini, maka mikrokontroler merupakan suatu hal yang penting untuk dipelajari bagi mereka yang berkecimpung dalam dunia elektronika.

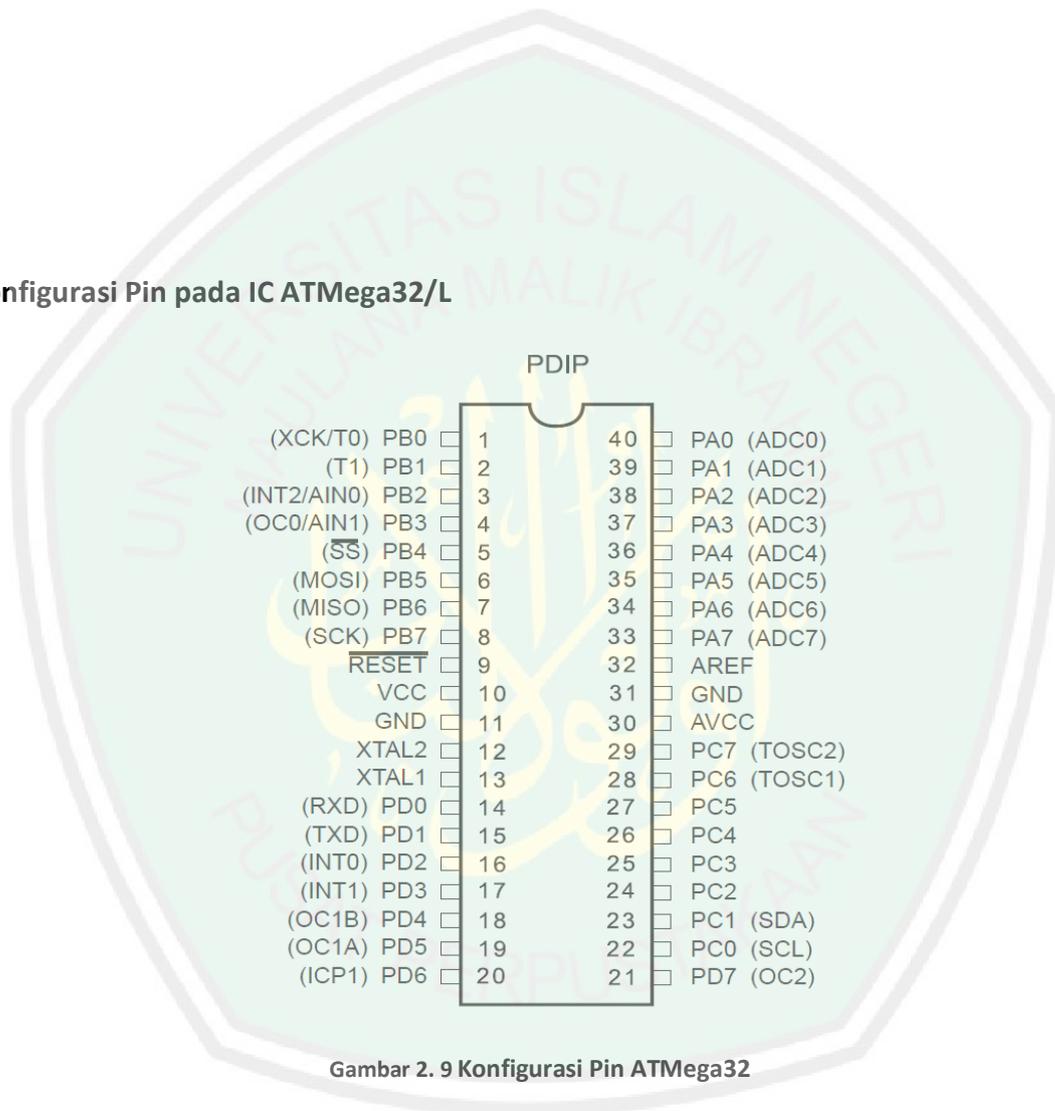
Mikrokontroler yang dibahas disini adalah mikrokontroler buatan ATMEL yang mudah ditemui di pasaran di Indonesia, yaitu dari keluarga MCS-51. AT89S51 dan AT89S52 mempunyai kemampuan serial downloading atau lebih dikenal dengan istilah In System Programming (ISP) sehingga mikrokontroler langsung dapat diprogram pada rangkaiannya tanpa harus mencabut IC untuk diprogram, Programmer ISP dapat dibuat menggunakan beberapa resistor via paralel port komputer sehingga bagi mereka yang belum memiliki programmer dapat tetap beres eksperimen menggunakan mikrokontroler ini dengan biaya yang relatif murah.

#### **c. Mikrokontroler ATmega32/L**

Mikrokontroler ATmega32/L merupakan mikrokontroler salah satu produksi Atmel dengan *nonvolatile program* dan memori data berikut, 32Kbyte In-System Programmable-Flash, 1024 Byte EEPROM dan 2 KBytes Internal SRAM. Keluarga AVR dapat mengeksekusi instruksi dengan cepat karena menggunakan teknik "memegang sambil mengerjakan" (*fetch during execution*). Dalam satu siklus *clock*, terdapat dua register independen yang dapat

diakses oleh satu instruksi. Oleh karena keunggulan tersebut, ATmega32/L dapat kompatibel dengan TCP/IP Starter Kit.

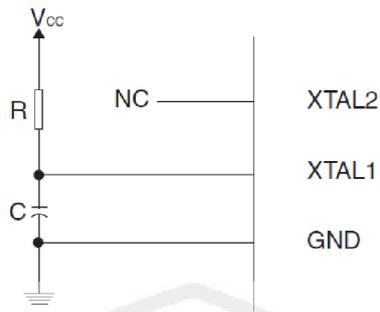
**a. Konfigurasi Pin pada IC ATmega32/L**



Gambar 2. 9 Konfigurasi Pin ATmega32

**b. Karakteristik Oscillator**

IC ATmega32/L ini mempunyai internal oscillator yang dapat diaktifkan untuk mengoperasikan IC ini. Tetapi bila diinginkan, IC ini dapat dioperasikan dengan external oscillator, yaitu dengan menghubungkan pin XTAL1 dan XTAL2 ke kristal yang nilainya berkisar antara 0-16 MHz untuk IC AT Mega 32 atau 0-8 MHz untuk IC AT Mega 32/L.



Gambar 2. 10 Konfigurasi Oscilator

### c. Program Memory Lock Bits

IC ATmega32/L mempunyai enam tingkat penguncian kode program (Lock Bit) yang biasa dibiarkan tidak berprogram (berlogika "1") atau deprogram menjadi berlogika "0". Ketiga tingkat penguncian ini hanya bias dihapus dengan menggunakan instruksi Chip Frase. Pada table berikut dapat dilihat tingkat-tingkat penguncian, bit-bit yang harus diprogram untuk mengaktifkan penguncian, dan sifat-sifat dari setiap penguncian tersebut.

Register File	Data Address Space
R0	\$0000
R1	\$0001
R2	\$0002
...	...
R29	\$001D
R30	\$001E
R31	\$001F
I/O Registers	
\$00	\$0020
\$01	\$0021
\$02	\$0022
...	...
\$3D	\$005D
\$3E	\$005E
\$3F	\$005F
	Internal SRAM
	\$0060
	\$0061
	...
	\$025E
	\$025F

Gambar 2. 11 Memory Lock Bits

#### d. Pemrograman Memory secara Serial

IC ATmega32/L ini mempunyai dua bagian internal memory yang disediakan untuk menyimpan kode program sebesar 32Kbyte dan untuk menyimpan data sebesar 1024 byte. Berikut ini adalah prosedur langkah-langkah pemrograman IC ATmega32/L secara serial dengan tegangan kerja 5V yang dikutip dari datasheet ATmega32/L:

1. Hubungkan pin VCC dan GND dengan sumber tegangan. Berikan sinyal low pada pin RST dan SCK. Berikan sinyal *clock* pada pin XTAL1 (bila tidak ada kristal yang terhubung dengan pin XTAL1 dan XTAL2) untuk mengoperasikan IC.
2. Tunggu paling sedikit 20 milidetik kemudian aktifkan mode pemrograman serial dengan mengirimkan instruksi "Programming Enable" ke pin MOSI.
3. Instruksi-instruksi pemrograman serial tidak akan berfungsi bila komunikasi ke IC ini tidak sinkron. Komunikasi yang sinkron akan membuat IC ini mengeluarkan kembali byte kedua (53<sub>H</sub>) dari instruksi programming enable pada saat programmer memasukkan byte yang ketiga dari tersebut. Bila hal ini terjadi, berikan sinyal positif pada pin RST dan ulangi lagi pengiriman instruksi programming enable mulai dari byte yang pertama.
4. Data dan kode-kode pemrograman diprogramkan (dimasukkan) ke IC satu page per satu page, dengan memasukkan 6 LSB dari alamat dan data sesuai ketentuan instruksi load program memory page. Data low byte harus dimasukkan sebelum data high byte dimasukkan ke memory. Satu page data yang telah dimasukkan akan disimpan (bila IC telah menerima instruksi write program memory page dengan 8 MSB dari alamat memory). Tunggulah selama `TWD_FLASH` setelah memasukkan instruksi.
5. Data array pada EEPROM diprogramkan (dimasukkan) ke IC satu byte per satu byte, dengan memasukkan alamat dan data sesuai dengan alur instruksi write EEPROM

memory. Isi pada setiap lokasi memory akan terhapus secara otomatis sebelum data yang baru dituliskan. Tunggulah selama `twd_EEPROM` sebelum memasukkan byte yang berikutnya

6. Isi memory pada alamat manapun dapat dibaca dengan memakai instruksi “Read Instruction”, dan isi memory pada alamat yang sedang dibaca akan dikeluarkan secara serial melalui pin MISO.
7. Pada akhir sesi pemrograman, pin RST dapat diberi logika “0” untuk membuat IC melakukan operasi normal.
8. Bila diperlukan, power-off sequence dapat dilakukan dengan memberikan sinyal low pada pin XTAL1, berikan sinyal high pada pin RESET, matikan sumber tegangan pada pin VCC.

Instruksi “Erase” yang dijalankan oleh IC akan menghapus isi pada seluruh alamat memory dengan mengubah isinya menjadi  $FF_H$ .

## 2.6 Suhu Dalam Kajian Islam

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لَآيَاتٍ لِأُولَى الْأَلْبَابِ

(Al عمران: 190)

**"Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan silih bergantinya malam dan siang terdapat tanda-tanda bagi orang-orang yang berakal".**

**(Al Imran :190)**

Dalam ayat diatas kita diberi petunjuk, setidaknya tersirat beberapa makna antara lain adalah: alam semesta yang senantiasa berproses tanpa henti dan menyajikan banyak sekali gejala dalam seluruh dimensi ruang dan waktu yang terus berkembang. Salah satu gejala alam yang langsung dirasakan manusia adalah suhu.

Suhu merupakan kuantitas fisik yang merupakan suatu ukuran untuk dingin dan panas dalam skala numerik. Ukuran tersebut berasal dari energi *thermal* dari sebuah benda atau radiasi. Di dalam Alqura'an terdapat ayat yang menyebut perbedaan antara panas dan dingin.

وَلَا الظِّلُّ وَلَا الحَرُّ وُرُ

“dan tidak sama yang teduh dengan yang panas” ( Fathir;21)

Dalam kitab البحرالمديد juz 6 hal 179 dijelaskan bahwa lafadz الحُرُّ bermakna panas dan الحُرُّ terjadi pada hari dengan kondisi yang panas (كأليم النيران) Dijelaskan dalam surah Al Furqan ayat 15 dan surah Al Qamar ayat 49 bahwasannya Allah menciptakan segala sesuatu di alam dengan ukurannya masing masing,

الَّذِي لَهُ مُلْكُ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ وَلَمْ يَتَّخِذْ وَلَدًا وَلَمْ يَكُنْ لَهُ شَرِيكٌ فِي الْمُلْكِ وَخَلَقَ كُلَّ شَيْءٍ فَقَدَرَهُ تَقْدِيرًا

(الفرقان : 15)

“Yang memiliki kerajaan langit dan bumi, tidak mempunyai anak, tidak ada sekutu baginya dalam kekuasaan-Nya, dan Dia menciptakan segala sesuatu, lalu menetapkan ukuran – ukurannya dengan tepat ”

إِنَّ كُلَّ شَيْءٍ خَلَقْنَاهُ بِقَدَرٍ (القمر : 49)

“Sungguh, Kami menciptakan segala sesuatu menurut ukuran”

Kedua ayat diatas mengisyaratkan bahwa kata " Ukuran" adalah apa yang ada di alam ini dapat dinyatakan dalam dengan dua peran, yang pertama sebagai bilangan dengan sifat dan ketelitian yang terkandung didalamnya dan yang keduanya sebagai hukum atau aturan.

Dalam kitab *إيضاح القرآن بالقرآن* juz 28 halaman 12, Ibnu 'Athiyah berpendapat bahwa kalimat *تَقْدِيرًا* bermakna tempat, waktu, ukuran, dan manfaat. Suhu sebagai ukuran panas atau dingin suatu benda, dapat disebut sebagai *قَدْرٍ* atau *تَقْدِيرًا* bagi ciptaan Allah.



## BAB III

### ANALISIS DAN PERANCANGAN SISTEM

Dalam bab ini akan dibahas mengenai perancangan dan pembuatan perangkat keras untuk akuisisi data suhu serta perancangan dan pembuatan perangkat lunak, baik dari perangkat akuisisi data maupun perangkat lunak untuk mengolah data dengan *fuzzy logic*

#### 3.1 Perancangan Perangkat Keras

##### 3.1.1 Perancangan modul ATmega32/L dan Sensor LM35

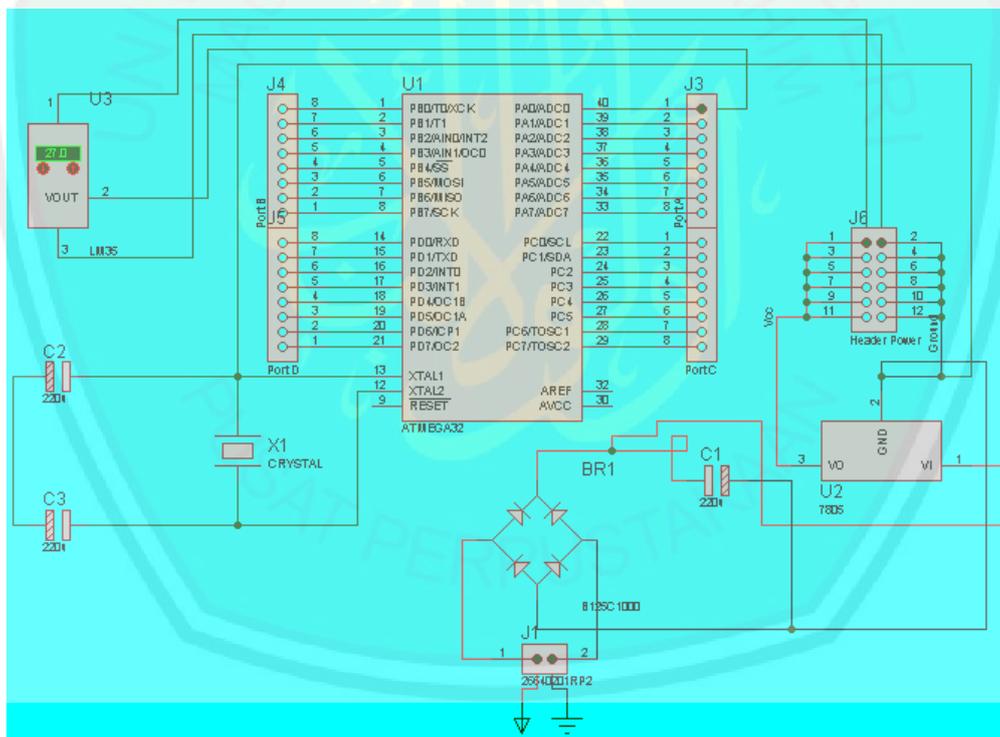
Perancangan yang dilakukan pada bagian ini berupa perancangan rangkaian untuk ATmega32/L dan sensor LM35 sebagai perangkat pengukur suhu dan antarmuka untuk modul TCP/IP.

Rangkaian pada gambar 3.1 berfungsi sebagai sistem minimal untuk mikrokontroler dan berfungsi sebagai sumber daya bagi sensor dan modul TCP/IP. Untuk membuat minimum sistem ATmega32/L, dibutuhkan alat dan bahan sebagai berikut :

1. ATmega32/L
2. Empat kapasitor 22pf
3. Header
4. Crystal
5. IC 7805

Pada bagian kanan gambar terdapat dua kapasitor 22pf dan satu buah kristal 20 MHz. Kaki kristal dihubungkan pada kaki 13 dan 12 pada mikrokontroler. Kemudian terdapat sensor LM35, kaki ke- 1 pada sensor yang berfungsi sebagai  $V_{out}$

dihubungkan pada kaki ke- 40 pada mikrokontroler yang berfungsi sebagai port ADC, Pada rangkaian ini tidak perlu menyertakan rangkaian ADC tersendiri, karena port A pada ATmega32/L juga berfungsi sebagai ADC. Untuk sumber daya sensor, kaki ke- 2 dan ke-3 sensor dihubungkan ke header 2x6 J6. Untuk bagian akhir gambar merupakan rangkaian untuk penyearah tegangan dari transformator *step-down* dengan menggunakan IC 7805 yang berfungsi mengubah tegangan keluaran dari transformator menjadi tegangan 5V. Keluaran tegangan dari rangkaian penyearah dihubungkan pada header 2x6 J6, yang juga berfungsi sebagai sumber daya bagi sensor dan modul TCP/IP.

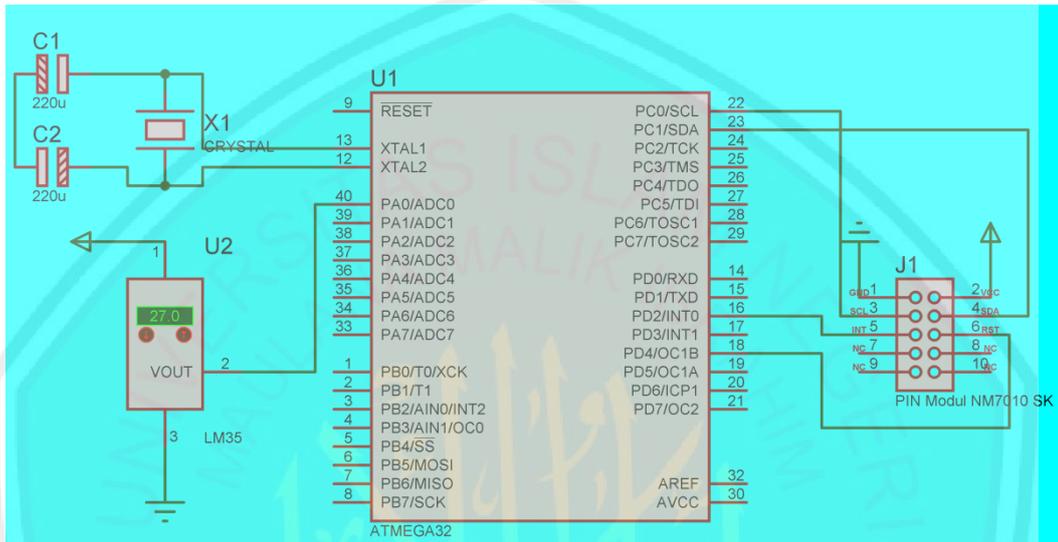


Gambar 3. 1 rangkaian minimum system ATmega32/L dan LM35

### 3.1.2 Perancangan modul ATmega32/L dan TCP/IP

Perancangan pada bagian ini merupakan perancangan rangkaian mikrokontroler ATmega32/L dan modul NM7010A Starter Kit. Modul NM7010A

Starter Kit memiliki jalur header yang berfungsi sebagai jalur komunikasi I2C dari modul TCP/IP(SDA dan SCL), catu daya 5V diberikan melalui pin VCC dan GND. Untuk alamat I2C dari modul NM7010A Starter Kit, diatur menggunakan DIPswitch yang disediakan dari vendor.



Gambar 3. 2 rangkaian modul ATmega32/L dan Modul NM7010A Starter Kit

Pada gambar 3.2 pin SDA pada modul NM7010A Starter Kit dihubungkan ke kaki 23 atau PC.1 pada mikrokontroler ATmega32/L, sedangkan untuk pin SCL dihubungkan ke kaki 22 atau PC.0, sedangkan pin INT dihubungkan pada kaki 16 atau PD.2 dan pin RST dihubungkan pada kaki 18 atau PD.4.

### 3.2 Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang dibuat terdiri dari dua bagian, pertama perangkat lunak untuk mikrokontroler untuk pengolahan data di mikrokontroler dan untuk kendali modul TCP/IP, kedua perangkat lunak untuk menampilkan data di PC yang sebelumnya diolah dan dikirim dari mikrokontroler melalui modul TCP/IP

### 3.2.1 Perangkat Lunak Mikrokontroler

Perangkat lunak yang dibuat setidaknya memiliki kemampuan minimal sebagai berikut:

- a. Dapat mengubah data analog menjadi data digital
- b. Dapat mengirimkan data digital ke PC melalui modul TCP/IP secara *realtime*
- c. Menampung alamat IP untuk modul TCP/IP

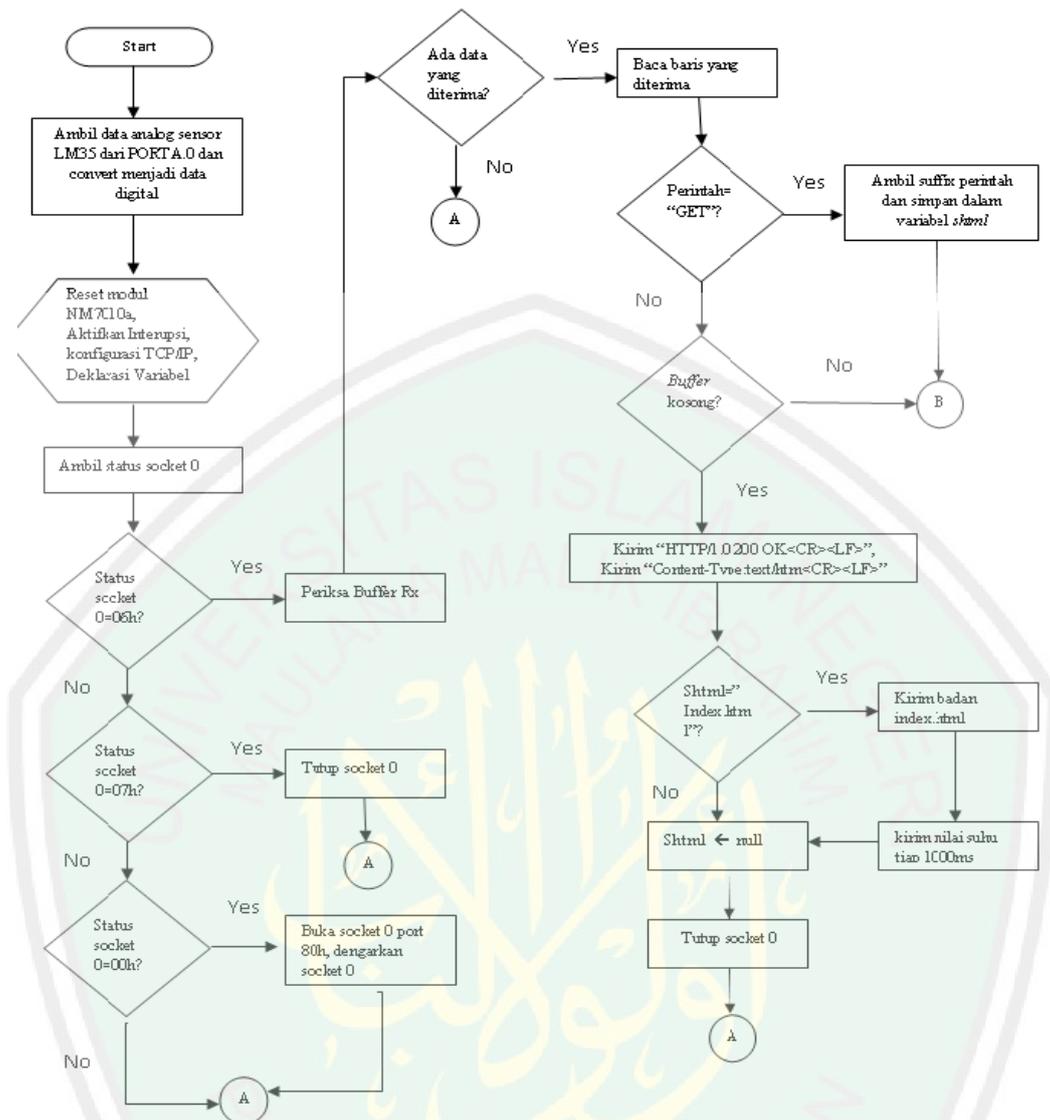
*Source code* dari perangkat lunak ini di letakkan di mikrokontroler yang berfungsi sebagai antarmuka dari sensor dan modul TCP/IP.

Proses dari perangkat lunak untuk mikrokontroler sebagai berikut:

- a. Program me *-reset* modul NM7010A-LF secara *hardware*, mengaktifkan fungsi interupsi mikrokontroler dan melakukan inisialisasi modul NM7010A-LF pada mode komunikasi I2C.
- b. Kemudian program melakukan deklarasi variabel yang akan digunakan, antara lain:
  - a. Shtml sebagai *string* dengan panjang 15 karakter untuk menyimpan *suffix* dari perintah yang diterima.
  - b. Menjalankan proses ADC untuk nilai yang diterima dari PORTA.0
- c. Program mengambil status dari *socket 0*
- d. Bila status *socket 0=established(06h)*, maka:
  - a. Program akan memeriksa *buffer Rx* dari modul NM7010A-LF, dan jika data yang diterima dalam *buffer Rx* maka program akan membacanya
  - b. Bila data yang diterima adalah perintah "GET" maka program akan menyimpan *suffix* yang mengikuti perintah tersebut ke dalam variabel Shtml.

- c. Program memeriksa apakah *buffer* Rx sudah kosong, bila belum kosong maka program akan kembali ke langkah 4.a
- d. Jika *buffer* Rx sudah kosong maka program mengirimkan "HTTP/1.0.200 OK<CR><LF>"(format *body* html yang akan dikirimkan).
- e. Jika *Shtml*="/index.html" maka program yang mengirmkan *body* dari index.html
- e. Bila status *socket* 0 = *wait connection close*(07h) maka program akan menutup *socket* 0 dan kembali ke langkah 3
- f. Bila status *socket* 0 = *connection closed*(00h) maka program akan membuka *port* 80h *socket* 0 dan mulai mendengarkan jaringan dari *socket* 0, lalu program kembali kelangkah 3.

Berikut *flowchart* dari *source code* perangkat lunak untuk mikrokontroler



Gambar 3. 3 Flowchart perangkat lunak mikrokontroler ATmega32/L

### 3.2.2 Perancangan Perangkat Lunak di Desktop(PC)

Tujuan pembuatan perangkat lunak ini adalah untuk menampilkan data dan mengolah data yang dikirim dari mikrokontroler ke PC. Selain itu juga untuk mengatasi keterbatasan memori mikrokontroler yang tidak dapat menampung *source code* untuk tampilan antarmuka pengguna. Perangkat lunak yang dibuat, selain menampilkan data, juga untuk mengolah data dengan *fuzzy logic*. Sebagai acuan untuk nilai standar nilai suhu, digunakan standar suhu ruang server yang

diterbitkan oleh organisasi ASHRAE(American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) yaitu  $18^{\circ}\text{C} - 27^{\circ}\text{C}$ . *Output* yang dihasilkan dari perangkat lunak ini antara lain tampilan nilai dari sensor suhu LM35 dan grafik *fuzzy*.



Gambar 3. 4 Interface dari perangkat lunak di PC

Data yang dikirim dari mikrokontroler akan ditampilkan di halaman web yang dibuat dengan *software* Macromedia Dreamweaver, web tersebut akan menampilkan nilai suhu dari mikrokontroler dan menampilkan grafik logika *fuzzy*.

### 3.2.3 Perancangan Operasi Logika Fuzzy

#### 3.2.3.1. Pendefinisian Variabel Fuzzy

Fungsi keanggotaan adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data kedalam nilai keanggotaan himpunan *fuzzy*(derajat keanggotaan) yang

memiliki interval antara 0 sampai 1. Variabel SUHU terdiri atas tiga himpunan fuzzy, yaitu: Dingin, Normal, Panas, Berikut adalah fungsi keanggotaan untuk variabel SUHU.

1. Fungsi Himpunan keanggotaan Dingin
2. Fungsi Himpunan keanggotaan Normal
3. Fungsi Himpunan keanggotaan Panas

Fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* DINGIN dapat dicari dengan cara sebagai berikut: Himpunan *fuzzy* DINGIN memiliki domain  $(-\infty, \infty)$  terbagi menjadi tiga selang, yaitu:  $[0, x_{\min}]$ ,  $[x_{\min}, x_{\max}]$ , dan  $[x_{\max}, \infty)$ .

a) Selang  $[0, x_{\min}]$

Fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* DINGIN pada selang  $[0, x_{\min}]$  memiliki nilai keanggotaan=1.

b) Selang  $[x_{\min}, x_{\max}]$

Pada selang  $[x_{\min}, x_{\max}]$ , fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* DINGIN direpresentasikan dengan garis lurus yang melalui dua titik, yaitu dengan koordinat  $(x_{\min}, 1)$  dan  $(x_{\max}, 0)$ . Misalkan fungsi keanggotaan *fuzzy* DINGIN dari  $x$  disimbolkan dengan  $\mu_{\text{SuhuDINGIN}}[x]$ , maka persamaan garis lurus tersebut adalah:

$$\frac{\mu_{\text{SuhuDINGIN}}[x] - 0}{1 - 0} = \frac{x - x_{\max}}{x_{\min} - x_{\max}}$$

$$\Leftrightarrow \mu_{\text{SuhuDINGIN}}[x] = \frac{x - x_{\max}}{x_{\min} - x_{\max}}$$

Karena pada selang  $[x_{\min}, x_{\max}]$ , gradien garis lurus=-1, maka persamaan garis lurus tersebut menjadi:

$$\mu_{\text{SuhuDINGIN}}[x] = (-1) \left( \frac{x - X_{\max}}{X_{\min} - X_{\max}} \right)$$

Sehingga diperoleh persamaan:

$$\mu_{\text{SuhuDINGIN}}[x] = (-1) \left( \frac{X_{\max} - x}{X_{\max} - X_{\min}} \right)$$

c) selang  $[x_{\max}, \infty]$

fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* DINGIN pada selang  $[x_{\max}, \infty]$  memiliki

nilai keanggotaan = 0

dari uraian di atas, fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* DINGIN dari himpunan *fuzzy* SUHU adalah :

$$\mu_{\text{SuhuDINGIN}}[x] = \begin{cases} 1 & , x \leq x_{\min} \\ \frac{x_{\max} - x}{x_{\max} - x_{\min}} & , x_{\min} \leq x \leq x_{\max} \\ 0 & , x \geq x_{\max} \end{cases}$$

himpunan *fuzzy* NORMAL memiliki domain  $(-\infty, \infty)$  terbagi menjadi empat selang, yaitu:  $[0, x_{\min}]$ ,  $[x_{\min}, x_t]$ ,  $[x_t, x_{\max}]$  dan  $[x_{\max}, \infty]$ .

a) Selang  $[0, x_{\min}]$

Fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* NORMAL pada selang  $[0, x_{\min}]$  memiliki nilai keanggotaan = 0

a) Selang  $[x_{\min}, x_t]$

Pada selang  $[x_{\min}, x_t]$ , fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* NORMAL direpresentasikan dengan garis lurus yang melalui dua titik, yaitu dengan koordinat  $(x_{\min}, 0)$  dan  $(x_t, 1)$ . Misalkan fungsi keanggotaan *fuzzy* Normal dari  $x$  disimbolkan dengan  $\mu_{\text{SuhuNormal}}[x]$ , maka persamaan garis lurus tersebut adalah:

$$\frac{\mu_{\text{suhuNormal}}[x] - 0}{1 - 0} = \frac{x - x_{\min}}{x_t - x_{\min}}$$

$$\Leftrightarrow \mu_{\text{suhuNormal}}[x] = \frac{x - x_{\min}}{x_t - x_{\min}}$$

b) Selang  $[x_t, x_{\max}]$

Pada selang  $[x_t, x_{\min}]$ , fungsi himpunan *fuzzy* NORMAL direpresentasikan dengan garis lurus yang melalui dua titik, yaitu dengan koordinat  $(x_t, 1)$  dan  $(x_{\max}, 0)$ . Misalkan fungsi keanggotaan *fuzzy* NORMAL dari  $x$  disimbolkan dengan  $\mu_{\text{suhuNormal}}[x]$ , maka persamaan garis lurus tersebut adalah:

$$\frac{\mu_{\text{suhuNormal}}[x] - 0}{1 - 0} = \frac{x - x_{\max}}{x_t - x_{\max}}$$

$$\Leftrightarrow \mu_{\text{suhuNormal}}[x] = \frac{x - x_{\max}}{x_t - x_{\max}}$$

Karena pada selang  $[x_t, x_{\max}]$ , gradien garis lurus = -1, maka persamaan garis lurus tersebut menjadi:

$$\Leftrightarrow \mu_{\text{suhuNormal}}[x] = (-1) \frac{x - x_{\max}}{x_t - x_{\max}}$$

Sehingga diperoleh persamaan:

$$\Leftrightarrow \mu_{\text{suhuNormal}}[x] = \frac{x_{\max} - x}{x_{\max} - x_t}$$

c) Selang  $[x_{\max}, \infty]$

Fungsi keanggotaan *fuzzy* Normal pada selang  $[x_{\max}, \infty]$  memiliki keanggotaan = 0

d) Himpunan *fuzzy* Normal memiliki  $\mu_{\text{suhuNormal}}[x]=1$  jika  $y=y_1$

Dari uraian di atas, fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* Normal dari himpunan suhu adalah:

$$\mu_{\text{suhuNormal}}[x] = \begin{cases} 1 & , x \leq x_{\min} \\ \frac{x - x_{\min}}{x_t - x_{\min}} & , x_{\min} \leq x \leq x_t \\ \frac{x_t - x}{x_t - x_{\max}} & , x_t \leq x \leq x_{\max} \\ 0 & , x \leq x_{\min} \vee x \geq x_{\max} \end{cases}$$

Sedangkan untuk fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* PANAS dari himpunan SUHU, Himpunan *fuzzy* PANAS memiliki domain  $(-\infty, \infty)$  terbagi menjadi tiga selang, yaitu:  $[0, x_{\min}]$ ,  $[x_{\min}, x_{\max}]$ , dan  $[x_{\max}, \infty)$ .

a) Selang  $[0, x_{\min}]$

Fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* PANAS pada selang  $[0, x_{\min}]$  memiliki nilai keanggotaan=0.

b) Selang  $[x_{\min}, x_{\max}]$

Pada selang  $[x_{\min}, x_{\max}]$ , fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* PANAS direpresentasikan dengan garis lurus yang melalui dua titik, yaitu dengan koordinat  $(x_{\min}, 0)$  dan  $(x_{\max}, 1)$ . Misalkan fungsi keanggotaan *fuzzy* PANAS dari  $x$  disimbolkan dengan  $\mu_{\text{SuhuPANAS}}[x]$ , maka persamaan garis lurus tersebut adalah:

$$\frac{\mu_{\text{SuhuPanas}}[x] - 0}{1 - 0} = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

$$\Leftrightarrow \mu_{\text{SuhuPanas}}[x] = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

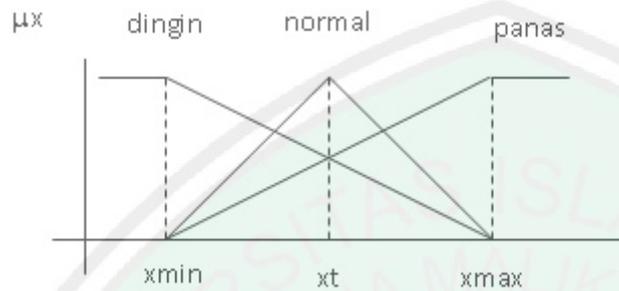
c) selang  $[x_{\max}, \infty)$

fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* DINGIN pada selang  $[x_{\max}, \infty)$  memiliki nilai keanggotaan = 0

dari uraian di atas, fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* DINGIN dari himpunan *fuzzy* SUHU adalah :

$$\mu_{\text{SuhuDINGIN}}[x] = \begin{cases} 1 & , x \leq x_{\min} \\ \frac{x-x_{\min}}{x_{\max}-x_{\min}} & , x_{\min} \leq x \leq x_{\max} \\ 0 & , x \geq x_{\max} \end{cases}$$

fungsi keanggotaan himpunan Dingin, Normal, dan Panas di representasikan dalam gambar 4.3



Gambar 3. 5 Representasi Anggota himpunan untuk variabel SUHU

Variabel KIPAS terdiri atas tiga himpunan fuzzy, yaitu: Lambat, Normal, Cepat.

Berikut adalah fungsi keanggotaan untuk variabel KIPAS.

1. Fungsi Himpunan keanggotaan Lambat
2. Fungsi Himpunan keanggotaan Normal
3. Fungsi Himpunan keanggotaan Cepat

Fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* Lambat dapat dicari dengan cara sebagai berikut: Himpunan *fuzzy* Lambat memiliki domain  $(-\infty, \infty)$  terbagi menjadi tiga selang, yaitu:  $[0, y_{\min}]$ ,  $[y_{\min}, y_{\max}]$ , dan  $[y_{\max}, \infty)$ .

a) Selang  $[0, y_{\min}]$

Fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* Lambat pada selang  $[0, y_{\min}]$  memiliki nilai keanggotaan=1.

b) Selang  $[y_{\min}, y_{\max}]$

Pada selang  $[y_{\min}, y_{\max}]$ , fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* Lambat direpresentasikan dengan garis lurus yang melalui dua titik, yaitu dengan

koordinat  $(y_{\min}, 1)$  dan  $(y_{\max}, 0)$ . Misalkan fungsi keanggotaan *fuzzy* Lambat dari  $y$  disimbolkan dengan  $\mu_{\text{KipasLAMBAT}}[y]$ , maka persamaan garis lurus tersebut adalah:

$$\frac{\mu_{\text{KipasLAMBAT}}[y] - 0}{1 - 0} = \frac{y - y_{\max}}{y_{\min} - y_{\max}}$$

$$\Leftrightarrow \mu_{\text{KipasLAMBAT}}[y] = \frac{y - y_{\max}}{y_{\min} - y_{\max}}$$

Karena pada selang  $[y_{\min}, y_{\max}]$ , gradien garis lurus = -1, maka persamaan garis lurus tersebut menjadi:

$$\mu_{\text{KipasLAMBAT}}[y] = (-1) \left( \frac{y - y_{\max}}{y_{\min} - y_{\max}} \right)$$

Sehingga diperoleh persamaan:

$$\mu_{\text{KipasLAMBAT}}[y] = (-1) \left( \frac{y_{\max} - y}{y_{\max} - y_{\min}} \right)$$

c) selang  $[y_{\max}, \infty]$

fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* LAMBAT pada selang  $[y_{\max}, \infty]$  memiliki nilai keanggotaan = 0

dari uraian di atas, fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* LAMBAT dari himpunan *fuzzy* KIPAS adalah :

$$\mu_{\text{KipasLAMBAT}}[y] = \begin{cases} 1 & , y \leq y_{\min} \\ \frac{y_{\max} - y}{y_{\max} - y_{\min}} & , y_{\min} \leq y \leq y_{\max} \\ 0 & , y \geq y_{\max} \end{cases}$$

himpunan *fuzzy* NORMAL memiliki domain  $(-\infty, \infty)$  terbagi menjadi empat selang, yaitu:  $[0, y_{\min}]$ ,  $[y_{\min}, y_t]$ ,  $[y_t, y_{\max}]$  dan  $[y_{\max}, \infty]$ .

a) Selang  $[0, y_{\min}]$

Fungsi keanggotaan himpunan fuzzy NORMAL pada selang  $[0, y_{\min}]$  memiliki nilai keanggotaan = 0

b) Selang  $[y_{\min}, y_t]$

Pada selang  $[y_{\min}, y_t]$ , fungsi keanggotaan himpunan fuzzy NORMAL direpresentasikan dengan garis lurus yang melalui dua titik, yaitu dengan koordinat  $(y_{\min}, 0)$  dan  $(y_t, 1)$ . Misalkan fungsi keanggotaan fuzzy Normal dari  $y$  disimbolkan dengan  $\mu_{\text{kipasNormal}}[y]$ , maka persamaan garis lurus tersebut adalah:

$$\frac{\mu_{\text{kipasNormal}}[y] - 0}{1 - 0} = \frac{y - y_{\min}}{y_t - y_{\min}}$$

$$\Leftrightarrow \mu_{\text{kipasNormal}}[y] = \frac{y - y_{\min}}{y_t - y_{\min}}$$

c) Selang  $[y_t, y_{\max}]$

Pada selang  $[y_t, y_{\max}]$ , fungsi himpunan fuzzy NORMAL direpresentasikan dengan garis lurus yang melalui dua titik, yaitu dengan koordinat  $(y_t, 1)$  dan  $(y_{\max}, 0)$ . Misalkan fungsi keanggotaan fuzzy NORMAL dari  $y$  disimbolkan dengan  $\mu_{\text{kipasNormal}}[y]$ , maka persamaan garis lurus tersebut adalah:

$$\frac{\mu_{\text{kipasNormal}}[y] - 0}{1 - 0} = \frac{y - y_{\max}}{y_t - y_{\max}}$$

$$\Leftrightarrow \mu_{\text{kipasNormal}}[y] = \frac{y - y_{\max}}{y_t - y_{\max}}$$

Karena pada selang  $[y_t, y_{\max}]$ , gradien garis lurus = -1, maka persamaan garis lurus tersebut menjadi:

$$\Leftrightarrow \mu_{\text{kipasNormal}}[y] = (-1) \frac{y - y_{\max}}{y_t - y_{\max}}$$

Sehingga diperoleh persamaan:

$$\Leftrightarrow \mu_{\text{kipasNormal}}[y] = \frac{y_{\text{max}} - y}{y_{\text{max}} - y_t}$$

d) Selang  $[y_{\text{max}}, \infty]$

Fungsi keanggotaan *fuzzy* Normal pada selang  $[y_{\text{max}}, \infty]$  memiliki keanggotaan

= 0

e) Himpunan *fuzzy* Normal memiliki  $\mu_{\text{kipasNormal}}[y]=1$  jika  $y=y_1$

Dari uraian di atas, fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* Normal dari himpunan kipas adalah:

$$\mu_{\text{kipasNormal}}[y] = \begin{cases} 1 & , y \leq y_{\text{min}} \\ \frac{y - y_{\text{min}}}{y_t - y_{\text{min}}} & , y_{\text{min}} \leq y \leq y_t \\ \frac{y_{\text{tm}} - y}{y_{\text{max}} - y_{\text{tm}}} & , y_t \leq y \leq y_{\text{max}} \\ 0 & , y \leq y_{\text{min}} \vee y \geq y_{\text{max}} \end{cases}$$

Sedangkan untuk fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* CEPAT dari himpunan KIPAS, Himpunan *fuzzy* CEPAT memiliki domain  $(-\infty, \infty)$  terbagi menjadi tiga selang, yaitu:  $[0, y_{\text{min}}]$ ,  $[y_{\text{min}}, x_{\text{max}}]$ , dan  $[y_{\text{max}}, \infty)$ .

a) Selang  $[0, y_{\text{min}}]$

Fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* CEPAT pada selang  $[0, y_{\text{min}}]$  memiliki nilai keanggotaan=0.

b) Selang  $[y_{\text{min}}, y_{\text{max}}]$

Pada selang  $[y_{\text{min}}, y_{\text{max}}]$ , fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* CEPAT direpresentasikan dengan garis lurus yang melalui dua titik, yaitu dengan koordinat

$(y_{min},0)$  dan  $(y_{max},1)$ . Misalkan fungsi keanggotaan *fuzzy* CEPAT dari  $y$  disimbolkan dengan  $\mu_{KipasCepat}[y]$ , maka persamaan garis lurus tersebut adalah:

$$\frac{\mu_{KipasCepat}[y] - 0}{1 - 0} = \frac{y - y_{max}}{y_{min} - y_{max}}$$

$$\Leftrightarrow \mu_{KipasCepat}[y] = \frac{y - y_{max}}{y_{max} - y_{min}}$$

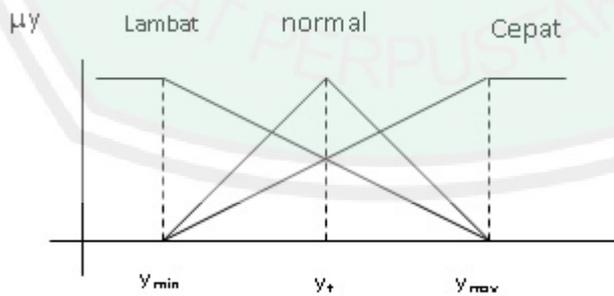
c) selang  $[y_{max}, \infty]$

fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* Cepat pada selang  $[y_{max}, \infty]$  memiliki nilai keanggotaan = 0

dari uraian di atas, fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* Cepat dari himpunan *fuzzy* KIPAS adalah :

$$\mu_{KipasCepat}[y] = \begin{cases} 1 & , y \leq y_{min} \\ \frac{y - y_{min}}{y_{max} - y_{min}} & , y_{min} \leq y \leq y_{max} \\ 0 & , y \leq x_{max} \end{cases}$$

fungsi keanggotaan himpunan Lambat, Normal, dan Cepat di untuk variabel Kipas representasikan dalam gambar 4.4



Gambar 3. 6 Representasi Anggota himpunan untuk variabel KIPAS

### 3.2.3.2. Implikasi *Fuzzy*

Dan untuk teknik implikasi *fuzzy* menggunakan metode penalaran monoton, metode penalaran ini digunakan sebagai dasar teknik implikasi *fuzzy*, dalam metode ini, jika 2 daerah *fuzzy* direlasikan dengan implikasi sederhana, bentuk umum aturanyang digunakan dalam fungsi implikasi:

IF x is A THEN y is B

Dengan x dan y adalah skalar, A dan B adalah himpunan fuzzy. Proposisi yang mengikuti IF disebut anteseden, sedangkan proposisi yang mengikuti THEN disebut konsekuen

Dengan implikasi sederhana tersebut maka sistem *fuzzy* dapat berjalan tanpa harus melalui komposisi dan dekomposisi *fuzzy*. Nilai *output* dapat diestimasi secara langsung dari nilai keanggotaan yang berhubungan dengan antesedennya (Sri Kusumadewi, 2003).

Dalam program, himpunan dari variabel SUHU dan Kipas membentuk kaidah aturan berikut

[R1] Jika Suhu Dingin Maka Kipas Lambat

[R2] Jika Suhu Normal Maka Kipas Normal

[R3] Jika Suhu Panas Maka Kipas Cepat

Contoh relasi dari himpunan Suhu dan himpunan Kipas dalam program diekspresikan dengan aturan tunggal sebagai berikut:

*IF suhu is Panas Then Kipas is Cepat*

Implikasi secara monoton akan menyeleksi daerah *fuzzy* suhu dan daerah *fuzzy* Kipas dengan fungsi berikut:

$$\Rightarrow \mu_{\text{Kipas}}[y] = S(y;)$$

Ketika suhu berada pada nilai 20<sup>0</sup>C, memiliki derajat keanggotaan 0,2 pada daerah *fuzzy* SUHU, yang diperoleh dari :

$$\begin{aligned}\mu_{\text{suhu}}[20] &= (20-18)/(22,5-18) \\ &= 0,44\end{aligned}$$

Nilai ini dipetakan ke daerah *fuzzy* Kipas yang akan memberikan solusi putaran kipas yang dibutuhkan yaitu 1456 rpm, yang diperoleh dari:

$$\begin{aligned}\Leftrightarrow (1500-y)/(1500-1200) &= 0,44 \\ \Leftrightarrow (1500-y)/300 &= 0,44 \\ \Leftrightarrow (1500-y) &= 0,44*300 \\ \Leftrightarrow (1500-y) &= 132 \\ \Leftrightarrow y &= 1500-132 \\ \Leftrightarrow y &= 1368 \text{ rpm}\end{aligned}$$

Dengan implikasi sederhana, ketika suhu mencapai 20<sup>0</sup>C, yang termasuk domain NORMAL pada himpunan SUHU dengan derajat keanggotaan 0,44, sistem *fuzzy* akan memutuskan putaran kipas sebesar 1368 rpm, yang memiliki derajat keanggotaan 0,44 dalam domain NORMAL pada himpunan KIPAS.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini akan dibahas hasil yang didapat setelah dilakukan serangkaian kegiatan pengukuran suhu menggunakan modul jaringan NM7010A-LF dan sensor suhu LM35, serta pengolahan hasil pengukuran dengan logika *fuzzy*.

#### 4.1 Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan dalam sistem ini berfungsi untuk mengambil nilai suhu dan mengirimkan nilai yang diambil ke PC dengan memanfaatkan komunikasi TCP/IP. Perangkat keras yang digunakan terdiri dari sebuah *minimum system* mikrokontroler ATmega32/L, sensor suhu LM35DZ, dan sebuah modul jaringan TCP/IP Starter kit.

Proses pemantauan suhu dilakukan dengan menggunakan sensor suhu LM35DZ yang terhubung pada port(A.0). pemasangan sensor pada port(A.0) mikrokontroler tidak memerlukan IC ADC karena port(A) pada ATMEGA32/L juga dapat dimanfaatkan sebagai ADC. Mikrokontroler selanjutnya mengubah data analog dari sensor dan mengirmkan ke PC melalui modul TCP/IP dalam bentuk digital.

Modul TCP/IP menerima paket data serial dari mikrokontroler yang selanjutnya dikirim ke PC dalam bentuk paket data TCP. Proses perubahan data terjadi didalam IC W3100A yang terdapat dalam modul TCP/IP. Data yang dikirim dari mikrokontroler merupakan nilai digital yang diperoleh dari sensor suhu dalam bentuk data analog.

Dalam rangkaian TCP/IP terdapat IC W3100A yang bertugas merubah paket data dari data bertipe serial menjadi data bertipe TCP yang nantinya akan menjadi masukan

bagi aplikasi di PC. Merujuk pada *datasheet* IC W3100A, IC W3100A memiliki kemampuan merubah paket data serial, menjadi paket data dengan jenis data TCP, UDP, IP, ARP dan ICMP.

#### **4.2 Perangkat Lunak**

Dalam sistem ini digunakan dua perangkat lunak, pertama perangkat lunak untuk mikrokontroler, perangkat lunak ini berfungsi untuk mengubah nilai analog dari sensor menjadi nilai digital, yang selanjutnya dikirim ke PC melalui modul jaringan TCP/IP Starter Kit. Selain itu perangkat lunak ini juga berfungsi untuk mengkonfigurasi IP dan *mac address* untuk modul jaringan. Kedua, perangkat lunak untuk PC, perangkat lunak ini berfungsi untuk menampilkan data yang dikirim mikrokontroler, dan mengolah data tersebut dengan logika *fuzzy*. Perangkat lunak di PC akan menampilkan nilai data dalam bentuk angka dan grafik.

Bahasa pemrograman yang digunakan untuk mikrokontroler adalah BASCOM-AVR versi 1.11.9.0 dan ISP USB *downloader* untuk mengunduh program ke mikrokontroler. Untuk pembuatan tampilan antarmuka di desktop PC berupa sebuah *Website* dan dibuat menggunakan MACROMEDIA DREAMWEAVER 8, beserta library JGRAPH 2.5.1. kesemua *software* dijalankan dalam sistem operasi Windos 7.

#### **4.3 Sistem Kerja Software**

Proses pertama kali adalah, *software* mengambil nilai suhu dari sensor LM35DZ yang terhubung pada *PortA(A.0)*, dikarenakan data yang diambil dari sensor masih berupa data analog, maka selanjutnya data analog tersebut diubah menjadi data digital



*Source code* diatas adalah spesifikasi mikrokontroler (*header*) dan juga antarmuka terhadap masukan dan keluaran yang berfungsi sebagai pengenali mikrokontroler. Crystal 8000000 menunjukkan besar frekuensi yang masuk dan keluar ATmega32. Hal ini sebetulnya dapat dikonfigurasi sesuai kebutuhan aplikasi, namun karena TCP/IP Starter Kit kompatibel dengan crystal sebesar itu, maka digunakanlah crystal tersebut dalam rangkaian.

```

Const Sock_stream = $01      ' Tcp
Const Sel_recv = 2          ' Confirm Rx Data Size
Const Sock_closed = $00     ' Status Of Connection Closed
Const Sock_established = $06 ' Status Of Tcp Connection Established
Const Sock_close_wait = $07 ' Status Of Closing Tcp Connection

```

*Source code* diatas merupakan inti dari komunikasi dari aplikasi ini. Karena aplikasi hanya kompatibel dengan NM7010A yang artinya hanya menerima masukan data berupa TCP, maka socket yang digunakan adalah *Sock\_stream* dengan variabel \$01. Jika kita menggunakan modul jaringan lain, yang misalnya kompatibel dengan data bertipe UDP, maka Sock-streamnya bisa diganti dengan *Sock\_stream* = \$02, hal ini juga berlaku untuk tipe data yang lain.

```

Config Porta = Output
Reset Porta.0
Reset Porta.1
Reset Porta.2
Reset Porta.3
Reset Porta.4
Waitms 12
Set Porta.0
Set Porta.1
Set Porta.2
Set Porta.3
Set Porta.4

```

```

Config Pind.4 = Output
Set Portd.4
Reset Portd.4

```

```
' Hardware reset NM7010A module
```

```
Waitms 12
Set Portd.4
Config Porta = Output
```

Penggalan *source code* diatas adalah sebagai penanda awal kali aplikasi dinyalakan. Didalam *source* diatas tertulis *Waitms 12* yang artinya, program harus menunggu *delay* selama 12 millisecond. Ketika pertama kali dijalankan, lampu dalam aplikasi akan menyala sekitar 12 *millisecond*, lalu kemudian mati. Hal ini dikarenakan aplikasi dikonfigurasi sebagai *active low*, pertama eksekusi langsung mengalami *reset*. Setelah *delay* selama 12 *millisecond*, aplikasi akan mengalami *set* dan siap untuk diberi masukan dari PC.

```
' Change the MAC & IP address, SubMask, Gateway to appropriate to your network konfigurasi
' From computer connected to the network, type //192.168.1.8/index.htm at the Internet Explorer window
Config Tcpiip = Int0 , Mac = 12.128.12.34.56.78 , Ip = 192.168.1.8 , Submask = 255.255.255.0 , Gateway =
192.168.1.1 , Localport = 1000 , Tx = $55 , Rx = $55 , Twi = &H80 , Clock = 300000
```

*Source code* diatas berfungsi sebagai pengatur alamat (*address*) pada TCP/IP Starter kit. Selain alamat, konfigurasi *gateway*, *submask* dan *Localport* juga diatur. Selain itu TWI yang merupakan komponen tambahan, juga dikonfigurasi dengan kode ASCII &H80. Jika TWI tidak dikonfigurasi atau dikonfigurasi tanpa menggunakan komponen tambahan, maka *source code* tidak dapat dipanggil melalui *browser*. Untuk besar *clock*, didalam aplikasi dikonfigurasi sebesar 300000, hal ini dapat diubah-ubah dengan *clock* maksimal adalah 400000. Besar kecilnya *clock* yang digunakan, maka akan mempengaruhi kecepatan dan keakuratan transfer data. Semakin besar *clock* maka semakin cepat data yang ditransfer dan semakin tidak akurat pula data tersebut. Jadi lebih baik menggunakan *clock* yang tidak terlalu besar dan tidak terlalu kecil. Harapanya data akan sampai dengan cepat dan tepat.

```
'dim used variables
Dim S As String * 240 , Shtml As String * 15 , Sheader As String * 30
Dim Tempw As Word
Dim I As Byte , P1 As Byte , P2 As Byte
```

Selain hal tersebut diatas, didalam penggalan *source code* diatas juga dituliskan *Dim S As String \* 240 , Shtml As String \* 15 , Sheader As String \* 30* Hal ini menunjukkan bahwa jumlah *string* yang tertulis dalam *Shtml* (variabel untuk memanggil *webservice*) hanya 200 karakter. Itu artinya, mikrokontroler dapat diunduh dengan program apa saja, namun hanya berjumlah 200 karakter, selebihnya mikrokontroler akan *over load* dan terjadi *error*. Inilah yang menyebabkan tampilan dari *webservice* ini sangat sederhana dan tanpa variasi. Dipenggalan *source code* tersebut juga tertulis *Dim Tempw As Word* yang memiliki penjelasan bahwa type data yang digunakan dalam transfer data adalah *word* yang memiliki kapasitas data sebesar *16 bit*.

```

Do
Tempw = Socketstat(0 , 0)           ' get status
If Tempw = Sock_established Then
Tempw = Socketstat(0 , Sel_rcv)    ' get received bytes
If Tempw > 0 Then                  ' if there is something received
Do
Tempw = Tcpread(0 , S)             ' read a line
If Left(s, 3) = "GET" Then
Gosub Page
End If
Loop Until S = ""                  ' wait until we get an empty line
Tempw = Tcpwrite(0 , "HTTP/1.0 200 OK{013}{010}") ' send ok
Gosub Lampu
Gosub Stuur                        ' GET or HEAD or POST feedback so send it

Closesocket 0                      ' close the connection
End If
Elseif Tempw = Sock_close_wait Then
Closesocket 0                      ' we need to close
Elseif Tempw = Sock_closed Then
I = Getsocket(0 , Sock_stream , 80 , 0) ' get a new socket
Socketlisten 0                     ' listen
End If
Loop
End

```

Ini adalah *source code* yang mengatur komunikasi antara MCU dengan PC. Didalam *source* ini status socket diatur. Dapat dilihat pada keterangan di masing-masing baris *source code*, disana terlihat kapan pengaturan socket dibuka, ditutup, menerima data dari PC dan juga sebaliknya.

Aplikasi yang dibuat berjalan pada *browser*, maka dalam PC tidak disertakan pemrograman socket seperti teori-teori yang selama ini dipelajari (*client-server*). Jadi cukup pada MCU yang bertindak sebagai *server* yang diberi program *socket*, dan PC sebagai *client* cukup mengakses lewat *address* yang sudah ditentukan.

```
'get html page out of data
Page:
P1 = Instr(s, " ")           ' find first space
P1 = P1 + 1                 ' 4 string
P2 = Instr(p1, S, " ")     ' find second space
P2 = P2 - P1
Shtml = Mid(s, P1, P2)     ' dont use too long page names
Shtml = Lcase(shtml)       ' make lower case
```

*Source code* ini adalah sebagai inisialisasi pemanggil alamat web. P1 yang berisi variabel *s*, adalah sebagai awal dari bagian *get html page*. Variabel *s* berisi 3 *string*, yaitu perintah 'GET' sebagaimana tertuliskan pada *source code* sebelumnya. P2 berisi variable `Instr(p1,S," ")` ini artinya perintah GET akan memanggil sebanyak 5 *string* setelah penulisan *address*. Nama *file* yang akan dipanggil, terletak dalam *Shtml*.

```
Tempw = Tcwrite(0, "Content-Type: text/html{013}{010}")
If Shtml = "/index.htm" Then           ' data from eeprom

    If Shtml = "/test.htm" Then S = "<html><head><meta http-equiv='refresh ' content='5 ' > <title>Thermo
    Measurement</title></head><body><p><b>>Menampilkan Data Suhu</font><br><br></b>Suhu= " +
    Teg + " Cel" + "</p><p>&nbsp;</p><p>&nbsp;</p></body></html>"
```

*Tempw* jika berstatus 0 dan diberi masukan *address* "text.htm" dan dieksekusi ({013}{010} adalah perintah enter) maka akan memanggil data dari *eeprom* MCU. Jika *address* yang dipanggil sama dengan isi *Shtml*, yaitu *index.htm* maka program akan dieksekusi dan menampilkan halaman web pada PC. Web yang ditampilkan, adalah *source code* yang disimpan dalam variable *s*.

Pada proses pengiriman data, nilai suhu dapat ditampilkan di PC yang terhubung dengan TCP/IP starterkit Pada mikrokontroler ATmega32 didownloadkan *source code* yang berfungsi sebagai komunikasi, dapat diartikan bahwa mikrokontroler berfungsi sebagai *server* sedangkan PC berfungsi sebagai *client*. Untuk menampilkan data suhu dapat dilakukan dengan cara mengakses alamat IP dari mikrokontroler melalui antarmuka yang dibuat untuk PC.

```

}
$kodehtml=bacahtml('http://192.168.1.59/test.htm');
$pecah=explode('<br><br></b>Suhu= ', $kodehtml);
$pecahlagi=explode('Cel', $pecah[1]);
$link = mysql_connect("localhost", "root", "root");
ql_select_db("Suhu", $link);

```

Gambar 4. 1 Akses alamat IP mikrokontroler

Data suhu yang dikirim dari mikrokontroler ditulis dalam bentuk HTML, seperti kode program berikut

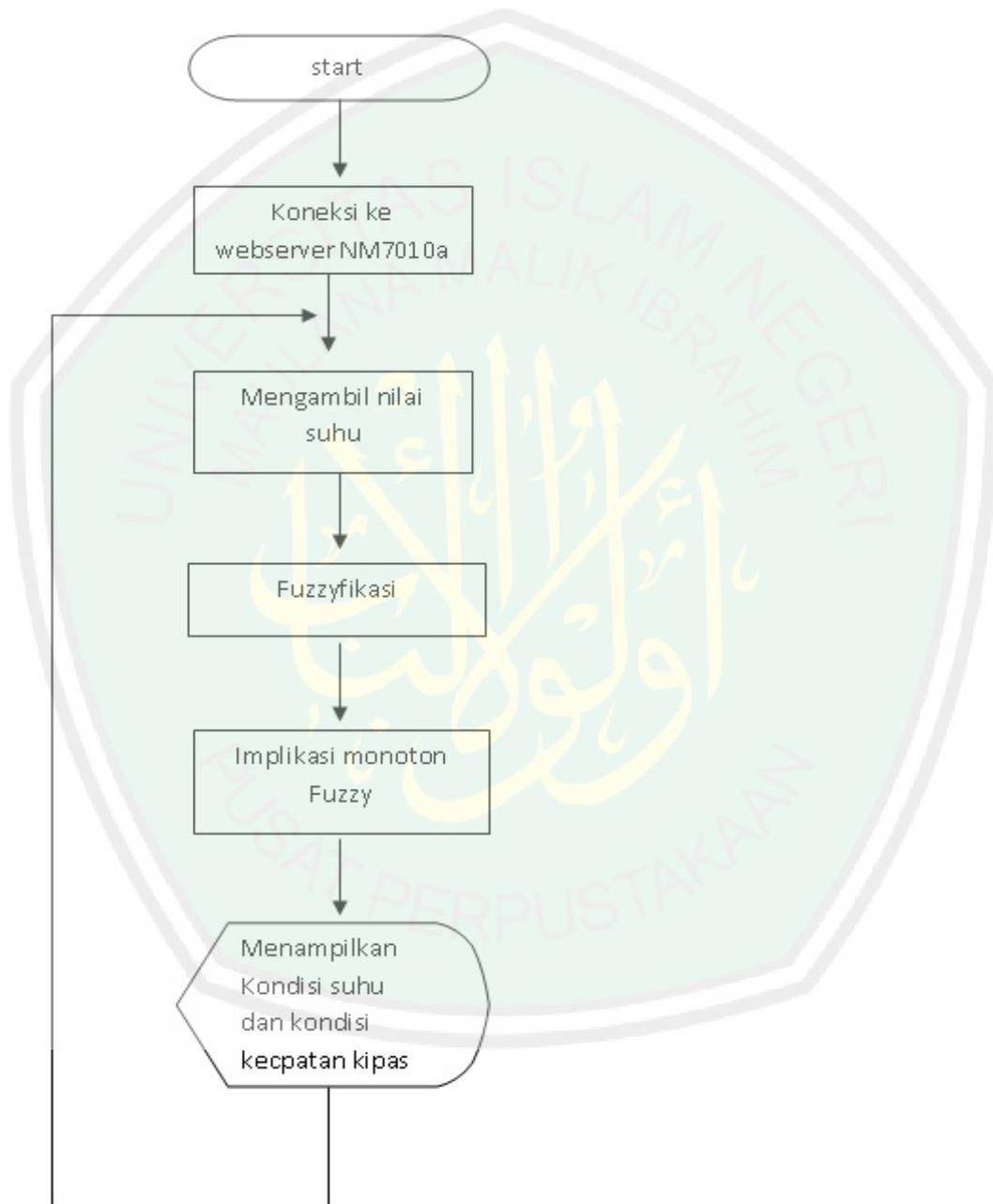
```

If Shtml = "/test.htm" Then S = "<html><head><meta http-equiv='refresh' content='5' > <title>Thermo
Measurement</title></head><body><p><b>Menampilkan Data Suhu</font><br><br></b>Suhu= " +
Teg + " Cel" + "</p><p>&nbsp;</p><p>&nbsp;</p><p>&nbsp;</p></body></html>"

```

Untuk membaca data suhu yang dikirim dari mikrokontroler dapat menggunakan *internet browser* dengan cara mengakses alamat IP pada mikrokontroler.

Untuk menampilkan data yang dikirim, dibuat antarmuka di PC yang berfungsi untuk menampilkan data dari mikrokontroler. Antarmuka di PC yang dibuat berbentuk *Website*, *web* akan menampilkan nilai suhu dan menampilkan grafik berdasarkan representasi grafik segitiga dan nilai *fuzzy*-nya.

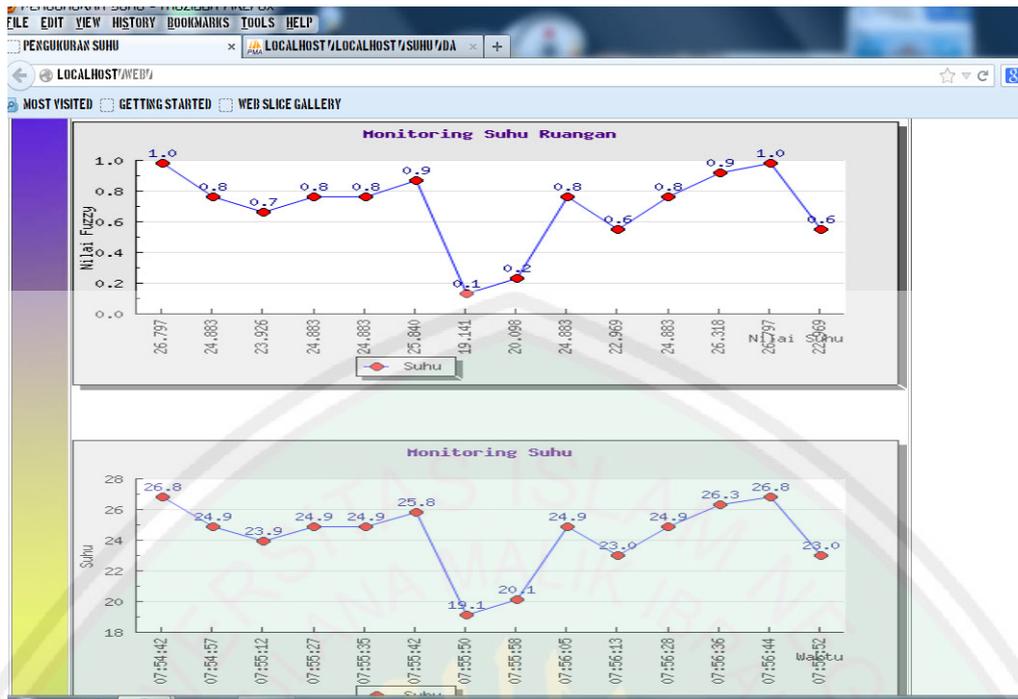


Gambar 4. 2 Flowchart pada aplikasi di desktop

Proses dari program web untuk menampilkan nilai suhu di PC adalah sebagai berikut,

- a. *Website* melakukan koneksi ke webserver NM7010a dengan alamat <http://192.68.1.59/test.htm>
- b. Ketika sudah terhubung, *Website* mengambil nilai suhu dari mikrokontroler dan menampilkan nilai tersebut
- c. Nilai yang diterima akan dimasukkan dalam proses fuzzifikasi.
- d. Setelah muncul hasil fuzzifikasi, dilakukan implikasi monoton untuk berdasar kaidah aturan yang dibuat
- e. Web menampilkan hasil implikasi yang berupa keadaan suhu ruangan dan keadaan kecepatan kipas pendingin
- f. Web kembali ke proses mengambil nilai

Penghitungan representasi *fuzzy* ditulis dengan PHP, serta untuk tampilan grafik juga ditulis dengan PHP dengan menambahkan *library open source* JGGraph.



Gambar 4.3 Perangkat lunak di PC yang menampilkan nilai suhu beserta grafiknya

Website akan menampilkan tulisan yang menunjukkan kondisi suhu, apakah dalam kondisi normal, atau panas atau dingin. Penentuan keadaan suhu, apakah dalam kondisi normal, dingin, atau panas menggunakan logika *fuzzy* yang telah diberi aturan – aturan tertentu. Suhu akan dikatakan normal jika berkisar antara 18°C – 27°C, dengan toleransi naik turun 15°C – 32°C dan memiliki nilai *fuzzy* 1.00, apabila nilai representasi yang muncul kurang dari 1.00 maka dikatakan suhu dalam keadaan agak dingin, dan suhu dikatakan dingin atau panas ketika nilai representasi yang muncul adalah 0.00.

Fungsi representasi segitiga digunakan untuk menentukan derajat keanggotaan dari nilai masukan suhu dan derajat keanggotaan yang muncul digunakan untuk implikasi *fuzzy* dan menentukan perkiraan kecepatan kipas yang diperlukan berdasarkan nilai suhu yang muncul. Berikut flowchart dari perangkat lunak yang dibuat

#### 4.4 Hasil uji coba

Pada subbab ini akan dilakukan pembahasan mengenai pengujian terhadap alat yang telah dibuat. Uji coba dilakukan dengan 2 perlakuan pengujian yang berbeda, yaitu pengujian dengan koneksi langsung antara alat pengukur suhu dengan komputer, dan pengujian dengan menghubungkan alat pengukur suhu dengan *access point*. Dalam uji coba ini, sensor di letakkan di ruang server.

#### 4.5.1. Uji Coba Alat pengukur suhu dengan PC tanpa melalui *switch*

Pada subbab ini alat pengukur suhu akan diuji dengan cara pengambilan data secara langsung dengan menggunakan kabel LAN tanpa melalui *switch* (*peer to peer*). Dalam uji coba ini digunakan kabel LAN sepanjang 15 meter sebagai penghubung perangkat sensor dengan PC. Berikut tabel dari hasil pengambilan nilai suhu tanpa melalui *switch*,

Tabel 4. 1 hasil pengambilan nilai suhu tanpa melalui *switch* (*peer to peer*)

suhu	Jam
29,66	9:37:21
29,66	9:37:29
30,14	9:37:37
30,14	9:37:44
26,79	9:37:52
29,18	9:37:59
29,66	9:38:07
29,66	9:38:15
22,96	9:38:22

Dari tabel diatas terlihat, dengan koneksi tanpa melalui *switch* (*peer to peer*) sensor dapat menampilkan perubahan suhu ruangan dalam rentang waktu 7 – 8 detik, dengan rata – rata suhu sebesar 28,65 °C.

#### 4.5.2. Ujicoba Keakuratan Alat Pengukur Suhu

Pada subbab ini alat pengukur suhu akan diuji untuk mengetahui tingkat ke akuratan pengukuran. Nilai suhu keluaran sensor akan dibandingkan

dengan nilai suhu yang terbaca oleh termometer digital. Berikut tabel pengambilan suhu dengan sensor dan termometer digital

**Tabel 4. 2 pengambilan suhu dengan sensor dan termometer digital**

No	termometer digital	sensor
1	27,4	32,1
2	27,3	23,0
3	26,9	30,6
4	26,8	30,6
5	26,7	30,6
6	26,8	49,3
7	26,7	31,6
8	26,6	24,9
9	26,5	26,8
10	26,4	32,1
Rata - rata	27	31,2

Dari tabel di atas, dapat diketahui bahwa sensor belum memiliki kestabilan keluaran, dan tingkat keakuratannya masih rendah, dengan selisih rata – rata suhu sebesar 4,3 °C dalam 10 kali pengambilan nilai suhu dari sensor yang dilakukan selama 90 menit

#### 4.5.3. Uji Coba Alat pengukur suhu melalui *switch hub*

Pada subbab ini alat pengukur suhu akan diuji dengan cara pengambilan data menggunakan *switch* dan diakses dua komputer secara bersamaan. Pembaruan (*update*) data suhu dilakukan dengan melakukan koneksi ulang (*refresh*) ke alat pengukur suhu. Berikut hasil pengambilan data di kedua komputer,

**Tabel 4. 3 hasil pengambilan nilai suhu melalui swicth**

nilai suhu di komputer 1	nilai suhu di komputer 2
26.797	26.318
24.883	24.883
23.926	22.969

24.883	24.883
24.883	25.840
25.840	23.926
19.141	24.883
20.098	24.883
24.883	22.969
22.969	24.883

Dari tabel diatas, hasil pemantauan yang ditampilkan komputer 1 dan 2 berbeda, hal ini disebabkan ketika dilakukan koneksi ulang, waktu yang dibutuhkan untuk mengakses ulang alat pengukur suhu oleh masing – masing komputer berbeda.

#### 4.5.4. Uji Coba menggunakan jaringan wireless

Pada subbab ini alat pengukur suhu akan diuji dengan cara menghubungkan alat pengukur suhu ke *access point* di ruang *server* Fakultas Sains dan Teknologi UIN Malang dan pengambilan data dilakukan dengan koneksi *wireless*.

Pengambilan data suhu ruang server dilakukan dari empat tempat berbeda, yaitu di lantai 1, lantai 2, lantai 3, dan lantai 4 gedung Fakultas Sains dan Teknologi UIN Malang. Pengukuran suhu ruang *server* Fakultas Sains dan Teknologi UIN Malang juga dilakukan dalam dua kondisi, yaitu ketika di dalam ruang *server* terdapat staf yang bertugas, dan ketika ruang *server* dalam keadaan kosong. Pengambilan data suhu dilakukan 48 jam setelah alat pengukur suhu dipasang. Pembaruan (*update*) data suhu dilakukan dengan melakukan koneksi ulang (*refresh*) ke alat pengukur suhu. Berikut tabel hasil pengambilan data dari alat pengukur suhu di masing – masing lantai ketika di ruang *server* terdapat staf yang bertugas.

Tabel 4. 4 Hasil pengukuran suhu ruang server dari lantai 1, 2, 3, dan 4 gedung Fakultas SAINTEK

lantai 1		lantai 2		lantai 3				lantai 4	
				It3_informatik		It3_matematika			
suhu	Jam	suhu	jam	suhu	jam	suhu	jam	suhu	jam
28,71	8:41:33	29,66	8:52:17	28,71	8:59:12	26,79	9:07:35	26,79	9:14:38
22,96	8:41:40	28,71	8:52:25	28,23	8:59:53	26,79	9:08:16	30,62	9:14:45
28,71	8:43:09	28,71	8:52:41	22,96	9:00:01	29,66	9:08:52	28,23	9:15:22
26,31	8:43:26	26,79	8:52:49	29,18	9:00:08	22,96	9:09:09	29,66	9:15:30
22,96	8:43:37	26,31	8:52:57	25,36	9:00:16	26,79	9:09:17	30,14	9:15:46
28,32	8:44:18	25,36	8:53:13	30,14	9:00:23	28,71	9:09:34	30,14	9:15:54
25,36	8:45:25	22,96	8:54:30	28,71	9:00:39	28,23	9:09:41	28,71	9:17:18
25,84	8:45:33	29,66	8:55:28	30,14	9:00:46	28,71	9:09:58	30,14	9:17:55
28,71	8:45:50	25,36	8:55:52	25,84	9:01:03	25,84	9:10:14	31,58	9:18:27
28,23	8:46:06	29,18	8:55:59	26,31	9:02:08	28,23	9:10:22	29,18	9:18:43

Pada saat pengambilan data, jeda waktu terpanjang terjadi pada awal koneksi ke alat pengukur suhu, dan lamanya waktu *refresh* berkisar antar 7 - 8 detik. Tidak ada perbedaan kecepatan koneksi di masing – masing lantai selama pengambilan data, dan kelambatan pengiriman data atau waktu *refresh* terjadi ketika kualitas sinyal *wifi* turun.

Untuk mengetahui perbedaan kondisi suhu di ruang *server* ketika terdapat staf yang bertugas dan kondisi suhu di runag *server* ketika kosong, berikut tabel kondisi suhu di ruang *server* ketika kosong,

Tabel 4. 5 perbedaan suhu ketika ruang *server* kosong dan ketika ada staf

nilai suhu ruang server kosong	jam	nilai suhu ruang server ketika ada staff di dalam	jam
24.883	07:35:57	26,79	9:14:38
23.926	07:36:05	30,62	9:14:45
24.883	07:36:12	28,23	9:15:22
24.883	07:36:20	29,66	9:15:30
25.840	07:36:28	30,14	9:15:46
19.141	07:36:43	30,14	9:15:54
20.098	07:36:51	28,71	9:17:18
24.883	07:36:58	30,14	9:17:55
22.969	07:37:06	31,58	9:18:27

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa kondisi suhu di ruang *server* ketika kosong lebih rendah dengan rata - rata suhu 23,979 °C dibandingkan ketika didalam ruang server terdapat staf yang bertugas. Rata – rata suhu ketika terdapat staf yang bertugas sebesar 29,52 °C



## Bab V

### Kesimpulan dan Saran

#### 5.1 Kesimpulan

- a. Perangkat pengukuran dengan sensor dapat dikomunikasikan langsung dalam sebuah jaringan dengan memanfaatkan modul *network* NM7010A dan mikrokontroler, modul *network* berfungsi sebagai jembatan komunikasi, dengan mengirim data dari mikrokontroler dalam bentuk paket TCP, sedangkan mikrokontroler berfungsi sebagai pengolah data dari sensor.
- b. Nilai suhu dari perangkat sensor dapat direpresentasikan dalam *fuzzy logic* dengan menggunakan salah satu metode *fuzzy logic*, yaitu menggunakan representasi kurva segitiga dan menggunakan penalaran monoton.
- c. Proses pemantauan dengan memanfaatkan *web browser*, menunjukkan *user* dapat melakukan pengamatan dari jarak jauh dengan perangkat yang memiliki *web browser* dan terhubung ke jaringan
- d. Tingkat keakuratan sensor LM35 yang tidak stabil, karena pengaruh ketidakstabilan nilai tegangan yang masuk ke sensor

#### 5.2 Saran

- a. Dengan memanfaatkan ATmega32, sensor yang digunakan dapat ditambah dengan sensor lain, seperti sensor kelembapan, karena tersedianya tujuh(7) port ADC, untuk meningkatkan kemampuan perangkat dan memaksimalkan pemanfaatan logika *fuzzy* untuk sistem kontrol.

- b. Untuk peningkatan akurasi sensor, dapat ditambahkan rangkaian penstabil tegangan input untuk sensor, atau melakukan kalibrasi melalui program mikrokontroler.



## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad bin Muhammad bin Mahdi bin'Ajyibah Al Husaini Al Idrisi As Syadzili Al Fasi Abu 'Abbas,2002, *Al Bahr Al Madiid Juz 8*,Beirut; Dar Al Kutb.
- Budiharto, Widodo, 2009, *Kendali Cerdas Berbasis SMS/WEB/TCP-IP*, Jakarta :Elex Media Komputindo.
- Budiharto, Widodo,S.Si, M.Kom dan Sigit Firmansyah, 2009, *Elektronika digital dan Mikroprosesor*, Yogyakarta:Penerbit Andi.
- Keiser, Gerd, 2002, *Local Area Network Second Edition*, New York: McGrawHill.
- Klir,George J., Bo Yuan, 1995, *Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications*, New Jersey:Prentice Hall
- Kusumadewi, Sri, 2003, *Atificial Intellegence (Teknik dan Aplikasinya)*, Yogyakarta :Graha Ilmu.
- Muhammad Amin bin Muhammad bin Muhtar Al Jinki Al Syinqiti, 1995 , *Adlwa' Al Bayan Fii Al lidlooh Al Quran Bil Quran*, Lebanon;Dar Al Fikr.
- National Semiconductor. 1995. **LM35 Precision Centridge Temperature Sensor**. {book on-line} National Semiconductor Corporation
- Sutanta, Edhy, S.T. 2005, *Komunikasi Data & Jaringan Komputer*, Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Technical Committee (TC) 9.9 Mission Critical Facilities, Technology Spaces, and Electronic Equipment whitepaper, 2011, *Thermal Guidelines for Data Processing Environments – Expanded Data Center Classes and Usage GuidanceASHRAE*, [www.ASHRAE.org](http://www.ASHRAE.org) (di unduh pada 01 Januari 2013)
- Winoto, Andi, 2008,*Mikrokontoroler AVR Atmega8/16/32/8535 dan pemrogramannya dengan bahas C pada WinAVR*, Bandung:Informatika.

Wahana Komputer, 2006, *Menguasai Pemrograman Web dengan PHP 5*,  
Yogyakarta:Penerbit Andi.

<http://jpgraph.net/doc/> , (diakses tanggal 10 Desember 2012)

[http://www.mcselec.com/index.php?option=com\\_content&task=view&id=302&Itemid=57](http://www.mcselec.com/index.php?option=com_content&task=view&id=302&Itemid=57)  
(diakses tanggal 10 Desember 2012)

[http://www.mcselec.com/index.php?option=com\\_content&task=view&id=18&Itemid=41](http://www.mcselec.com/index.php?option=com_content&task=view&id=18&Itemid=41)  
(diakses tanggal 10 Desember 2012)

ECHO MAGAZINE VOLUME VIII, ISSUE XXIII, PHILE 0x007, <http://ezine.echo.or.id> (diakses  
tanggal 10 Desember 2012)



## Lampiran – Lampiran

Lampiran 1  
Dokumen ASHRAE

# ASHRAE TC 9.9 2011 Thermal Guidelines for Data Processing Environments - Expanded Data Center Classes and Usage Guidance

Whitepaper prepared by ASHRAE Technical Committee (TC) 9.9 Mission  
Critical Facilities, Technology Spaces, and Electronic Equipment

© 2011, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. All rights reserved. This publication may not be reproduced in whole or in part; may not be distributed in paper or digital form; and may not be posted in any form on the Internet without ASHRAE's expressed written permission. Inquires for use should be directed to [publisher@ashrae.org](mailto:publisher@ashrae.org).

## **Introduction**

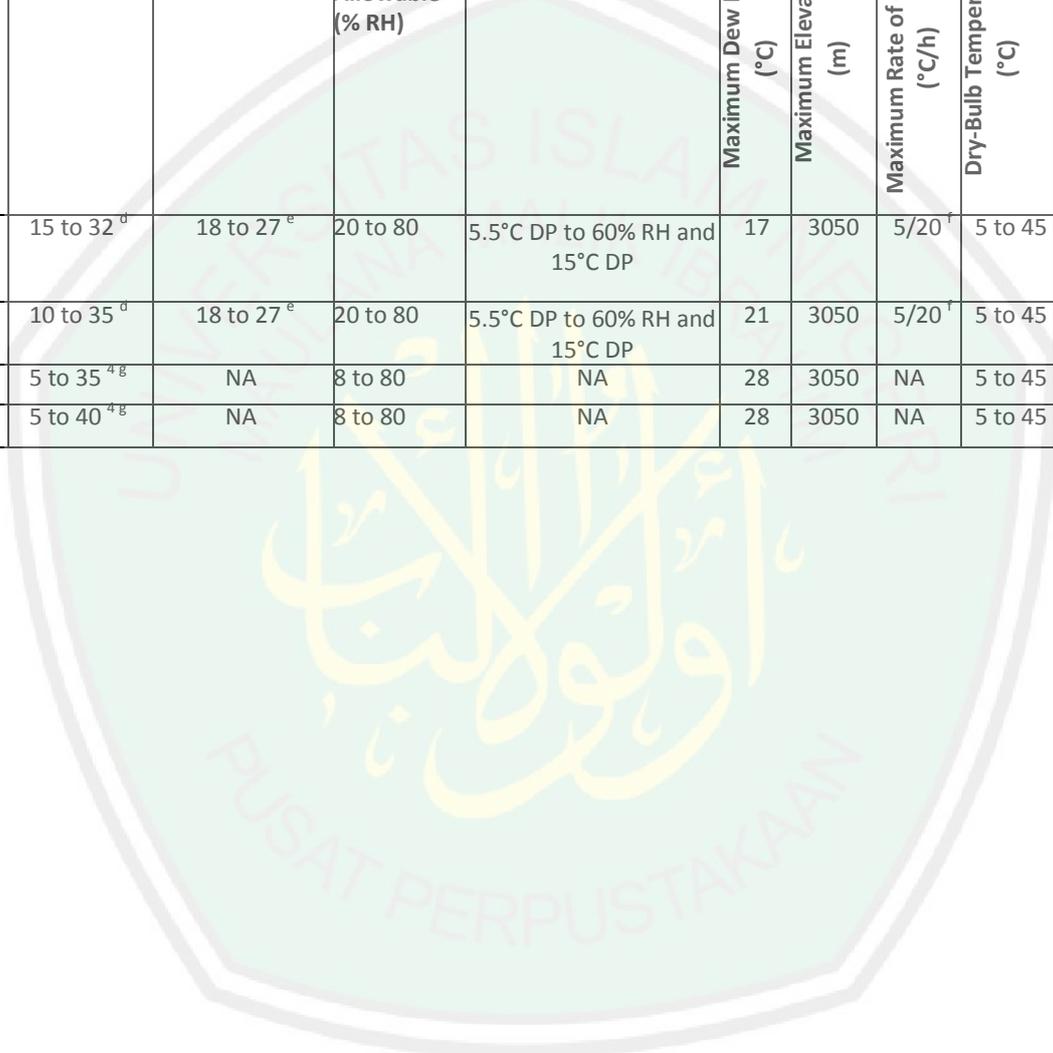
The first initiative of TC 9.9 was to publish the book, "Thermal Guidelines for Data Processing Environments".

- S Prior to the formation of TC 9.9, each commercial IT manufacturer published its own independent temperature specification. Typical data centers were operated in a temperature range of 20 to 21°C with a common notion of 'cold is better'.
- S Most data centers deployed IT equipment from multiple vendors resulting in the ambient temperature defaulting to the IT equipment having the most stringent temperature requirement plus a safety factor.
- S TC 9.9 obtained informal consensus from the major commercial IT equipment manufacturers for both "recommended" and "allowable" temperature and humidity ranges and for four environmental classes, two of which were applied to data centers.
- S Another critical accomplishment of TC 9.9 was to establish IT equipment air inlets as the common measurement point for temperature and humidity compliance; requirements in any other location within the data center were optional.

The global interest in expanding the temperature and humidity ranges continues to increase driven by the desire for achieving higher data center operating efficiency and lower total cost of ownership (TCO). In 2008, TC 9.9 revised the requirements for Classes 1 and 2 to be less stringent. The following table summarizes the current guidelines published in 2008 for temperature, humidity, dew point, and altitude.

Table 1. ASHRAE 2008 Thermal Guidelines

Class	Equipment Environment Specifications									
	Product Operation <sup>a,b</sup>							Product Power Off <sup>b,c</sup>		
	Dry Bulb Temperature (°C)		Humidity Range, Non Condensing		Maximum Dew Point (°C)	Maximum Elevation (m)	Maximum Rate of Change (°C/h)	Dry-Bulb Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Maximum Dew Point (°C)
	Allowable	Recommended	Allowable (% RH)	Recommended						
1	15 to 32 <sup>d</sup>	18 to 27 <sup>e</sup>	20 to 80	5.5°C DP to 60% RH and 15°C DP	17	3050	5/20 <sup>f</sup>	5 to 45	8 to 80	27
2	10 to 35 <sup>d</sup>	18 to 27 <sup>e</sup>	20 to 80	5.5°C DP to 60% RH and 15°C DP	21	3050	5/20 <sup>f</sup>	5 to 45	8 to 80	27
3	5 to 35 <sup>4,g</sup>	NA	8 to 80	NA	28	3050	NA	5 to 45	8 to 80	29
4	5 to 40 <sup>4,g</sup>	NA	8 to 80	NA	28	3050	NA	5 to 45	8 to 80	29



- a. Product equipment is powered on.
- b. Tape products require a stable and more restrictive environment (similar to Class 1). Typical requirements: minimum temperature is 15°C, maximum temperature is 32°C, minimum relative humidity is 20%, maximum relative humidity is 80%, maximum dew point is 22°C, rate of change of temperature is less than 5°C/h, rate of change of humidity is less than 5% RH per hour, and no condensation.
- c. Product equipment is removed from original shipping container and installed but not in use, e.g., during repair maintenance, or upgrade.
- d. Derate maximum allowable dry-bulb temperature 1°C/300 m above 900 m.
- e. Derate maximum recommended dry-bulb temperature 1°C/300 m above 1800 m.
- f. 5°C/hr for data centers employing tape drives and 20°C/h for data centers employing disk drives.
- g. With diskette in the drive, the minimum temperature is 10°C.

The primary differences in the first version of the Thermal Guidelines published in 2004 and the current guidelines published in 2008 were in the changes to the recommended envelope shown in the table below.

Table 2. Comparison of 2004 and 2008 Versions of Recommended Envelopes

	2004 Version	2008 Version
Low End Temperature	20° C (68° F)	18° C (64.4° F)
High End Temperature	25° C (77° F)	27° C (80.6° F)
Low End Moisture	40% EH	5.5° C DP (41.9° F)
High End Moisture	55% EH	60% EH & 15° C DP (59° FDP)

Increasing the temperature and humidity ranges increased the opportunity to use compressor-less cooling solutions. Typically, the equipment selected for data centers is designed to meet either Class 1 or 2 requirements. Class 3 is for applications such as personal computers and Class 4 is for applications such as "point of sale" IT equipment used indoors or outdoors.

These environmental guidelines / classes are really the domain and expertise of IT OEMs. TC 9.9's "IT Subcommittee" is exclusively comprised of engineers from commercial IT manufacturers; the subcommittee is strictly technical.

The commercial IT manufacturers' design, field, and failure data is shared (to some extent) within this IT Subcommittee enabling greater levels of disclosure and ultimate decision to expand the environmental specifications.

Prior to TC 9.9, there were no organizations or forums to remove the barrier of sharing information amongst competitors. This is critical since having some manufacturers conform while others do not returns one to the trap of a multi-vendor data center where the most stringent requirement plus a safety factor would most likely preside. The IT manufacturers negotiated amongst themselves in

private resulting in achieving some sharing of critical information.



From an end user perspective, it is also important that options are provided for multi-vendor facilities such as:

- Option 1 - use IT equipment optimized for a combination of attributes including energy efficiency and capital cost with the dominant attribute being RELIABILITY
- Option 2 - use IT equipment optimized for a combination of attributes including some level of reliability with the dominant attribute being ENERGY and compressor- less cooling

The industry needs both types of equipment but also needs to avoid having Option 2 inadvertently increase the acquisition cost of Option 1 by increasing purchasing costs through mandatory requirements NOT desired or used by all end users. Expanding the temperature and humidity ranges can increase the physical size of the IT equipment (e.g. more heat transfer area required), increase IT equipment air flow, etc. This can impact embedded energy cost, power consumption and finally the IT equipment purchase cost.

TC 9.9 has demonstrated the ability to unify the commercial IT manufacturers and improve the overall performance including energy efficiency for the industry. The TC 9.9 IT Subcommittee worked diligently to expand the Environmental Classes to include two new data center classes.

By adding these new classes and NOT mandating all servers conform to something such as 40°C, the increased server packaging cost for energy optimization becomes an option rather than a mandate.

Developing these new classes exclusively amongst the commercial IT manufacturers should produce better results since the sharing of some critical data amongst them has proven in the past to achieve broader environmental specifications than what otherwise would have been achieved.

The next version of the book, "Thermal Guidelines for Data Processing Environments, - Third Edition", will include expansion of the environmental classes as described in this whitepaper.

The naming conventions have been updated to better delineate the types of IT equipment. The old and new classes are now specified differently.

Table 3. 2011 and 2008 Thermal Guideline Comparisons

2011 classe	2008 classe	Applications	IT Equipment	Environmental Control
A1	1	Datacenter	Enterprise servers, storage products	Tightly controlled
A2	2		Volume servers, storage products, personal computers, workstations	Some control
A3	NA		Volume servers, storage products, personal computers, workstations	Some control
A4	NA		Volume servers, storage products, personal computers, workstations	Some control
B	3	Office, home, transportable environment, etc.	Personal computers, workstations, laptops, and printers	Minimal control
C	4	Point-of-sale, industrial, factory, etc.	Point-of-sale equipment, ruggedized controllers, or computers and PDAs	No control

#### New Environmental Class Definitions

Compliance with a particular environmental class requires full operation of the equipment over the entire allowable environmental range, based on non-failure conditions.

Class A1: Typically a data center with tightly controlled environmental parameters (dew point, temperature, and relative humidity) and mission critical operations; types of products typically designed for this environment are enterprise servers and storage products.

Class A2: Typically an information technology space or office or lab environment with some control of environmental parameters (dew point, temperature, and relative humidity); types of products typically designed for this environment are volume servers, storage products, personal computers, and workstations.

Class A3/A4: Typically an information technology space or office or lab environment with some control of environmental parameters (dew point, temperature, and relative humidity); types of products typically designed for this environment are volume servers, storage products, personal computers, and workstations.

Class B: Typically an office, home, or transportable environment with minimal control of environmental parameters (temperature only); types of products typically designed for this environment are personal computers, workstations, laptops, and printers.

Class C: Typically a point-of-sale or light industrial or factory environment with weather protection, sufficient winter heating and ventilation; types of products typically designed for this environment are point-of-sale equipment, ruggedized controllers, or computers and PDAs.

Table 4. 2011 ASHRAE Thermal Guidelines (I-P version in Appendix E)

The 2008 recommended ranges as shown here and in Table 2 can still be used for data centers. For potentially greater energy savings, refer to the section 'Guide for the Use and Application of the ASHRAE Data Center Classes' and the detailed flowchart in Appendix F for the process needed to account for multiple server metrics that impact overall TCO.

Classes (a)	Equipment Environmental Specifications								
	Product Operations (b)(c)					Product Power Off		(c) (d)	
	Dry-Bulb Temperature (°C) (e) (g)	Humidity Range, non-Condensing (h) (i)	Maximum Dew Point (°C)	Maximum Elevation (m)	Maximum Rate of Change(°C/hr) (f)	Dry-Bulb Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Maximum Dew Point (°C)	Dew
<b>Recommended</b> (Applies to all A classes; individual data centers can choose to expand this range based upon the analysis described in this document)									
A1 to A4	18 to 27	5.5°C DP to 60% RH and 15°C DP							
<b>Allowable</b>									
A1	15 to 32	20% to 80% RH	17	3050	5/20	5 to 45	8 to 80	27	
A2	10 to 35	20% to 80% RH	21	3050	5/20	5 to 45	8 to 80	27	
A3	5 to 40	-12°C DP & 8% RH to 85% RH	24	3050	5/20	5 to 45	8 to 85	27	
A4	5 to 45	-12°C DP & 8% RH to 90% RH	24	3050	5/20	5 to 45	8 to 90	27	
B	5 to 35	8% RH to 80% RH	28	3050	NA	5 to 45	8 to 80	29	
C	5 to 40	8% RH to 80% RH	28	3050	NA	5 to 45	8 to 80	29	

a. Classes A1, A2, B and C are identical to 2008 classes 1, 2, 3 and 4. These classes have simply been renamed to avoid confusion with classes A1 thru A4. The recommended envelope is identical to that published in the 2008 version.

- b. Product equipment is powered on.
  - c. Tape products require a stable and more restrictive environment (similar to Class A1). Typical requirements: minimum temperature is 15°C, maximum temperature is 32°C, minimum relative humidity is 20%, maximum relative humidity is 80%, maximum dew point is 22°C, rate of change of temperature is less than 5°C/h, rate of change of humidity is less than 5% RH per hour, and no condensation.
  - d. Product equipment is removed from original shipping container and installed but not in use, e.g., during repair maintenance, or upgrade.
  - e. A1 and A2 - Derate maximum allowable dry-bulb temperature 1°C/300 m above 950 m.  
A3 - Derate maximum allowable dry-bulb temperature 1°C/175 m above 950 m.  
A4 - Derate maximum allowable dry-bulb temperature 1°C/125 m above 950 m.
  - f. 5°C/hr for data centers employing tape drives and 20°C/hr for data centers employing disk drives.
  - g. With diskette in the drive, the minimum temperature is 10°C.
  - h. The minimum humidity level for class A3 and A4 is the higher (more moisture) of the -12 °C dew point and the 8% relative humidity. These intersect at approximately 25°C. Below this intersection (~25C) the dew point (-12 °C) represents the minimum moisture level, while above it relative humidity (8%) is the minimum.
  - i. Moisture levels lower than 0.5°C DP, but not lower -10°C DP or 8% RH, can be accepted if appropriate control measures are implemented to limit the generation of static electricity on personnel and equipment in the data center. All personnel and mobile furnishings/equipment must be connected to ground via an appropriate static control system. The following items are considered the minimum requirements (see Appendix A for additional details):
    - 1) Conductive Materials
      - a) conductive flooring
      - b) conductive footwear on all personnel that go into the datacenter, including visitors just passing through;
      - c) all mobile furnishing/equipment will be made of conductive or static dissipative materials.
- During maintenance on any hardware, a properly functioning wrist strap must be used by any personnel who contacts IT equipment.