

LAPORAN PENELITIAN

DESAIN SISTEM UKUR SIMULTAN DAN PORTABEL BERBASIS MIKROKONTROLER AT89C51

0900467

Oleh :

Drs. Hari Arief D., MEng.
Drs. Sugeng Rianto, MSc.
Dr.-Ing. Setyawan P. S., MEng.
Drs. Didik Yudianto, MSc.
Agus Naba, SSi., M.T.

Penelitian ini dibiayai oleh Dana Rutin Universitas Brawijaya
Berdasarkan Surat Perjanjian No. 10/J.10.1.28/PG/2002



DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2002



LEMBAR PENGESAHAN

1. a. Judul Penelitian : Desain Sistem Ukur Simultan dan Portabel Berbasis Mikrokontroler AT89C51
b. Bidang Ilmu : Fisika Instrumentasi
c. Kategori Penelitian : I
2. Ketua Penelitian
a. Nama Lengkap dan Gelar : Drs. Hari Arief Dharmawan, M.Eng.
b. Jenis Kelamin : Laki-laki
c. Golongan / Pangkat / NIP : Penata Muda / IIIa / 132 125 706
d. Jabatan Fungsional : Asisten Ahli
e. Jabatan Struktural : Kepala Laboratorium Instrumentasi dan Pengukuran Jurusan Fisika FMIPA
f. Fakultas / Jurusan : MIPA / Fisika
g. Pusat Penelitian : Universitas Brawijaya
3. Anggota Peneliti
 1. Drs. Sugeng Rianto, MSc.
 2. Dr.-Ing. Setyawan P. S., MEng.
 3. Drs. Didik Yudianto, MSc.
 4. Agus Naba, SSi., M.T.
4. Lokasi Penelitian : Laboratorium Instrumentasi dan Pengukuran Jurusan Fisika FMIPA Universitas Brawijaya, Perum. Bumiasri Q5 Malang
5. Lama Penelitian : 4 (empat) bulan
6. Biaya Penelitian : Rp. 2.832.000,-
7. Sumber Dana : Dana Rutin Universitas Brawijaya

Menyetujui
Ketua BPP FMIPA



Drs. Unggul P. J., MSc.
NIP. 131 879 050

Ketua Peneliti



Drs. Hari Arief D., MEng.
NIP. 132 125 706

Mengetahui
Dekan FMIPA
Universitas Brawijaya



Ir. Adam Wiryawan, MS.
NIP 131 413 446



DESAIN SISTEM UKUR SIMULTAN DAN PORTABEL BERBASIS MIKROKONTROLER AT89C51

ABSTRAK

Pada penelitian ini, telah dilakukan perancangan dan pembuatan sistem ukur portabel yang simultan berbasis mikrokontroler. Alat tersebut dirancang sedemikian rupa agar dapat dihubungkan ke berbagai jenis sensor yang mempunyai keluaran berupa tegangan analog. Alat yang dibuat ini diharapkan dapat melakukan pengukuran secara simultan untuk jenis-jenis sensor tertentu yang telah dihubungkannya.

Alat tersebut juga dirancang agar dapat merekam hasil pengukurannya untuk tiap interval waktu tertentu. Selain itu, alat ini dilengkapi dengan port RS232 yang dapat dihubungkan ke port serial sebuah PC, yang memungkinkan pengguna untuk mentransfer data hasil pengukurannya ke PC.

Dari hasil uji coba alat, dapat diketahui bahwa alat tersebut dapat melakukan pengukuran beberapa variabel secara simultan, dapat melakukan perekaman data secara periodik, dengan interval waktu antara 1 detik sampai 12 jam, dengan jumlah rekaman per kanal maksimum sebanyak 500 rekaman serta dapat melakukan komunikasi dengan PC untuk mentransfer data hasil pengukuran maupun perekaman.

DESIGN OF SIMULTANEOUS AND PORTABLE MEASUREMENT SYSTEM BASED ON MICROCONTROLLER AT89C51

ABSTRACT

This research focuses on the design of simultaneous and portable measurement system based on microcontroller AT89C51. This device is aimed to be connected to all types of sensors having analog voltage outputs. It is expected that the device will be able to simultaneously measure quantities from some sensors which are connected to it.

The device is also designed so that it can record its measurement results at certain time interval. Moreover, a serial port provided on the device enables users to transfer their measurement results to their Personal Computer (PC).

Testing results reveal that the device is able to simultaneously measure some variables on its inputs and able to periodically perform recording at every 1 second up to 12 hours. Total number of records which can be performed is 500 records per channel. Finally, this device is able to communicate with a PC for the purposes of transferring measurement results or records.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Illahi atas segala karunia yang dilimpahkan, sehingga penyusun dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul : **Desain Sistem Ukur Simultan dan Portabel Berbasis Mikrokontroler AT89C51.**

Penyusun ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu terlaksananya kegiatan penelitian ini, baik secara langsung maupun tidak langsung. Tim peneliti banyak berharap agar kegiatan penelitian ini banyak memberikan manfaat bagi semua pihak.

Akhirnya, penyusun menyadari banyaknya kekurangan pada penelitian ini, oleh karena itu penyusun berharap adanya saran dan kritik yang bersifat membangun sebagai referensi untuk perbaikan dimasa yang akan datang.

Malang, November 2002

Penyusun



DAFTAR ISI

	Halaman
Lembar Pengesahan	i
Abstrak	ii
Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	iv
Daftar Tabel	v
Daftar Gambar	vi
BAB I. Pendahuluan	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Manfaat Penelitian	3
BAB II. Tinjauan Pustaka	4
2.1. Instrumen	4
2.2. Sensor	5
2.3. Analog to Digital Converter (ADC)	6
2.4. Mikrokontroler	7
2.4.1. Central Processing Unit (CPU)	7
2.4.2. Random Access Memory (RAM)	7
2.4.3. Read Only Memory (ROM)	8
2.4.4. Input/Output	8
2.4.5. Mikrokontroler AT89C51	8
2.5. Curve Fitting	9
BAB III. Metode Penelitian	11
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	11
3.2. Bahan yang Digunakan	11
3.3. Peralatan yang Digunakan	12
3.4. Prosedur Penelitian	12
BAB IV. Hasil dan Pembahasan	29
4.1. Hasil Pengujian	29
4.1.1. Pengujian Unit ADC	
4.1.2. Pengujian Unit Pengembangan Mikrokontroler, Peralatan Input/Output dan Memory Eksternal	30
4.1.3. Pengujian Unit Sensor Temperatur	30
4.1.4. Pengujian Perekaman Data	31
4.1.5. Pengujian Monitoring Data Melalui PC	34
4.1.6. Pengujian Perekaman Data Melalui PC	34
4.2. Pembahasan	35
BAB V. Kesimpulan	44
Daftar Pustaka	46

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Beberapa jenis sensor dengan proses fisiknya	5
Tabel 3.1. Fungsi tombol-tombol pada keypad	17
Tabel 4.1. Data hasil pengujian ADC	29
Tabel 4.2. Hasil pengujian sensor temperatur	31
Tabel 4.3. Pengujian perekaman suhu	32
Tabel 4.4. Pengujian perekaman suhu melalui PC	37

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Contoh hubungan linier dan tidak linier antara variabel yang diukur dan besaran listrik yang didapatkan	5
Gambar 2.2. Pengembangan mikrokontroler menggunakan RAM dan ROM Eksternal	9
Gambar 3.1. Skematik rangkaian sistem pengukur	14
Gambar 3.2.a. Tampak depan sistem pengukur	15
Gambar 3.2.b. Tampak samping sistem pengukur	15
Gambar 3.2.c. Tampak atas sistem pengukur	15
Gambar 3.3. Flowchart program sistem pengukur	16
Gambar 3.4. Menu utama pada sistem pengukur	17
Gambar 3.5. Tampilan awal LCD	18
Gambar 3.6. Tampilan memasukkan angka	19
Gambar 3.7. Tampilan pengukuran	20
Gambar 3.8. Tampilan kanal aktif	21
Gambar 3.9. Tampilan 'Record Progress'	22
Gambar 3.10. Tampilan record pada LCD	22
Gambar 3.11.a. Penyajian monitoring data dengan angka	26
Gambar 3.11.b. Penyajian monitoring data dengan grafik	27
Gambar 4.1. Hasil pengujian perekaman suhu	34
Gambar 4.2. Grafik hasil pengujian monitoring data	35
Gambar 4.3. Hasil pengujian monitoring suhu dalam tabel	35
Gambar 4.4. Grafik hasil pengujian perekaman suhu melalui PC	36
Gambar 4.5. Grafik hasil pengujian ADC pada kanal 1	38
Gambar 4.6. Tampak atas alat	42
Gambar 4.7. Tampak atas dan depan alat	42
Gambar 4.8. Pengujian menggunakan sensor suhu	43
Gambar 4.9. Pengujian menggunakan alat yang terhubung dengan PC	43

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pengukuran suatu besaran atau variabel memegang peranan yang sangat penting dalam dunia industri, lembaga penelitian maupun pemakaian di lapangan. Pada umumnya, pengukuran tersebut membutuhkan suatu perangkat pengukur (instrumen) dengan ketelitian, ketepatan dan kesalahan yang dapat ditoleransi.

Dengan berkembangnya teknologi, tuntutan akan sistem pengukur dengan mutu yang lebih tinggi dan lebih fleksibel penggunaannya, memicu para desainer instrumen untuk mengikuti kebutuhan tersebut. Perkembangan teknologi tersebut juga banyak memberikan kemudahan bagi para desainer untuk merancang dan membuat alat berbasis mikrokontroler maupun personal komputer (PC). Dengan menggunakan perangkat pembantu seperti mikrokontroler maupun PC tersebut, pengolahan dan penyajian data dapat dilakukan secara digital. Hal ini mengurangi kesalahan-kesalahan yang sering terjadi sewaktu kita menggunakan instrumen analog.

Lebih jauh lagi, saat ini banyak dibutuhkan instrumen yang dapat melakukan pengukuran beberapa variabel secara simultan dan kontinyu, sedangkan permasalahan yang timbul, sering kali tidak dapat diselesaikan dengan menggunakan instrumen yang telah tersedia di pasaran.

Berangkat dari hal-hal tersebut di atas, maka penelitian kali ini akan ditujukan pada perancangan dan pembuatan sistem ukur portabel yang simultan berbasis mikrokontroler. Alat tersebut dirancang sedemikian rupa agar dapat dihubungkan ke berbagai jenis sensor yang mempunyai keluaran berupa tegangan analog. Alat yang dibuat ini diharapkan dapat melakukan pengukuran secara simultan untuk jenis-jenis sensor tertentu yang telah dihubungkannya. Alat tersebut juga dirancang agar dapat merekam hasil pengukurannya untuk tiap interval waktu tertentu. Selain itu, alat ini dilengkapi dengan port RS232 yang dapat dihubungkan ke port serial sebuah PC, yang

memungkinkan pengguna untuk mentransfer data hasil pengukurannya ke PC. Alat ini dilengkapi dengan user-interface sebagai sarana untuk memudahkan dan memaksimalkan penggunaan fasilitas-fasilitas yang ada, pengguna dapat meng-akses-nya melalui keypad 4x4 dan LCD 2x16.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kemudahan dan solusi bagi para pengguna di dunia industri, lembaga penelitian dan di lapangan, untuk melakukan suatu pengukuran, monitoring dan perekaman beberapa variabel secara simultan.

1.2. Perumusan Masalah

Perumusan masalah untuk perancangan sistem pengukur dalam penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Bagaimana merancang perangkat keras sistem pengukur simultan dan portabel menggunakan mikrokontroler AT89C51
2. Bagaimana merancang perangkat keras sistem pengukur tersebut agar dapat melakukan perekaman data secara periodik
3. Bagaimana merancang perangkat keras sistem pengukur tersebut agar dapat berkomunikasi dengan sebuah PC untuk tujuan mentransfer data hasil pengukuran
4. Bagaimana merancang perangkat lunak sistem pengukur tersebut agar agar sistem dapat bekerja seperti yang diinginkan serta memberi kemudahan bagi penggunanya
5. Bagaimana merancang perangkat lunak pada PC untuk dapat berinteraksi dengan sistem pengukur tersebut

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah melakukan desain perangkat keras dan perangkat lunak sistem pengukur simultan dan portabel menggunakan mikrokontroler AT89C51. Sistem pengukur tersebut didesain agar dapat melakukan perekaman data secara periodik serta dapat berkomunikasi dengan sebuah PC untuk tujuan mentransfer data hasil pengukuran.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat

1. Memberikan solusi untuk melakukan pengukuran secara simultan beberapa besaran fisis dalam dunia industri, lembaga penelitian maupun pemakaian di lapangan
2. Memberikan kemudahan untuk melakukan proses perekaman dan monitoring beberapa besaran proses secara periodik.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Instrumen

Dalam kitannya dengan suatu pengukuran, instrumen didefinisikan sebagai *sebuah alat yang digunakan untuk menentukan nilai atau kebesaran dari suatu kuantitas atau variabel* [Cooper, 1993]. Instrumen pada umumnya digunakan sebagai alat bantu untuk menentukan nilai dari suatu besaran yang tidak diketahui. Instrumen itu sendiri memiliki spesifikasi sebagai berikut [Cooper, 1993]

1. Ketelitian (*accuracy*) : merupakan harga terdekat dengan mana suatu pembacaan instrumen mendekati harga sebenarnya dari variabel yang diukur.
2. Ketepatan (*precision*) : suatu ukuran kemampuan untuk mendapatkan hasil pengukuran yang serupa.
3. Sensitivitas (*sensitivity*) : perbandingan antara sinyal keluaran atau respons instrumen terhadap perubahan masukan atau variabel yang diukur.
4. Kesalahan (*error*) : penyimpangan variabel yang diukur dari harga (nilai) sebenarnya.

Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang lebih tepat sewaktu melakukan pengukuran dengan menggunakan instrumen, pada umumnya, pengguna disarankan untuk melakukan pengamatan beberapa kali. Kesalahan dapat saja terjadi, dan hal ini dapat ditimbulkan dari beberapa jenis seperti faktor manusia, faktor lingkungan dan faktor yang disebabkan oleh instrumen itu sendiri. Kesalahan yang ditimbulkan oleh suatu instrumen disebut kesalahan sistimatis (*systematic error*). Kesalahan ini dapat ditimbulkan oleh kerusakan komponen pada instrumen ataupun perubahan nilai-nilainya terhadap pengaruh lingkungan.

2.2. Sensor

Sensor merupakan bagian yang dapat merubah besaran fisik seperti temperatur, gaya, intensitas cahaya dll. menjadi besaran listrik yang proporsional. Sensor tersebut dapat berupa sensor yang sederhana maupun alat pemroses sinyal elektronik yang terhubung sesudahnya, seperti penguat, kompensasi temperatur dan linearisasi [Link, 1995]. Sensor memiliki karakteristik sebagai berikut

1. Linearitas
2. Ketergantungan terhadap suhu
3. Kepekaan
4. Waktu tanggapan
5. Batas frekuensi terendah dan tertinggi
6. Stabilitas waktu
7. Histeresis

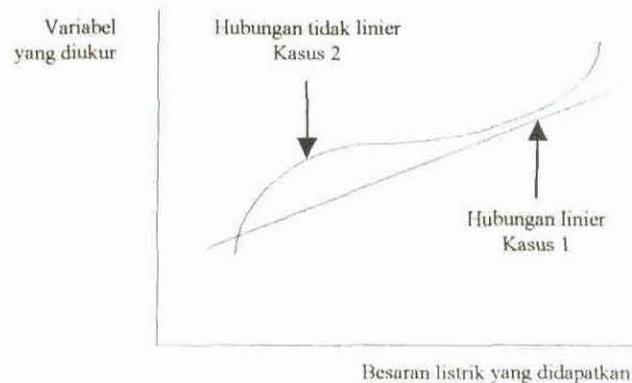
Proses fisik yang menjadi dasar kerja sensor tergantung pada aplikasi yang memerlukan sensor tersebut. Tabel 2.1 menunjukkan beberapa jenis sensor yang disertai dengan contoh proses fisiknya.

Tabel 2.1. Beberapa jenis sensor dengan proses fisiknya [Link, 1995]

Besaran Fisik	Prinsip Sensor					
	Efek Hall	Piezo-resistif	Foto-elektrik	Pita tarik	Thermo-resistif	Induktif
Arus listrik	√					
Fluks magnet	√					
Temperatur					√	
Penerangan			√			
Gaya	√			√		√
Tekanan		√		√		
Posisi	√		√			√
Kecepatan	√		√			√
Percepatan	√		√			√
Kecepatan putar	√		√			√

Pada sensor, hubungan antara variabel yang diukur dan besaran listrik yang didapatkan tidaklah harus linier. Hal yang penting disini adalah, sensor

tersebut memberikan keluaran yang 'smooth' serta memberikan representasi yang unik terhadap variabel yang diukur [Johnson, 1977]. Gambar 2.1. memberikan gambaran tentang hubungan linier (kasus 1) dan tidak linier (kasus 2) antara variabel yang diukur dan besaran listrik yang didapatkan.



Gambar 2.1. Contoh hubungan linier dan tidak linier antara variabel yang diukur dan besaran listrik yang didapatkan

2.3. Analog to Digital Converter (ADC)

Analog to Digital Converter (ADC) merupakan suatu piranti yang digunakan untuk mengubah besaran analog menjadi besaran digital. Beberapa hal yang menentukan mutu dari ADC, yaitu

1. Kesalahan kuantisasi
2. Ketidak-linearitas
3. Kode tidak lengkap
4. Waktu konversi.

Kesalahan kuantisasi yang timbul pada ADC adalah sebesar $\frac{1}{2}$ least significant bit (LSB). Suatu contoh pada ADC 10-bit, besar kesalahan maksimum adalah $1/2048 = 0.5\%$. Kesalahan kuantisasi ini dapat diperkecil dengan jumlah bit ADC yang lebih besar. Selain itu, kesalahan dapat terjadi karena ketidak-linearitas dari ADC. Produsen menyatakan ketidak-linearitas ADC dalam prosentase dari LSB (dalam %).

Kode tidak lengkap pada ADC dapat terjadi sewaktu kombinasi bit tertentu tidak tersedia. Kombinasi ini disebut *kode yang hilang* (missing code).

Selain hal-hal tersebut di atas, ADC membutuhkan waktu untuk mengubah tegangan analog menjadi besaran digital, yang disebut dengan *waktu konversi* (conversion time).

Proses konversi ADC itu sendiri bermacam cara, diantaranya adalah menggunakan proses pendekatan berturut-turut (successive approximation). Dengan metode ini, waktu konversi tidak bergantung pada besarnya tegangan yang diukur.

2.4. Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan single chip mikrokomputer (SCM) yang mana didalamnya terkombinasi bagian-bagian seperti memori (RAM/ROM) dan peralatan Input/Output (I/O). Bila dibandingkan dengan sebuah PC, SCM memiliki kelebihan, yaitu dalam hal ukurannya yang relatif jauh lebih kecil. Pemakaian mikrokontroler juga memberikan keuntungan bila dibandingkan dengan pemakaian mikroprosesor, yaitu dengan sudah tersedianya memori dan peralatan I/O pada mikrokontroler.

2. 4.1. Central Processing Unit (CPU)

Bagian ini berisi suatu unit pengendali yang berfungsi untuk mengambil, mengkode dan melaksanakan instruksi-instruksi yang disimpan di memori program. Selain itu, unit pengendali akan mengatur sinyal pengendali untuk menyerempakkan operasi dari sistem. Selain unit pengendali, bagian CPU berisi unit aritmatika dan logika (ALU) yang berfungsi untuk melakukan operasi-operasi matematika serta logika.

2. 4.2. Random Access Memory (RAM)

RAM digunakan pada mikrokontroler untuk menyimpan data yang bersifat sementara. RAM itu sendiri merupakan suatu media penyimpan yang dapat ditulis dan dibaca. Data pada RAM akan terhapus bila catu daya dihilangkan. RAM dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu RAM statik dan RAM dinamik. Pada RAM statik tidak diperlukan adanya proses penyegaran (refresh) untuk menyimpan data, sedangkan pada RAM dinamik,

proses penyegaran harus dilakukan secara periodik untuk menahan agar data tetap tersimpan.

2.4.3. Read Only Memory (ROM)

Berbeda dengan RAM, ROM digunakan pada mikrokontroler untuk menyimpan data/program yang bersifat permanen. Isi ROM tidak akan terhapus sekalipun catu daya-nya diputuskan. Memori jenis ini dikelompokkan dalam beberapa jenis, yaitu ROM, PROM dan EPROM. ROM merupakan memori yang diprogram oleh pabrik sedangkan EPROM dapat diprogram (hanya sekali) oleh pemakai. EPROM memiliki kelebihan dari kedua jenis di atas, dimana media ini bersifat 'erasable' sehingga dapat diprogram ulang oleh pemakai.

2.4.4. Input/Output

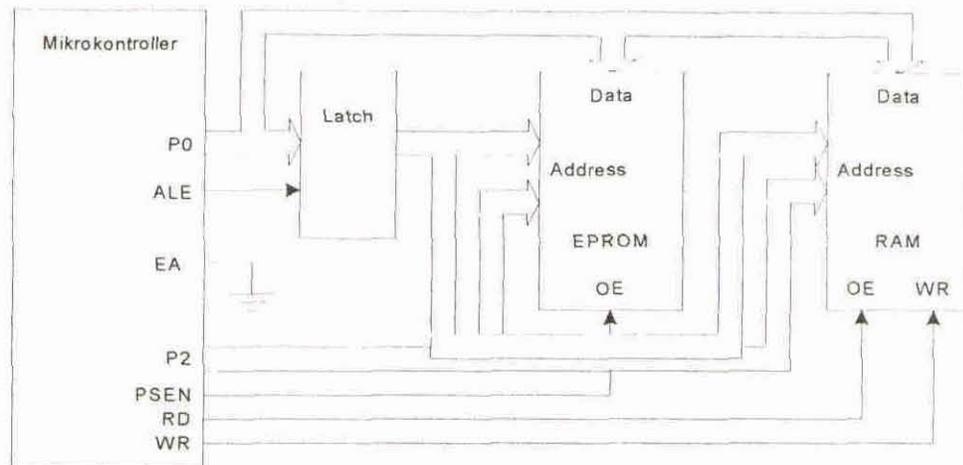
Bagian Input/Output berguna bagi mikrokontroler untuk dapat berkomunikasi dengan dunia luarnya. Dengan melalui bagian ini, mikrokontroler dapat memasukkan dan mengeluarkan data dari/ke luar mikrokontroler. Pada umumnya, mikrokontroler memiliki dua jenis perantara I/O, yaitu untuk hubungan paralel (PIO) dan serial (UART).

2.4.5. Mikrokontroler AT89C51

Mikrokontroler AT89C51 merupakan suatu jenis mikrokomputer 8-bit yang dilengkapi dengan 4 Kbytes PEROM (Programmable and Erasable Read Only Memory). Jenis mikrokontroler ini kompatibel dengan keluarga mikrokontroler MCS-51, baik dalam hal instruksi maupun pin-nya. Mikrokontroler jenis ini memiliki

1. RAM internal 128 x 8-bit
2. 32 jalur I/O yang ditandai dengan P0, P1, P2 dan P3
3. dua Timer/Counter 16-bit
4. enam sumber interupsi
5. kanal serial.

Untuk aplikasi yang cukup besar, mikrokontroler dapat dihubungkan dengan RAM/ROM eksternal seperti terlihat pada gambar 2.2. Dengan konfigurasi tersebut kita dapat menggunakan masing-masing RAM dan ROM sampai 64k bytes.



Gambar 2.2. Pengembangan mikrokontroler menggunakan RAM dan ROM Eksternal

2.4.6. Curve Fitting

Dalam penelitian ini, metode *curve fitting* digunakan untuk memodelkan kurva karakteristik dari suatu sensor baik yang linier maupun yang tidak linear. Dengan menggunakan metode ini, sekumpulan data hasil pengukuran dapat direpresentasikan melalui suatu fungsi matematika.

Anggap terdapat sekumpulan titik pengukuran sejumlah N

$$(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), \dots, (x_N, y_N)$$

Dalam bentuk polinomial, pendekatannya dapat diekspresikan menjadi

$$u = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots + a_mx^m \quad (2-1)$$

dimana $m < N$.

Dengan persamaan tersebut, kesalahan (error) di setiap titik adalah

$$\varepsilon_i = y_i - u(x_i) \quad (2-2)$$

dimana $i = 1, 2, 3 \dots N$.

Jumlah kuadrat dari error tersebut adalah

$$S = \sum_{i=1}^N \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^N \left[y_i - (a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 + \dots + a_m x_i^m) \right]^2 \quad (2-3)$$

Nilai *least mean square error* dapat dihitung dengan menurunkannya terhadap $a_0, a_1, a_2, \dots, a_m$,

$$\frac{\partial S}{\partial a_0} = -2 \sum_{i=1}^N \left[y_i - (a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 + \dots + a_m x_i^m) \right] = 0 \quad (2-4)$$

$$\frac{\partial S}{\partial a_1} = -2 \sum_{i=1}^N \left[x_i y_i - x_i (a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 + \dots + a_m x_i^m) \right] = 0 \quad (2-5)$$

$$\frac{\partial S}{\partial a_2} = -2 \sum_{i=1}^N \left[x_i^2 y_i - x_i^2 (a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 + \dots + a_m x_i^m) \right] = 0 \quad (2-6)$$

⋮

$$\frac{\partial S}{\partial a_m} = -2 \sum_{i=1}^N \left[x_i^m y_i - x_i^m (a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 + \dots + a_m x_i^m) \right] = 0 \quad (2-7)$$

Dengan pengaturan kembali pada persamaan tersebut akan didapat

$$\sum_{i=1}^N [a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 + \dots + a_m x_i^m] = \sum_{i=1}^N y_i \quad (2-8)$$

$$\sum_{i=1}^N x_i [a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 + \dots + a_m x_i^m] = \sum_{i=1}^N y_i x_i \quad (2-9)$$

$$\sum_{i=1}^N x_i^2 [a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 + \dots + a_m x_i^m] = \sum_{i=1}^N y_i x_i^2 \quad (2-10)$$

⋮

$$\sum_{i=1}^N x_i^m [a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 + \dots + a_m x_i^m] = \sum_{i=1}^N y_i x_i^m \quad (2-11)$$

Selanjutnya, nilai-nilai koefisien $a_0, a_1, a_2, \dots, a_m$ didapat dengan menyelesaikan persamaan-persamaan tersebut secara simultan. Nilai-nilai koefisien $a_0, a_1, a_2, \dots, a_m$ inilah yang nantinya akan dipakai untuk menentukan karakteristik dari suatu sensor.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Seluruh kegiatan penelitian ini (dalam perancangan perangkat lunak dan perangkat keras) dilaksanakan di Laboratorium Instrumentasi dan Pengukuran jurusan Fisika FMIPA Universitas Brawijaya dan di Perumahan Bumi Asri Q.5 Malang, sedangkan waktu pelaksanaannya dimulai pada bulan Juli 2002 dan berakhir pada bulan November 2002.

3.2. Bahan yang Digunakan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dikelompokkan sebagai berikut

1. Unit Pengembangan Mikrokontroler

Unit ini merupakan rangkaian pengembangan mikrokontroler, dimana didalamnya telah tersedia IC mikrokontroler AT89C51, rangkaian dekoder, PPI 8255 dan IC konverter RS232.

2. Unit Memory Eksternal

Unit ini membutuhkan bahan-bahan inti sebagai berikut : RAM eksternal 8k byte, EPROM eksternal 32k byte dan baterai 6V untuk tujuan backup.

3. Unit ADC

Unit ADC menggunakan ADC 0809 serta komponen-komponen pendukung untuk rangkaian clock yang menggunakan IC timer 555.

4. Unit Input/Output

Unit ini menggunakan keypad 4x4 dan LCD 2x16.

5. Unit Sensor

Unit sensor menggunakan bahan-bahan inti : sensor temperatur LM335 dan IC LF356 untuk rangkaian pengkondisi sinyal.

3.3. Peralatan yang Digunakan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah

1. Komputer personal
2. Eprom writer, MEP804
3. HB2000, MCS'51 Programmer & Evaluation Board
4. Multimeter digital
5. Power supply 5V
6. Power supply variabel 0-5V
7. Termometer digital
8. Pemanas Air dan Hair dryer

3.4. Prosedur Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah

1. melakukan perancangan dan pembuatan perangkat keras sistem pengukur
2. melakukan perancangan perangkat lunak sistem pengukur
3. melakukan pengujian sistem pengukur, yang meliputi
 - pengujian sistem pengembangan mikrokontroler
 - pengujian peralatan input/output (keypad dan LCD)
 - pengujian memori eksternal
 - pengujian ADC
4. melakukan perancangan perangkat lunak PC
5. melakukan perancangan, pembuatan dan pengujian unit sensor temperatur
6. melakukan pengujian perekaman data pada sistem pengukur dan mentransfer data hasil perekaman tersebut ke PC
7. melakukan pengujian monitoring data melalui PC yang terhubung dengan sistem pengukur menggunakan sensor temperatur
8. melakukan pengujian monitoring dan perekaman data melalui PC yang terhubung dengan sistem pengukur menggunakan sensor temperatur

3.5. Perangkat Keras Sistem Pengukur

Skema rangkaian keseluruhan dari sistem pengukur diperlihatkan pada gambar 3.1. Rangkaian tersebut menggunakan AT89C51 sebagai pengontrolnya. Rangkaian address decoder digunakan untuk pembagian ruang memori dan peralatan I/O. Kode-kode program ditempatkan di memori eksternal (EPROM 32 kbyte), sedangkan untuk penyimpanan data sementara, serta penyimpanan data hasil perekaman, masing-masing digunakan RAM eksternal 8 k byte. PPI 8255 digunakan sebagai perantara input/output dengan ADC 0809 serta keypad 4x4.

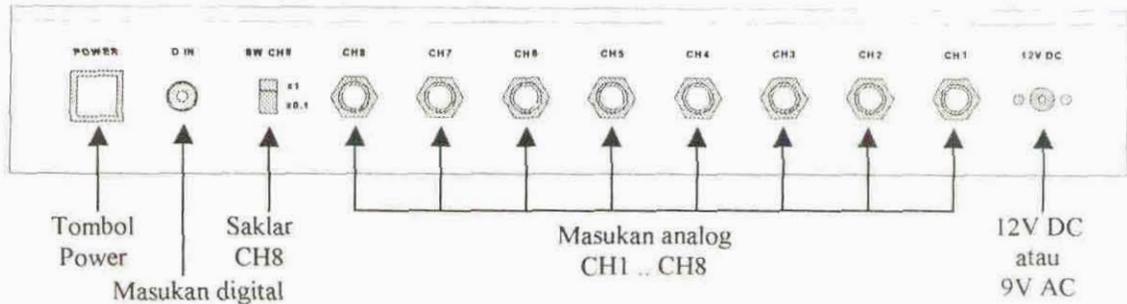
Selain rangkaian-rangkaian yang disebutkan di atas, pada gambar tersebut terlihat adanya LCD 2x16. Saluran data serta kontrol untuk LCD ini terhubung dengan port 1 mikrokontroler. Untuk memungkinkan adanya komunikasi antara alat pengukur ini dengan sebuah PC, sistem ini dilengkapi dengan port serial standar RS232.

Dengan menggunakan sebuah ADC 0809 seperti pada rangkaian tersebut, sistem ini dapat digunakan untuk media pengukur simultan 8 kanal. Tegangan referensi yang digunakan untuk ADC ini adalah 2.6 Volt, dengan demikian, sistem pengukur dirancang untuk menerima masukan analog dengan range 0 s/d 2.6 volt.

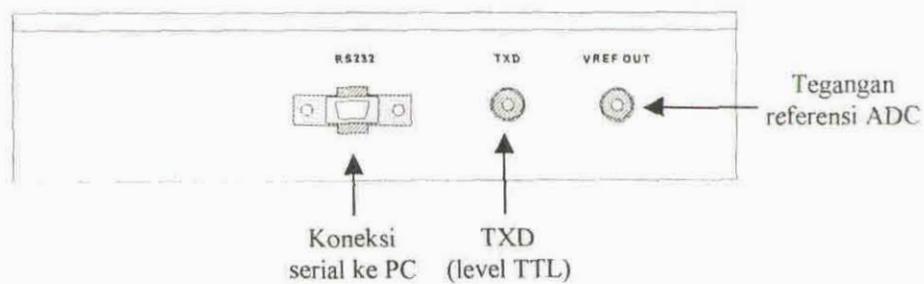
LCD 2x16 dan keypad 4x4 ditambahkan agar memberikan kemudahan bagi pengguna untuk menggunakan fasilitas-fasilitas yang terdapat pada sistem pengukur yang dibuat. Keypad yang digunakan memiliki delapan saluran, dimana saluran tersebut dihubungkan ke PPI Port C. Untuk mengenali karakter-karakter yang ditekan oleh pengguna, mikrokontroler menggunakan metode scanning. Metode ini dilakukan dengan mengirimkan data pada port PC0 s/d PC3 dan melakukan pembacaan pada port PC4 s/d PC7.

3.6. Tampak Fisik Sistem Pengukur

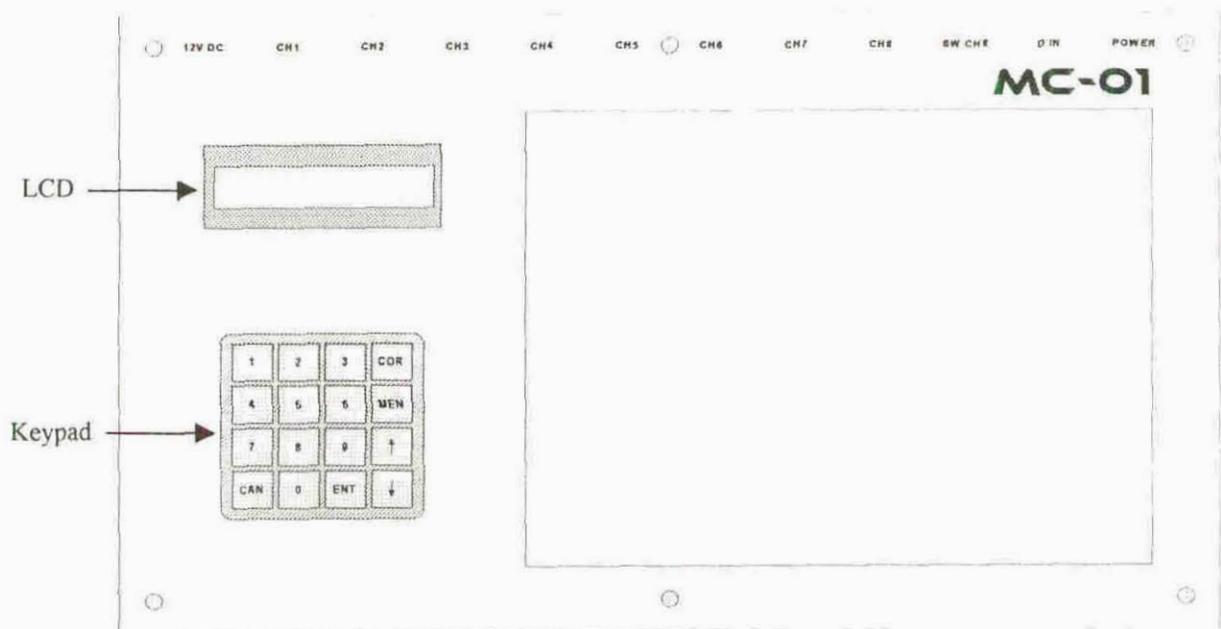
System pengukur yang dibuat dikemas dalam sebuah box yang terbuat dari bahan acrylic. Tampak depan, samping dan atas dari alat yang dibuat diperlihatkan pada gambar 3.2.a, 3.2.b dan 3.2.c.



Gambar 3.2.a. Tampak depan sistem pengukur



Gambar 3.2.b. Tampak samping sistem pengukur



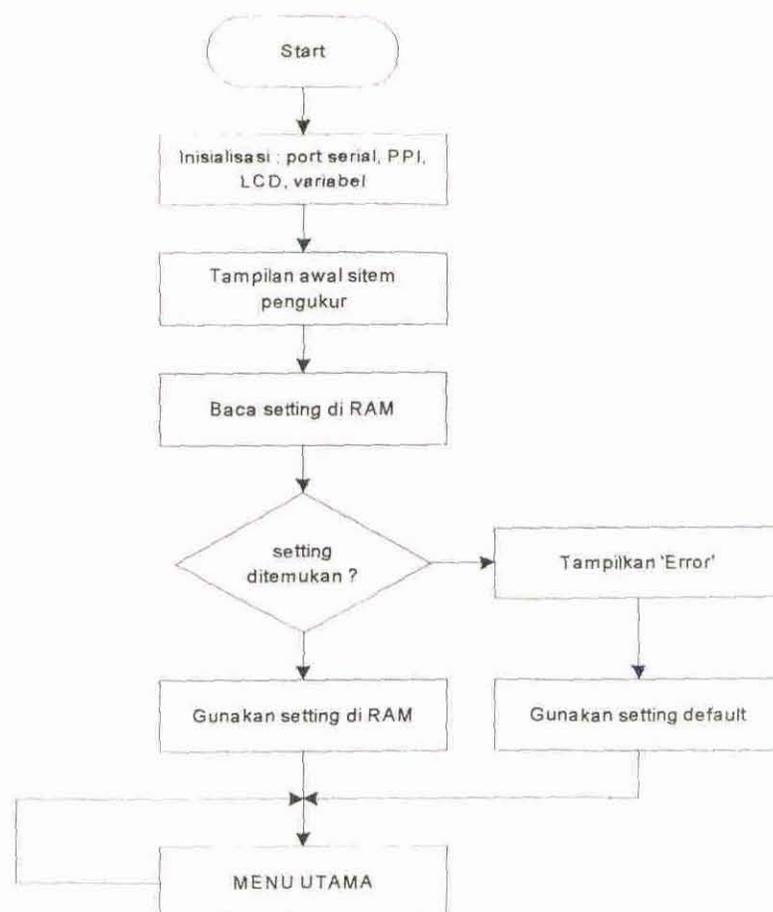
Gambar 3.2.c. Tampak atas sistem pengukur

3.7. Perangkat Lunak Sistem Pengukur

Perangkat lunak yang digunakan untuk sistem pengukur ini ditulis dengan menggunakan bahasa pemrograman SYSTEM51. Terdapat dua hal yang diperhatikan dalam pembuatan program ini, yaitu

1. program ini dibuat untuk mengendalikan keseluruhan perangkat keras sesuai dengan tugas masing-masing
2. program ini dibuat sedemikian rupa untuk memberikan kemudahan bagi pengguna alat dalam menggunakan fasilitas-fasilitas yang ada.

Program keseluruhan untuk sistem ini digambarkan ke dalam flowchart seperti pada gambar 3.3.



Gambar 3.3. Flowchart program system pengukur

Fasilitas-fasilitas yang ada pada alat pengukur diakses melalui menu-menu yang ditampilkan melalui LCD. Menu-menu tersebut secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar 3.4. Tiap-tiap menu memiliki judul menu dan item-item yang dipilih melalui keypad. Keypad ini juga akan digunakan untuk memasukkan suatu angka. Penjelasan tombol-tombol pada keypad disajikan pada tabel 3.1.



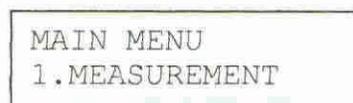
Gambar 3.4. Menu utama pada sistem pengukur

Tabel 3.1. Fungsi tombol-tombol pada keypad

Tombol	Arti	Fungsi
[0] – [9]	Angka 0-9	mengganti item pada menu, memasukkan angka
[COR]	CORRECT	melakukan koreksi sewaktu memasukkan angka
[MEN]	MENU	kembali menu utama
[↑]	UP	menggulir ke pilihan/item selanjutnya
[↓]	DOWN	menggulir ke pilihan/item sebelumnya
[CAN]	CANCEL	pembatalan
[ENT]	ENTER	memilih item

PENGGUNAAN MENU

Gambar 3.5 menunjukkan ilustrasi menu utama pada LCD sesaat setelah alat dinyalakan. Baris pertama merupakan judul menu, sedangkan baris kedua merupakan item pertama. Tombol [1], [2], [3] ... [9] digunakan untuk berpindah ke item yang lain. Selain itu, tombol [↑] atau [↓] digunakan untuk menggulir ke item berikutnya atau ke item sebelumnya. Pemilihan suatu item, dilakukan dengan menekan tombol [ENT]. Tombol [MEN] digunakan untuk kembali ke menu utama.



Gambar 3.5. Tampilan awal LCD

Contoh, pengukuran pada kanal 3 dapat dilakukan dengan urutan sbb:
Pada menu utama, tekan tombol [1] untuk memunculkan item 'Measurement' kemudian tekan [ENT], judul menu akan berganti menjadi 'MEASUREMENT' selanjutnya tekan tombol [3] untuk menampilkan item 'Channel 3'. Tekan tombol [ENT], dan perhatikan tampilan pada LCD. LCD akan menampilkan hasil pengukuran pada kanal 3. Tekan tombol [MEN] untuk kembali ke menu utama.

MASUKAN ANGKA

Keypad juga digunakan untuk memasukkan angka, yang bisa berupa : bilangan bulat ataupun bilangan real. Tanda minus (-) dan titik (.), berturut-turut dapat dihasilkan dengan menekan tombol [↑] dan [↓]. Tombol [COR] dapat digunakan untuk menghapus karakter sebelumnya. Gambar 3.6 menunjukkan suatu contoh sewaktu angka akan dimasukkan untuk menentukan jumlah record. Sebelum memasukkan angka baru, nilai sebelumnya akan ditunjukkan pada baris ke dua. Untuk mengakhiri

pemasukan angka, tekan [ENT]. Gunakan tombol [CAN] untuk membatalkan pemasukan angka.



NoOfRec
:>100

Gambar 3.6. Tampilan memasukkan angka

Seperti terlihat pada gambar 3.4 sebelumnya, fasilitas-fasilitas pada sistem pengukur dikelompokkan menjadi enam fungsi utama, yaitu

1. Measurement (Pengukuran)
2. Record (Perekaman)
3. Transfer
4. Speaker
5. Setting
6. Protection (proteksi)

Berikut adalah penjelasan singkat mengenai fungsi tersebut

Measurement

Fasilitas ini digunakan untuk melakukan pengukuran besaran-besaran fisis melalui sensor yang terhubung ke masukan analog sistem pengukur. Sewaktu pengukuran dilakukan, LCD hanya akan menampilkan hasil pengukuran pada salah satu dari ke-delapan kanal yang ada, namun demikian untuk melihat hasil pengukuran pada kanal sebelumnya atau berikutnya, berturut-turut dapat digunakan tombol [↓] atau [↑]. Baris pertama pada LCD menunjukkan judul pengukuran, sedangkan hasil pengukuran beserta satuannya ditunjukkan pada baris kedua, lihat contoh pengukuran pada gambar 3.7.



TEMPERATURE-1 [°C] 21.20
--

Gambar 3.7. Tampilan pengukuran

Record

Fasilitas ini digunakan untuk merekam hasil pengukuran ke dalam memori yang terdapat pada sistem pengukur. Data hasil perekaman tersebut nantinya dapat ditampilkan kembali pada sistem pengukur. Selain itu, data tersebut dapat ditransfer ke sebuah PC (dengan menggunakan fasilitas 'Transfer'). Berikut adalah penjelasan pilihan pada menu 'Record'.

1. Start Rec
Memulai perekaman.
1. Continue Rec
Melanjutkan perekaman, yang dihentikan sebelum perekaman berakhir.
2. Clear Records
Menghapus record di memory.
3. View Active Ch
Melihat kanal-kanal yang (aktif) disiapkan untuk perekaman. Kanal yang aktif ditunjukkan dengan suatu angka (angka 1-8), sedangkan kanal non-aktif ditunjukkan dengan karakter '-'. Gambar 3.8 menunjukkan suatu contoh tampilan sewaktu kanal 1, 4 dan 5 aktif sedangkan kanal 2,3,6,7,8 non aktif.

```
Aktif Channel  
Channel:1--45---
```

Gambar 3.8. Tampilan kanal aktif

4. Rec Channel

Mengaktifkan kanal-kanal untuk perekaman. Sewaktu alat baru dihidupkan, semua kanal berada dalam keadaan non-aktif. Pada keadaan ini alat tidak akan dapat melakukan perekaman. Kanal-kanal tsb perlu diaktifkan terlebih dahulu sesuai keperluan. Untuk mengaktifkan/me-non-aktifkannya, dari menu 'REC CHANNEL' pilih kanal yang diinginkan kemudian pilih item 'ON' (untuk mengaktifkan) atau pilih 'OFF' (untuk me-non-aktifkan).

5. No of Records

Memasukkan angka untuk menentukan jumlah perekaman (record) yang akan dilakukan oleh alat.

Nilai minimum : 1

Nilai maksimum : 500.

6. Rec Time

Memasukkan angka untuk menentukan interval waktu antar perekaman.

Nilai minimum : 1 detik

Nilai maksimum : 43200 detik (12 jam).

7. Rec Progress

Melihat jumlah record di memory serta kanal yang aktif. Gambar 3.9 menunjukkan suatu contoh tampilan posisi record, yaitu record ke 25 dari 100 record yang harus dilakukan oleh alat.

```
Record [ 25/100]
Channel:1--45---
```

Gambar 3.9. Tampilan 'Record Progress'

8. View Records

Melihat record yang ada di memory. Sewaktu, 'View Rec' dipilih, kanal yang diinginkan akan diminta untuk dipilih. Selanjutnya, LCD akan menampilkan jumlah record pada kanal tersebut. Setelah [ENT] ditekan LCD selanjutnya akan menunjukkan awal record / record pertama. Tombol [↑] atau [↓] digunakan secara berturut-turut untuk melihat record berikutnya atau sebelumnya. Gambar 3.10 memperlihatkan contoh tampilan pada LCD sewaktu sebuah record (record ke-100) ditunjukkan.

```
Record [100]
[°C]      21.20
```

Gambar 3.10. Tampilan record pada LCD

Tekan [MEN] untuk kembali ke menu utama.

9. Exit

Kembali ke menu utama.

Transfer

Fasilitas ini memungkinkan pengguna alat untuk mentransfer data hasil pengukuran maupun rekaman yang terdapat di memori ke sebuah PC melalui port RS232.

Speaker

Fasilitas ini digunakan untuk mengaktifkan/me-non-aktifkan speaker pada sistem pengukur untuk menandai saat-saat data direkam maupun ditransfer ke PC.

Setting

Fasilitas ini digunakan untuk melihat serta memodifikasi setting yang terdapat pada sistem pengukur. Berikut adalah pilihan-pilihan pada menu **SETTING** dan penjelasannya,

1. Load setting

Memanggil setting yang terdapat di memory.

2. Edit Setting

Digunakan untuk merubah setting pada alat. Peng-edit-an setting dapat dilakukan melalui alat itu sendiri maupun melalui sebuah PC. Berikut adalah setting pada alat.

1. Judul pengukuran

Judul pengukuran merupakan teks yang akan ditampilkan pada LCD baris pertama sewaktu pengukuran dilakukan, perekaman atau transfer hasil pengukuran. Teks ini terdiri dari 16 karakter (setting ini hanya dapat dirubah melalui PC).

2. Satuan/Unit

Satuan/Unit merupakan teks yang akan ditampilkan pada LCD baris kedua sewaktu pengukuran dilakukan, perekaman atau transfer hasil pengukuran. Teks ini terdiri dari 9 karakter. (setting ini hanya dapat dirubah melalui PC).

3. ADC Constant

Konstanta kalibrasi.

4. Zero Offset

Offset kalibrasi.

5. RecordTime

Interval waktu antar perekaman.

6. Transfer Time

Interval waktu antar transfer.

7. Rec /n Sec.

Perekaman dapat dilakukan dengan interval waktu kurang dari 1 detik dengan menge-set Rec /n Sec. = OFF. Dalam keadaan ini,

Interval waktu perekaman \ll Record Time.

Sewaktu Rec /n Sec. = ON,

Interval waktu perekaman = Record Time.

8. Trans /n Sec.

Transfer hasil pengukuran dapat juga dilakukan dengan waktu interval kurang dari 1 detik dengan menge-set Trans /n Sec. = OFF. Dalam keadaan ini,

Interval waktu transfer \ll Transfer Time.

Sewaktu Trans /n Sec. = ON,

Interval waktu transfer = Transfer Time.

9. Baud rate

Bagian ini digunakan untuk mengatur laju pengiriman data melalui port serial pada alat. Untuk dapat melakukan komunikasi dengan PC, baud rate pada alat harus sama dengan baud rate pada PC. Baud rate default yang digunakan adalah 9600 baud.

10. Password

Berisi password untuk membuka proteksi setting (hanya dapat dirubah melalui PC).

3. Save Setting

Menyimpan setting di memory.

4. Send Setting

Mentransfer setting ke PC melalui port serial alat.

5. Receive Setting

Menerima setting yang di-download dari PC ke alat melalui port serial.

6. Set to Default

Merubah setting ke setting default. Berikut adalah setting default pada alat

<i>Judul pengukuran (kanal 1...8)</i>	: 'USER DEFINED-1' ... 'USER DEFINED-8'
<i>Satuan/Unit (kanal 1...8)</i>	: '[USER1]' ... '[USER8]'
<i>ADC Constant (kanal 1...8)</i>	: 1
<i>Zero Offset (kanal 1...8)</i>	: 0
<i>Record Time</i>	: 1 detik
<i>Transfer Time</i>	: 1 detik
<i>NoOfRec</i>	: 100
<i>Rec /n Sec.</i>	: ON
<i>Trans /n Sec.</i>	: ON
<i>Baud rate</i>	: 9600
<i>Password</i>	: 10000000

7. Exit

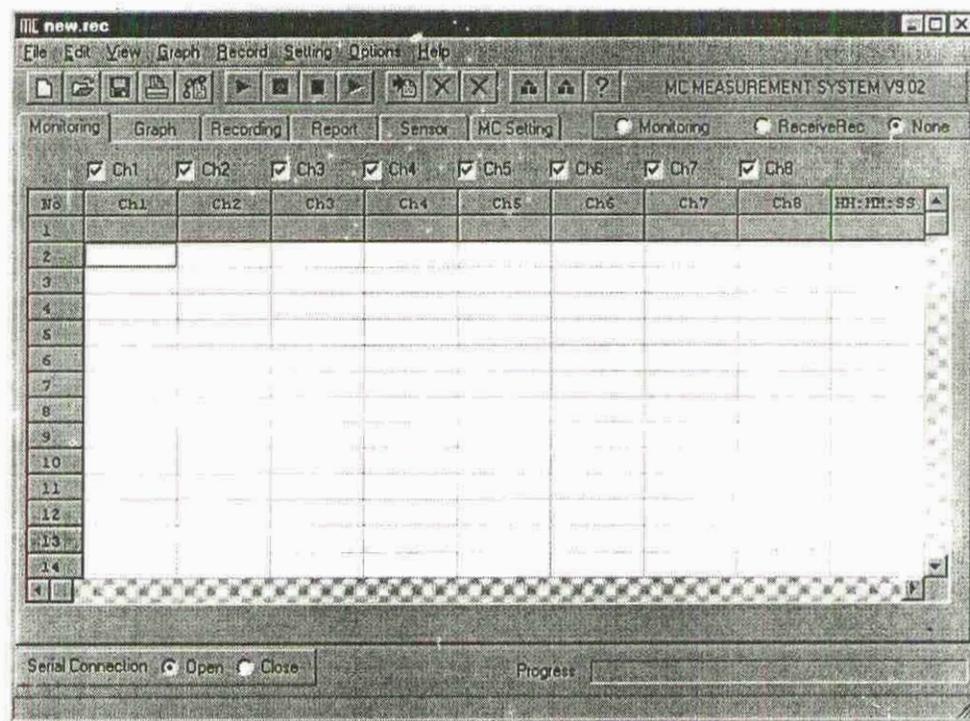
Kembali ke menu utama.

Protection

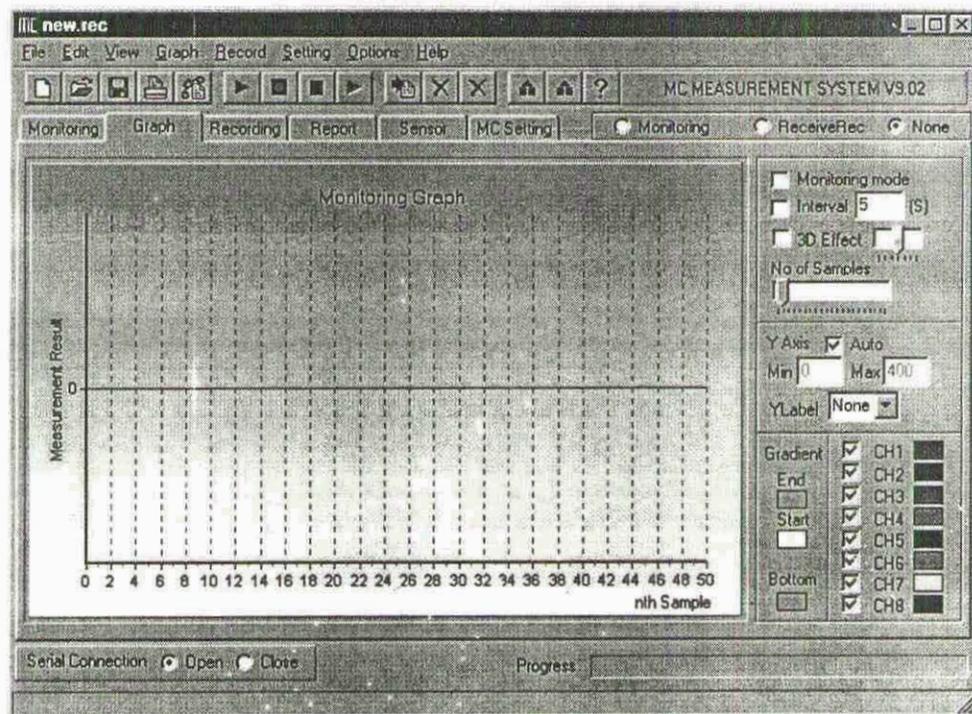
Fasilitas ini digunakan untuk mem-protect atau membuka proteksi setting yang terdapat pada sistem pengukur.

3.8. Perangkat lunak PC

Perangkat lunak PC yang dimaksud adalah perangkat lunak yang dibuat untuk digunakan di PC untuk tujuan transfer data. Perangkat lunak ini ditulis dengan menggunakan bahasa pemrograman DELPHI versi 5. Perangkat lunak ini didesain untuk dapat melakukan proses monitoring serta merekam data yang ditransfer oleh sistem pengukur ke PC. Monitoring data disajikan dalam bentuk angka (lihat gambar 3.11.a) dan grafik (lihat gambar 2.11.b) untuk ke delapan kanal masukan pada sistem pengukur.



Gambar 3.11.a. Penyajian monitoring data dengan angka



Gambar 3.11.b. Penyajian monitoring data dengan grafik

Secara umum, fungsi dari perangkat lunak tersebut dikelompokkan sebagai berikut

MONITORING

Untuk melakukan proses monitoring data yang ditansfer oleh alat ke PC. Data disajikan dalam tabel.

GRAPH

Untuk melakukan proses monitoring data yang ditansfer oleh alat ke PC. Data disajikan dalam grafik.

RECORDING

Untuk melakukan proses perekaman melalui PC.

REPORT

Bagian ini akan menyajikan informasi-informasi yang dilakukan sewaktu proses perekaman dilakukan, seperti tanggal dan waktu dari awal perekaman sampai berakhirnya perekaman.

SENSOR

Bagian ini berisi karakteristik sensor yang menggunakan persamaan berbentuk polinomial sebagai pendekatannya.

MC SETTING

Bagian ini berisi setting pada alat. Bagian ini juga digunakan untuk memodifikasi dan mentransfer setting dari/ke alat.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian

4.1.1. Pengujian Unit ADC

Pengujian unit ADC yang dimaksud adalah melakukan pengujian terhadap perangkat keras ADC yang telah terintegrasi dengan rangkaian lainnya. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa ADC yang digunakan dapat melakukan konversi seperti yang diinginkan. Pengujian dilakukan dengan memberikan tegangan (V_{in}) pada masukan analog alat, yaitu masukan untuk kanal 1 sampai dengan kanal 8 (CH1 s/d CH8) kemudian melakukan pembacaan nilai digital melalui LCD. Hasil dari pengujian ini disajikan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1. Data hasil pengujian ADC

No	V_{in} (V)	Nilai digital keluaran ADC							
		CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8
1	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0.10	9	9	8	9	9	9	9	9
3	0.20	18	18	19	19	18	19	18	18
4	0.30	28	28	28	28	28	28	28	28
5	0.40	38	38	38	38	38	38	38	38
6	0.50	48	48	48	48	48	48	48	47
7	0.60	58	58	58	58	58	57	58	57
8	0.70	68	67	67	67	68	68	67	67
9	0.80	77	77	78	77	77	77	78	77
10	0.90	87	87	87	87	87	87	87	87
11	1.00	96	96	97	97	97	97	97	96
12	1.10	106	107	107	107	107	107	107	106
13	1.20	117	117	117	116	116	117	117	117
14	1.30	126	126	126	126	126	126	126	126
15	1.40	136	136	136	137	136	137	137	136
16	1.50	146	146	145	146	146	146	146	146
17	1.60	155	156	156	156	156	155	156	156
18	1.70	166	165	165	166	166	166	166	166
19	1.80	176	176	175	175	176	176	176	175
20	1.90	185	185	185	185	185	185	185	185
21	2.00	195	195	195	195	196	195	195	195

Lanjutan Tabel 4.1

No	V_{in} (V)	Nilai digital keluaran ADC							
		CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8
22	2.10	205	205	205	205	205	205	205	205
23	2.20	215	214	215	215	214	215	214	214
24	2.30	224	225	225	224	225	225	224	225
25	2.40	234	234	234	233	235	235	234	234
26	2.50	244	244	244	244	244	245	244	244
27	2.60	254	254	254	254	254	254	253	254

Pada pengujian di atas, tegangan referensi yang diberikan pada ADC adalah 2.60 Volt. Pembacaan tegangan masukan (V_{in}) dilakukan dengan menggunakan multimeter digital.

4.1.2. Pengujian Unit Pengembangan Mikrokontroler, Peralatan Input/Output dan Memory Eksternal

Pengujian yang dilakukan pada sub-bab 4.1.1. sekaligus merupakan pengujian terhadap unit-unit yang lainnya, seperti unit pengembangan mikrokontroler, peralatan Input/Output serta memory eksternal, dimana, pada pengujian tersebut, unit pengembangan mikrokontroler melakukan pembacaan nilai digital dari ADC dan kemudian menampilkannya ke LCD. Memory eksternal disini berperan dalam penyimpanan kode-kode program serta setting untuk alat. Lebih jauh lagi, pengujian yang akan dilakukan selanjutnya, seperti pengujian unit temperatur, perekaman dan monitoring data melalui PC melibatkan seluruh perangkat keras yang ada.

4.1.3. Pengujian Unit Sensor Temperatur

Tahap awal dari pengujian sensor temperatur adalah dilakukannya proses kalibrasi dari sensor tersebut. Proses ini dilakukan dengan menggunakan bahan es batu untuk menghasilkan suhu 0 °C dan menggunakan air mendidih untuk menghasilkan suhu tertinggi sebagai batas atas jangkauan unit sensor temperatur. Proses selanjutnya adalah proses pengujian sensor tersebut, yang dilakukan dengan melakukan variasi suhu sekeliling sensor.

Pengujian ini dilakukan dengan merangkai keseluruhan alat dan menghubungkan masukan analog kanal 1 dengan unit sensor temperatur. Pembacaan temperatur kemudian dilakukan melalui LCD. Selanjutnya dilakukan perbandingan nilai yang ditunjukkan oleh termometer digital. Tabel 4.2 memperlihatkan hasil dari pembacaan tersebut.

Tabel 4.2. Hasil pengujian sensor temperatur

No	Temperatur (°C)	
	Alat yang dibuat	Termometer digital
1	0	0
2	1.57	1.5
3	3.92	2.2
4	11.58	11.4
5	20.54	20.8
6	32.55	32.7
7	33.51	34.7
8	45.50	41.5
9	50.25	52.2
10	70.55	73.4
11	79.22	81.0
12	95.70	95.5

4.1.4. Pengujian Perekaman Data

Pengujian perekaman data dilakukan untuk memastikan bahwa alat yang dibuat dapat melakukan perekaman data seperti yang diinginkan. Hal ini dilakukan dengan mengadakan perekaman variasi suhu dalam satu hari yang dimulai pada tanggal 06-11-2002 jam 21.00 WIB sampai 07-11-2002 jam 21.00 WIB. Untuk melakukan hal tersebut, masukan analog kanal 1 dari alat yang dibuat dihubungkan ke unit sensor suhu. Keseluruhan alat untuk pengujian ini ditempatkan di dalam sebuah ruangan. Perekaman kemudian dilakukan dengan interval waktu 173 detik sejumlah 500 rekaman.

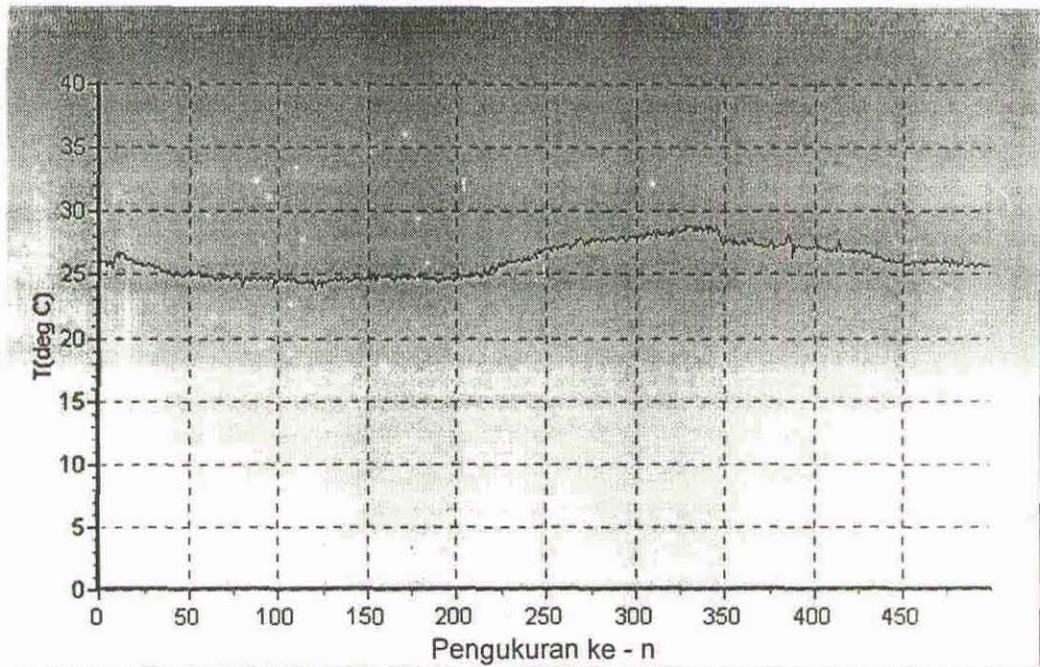
Setelah perekaman berakhir, seluruh rekaman yang ada pada alat kemudian ditransfer ke sebuah PC melalui komunikasi serial. Tabel 4.3 memperlihatkan hasil dari pengujian ini. Data hasil rekaman tersebut juga divisualisasikan seperti pada gambar 4.1.

Tabel 4.3. Pengujian perekaman suhu

No	Suhu (°C)	No	Suhu (°C)	No	Suhu (°C)	No	Suhu (°C)	No	Suhu (°C)
1	26.28	51	25.30	101	24.51	151	24.71	201	24.71
2	26.08	52	24.90	102	24.71	152	24.51	202	24.90
3	26.08	53	25.30	103	24.71	153	24.71	203	24.71
4	26.08	54	25.10	104	24.51	154	24.90	204	24.90
5	25.69	55	25.10	105	24.71	155	24.51	205	24.90
6	25.89	56	25.30	106	24.51	156	24.90	206	24.90
7	26.08	57	24.90	107	24.71	157	25.10	207	24.90
8	25.49	58	24.90	108	24.51	158	24.90	208	24.90
9	26.47	59	24.90	109	24.71	159	24.90	209	24.90
10	26.67	60	24.90	110	24.51	160	24.90	210	24.90
11	26.47	61	24.90	111	24.32	161	24.90	211	25.10
12	26.67	62	24.90	112	24.32	162	24.90	212	25.10
13	26.67	63	24.90	113	24.32	163	24.90	213	25.10
14	26.67	64	24.71	114	24.32	164	24.71	214	24.90
15	26.47	65	24.71	115	24.32	165	24.51	215	24.90
16	26.28	66	24.51	116	24.32	166	24.71	216	25.49
17	26.28	67	24.71	117	24.51	167	24.90	217	25.10
18	26.28	68	24.51	118	24.32	168	24.90	218	25.30
19	26.28	69	24.90	119	24.32	169	24.71	219	25.49
20	26.08	70	24.71	120	24.51	170	24.90	220	25.49
21	25.89	71	24.90	121	24.32	171	24.90	221	25.69
22	25.89	72	24.71	122	23.92	172	24.90	222	25.30
23	25.89	73	24.90	123	24.51	173	24.71	223	25.49
24	25.89	74	24.51	124	24.32	174	24.71	224	25.89
25	25.69	75	24.71	125	24.12	175	24.90	225	25.69
26	25.69	76	24.71	126	24.32	176	24.90	226	25.69
27	25.69	77	24.90	127	24.32	177	24.71	227	25.89
28	25.89	78	24.71	128	24.32	178	24.90	228	25.89
29	25.69	79	24.71	129	24.51	179	25.10	229	26.08
30	25.69	80	24.71	130	24.51	180	24.71	230	26.08
31	25.49	81	24.12	131	24.51	181	24.90	231	26.08
32	25.49	82	24.71	132	24.71	182	24.71	232	26.08
33	25.49	83	24.71	133	24.71	183	24.71	233	26.08
34	25.49	84	24.51	134	24.51	184	24.71	234	26.08
35	25.30	85	24.51	135	24.51	185	24.71	235	26.28
36	25.30	86	24.71	136	24.71	186	24.71	236	26.28
37	25.30	87	24.71	137	24.51	187	24.71	237	26.08
38	25.30	88	24.71	138	24.71	188	24.71	238	26.47
39	25.30	89	24.51	139	24.32	189	24.51	239	26.28
40	25.30	90	24.71	140	24.71	190	24.32	240	26.28
41	25.10	91	24.71	141	24.51	191	24.51	241	26.47
42	24.90	92	24.51	142	24.51	192	24.71	242	26.28
43	25.30	93	24.51	143	24.90	193	24.51	243	26.47
44	25.30	94	24.71	144	24.71	194	24.71	244	26.67
45	25.10	95	24.51	145	24.71	195	24.71	245	26.47
46	25.10	96	24.71	146	24.71	196	24.71	246	26.87
47	24.90	97	24.71	147	24.51	197	24.71	247	26.67
48	24.90	98	24.32	148	24.71	198	24.51	248	26.87
49	25.10	99	24.12	149	24.51	199	24.71	249	26.87
50	25.30	100	24.51	150	24.71	200	24.51	250	27.06

Lanjutan Tabel 4.3.

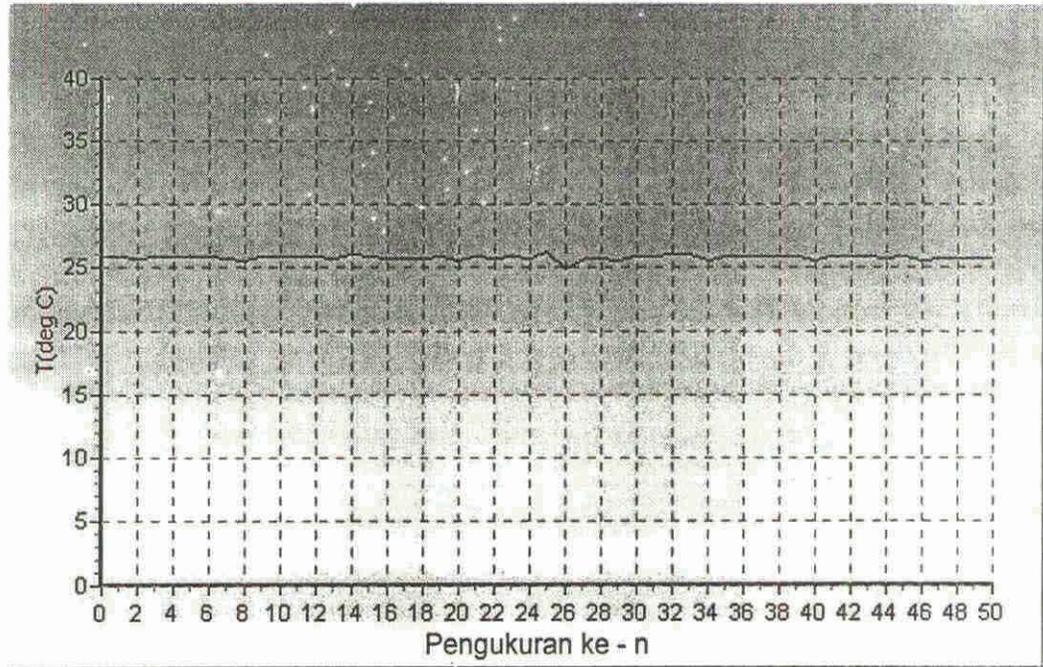
No	Suhu (°C)								
251	27.06	301	28.04	351	27.65	401	27.26	451	25.69
252	27.06	302	27.85	352	27.65	402	27.45	452	25.89
253	26.87	303	28.04	353	27.85	403	27.06	453	25.89
254	27.06	304	28.24	354	27.65	404	27.26	454	25.89
255	27.26	305	27.85	355	27.85	405	27.06	455	26.08
256	27.26	306	28.24	356	27.45	406	27.06	456	25.89
257	27.06	307	28.43	357	27.65	407	26.87	457	26.08
258	27.26	308	28.24	358	27.45	408	27.06	458	26.08
259	27.26	309	28.24	359	27.45	409	27.06	459	26.08
260	27.26	310	28.24	360	27.65	410	26.87	460	26.08
261	27.45	311	28.43	361	27.65	411	26.87	461	25.89
262	27.45	312	28.04	362	27.45	412	27.06	462	26.08
263	27.45	313	28.63	363	27.45	413	26.87	463	25.89
264	27.06	314	28.24	364	27.85	414	27.65	464	26.28
265	27.26	315	28.24	365	27.65	415	27.06	465	26.08
266	27.45	316	28.24	366	27.85	416	27.06	466	26.08
267	27.45	317	28.24	367	27.45	417	26.87	467	26.08
268	27.65	318	28.43	368	27.45	418	26.87	468	26.08
269	27.65	319	28.04	369	27.45	419	26.87	469	26.08
270	27.85	320	28.43	370	27.45	420	26.87	470	26.28
271	27.65	321	28.24	371	27.45	421	26.87	471	26.08
272	27.45	322	28.63	372	27.26	422	26.67	472	25.89
273	27.65	323	28.43	373	27.26	423	26.87	473	26.28
274	27.65	324	28.63	374	27.26	424	26.87	474	26.08
275	27.45	325	28.43	375	27.45	425	26.87	475	26.08
276	27.85	326	28.43	376	27.45	426	26.67	476	25.89
277	27.85	327	28.63	377	27.65	427	26.87	477	25.69
278	27.65	328	28.83	378	27.06	428	26.87	478	26.28
279	27.85	329	28.63	379	27.26	429	26.67	479	25.89
280	27.85	330	28.83	380	27.26	430	26.67	480	26.08
281	27.85	331	28.83	381	27.45	431	26.67	481	25.69
282	27.65	332	28.83	382	27.45	432	26.67	482	25.89
283	27.85	333	28.63	383	27.45	433	26.47	483	26.28
284	27.65	334	28.63	384	27.45	434	26.47	484	25.89
285	27.85	335	28.83	385	27.65	435	26.67	485	25.69
286	27.85	336	28.63	386	28.24	436	26.47	486	25.69
287	27.85	337	28.83	387	27.85	437	26.47	487	25.69
288	28.04	338	28.63	388	27.45	438	26.47	488	25.89
289	27.85	339	28.63	389	26.47	439	26.28	489	25.89
290	27.65	340	28.83	390	27.45	440	26.08	490	25.89
291	27.85	341	28.83	391	27.26	441	26.08	491	25.49
292	28.04	342	28.43	392	27.45	442	26.08	492	25.69
293	28.04	343	28.83	393	27.26	443	26.28	493	25.89
294	28.04	344	28.63	394	27.26	444	26.08	494	25.89
295	27.85	345	28.63	395	27.26	445	26.28	495	25.69
296	27.65	346	28.83	396	27.26	446	26.08	496	25.69
297	28.04	347	28.43	397	27.06	447	26.08	497	25.69
298	28.04	348	28.43	398	27.26	448	26.08	498	25.69
299	28.04	349	27.85	399	27.06	449	26.08	499	25.69
300	28.04	350	27.45	400	27.26	450	26.28	500	25.69



Gambar 4.1. Hasil pengujian perekaman suhu

4.1.5. Pengujian Monitoring Data Melalui PC

Pengujian ini dilakukan dengan mentransfer data hasil pengukuran ke sebuah PC secara langsung melalui komunikasi serial. Sebagai masukan analog untuk kanal 1 adalah unit sensor suhu yang telah dipakai pada pengujian sebelumnya. Pengujian ini dilakukan pada tanggal 07-11-02 mulai jam 21:55:00 WIB sampai 21:55:47 WIB, sebanyak 50 pembacaan. Hasil seluruh pengujian tersebut divisualisasikan pada gambar 4.2., sedangkan gambar 4.3 memperlihatkan sebagian angka hasil pengujian yang disajikan dalam bentuk tabel.



Gambar 4.2. Grafik hasil pengujian monitoring data

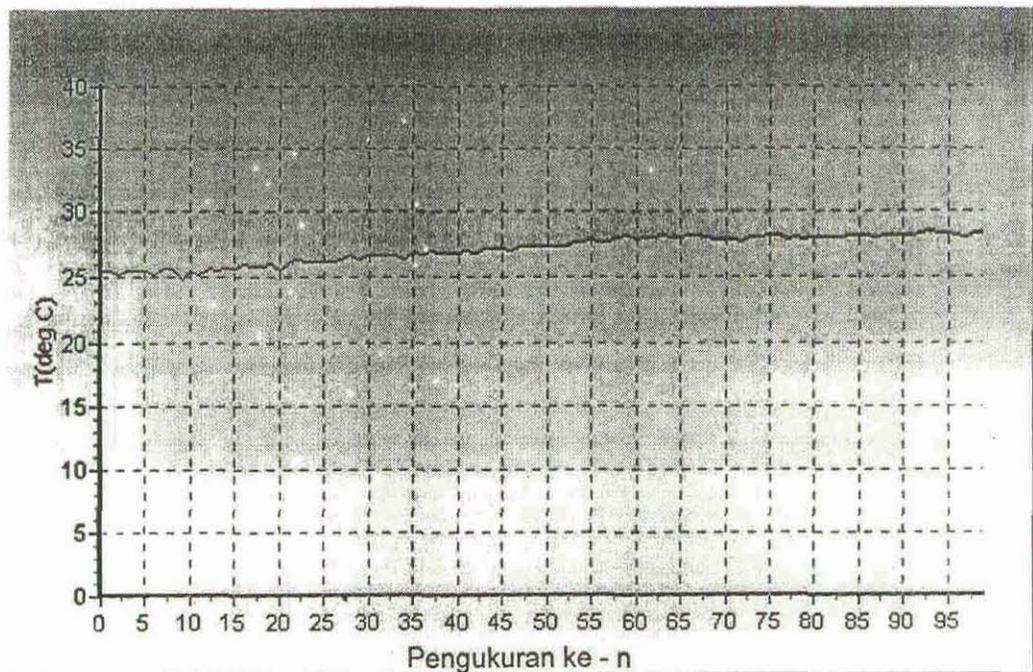
The screenshot shows the 'Monitoring' window of the 'MC MEASUREMENT SYSTEM V2.10' software. The interface includes a menu bar (File, Edit, View, Graph, Record, Setting, Options, Help), a toolbar with various icons, and a control panel with tabs for Monitoring, Graph, Recording, Report, Sensor, and MC Setting. Below the control panel, there are checkboxes for channels Ch1 through Ch8, with Ch1 checked. The main area contains a data table with the following columns: No, T(deg C), Ch2, Ch3, Ch4, Ch5, Ch6, Ch7, Ch8, and HR:MM:SS. The table contains 14 rows of data, with the first row highlighted in black.

No	T(deg C)	Ch2	Ch3	Ch4	Ch5	Ch6	Ch7	Ch8	HR:MM:SS
1	25.69								21:55:47
2	25.69								21:55:46
3	25.69								21:55:45
4	25.69								21:55:44
5	25.49								21:55:43
6	25.89								21:55:42
7	25.69								21:55:41
8	25.89								21:55:40
9	25.89								21:55:39
10	25.89								21:55:38
11	25.49								21:55:37
12	25.89								21:55:36
13	25.89								21:55:36
14	25.89								21:55:35

Gambar 4.3. Hasil pengujian monitoring suhu dalam tabel

4.1.6. Pengujian Perekaman Data Melalui PC

Pengujian ini merupakan pengujian tahap akhir yang dilakukan pada penelitian ini. Pengujian ini mirip dengan pengujian yang dilakukan sebelumnya, yaitu pengujian monitoring data, hanya saja selain dilakukannya proses monitoring, data yang ditransfer ke PC direkam tiap interval waktu tertentu. Proses perekaman dilakukan pada tanggal 08-11-2002 mulai jam 6:03 WIB sampai dengan jam 12:16 WIB sebanyak 100 rekaman, dengan interval waktu antar perekaman 216 detik. Hasil dari perekaman tersebut disajikan pada gambar 4.4 dan tabel 4.4.



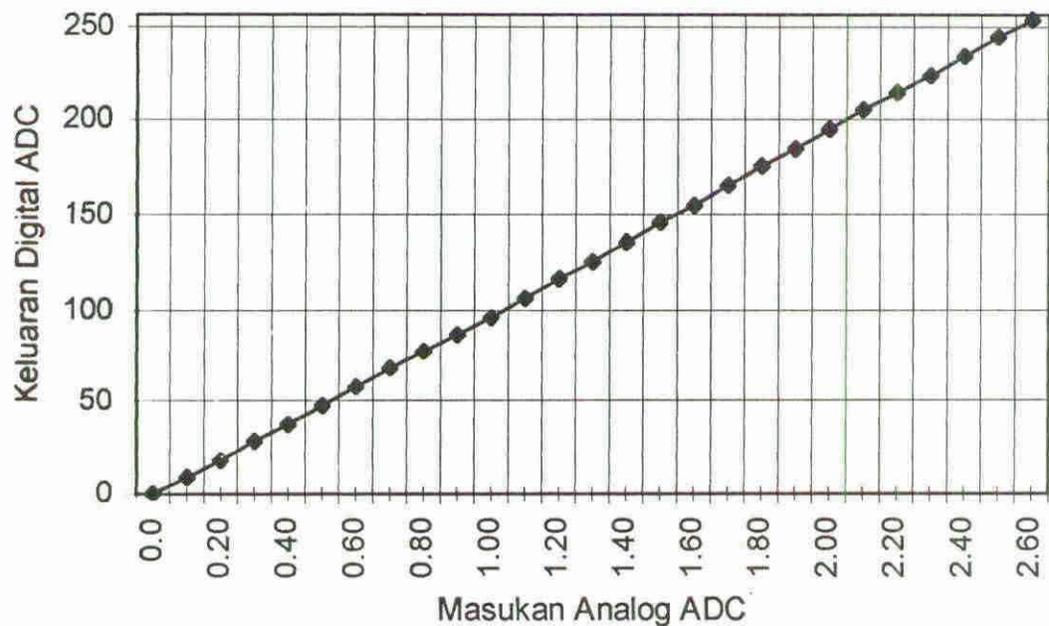
Gambar 4.4. Grafik hasil pengujian perekaman suhu melalui PC

Tabel 4.4. Pengujian perekaman suhu melalui PC

No	Jam	Suhu (°C)	No	Jam	Suhu (°C)
1	6:03:39	25.49	51	9:11:50	27.45
2	6:07:25	25.49	52	9:15:36	27.45
3	6:11:11	25.30	53	9:19:21	27.45
4	6:14:57	25.49	54	9:23:08	27.65
5	6:18:43	25.49	55	9:26:53	27.65
6	6:22:29	25.49	56	9:30:40	27.85
7	6:26:15	25.30	57	9:34:25	27.65
8	6:30:01	25.69	58	9:38:11	27.65
9	6:33:46	25.69	59	9:41:57	28.04
10	6:37:32	24.90	60	9:45:42	28.24
11	6:41:18	25.49	61	9:49:28	27.85
12	6:45:04	25.30	62	9:53:14	28.04
13	6:48:50	25.69	63	9:56:59	28.04
14	6:52:35	25.49	64	10:00:45	28.24
15	6:56:21	25.69	65	10:04:31	28.04
16	7:00:07	25.69	66	10:08:16	28.04
17	7:03:53	26.08	67	10:12:03	28.24
18	7:07:38	25.89	68	10:15:49	28.24
19	7:11:25	25.89	69	10:19:34	28.04
20	7:15:10	26.08	70	10:23:19	27.85
21	7:18:56	25.49	71	10:27:06	27.85
22	7:22:41	26.08	72	10:30:51	27.85
23	7:26:27	26.47	73	10:34:37	27.65
24	7:30:13	26.28	74	10:38:23	28.04
25	7:33:59	26.28	75	10:42:09	28.04
26	7:37:45	26.28	76	10:45:54	28.24
27	7:41:30	26.28	77	10:49:40	28.24
28	7:45:16	26.47	78	10:53:26	27.85
29	7:49:02	26.67	79	10:57:12	28.04
30	7:52:49	26.47	80	11:00:57	27.85
31	7:56:34	26.67	81	11:04:43	28.04
32	8:00:20	26.67	82	11:08:29	28.04
33	8:04:05	26.67	83	11:12:15	28.04
34	8:07:51	26.67	84	11:16:01	28.04
35	8:11:37	26.47	85	11:19:46	28.24
36	8:15:23	26.87	86	11:23:32	28.24
37	8:19:09	26.67	87	11:27:18	28.24
38	8:22:55	27.06	88	11:31:04	28.04
39	8:26:40	26.87	89	11:34:49	28.24
40	8:30:26	26.87	90	11:38:35	28.24
41	8:34:12	26.87	91	11:42:21	28.24
42	8:37:58	27.06	92	11:46:07	28.24
43	8:41:44	26.87	93	11:49:52	28.43
44	8:45:29	27.26	94	11:53:38	28.63
45	8:49:15	27.26	95	11:57:24	28.43
46	8:53:02	27.26	96	12:01:10	28.43
47	8:56:48	27.06	97	12:04:55	28.24
48	9:00:33	27.45	98	12:08:41	28.04
49	9:04:19	27.45	99	12:12:28	28.43
50	9:08:05	27.45	100	12:16:13	28.43

4.2. Pembahasan

Dari hasil pengujian yang pertama kali dilakukan, yaitu pengujian ADC, peneliti kemudian melakukan pengolahan untuk menyajikan data tersebut dalam bentuk grafik hubungan antara masukan analog ADC dan keluaran digitalnya. Salah satu dari ke-delapan grafik yang didapat dari kanal 1 sampai 8 disajikan dalam gambar 4.5.



Gambar 4.5. Grafik hasil pengujian ADC pada kanal 1

Grafik pada gambar 4.1. tersebut menunjukkan bahwa antara masukan analog ADC dan keluaran digitalnya memberikan hubungan yang linier. Hubungan yang linier ini merupakan bagian yang sangat penting dalam mempermudah penentuan besaran-besaran fisis yang diukur oleh alat.

Dari tabel hasil pengujian ADC, terlihat bahwa kanal-kanal 1 sampai 8 mempunyai karakteristik yang tidak jauh berbeda. Terlihat pada angka-angka yang disajikan pada kolom CH1 s/d CH8 yang mempunyai nilai tidak jauh berbeda pada masing-masing barisnya. Oleh karena itu grafik hasil pengujian ADC pada kanal 2 s/d 8 tidak disajikan, dan gambar 4.1. dianggap cukup mewakili karakteristik ADC pada kanal-kanal yang lainnya.

Pada pengujian pengembangan mikrokontroler serta rangkaian-rangkaian digital pendukungnya, didapatkan hasil-hasil yang sesuai dengan yang diinginkan sebelumnya. Pertama, rangkaian pengembangan mikrokontroler dapat bekerja dengan baik setelah dilakukannya ekspansi memori eksternal masing-masing sebesar 32 kbyte untuk penyimpanan kode-kode program, 8 kbyte untuk RAM dan 8 kbyte untuk menyimpan setting dan hasil rekaman. Kedua, rangkaian input/output yang berupa keypad dan LCD dapat dioperasikan dengan baik. Keypad disini dioperasikan dengan metode scanning melalui port C PPI 8255A. Untuk keperluan ini dibutuhkan masing-masing 4 masukan dan 4 keluaran digital. Selanjutnya, untuk menampilkan karakter-karakter pada LCD, data dari mikrokontroler dikirim secara paralel melalui jalur data pada LCD.

Untuk pengujian unit sensor , disini hanya digunakan satu contoh unit sensor yang dianggap mewakili kedelapan masukan pada alat. Sensor yang digunakan adalah sensor suhu, yang berupa IC LM335. Seperangkat rangkaian tambahan digunakan untuk mengkondisikan sinyal keluaran IC tersebut dengan tujuan memaksimalkan penggunaan range masukan dari alat, yaitu 0-2.6 V. Karena unit sensor tersebut digunakan untuk pengukuran dengan range 0-100°C, maka setting pada alat ditentukan sebagai berikut

$$\text{Constant} = 100/255 = 0.3922$$

$$\text{Zero offset} = 0$$

Pada pengujian selanjutnya, yaitu pengujian perekaman suhu, dapat diketahui bahwa alat dapat melakukan pengukuran dan perekaman data sebanyak 500 rekaman. Untuk melakukan perekaman dalam waktu 24 jam sebanyak 500 rekaman tersebut, setting pada alat ditentukan sebagai berikut

$$\text{Record time} = 173 \text{ (detik)}$$

$$\text{No of records} = 500$$

Nampak dari hasil perekaman tersebut adanya variasi suhu dalam waktu 24 jam. Penurunan suhu terjadi sewaktu menjelang pagi hari dan naik kembali menjelang siang hari.

Selanjutnya, pada pengujian monitoring dan perekaman data melalui PC, dapat diketahui bahwa keseluruhan perangkat keras dan perangkat lunak yang dirancang dan dibuat dapat bekerja dengan baik. Pengujian ini melibatkan perangkat lunak pada PC yang berfungsi untuk mengadakan komunikasi dengan alat yang dibuat. Dalam pelaksanaannya, perangkat lunak ini bertugas untuk membuka dan menutup koneksi serial, mengatur laju pengiriman data serial (baud rate), membaca dan menterjemahkan karakter-karakter yang terdapat dibuffer serial, menyajikan data dalam bentuk tabel dan grafik serta melakukan perekaman dan menyimpannya ke suatu file.

Proses monitoring dan perekaman data melalui PC yang terhubung dengan alat yang dibuat, memberikan banyak kelebihan dibandingkan dengan menggunakan alat tersebut secara mandiri. Pada PC, data yang dikirimkan oleh alat dapat disajikan dengan lebih jelas (baik melalui tabel angka maupun visualisasi grafik). Kelebihan lainnya adalah dapat dilakukannya proses perekaman data dalam jumlah yang sangat besar. Software pada PC didesain sedemikian rupa sehingga pengguna dapat melakukan perekaman dan penyimpanan ke suatu file secara berturut-turut (secara otomatis). Lebih jauh lagi, sewaktu perekaman tersebut dilakukan, tanggal dan waktu (dalam format DD:MM:YY dan HH-MM-SS) akan disertakan pada tiap-tiap rekaman.

Untuk mengatasi jenis sensor yang tidak linier, peneliti menyertakan perhitungan dalam bentuk polinomial ke dalam perangkat lunak PC. Polinomial tersebut dirumuskan sbb

$$y = C_0 + C_1X + C_2X^2 + C_3X^3 + C_4X^4 + \dots + C_{15}X^{15}$$

dimana

- x : angka yang transfer oleh alat melalui fasilitas 'Measurement Transfer'.
- y : angka yang akan ditampilkan pada tabel monitoring (pada saat monitoring dilakukan) dan pada tabel recording (pada saat proses perekaman dilakukan).
- $C_0 \dots C_{15}$: koefisien order 0..15 dari polinomial.

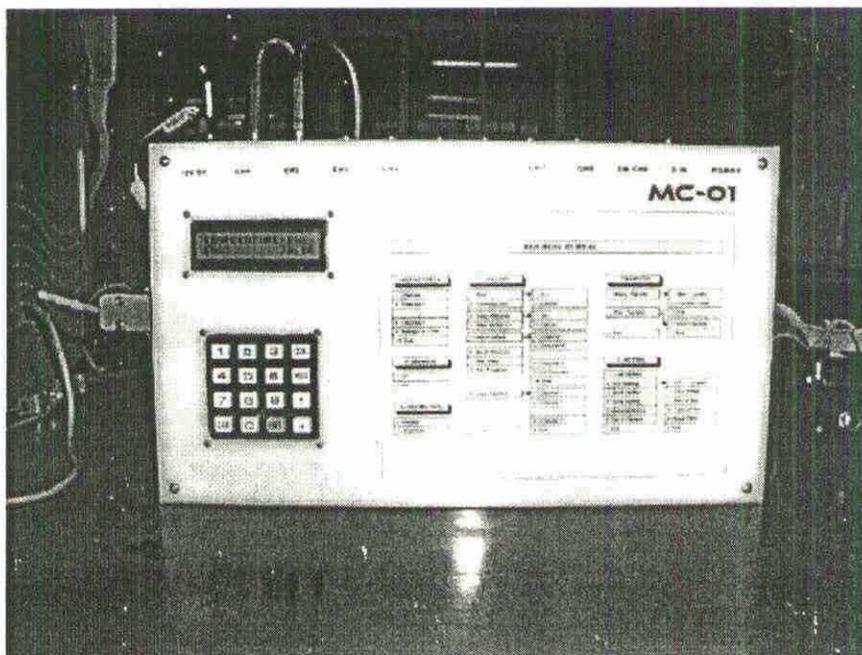
Untuk pengujian yang telah dilakukan sebelumnya, karena sensor yang digunakan adalah sensor suhu dengan karakteristik linier, maka koefisien-koefisien tersebut ditentukan sebagai berikut

$$C_0 = 0$$

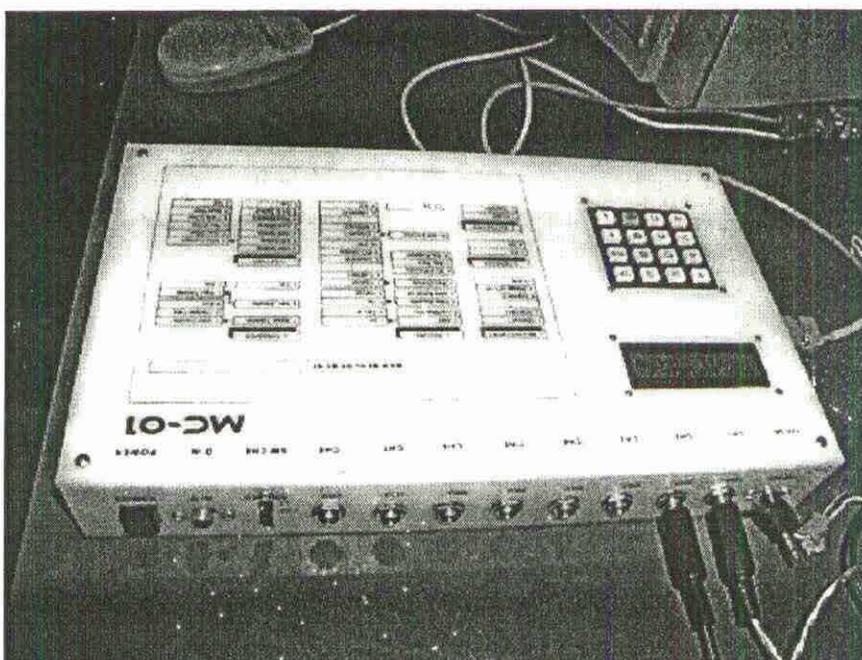
$$C_1 = 1$$

$$C_2 \dots C_{15} = 0$$

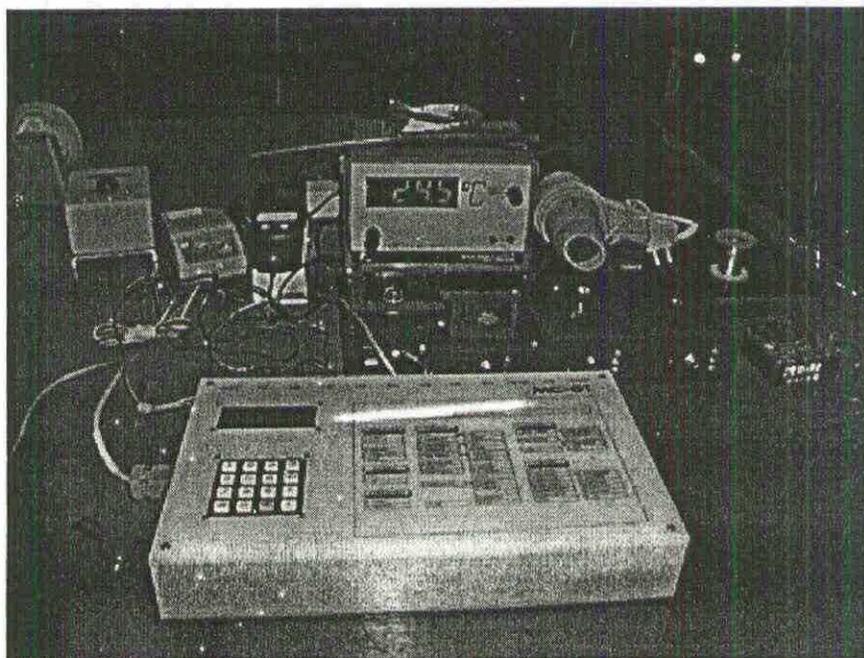
Gambaran mengenai tampak fisik dari alat serta pengujian yang dilakukan diperlihatkan melalui foto-foto pada gambar 4.6 sampai 4.9.



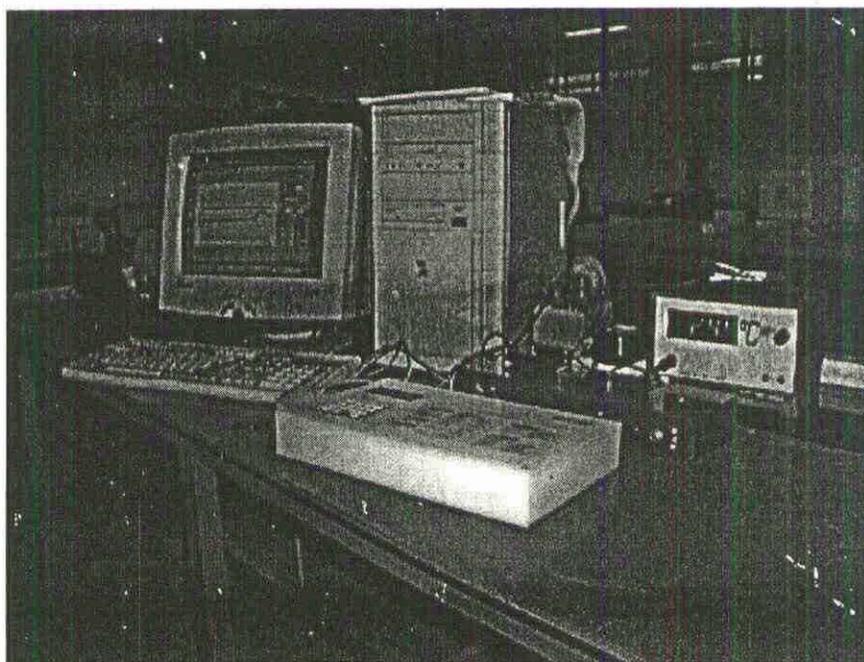
Gambar 4.6. Tampak atas alat



Gambar 4.7. Tampak atas dan depan alat



Gambar 4.8. Pengujian menggunakan sensor suhu



Gambar 4.9. Pengujian menggunakan alat yang terhubung dengan PC

BAB V

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil keseluruhan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut :

1. Alat yang telah dirancang dan dibuat *dapat melakukan fungsinya* seperti yang diharapkan sebelumnya, yaitu
 - melakukan pengukuran beberapa variabel secara simultan, dimana variabel-variabel yang diukur dapat berupa besaran fisis yang berbeda.
 - Melakukan perekaman data secara periodik, dengan waktu antara 1 detik sampai 12 jam dan jumlah rekaman per kanal maksimum sebanyak 500.
 - Melakukan komunikasi dengan PC untuk mentransfer data hasil pengukuran maupun perekaman dari alat yang dibuat.
2. Fasilitas yang kompleks pada alat dapat dipermudah pengaksesannya melalui menu-menu yang ditampilkan pada LCD. Pengguna alat dapat dengan mudah melakukan pengukuran, perekaman, transfer data dan memodifikasi setting melalui menu tersebut.
3. Keseluruhan perangkat keras alat dapat dikemas menjadi sebuah unit yang portabel. Hal ini memberikan kemudahan untuk melakukan pengukuran serta perekaman beberapa besaran fisis di lapangan.
4. Khusus untuk unit sensor yang tidak linier, alat yang dibuat tidak dapat menampilkan besaran fisis secara langsung melalui LCD. Dalam hal ini, alat tersebut akan menampilkan nilai digital keluaran dari ADC. Namun demikian, nilai besaran fisis yang terukur dapat ditampilkan setelah melakukan transfer data ke sebuah PC dengan menggunakan perangkat lunak yang telah dibuat .

5.2. Saran

Pada pengembangan selanjutnya, perlu digunakan ADC dengan resolusi yang lebih tinggi, untuk meningkatkan ketelitian hasil pengukuran. Selain itu, perlu adanya modifikasi pada persamaan matematis untuk menghubungkan besaran fisis yang diukur dengan nilai yang akan ditampilkan oleh alat, untuk menangani jenis-jenis sensor dengan karakteristik yang tidak linier.

0900467

DAFTAR PUSTAKA

1. Johnson C. D., *Process Control Instrumentation Technology*, John Wiley and Sons, New York, 1977.
2. Link W., *Pengukuran, Pengendalian dan Pengaturan dengan PC*, Elex Media Komputindo, 1995.
3. Philips Semiconductors, *80C51-Based 8-Bit Microcontrollers Data Handbook*, Philips Semiconductors, U.S.A., 1994.

