

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN  
TERMOMETER DIGITAL**

**SKRIPSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan Penyelesaian Program Sarjana Sains  
Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Jember



Asal:	Hadiah	Klass
Terima :	10 APR 2002	536.5
No. In:	0632	CAM
KLASIR / PE. YA. I :		p e. 1

Oleh : **Ana Wahyu Camilia**  
NIM : 971810201080

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
MARET 2002**

**Motto**

“ Hai orang-orang yang beriman, jadikanlah sabar dan sholat sebagai penolongmu, sesungguhnya Allah beserta orang-orang yang sabar” (Al-Baqarah : 153)



Skripsi ini kupersembahkan kepada:

- Bapakku H. Ilyas (alm) dan Ibuku H. Romyu tercinta
- Kakak-kakakku dan keponakan-keponakanku tercinta
- Bapak dan Ibu Dosen terhormat
- Sahabat-sahabatku khususnya Mas Dudi, Mas Nur, Wati dan Titik yang telah banyak membantu dalam penyelesaian skripsi ini
- Iwan penyemangatku
- Almamaterku

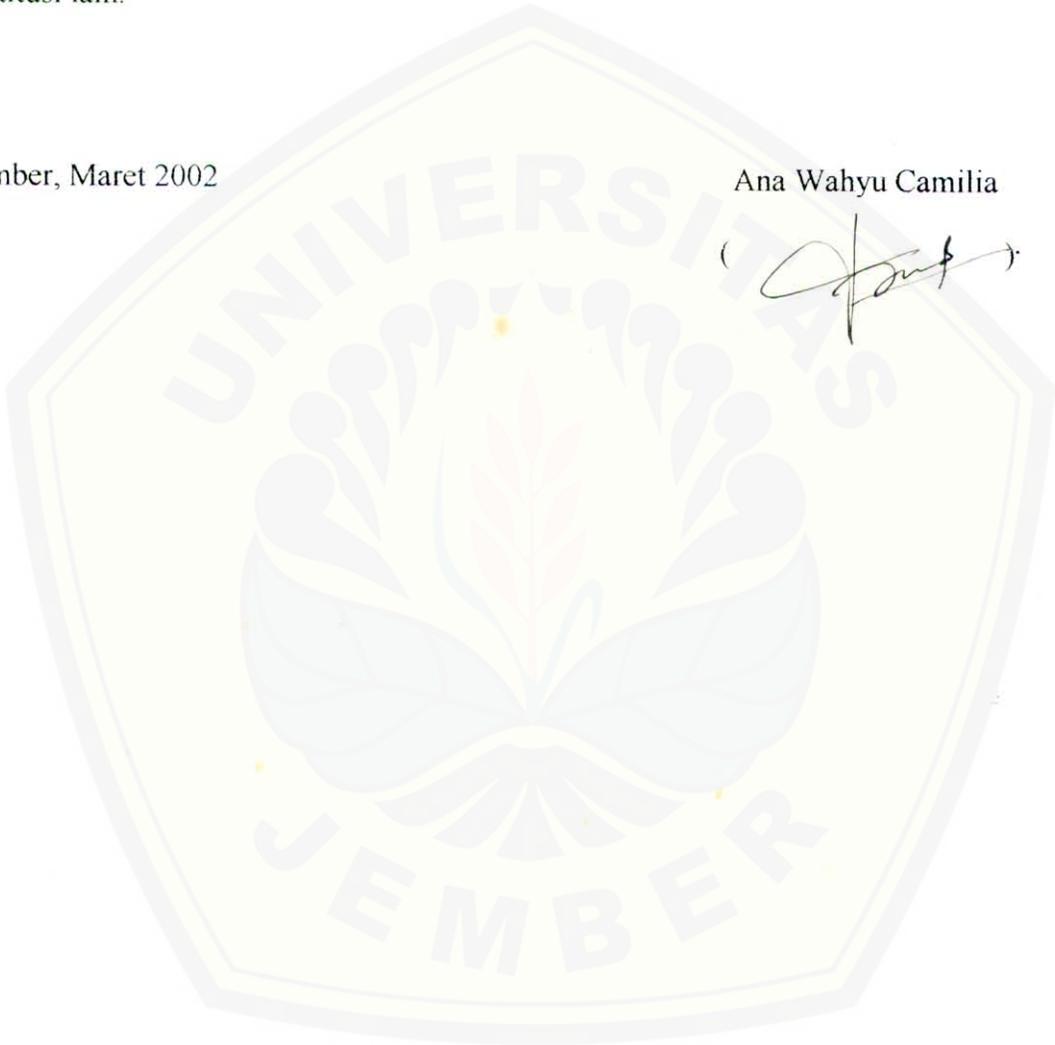


**DEKLARASI**

Skripsi ini berisi hasil kerja/penelitian mulai bulan mei 2001 sampai dengan bulan januari 2002 di laboratorium Fisika Tahun II Fakultas MIPA Universitas Jember. Bersama ini saya nyatakan bahwa isi skripsi ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri kecuali jika disebutkan sumbernya dan skripsi ini belum pernah diajukan pada institusi lain.

Jember, Maret 2002

Ana Wahyu Camilia



ABSTRAKSI

**Ana Wahyu Camilia, Perancangan dan Pembuatan Termometer Digital.**

Tugas akhir, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember.

Pembimbing (1) Drs. Sujito, PhD.

(2) Ir. Misto.

Pada dekade belakangan ini penggunaan alat ukur secara cepat dan tepat sangat dibutuhkan, misal termometer sebagai pengukur suhu. Ada beberapa jenis termometer antara lain termometer beda muai, termometer elektrik, termometer berdasarkan gejala listrik dan termometer radiasi. Pada tugas akhir ini dibuat pengukur suhu dengan sistem digital dengan keunggulan ketepatan dan kecepatan dalam pembacaan. Dengan prinsip kerja unit sensor menggunakan transduser dengan sensor suhu berupa termistor dengan keluaran berupa tegangan yang kemudian dikuatkan oleh rangkaian penguat tegangan. Tegangan keluaran dari unit sensor diumpankan pada unit pengubah tegangan ke frekuensi yang berfungsi sebagai pengubah tegangan keluaran dari unit sensor menjadi keluaran berupa frekuensi. Hal ini dimaksudkan agar keluaran dapat dibaca oleh unit pencacah frekuensi dan ditampilkan pada unit penampil yaitu seven segmen. Berdasarkan hasil analisa data diperoleh ketelitian rata-rata sebesar 0,03% dan ketepatan rata-rata sebesar 0,07% untuk perbandingan menggunakan menggunakan termometer air raksa kemudian ketelitian rata-rata sebesar 0,04% dan ketepatan rata-rata sebesar 0,10% untuk perbandingan menggunakan termometer digital model 8528-10 dan ketelitian rata-rata sebesar 0,03% dan ketepatan rata-rata sebesar 0,10% untuk perbandingan menggunakan termometer digital model HGL-3300 ini berarti bahwa alat pengukur suhu yang dibuat memiliki ketelitian dan ketepatan yang signifikan dalam pengukuran.

Skripsi ini diterima oleh Fakultas matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember Pada:

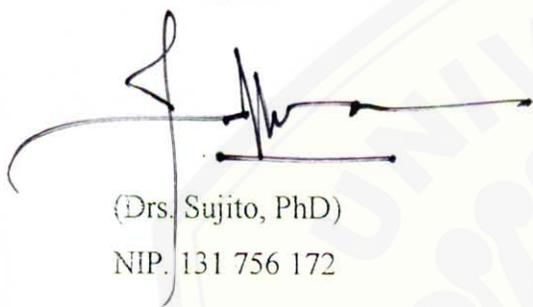
Hari : Senin

Tanggal : 01 APR 2002

Tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember

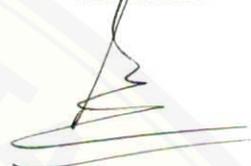
Tim Penguji

Ketua



(Drs. Sujito, PhD)  
NIP. 131 756 172

Sekretaris



( Ir. Misto )  
NIP. 131 945 799

Anggota I



(Drs. Imam Rofi'i, MSc)  
NIP. 131 975 310

Anggota II



(Agus Supriyanto, MSi)  
NIP. 132 162 507

Mengesahkan

Dekan FMIPA UNEJ



(Ir. Sumadi, MS)  
NIP. 130 368 784

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, karena dengan rahmat serta hidayahnya penulisan laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan. Kiranya tidak berlebihan jika menyampaikan terimakasih sebesar-besarnya kepada yang terhormat :

1. Dosen pembimbing utama dan dosen pembimbing anggota yang telah memberikan arahan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini.
2. Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.
3. Semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini.

Penulisan laporan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak sangat diharapkan demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini.

Semoga Allah SWT melimpahkan hidayah serta karuniaNya.

Jember, Maret 2002

Penulis

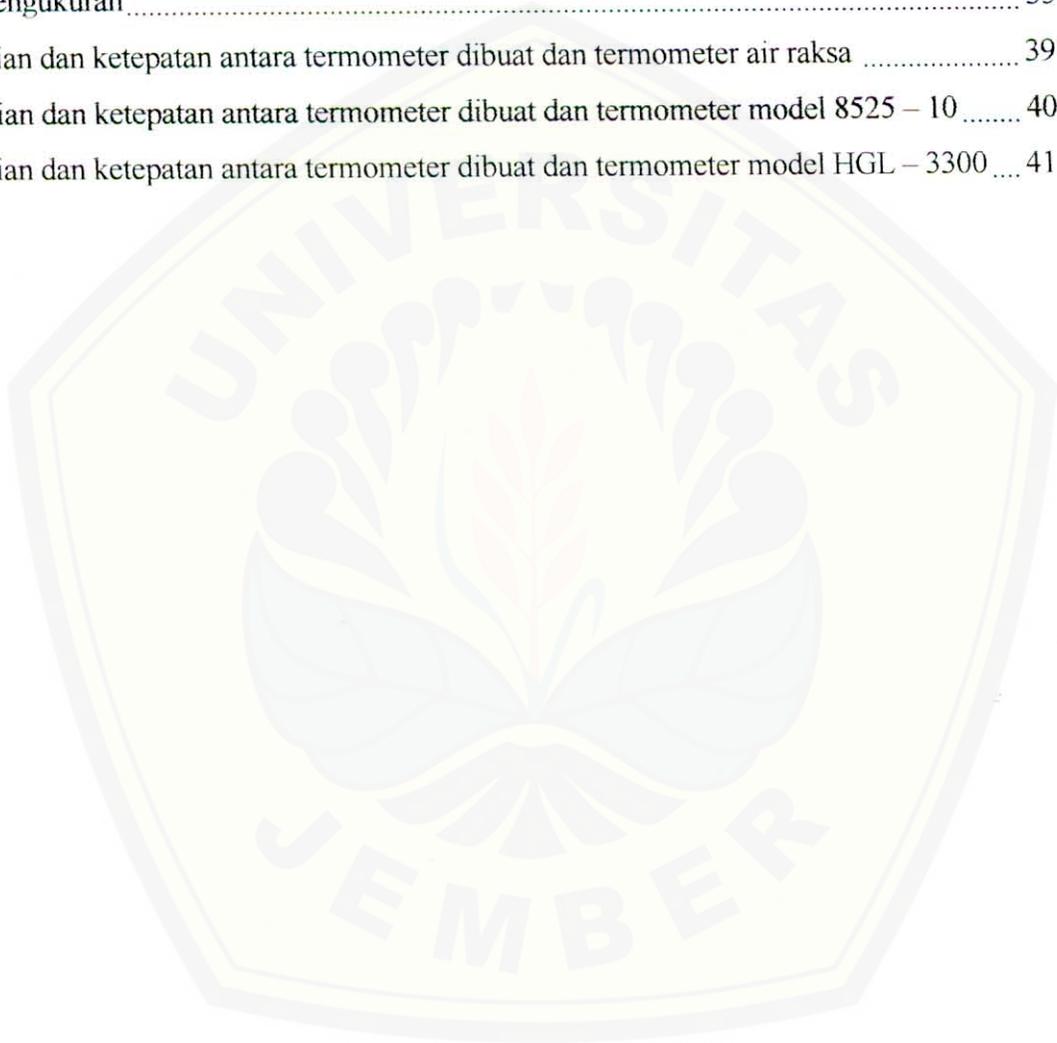
DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul .....	i
Halaman Motto.....	ii
Halaman Persembahan .....	iii
Halaman Deklarasi.....	iv
Halaman Abstrak .....	v
Halaman Pengesahan .....	vi
Kata Pengantar.....	vii
Daftar Isi .....	viii
Daftar Tabel.....	x
Daftar Gambar .....	xi
Daftar Grafik .....	xii
<b>Bab I Pendahuluan .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan .....	2
1.4 Manfaat.....	3
<b>Bab II Tinjau Pustaka.....</b>	<b>4</b>
2.1 Termometer Air Raksa.....	4
2.2 Perancangan Dan Pembuatan Termometer Digital.....	5
2.1.1 Sensor Dan Transduser.....	5
2.1.2 Rangkaian Jembatan Wheatstone.....	7
2.1.3 Penguat Operasional .....	9
2.1.4 Rangkaian Pengubah Tegangan Kefrekuensi.....	10
2.1.5 Rangkaian Pembentuk Gelombang.....	12
2.1.6 Pencacah Frekuensi.....	13
2.1.7 Penampil.....	15

<b>Bab III Metode Penelitian .....</b>	<b>18</b>
3.1 Waktu Dan Tempat .....	18
3.2 Langkah-Langkah Penelitian.....	18
3.2.1 Persiapan .....	18
3.2.2 Pembuatan.....	18
3.2.3 Kalibrasi .....	23
3.2.4 Analisa Data.....	24
3.3 Prototipe Alat Pengukur Suhu Digital .....	27
<b>Bab IV Hasil Dan Pembahasan.....</b>	<b>28</b>
4.1 Prinsip Kerja Alat .....	28
4.1.1 Unit Sensor .....	28
4.1.2 Unit Pengubah Tegangan Ke Frekuensi .....	30
4.1.3 Unit Pencacah Frekuensi.....	33
4.2 Kalibrasi .....	34
4.3 Analisa Data .....	37
4.3.1 Kepekaan.....	38
4.3.2 Ketelitian dan Ketepatan .....	38
4.3.3 Jangkauan .....	42
<b>Bab V Penutup .....</b>	<b>45</b>
5.1 Kesimpulan.....	45
5.2 Saran .....	45
Daftar Pustaka	
Lampiran	

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
4.1 Pengukuran resistansi dan suhu pada termistor.....	29
4.2 Pengukuran tegangan dan frekuensi .....	31
4.3 hasil pengukuran.....	35
4.4 Ketelitian dan ketepatan antara termometer dibuat dan termometer air raksa .....	39
4.5 Ketelitian dan ketepatan antara termometer dibuat dan termometer model 8525 – 10 .....	40
4.6 Ketelitian dan ketepatan antara termometer dibuat dan termometer model HGL – 3300 ....	41

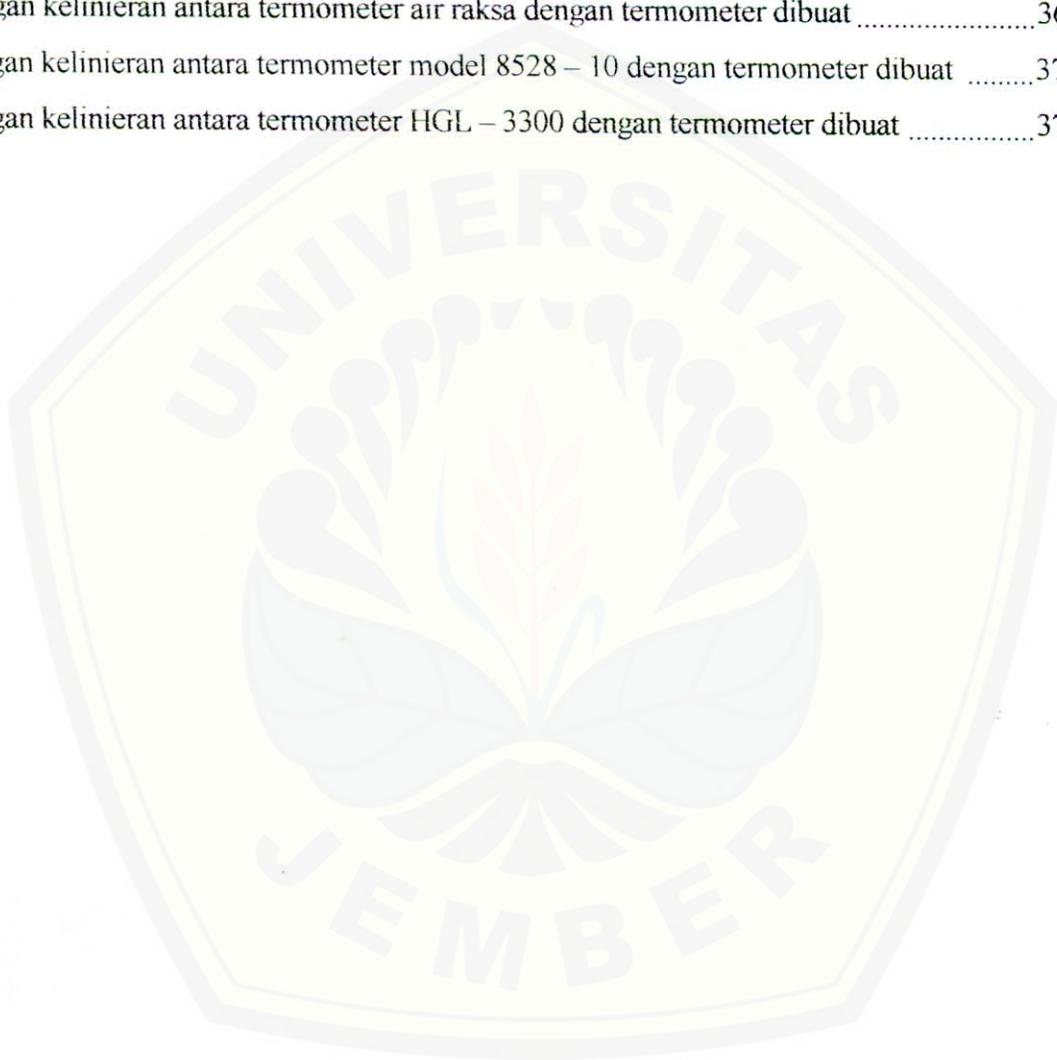


DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Termometer air raksa .....	4
2.2 Termistor .....	5
2.3 Proses penginderaan .....	6
2.4 Rangkaian jembatan Wheatstone .....	7
2.5 Penguat operasional .....	10
2.6 Rangkaian pengubah tegangan kefrekuensi .....	10
2.7 Bentuk gelombang keluaran .....	11
2.8 Rangkaian pembentuk gelombang .....	12
2.9 Diagram blok suatu pencacah frekuensi digital .....	13
2.10 IC counter 4553 .....	14
2.11 IC decoder 4543 .....	15
2.12 Seven segmen pada penampil LED seven segmen .....	16
2.13 Prinsip kerja seven segmen .....	17
3.1 Unit sensor pada rangkaian jembatan Wheatstone .....	19
3.2 Unit penguat .....	20
3.3 Unit Pengubah tegangan ke frekuensi .....	21
3.4 Unit Pembentuk gelombang dari pencacah frekuensi .....	22
3.5 Kepekaan (sensitifitas instrumen) .....	25
3.6 Tampilan muka termometer yang akan dibuat .....	27
4.1 Unit sensor dan penguat .....	28
4.2 Unit pengubah tegangan ke frekuensi .....	30
4.3 Pencacah frekuensi .....	33

**DAFTAR GRAFIK**

Grafik	Halaman
4.1 Hubungan suhu dan resistansi termistor .....	30
4.2 Konversi tegangan ke frekuensi .....	32
4.3 Hubungan kelinieran antara termometer air raksa dengan termometer dibuat .....	36
4.4 Hubungan kelinieran antara termometer model 8528 – 10 dengan termometer dibuat .....	37
4.5 Hubungan kelinieran antara termometer HGL – 3300 dengan termometer dibuat .....	37





## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Suhu dan panas adalah suatu fenomena alami yang dapat berpengaruh terhadap kuantitas besaran fisis lain dalam suatu sistem. Suhu dan panas juga berpengaruh terhadap kualitas suatu produk sehingga perlakuan suhu menjadi faktor yang sangat penting untuk dianalisa dan dikaji. Ketepatan suatu analisa perlu ditunjang oleh adanya sarana alat ukur yang memadai, pengukuran yang hanya berdasarkan perasaan kurang bisa dipertanggungjawabkan sehingga diperlukan metode lain yang lebih handal (Sarwono, 1992; 100).

Sementara itu, kemajuan ilmu dan teknologi juga tidak terlepas dari ilmu dan teknik ukur mengukur. Dengan adanya kemajuan teknologi banyak cara yang bisa ditempuh untuk mengukur suhu suatu benda, diantaranya dengan penerapan dibidang elektronika. Seiring dengan kemajuan teknologi yang semakin pesat, bidang elektronika juga mengalami kemajuan. Hal ini ditandai dengan, saat ini, hampir semua peralatan elektronika pada umumnya menggunakan sistem digital (Rusmadi, 1997; 1).

Alat pengukur suhu biasanya menggunakan termometer. Jenis-jenis termometer antara lain adalah termometer beda muai, termometer elektrik berdasarkan gejala listrik dan termometer radiasi. Termometer beda muai merupakan termometer yang memiliki perbedaan muai cairan dengan bahan dimana cairan itu berada. Contoh dari termometer beda muai ini adalah termometer gelas, termometer logam dan termometer zat cair. Termometer ini mempunyai jangkauan pengukuran yang sempit dan koefisien muai yang tidak linier sehingga kurang baik pemakaiannya, selain itu sifat penghantar panas yang buruk berakibat pengukuran temperatur berjalan lambat. Termometer ini hanya cocok dipakai untuk keperluan rumah-tangga. Pada termometer elektrik dijelaskan bekerja berdasarkan adanya perubahan sifat-sifat listrik karena perubahan temperatur. Kelebihan dari termometer

ini adalah dapat digunakan untuk pengukuran yang dilakukan pada jarak yang amat jauh dari tempat pengamatan dengan jangkauan pengukuran yang sangat lebar. Contoh dari termometer ini adalah termometer tahanan dan termokopel. Jenis yang ketiga adalah termometer radiasi dimana termometer ini sebagai alat ukur intensitas cahaya yang dipancarkan oleh benda yang akan diukur temperaturnya. Termometer ini dikenal dengan termometer *Pyrometer* yang hanya mendeteksi obyek bertemperatur tinggi diatas  $1000^{\circ}\text{C}$  (Harri, 1992; 19).

Berdasarkan uraian-uraian di atas akan dibuat alat pengukur suhu digital yang bermanfaat sebagai alat pengukur suhu dengan keunggulan dalam kecepatan dan ketepatan dalam pembacaan. Adapun alat pengukur suhu yang akan dibuat adalah alat pengukur suhu dengan sensor suhu dari termistor berupa tahanan yang dipasang pada rangkaian jembatan Wheatstone dikuatkan dengan rangkaian penguat instrumentasi. Kemudian out put dari rangkaian penguat instrumentasi dalam bentuk tegangan yang proporsional terhadap suhu termistor diumpankan pada rangkaian pencacah digital (Voltmeter Digital). Karakteristik sensor seperti derajat linieritas, ketelitian dan ketepatan juga akan dihitung menggunakan pembandingan termometer yang dianggap standar.

## 1.2 Rumusan Masalah

Pokok permasalahan yang hendak diteliti adalah bagaimana merencanakan dan membuat termometer (alat pengukur suhu) dengan sistem digital ?

## 1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian yang penulis ingin capai adalah diperoleh alat pengukur suhu dengan menggunakan sistem digital.

#### 1.4 Manfaat

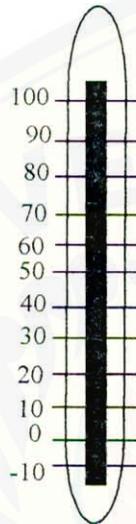
Manfaat dari penelitian tentang perancangan dan pembuatan termometer digital diharapkan dapat digunakan sebagai alat pengukur suhu dengan keunggulan dalam kecepatan dan ketepatan dalam pembacaan.





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

**2.1 Termometer Air Raksa**



Gambar 2.1 Termometer air raksa

Menurut Harri (1992; 18) termometer air raksa (gambar 2.1) adalah termometer yang terbuat dari bahan gelas/kaca berbentuk pipa dengan lubang dibagian dalamnya amat kecil sekali, karena itu sering disebut sebagai pipa kapiler. Pipa itu diisi dengan cairan yang mempunyai koefisien muai yang amat besar, misalnya air raksa atau cairan organik. Untuk mengukur temperatur cairan pengisi pipa kapiler ditentukan dengan mengukur pemuaiannya sejumlah zat cair yang ditempatkan di bagian reservoirnya yang terletak di bagian atas, umumnya dibuat hampa udara untuk menghindari adanya oksidasi dengan cairan. Pada cairan organik koefisien muainya lebih besar dibandingkan dengan air raksa, karena itu konstruksi pipa kapilernya lebih lebar dari pada pipa kapiler pada air raksa.

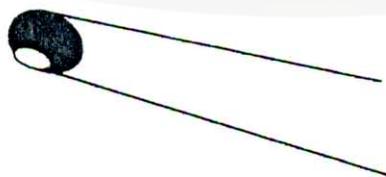
Cairan pengisi pipa kapiler yang digunakan pada termometer tersebut diatas mempunyai perbedaan-perbedaan tertentu, air raksa merupakan cairan yang sering dipergunakan, karena mempunyai range pengukuran yang relatif lebih lebar dibanding dengan cairan organis. Karena itu termometer beda muai air raksa dapat mempunyai jangkauan antara  $0^{\circ}$  (derajat) sampai  $100^{\circ}$  (derajat).

Termometer cairan organis umumnya mempunyai jangkauan pengukuran yang lebih sempit, dapat juga dipergunakan untuk jangkauan yang lebih lebar, tetapi karena koefisien pemuaiannya yang tidak linier dan juga bersifat sebagai penghantar panas yang buruk yang berakibat penunjukkan pengukuran berjalan lambat, maka cairan ini kurang baik pemakaiannya. Air raksa akan membeku pada temperatur  $-39^{\circ}\text{C}$  dan mendidih pada temperatur  $360^{\circ}\text{C}$ . Ini berarti air raksa dapat dipergunakan untuk pengukuran pada jangkauan tersebut di atas. Untuk mengukur temperatur diatas  $360^{\circ}\text{C}$ , bagian atas air raksa diberi gas nitrogen. Dengan pengukuran ini dapat digunakan untuk pengukuran mencapai  $500^{\circ}\text{C}$  (Harri, 1992; 18).

## 2.2 Perancangan dan Pembuatan Termometer Digital

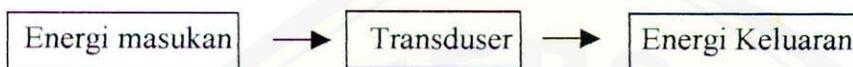
### 2.2.1 Sensor dan Transduser

Usher (1985) dalam Sarwono (1992 ;20) menyatakan bahwa sensor adalah suatu peralatan yang menangkap perubahan rangsangan fisik dan merubahnya menjadi sinyal yang bisa diukur atau dicatat. Sedangkan transduser adalah suatu peralatan yang menyalurkan daya dari suatu sistem ke sistem lain dalam bentuk yang sama maupun berbeda.



Gambar 2.2 Termistor

Sesuai dengan pengertian tersebut di atas maka sensor digunakan sebagai elemen pengindera dan transduser digunakan sebagai elemen pengindera dengan ditambah rangkaian yang sesuai. Sebagai contoh termistor (gambar 2.2) adalah sensor dan termistor bersama rangkaian jembatan Wheatstone adalah transduser. Semua transduser harus mencakup sensor tetapi tidak semua sensor merupakan transduser. Proses pengindera secara umum dapat dinyatakan sebagai berikut:



Gambar 2.3. Proses penginderaan

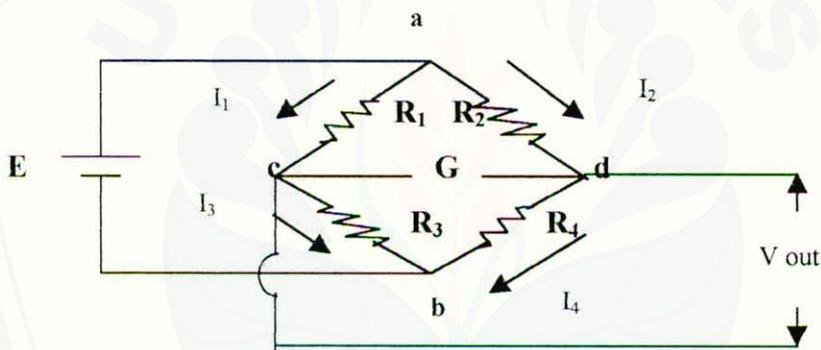
Bentuk dari energi/sinyal keluaran pada gambar 2.3 seringkali berupa tegangan yang sesuai dengan sinyal masukan, tetapi kadang-kadang berupa gelombang yang frekuensinya berbanding lurus terhadap frekuensi masukan. Karakteristik penting dari proses penginderaan adalah konversi energi dari bentuk yang satu ke bentuk yang lainnya dan karakteristik penting dari suatu sinyal adalah adanya perubahan nilai sebagai fungsi dari waktu atau ruang. Tiap-tiap bentuk energi mempunyai sinyal yang bersesuaian dengannya, misalnya :

- Radiasi : infra merah, cahaya tampak
- Mekanik : perpindahan, kecepatan, percepatan, gaya, tekanan, aliran
- Panas : temperatur, , konduksi, aliran panas
- Magnetik : flux magnet, kekuatan medan
- Kimial : pH, Komposisi kimia (Sarwono, 1992; 20).

Pada umumnya diinginkan agar transduser yang digunakan dapat menghasilkan sinyal listrik yang selanjutnya bisa dikuatkan atau diproses. Menurut Cooper (1994;384) transduser dapat dikelompokkan berdasarkan sifat kelistrikan (tahanan, tegangan dan arus). Kelompok pertama adalah transduser yang memerlukan daya luar. Ini adalah transduser pasif, yang menghasilkan perubahan dalam sebuah parameter listrik seperti halnya tahanan, kapasitansi dan lain-lain yang dapat diukur

sebagai suatu perubahan tegangan atau arus. Contoh dari transduser yang memerlukan daya luar adalah alat potensiometrik, strain-gage tahanan dan transformator selisih. Kelompok berikutnya adalah transduser jenis pembangkit sendiri (*self generating type*), yang menghasilkan suatu tegangan atau arus analog bila dirangsang dengan suatu bentuk fisis energi. Transduser pembangkit sendiri tidak memerlukan daya luar. Contoh dari *self generating type* transduser adalah *thermocoupe*l, *piezo electric*, *photovoltaic* dan *termistor*. Transduser ini biasanya menghasilkan keluaran energi yang sangat rendah sehingga diperlukan adanya penguat untuk memperbesar energi yang terjadi.

### 2.2.2 Rangkaian Jembatan Wheatstone



Gambar 2.4 Rangkaian Jembatan Wheatstone

Gambar 2.4 adalah sebuah rangkaian jembatan Wheatstone. Rangkaian jembatan Wheatstone mempunyai empat lengan resistif beserta sebuah sumber tegangan arus searah dan sebuah detektor nol yang biasanya adalah galvanometer atau alat ukur arus sensitif lainnya. Arus melalui galvanometer bergantung pada beda potensial antara titik  $c$  dan titik  $d$ . Jembatan Wheatstone dikatakan seimbang bila pada galvanometer menunjukkan angka 0, artinya tidak ada arus melalui galvanometer. Kondisi ini terjadi bila beda tegangan dari titik  $c$  ke titik  $a$  sama

dengan beda tegangan dari titik d ke titik a atau dengan mendasarkan ke terminal lainnya, jika beda tegangan dari titik d ke titik b. Jadi jembatan akan seimbang jika:

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 \dots\dots\dots(2.1)$$

Jika arus galvanometer adalah nol, kondisi-kondisi berikut juga dipenuhi:

$$I_1 = I_3 = E / (R_1 + R_3) \dots\dots\dots(2.2)$$

$$I_2 = I_4 = E / (R_2 + R_4) \dots\dots\dots(2.3)$$

Dengan mengabungkan persamaan (2.1), (2.2) dan (2.3) dan menyederhanakannya diperoleh

$$R_3 / (R_1 + R_3) = R_4 / (R_2 + R_4) \dots\dots\dots(2.4)$$

Atau  $R_3 R_2 = R_4 R_1 \dots\dots\dots(2.5)$

Persamaan 2.5 merupakan bentuk yang telah dikenal dalam kesetimbangan jembatan Wheatstone. Jika tiga dari tahanan-tahanan tersebut diketahui, tahanan keempat dapat ditentukan dari persamaan 2.5. Berarti, jika  $R_4$  (sebagai  $R_x$ ) tidak diketahui, tahanan  $R_x$  dapat dinyatakan oleh tahanan-tahanan yang lain, yaitu:

$$R_x = R_1 / R_3 R_2 \dots\dots\dots(2.6)$$

Tahanan  $R_3$  disebut lengan standart dari jembatan, dan tahanan  $R_2$  dan  $R_1$  disebut lengan-lengan pembanding (Cooper, 1994; 148).

Tegangan ekivalen antara titik c dan titik d dapat diperoleh dengan menggunakan prinsip pembagi tegangan. Tegangan pada titik c,  $V_c$  adalah

$$V_c = [R_3 / (R_1 + R_3)] E \dots\dots\dots(2.7)$$

dan tegangan pada titik d,  $V_d$  adalah

$$V_d = [R_4 / (R_2 + R_4)] E \dots\dots\dots(2.8)$$

Maka keluaran dari rangkaian jembatan pada gambar 2.4 dalam bentuk tegangan yang diperoleh melalui :

$$V_{out} = V_c - V_d \dots\dots\dots(2.9)$$

### 2.2.3 Penguat Operasional

Penguat operasional merupakan penguat khusus yang disebut op-amp. Penguat ini mempunyai sifat-sifat impedansi masukan tinggi, impedansi keluaran rendah, dan penguat tegangan yang dapat diubah dan dapat diatur dengan resistor luar. Simbol untuk op-amp ditunjukkan pada gambar 2.5a. Op-amp yang ditunjukkan pada gambar 2.5a mempunyai dua masukan. Masukan sebelah atas diberi label sebagai masukan pembalik, yang ditunjukkan dengan tanda (-). Masukan lainnya diberi label sebagai masukan bukan pembalik, dengan tanda (+). Keluaran dari penguat juga ditunjukkan di sebelah kanan simbol.

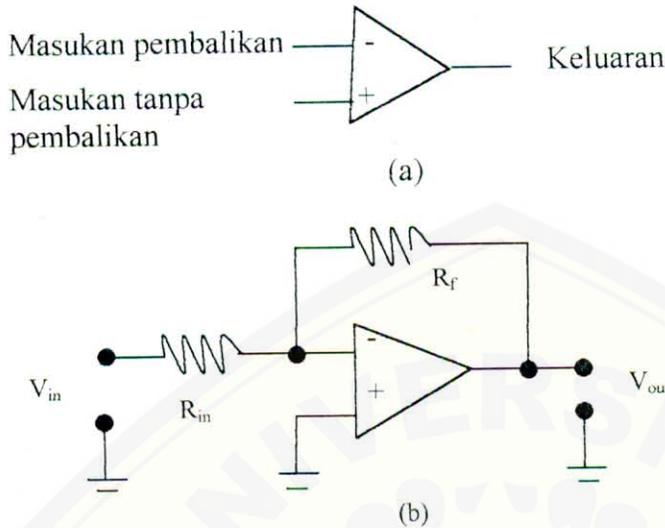
Berkaitan dengan keterangan paragraf di atas penguat operasional hampir tidak pernah digunakan secara tersendiri. Umumnya dua resistor yang ditambahkan pada op-amp, untuk mengatur penguatan tegangan dari penguat ini. Penguatan yang diperoleh dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan

$$A_v(\text{penguat tegangan}) = R_f / R_{in} \dots \dots \dots (2.11)$$

Untuk memperoleh tegangan keluaran digunakan melalui persamaan

$$V_{out} = A_v V_{in} \dots \dots \dots (2.12)$$

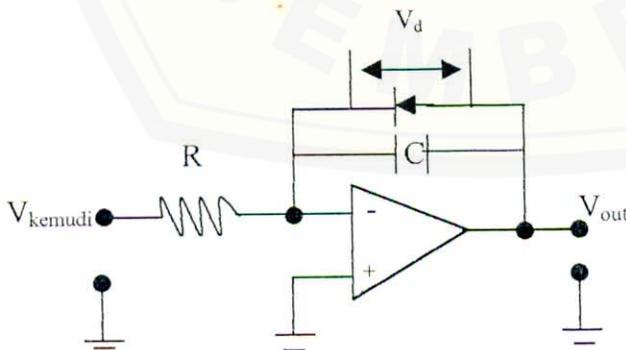
Penguat op-amp digunakan sebagai penguat penjumlah dan pembanding dalam rangkaian penguat dan rangkaian pengkonversi. Rangkaian pengkonversi disini menterjemahkan tegangan analog pada masukan dan menghasilkan keluaran digital. Penguat op-amp diatur secara mudah dengan mengeset perbandingan resistor masukan dan resistor umpan balik (Tokheim, 1995; 331).



Gambar 2.5 Penguat operasional. (a) Simbol op-amp dan (b) Dengan resistor masukan dan umpan balik untuk mengatur penguatan.

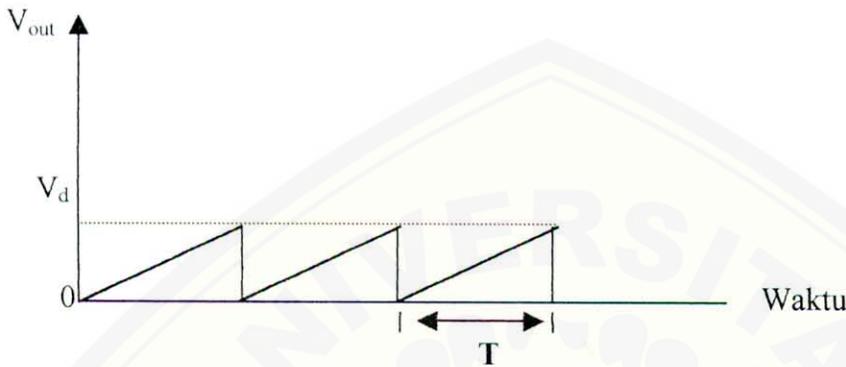
### 2.1.4 Rangkaian Pengubah Tegangan Ke Frekuensi

Rangkaian pengubah tegangan ke frekuensi pada dasarnya merupakan rangkaian integrator Miller yang ditambahi beberapa dioda sejajar dengan kapasitor C (yang terpasang sebagai umpan balik integrator). Rangkaian ini juga merupakan osilator yang terkemudi oleh tegangan (*Voltage controlled oscillator*).



Gambar 2.6 Rangkaian Dasar Pengubah Tegangan Ke Frekuensi

Pada rangkaian di atas gambar 2.6 apabila  $V_{out}$  mencapai setinggi tegangan tembus diode ( $V_d$ ) misalnya untuk Si (Silikon) sebesar 0,7 Volt, maka C terhubung singkat dan membuang muatan  $V_{out}$  jatuh hingga 0.



Gambar 2.7 Bentuk Gelombang Tegangan Keluaran ( $V_{out}$ )

Harga T (periode) dari tegangan keluaran pada gambar 2.5 dapat ditentukan dengan persamaan berikut

$$T = R C \dots \dots \dots (2.13)$$

Dengan R = hambatan seri pada tegangan kemudi (Ohm)

C = kapasitansi kapasitor sejajar dioda ( $\mu F$ )

Harga slope pada rangkaian pengubah tegangan ke frekuensi di atas juga dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Slope} = V_{kemudi} / RC \dots \dots \dots (2.14)$$

Apabila diketahui bahwa periode  $T = 1/f$ , f = frekuensi (Hz), harga T juga mengikuti persamaan 2.13 maka frekuensi f dari keluaran  $V_{out}$  dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

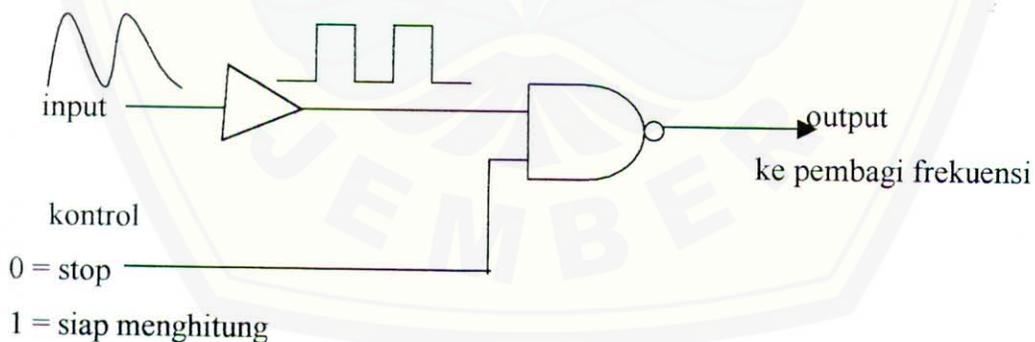
$$f = V_{kemudi} / RC \cdot V_d \dots \dots \dots (2.15)$$

$V_{kemudi}$  sebagai tegangan masukan ( $V_{in}$ ) dari rangkaian, sehingga frekuensi tegangan keluaran ( $V_{out}$ ) dapat dikemudikan (dikontrol) oleh tegangan masukan ( $V_{in}$ ) yaitu  $V_{kemudi}$ . Dengan kata lain tegangan masukan ( $V_{kemudi}$ ) dapat dikonversi menjadi

gelombang segitiga yang frekuensinya  $f$ . Selanjutnya gelombang segitiga tersebut diubah menjadi gelombang pulsa dengan frekuensi yang tidak berubah dengan menggunakan rangkaian pembentuk pulsa. Rangkaian di atas gambar 2.6 merupakan rangkaian dasar dari rangkaian pengubah tegangan ke frekuensi (Wasito, 1976; 86) akan digunakan dalam pembuatan alat pengukur suhu.

### 2.1.5 Rangkaian Pembentuk Gelombang

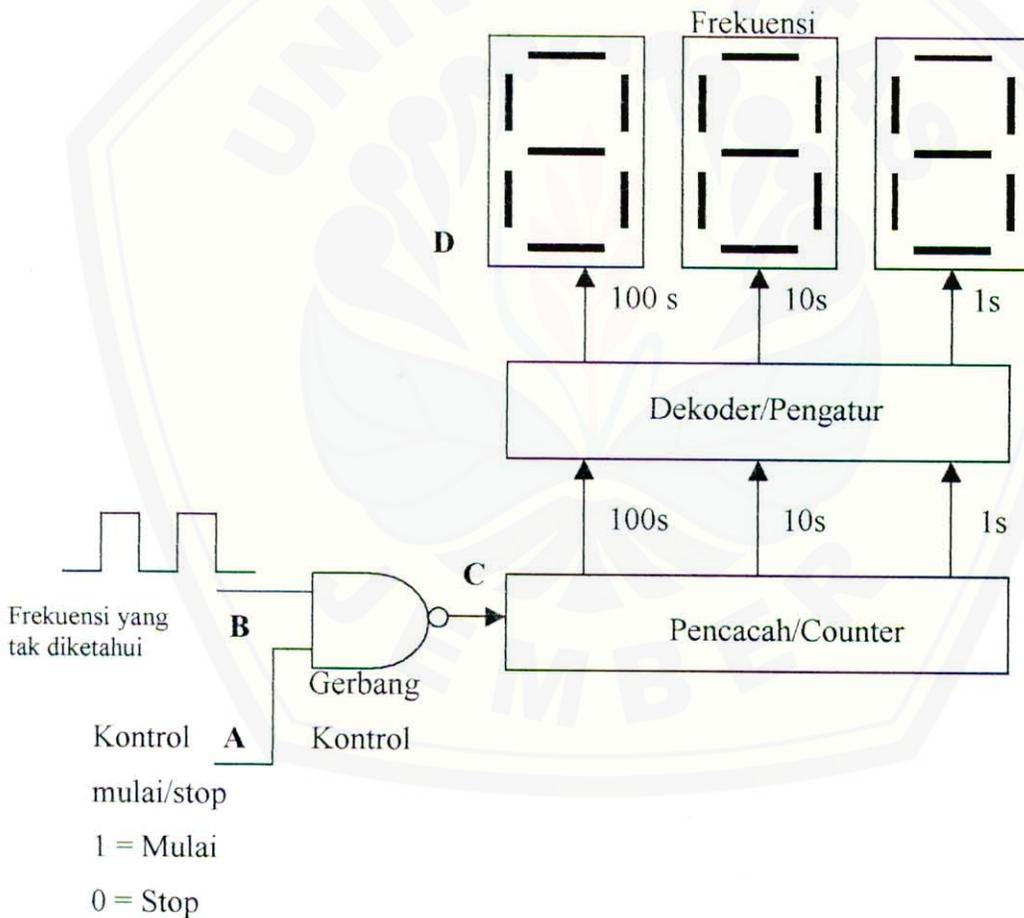
Rangkaian pembentuk gelombang ditunjukkan pada gambar 2.8 adalah rangkaian yang berfungsi untuk mengubah gelombang sinyal yang masuk ke rangkaian pencacah, dibentuk menjadi gelombang pulsa (segi empat). Hal ini disebabkan komponen elektronik pencacah yang tersedia dipasaran dibuat oleh pabriknya hanya untuk pencacah pulsa. Untuk itu apabila sinyal yang hendak dicacah masih dalam bentuk sinusoidal atau yang lain (selain pulsa) maka perlu ditambahkan sebuah rangkaian pembentuk pulsa. Rangkaian pembentuk gelombang sinus menjadi gelombang pulsa diantaranya adalah rangkaian pemacu Schmitt (Trigger Schimtt) yang sudah tersedia dalam bentuk rangkaian terintegrasi (IC) dari golongan TTL adalah yang berkode 7474, sedang pada CMOS pemacu Schmitt tersedia dengan kode 40106, 4093 dan 74 HC 14 (Thokeim, 1995; 297).



Gambar 2.8 Rangkaian Pembentuk gelombang

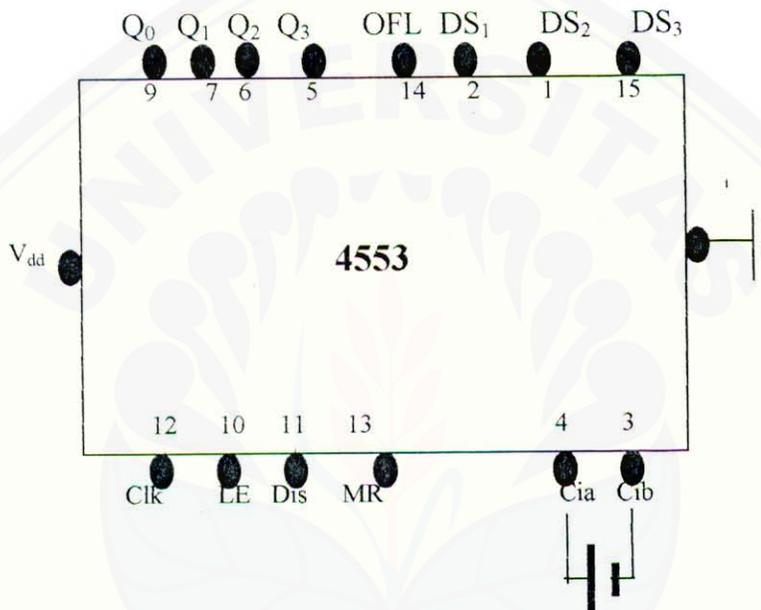
### 2.1.6 Pencacah Frekuensi

Pencacah frekuensi adalah sebuah instrumentasi yang dirancang untuk mengukur frekuensi atau selang waktu yang tidak diketahui dengan membandingkannya terhadap frekuensi atau selang waktu yang diketahui. Rangkaian logika dari instrumen ini dirancang untuk menyajikan hasil perbandingan tersebut dalam bentuk peragaan numerik yang mudah dibaca. Ketelitian pengukuran terutama bergantung pada kestabilan frekuensi yang diketahui yang diperoleh dari osilatore pencacah frekuensi didalam instrumen (Cooper, 1994; 350).



Gambar 2.9 Diagram blok suatu pencacah frekuensi digital.

Rangkaian pencacah frekuensi yang utama terdiri dari rangkaian penghitung dan rangkaian pengkode (*decoder*) ditunjukkan oleh gambar 2.9. Rangkaian penghitung (*counter*) berfungsi sebagai penghitung banyaknya pulsa tiap detik. Banyaknya pulsa tersebut kemudian diumpangkan ke rangkaian pengkode dalam bentuk biner, gelombang pulsa. Komponen penghitung dari golongan CMOS tersedia dengan kode 4553 gambar 2.10 (Thokeym, 1995;305).

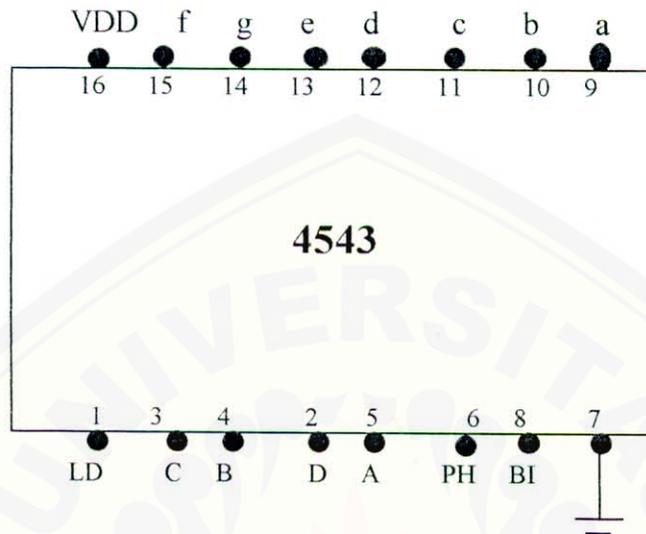


Gambar 2.10 IC Counter 4553

Counter 4553 pada pencacah frekuensi ini memiliki kaki-kaki yang mempunyai fungsi sendiri-sendiri. Kaki 1,2 dan 15 berfungsi menahan data tampilan dari keluaran DCBA yang dikeluarkan dari kaki 5,6,7 dan 9 sedangkan kaki 3 dan 4 digunakan untuk mendapatkan pulsa, sebagai pengunci digunakan kaki 10.

Pulsa dalam bentuk biner sebelum diumpangkan ke penampil perlu diubah menjadi bentuk desimal, mengingat penampil hanya menampilkan angka desimal (persepuluhan). Komponen elektronik untuk pengkode (pengubah kode biner ke kode

desimal) dari golongan CMOS tersedia dengan kode 4543 ditunjukkan pada gambar 2.11 (Cooper, 1994; 353).



Gambar 2.11 IC Decoder 4543

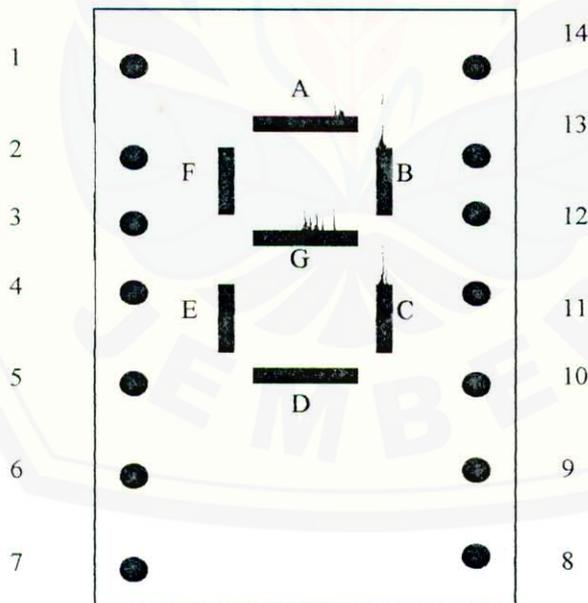
Decoder pencacah frekuensi ini pada setiap kaki mempunyai fungsi sendiri-sendiri, kaki 1 adalah leach disable (LD), bila masukan rendah maka akan bersifat aktif dan akan mengunci dari semua masukan, bila masukan tinggi akan melewatkannya. Masukan DCBA yang akan di tampilan *seven segmen* dimasukkan melalui kaki 2,3,4 dan 5, kaki 6 dihubungkan ke logika 1 bila *seven segmen* yang digunakan menggunakan comon anoda dan kaki 6 dihubungkan ke logika 0 bila *seven segmen* menggunakan comon katoda.

### 2.1.7 Penampil

Penampil pada rangkaian pencacah frekuensi menggunakan *seven segmen*, dimana ada dua macam penampil *seven segmen* yang biasa dipakai, yaitu dioda pemancar cahaya (*light emitting diode* atau LED) dan peraga kristal cair (*liquid crystal display* atau LCD). Keduanya merupakan peralatan zat padat. LED

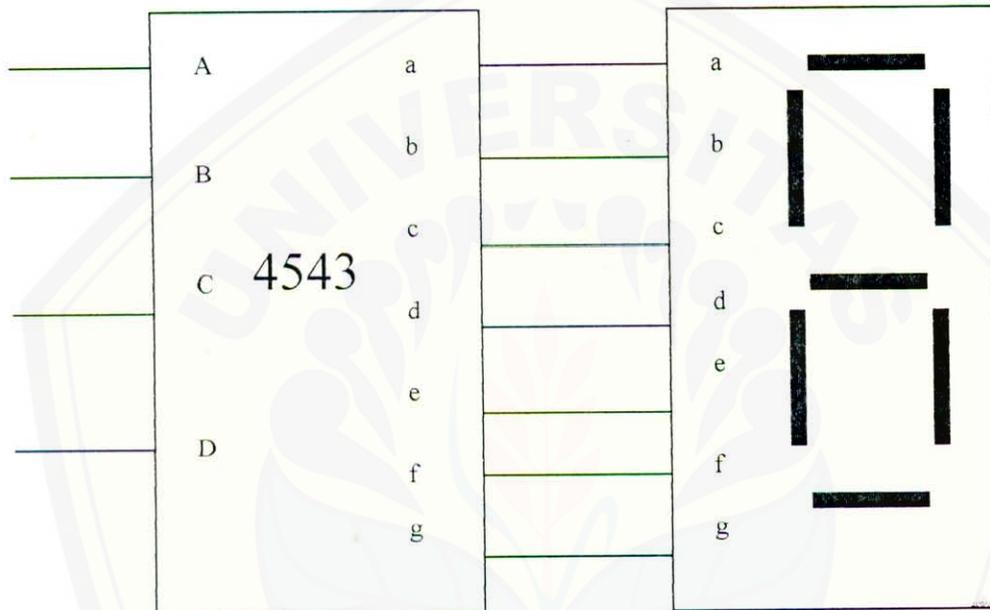
mengandalkan pada pancaran cahaya waktu pertemuan p-n semikonduktor dibias maju, dan LCD mengandalkan pada transmisi atau absorpsi kristal-kristal tertentu yang ditempatkan dalam medan listrik. Keuntungan utama LCD adalah konsumsi dayanya yang rendah, tapi kerugiannya tidak dapat dilihat di tempat gelap (Plant, 1985; 33). Dalam pembuatan alat pengukur yang akan dilakukan menggunakan *seven segmen* jenis LED.

Dalam sebuah penampil seven segmen LED, diatur dalam sebuah pola seperti yang ditunjukkan dalam gambar 2.12. Dengan menyinari segmen E dan F akan didapatkan bilangan desimal 1. Bilangan 5 akan diperoleh dengan menyinari segmen-segmen A, F, G, C dan D dan seterusnya. Hanya bilangan desimal dari 0 sampai 9 dan beberapa simbol khusus (seperti tanda -) serta beberapa huruf abjad (seperti C dan F) dapat ditampilkan dengan penampil *seven segmen*. Penampil LED dapat diperoleh dalam berbagai macam warna, umumnya merah., tapi hijau, jingga, dan kuning dapat juga diperoleh (Thokeym, 1995; 113).



Gambar 2.12 Segmen-segmen pada penampil LED *seven segmen*

Prinsip kerja *seven segmen* adalah (gambar 2.13) decoder 4543 yang ekuivalen dengan tiga IC 7447 jika mendapat tegangan dari pencatu daya LED akan segera berkedap-kedip. LED dalam kondisi ON (menyala) dan kondisi OFF (padam) dikendalikan oleh decoder 4543 (Plant, 1985; 117).



Gambar 2.13 Prinsip kerja seven segmen



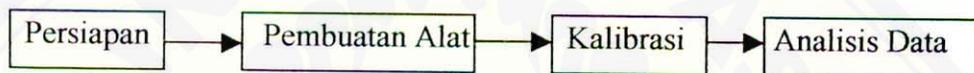
### BAB III METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian tentang perancangan dan pembuatan termometer digital ini dilakukan pada bulan Maret 2001 sampai dengan Januari 2002 di Laboratorium Fisika tahun II Fakultas MIPA jurusan Fisika Universitas Jember.

#### 3.2 Langkah-Langkah Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan akan mengikuti langkah-langkah seperti pada diagram blok berikut:



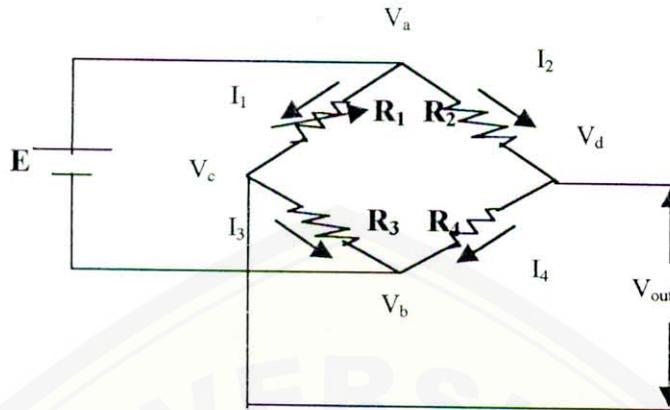
##### 3.2.1 Persiapan

Alat yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: termometer, pengkondisi suhu, voltmeter digital, osiloskop, solder, tegangan sumber, Timah, kabel.

Adapun bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: termistor, resistor, Op-amp: IC 741, IC 3140, IC Counter 4553, IC Decoder 4543, IC Timer 555, transistor NPN, transistor PNP, kapasitor, potensiometer, seven segmen komon anoda.

##### 3.2.2 Pembuatan

Desain rangkaian alat penelitian yang terdiri dari unit sensor , unit penguat, unit pengubah tegangan ke frekuensi , dan unit pencacah frekuensi seperti diuraikan di bawah.



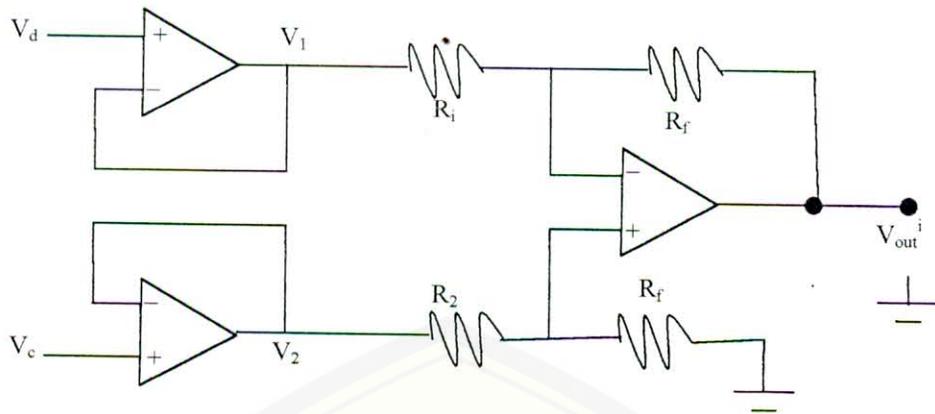
Gambar 3.1 Unit sensor pada rangkaian jembatan Wheatstone

Unit sensor pada gambar 3.1 pada pembuatan alat pengukur suhu ini menggunakan termistor suhu yang di rangkai pada jembatan Wheatstone dengan keluaran berupa tegangan yang diperoleh dari beda tegangan antara titik d dan titik c, dengan menggunakan persamaan :

$$V_{out} = V_c - V_d \dots \dots \dots (3.1)$$

Karakteristik dari termistor yang akan digunakan adalah resistansinya akan berkurang nilainya bila suhu naik dan apabila suhu turun maka resistansinya akan naik. Dengan perkataan lain pada temperatur rendah termistor akan menghasilkan perubahan resistansi yang lebih besar bila dibandingkan perubahan temperatur yang lebih tinggi.

Pada gambar 3.1 resistor yang digunakan sebagai sensor adalah  $R_1$ . Kemudian keluaran yang berupa tegangan  $V_{out}$  dihubungkan pada unit penguat. Karena tegangan keluaran dari unit sensor sangat kecil sehingga perlu adanya penguat.



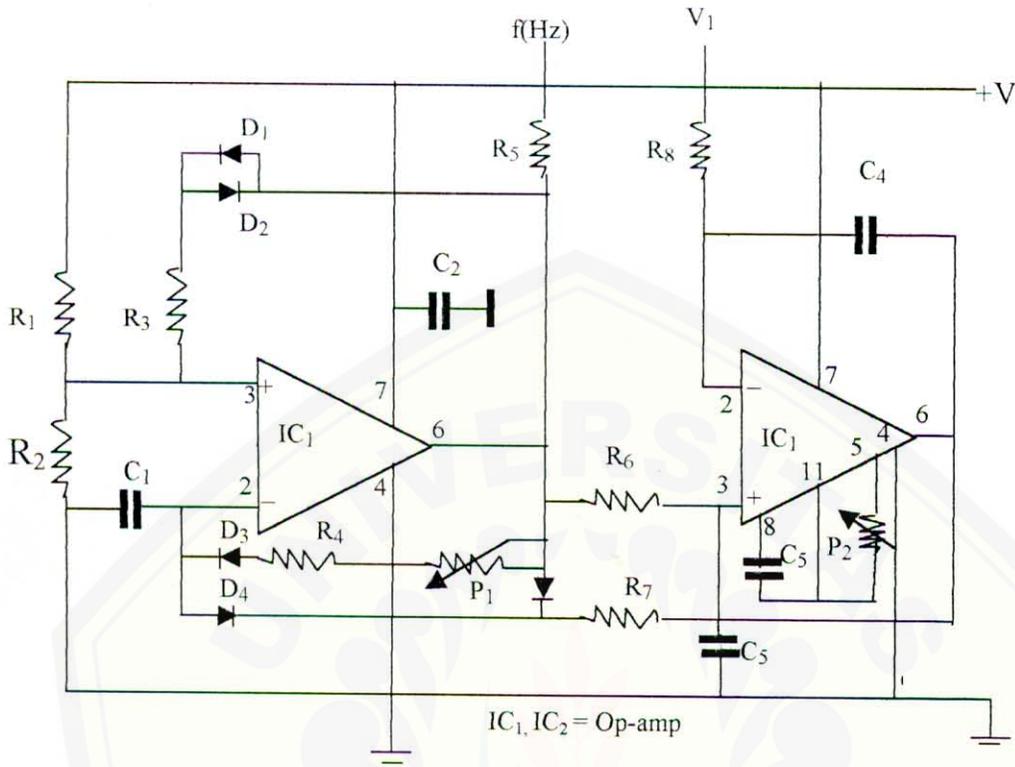
Gambar 3.2 Unit penguat

Rangkaian unit penguat pada gambar 3.2 yang akan digunakan pada pembuatan alat pengukur suhu ini dua pengikut tegangan (buffer) dan sebuah rangkaian penguat deferensial. Adanya pengikut tegangan ini menyebabkan sinyal masukan lebih stabil karena pengikut tegangan mempunyai impedansi masukan cukup tinggi dari impedansi keluaran yang rendah. Rangkaian penguat ini menggunakan op-amp dengan keluaran berupa tegangan  $V_{out}^i$  yang telah dikuatkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_{out}^i = A_v V_{out} \dots \dots \dots (3.2)$$

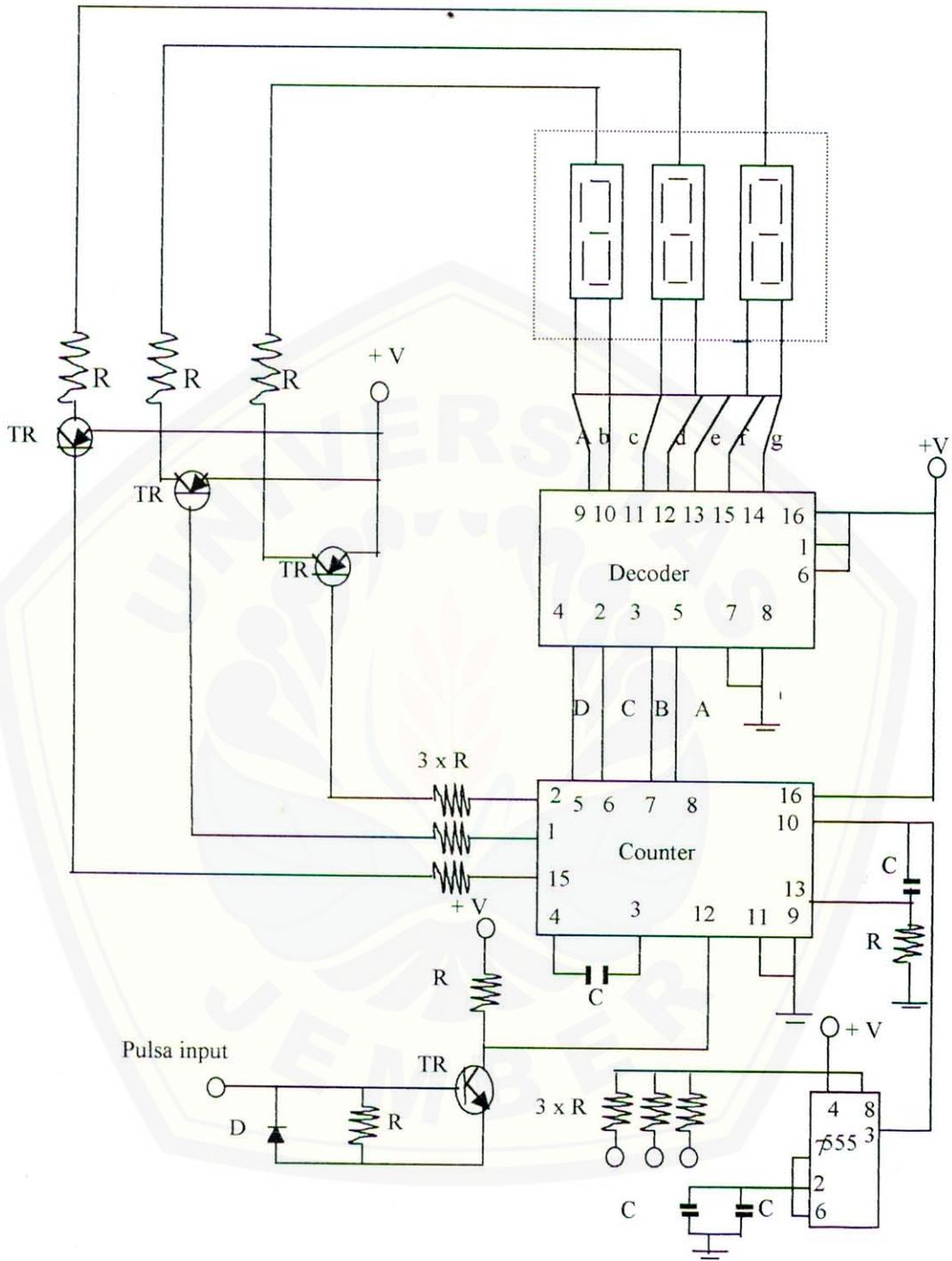
Agar keluaran yang berupa tegangan  $V_{out}^i$  dapat dibaca oleh unit pencacah frekuensi maka dihubungkan pada rangkaian pengubah tegangan ke frekuensi sebagai masukan, dengan frekuensi yang dihasilkan dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut.

$$T = (R_4 + P_1) C_1 \dots \dots \dots (3.3)$$



Gambar 3.3 Rangkaian pengubah tegangan ke frekuensi

Pada rangkaian pengubah tegangan ke frekuensi gambar 3.3 yang akan digunakan dalam pembuatan alat pengukur suhu ini mempunyai keluaran berupa frekuensi yang dihubungkan pada rangkaian pencacah frekuensi sebagai masukan kemudian akan ditampilkan pada unit penampil berupa seven segmen.



Gambar 3.4 Unit pencacah frekuensi

### 3.2.3 Kalibrasi

Menurut Sarwono (1992; 78) kalibrasi bertujuan untuk mengurangi kesalahan pengukuran dengan memperbaiki atau meningkatkan ketelitian instrumen. Cara melakukan kalibrasi adalah dengan membandingkan atau mendapatkan hubungan antara angka pengukuran dengan angka-angka yang sebenarnya atau yang lebih dipercaya. Hasil kalibrasi akan berupa perubahan/perbaikan cara penggunaan instrumen dalam menetapkan angka pengukuran yang lebih dipercaya. Instrumen yang akan dikalibrasi akan mempunyai ketelitian yang mendekati instrumen pembanding.

Prosedur peneraan dilakukan dengan pengukuran-pengukuran secara bersamaan antara instrumen yang akan dikalibrasi dengan instrumen pembanding. Prosedur yang akan dilakukan meliputi :

1. melakukan pengukuran suhu terhadap bahan yang digunakan sebagai sampel dengan menggunakan termometer digital (yang dibuat), mencatat data hasil pengukuran tersebut sebagai  $X_i$
2. melakukan pengukuran dengan menggunakan termometer pembanding, mencatat data hasil pengukuran sebagai  $Y_i$ .

Pengukuran tersebut akan menghasilkan angka-angka dari instrumen digital ( $X_i$ ) dan instrumen pembanding ( $Y_i$ ). Dari kedua data tersebut ( $X_i$  dan  $Y_i$ ) dicari hubungannya dengan menggunakan metoda kuadrat terkecil. Hubungan tersebut dapat digambarkan sebagai suatu persamaan regresi sebagai hubungan yang linier, yang akan dipakai sebagai hasil kalibrasi instrumen tersebut. Bentuk persamaan regresi tersebut sebagai berikut:

$$Y_i = aX_i + b \dots \dots \dots (3.4)$$

$X_i$  = angka pengukuran instrumen digital (yang dibuat)

$Y_i$  = angka pengukuran instrumen pembanding

Nilai a dan b akan didapat melalui persamaan sebagai berikut :

$$a = \frac{n(\sum X_i Y_i) - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{n(\sum (X_i^2)) - (\sum X_i)^2} \dots\dots\dots (3.5)$$

$$b = \frac{(\sum Y_i)(\sum (X_i^2)) - (\sum X_i Y_i)(\sum X_i)}{n(\sum (X_i^2)) - (\sum X_i)^2} \dots\dots\dots (3.6)$$

### 3.2.4 Analisa Data

#### 1. Kepekaan

Kepekaan suatu instrumen menunjukkan besarnya perubahan nilai besaran-besaran fisik yang akan diukur terhadap perubahan besaran yang akan ditunjukkan oleh skala penampil instrumen digital.

$$\text{Kepekaan (S)} = A \text{ pembanding} / A \text{ digital} \dots\dots\dots (3.7)$$

dimana A pembanding = angka yang ditunjukkan oleh instrumen pembanding

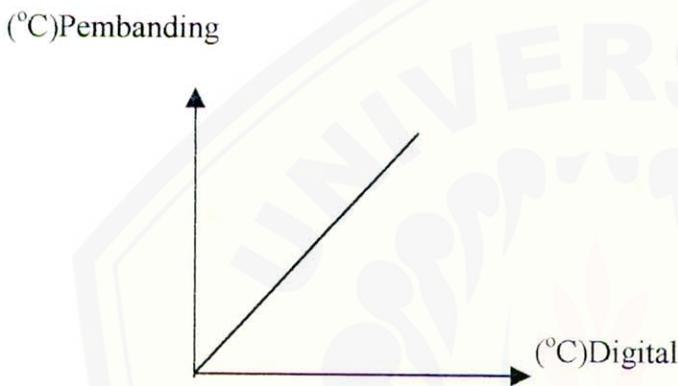
A digital = angka yang ditunjukkan oleh instrumen digital

Untuk menentukan nilai kepekaan terlebih dahulu melihat linieritasnya dalam suatu batas harga pengukuran. Nilai kepekaan (S) akan sama pada hubungan antara angka yang diperoleh dari instrumen pembanding dan angka yang diperoleh dari instrumen digital yang linier. Penentuan dapat dilakukan dengan mencari hubungan antara angka termometer pembanding dan angka termometer digital melalui persamaan regresi.

#### a. Penentuan langsung dari pengukuran

Dengan penentuan langsung, sekaligus dapat diketahui linieritas dari hubungan antara pembanding dan digital. Untuk melihat linieritas minimal dibutuhkan tiga pengukuran yang berbeda pada batas ukur yang diinginkan. Dari

pengukuran tersebut, didapat hubungan antara pembanding dan digital. Kepekaan dapat langsung dinyatakan berdasarkan perubahan pembanding terhadap digital, dengan menggunakan persamaan 3.7 Linieritas dilihat dari kepekaan antara angka-angka pengukuran. Nilai kelinieran dapat digambarkan secara grafik. Bila kepekaannya linier, hubungan antara pembanding dan digital merupakan garis lurus (gambar 3.5).



Gambar 3.5 Kepekaan (sensitifitas) instrumen

b. Penentuan melalui hubungan pembanding dan digital

Pengukuran melalui hubungan pembanding dan digital seperti pada cara penentuan langsung dari pengukuran. Angka-angka yang dibutuhkan lebih banyak agar hasil yang didapat lebih baik, dalam batas harga pengukuran yang diinginkan. Dengan menggunakan metoda kuadrat terkecil, hubungan antara pembanding dan digital digambarkan dalam persamaan regresi.

Persamaan regresi:  $Y_i = aX_i + b$ .....(3.8)

Dimana:  $Y_i$  = Pemanding

$X_i$  = digital

Kepekaan (S) =  $dY / dX$  .....(3.9) (Sarwono, 1992; 13).

2. Ketelitian

Pada dasarnya ketelitian adalah untuk melihat sampai seberapa kelemahan/kekurangan atau cacatnya suatu instrumen dalam pengukuran. Ketelitian

merupakan besarnya penyimpangan yang dilakukan oleh hasil pengukuran instrumen digital terhadap nilai masukan yang telah diketahui sebagai instrumen referensi atau pembanding.

Menurut Sarwono (1992; 15) untuk menyatakan nilai ketelitian instrumen, harus diketahui lebih dahulu simpangan skala penuhnya (batas ukurnya). Ketelitian merupakan persentasi deviasi pengukuran terhadap simpangan skala penuh (Ssp), makin kecil nilainya maka ketelitian akan makin baik.

$$\text{Ketelitian} = \text{Deviasi ukur/Ssp} \times 100 \% \dots \dots \dots (3.10)$$

Ketelitian juga bisa dihitung berdasarkan deviasi pengukuran terhadap angka pengukuran yang dilakukan. Dengan cara ini maka nilai ketelitian relatif akan sama tanpa harus menentukan batas ukur.

$$\text{Ketelitian} = \text{Dev. Pengukuran/Angka pengukuran} \times 100 \% \dots \dots \dots (3.11)$$

### 3. Ketepatan

Ketepatan instrumentasi adalah kemampuan untuk menunjukkan kembali hasil pengukuran secara serbasama. Untuk menentukan pemilihan instrumen yang tepat dalam suatu pengukuran.

$$\text{Ketepatan} = \frac{[\text{Dev.max.thd harga ukur rata-rata}]}{\text{Harga ukur rata-rata}} \times 100 \% \dots \dots \dots (3.12)$$

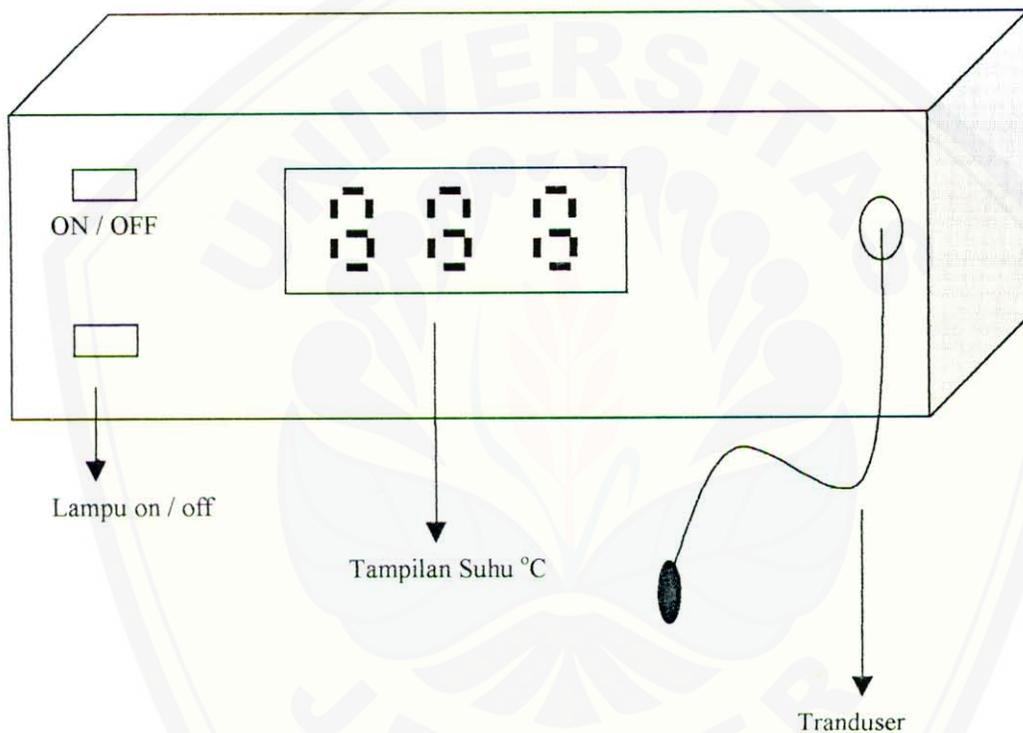
Harga ukur rata-rata didapat dari pengukuran besaran tertentu pada keadaan yang tetap dan dilakukan dengan ulangan. Deviasi maksimum dihitung berdasarkan penyimpangan terbesar dengan nilai mutlak (Sarwono, 1992; 16).

### 4. Jangkauan

Jangkauan instrumentasi dapat diketahui dari harga batas pengukuran yang diperoleh dari harga terendah sampai harga tertinggi. Jangkauan alat ukur dapat ditentukan dari kelinieran antara tahanan dan respon suhu dalam transduser (kemiringan dari grafik hubungan antara tahanan dan respon suhu) yang bersifat linear.

### 3.3 Prototipe Alat Pengukur Suhu Digital

Prototipe alat pengukur suhu digital yang dibuat ditampilkan pada gambar 3.6 yang terdiri dari unit penampil berupa angka desimal yang merupakan penunjukan temperatur dari pengukuran, switch on/off yang merupakan saklar dari alat pengukur suhu digital dan transduser yang merupakan penangkap atau sensor suhu.



Gambar 3.6 Tampilan Muka Termometer Digital Yang Akan Dibuat

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan uraian pada bab IV pada tugas akhir Perancangan dan Pembuatan Termometer Digital ini dapat disimpulkan

1. Unit sensor dan penguat pada termometer digital ini dibutuhkan transduser (sensor) yang mempunyai sensitivitas tinggi dan karakteristik kelinearan tinggi juga penguat yang stabil agar dapat mendeteksi temperatur yang sekecil-kecilnya dan memperoleh hasil pengukuran yang lebih akurat.
2. Pada unit pengubah tegangan ke frekuensi dibutuhkan penguat yang stabil dan pengesetan tegangan offset yang tepat sehingga diperoleh frekuensi output yang bagus.
3. Pada unit pencacah frekuensi dibutuhkan osilator kristal agar pulsa yang dihasilkan menunjukkan sesuai jangkauan frekuensi yang diinginkan.
4. Setelah dilakukan analisis data dari beberapa angka pengukuran diperoleh ketelitian rata-rata sebesar 0,03% dan diperoleh ketepatan rata-rata sebesar 0,07% untuk perbandingan menggunakan termometer air raksa kemudian ketelitian rata-rata sebesar 0,04% dan ketepatan rata-rata sebesar 0,10% untuk perbandingan menggunakan termometer digital model 8528-10 dan ketelitian rata-rata sebesar 0,03% dan ketepatan rata-rata sebesar 0,10% untuk perbandingan menggunakan termometer digital model HGL-3300 ini berarti bahwa termometer digital yang dibuat memiliki ketelitian dan ketepatan yang signifikan dalam pengukuran.

### 5.2 Saran

Berdasarkan hasil kesimpulan yang didapat maka disarankan

1. Pada pembuatan termometer digital selanjutnya supaya menggunakan transduser dengan sensor yang memiliki sensitivitas dan kelinearan yang tinggi, juga penguatan yang stabil agar hasil pengukuran yang didapat lebih akurat.

2. Pada pengesetan tegangan offset harus dilakukan dengan tepat sehingga frekuensi output bagus.
3. Pada penggunaan osilator sebaiknya menggunakan osilator kristal sehingga pulsa yang dihasilkan sesuai dengan jangkauan frekuensi yang diinginkan.



**DAFTAR PUSTAKA**

- Cooper W David, 1994, *Instrumentasi Elektronik dan Teknik Pengukuran*, Erlangga, Jakarta.
- Plant Malcolm, 1985, *Pengantar Ilmu Teknik Instrumentasi*, Gramedia, Jakarta.
- Setiyo Harri, 1992, *Instrumentasi*, Fakultas Pertanian Universitas Jember, Jember.
- Sarwono Susilo, 1992, *Piranti Ukur Elektronik Untuk Industri Pangan dan Gizi*, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Session W Kendal, 1988, *Rangkaian Elektronika*, Elex Media Komputindo Gramedia, Jakarta.
- S Wasito, 1976, *Elektronika Tehnik Digit*, Karya Utama, Jakarta.
- Thokeim L Roger, 1995, *Elektronika Digital*, Erlangga, Jakarta.

Lampiran I



Foto I. Rangkaian termometer digital dibuat

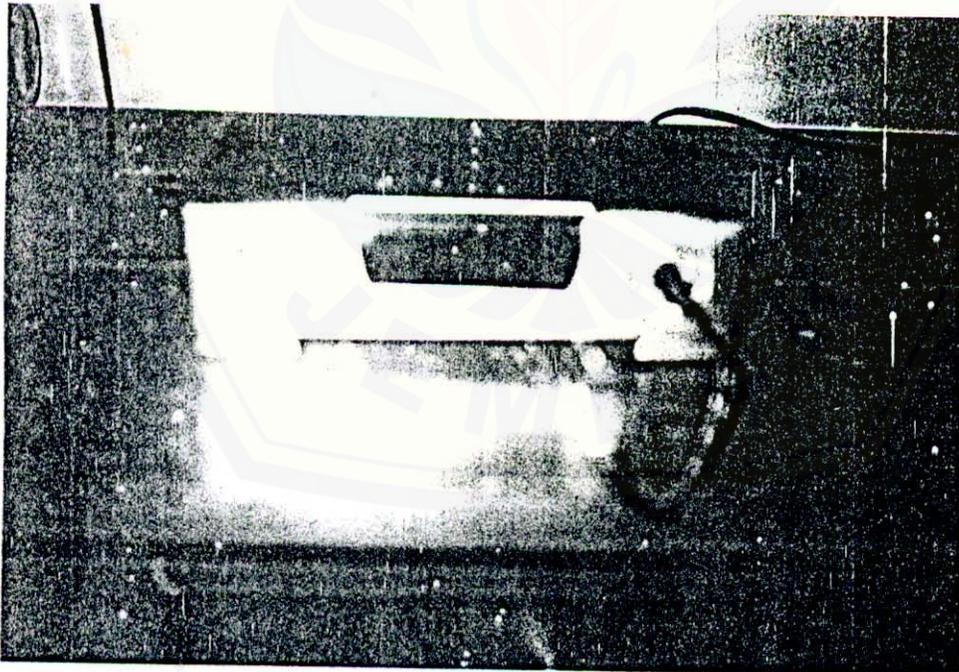


Foto II. Tampilan muka termometer dibuat