



UNIVERSITAS INDONESIA

**INSTRUMEN PENGHITUNG NILAI KOEFISIEN PEMUAIAN LINEAR
LOGAM BERBASIS MIKROKONTROLER**

SKRIPSI

PRADIPTA R

0606068575

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

PROGRAM STUDI FISIKA

DEPOK

2011



UNIVERSITAS INDONESIA

**INSTRUMEN PENGHITUNG NILAI KOEFISIEN PEMUAIAN LINEAR
LOGAM BERBASIS MIKROKONTROLER**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
Gelar Sarjana Sains**

PRADIPTA R

0606068575

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

DEPARTEMEN FISIKA


Juni 2011

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Pradipta R

NPM : 0606068575

Tanda Tangan : 
(Pradipta R)

Tanggal : 14 Juni 2011

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : PRADIPTA R
NPM : 0606068575
Program Studi : S1 Fisika
Judul Skripsi : **INSTRUMEN PENGHITUNG NILAI KOEFISIEN PEMUAIAN
LINEAR LOGAM BERBASIS MIKROKONTROLER**

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Prawito

()

Penguji I : Dr. Santoso Sukirno

()

Penguji II : Dr. Sastra Kusuma Wijaya

()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 14 Juni 2011

KATA PENGANTAR

Maha suci Allah SWT yang di tanganNYA lah segala kekuasaan. Dia lah yang telah menanamkan didalam hati insan segala keinginan. Dia lah yang telah memberi insan segenap kemampuan. Dan DIA lah yang mempermudah segala urusan. Kalaulah bukan karena DIA semata, tak akan mungkin Tugas Akhir ini penulis selesaikan. Segenap puja, dan puji ke hadirat Allah SWT, pencipta seluruh sekalian alam. Shalawat serta salam untuk Rasulullah SAW beserta segenap keluarga, sahabat, dan para pengikutnya yang setia hingga akhir jaman.

Tak lupa penulis berterima kasih kepada seluruh pihak yang juga ikut terlibat dan membantu, baik moriil maupun materiil:

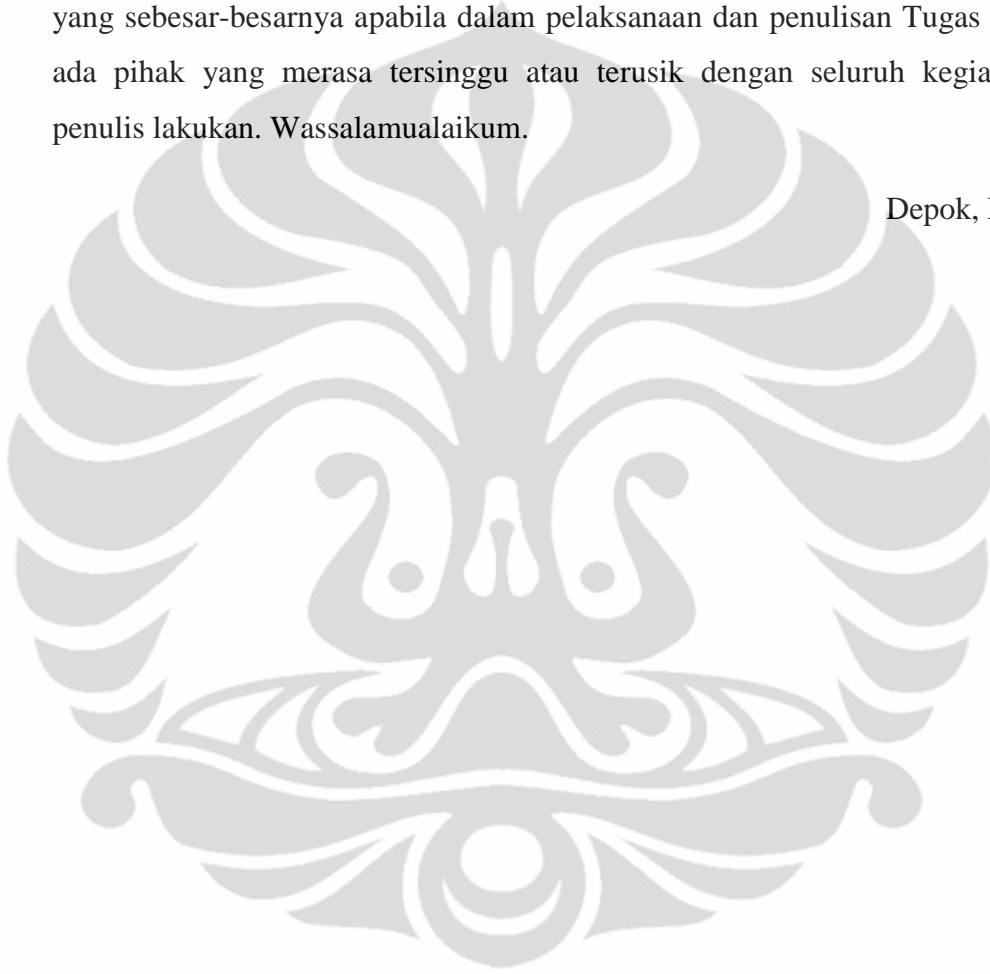
- Terima Kasih kepada bapak Dr. Prawito sebagai Pembimbing I, yang telah memberikan arahan dan bimbingannya selama pelaksanaan dan penulisan Tugas akhir.
- Terima kasih kepada bapak Dr. Santoso Soekirno dan bapak Dr. Sastra Kusuma Wijaya selaku penguji.
- Terima Kasih kepada kedua orang tua penulis, yang selalu mendorong semangat dan juga mengawasi setiap saat selama penulisan dan pelaksanaan Tugas Akhir.
- Terima kasih kepada Nurina Kusuma Dewi yang telah memberikan bantuan dan dorongan semangat.
- Kepada Bapak Arif atas masukan dan saran selama penyusunan tugas akhir ini
- Dwi Handoko teman yang selalu sabar dan juga dengan baik hati memberi suport serta meminjamkan laptopnya pada pengambilan data.
- Para rekan sejawat, teman-teman Peminatan Instrumentasi Elektronika Syahrial , Rachmat, Andrew, Faizal, Momoi, Ami, Lidya, Rizky, Lia, Mirzan, husein.

- Dan seluruh orang yang ikut terlibat baik langsung maupun tidak langsung dalam pelaksanaan tugas akhir ini, sesungguhnya hanya Tuhan YME yang dapat membalas kebaikan mereka

Sekian kata pengantar yang sekiranya jauh dari sempurna, dan masih banyak kekurangannya ini. Tak lupa penulis memohon dibukakan pintu maaf yang sebesar-besarnya apabila dalam pelaksanaan dan penulisan Tugas Akhir ini ada pihak yang merasa tersinggung atau terusik dengan seluruh kegiatan yang penulis lakukan. Wassalamualaikum.

Depok, Mei 2011

Penulis



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Pradipta R
NPM : 0606068575
Program Studi : S1 Fisika
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, meyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

INSTRUMEN PENGHITUNG NILAI KOEFISIEN PEMUAIAN LINEAR LOGAM BERBASIS MIKROKONTROLER

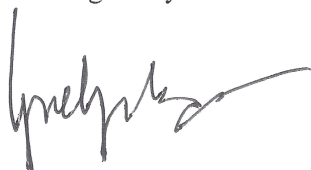
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 14 Juni 2011

Yang menyatakan



(Pradipta R)

ABSTRAK

Nama : Pradipta R
Program Studi : S1 Fisika
Judul Tugas Akhir : **INSTRUMEN PENGHITUNG NILAI KOEFISIEN PEMUAIAN LINEAR LOGAM BERBASIS MIKROKONTROLER**

Logam merupakan salah satu zat yang paling melimpah keberadaannya di bumi. Oleh sebab itu pemahaman terhadap karakteristik logam sangat penting untuk diperdalam. Salah satu karakteristiknya adalah pemuaian. Untuk mempermudah pemahaman tentang pemuaian logam dibuatlah alat untuk mengukur koefisien pemuaian linier logam. Dengan alat pendeteksi suhu (*Thermocouple*) dan *Potensiometer* sebagai pendeteksi perubahan panjang, maka nilai konstanta tersebut dapat diketahui. Kedua alat tersebut akan diatur dan dipantau oleh mikrokontroler. Mikrokontroler juga berfungsi sebagai alat hitung data yang nantinya akan menghasilkan nilai konstanta pemuaian linier logam secara otomatis.

Kata kunci: koefisien, pemuaian, linier, logam, *thermocouple*, *dial indicator*, *microcontroller*.

ABSTRACT

Name : Pradipta R
Program Study : *Bachelor Degree of Physics*
Title : **MICROCONTROLLER BASED METAL LINEAR THERMAL EXPANSION COEFFICIENT COUNTER INSTRUMENT**

Metal is one of the most abundant substance on earth. Therefore, understanding the characteristics of the metal is very important to be deepened. One of the characteristic is expansion. To facilitate the understanding of metal expansion, a tool to measure the coefficient of linear expansion of metals has to be made. With a temperature sensor (Thermocouple) and Potentiometer as length change detector, the value of these coefficient can be known. Both devices will be regulated and monitored by the microcontroller. Microcontroller also function as a means of calculating the data which will yield a coefficient value of linear expansion of metal automatically.

Keywords : *coefficient, expansion, linear, metal, thermocouple, Potentiometer, microcontroller*

Daftar Isi

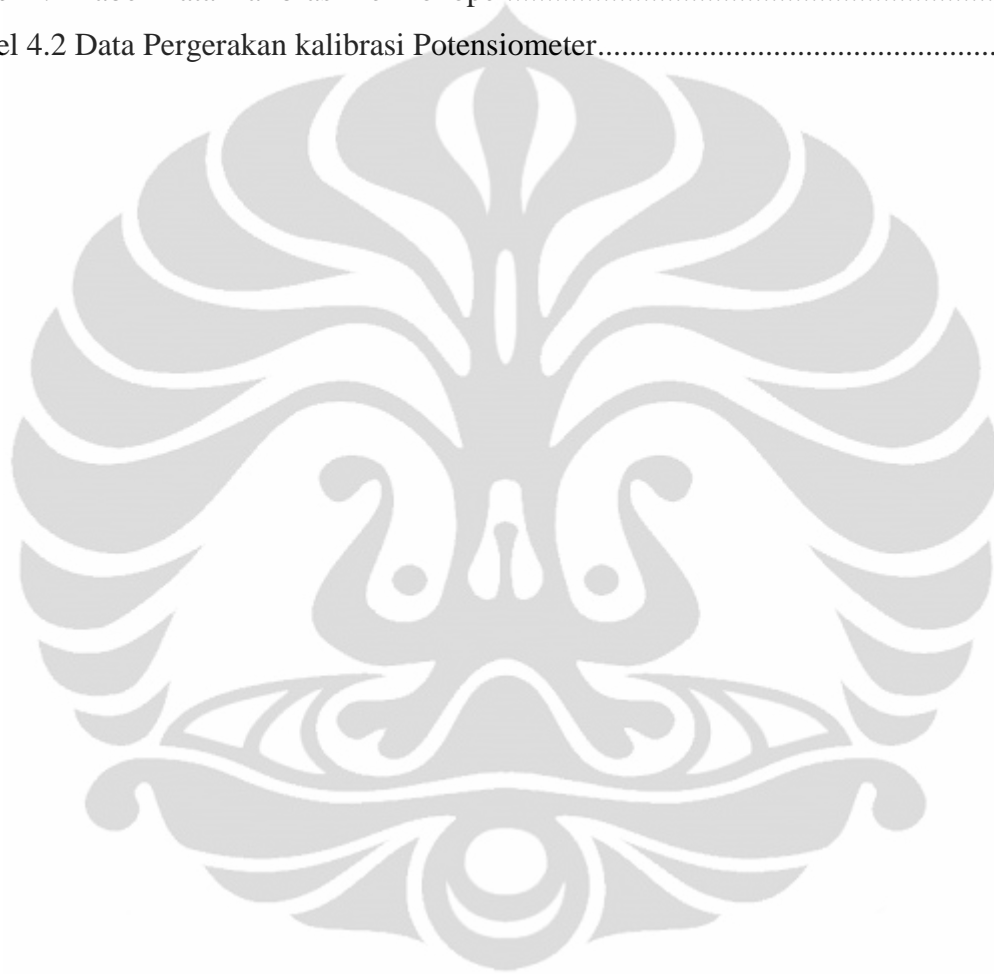
HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
BAB 1.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Batasan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Metodologi Penelitian.....	3
BAB 2.....	5
2.1 Teori Pemuaian.....	5
2.1.1 Pemuaian Logam.....	7
2.2 Sensor Suhu.....	8
2.2.1 DS2760 Thermocouple Kit.....	9
2.3 Sensor Posisi	10
2.3.1 Potensiometer.....	10
2.4 Instrumentasi Amplifier	11
2.5 Mikrokontroler.....	13
2.5.1 BASCOM AVR.....	15
2.6 Pengukuran koefisien.....	19
BAB 3.....	21
3.1 Desain.....	21
3.2 Pengambilan Data.....	22
3.2.1 Temperatur.....	22
3.2.2 Perpanjangan.....	24
3.2.3 Data Pemuaian.....	26
BAB 4.....	28
4.1 Kalibrasi.....	28
4.2 Mencari Harga Koefisien Muai.....	33
BAB 5.....	35
5.1 Kesimpulan.....	35
5.2 Saran.....	35
DAFTAR ACUAN	37
LAMPIRAN.....	38

Daftar Gambar

Gambar 1.1 Diagram Alir penelitian.....	4
Gambar 2.1 Grafik Hubungan Jarak Antar Atom dengan Energi	5
Gambar 2.2 Rangkaian Termokopel Sederhana	8
Gambar 2.3 Efek Seebeck.....	9
Gambar 2.4 DS2760 <i>Thermocouple Kit</i>	9
Gambar 2.5 Konstruksi sederhana <i>Wirewound Potentiometer</i>	10
Gambar 2.6 <i>Voltage Divider</i>	11
Gambar 2.7 Blok Diagram Sederhana AD620.....	12
Gambar 2.8 Pin AD620.....	13
Gambar 2.9 Konfigurasi pin Microcontroler Atmega16.....	14
Gambar 3.1 Desain Kerja Alat.....	21
Gambar 3.2 Layout Pengambilan Data Thermocouple.....	22
Gambar 3.3 Pengambilan Data Validasi <i>Thermocouple</i>	23
Gambar 3.4 Susunan Potensiometer sebagai Transducer.....	24
Gambar 3.5 Konfigurasi pengambilan data expansion transducer.....	25
Gambar 3.6 Konfigurasi pengambilan data pemuaian.....	26
Gambar 3.7 Pengambilan Data Pemuaian.....	26
Gambar 4.1 Grafik Kenaikan Suhu Pemanas.....	30
Gambar 4.2 Grafik Data Pergeseran Panjang Potensiometer.....	31
Gambar 4.3 Grafik Pergeseran Panjang Potensiometer.....	32
Gambar 4.4 Hasil Penghitungan Program Mikrokontroler.....	33
Gambar 4.5 Grafik Temperatur VS Perubahan Panjang.....	30

Daftar Tabel

Tabel 2.1 Nilai α_L Pada logam Tertentu	7
Tabel 2.2 Nilai Penguatan AD620 Sesuai RG.....	13
Tabel 4.1 Tabel Data Kalibrasi Termokopel.....	28
Tabel 4.2 Data Pergerakan kalibrasi Potensiometer.....	31



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bumi ini tersusun dari berbagai macam materi/zat. Berat bumi kurang lebih 5.98×10^{24} kg yang terdiri dari berbagai macam jenis zat baik padat maupun cair. Salah satu zat yang paling banyak terdapat di bumi adalah logam. Logam merupakan suatu zat yang memiliki ikatan molekul yang cukup kuat. Bahkan dapat juga di deskripsikan sebagai suatu zat yang merupakan susunan dari ion-ion positif yang dikelilingi oleh banyak elektron yang terlokalisasi/terkunci. Logam juga adalah salah satu kelompok zat/materi yang dibedakan dari sifat-sifat ikatan dan ionisasinya. Kelompok lain yang membedakan logam pada sifat ikatan dan ionisasinya adalah *Metalloid* dan Non-Metal[1].

Dengan sifat-sifat yang banyak berguna tersebut, dan juga jumlah yang cukup melimpah logam banyak di eksploitasi untuk memenuhi kebutuhan manusia. Penggunaan logam oleh manusia dapat ditelusuri sampai zaman pra-sejarah manusia. Penggunaan logam oleh manusia juga merupakan tolak ukur perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang paling signifikan.

Dengan terus berkembangnya teknologi dan juga terus berkembangnya kebutuhan manusia, maka logam semakin banyak dipergunakan. Penggunaan logam sangat bervariasi, mulai dari penggunaan skala kecil yang dapat kita temui sehari-hari, sampai dengan penggunaan logam untuk bidang-bidang industri. Penggunaan yang sangat beragam inilah yang membuat logam menjadi salah satu materi yang menarik untuk dipahami lebih lanjut.

Dengan penggunaan logam dalam berbagai bidang, maka logam juga akan bertemu dengan berbagai tantangan dalam pengembangannya. Salah satu tantangan terbesar adalah energi panas. Panas memiliki berbagai

pengaruh terhadap logam, dan efek dari aplikasi energi panas yang paling sering ditemui adalah efek pemuaian.

Pemuaian merupakan suatu efek yang terjadi pada logam akibat dari pengaplikasian energi panas dengan suhu tertentu. Pemberian energi panas/kalor pada suatu logam mengakibatkan ikatan-ikatan partikel pada logam melemah, dan membuat jarak antar partikel menjauh. Dengan menjauhnya jarak antar partikel maka volume dari suatu logam berubah sesuai dengan kekuatan ikatannya yang terpengaruhi energi panas yang diberikan. Maka dalam suatu perubahan volume yang disebabkan oleh panas terdapat Koefisien muai benda, dalam hal ini koefisien muai logam.

Koefisien pemuaian merupakan nilai yang menunjukkan besarnya perubahan linear/panjang suatu benda persatuan perubahan temperatur. Dengan diketahuinya nilai koefisien muai suatu logam, maka akan banyak kemudahan yang akan didapatkan dalam pengaplikasian logam tersebut. Oleh karena itu nilai koefisien muai logam memiliki potensi untuk dipahami lebih lanjut.

Dengan banyaknya potensi dari logam seperti dituliskan diatas, dan nilai koefisien pemuaian logam yang sangat penting dalam pengembangan aplikasi logam, maka perlu dilakukan penghitungan nilai koefisien dengan melihat perubahan nilai-nilai panjang linear logam terhadap perubahan temperatur. Juga dipergunakannya sensor posisi sebagai alat penghitung input. Dan juga penggunaan mikrokontroler sebagai instrument pengolah dan interface data.

1.1 Batasan Masalah

Mencari nilai koefisien pemuaian linear logam ini adalah dengan cara mengambil nilai parameter perubahan fisik dari suatu logam yang dipanaskan. Nilai-nilai tersebut antara lain adalah perubahan temperatur dari objek logam yang dipanaskan dan juga perubahan fisik objek logam yang dalam hal ini adalah perubahan nilai panjang. Pengukuran dari nilai-nilai tersebut menggunakan sensor yaitu, termokopel sebagai pengukur nilai perubahan temperatur, dan juga Potensiometer sebagai pengukur perubahan panjang logam. Data-data yang

diperoleh dari sensor-sensor tersebut akan dibentuk diolah dengan menggunakan microcontroller.

1.2 Tujuan Penelitian

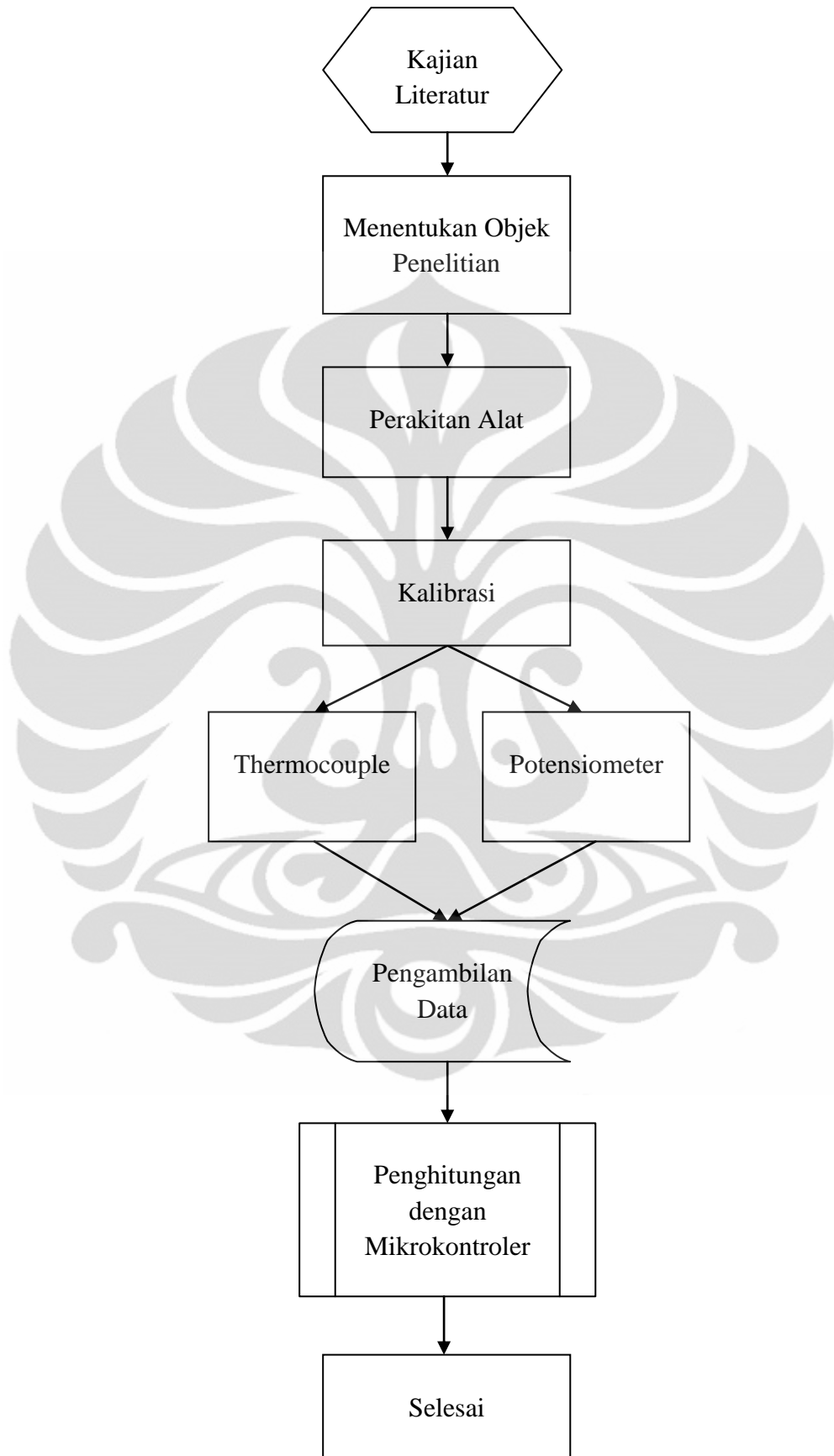
Secara umum penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

- Mengetahui metode pengukuran pemuaian logam.
- Mengaplikasikan instrumen elektronika untuk mencari nilai-nilai konstanta pemuaian linear logam.
- Menentukan nilai koefisien pemuaian linear dari logam.

1.3 Metodologi Penelitian

Secara umum metoda penelitian yang akan dilakukan dalam rangka menyusun penelitian ini antara lain meliputi perakitan instrumen pengukur nilai-nilai parameter fisik objek uji coba yang diinginkan. Setelah data-data tersebut didapat maka dilakukan pengolahan data-data fisik dengan menggunakan bantuan microcontroller dengan pemrograman berbasis BASCOM. Nilai-nilai yang didapatkan merupakan hasil akhir yang berupa nilai-nilai koefisien pemuaian linear logam-logam yang di uji.

Seluruh metodologi tersebut dapat dijelaskan dengan alur seperti dibawah ini:



Gambar 1.1 Diagram Alir Penelitian

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Pemuai

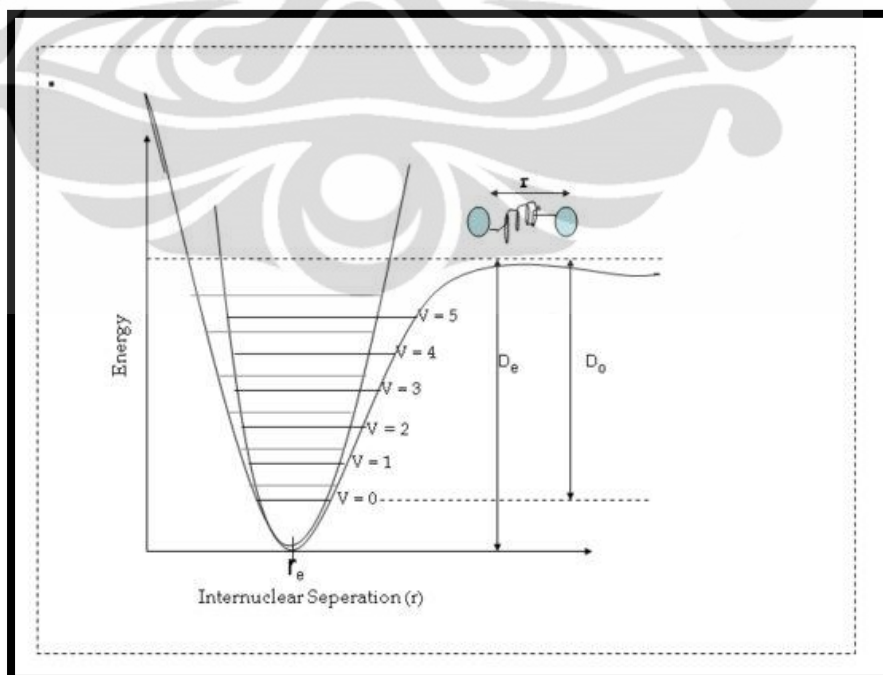
Seluruh bahan baik zat padat maupun zat cair dan gas terdiri dari partikel yang berbentuk atom atau molekul, partikel-partikel ini sesungguhnya berada dalam keadaan bergerak. Pergerakan tersebut berbeda-beda pada setiap fasa, pergerakan partikel pada gas akan lebih cepat dari pada pergerakan partikel pada zat cair, dan pada zat padat pergerakan ini semakin kecil.

Energi potensial sepasang atom dalam struktur padat dapat ditulis dalam bentuk

$$E = \frac{a}{r^m} + \frac{b}{r^n} \quad (2.1)$$

Energi yang dijabarkan diatas merupakan bentuk penjumlahan energi tarik menarik dan energi tolak menolak antar partikel, dengan r merupakan jarak antar atom dan a , b , m , dan n adalah konstanta, dan biasanya n lebih besar dari m .

Gambar 2.1 menunjukkan kurva hubungan pada persamaan 2.1.



Gambar 2.1 Grafik Hubungan Jarak Antar Atom dengan Energi

Energi panas yang diberikan pada benda padat menyebabkan semakin kuatnya pergerakan getaran atom-atom yang menyusun zat padat tersebut. Dengan peningkatan getaran tersebut maka simpangan terjauh atau jari-jari pergerakan dari titik r_0 semakin membesar. Hal ini dapat menjadi pedoman bahwa tingkat energi menentukan derajat ekspansi zat padat, dalam kovalen padat ekspansi adalah kecil, juga dalam ikatan ionik ekspansinya kecil. Sedangkan pada ikatan metal, ekspansinya besar dan dalam molekular padat ekspansinya akan lebih besar[2].

Bila dilihat dari energi kinetik, maka peningkatan temperatur pada benda padat meningkatkan gerakan partikel, sehingga menyebabkan volume dari benda tersebut berubah dan mengalami pembesaran, begitu juga sebaliknya penurunan temperatur pada benda padat akan menyebabkan melambatnya pergerakan partikel pada benda tersebut, dan volume benda tersebut menyusut. Perbandingan antara perubahan temperatur berbanding lurus dengan perubahan volume benda:

$$\Delta V = V_0 \gamma \cdot \Delta t \quad (2.2)$$

Pada persamaan diatas ΔV merupakan perubahan volume dengan γ adalah koefisien muai volume dan Δt merupakan perubahan suhu. Harga koefisien muai linear merupakan sepertiga dari koefisien muai volume ($\alpha = \frac{1}{3} \gamma$). Persamaan secara empiris dapat dituliskan dengan:

$$\Delta L = L_0 \alpha \cdot \Delta t \quad (2.3)$$

Pada persamaan diatas ΔL merupakan perubahan panjang, α merupakan koefisien muai linear, dan Δt merupakan perubahan temperatur[3].

2.1.1 Pemuaiian Logam

Logam memiliki nilai perubahan volume terhadap suhu yang disebut koefisien muai. Nilai ini didapat dari perhitungan perbandingan panjang suatu benda dikali perbandingan perubahan panjang benda tersebut per satuan temperatur

$$\alpha_L = \frac{1}{L} \frac{dL}{dT} \quad (2.4)$$

α_L = koefisien pemuaiian linear

L = panjang benda

$\frac{dL}{dT}$ = perubahan panjang per unit temperatur

Nilai dari koefisien pemuaiian logam dapat dilihat dari tabel ini

Tabel 2.1 Nilai α_L pada logam tertentu[4]

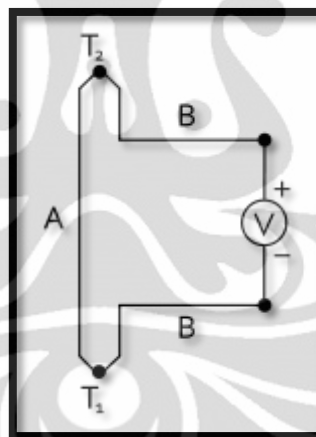
Logam	Koefisien linear α_L pada suhu 20°C ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)
Aluminium	23
Steel	11.0 – 13.0
Carbon Steel	10,8
Stainless Steel	9,9

Secara umum nilai koefisien pemuaiian logam semakin besar apabila suatu materi memiliki ikatan energi yang rendah. Hal ini dapat juga terlihat dari tingkat kekerasan suatu logam pada keadaan normal atau pada suhu kamar.

2.2. Sensor Suhu (Termokopel)

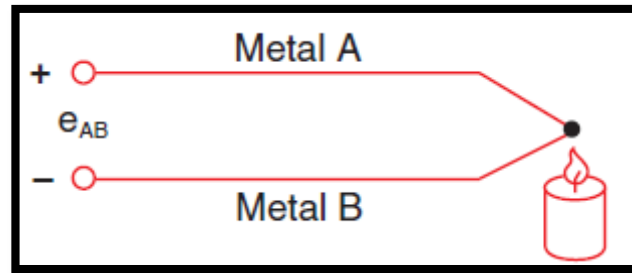
Pengaplikasian pengukuran suhu yang paling banyak dipergunakan adalah termokopel. Hal ini dikarenakan pendeteksian suhu oleh termokopel yang memiliki jangkauan temperatur yang lebar, mulai dari minus ratusan derajat sampai dengan ribuan derajat celcius.

Prinsip dasar dari termokopel adalah apabila dua buah logam berbeda jenis digabungkan pada ujung-ujungnya dan diberikan temperatur yang berbeda pada ujung-ujungnya maka akan terjadi gerakan elektrik yang disebut termoelektrik. Fenomena ini biasa dikenal dengan efek seebeck. Tegangan atau *EMF (Electromotive Force)* akan muncul akibat adanya perbedaan temperatur antara ujung-ujung dua logam atau *semikonduktor* yang berbeda[5]. Nilai tegangan yang dihasilkan pada setiap kenaikan suhu biasanya sangat kecil, yaitu dalam orde mikrovolt. Rangkaian sederhana dari termokopel dapat dilihat dari gambar berikut:



Gambar 2.2 Rangkaian Termokopel Sederhana

Termokopel diharuskan memiliki sedikitnya dua sambungan. Jika salah satu sambungan diketahui suhunya maka di ujung lainnya akan terbaca berapa suhunya. Suhu rujukan tersebut disebut juga *reference temperature*. Tegangan keluaran dari tiap jenis-jenis termokopel juga berbeda-beda, tergantung dengan karakteristik logam penyusunnya[5].



Gambar 2.3 Efek Seebeck

Untuk perubahan temperatur yang kecil, efek Seebeck berubah linear terhadap temperatur:

$$\Delta E_{AB} = \alpha \cdot \Delta T \quad (2.5)$$

Tegangan keluaran dari termokopel biasanya ditulis dengan persamaan:

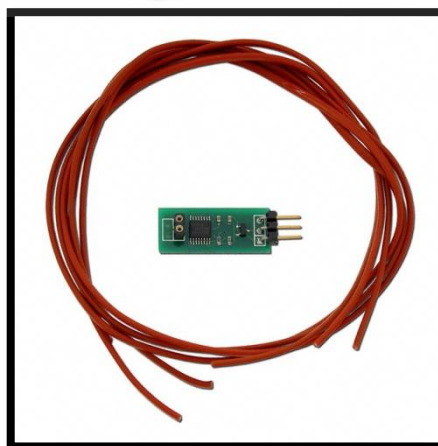
$$E = AT + \frac{1}{2}BT^2 + \frac{1}{3}CT^3 \quad (2.6)$$

Dengan T adalah temperatur derajat Celcius, E adalah suhu sambungan rujukan pada 0°C , dan A, B, C adalah suatu konstanta. Sedangkan sensitivitas dari termokopel dapat ditulis dengan persamaan

$$S = \frac{dE}{dT} = A + BT + CT^2 \quad (2.7)$$

2.2.1 DS2760 Thermocouple Kit

DS2760 Thermocouple Kit merupakan suatu rangkaian siap pakai yang dirancang untuk mengukur temperatur dengan menggunakan thermocouple berbagai tipe. Komponen utama yang dipergunakan pada rangkaian ini adalah IC DS2760 yang merupakan IC *High-Precision Li+ Battery Monitor*. IC ini memiliki fitur-fitur seperti *32 byte Lockable EEPROM*, *16 Byte General Purpose SRAM* dan *low power consumption of 90 μAm max.*



Gambar 2.4 DS2760 Thermocouple kit

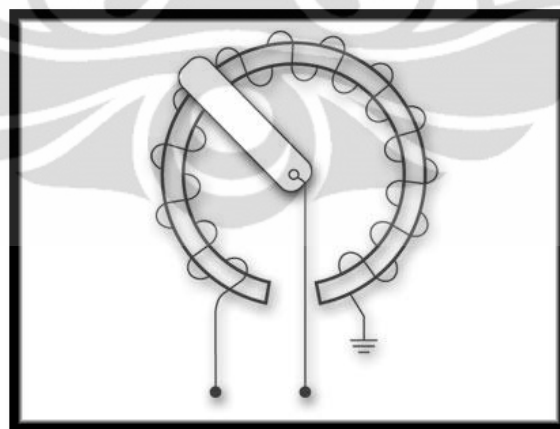
Pada rangkaian Thermocouple kit, pengukuran suhu bisa diatur hingga resolusinya $0,125^{\circ}\text{C}$. Namun yang paling sering dipergunakan adalah resolusi 1°C . Rangkaian ini memiliki kemampuan untuk mendeteksi penurunan tegangan dari power supply sehingga memberikan pengamanan pada seluruh sistem rangkaian.

2.3 Sensor Posisi

Sensor posisi merupakan suatu sistem *sensing* yang membaca data perubahan atau perpindahan tempat dari suatu objek. Sensor posisi yang paling banyak ditemui biasanya berbasis hambatan geser, atau biasa disebut *Potentiometer*.

2.3.1 Potensiometer

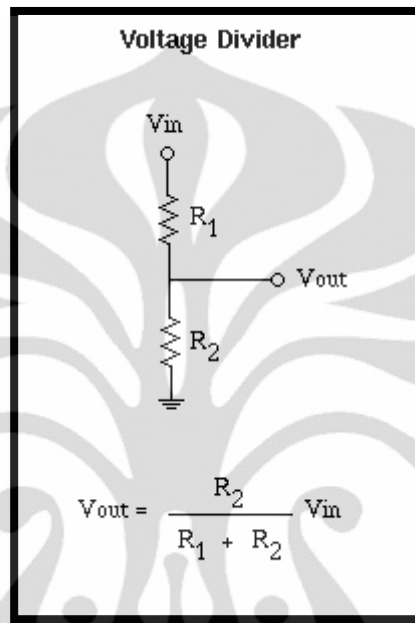
Potensiometer merupakan resistor tiga terminal dengan sambungan geser yang membentuk pembagi tegangan dapat diatur. Potensiometer yang sering dijumpai biasanya memiliki konstruksi *Wirewound*. *Wirewound* potensiometer merupakan potensiometer yang isinya berupa lilitan kawat yang dibuat melingkar sesuai dengan jejak kaki penggeser yang dibuat didalamnya. Selain *wirewound* ada beberapa beberapa tipe lain, seperti *Solid track*, dan *String Potentiometer*. Konstruksi dari *Wirewound* potensiometer dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.5 Konstruksi sederhana *Wirewound Potentiometer*

Jumlah dari lilitan kawat pada konstruksi diatas merupakan faktor penentu besaran maksimal hambatan pada potensimeter. Faktor yang mempengaruhi lainnya adalah jenis kawat yang dipergunakan dan panjang

lintasan geser yang dibuat. Perubahan dapat diatur sesuai dengan pergerakan dari poros pemutar yang juga berfungsi sebagai kaki tengah potensiometer. Potensiometer menggunakan prinsip pembagi tegangan, dimana resistansi dari kaki 1 sampai kaki 2 dianggap R_1 dan resistansi dari kaki 2 sampai kaki 3 dianggap R_2 [6].



Gambar 2.6 Voltage Divider

Dengan prinsip kerja sebagai voltage divider, maka potensiometer dapat dipergunakan sebagai posisi dengan melihat perubahan pada voltase keluaran. Nilai voltase keluaran dari potensio dapat dituliskan menjadi

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{in} \quad (2.8)$$

Hasil perbandingan antara tahanan dengan pergerakan biasanya bersifat linear, namun biasanya setiap produsen potensiometer memiliki formula tertentu yang membedakan sifat dan karakter tiap produk-produknya[7].

2.4 Instrumentasi Amplifier

Rangkaian penguat sering digunakan dalam sebuah sistem. Pada umumnya bisa digunakan Operational Amplifier (op-amp) seperti pada IC 741 atau untuk yang lebih bagus lagi yakni dengan menggunakan instrumentasi amplifier. Instrumentasi amplifier adalah sebuah rangkaian penguat yang terdiri

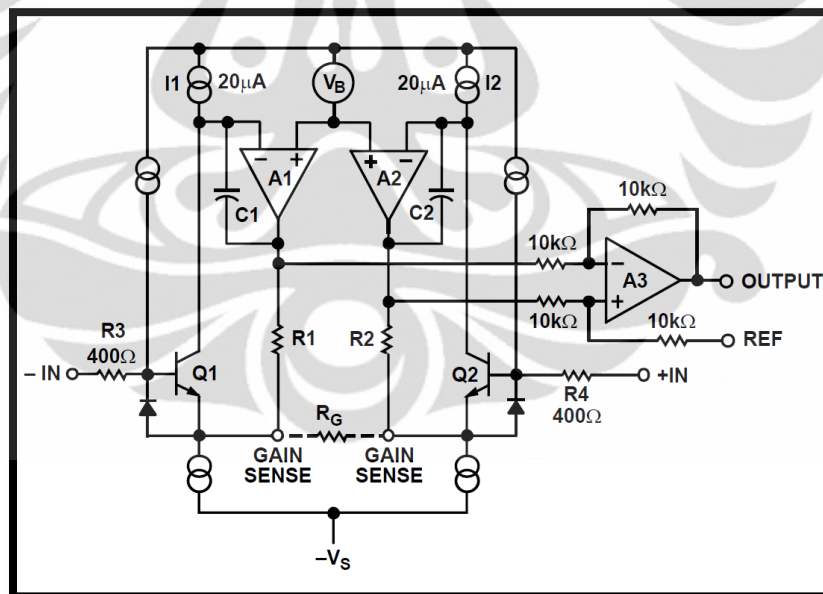
dari beberapa rangkaian op-amp yang digunakan untuk memperkuat sinyal dari transduser. Kelebihan dari instrumentasi amplifier adalah :

1. Penguatan besar
2. Impedansi input tinggi
3. Impedansi output rendah
4. Tegangan offset rendah
5. CMRR tinggi

Salah satu Instrumentasi Amplifier adalah dengan menggunakan IC AD620. IC ini memiliki kelebihan dalam hal pengaturan *Gain*, yaitu hanya membutuhkan satu buah resistor sebagai pembanding resistor internal dari IC. Penghitungan dari *Gain* yang didapat adalah:

$$G = \frac{49,4 \text{ k}\Omega}{R_G} + 1 \quad (2.9)$$

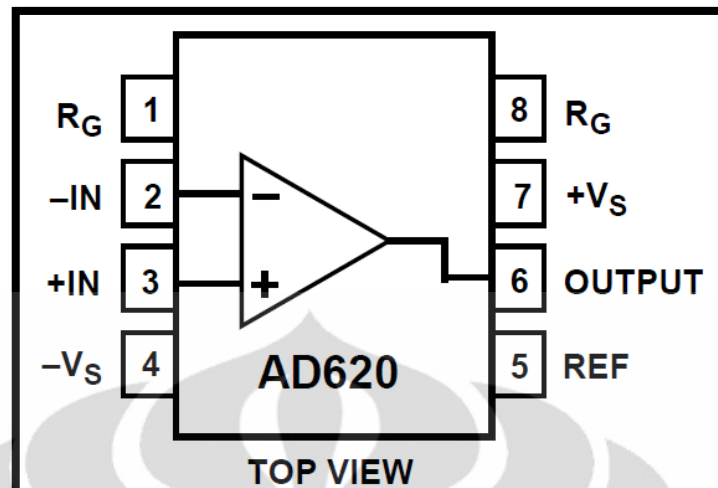
R_G merupakan nilai hambatan yang dapat diatur dengan cara dipasangkan pada kaki IC[8].



Gambar 2.7 Blok Diagram Sederhana AD620

IC AD620 memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- Tegangan Offset rendah, yaitu maksimal $50\mu\text{V}$
- Kisaran penguatannya dari 1 sampai 10.000
- Penyimpangan tegangan offset rendah $0,6\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
- Arus bias Input rendah yaitu 1.0 nA



Gambar 2.8 Pin AD620

IC AD620 memiliki konstruksi 8 pin yang memiliki fungsi seperti gambar diatas. Penguatannya diatur dengan memberikan hambatan pada pin R_G yaitu pin 1 dan pin 8[8]. Dengan mengkombinasikan nilai hambatan pada pin R_G maka dapat dihasilkan penguatan sesuai Tabel berikut

Tabel 2.2 Nilai Penguatan AD620 Sesuai R_G

1% Std Table Value of $R_G(\Omega)$	Calculated Gain	0.1% Std Table Value of $R_G(\Omega)$	Calculated Gain
49.9 k	1.990	49.3 k	2.002
12.4 k	4.984	12.4 k	4.984
5.49 k	9.998	5.49 k	9.998
2.61 k	19.93	2.61 k	19.93
1.00 k	50.40	1.01 k	49.91
499	100.0	499	100.0
249	199.4	249	199.4
100	495.0	98.8	501.0
49.9	991.0	49.3	1,003.0

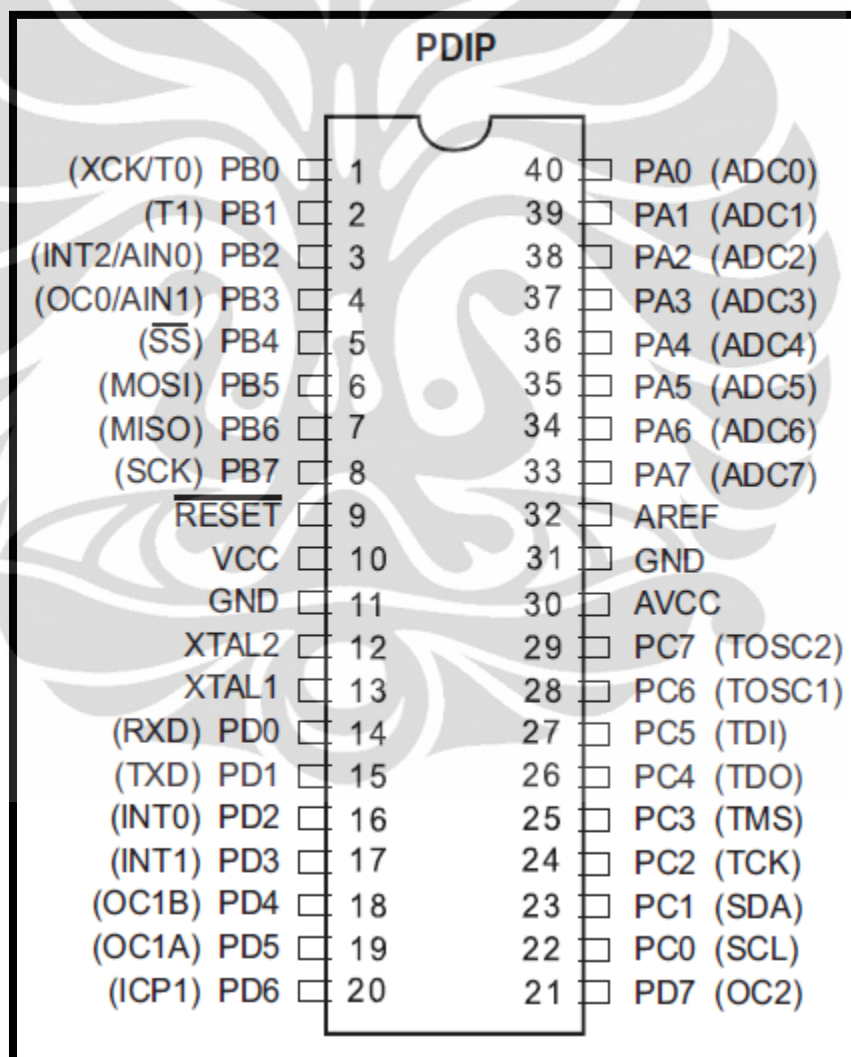
2.5 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah salah satu dari bagian dasar suatu sistem komputer. Seperti umumnya komputer, mikrokontroler adalah alat yang mengerjakan instruksi-instruksi yang diberikan kepadanya. Artinya, bagian terpenting dan utama dari suatu sistem terkomputerisasi adalah program itu sendiri yang dibuat oleh seorang programmer. Program ini menginstruksikan

komputer untuk melakukan jalinan yang panjang dari aksi-aksi sederhana untuk melakukan tugas yang lebih kompleks yang diinginkan oleh programmer.

Mikrokontroler yang dipergunakan adalah Atmega16. Atmega16 merupakan mikrokontroler yang mempergunakan prosesor AVR dengan kemampuan olah data 8-bit. Mikrokontroler ini memiliki jangkauan catu daya input antara 4,5V sampai dengan 5 V.

Fitur dari mikrokontroler Atmega16 antara lain, memiliki 16Kbyte *in-system programmable flash*, *built-in ADC*, *512byte EEPROM*, dan *1Kbyte SRAM*. Frekuensi maksimum dari mikrokontroler ini adalah 16Mhz[9].



Gambar 2.9 Konfigurasi pin Microcontroler Atmega16

2.5.1 BASCOM AVR

Bahasa pemrograman BASIC dikenal di seluruh dunia sebagai bahasa pemrograman handal, cepat, mudah dan tergolong kedalam bahasa pemrograman tingkat tinggi. Bahasa BASIC adalah salah satu bahasa pemrograman yang banyak digunakan untuk aplikasi mikrokontroler karena kemudahan dan kompatibel terhadap mikrokontroler jenis AVR dan didukung oleh compiler software berupa BASCOM-AVR[10].

Setiap bahasa pemrograman mempunyai standar penulisan program. Konstruksi dari program bahasa BASIC harus mengikuti aturan sebagai berikut:

```

$regfile = "header"

'inisialisasi

'deklarasi variabel

'deklarasi konstanta

Do

'pernyataan-pernyataan

Loop

End

```

“\$regfile =” merupakan pengarah preprosesor yang mengarahkan untuk menyisipkan file lain[10], biasanya berupa file berisi deklarasi register dari mikrokontroler Atmega, dalam hal ini yang dipergunakan adalah Atmega16. Hal lain yang penting dalam pemrograman adalah tipe data. Tipe data merupakan bagian program yang paling penting karena sangat berpengaruh pada program. Pemilihan tipe data yang tepat maka operasi data menjadi lebih efisien dan efektif.

Byte = 0 – 255

Integer = -32.768 – 32.767

Word = 0 – 65535

Long = -2147483648 – 2147483647

Single = 1.5×10^{-45} – 3.4×10^{38}

Double = 5.0×10^{-324} to 1.7×10^{308}

String = Deretan Karakter

Selanjutnya adalah variabel, Variabel adalah suatu pengenal (identifier) yang digunakan untuk mewakili suatu nilai tertentu di dalam proses program yang dapat diubah-ubah sesuai dengan kebutuhan. Nama dari variable terserah sesuai dengan yang diinginkan namun hal yang terpenting adalah setiap variabel diharuskan terdiri dari gabungan huruf dan angka dengan karakter pertama harus berupa huruf, max 32 karakter dan tidak boleh mengandung spasi atau symbol-simbol khusus seperti : \$, ?, %, #, !, &, *, (,), -, +, = dan lain sebagainya kecuali underscore. Hal lain yang terdapat dalam pemrograman adalah:

Deklarasi Variabel

Bentuk umum pendeklarasian suatu variable adalah Dim nama_variabel AS tipe_data

Contoh : Dim x As Integer 'deklarasi x bertipe integer

Deklarasi Konstanta

Dalam Bahasa Basic konstanta di deklarasikan langsung.

Contohnya : S = "Hello world" 'Assign string

Deklarasi Fungsi

Fungsi merupakan bagian yang terpisah dari program dan dapat dipanggil di manapun di dalam program. Fungsi dalam Bahasa Basic ada yang sudah disediakan sebagai fungsi pustaka seperti print, input data dan untuk menggunakannya tidak perlu dideklarasikan.

Deklarasi buatan

Fungsi yang perlu dideklarasikan terlebih dahulu adalah fungsi yang dibuat oleh programmer. Bentuk umum deklarasi sebuah fungsi adalah :

Sub Test (byval variabel As type)

Contohnya : Sub Pwm(byval Kiri As Integer , Byval Kanan As Integer)

Operator Penugasan

Operator Penugasan (Assignment operator) dalam Bahasa Basic berupa “=”.

Operator Aritmatika

- * : untuk perkalian
- / : untuk pembagian
- + : untuk pertambahan
- : untuk pengurangan
- % : untuk sisa pembagian (modulus)

Operator Hubungan (Perbandingan)

Operator hubungan digunakan untuk membandingkan hubungan dua buah operand atau sebuah nilai / variable, misalnya :

- = 'Equality X = Y
- < 'Less than X < Y
- > 'Greater than X > Y
- <= 'Less than or equal to X <= Y
- >= 'Greater than or equal to X >= Y

Operator Logika

Operator logika digunakan untuk membandingkan logika hasil dari operator-operator hubungan. Operator logika ada empat macam, yaitu :

NOT 'Logical complement

AND 'Conjunction

OR 'Disjunction

XOR 'Exclusive or

Operator Bitwise

Operator bitwise digunakan untuk memanipulasi bit dari data yang ada di memori. Operator bitwise dalam Bahasa Basic :

Shift A, Left, 2 : Pergeseran bit ke kiri

Shift A, Right, 2 : Pergeseran bit ke kanan

Rotate A, Left, 2 : Putar bit ke kiri

Rotate A, right, 2 : Putar bit ke kanan

Pernyataan Kondisional (IF-THEN – END IF)

Pernyataan ini digunakan untuk melakukan pengambilan keputusan terhadap dua buah bahkan lebih kemungkinan untuk melakukan suatu blok pernyataan atau tidak. Konstruksi penulisan pernyataan IF-THEN-ELSE-END IF pada bahasa BASIC ialah sebagai berikut:

IF pernyataan kondisi 1 THEN

'blok pernyataan 1 yang dikerjakan bila kondisi 1 terpenuhi

IF pernyataan kondisi 2 THEN

'blok pernyataan 2 yang dikerjakan bila kondisi 2 terpenuhi

IF pernyataan kondisi 3 THEN

‘blok pernyataan 3 yang dikerjakan bila kondisi 3 terpenuhi

Setiap penggunaan pernyataan IF-THEN harus diakhiri dengan perintah END IF sebagai akhir dari pernyataan kondisional.

2.6 Pengukuran Koefisien

Data-data yang didapatkan dari sensor lalu diolah didalam microcontroller. Penghitungan disusun dengan bahasa pemrograman BASCOM yang nantinya akan menerima input dari sensor-sensor yang ada. Input awal yang didapat adalah perubahan suhu :

$$\Delta T = T_2 - T_1 \quad (2.10)$$

Dengan ΔT adalah besar perubahan suhu, T_2 adalah suhu akhir dari pengukuran dan T_1 adalah suhu awal pengukuran. Nilai selanjutnya adalah perubahan panjang dari objek, input tersebut dapat dituliskan dengan:

$$\Delta L = L_2 - L_1 \quad (2.11)$$

Dari persamaan diatas ΔL perubahan panjang, L_2 panjang akhir, dan L_1 panjang awal, dengan persamaan tersebut, koefisien muai dapat dicari dengan metoda least square dengan persamaannya seperti berikut :

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T \quad (2.12)$$

Pada persamaan diatas ΔL yang merupakan perubahan panjang dinyatakan sebagai sumbu Y dan perubahan temperatur ΔT dinyatakan sebagai sumbu X, maka kita akan mencari harga dari a dan b [11]:

$$a = \frac{\sum X^2 \cdot \sum Y - \sum X (\sum XY)}{N \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (2.13)$$

$$b = \frac{N \sum(XY) - \sum X \sum Y}{N \sum X^2 - (\sum x)^2} \quad (2.14)$$

Dan untuk mencari simpangan :

$$S_y^2 = \left(\frac{1}{N-2} \right) \left[\sum Y^2 - \frac{\sum X^2 (\sum Y)^2 - 2 \sum (\sum XY) \sum Y + N (\sum (XY)^2)}{N \sum X^2 - (\sum X)^2} \right] \quad (2.15)$$

$$S_b = S_y \sqrt{\frac{N}{N \sum X^2 - (\sum X)^2}} \quad (2.16)$$

Untuk melihat kelinearan maka dicari rasio (r) sebagai berikut :

$$r = \sqrt{\frac{aN \sum Y + b \sum XY - (\sum Y)^2}{N \sum Y^2 - (\sum Y)^2}} \quad (2.17)$$

Koefisien muai linear (α) diperoleh dari

$$\alpha = \frac{b}{L_0} \quad (2.18)$$

$$\Delta \alpha = \frac{S_b}{L_0} \quad (2.19)$$

Maka nilai dari koefisien muai linearnya adalah :

$$\alpha = \alpha_{perhitungan} \pm \Delta \alpha \quad (2.20)$$

Kesalahan literturnya dapat dicari sebagai berikut :

$$E_{literatur} = \left[\frac{\alpha_{literatur} - \alpha_{perhitungan}}{\alpha_{literatur}} \right] \times 100\% \quad (2.21)$$

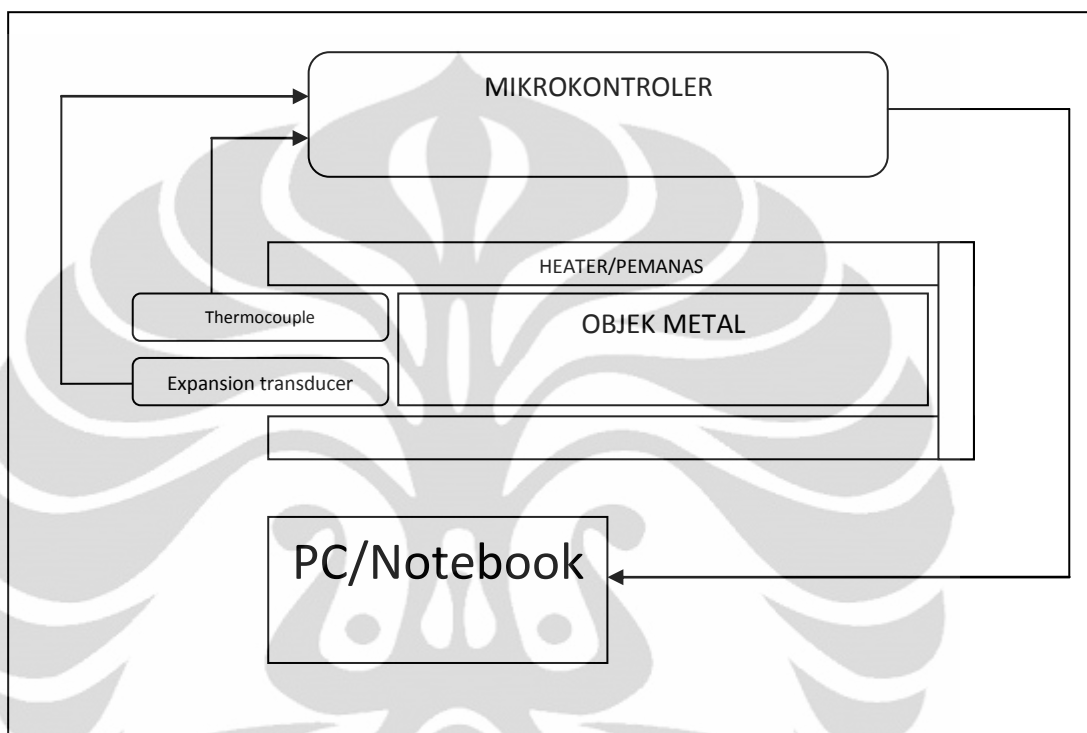
Dan kesalahan relatif adalah sebagai berikut :

$$E_{relatif} = \frac{\Delta \alpha}{\alpha} \times 100\% \quad (2.22)$$

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Desain



Gambar 3.1 Desain Kerja Alat

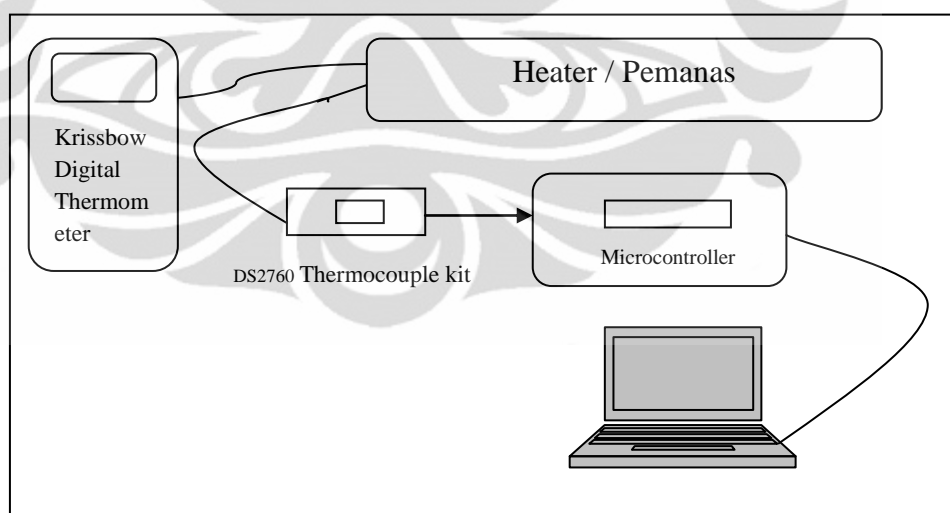
Pertama-tama objek ditaruh pada pemanas, lalu *thermocouple* melakukan penghitungan nilai awal suhu sebagai input awal pada mikrokontroler. Langkah selanjutnya adalah pengukur diletakan pada ujung objek. Lalu setelah seluruh alat pengukur sudah memasukan data awal, maka pemanas diaktifkan. Selama pemanas menaikkan suhu dari objek seluruh alat pengukur memasukan nilai-nilainya. Pemanasan dilakukan sampai dengan temperatur objek bernilai sesuai dengan jumlah N (jumlah data) pada program dengan nilai interval suhu 5°C. Setelah jumlah data sudah tercapai maka mikrokontroler menghentikan pengambilan data dan mengolah data-data tersebut sesuai dengan pemrograman yang dilakukan. Maka setelah selesai menghitung nilai dari data-data yang didapat, mikrokontroler akan memperlihatkan nilai α pada display yang diberikan.

3.2 Pengambilan Data

Sebagaimana yang telah dijelaskan, bahwa masukan data yang dibutuhkan dihasilkan oleh dua buah alat pengukur, yaitu *thermocouple* sebagai pengukur temperatur dan dial indicator sebagai pengukur perubahan panjang objek. Maka disini dijelaskan bagaimana data-data dari tiap pengukur tersebut di dapatkan.

3.2.1 Temperatur

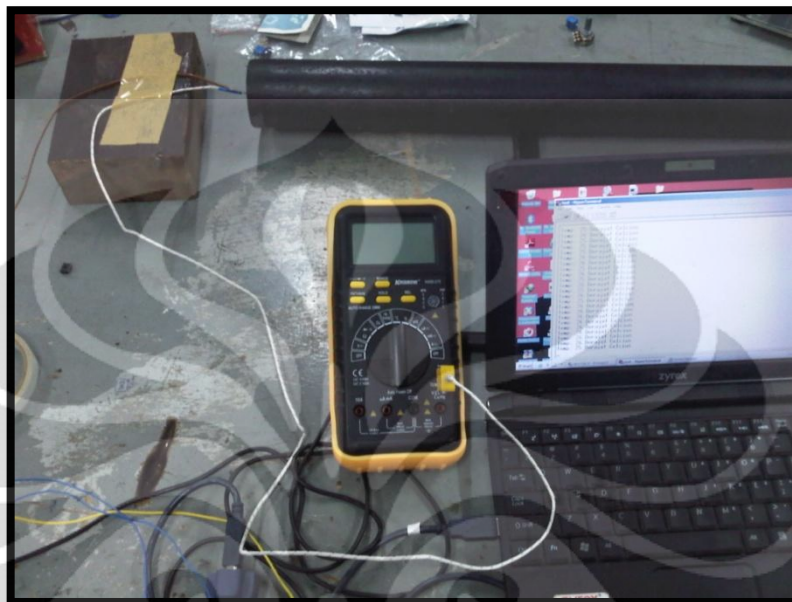
Perubahan temperatur pada *thermocouple* masih berada pada orde μV tiap kenaikan suhu satu derajat *celsius*. Pada setiap termokopel dibutuhkan *cold junction* sebagai referensi, namun dengan menggunakan rangkaian *thermocouple kit* dengan IC DS2760 referensi tersebut dihilangkan dengan cara menjaga tegangan pembanding *cold junction*. Lalu setelah nilai referensi tersebut didapatkan, maka nilai kenaikan voltase setiap derajat didapatkan yaitu $15,625 \mu V$. Data yang keluar dari DS2760 *thermocouple kit* berupa data 12 bit. Data ini nantinya akan diolah dengan program yang nantinya akan menghasilkan nilai temperatur dari pembacaan *thermocouple*.



Gambar 3.2 Layout Pengambilan Data Thermocouple

Kalibrasi termokopel dilakukan dengan mencoba mengeluarkan nilai, dengan mengambil data dari pemanas yang dinyalakan. Pada proses ini DS2760 *thermocouple kit* disambungkan ke mikrokontroler untuk mendapatkan hasil yang

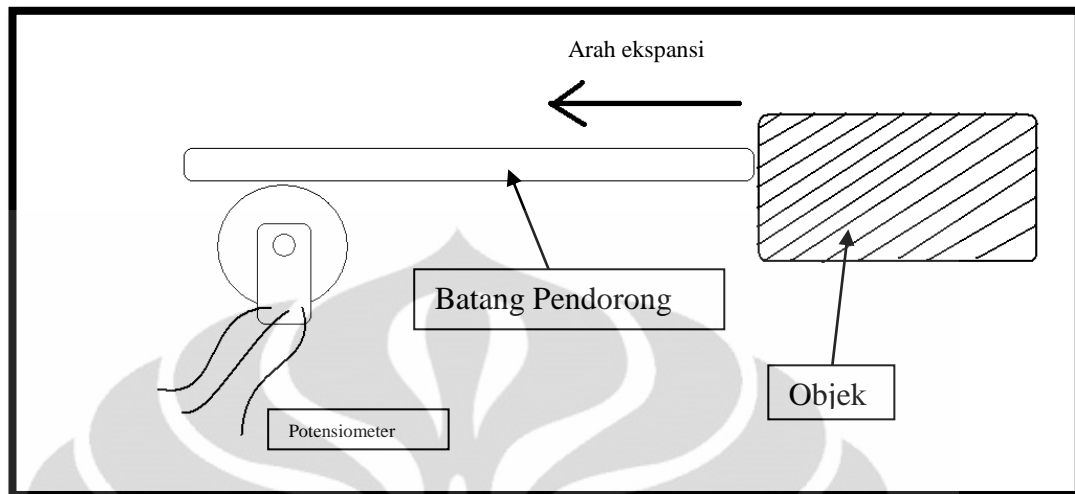
nantinya akan diperlihatkan di display. Sedangkan thermometer digital merk Krisbow dipergunakan sebagai pembanding, hasil dari kedua keluaran tersebut dibandingkan dengan grafik. Sehingga dapat terlihat kelinearan alat tersebut.



Gambar 3.3 Pengambilan data Validasi Thermocouple

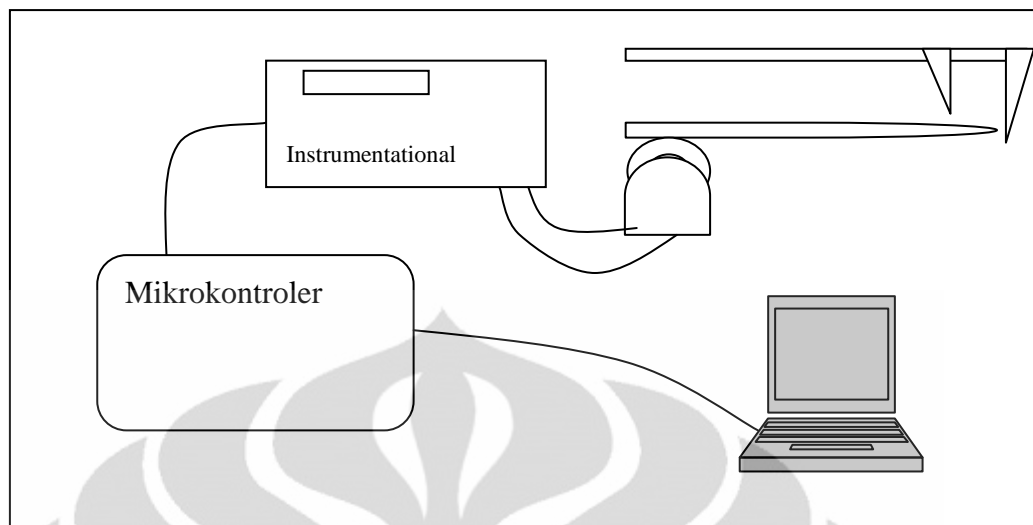
Bentuk alat dalam pengambilan data Thermocouple dapat dilihat seperti gambar 3.3. Data yang dihasilkan dicatat dan dibuat grafik. Grafik ini akan menentukan ketelitian dan juga ketepatan dari setiap alat, dalam hal ini DS2760 Thermocouple Kit.

3.2.2 Perpanjangan



Gambar 3.4 Susunan Potensiometer sebagai Transducer

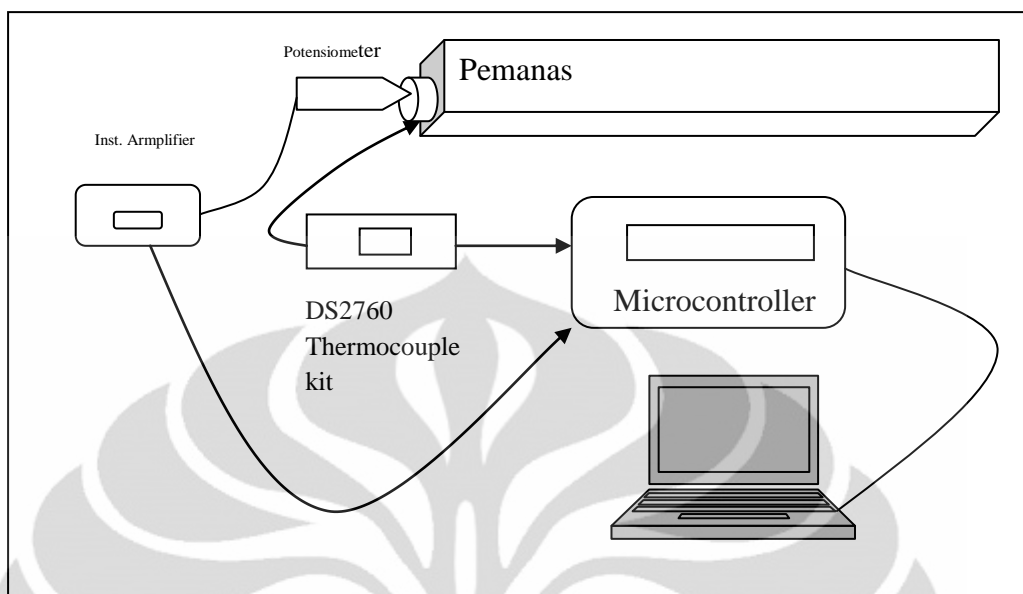
Alat yang dipergunakan untuk mengukur pertambahan panjang logam yang dipanaskan memakai prinsip dasar potensiometer, yaitu perubahan tahanan. Cara kerja alat pengukur ekspansi adalah, pada saat besi dipanaskan maka terjadi perpanjangan objek, dan mendorong batang pendorong, pergerakan tersebut memutar potensio sehingga mengubah tahanan dari potensio. Perubahan tahanan inilah yang membuat perubahan voltase output dari potensio. Perubahan voltase tersebut diperkuat sehingga sesuai dengan kualifikasi input ADC pada mikrokontroler.



Gambar 3.5 Konfigurasi pengambilan data expansion transducer

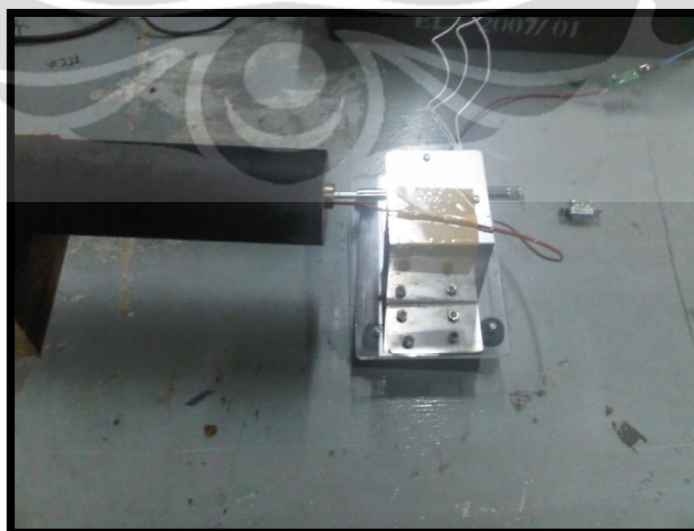
Pengambilan data perubahan panjang tetap mempergunakan mikrokontroler sebagai alat bantu pembaca dan juga penyalur data ke komputer. Data yang diambil merupakan data yang terukur oleh jangka sorong terhadap batang pendorong, sehingga setiap perubahan dari jangka sorong akan memutar potensiometer yang tertempel. Perubahan potensiometerlah yang memberi variasi perubahan besaran. Nilai yang didapatkan adalah perubahan tegangan yang diperkuat oleh instrumentasional amplifier. Fungsi instrumentasional amplifier adalah untuk menyesuaikan masukan tegangan pada mikrokontroler yang memiliki resolusi 4,8 mV untuk 1 bit data dengan nilai maksimal ADC yaitu 0 - 1023, hal ini berarti masukan maksimal untuk ADC tidak lebih dari 5 V.

3.2.3 Data Pemuaian



Gambar 3.6 Konfigurasi pengambilan data pemuaian

Pada pengambilan data pemuaian kedua alat digabungkan, *thermocouple* dipergunakan untuk mengambil data perubahan suhu yang nantinya akan dibandingkan dengan data dari potensiometer sebagai alat pendeteksi perubahan panjang. Kedua masukan tersebut dimasukan kedalam mikrokontroler sebagai alat bantu pengkondisi sinyal dan juga penghitung untuk selanjutnya disambungkan ke komputer melalui program hyperterminal



Gambar 3.7 Pengambilan data pemuaian

Posisi pengukur pergeseran dan thermocouple pada saat pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 3.7. Terlihat bahwa posisi Thermcouple dan Sensor perpanjangan berada didalam heater, hal ini dilakukan agar nilai yang didapatkan lebih baik, karena logam yang diukur berada pada didalam pemanas dan mendapatkan pemanasan yang merata.



BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kalibrasi

Sebelum melakukan pengukuran, langkah pertama adalah melakukan pengkalibrasian terhadap alat ukur. Hal ini dimaksudkan agar diperoleh ketelitian dan ketepatan yang semaksimal mungkin.

Kalibrasi yang pertama dilakukan adalah pengkalibrasian termokopel sebagai pengukur perubahan temperatur. Namun karena Thermocouple Kit DS2760 sudah memiliki standar kalibrasi maka pengambilan suhu dimaksudkan untuk memvalidasi nilai pengukuran dari thermocouple. Validasi dilakukan pada termokopel tipe K. Pengambilan suhu dimulai pada suhu ruangan sampai dengan 200°C. Alat yang digunakan sebagai pembanding adalah thermometer digital merk KRISBOW dengan resolusi 1°C dengan probe tipe K. Dan alat yang divalidasi adalah termokopel kit DS2760 dengan merk PARALLAX inc.

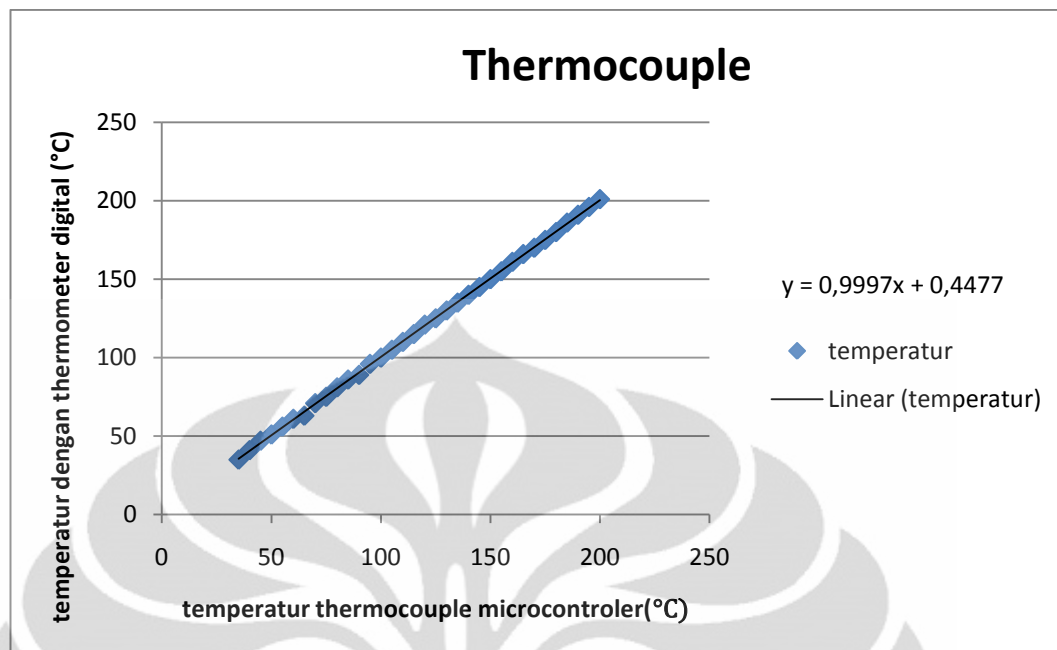
Tabel 4.1 Tabel Data Validasi Termokopel

Thermometer digital(°C)	DS2760 T.Kit(°C)
35	35
40	41
45	47
50	51
55	56
60	61
65	63
70	71
75	75
80	81
85	86
90	89
95	96
100	100
105	105
110	110
115	115

120	121
125	125
130	130
135	135
140	140
145	145
150	150
155	155
160	161
165	166
170	170
175	175
180	180
185	186
190	191
195	196
200	201

Tabel 4.1 menunjukkan dua buah data pengukuran suhu yang diambil dengan pembandingan nilai suhu yang terukur oleh termometer digital. Terlihat bahwa perbedaan suhu antar kedua data tidak terpaut jauh. Hal ini membuktikan bahwa pengukuran suhu menggunakan Thermocouple Kit DS2760 terbukti menghasilkan data yang baik

Data hasil validasi suhu diperoleh, untuk memperjelas perubahan dan pengukuran maka data tersebut di plot dan menghasilkan gambar yang terlihat pada grafik 4.1



Gambar.4.1 Grafik Kenaikan Suhu Pemanas

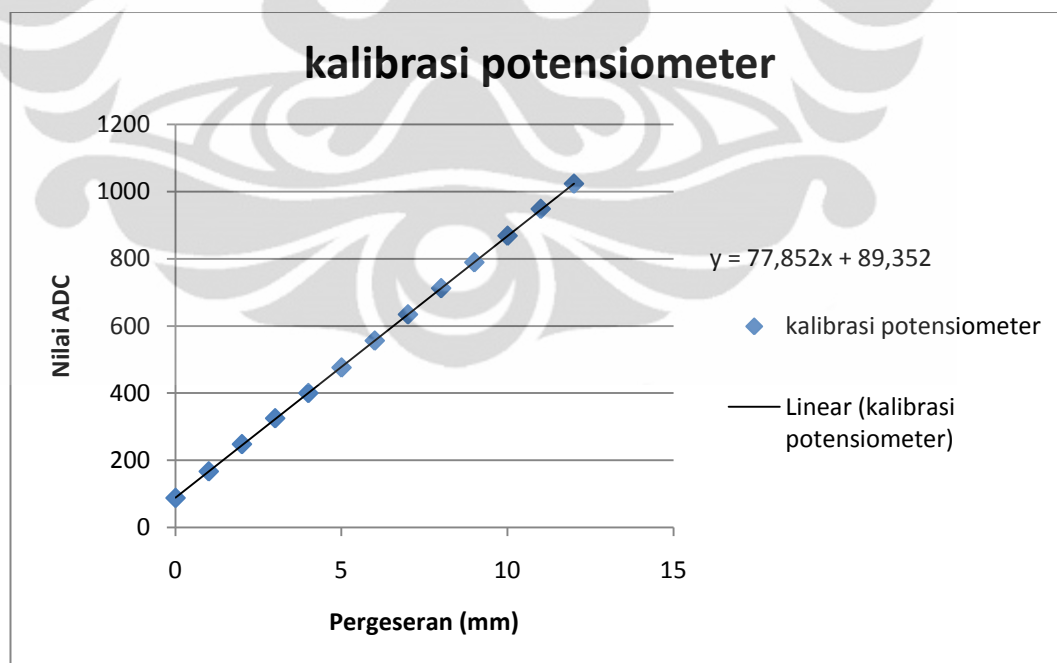
Gambar 4.1 diatas menunjukkan hasil pengukuran perubahan suhu pada heater, hasil yang tercatat bisa dikatakan sangat baik, kenaikan suhu yang tercatat mencapai 200°C. hasil yang dikeluarkan oleh thermocouple kit DS2760 berjalan dengan stabil dan tidak terjadi gangguan. Hal ini tentu saja sangat memudahkan pengukuran nilai konstanta muai linear yang akan dilakukan. Setelah dipanaskan biasanya dibutuhkan waktu sekitar 180 menit untuk kembali menurunkan suhu temperatur pemanas ke suhu normal/ruangan.

Kalibrasi selanjutnya adalah kalibrasi Potensiometer, pengkalibrasian dilakukan dengan cara yang sederhana, yaitu membandingkan dengan jangka sorong. Kalibrasi yang dilakukan berada pada jangkauan 0mm sampai dengan 12mm. Hasil pengkalibrasian dapat dilihat dengan tabel berikut:

Tabel 4.2 Data Pergerakan kalibrasi Potensiometer

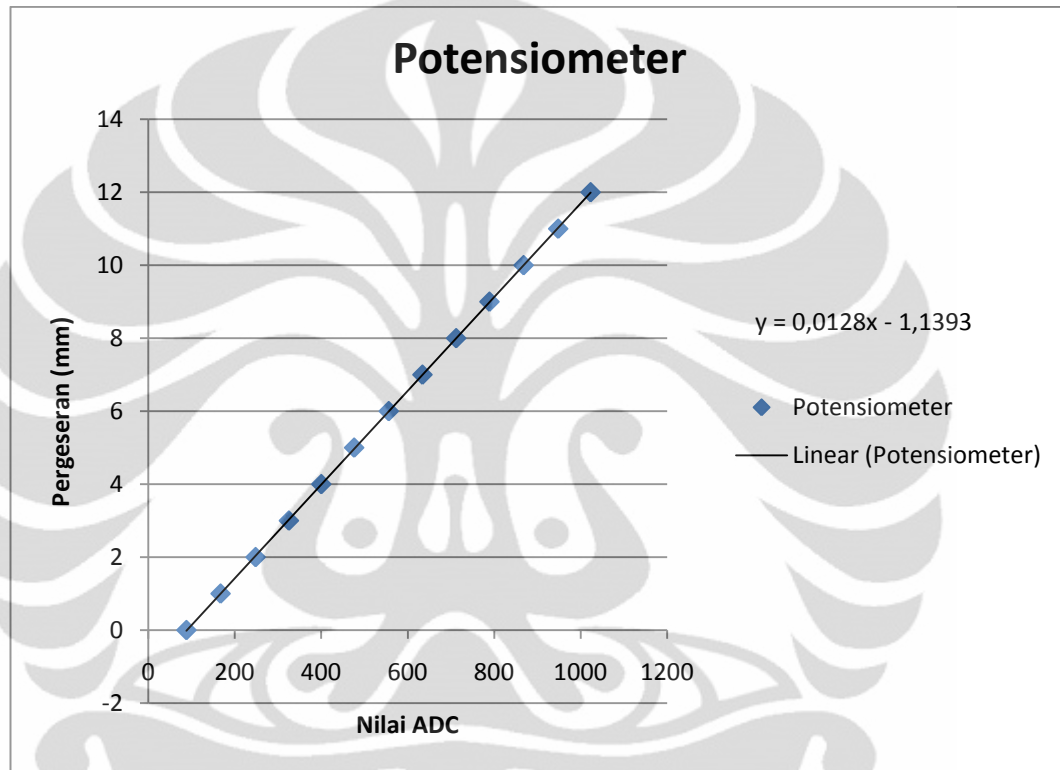
Pergerakan	Nilai ADC
0mm	88
1mm	167
2mm	248
3mm	325
4mm	400
5mm	476
6mm	556
7mm	634
8mm	712
9mm	789
10mm	868
11mm	948
12mm	1023

Tabel 4.2 menunjukkan bahwa pergeseran nilai pada potensiometer menghasilkan keluaran digital yang berbeda dan dapat dibaca oleh mikrokontroler. Dari nilai digital ini dapat diubah dengan menggunakan fungsi transfer sehingga mikrokontroler membaca nilai pergeseran dalam satuan panjang (mm).



Gambar 4.2 Grafik Kalibrasi Potensiometer

Pada gambar 4.2 terlihat bahwa data yg didapat cukup linear. Setelah grafik tersebut didapat, maka dicarilah nilai fungsi transfer yang mengubah nilai ADC menjadi perubahan panjang dalam satuan (mm). Hal tersebut mengharuskan nilai X dan Y pada grafik ditukar, sehingga mendapatkan fungsi transfer yang akan dipakai pada pemrograman. Maka didapatkan fungsi transfer seperti pada gambar dibawah ini:

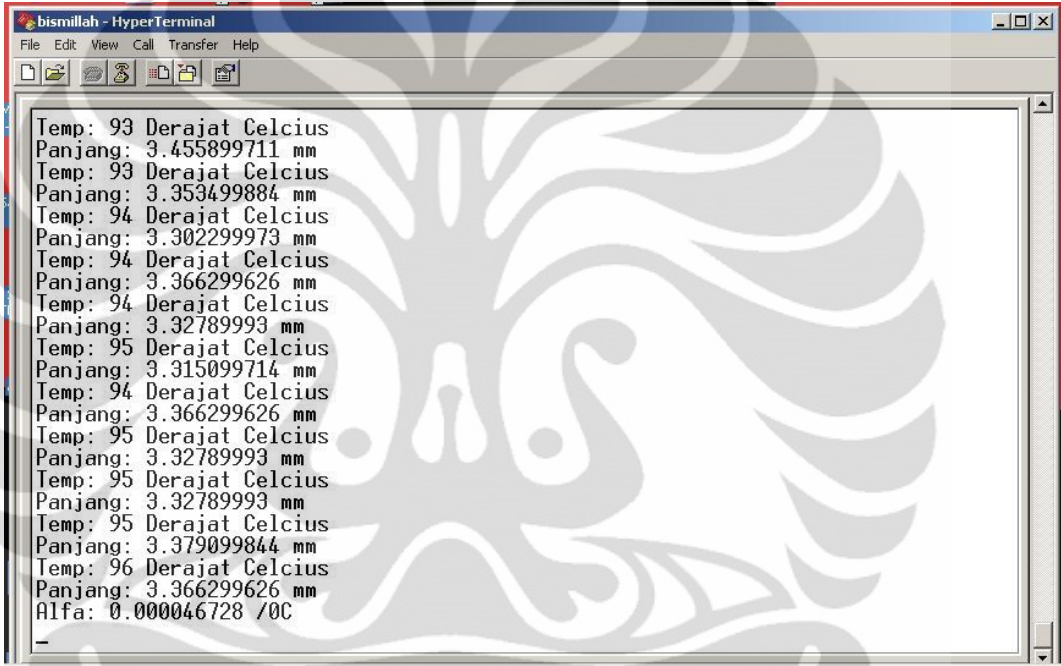


Gambar 4.3 Grafik Data Pergeseran Panjang Potensiometer

Gambar 4.3 memperlihatkan grafik pembandingan nilai ADC (sumbu X) dan nilai Pergeseran (sumbu Y). Sehingga fungsi transfer yang didapatkan akan merubah nilai ADC yg didapat agar dibaca sebagai nilai pergeseran pada pemrograman. Selain itu perubahan nilai ADC pada pengkalibrasian cukup linear. Hal ini terjadi karena pengambilan nilai pergeseran dilakukan dengan membandingkan perpanjangan dengan alat jangka sorong sebagai pembanding. Penggunaan jangka sorong membuat nilai pergeseran bisa disesuaikan hingga resolusi terkecil 0,1 mm. Hal ini membuat pergeseran dan perubahan keluaran potensiometer cukup stabil.

4.2 Mencari Harga Koefisien Muai (α)

Langkah selanjutnya setelah data-data yang dibutuhkan sudah didapat adalah penghitungan koefisien pemuaian linear. Hal ini dapat dihitung dengan menggunakan metode least square dengan terlebih dahulu mencari besaran dari perubahan panjang ΔL , yang dijadikan sumbu Y dan perubahan suhu ΔT dijadikan sebagai sumbu X. Setelah itu akan diperoleh harga $\sum X, \sum Y, \sum X^2, \sum Y^2$, dan $\sum XY$.



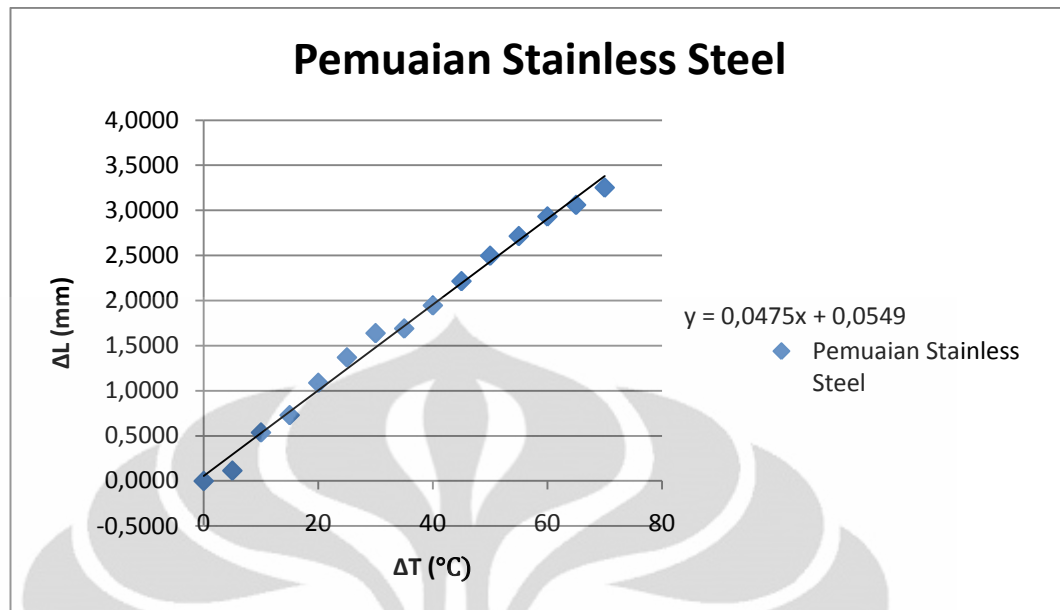
```

bismillah - HyperTerminal
File Edit View Call Transfer Help
Temp: 93 Derajat Celcius
Panjang: 3.455899711 mm
Temp: 93 Derajat Celcius
Panjang: 3.353499884 mm
Temp: 94 Derajat Celcius
Panjang: 3.302299973 mm
Temp: 94 Derajat Celcius
Panjang: 3.366299626 mm
Temp: 94 Derajat Celcius
Panjang: 3.32789993 mm
Temp: 95 Derajat Celcius
Panjang: 3.315099714 mm
Temp: 94 Derajat Celcius
Panjang: 3.366299626 mm
Temp: 95 Derajat Celcius
Panjang: 3.32789993 mm
Temp: 95 Derajat Celcius
Panjang: 3.32789993 mm
Temp: 95 Derajat Celcius
Panjang: 3.379099844 mm
Temp: 96 Derajat Celcius
Panjang: 3.366299626 mm
Alfa: 0.000046728 /0C

```

Gambar 4.4 Hasil Penghitungan Program Mikrokontroler

Pada gambar 4.4 terlihat bahwa data diambil sampai dengan suhu 96°C, didapatkan nilai α sebesar $4,67 \times 10^{-6}$ m/m °C. Jumlah data yang diambil adalah 15 data, dengan interval setiap kenaikan 5°C sehingga dengan nilai temperatur awal 25°C maka pengambilan data terakhir adalah pada 95°C.



Gambar 4.5 Grafik Temperatur VS Perubahan Panjang

Gambar 4.3 yaitu Grafik Temperatur VS Perubahan Panjang, menunjukkan perubahan yang didapatkan oleh alat, terlihat bahwa perubahan panjang pada grafik cukup linear, hal ini sesuai dengan literatur yang didapatkan. Nilai yang didapat juga membuktikan bahwa perubahan panjang bisa dikatakan stabil, sehingga mengeluarkan nilai yang baik.

Penghitungan dengan metode least square tersebut dapat diperoleh harga dari

$$\alpha_{\text{perhitungan}} = 4,67 \times 10^{-6} \text{ m/m } ^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta\alpha = 8,58 \times 10^{-7}$$

Didapatkan Kesalahan literatur sebesar 44,12%. Nilai error yang terjadi bisa dikarenakan kandungan logam yang dipergunakan sebagai objek tidak seutuhnya sama dengan logam yang dipakai pada literatur, walaupun penamaannya sama.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil percobaan alat yang dibuat, maka diambil kesimpulan antara lain sebagai berikut:

1. Penghitungan perbandingan nilai perubahan temperatur (ΔT) dan perpanjangan objek logam (ΔL) dapat menghasilkan nilai Koefisien Pemuaian linear logam (α) dengan satuan $m/m^{\circ}C$.
2. Ilmu-ilmu instrumentasi elektronika pada pencarian nilai α dapat diaplikasikan dengan baik, yaitu dengan penggunaan sensor suhu (Thermocouple) , Perpanjangan (potensiometer) dan penghitungan yang mempergunakan metode Least Square pada Mikrokontroler.
3. Dari pengambilan data pada objek Stainless Steel dan diolah melalui metode least square pada mikrokontroler didapatkan nilai $\alpha = 4,67 \times 10^{-6}$, $\Delta\alpha = 8,58 \times 10^{-7}$ dan kesalahan literatur = 44,12 %

5.2 Saran

Dalam mendisain sebuah alat diperlukan teknik, keterampilan, dan pengetahuan yang baik agar alat instrumen yang dibuat dapat dicapai semaksimal mungkin untuk memperoleh data-data hasil pengukuran. Dalam pembuatan alat ini masih banyak kekurangannya, dengan demikian dapat disarankan:

1. Sistikm pendisaian pemanas yang harus memperoleh distribusi suhu yang homogen untuk daerah sekitarnya.
2. Alat kalibrasi yang digunakan harus memiliki ketelitian yang lebih baik dari alat yang akan dikalibrasi.
3. Resolusi dari alat pengukuran dapat lebih ditingkatkan agar hasil perubahan dapat terlihat lebih jelas.

Hal-hal tersebut adalah saran yang dapat diberikan, tak lupa masukan-masukan dan kritikan-kritikan lain yang diberikan rekan-rekan sangat membantu agar tercapainya pembuatan alat yang lebih baik.



DAFTAR ACUAN

- [1]Morgan, J. W.; Anders, E. *Chemical composition of Earth, Venus, and Mercury*. Proceedings of the National Academy of Science 71. (1980).
- [2]Banwell C.N. *Fundamentals of Molecular Spectroscopy, third Edition*. McGraw-Hill Book Company. Berkshire, England. 1972
- [3]Paul.A, Tipler, Gene Mosca. *Physics for scientist and engineer, sixth edition, volume 1*. Worth Publisher. New York, United State of America. 2008
- [4] Team engineering and editing. Engineeringtoolbox england
http://www.engineeringtoolbox.com/linear-expansion-coefficients-d_95.html,
diunduh tanggal 23 Maret 2011, pukul 22:45
- [5]W. Gopel, J. Hesse, and J. Zemel . (1990), *Sensor. Vol.4: Thermal Sensor*.VCH Verlagsgesellschaft mbH,D-6490 Weinheim, Germany
- [6]*The Authoritative Dictionary of IEEE Standards Terms (IEEE 100)* (Seventh Edition). Piscataway, New Jersey: IEEE Press. June 10th 2000.
- [7] Rashid. Muhammad H. *Power Electronics: Circuits, Device and Applications. Second Edition*. Prentice Hall. New Jersey, United State of America. 1993
- [8]AD620 : Low Cost Low Power Instrumentation Amplifier. Analog Device Product Datasheet.
- [9]Atmega16. Atmel AVR 8-bit Microcontroller Product Datasheet. Atmel®
- [10] Gadre. Dhananjay V. *Programing and Customizing the AVR Microcontroller*. McGraw-Hill Book Company. Berkshire, England. 2001
- [11]Purwanto, Hery (1995). *Otomatisasi Pengukuran Koefisien Muai Linier Logam Secara Komputerisasi*. Departemen Fisika FMIPA UI.
- [12]DS2760 Thermocouple Kit Datasheet. PARALLAX INC USA

LAMPIRAN

LAMPIRAN A

```

regfile = "m16def.dat"
$crystal = 8000000
$baud = 9600
$hwstack = 32
$swstack = 8
$framesize = 24

Declare Function Looktable(byval Pos As Word) As Word
Declare Sub Tempcj
Declare Sub Teuv
'Declare Sub Vin
Declare Sub Tlookup
Declare Sub Thermocouple      'deklarasi sub pembaca thermocouple
Declare Sub Dialgauge        'deklarasi sub pembaca expansion

Config 1wire = Portb.0

Skip_add Alias &HCC
Read_reg Alias &H69

Dim Cjcomp As Word
Dim Data1 As Byte
Dim Data2 As Byte
'Dim Vin As Word
Dim Teuv As Word
Dim Tempcj As Word
Dim Eepntr As Word
Dim Tblhi As Word
Dim Tbllo As Word
Dim Tblmin As Word
Dim Sign As Byte
Dim Testval As Word
Dim Error As Byte
Dim Tempc As Word
Dim L As Word
Dim T As Word
Dim Posisi As Single
Dim W As Word , Channel As Byte      'deklarasi variabel
Dim Xbaru As Word
Dim Xbaru1 As Word
Dim X As Single
Dim Y As Single
Dim Sum_x As Single
Dim Sum_y As Single
Dim X2 As Single
Dim Sum_x2 As Single
Dim Xy As Single
Dim Sum_xy As Single
Dim N As Byte
Dim A As Single
Dim A1 As Single
Dim A2 As Single
Dim A3 As Single
Dim A4 As Single
Dim A5 As Single
Dim A6 As Single
Dim B As Single
Dim B1 As Single
Dim B2 As Single
Dim B3 As Single
Dim B4 As Single
Dim B5 As Single
Dim B6 As Single
Dim Alfa As Single
Dim Alfa_text As String * 7
Dim L0 As Single
Dim T0 As Word

```

```

L0 = 1000.00
T0 = 25
Config Adc = Single , Prescaler = Auto , Reference = Avcc 'konfig ADC
Channel = 0

```

```

Start Adc

```

```

N = 0

```

```

Do

```

```

    Error = 0

```

```

    'Call Vin

```

```

    Call Tcuv

```

```

    Call Tempcj

```

```

    If Tempcj > 749 Then

```

```

        Error = 1

```

```

        Goto Errorout

```

```

    End If

```

```

    Cjcomp = Looktable(tempcj)

```

```

    If Sign = 1 Then

```

```

        If Tcuv < Cjcomp Then

```

```

            Cjcomp = Cjcomp - Tcuv

```

```

        Else

```

```

            Cjcomp = 0

```

```

        End If

```

```

    Else

```

```

        Cjcomp = Cjcomp + Tcuv

```

```

    End If

```

```

    Call Tlookup

```

```

Errorout:

```

```

    If Error = 1 Then

```

```

        Print "out of range "

```

```

    Else

```

```

        Print "Temp: " ; Tempcj ; " Derajat Celcius"

```

```

        Waitms 100

```

```

        W = Getadc(channel)

```

```

        'ambil data di channel

```

```

        Posisi = 0.0128 * W

```

```

        Posisi = Posisi - 1.1393

```

```

        Print "Panjang: " ; Posisi ; " mm"

```

```

        'Print data ke serial

```

```

        Xbaru1 = 5 * N

```

```

        Xbaru = Xbaru1 + T0

```

```

        If Tempcj > Xbaru Then

```

```

            X = Tempcj - T0

```

```

            Y = Posisi

```

```

            Sum_x = Sum_x + X

```

```

            Sum_y = Sum_y + Y

```

```

            X2 = X * X

```

```

            Sum_x2 = Sum_x2 + X2

```

```

            Xy = X * Y

```

```

            Sum_xy = Sum_xy + Xy

```

```

        Incr N

```

```

    End If

```

```

    End Do

```

```

    Wait 1

```

```

Loop Until N = 15

```

```

N = N - 1

```

```

A1 = Sum_x2 * Sum_y

```

```

A2 = Sum_x * Sum_xy

```

```

A3 = N * Sum_x2

```

```

A4 = Sum_x * Sum_x

```

```

A5 = A1 - A2

```

```

A6 = A3 - A4

```

```

A = A5 / A6

```

```

B1 = N * Sum_xy

```

```

B2 = Sum_x * Sum_y

```

```

B3 = N * Sum_x2

```

```

B4 = Sum_x * Sum_x

```

```

B5 = B1 - B2

```

```

B6 = B3 - B4

```

```

B = B5 / B6

```

```

Alfa = B / L0

```

```
Alfa_text = Fusing(alfa , "####.##")
Print "Alfa: " ; Alfa ; " /0C"
End
```

'Print data ke serial

```
Sub Tclookup
  Tblo = 0
  Tblhi = 749
  Tempcj = 22
  Testval = Looktable(tblhi)
  If Cjcomp > Testval Then
    Error = 1
  Else
    Do
      Eepntr = Tblo + Tblhi
      Eepntr = Eepntr / 2
      Testval = Looktable(eepntr)
      If Cjcomp = Testval Then
        Exit Do
      Elseif Cjcomp < Testval Then
        Tblhi = Eepntr
      Else
        Tblo = Eepntr
      End If
      Tblmin = Tblhi - Tblo
      If Tblmin < 2 Then
        Eepntr = Tblo
        Exit Do
      End If
    Loop
    Tempc = Eepntr
  End If
End Sub
```

```
Sub Tempcj
  Iwreset
  'Print "Error= " ; Err
  Iwwrite Skip_add
  Iwwrite Read_reg
  Iwwrite &H18
  Data1 = Iwread()
  Data2 = Iwread()
  Tempcj = Data1
  Data1 = Data1 And &H80
  If Data1 = &H80 Then Tempcj = 0
  'Print "TempCJ= " ; Tempcj
End Sub
```

```
(Sub Vin
  Iwreset
  'Print "Error= " ; Err
  Iwwrite Skip_add
  Iwwrite Read_reg
  Iwwrite &H0C
  Data1 = Iwread()
  Data2 = Iwread()
  'Print Hex(data1)
  Vin = Data1
  Shift Vin , Right , 1
  Vin = Vin * 488
  Vin = Vin / 100
  Data1 = Data1 And &H80
  If Data1 = &H80 Then Vin = 0
  'Print "vin= " ; Vin
End Sub
)
```

```
Sub Tcuv
  Iwreset
  'Print "Error= " ; Err
  Iwwrite Skip_add
  Iwwrite Read_reg
  Iwwrite &H0E
  Data1 = Iwread()
  Data2 = Iwread()
  Iwreset
```



```

Tcuv = Data1
Shift Tcuv , Left , 8
Tcuv = Tcuv Or Data2
Shift Tcuv , Right , 3
Data1 = Data1 And &H80

```

```

Sign = 0
If Data1 = &H80 Then
  Tcuv = Tcuv Or &HF000
  Tcuv = &HFFFF - Tcuv
  Sign = 1
End If
Tcuv = Tcuv * 156
Tcuv = Tcuv / 10
'Print "tCuV= " ; Tcuv
'Print "Sign= " ; Sign
End Sub

```

```

Function Looktable(byval Pos As Word) As Word
  If Pos < 250 Then
    Looktable = Lookup(pos , K0000)
  ElseIf Pos < 500 Then
    Pos = Pos - 250
    Looktable = Lookup(pos , K0250)
  ElseIf Pos < 750 Then
    Pos = Pos - 500
    Looktable = Lookup(pos , K0500)
  ' ElseIf Pos < 1000 Then
  '   Pos = Pos - 750
  '   Looktable = Lookup(pos , K0750)
  ' Else
  '   Pos = Pos - 1000
  '   Looktable = Lookup(pos , K1000)
  End If
End Function

```

```

K0000:
Data 00000% , 00039% , 00079% , 00119% , 00158%
Data 00198% , 00238% , 00277% , 00317% , 00357%

```

```

Data 00397% , 00437% , 00477% , 00517% , 00557%
Data 00597% , 00637% , 00677% , 00718% , 00758%

```

```

Data 00798% , 00838% , 00879% , 00919% , 00960%
Data 01000% , 01040% , 01080% , 01122% , 01163%

```

```

Data 01203% , 01244% , 01284% , 01326% , 01366%
Data 01407% , 01448% , 01489% , 01530% , 01570%

```

```

Data 01612% , 01653% , 01694% , 01735% , 01776%
Data 01816% , 01858% , 01899% , 01941% , 01982%

```

```

Data 02023% , 02064% , 02105% , 02146% , 02188%
Data 02230% , 02270% , 02311% , 02354% , 02395%

```

```

Data 02436% , 02478% , 02519% , 02560% , 02601%
Data 02644% , 02685% , 02726% , 02767% , 02810%

```

```

Data 02850% , 02892% , 02934% , 02976% , 03016% ,
Data 03059% , 03100% , 03141% , 03184% , 03225%

```

```

Data 03266% , 03307% , 03350% , 03391% , 03432% ,
Data 03474% , 03516% , 03557% , 03599% , 03640%

```

```

Data 03681% , 03722% , 03765% , 03806% , 03847% ,
Data 03888% , 03931% , 03972% , 04012% , 04054%

```

```

Data 04096% , 04137% , 04179% , 04219% , 04261%
Data 04303% , 04344% , 04384% , 04426% , 04468%

```

```

Data 04509% , 04549% , 04591% , 04633% , 04674%
Data 04714% , 04756% , 04796% , 04838% , 04878%

```

```

Data 04919% , 04961% , 05001% , 05043% , 05083%

```

Data 05123% , 05165% , 05206% , 05246% , 05288%

Data 05328% , 05368% , 05410% , 05450% , 05490%
Data 05532% , 05572% , 05613% , 05652% , 05693%

Data 05735% , 05775% , 05815% , 05865% , 05895%
Data 05937% , 05977% , 06017% , 06057% , 06097%

Data 06137% , 06179% , 06219% , 06259% , 06299%
Data 06339% , 06379% , 06419% , 06459% , 06500%

Data 06540% , 06580% , 06620% , 06660% , 06700%
Data 06740% , 06780% , 06820% , 06860% , 06900%

Data 06940% , 06980% , 07020% , 07059% , 07099%
Data 07139% , 07179% , 07219% , 07259% , 07299%

Data 07339% , 07379% , 07420% , 07459% , 07500%
Data 07540% , 07578% , 07618% , 07658% , 07698%

Data 07738% , 07778% , 07819% , 07859% , 07899%
Data 07939% , 07979% , 08019% , 08058% , 08099%

Data 08137% , 08178% , 08217% , 08257% , 08298%
Data 08337% , 08378% , 08417% , 08458% , 08499%

Data 08538% , 08579% , 08618% , 08659% , 08698%
Data 08739% , 08778% , 08819% , 08859% , 08900%

Data 08939% , 08980% , 09019% , 09060% , 09101%
Data 09141% , 09180% , 09221% , 09262% , 09301%

Data 09343% , 09382% , 09423% , 09464% , 09503%
Data 09544% , 09585% , 09625% , 09666% , 09707%

Data 09746% , 09788% , 09827% , 09868% , 09909%
Data 09949% , 09990% , 10031% , 10071% , 10112%

K0250:
Data 10153% , 10194% , 10234% , 10275% , 10316%
Data 10356% , 10397% , 10439% , 10480% , 10519%

Data 10560% , 10602% , 10643% , 10683% , 10724%
Data 10766% , 10807% , 10848% , 10888% , 10929%

Data 10971% , 11012% , 11053% , 11093% , 11134%
Data 11176% , 11217% , 11259% , 11300% , 11340%

Data 11381% , 11423% , 11464% , 11506% , 11547%
Data 11587% , 11630% , 11670% , 11711% , 11753%

Data 11794% , 11836% , 11877% , 11919% , 11960%
Data 12001% , 12043% , 12084% , 12126% , 12167%

Data 12208% , 12250% , 12291% , 12333% , 12374%
Data 12416% , 12457% , 12499% , 12539% , 12582%

Data 12624% , 12664% , 12707% , 12747% , 12789%
Data 12830% , 12872% , 12914% , 12955% , 12997%

Data 13039% , 13060% , 13122% , 13164% , 13205%
Data 13247% , 13289% , 13330% , 13372% , 13414%

Data 13457% , 13497% , 13539% , 13582% , 13624%
Data 13664% , 13707% , 13749% , 13791% , 13833%

Data 13874% , 13916% , 13958% , 14000% , 14041%
Data 14083% , 14125% , 14166% , 14208% , 14250%

Data 14292% , 14335% , 14377% , 14419% , 14461%
Data 14503% , 14545% , 14586% , 14628% , 14670%

Data 14712% , 14755% , 14797% , 14839% , 14881%
Data 14923% , 14964% , 15006% , 15048% , 15090%

Data 15132% , 15175% , 15217% , 15259% , 15301%
Data 15343% , 15384% , 15426% , 15468% , 15510%

Data 15554% , 15596% , 15637% , 15679% , 15721%
Data 15763% , 15805% , 15849% , 15891% , 15932%

Data 15974% , 16016% , 16059% , 16102% , 16143%
Data 16185% , 16228% , 16269% , 16312% , 16355%

Data 16396% , 16439% , 16481% , 16524% , 16565%
Data 16608% , 16650% , 16693% , 16734% , 16777%

Data 16820% , 16861% , 16903% , 16946% , 16989%
Data 17030% , 17074% , 17115% , 17158% , 17201%

Data 17242% , 17285% , 17327% , 17370% , 17413%
Data 17454% , 17496% , 17539% , 17582% , 17623%

Data 17667% , 17708% , 17751% , 17794% , 17836%
Data 17879% , 17920% , 17963% , 18006% , 18048%

Data 18091% , 18134% , 18176% , 18217% , 18260%
Data 18303% , 18346% , 18388% , 18431% , 18472%

Data 18515% , 18557% , 18600% , 18643% , 18686%
Data 18728% , 18771% , 18812% , 18856% , 18897%

Data 18940% , 18983% , 19025% , 19068% , 19111%
Data 19153% , 19196% , 19239% , 19280% , 19324%

Data 19365% , 19408% , 19451% , 19493% , 19536%
Data 19579% , 19621% , 19664% , 19707% , 19750%

Data 19792% , 19835% , 19876% , 19920% , 19961%
Data 20004% , 20047% , 20089% , 20132% , 20175%

Data 20218% , 20260% , 20303% , 20346% , 20388%
Data 20431% , 20474% , 20515% , 20559% , 20602%

K0500:

Data 20643% , 20687% , 20730% , 20771% , 20815%
Data 20856% , 20899% , 20943% , 20984% , 21027%

Data 21071% , 21112% , 21155% , 21199% , 21240%
Data 21283% , 21326% , 21368% , 21411% , 21454%

Data 21497% , 21540% , 21582% , 21625% , 21668%
Data 21710% , 21753% , 21795% , 21838% , 21881%

Data 21923% , 21966% , 22009% , 22051% , 22094%
Data 22137% , 22178% , 22222% , 22265% , 22306%

Data 22350% , 22393% , 22434% , 22478% , 22521%
Data 22562% , 22606% , 22649% , 22690% , 22734%

Data 22775% , 22818% , 22861% , 22903% , 22946%
Data 22989% , 23032% , 23074% , 23117% , 23160%

Data 23202% , 23245% , 23288% , 23330% , 23373%
Data 23416% , 23457% , 23501% , 23544% , 23585%

Data 23629% , 23670% , 23713% , 23757% , 23798%
Data 23841% , 23884% , 23926% , 23969% , 24012%

Data 24054% , 24097% , 24140% , 24181% , 24225%
Data 24266% , 24309% , 24353% , 24394% , 24437%

Data 24480% , 24523% , 24565% , 24608% , 24650%
Data 24693% , 24735% , 24777% , 24820% , 24863%

Data 24905% , 24948% , 24990% , 25033% , 25075%
Data 25118% , 25160% , 25203% , 25245% , 25288%

Data 25329% , 25373% , 25414% , 25457% , 25500%

Data 25542% , 25585% , 25626% , 25670% , 25711%

Data 25755% , 25797% , 25840% , 25882% , 25924%
Data 25967% , 26009% , 26052% , 26094% , 26136%

Data 26178% , 26221% , 26263% , 26306% , 26347%
Data 26390% , 26432% , 26475% , 26516% , 26559%

Data 26602% , 26643% , 26687% , 26728% , 26771%
Data 26814% , 26856% , 26897% , 26940% , 26983%

Data 27024% , 27067% , 27109% , 27152% , 27193%
Data 27236% , 27277% , 27320% , 27362% , 27405%

Data 27447% , 27489% , 27531% , 27574% , 27616%
Data 27658% , 27700% , 27742% , 27784% , 27826%

Data 27868% , 27911% , 27952% , 27995% , 28036%
Data 28079% , 28120% , 28163% , 28204% , 28246%

Data 28289% , 28332% , 28373% , 28416% , 28416%
Data 28457% , 28500% , 28583% , 28626% , 28667%

Data 28710% , 28752% , 28794% , 28835% , 28877%
Data 28919% , 28961% , 29003% , 29045% , 29087%

Data 29129% , 29170% , 29213% , 29254% , 29297%
Data 29338% , 29379% , 29422% , 29463% , 29506%

Data 29548% , 29589% , 29631% , 29673% , 29715%
Data 29757% , 29798% , 29840% , 29882% , 29923%

Data 29964% , 30007% , 30048% , 30089% , 30132%
Data 30173% , 30214% , 30257% , 30298% , 30341%

Data 30382% , 30423% , 30466% , 30507% , 30548%
Data 30589% , 30632% , 30673% , 30714% , 30757%

Data 30797% , 30839% , 30881% , 30922% , 30963%
Data 31006% , 31047% , 31088% , 31129% , 31172%

'(K0750:

Data 31213% , 31254% , 31295% , 31338% , 31379%
Data 31420% , 31461% , 31504% , 31545% , 31585%

Data 31628% , 31669% , 31710% , 31751% , 31792%
Data 31833% , 31876% , 31917% , 31957% , 32000%

Data 32040% , 32082% , 32124% , 32164% , 32206%
Data 32246% , 32289% , 32329% , 32371% , 32411%

Data 32453% , 32495% , 32536% , 32577% , 32618%
Data 32659% , 32700% , 32742% , 32783% , 32824%

Data 32865% , 32905% , 32947% , 32987% , 33029%
Data 33070% , 33110% , 33152% , 33192% , 33234%

Data 33274% , 33316% , 33356% , 33398% , 33439%
Data 33479% , 33521% , 33561% , 33603% , 33643%

Data 33685% , 33725% , 33767% , 33807% , 33847%
Data 33889% , 33929% , 33970% , 34012% , 34052%

Data 34093% , 34134% , 34174% , 34216% , 34256%
Data 34296% , 34338% , 34378% , 34420% , 34460%

Data 34500% , 34542% , 34582% , 34622% , 34664%
Data 34704% , 34744% , 34786% , 34826% , 34866%

Data 34908% , 34948% , 34999% , 35029% , 35070%
Data 35109% , 35151% , 35192% , 35231% , 35273%

Data 35313% , 35353% , 35393% , 35435% , 35475%
Data 35515% , 35555% , 35595% , 35637% , 35676%

Data 35718% , 35758% , 35798% , 35839% , 35879%
 Data 35920% , 35960% , 36000% , 36041% , 36081%

Data 36121% , 36162% , 36202% , 36242% , 36282%
 Data 36323% , 36363% , 36403% , 36443% , 36484%

Data 36524% , 36564% , 36603% , 36643% , 36685%
 Data 36725% , 36765% , 36804% , 36844% , 36886%

Data 36924% , 36965% , 37006% , 37045% , 37085%
 Data 37125% , 37165% , 37206% , 37246% , 37286%

Data 37326% , 37366% , 37406% , 37446% , 37486%
 Data 37526% , 37566% , 37606% , 37646% , 37686%

Data 37725% , 37765% , 37805% , 37845% , 37885%
 Data 37925% , 37965% , 38005% , 38044% , 38084%

Data 38124% , 38164% , 38204% , 38243% , 38283%
 Data 38323% , 38363% , 38402% , 38442% , 38482%

Data 38521% , 38561% , 38600% , 38640% , 38679%
 Data 38719% , 38759% , 38798% , 38838% , 38878%

Data 38917% , 38957% , 38996% , 39036% , 39076%
 Data 39115% , 39164% , 39195% , 39234% , 39274%

Data 39314% , 39353% , 39393% , 39432% , 39470%
 Data 39511% , 39549% , 39590% , 39628% , 39668%

Data 39707% , 39746% , 39786% , 39826% , 39865%
 Data 39905% , 39944% , 39984% , 40023% , 40061%

Data 40100% , 40140% , 40179% , 40219% , 40259%
 Data 40298% , 40337% , 40375% , 40414% , 40454%

Data 40493% , 40533% , 40572% , 40610% , 40651%
 Data 40689% , 40728% , 40765% , 40807% , 40846%

Data 40885% , 40924% , 40963% , 41002% , 41042%
 Data 41081% , 41119% , 41158% , 41198% , 41237%

K1000:

Data 41276% , 41315% , 41354% , 41393% , 41431%
 Data 41470% , 41509% , 41548% , 41587% , 41626%

Data 41665% , 41704% , 41743% , 41781% , 41820%
 Data 41859% , 41898% , 41937% , 41976% , 42014%

Data 42053% , 42092% , 42131% , 42169%
)

Panjang: 0.652699943 mm
 Temp: 39 Derajat Celcius
 Panjang: 0.409499879 mm
 Temp: 39 Derajat Celcius
 Panjang: 0.959899901 mm
 Temp: 39 Derajat Celcius
 Panjang: 0.934299943 mm
 Temp: 39 Derajat Celcius
 Panjang: 0.857499954 mm
 Temp: 39 Derajat Celcius
 Panjang: 0.959899901 mm
 Temp: 39 Derajat Celcius
 Panjang: 0.857499954 mm
 Temp: 40 Derajat Celcius
 Panjang: 0.857499954 mm
 Temp: 40 Derajat Celcius
 Panjang: 0.844699857 mm
 Temp: 40 Derajat Celcius
 Panjang: 0.844699857 mm
 Temp: 40 Derajat Celcius
 Panjang: 0.819099901 mm
 Temp: 41 Derajat Celcius
 Panjang: 0.819099901 mm
 Temp: 41 Derajat Celcius
 Panjang: 0.870300049 mm
 Temp: 41 Derajat Celcius
 Panjang: 0.883100029 mm
 Temp: 41 Derajat Celcius
 Panjang: 0.959899901 mm
 Temp: 41 Derajat Celcius
 Panjang: 0.883100029 mm
 Temp: 42 Derajat Celcius
 Panjang: 0.780699844 mm
 Temp: 42 Derajat Celcius
 Panjang: 0.819099901 mm
 Temp: 42 Derajat Celcius
 Panjang: 0.806299921 mm
 Temp: 42 Derajat Celcius
 Panjang: 0.831899877 mm
 Temp: 42 Derajat Celcius
 Panjang: 0.831899877 mm
 Temp: 43 Derajat Celcius
 Panjang: 0.934299943 mm
 Temp: 43 Derajat Celcius
 Panjang: 1.190299985 mm
 Temp: 43 Derajat Celcius
 Panjang: 1.023900029 mm
 Temp: 43 Derajat Celcius
 Panjang: 1.100699897 mm
 Temp: 43 Derajat Celcius
 Panjang: 1.036700007 mm
 Temp: 43 Derajat Celcius
 Panjang: 1.036700007 mm
 Temp: 44 Derajat Celcius
 Panjang: 1.267099855 mm
 Temp: 44 Derajat Celcius
 Panjang: 1.062299963 mm
 Temp: 44 Derajat Celcius
 Panjang: 1.113499877 mm
 Temp: 44 Derajat Celcius
 Panjang: 1.241499897 mm
 Temp: 45 Derajat Celcius
 Panjang: 1.215899941 mm
 Temp: 45 Derajat Celcius
 Panjang: 1.062299963 mm
 Temp: 45 Derajat Celcius
 Panjang: 1.151900049 mm
 Temp: 45 Derajat Celcius
 Panjang: 1.228699921 mm
 Temp: 46 Derajat Celcius
 Panjang: 1.254299875 mm
 Temp: 46 Derajat Celcius
 Panjang: 1.241499897 mm
 Temp: 46 Derajat Celcius
 Panjang: 1.254299875 mm
 Temp: 47 Derajat Celcius
 Panjang: 1.228699921 mm
 Temp: 46 Derajat Celcius
 Panjang: 1.228699921 mm
 Temp: 46 Derajat Celcius
 Panjang: 1.228699921 mm
 Temp: 47 Derajat Celcius
 Panjang: 1.254299875 mm
 Temp: 47 Derajat Celcius
 Panjang: 1.241499897 mm
 Temp: 47 Derajat Celcius
 Panjang: 1.241499897 mm
 Temp: 47 Derajat Celcius
 Panjang: 1.382299896 mm
 Temp: 48 Derajat Celcius
 Panjang: 1.49749994 mm
 Temp: 48 Derajat Celcius
 Panjang: 1.471899983 mm
 Temp: 48 Derajat Celcius
 Panjang: 1.471899983 mm
 Temp: 48 Derajat Celcius
 Panjang: 1.459100005 mm
 Temp: 49 Derajat Celcius
 Panjang: 1.42069983 mm
 Temp: 48 Derajat Celcius
 Panjang: 1.42069983 mm
 Temp: 49 Derajat Celcius
 Panjang: 1.433500046 mm
 Temp: 49 Derajat Celcius
 Panjang: 1.484699961 mm
 Temp: 49 Derajat Celcius
 Panjang: 1.446300027 mm
 Temp: 49 Derajat Celcius
 Panjang: 1.459100005 mm
 Temp: 49 Derajat Celcius
 Panjang: 1.510299919 mm
 Temp: 49 Derajat Celcius
 Panjang: 1.535899874 mm
 Temp: 50 Derajat Celcius
 Panjang: 1.49749994 mm
 Temp: 50 Derajat Celcius
 Panjang: 1.471899983 mm
 Temp: 50 Derajat Celcius
 Panjang: 1.471899983 mm
 Temp: 50 Derajat Celcius
 Panjang: 1.49749994 mm
 Temp: 50 Derajat Celcius
 Panjang: 1.471899983 mm
 Temp: 50 Derajat Celcius
 Panjang: 1.535899874 mm
 Temp: 51 Derajat Celcius
 Panjang: 1.548699851 mm
 Temp: 51 Derajat Celcius
 Panjang: 1.510299919 mm
 Temp: 51 Derajat Celcius
 Panjang: 1.471899983 mm
 Temp: 52 Derajat Celcius
 Panjang: 1.523099896 mm
 Temp: 52 Derajat Celcius
 Panjang: 1.523099896 mm
 Temp: 52 Derajat Celcius
 Panjang: 1.548699851 mm
 Temp: 53 Derajat Celcius
 Panjang: 1.548699851 mm
 Temp: 53 Derajat Celcius
 Panjang: 1.510299919 mm
 Temp: 53 Derajat Celcius
 Panjang: 1.638299939 mm
 Temp: 53 Derajat Celcius
 Panjang: 1.727900024 mm
 Temp: 54 Derajat Celcius
 Panjang: 1.740700004 mm
 Temp: 54 Derajat Celcius
 Panjang: 1.76629996 mm
 Temp: 55 Derajat Celcius
 Panjang: 1.76629996 mm
 Temp: 55 Derajat Celcius
 Panjang: 1.791899915 mm
 Temp: 56 Derajat Celcius
 Panjang: 1.804699896 mm
 Temp: 56 Derajat Celcius
 Panjang: 1.779099937 mm
 Temp: 56 Derajat Celcius
 Panjang: 1.791899915 mm
 Temp: 57 Derajat Celcius
 Panjang: 1.817499872 mm
 Temp: 57 Derajat Celcius
 Panjang: 1.779099937 mm
 Temp: 57 Derajat Celcius
 Panjang: 1.663899894 mm
 Temp: 57 Derajat Celcius
 Panjang: 1.817499872 mm
 Temp: 58 Derajat Celcius
 Panjang: 1.791899915 mm
 Temp: 58 Derajat Celcius
 Panjang: 1.779099937 mm
 Temp: 58 Derajat Celcius
 Panjang: 1.76629996 mm
 Temp: 59 Derajat Celcius
 Panjang: 1.740700004 mm
 Temp: 59 Derajat Celcius
 Panjang: 1.779099937 mm
 Temp: 60 Derajat Celcius
 Panjang: 1.791899915 mm
 Temp: 60 Derajat Celcius
 Panjang: 1.804699896 mm
 Temp: 60 Derajat Celcius
 Panjang: 1.817499872 mm
 Temp: 60 Derajat Celcius
 Panjang: 1.791899915 mm
 Temp: 60 Derajat Celcius
 Panjang: 1.779099937 mm
 Temp: 60 Derajat Celcius
 Panjang: 1.855900047 mm
 Temp: 61 Derajat Celcius
 Panjang: 1.945499895 mm
 Temp: 61 Derajat Celcius
 Panjang: 1.958299872 mm
 Temp: 61 Derajat Celcius
 Panjang: 1.996700044 mm
 Temp: 61 Derajat Celcius
 Panjang: 1.932699915 mm
 Temp: 61 Derajat Celcius
 Panjang: 2.086299893 mm
 Temp: 61 Derajat Celcius
 Panjang: 2.073499915 mm
 Temp: 62 Derajat Celcius
 Panjang: 2.022300001 mm
 Temp: 62 Derajat Celcius
 Panjang: 2.047899958 mm
 Temp: 62 Derajat Celcius
 Panjang: 2.060699938 mm
 Temp: 62 Derajat Celcius
 Panjang: 2.03509998 mm
 Temp: 63 Derajat Celcius
 Panjang: 2.073499915 mm
 Temp: 64 Derajat Celcius
 Panjang: 2.022300001 mm
 Temp: 64 Derajat Celcius
 Panjang: 2.009500023 mm
 Temp: 64 Derajat Celcius
 Panjang: 2.099099987 mm
 Temp: 65 Derajat Celcius
 Panjang: 2.073499915 mm
 Temp: 65 Derajat Celcius
 Panjang: 2.073499915 mm
 Temp: 65 Derajat Celcius
 Panjang: 2.047899958 mm
 Temp: 65 Derajat Celcius
 Panjang: 2.047899958 mm
 Temp: 65 Derajat Celcius
 Panjang: 2.047899958 mm
 Temp: 66 Derajat Celcius
 Panjang: 2.124699828 mm

Temp: 66 Derajat Celcius	Panjang: 2.611099955 mm	Temp: 82 Derajat Celcius
Panjang: 2.09909987 mm	Temp: 75 Derajat Celcius	Panjang: 2.956699845 mm
Temp: 66 Derajat Celcius	Panjang: 2.623899932 mm	Temp: 82 Derajat Celcius
Panjang: 2.137500044 mm	Temp: 75 Derajat Celcius	Panjang: 3.110299584 mm
Temp: 66 Derajat Celcius	Panjang: 2.636699911 mm	Temp: 83 Derajat Celcius
Panjang: 2.163100001 mm	Temp: 75 Derajat Celcius	Panjang: 3.161499975 mm
Temp: 67 Derajat Celcius	Panjang: 2.611099955 mm	Temp: 83 Derajat Celcius
Panjang: 2.150300023 mm	Temp: 76 Derajat Celcius	Panjang: 3.161499975 mm
Temp: 67 Derajat Celcius	Panjang: 2.585499998 mm	Temp: 83 Derajat Celcius
Panjang: 2.342299935 mm	Temp: 76 Derajat Celcius	Panjang: 3.18709993 mm
Temp: 67 Derajat Celcius	Panjang: 2.419099806 mm	Temp: 83 Derajat Celcius
Panjang: 2.355099912 mm	Temp: 76 Derajat Celcius	Panjang: 3.084699628 mm
Temp: 67 Derajat Celcius	Panjang: 2.393499848 mm	Temp: 84 Derajat Celcius
Panjang: 2.303900001 mm	Temp: 76 Derajat Celcius	Panjang: 3.046299931 mm
Temp: 68 Derajat Celcius	Panjang: 2.636699911 mm	Temp: 84 Derajat Celcius
Panjang: 2.355099912 mm	Temp: 76 Derajat Celcius	Panjang: 3.18709993 mm
Temp: 69 Derajat Celcius	Panjang: 2.534299847 mm	Temp: 85 Derajat Celcius
Panjang: 2.316699979 mm	Temp: 77 Derajat Celcius	Panjang: 3.135900017 mm
Temp: 69 Derajat Celcius	Panjang: 2.623899932 mm	Temp: 85 Derajat Celcius
Panjang: 2.329499956 mm	Temp: 77 Derajat Celcius	Panjang: 3.059099672 mm
Temp: 69 Derajat Celcius	Panjang: 2.547099825 mm	Temp: 85 Derajat Celcius
Panjang: 2.367899892 mm	Temp: 77 Derajat Celcius	Panjang: 3.084699628 mm
Temp: 70 Derajat Celcius	Panjang: 2.57270002 mm	Temp: 86 Derajat Celcius
Panjang: 2.342299935 mm	Temp: 77 Derajat Celcius	Panjang: 3.059099672 mm
Temp: 70 Derajat Celcius	Panjang: 2.57270002 mm	Temp: 87 Derajat Celcius
Panjang: 2.316699979 mm	Temp: 77 Derajat Celcius	Panjang: 3.161499975 mm
Temp: 70 Derajat Celcius	Panjang: 2.559899803 mm	Temp: 86 Derajat Celcius
Panjang: 2.355099912 mm	Temp: 77 Derajat Celcius	Panjang: 3.18709993 mm
Temp: 71 Derajat Celcius	Panjang: 2.57270002 mm	Temp: 87 Derajat Celcius
Panjang: 2.329499956 mm	Temp: 78 Derajat Celcius	Panjang: 3.135900017 mm
Temp: 71 Derajat Celcius	Panjang: 2.867099759 mm	Temp: 87 Derajat Celcius
Panjang: 2.303900001 mm	Temp: 78 Derajat Celcius	Panjang: 3.059099672 mm
Temp: 72 Derajat Celcius	Panjang: 2.905499931 mm	Temp: 88 Derajat Celcius
Panjang: 2.355099912 mm	Temp: 78 Derajat Celcius	Panjang: 3.18709993 mm
Temp: 71 Derajat Celcius	Panjang: 2.790299889 mm	Temp: 88 Derajat Celcius
Panjang: 2.329499956 mm	Temp: 78 Derajat Celcius	Panjang: 3.148699758 mm
Temp: 72 Derajat Celcius	Panjang: 2.803099866 mm	Temp: 88 Derajat Celcius
Panjang: 2.355099912 mm	Temp: 78 Derajat Celcius	Panjang: 3.071899889 mm
Temp: 72 Derajat Celcius	Panjang: 2.803099866 mm	Temp: 90 Derajat Celcius
Panjang: 2.367899892 mm	Temp: 79 Derajat Celcius	Panjang: 3.18709993 mm
Temp: 72 Derajat Celcius	Panjang: 2.892699714 mm	Temp: 90 Derajat Celcius
Panjang: 2.329499956 mm	Temp: 79 Derajat Celcius	Panjang: 3.071899889 mm
Temp: 72 Derajat Celcius	Panjang: 2.892699714 mm	Temp: 90 Derajat Celcius
Panjang: 2.355099912 mm	Temp: 79 Derajat Celcius	Panjang: 3.071899889 mm
Temp: 72 Derajat Celcius	Panjang: 2.918299672 mm	Temp: 90 Derajat Celcius
Panjang: 2.367899892 mm	Temp: 80 Derajat Celcius	Panjang: 3.1230998 mm
Temp: 72 Derajat Celcius	Panjang: 2.803099866 mm	Temp: 90 Derajat Celcius
Panjang: 2.342299935 mm	Temp: 79 Derajat Celcius	Panjang: 3.084699628 mm
Temp: 72 Derajat Celcius	Panjang: 2.854300018 mm	Temp: 90 Derajat Celcius
Panjang: 2.393499848 mm	Temp: 79 Derajat Celcius	Panjang: 3.199899672 mm
Temp: 72 Derajat Celcius	Panjang: 2.815899845 mm	Temp: 89 Derajat Celcius
Panjang: 2.419099806 mm	Temp: 80 Derajat Celcius	Panjang: 3.18709993 mm
Temp: 72 Derajat Celcius	Panjang: 2.841499803 mm	Temp: 90 Derajat Celcius
Panjang: 2.406299827 mm	Temp: 80 Derajat Celcius	Panjang: 3.174299713 mm
Temp: 72 Derajat Celcius	Panjang: 2.841499803 mm	Temp: 91 Derajat Celcius
Panjang: 2.495899911 mm	Temp: 81 Derajat Celcius	Panjang: 3.443099973 mm
Temp: 72 Derajat Celcius	Panjang: 2.931099889 mm	Temp: 92 Derajat Celcius
Panjang: 2.598299978 mm	Temp: 81 Derajat Celcius	Panjang: 3.404699799 mm
Temp: 73 Derajat Celcius	Panjang: 2.867099759 mm	Temp: 92 Derajat Celcius
Panjang: 2.598299978 mm	Temp: 81 Derajat Celcius	Panjang: 3.353499884 mm
Temp: 72 Derajat Celcius	Panjang: 2.892699714 mm	Temp: 92 Derajat Celcius
Panjang: 2.547099825 mm	Temp: 81 Derajat Celcius	Panjang: 3.455899711 mm
Temp: 72 Derajat Celcius	Panjang: 2.777499911 mm	Temp: 94 Derajat Celcius
Panjang: 2.457499977 mm	Temp: 81 Derajat Celcius	Panjang: 3.32789993 mm
Temp: 72 Derajat Celcius	Panjang: 2.777499911 mm	Temp: 93 Derajat Celcius
Panjang: 2.585499998 mm	Temp: 81 Derajat Celcius	Panjang: 3.2638998 mm
Temp: 73 Derajat Celcius	Panjang: 2.905499931 mm	Temp: 93 Derajat Celcius
Panjang: 2.636699911 mm	Temp: 82 Derajat Celcius	Panjang: 3.455899711 mm
Temp: 73 Derajat Celcius	Panjang: 2.803099866 mm	Temp: 93 Derajat Celcius
Panjang: 2.623899932 mm	Temp: 82 Derajat Celcius	Panjang: 3.353499884 mm
Temp: 74 Derajat Celcius	Panjang: 2.803099866 mm	Temp: 94 Derajat Celcius
Panjang: 2.611099955 mm	Temp: 82 Derajat Celcius	Panjang: 3.302299973 mm
Temp: 73 Derajat Celcius	Panjang: 2.854300018 mm	Temp: 94 Derajat Celcius
Panjang: 2.585499998 mm	Temp: 82 Derajat Celcius	Panjang: 3.366299626 mm
Temp: 74 Derajat Celcius	Panjang: 2.867099759 mm	Temp: 94 Derajat Celcius

Panjang: 3.32789993 mm
Temp: 95 Derajat Celcius
Panjang: 3.315099714 mm
Temp: 94 Derajat Celcius
Panjang: 3.366299626 mm
Temp: 95 Derajat Celcius
Panjang: 3.32789993 mm
Temp: 95 Derajat Celcius
Panjang: 3.32789993 mm
Temp: 95 Derajat Celcius
Panjang: 3.379099844 mm
Temp: 96 Derajat Celcius
Panjang: 3.366299626 mm
Alfa: 0.000046728 /OC

