

**PEMBUATAN ALAT PENGUKUR MEDAN MAGNET BUMI  
DENGAN SENSOR FLUXGATE  
(FLUXGATE MAGNETOMETER)**

**SKRIPSI**

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Sains dalam bidang Fisika

Oleh :  
**MISBAHUL MUNIR**  
0001100145-93



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN  
ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2006**

# UNIVERSITAS BRAWIJAYA

*“... ambillah ilmu dari mana pun itu datangnya...”*

*(.....)*



***Tulisan ini kupersembahkan untuk :***

*Kedua Orangtuaku (Bapak Abar Suhari dan Alm. Ibu Zumrotun)*

*Saudara-saudaraku*

*dan untuk Dias*

**LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR**

**PEMBUATAN ALAT PENGUKUR MEDAN MAGNET BUMI  
DENGAN SENSOR FLUXGATE  
(FLUXGATE MAGNETOMETER)**

Oleh :  
**MISBAHUL MUNIR**  
0001100145-93

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji  
Pada Tanggal.....  
dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Sains dalam bidang Fisika

**Pembimbing I**

**Pembimbing II**

**Drs. Adi Susilo, PhD**  
NIP. 131 960 447

**Drs. Hari Arief .D, M.Eng**  
NIP. 132 125 706

**Mengetahui,**  
**Ketua Jurusan Fisika**  
**FMIPA Universitas Brawijaya**

**Drs. Heru Budiono, M.Sc**  
NIP. 131 653 822

## LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Misbahul Munir  
NIM : 0001100145-93  
Jurusan : Fisika  
Judul TA/Skripsi : Pembuatan Alat Pengukur Medan Magnet  
bumidengan Sensor Fluxgate (*Fluxgate  
magnetometer*)

Dengan ini menyatakan :

1. Isi dari Tugas Akhir yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain. Karya dari nama-nama dalam daftar pustaka, digunakan semata-mata sebagai acuan.
2. Apabila dikemudian hari ternyata Tugas Akhir yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya akan bersedia menanggung segala resiko yang saya akan terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, ..... 2006

Yang menyatakan,

Misbahul Munir  
NIM. 0001100145-93

## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir/Skripsi yang berjudul “Pembuatan Alat Pengukur Medan Magnet Bumi dengan Sensor Fluxgate (*Fluxgate Magnetometer*)”.

Penyusunan tugas akhir ditujukan sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains di bidang Fisika di Universitas Brawijaya Malang. Berakhirnya penyusunan ini, tidak lepas dari saran dan motivasi yang tiada henti dari pembimbing, keluarga dan teman-teman semua, sehingga sudah semestinya penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Bapak Drs. Adi Susilo, PhD. selaku pembimbing I yang telah banyak memberikan saran, masukan dan motivasi.
2. Bapak Drs. Hari Arief Dharmawan, M.Eng. selaku pembimbing II yang telah banyak memberikan koreksi, kritik membangun dan saran.
3. Bapak Drs. Heru Budiono, MSc. selaku ketua Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya.
4. Staf Pengajar dan Administrasi jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya.
5. Bapak, Ibuku dan semua saudaraku yang telah banyak mendoakan dan memberikan bantuan yang tidak ternilai.
6. Dhee2ku, yang gk pernah bosan ngasih semangat dan motivasi
7. Teman-teman physics 2000 yang kompak abis baik dalam kebaikan dan kejahatan,he..he...

Penulis menyadari dalam penulisan ini terdapat beberapa kesalahan yang tidak disadari dan jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu, kritik dan saran dari pembaca selalu terbuka lebar bagi penulis.

Akhirnya, penulis berharap bahwa apa yang selama ini telah dikerjakan mempunyai arti bagi para pembaca pada umumnya dan mahasiswa Fisika pada khususnya.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Malang, Juli 2006

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	viii
<b>ABSTRAK</b> .....	ix

### **BAB I PENDAHULUAN**

1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan Penelitian .....	2
1.4. Manfaat Penelitian .....	2
1.5. Batasan Masalah .....	3

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

2.1. Medan Magnet Bumi .....	4
2.1.1. Medan Magnet Utama .....	5
2.1.2. Medan Magnet Luar .....	7
2.1.3. Medan Magnet Lokal .....	8
2.2. Hukum Ampere .....	8
2.3. Fluks Magnetik dan Kerapatan Fluks .....	10
2.4. Rangkaian Magnetik .....	11
2.5. Sensor Fluxgate .....	12
2.6. Penguat Operasional .....	14
2.6.1. Penguat Membalik .....	15
2.6.2. Penguat Tak Membalik .....	15

2.6.3. Penguat Penjumlahan.....	16
2.7. Analog to Digital Converter (ADC) .....	17
2.7. <i>Seven Segment</i> .....	17

### **BAB III METODOLOGI**

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian.....	19
3.2. Perancangan Alat.....	19
3.2.1. Perancangan Hardware .....	19
3.2.1.1 Osilator/Pembangkit Frekuensi.....	19
3.2.1.2. Buffer .....	20
3.2.1.3. Sensor Fluxgate.....	22
3.2.1.4. Pengkondisi Sinyal.....	24
3.2.1.5. ADC .....	26
3.2.1.6. Mikrokontrol .....	28
3.2.1.7. Penampil / Display .....	29
3.2.2. Perancangan Software.....	30
3.3. Analisa dan pengujian .....	33
3.3.1. Sensor Fluxgate.....	33
3.3.2. Pengkondisi Sinyal.....	34
3.3.3. ADC .....	35

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1. Sensor Fluxgate Magnetometer .....	37
4.2. Pengkondisi Sinyal .....	40
4.3. Rangkaian Digital .....	45



## **BAB V Penutup**

5.1. Kesimpulan.....	49
5.2. Saran.....	49

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>50</b>
-----------------------------	-----------

<b>Lampiran A .....</b>	<b>51</b>
-------------------------	-----------

<b>Lampiran B .....</b>	<b>54</b>
-------------------------	-----------

<b>Lampiran C .....</b>	<b>68</b>
-------------------------	-----------



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1.</b>	Bumi Sebagai Benda Magnet.....	5
<b>Gambar 2.2.</b>	Komponen-Komponen Medan magnet Bumi .	6
<b>Gambar 2.3.</b>	Solenoid Berarus Listrik I .....	9
<b>Gambar 2.4.</b>	Medan Magnet dan GGL yang Ditimbulkan...	13
<b>Gambar 2.5.</b>	Lambang Op Amp.....	14
<b>Gambar 2.6.</b>	Skema Penguat Membalik.....	15
<b>Gambar 2.7.</b>	Skema Penguat Tak Membalik .....	16
<b>Gambar 2.8.</b>	Kombinasi LED <i>sevensegment</i> .....	18
<b>Gambar 3.1.</b>	Blok Diagram Fluxgate Magnetometer.....	19
<b>Gambar 3.2.</b>	Rangkaian Pembangkit Sinyal dengan IC XR2206 .....	20
<b>Gambar 3.3.</b>	Rangkaian Buffer .....	21
<b>Gambar 3.4.</b>	Konstruksi Koil Fluxgate .....	23
<b>Gambar 3.5.</b>	Rangkaian Pengkondisi Sinyal.....	26
<b>Gambar 3.6.</b>	Rangkaian ADC-0809 .....	27
<b>Gambar 3.7.</b>	Rangkaian Mikrokontroler AT89S51.....	28
<b>Gambar 3.8.</b>	Rangkaian Penampil dengan 8 buah <i>sevensegment</i> .....	30
<b>Gambar 3.9.</b>	Diagram alir program pengontrol ADC .....	31
<b>Gambar 3.10.</b>	Diagram Alir Program perhitungan.....	32
<b>Gambar 3.11.</b>	Diagram Alir Program Keseluruhan.....	32
<b>Gambar 3.12.</b>	Rangkaian Uji Pengkondisi Sinyal.....	35
<b>Gambar 3.13.</b>	Rangkaian Uji ADC .....	36

**Gambar 4.1.** Grafik Hasil Uji Tegangan dengan Medan Magnet yang Menimbulkannya..... 39

**Gambar 4.2.** Rangkaian Pembagi Tegangan ..... 41

**Gambar 4.3.** Skema Rangkaian Penguat Inverting Tahap I. 42

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 4.1.</b>	Data hasil pengukuran tegangan pada sense coil sensor fluxgate.....	37
<b>Tabel 4.2.</b>	Data hasil medan magnet hitung dari tegangan terukur pada sense coil sensor fluxgate .....	38
<b>Tabel 4.3.</b>	Data hasil pengujian penguat tahap I.....	42
<b>Tabel 4.4.</b>	Tabel data hasil pengujian penguat tahap II.....	44
<b>Tabel 4.5.</b>	Tabel data hasil pengujian penguat total .....	44



**PEMBUATAN ALAT PENGUKUR MEDAN MAGNET BUMI  
DENGAN SENSOR FLUXGATE  
(FLUXGATE MAGNETOMETER)**

Misbahul Munir (0001100145-93)

**ABSTRAK**

Telah dibuat sebuah alat ukur medan magnet dengan menggunakan sensor *Fluxgate*. Prinsip kerja sensor fluxgate adalah mengukur tegangan yang ditimbulkan oleh selisih medan magnet dari kedua inti, dimana medan magnet tersebut berubah-ubah dengan frekuensi 1000 Hz. Secara teoritis medan magnet dapat dihitung dari

$$\text{persamaan } V = -N \frac{\partial \phi}{\partial t}.$$

Pengujian sensor dilakukan dengan mengukur medan magnet pada range 0.005 *mT* sampai dengan 0.040*mT*. Dari hasil pengujian tersebut didapat kan persamaan konversi empirik dari tegangan ukur menjadi besar medan magnet  $V=111,05B+0,0201$ , dengan tingkat presisi 97,6%.

Dengan menggunakan ADC 0809 dan mikrokontroler AT89S51, data tegangan diolah dan ditampilkan dengan 8 buah sevensegmen berupa besaran medan magnet yang terukur.

**MAKING EARTH MAGNETIC FIELD MEASUREMENT DEVICE  
USING FLUXGATE SENSOR  
(FLUXGATE MAGNETOMETER)**

Misbahul Munir (0001100145-93)

**ABSTRACT**

A magnetic field measurement device using fluxgate sensor has been made in this research. The basic principle of the fluxgate sensor is to measure the voltages produced by magnetic field difference in both cores. The magnetic field changes periodically at frequency of 1000 Hz. Theoretically, magnetic field can be calculated

by equation  $V = -N \frac{\partial \phi}{\partial t}$ .

Magnetic field between 0,005 *mT* until 0,040 *mT* was measured in order to examine the sensor. From the examination, an empiric equation of measured voltage was attained, i.e  $V=111,05B+0,0201$ , with precisian level of 97,6%.

By using ADC 0809 and microcontroller AT89S51, voltage data can be processed and dispayed on 8 sevensegmens as measured magnetic field.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Geofisika adalah salah satu cabang ilmu pengetahuan yang mempelajari seluk beluk bumi dengan menggunakan metode-metode fisika. Beberapa metode fisika yang sering digunakan dalam geofisika adalah metode seismik, metode gaya berat, metode listrik, dan metode magnetik.

Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya memiliki beberapa program Keahlian dan Bidang Minat (KBM), salah satunya adalah Geofisika. Ada beberapa kendala yang dihadapi oleh jurusan Fisika dalam memberikan materi-materi Geofisika antara lain dalam mengadakan workshop-workshop dan praktikum geofisika. Salah satu kendala yang sering dirasakan adalah keterbatasan alat-alat praktikum geofisika seperti tidak adanya resistivity meter, magnetometer, dan sebagainya.

Penelitian ini merancang dan membuat suatu alat ukur medan magnet yang bisa digunakan untuk mengukur medan magnet bumi. Sesuai dengan besar medan magnet yang akan diukur, yaitu medan magnet bumi maka magnetometer ini dirancang untuk bisa mengukur perubahan variasi medan magnet yang cukup kecil, yaitu perubahan medan magnet pada orde nano *tesla* (nT).

Untuk mengukur medan magnet dengan variasi perubahan yang cukup kecil (nT), biasanya digunakan sensor-sensor medan magnet yang memiliki sensitifitas cukup tinggi yaitu magnetoresistif, sensor fluxgate, dan Nuclear Magneto Resonance (NMR). Dalam penelitian kali ini sensor yang digunakan adalah sensor fluxgate karena selain memungkinkan untuk dibuat, magnetometer dengan sensor fluxgate baik digunakan untuk pengamatan medan magnet dengan pengamat bergerak.

Selain beberapa pertimbangan di atas, pertimbangan utama pemakaian sensor fluxgate karena sensor ini memiliki sensitivitas yang cukup tinggi tergantung dari desainnya. Maksudnya dalam perancangan bisa ditentukan besarnya medan magnet paling kecil

yang bisa diukur. Sensor fluxgate ini juga memiliki prinsip kerja dan konstruksi yang sederhana untuk dibuat.

Prinsip kerja sensor fluxgate didasarkan pada kejenuhan inti dari rangkaian magnetik. Dua buah batang dari bahan *ferromagnetic* sebagai inti dipasang berjajar pada jarak yang cukup dekat. Bahan *ferromagnetic* memiliki *susceptibilitas* yang tinggi, sehingga dengan adanya pengaruh medan magnet bumi yang cukup kecil dapat menghasilkan kejenuhan pada bahan tersebut.

## 1.2 Perumusan Masalah

1. Bagaimana merancang Sensor Fluxgate dengan besaran-besaran yang sesuai dengan besar medan yang akan diukur.
2. Bagaimana merancang dan membuat pembangkit frekuensi sebagai driver Sensor Fluxgate dengan frekuensi, tegangan dan arus keluaran sesuai dengan yang dibutuhkan Sensor Fluxgate.
3. Bagaimana merancang suatu alat yang dapat merubah data analog dari sensor tersebut menjadi data digital.
4. Bagaimana membuat perangkat lunak untuk mengambil data tersebut dan mengolahnya serta menampilkannya dalam bentuk nilai medan magnet dalam *tesla* atau sejenisnya dalam bentuk angka pada *sevensegment*.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Membuat *Fluxgate Magnetometer* yang dapat digunakan untuk mengukur medan magnet bumi pada suatu daerah tertentu dengan tampilan berupa angka *sevensegment*.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Penyediaan alat ukur medan magnet dapat digunakan untuk mengukur variasi medan magnet bumi dan dapat digunakan untuk menunjang praktikum survei geomagnetik.

Membantu lembaga terkait dalam menyediakan informasi besarnya medan magnet bumi pada suatu daerah bagi mereka yang membutuhkan.



## 1.5 Batasan Masalah

1. Sensor yang digunakan yaitu sensor medan magnet dengan prinsip *Fluxgate*.
2. Mengukur besar suatu medan magnet tetapi tidak menentukan arah medan magnet.
3. Sensor fluxgate yang digunakan hanya memiliki satu sumbu ukur.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Medan Magnet Bumi

Bumi dapat dipandang sebagai suatu magnet besar yang bersifat dipole, dengan sumbu magnetik yang tidak berimpit dengan sumbu geografis bumi. Sumbu magnetik membentuk sudut  $11,5^{\circ}$  dengan sumbu perputaran bumi (Gambar 2.1). Sumbu-sumbu dipole terletak pada dua titik, yaitu utara terletak pada  $78,5^{\circ}$  N ;  $70^{\circ}$  W (sebelah barat Greenland) dan selatan terletak pada  $78,5^{\circ}$  S;  $110^{\circ}$  E (di Antartika). Garis fiktif pada permukaan bumi yang terletak di tengah-tengah antara dua kutub disebut ekuator geomagnet. Ekuator geomagnet sendiri didefinisikan sebagai garis penghubung titik-titik dengan inklinasi sama dengan nol. Pada permukaan bumi, jarum magnet bebas untuk berputar dan mengorientasikan dirinya sesuai dengan arah medan magnet di tempat itu. Sudut yang terbentuk antara jarum magnet dengan garis mendatar disebut garis inklinasi. Sudut yang terbentuk antara garis utara geografis dengan garis utara magnetik disebut sudut deklinasi.

Medan magnet didefinisikan sebagai garis-garis gaya magnet pada permukaan bumi dari kutub selatan menuju utara bumi. Medan magnet (flux) berarah vertikal pada daerah kutub utara dan selatan serta horisontal di ekuator. Beberapa teori menganggap inti bumi tersusun atas besi dan nikel, dua material yang dikenal sebagai konduktor yang baik. Apapun penyusun inti bumi, sumber magnetik merupakan dinamo berkonduktivitas tinggi dan bergerak dengan mekanisme yang kompleks, seperti arus listrik. Hal ini bisa jadi disebabkan oleh unsur atau senyawa kimia dan variasi termal beserta alirannya. Kombinasi gerak dan arus tersebut menyebabkan terjadinya medan magnet (Telford, 1982).

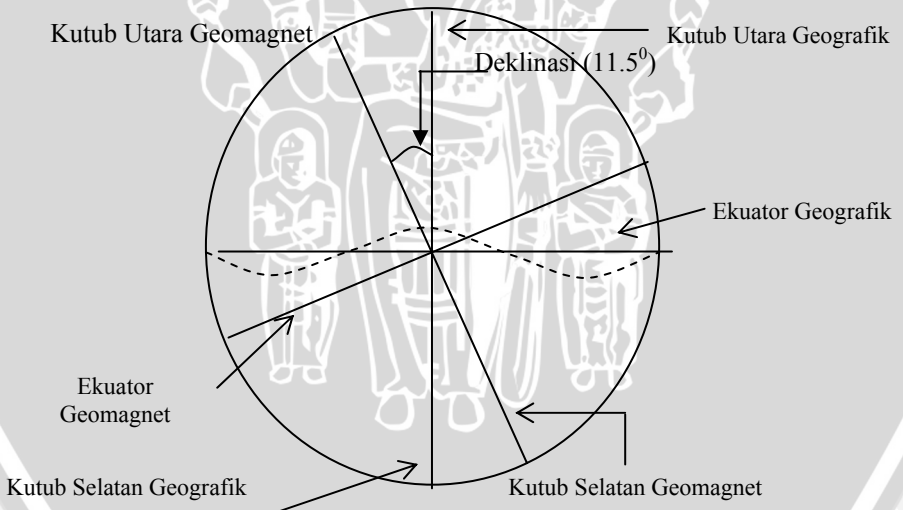
Medan magnetik bumi yang terdeteksi dalam alat ukur metode magnetik merupakan sumbangan dari tiga macam unsur medan magnet yang ada dalam bumi, yaitu medan magnet utama, medan magnet luar dan medan magnet lokal (Dobrin, 1988).

## 2.1.1 Medan Magnet Utama

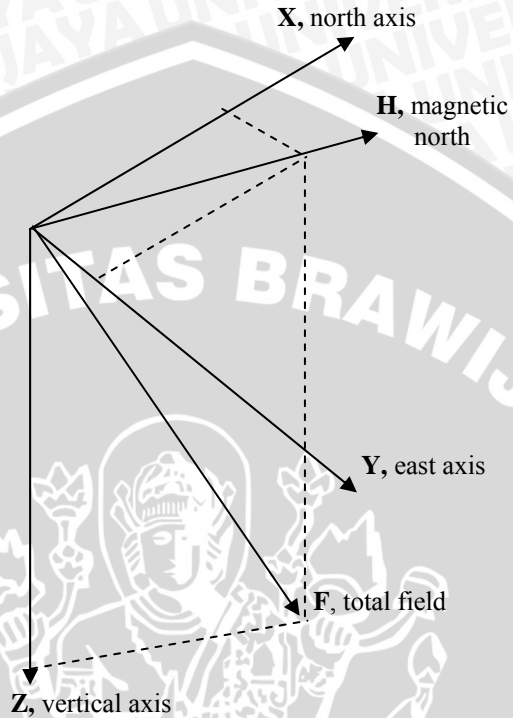
Medan magnet utama didefinisikan sebagai medan yang ditentukan oleh pengukuran rata-rata dalam waktu satu tahun dan pada luasan  $10^6 \text{ km}^2$ . Proses rata-rata ini tidak menghilangkan beberapa medan periodik yang berasal dari luar, demikian juga spektrum panjang gelombang dari medan magnet utama dan medan magnet lokal.

Medan magnetik bumi mempunyai arah yang sembarang, sehingga hanya dapat diuraikan komponen-komponennya yang dapat dilihat pada Gambar 2.2.

Komponen medan utama terdiri dari magnitudo medan  $F$ , sudut inklinasi  $I$  dengan horisontal, sudut deklinasi  $D$  dengan utara geografis. Selain  $D$  dan  $I$ , dalam geofisika eksplorasi, medan utama sering juga dinyatakan dalam komponen tegak  $V$  atau  $Z$  yang bernilai positif jika arahnya ke bawah, dan komponen datar  $H$  yang selalu bernilai positif atau dinyatakan dalam komponen-komponen  $x$ ,  $y$ , dan  $z$ . (Dobrin, 1988)



**Gambar 2.1.** Bumi sebagai benda Magnet



**Gambar 2.2.** Komponen-komponen Medan Magnetik Bumi

Dari Gambar 2.2 dapat diperoleh rumusan :

$$F^2 = H^2 + Z^2 = X^2 + Y^2 + Z^2$$

$$H = F \cos I \quad Z = F \sin I \quad \text{tg } I = Z / H$$

$$X = H \cos D \quad Y = H \sin D \quad \text{tg } D = Y / X$$

Gambaran umum pola penyebaran setiap komponen medan magnet bumi disebut *Isomagnetik Chart*. Peta kontur deklinasi (*D*) disebut *Isogonict Chart*. Peta kontur inklinasi (*I*) disebut *Isoclinic Chart* dan peta kontur utama bumi (*T*) yang merupakan perhitungan secara teoritis biasa disebut *Isodynamics Chart*.

Medan magnetik utama ini tidak konstan dalam waktu namun perubahannya juga relatif lamban sebab perubahan tersebut

berasal dari perubahan internal dalam bumi, yang dapat dihubungkan dengan perubahan arus konveksi dalam inti bumi, perubahan *coupling* inti mantel bumi dan perubahan laju perputaran bumi. Variasi sekular ini mempunyai sifat regional dan bukan terjadi di seluruh dunia. Untuk mengetahui perubahan nilai medan magnet utama di setiap tempat maka dilakukan pengukuran nilai magnetik di beberapa tempat oleh suatu badan penelitian dunia dan selalu diperbaharui setiap lima tahun sekali (Dobrin, 1988).

Dalam pengukuran medan magnet bumi, satuan yang dipakai dalam fisika terlalu besar. Karena variasi medan magnet yang diukur mempunyai orde  $10^{-4}$  medan magnet utama bumi yang ordenya 0,5 oersted, maka dalam geofisika eksplorasi kekuatan medan atau intensitas magnetik satuannya adalah *gamma*( $\gamma$ ).

$$1 \gamma = 10^{-5} \text{ oersted}$$

(Srijatno, 1981).

Besarnya medan magnet utama di kutub utara 60.000 gamma, sedangkan di kutub selatan sekitar 70.000 gamma. Di Indonesia belahan utara ekuator sekitar 40.000 gamma dan di belahan selatan ekuator sekaran sekitar 45.000 gamma (Dobrin, 1988).

## 2.1.2 Medan Magnet Luar

Medan magnet ini merupakan bagian kecil dari medan magnetik bumi, yaitu kira-kira 1% dari medan magnet bumi. Sumber medan magnet ini berasal dari luar bumi, berhubungan dengan arus listrik yang mengalir dalam lapisan terionisasi atmosfer luar yang ditimbulkan oleh sinar ultraviolet dari matahari.

Perubahan medan magnet luar terhadap waktu jauh lebih cepat daripada medan magnet utama. Perubahan ini berupa siklus dengan periode 11 tahun yang berkorelasi dengan aktivitas matahari yang mempunyai garis lintang. Perubahan lainnya mempunyai periode 24 jam ( variasi harian) dengan rentang 30 gamma dan berubah menurut garis lintang serta musim yang kemungkinan dikontrol oleh aksi matahari pada arus ionosfir. Juga ada perubahan yang berperiode 25 jam (variasi harian) dengan rentang kira-kira 2 gamma yang diasosiasikan dengan interaksi bulan. Selain perubahan

permanen juga ada perubahan acak yang disebabkan oleh badai magnetik, yaitu gangguan yang transien dengan amplitudo sebesar 1000 gamma dalam semua garis lintang. Pada puncak badai magnetik, praktis pengukuran batuan dengan metode magnetik tidak dapat dilakukan. Selain timbulnya sinyal dalam alat ukur untuk menunjukkan telah terjadi badai magnetik, ciri alam yang bisa jadi indikasi adalah terjadinya petir atau guntur yang menggelegar. Badai magnetik ini berlangsung dalam beberapa detik atau paling lama beberapa menit (Dobrin, 1988).

### 2.1.3 Medan Magnet Lokal

Sumber dari medan anomali magnet lokal adalah batuan yang berada di dekat kerak bumi yang termagnetisasi dan kemagnetannya remanen. Adanya medan magnet lokal ini menyebabkan perubahan dalam medan utama, biasanya mempunyai nilai yang jauh lebih kecil daripada medan utama dan relatif konstan terhadap waktu dan tempat. Perubahan ini dapat dihubungkan dengan perubahan kandungan mineral magnetik dalam batuan dekat permukaan (Dobrin, 1988).

## 2.2 Hukum Ampere

Hukum integral ampere menyatakan bahwa *“Integral garis  $H$  sepanjang lintasan tertutup sama dengan arus searah yang dilingkupi oleh lintasan tersebut”*

$$\oint H \cdot dl = I \quad (2.1)$$

Dalam menggunakan hukum ampere seperti yang dinyatakan dalam persamaan (2.1), digunakan suatu aturan, yaitu :

*Arus  $I$  positif jika arah aliran sesuai dengan arah majunya skrup putar kanan jika skrup dalam arah lintasan tertutup yang dijalani.*

Untuk suatu solenoid dengan  $N$  buah lilitan dengan dialiri arus  $I$ , maka hal ini dapat dipandang sebagai suatu bidang datar berarus listrik  $I$ . Besar intensitas medan magnet didalam solenoid dapat dicari dengan menggunakan hukum ampere.

Penggunaan Hukum Ampere pada lintasan **ABCD** memberikan hasil :

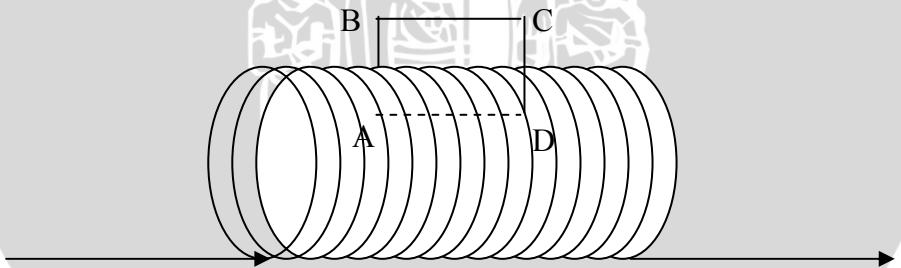
$$\int_{ab} H_1 \cdot dl_1 + \int_{bc} H_2 \cdot dl_2 + \int_{cd} H_3 \cdot dl_3 + \int_{da} H_4 \cdot dl_4 = I \quad (2.2)$$

di mana masing-masing lintasan memberikan harga sebagai berikut:

1. Untuk lintasan **AB** dan **CD** keduanya memberikan harga nol. Ini dikarenakan pada lintasan ini medan magnet yang ditimbulkan oleh sistem solenoid tegak lurus dengan lintasan.
2. Pada lintasan **DA**, memberikan harga yang tidak sama dengan nol.
3. Pada lintasan **BC**, memberikan hasil nol. Ini dikarenakan medan magnet yang ditimbulkan oleh bagian atas solenoid ditiadakan oleh bagian bawah solenoid. dan setiap kita melihat bagian tertentu, selalu ada bagian lain yang meniadakan sehingga resultannya adalah selalu nol. Akhirnya yang tersisa pada bagian **DA** saja, sehingga diperoleh:

$$H \cdot dl = I$$

Jika  $I = K \cdot d$ , maka:  $H \cdot d = K \cdot d$ , atau  $K = H$ , dengan  $K = \frac{I}{d}$



**Gambar 2.3.** Solenoid Berarus Listrik I

Jika solenoid mempunyai N buah lilitan dan dialiri arus yang sebesar **i**, maka intensitas medan magnetnya adalah :

$$H = \frac{N.i}{d} z \quad (2.4)$$

dengan  $d$  adalah panjang solenoid

Jika suatu solenoid dibengkokkan sehingga kedua ujung-ujungnya berhubungan, maka sistem ini disebut toroid. Intensitas medan magnet didalam toroid ini dapat dicari dengan menggunakan persamaan untuk solenoid dengan mengambil panjang " $d$ " sebesar keliling rata-rata Toroid. Jika jari-jari rata-rata toroid adalah  $r$ , maka intensitas medan magnet didalam toroid adalah :

$$H = \frac{N.i}{2.\pi.r} \phi \quad (2.5)$$

(Budiono, 1995)

### 2.3 Fluks Magnetik Dan Kerapatan Fluks

Kerapatan fluks magnetik  $B$  dalam ruang hampa didefinisikan sebagai :

$$B = \mu_0.H \quad (2.6)$$

di mana  $B$  diukur dalam weber per meter persegi ( $\text{Wb/m}^2$ ) atau dalam satuan yang lebih baru dipakai dalam Satuan Internasional disebut Tesla (T). Satuan yang sering dipakai untuk kerapatan fluks magnetik ialah Gauss (G) di mana  $1 \text{ Wb/m}^2$  sama dengan  $10.000 \text{ G}$ . Tetapan  $\mu_0$  bukan besaran yang tak berdimensi dan harganya didefinisikan untuk ruang hampa dalam satuan henry per meter (H/m),

$$\mu_0 = 4\pi.10^{-7} \text{ H/m} \quad (2.7)$$

$\mu_0$  disebut sebagai *permeabilitas* ruang hampa (Hayt,1995).

Kita harus memperhatikan bahwa karena  $H$  diukur dalam ampere per meter, sedangkan  $B$  diukur dalam weber per meter persegi sama dengan perkalian henry dengan ampere per meter persegi. Untuk medan yang berubah terhadap waktu, maka dapat diperhatikan bahwa weber setara dengan perkalian volt dengan detik.

Fluks magnetik ( $\Phi$ ) didefinisikan sebagai :



$$\phi = \int B.ds \quad (2.8)$$

dengan satuan weber. Bentuk ini bersesuaian dengan dengan bentuk  $\phi = \int E.ds$  dalam medan listrik.

Kita tahu bahwa untuk medan magnet yang disebabkan oleh arus dari suatu filamen konduktor panjang, medan  $H$ -nya berbentuk lingkaran-lingkaran berpusat di sekitar filamen. Karena  $B = \mu_0.H$ , maka rapat fluks  $B$  berbentuk serupa dengan  $H$ . Garis fluks magnetik selalu tertutup dan tidak berakhir pada “muatan magnetik” karena dalam medan magnet tidak dikenal adanya monopole magnetik (Budiono, 1995).

## 2.4 Rangkaian Magnetik

Sebuah rangkaian yang terdiri dari suatu bahan yang dikelilingi oleh kumparan torida dengan  $N$  lilitan yang dialiri arus  $I$ . Dengan penerapan hukum rangkaian Ampere pada lintasan yang mengikuti rangkaian tersebut adalah :

$$\oint H.dl = N.I \quad (2.9)$$

Akan lebih mudah jika  $H$  di setiap titik dalam lintasan itu dinyatakan dalam fluks magnet  $\Phi$ . Dengan menggunakan  $B = \mu.H$  dan  $\phi = B.A$ , dengan  $A$  sebagai luas penampang melintasi rangkaian di titik yang ditinjau, kita peroleh :

$$\oint \frac{\phi.dl}{\mu.A} = N.I \quad (2.10)$$

$\Phi$  dianggap sama pada setiap titik dalam rangkaian, oleh karena itu  $\Phi$  dapat dikeluarkan dari tanda integral :

$$\phi \oint \frac{dl}{\mu.A} = N.I \quad (2.11)$$

Dari persamaan di atas memungkinkan kita untuk menentukan fluks  $\Phi$  dalam bentuk parameter rangkaian. Persamaan di atas serupa dengan persamaan untuk suatu rangkaian arus listrik seri, yaitu

$V = I.R$ . Berdasarkan analogi ini, kita definisikan gaya gerak magnet (ggm):

$$ggm = N.I \quad (2.12)$$

dan reluktansi  $R$

$$R = \oint \frac{dl}{\mu.A} \quad (2.13)$$

dengan definisi tersebut maka persamaan (3.1) dapat ditulis sebagai :

$$\phi = \frac{ggm}{R} \quad (2.14)$$

(Reitz, 1993)

## 2.5 Sensor Fluxgate

Sensor fluxgate didasarkan pada saat rangkaian magnet dalam keadaan saturasi. Dua batang bahan ferromagnetik ditempatkan berdekatan. Suseptibilitas bahan itu cukup besar sehingga setiap ada *event* pada medan magnet bumi akan dapat mempengaruhi kesetimbangan kedua bahan.

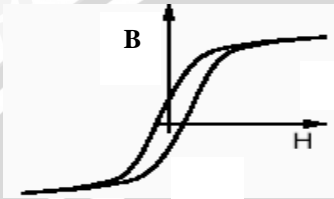
Masing-masing bahan ferromagnetik dililit dengan lilitan primer dengan jumlah lilitan yang sama tetapi dengan arah yang berlawanan. Sinyal bolak-balik dilewatkan melalui lilitan tersebut sehingga akan menghasilkan medan magnet yang akan menginduksi kedua bahan menjadi dua buah magnet batang dengan besar yang sama tetapi dengan arah yang berlawanan.

Lilitan sekunder dililitkan di luar kedua bahan dan lilitan primer. Medan magnet dari inti akan menghasilkan potensial tegangan di kedua ujung lilitan sekunder. Pada saat tidak ada medan luar (jika bumi tidak mempunyai medan magnet), idealnya pada kedua ujung lilitan sekunder tidak ada beda potensial, karena medan kedua inti saling meniadakan. Pada saat ada medan luar yang mengganggu, maka salah satu besar medan inti akan berubah, dan selisih keduanya adalah sama dengan medan magnet luar pengganggu. Dengan demikian, pada kedua ujung lilitan sekunder

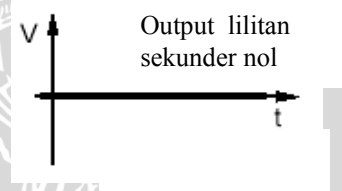
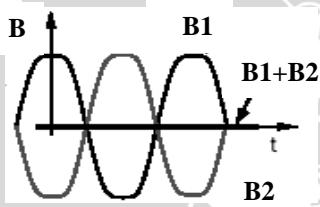
akan terdapat beda potensial yang besarnya sebanding dengan besar medan magnet luar.

[http://www.earthsci.unimelb.edu.au/ES304/MODULES/MAG/NO\\_TES/fluxgate.html](http://www.earthsci.unimelb.edu.au/ES304/MODULES/MAG/NO_TES/fluxgate.html)

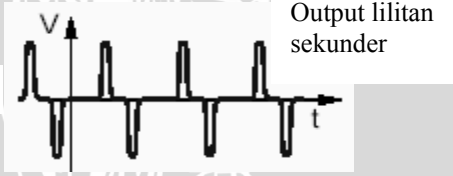
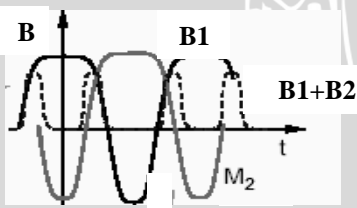
Kurva Hhysterisis bahan ferromagnetik :



Pada saat tidak ada medan magnet luar



Saat ada medan magnet luar

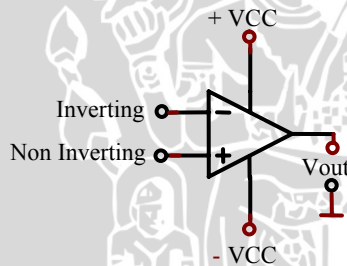


**Gambar 2.4.** Medan Magnet dan GGL yang ditimbulkan (Jain,2003)

## 2.6 Penguat Operasional

Penguat operasional atau Op-Amp (*Operational Amplifier*) adalah penguat differensial dengan dua masukan dan satu keluaran yang mempunyai penguatan tegangan yang sangat tinggi, yaitu dalam orde  $10^5$ . Dengan penguatan yang amat tinggi ini, penguat operasional dengan rangkaian balikan lebih sering digunakan daripada dalam lingkaran terbuka.

Op-amp memiliki dua jalan masukan, yaitu jalan masukan membalik (*Inverting*) yang biasanya diberi tanda (-), dan jalan masukan tak membalik (*Non-Inverting*), dan diberi tanda (+). Jika isyarat masukan dihubungkan dengan jalan masukan membalik, maka pada isyarat keluaran berlawanan fasa atau berlawanan tanda dengan isyarat masukannya. Sebaliknya, jika isyarat masukan dihubungkan dengan jalan masukan tak membalik maka isyarat keluaran akan sefasa atau memiliki tanda yang sama dengan isyarat masukan. Lambang dari Op-Amp dapat dilihat pada Gambar 2.5:

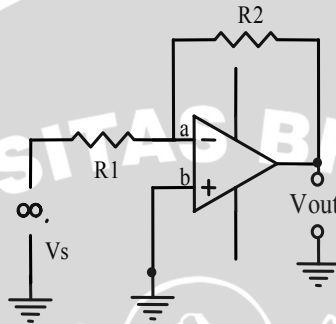


**Gambar 2.5.** Lambang Op-Amp  
( Sutrisno, 1987)

Dalam lingkaran terbuka (tanpa balikan), penguat operasional mempunyai penguatan yang sangat tinggi, maka untuk mendapatkan penguatan sesuai yang diinginkan, digunakan rangkaian balikan (ikal tertutup), biasanya digunakan resistor yang dipasang antara jalan keluaran dengan masukan membalik ( Sutrisno, 1987).

### 2.6.1 Penguat membalik

Sumber isyarat dihubungkan dengan terminal membalik (inverting), seperti terlihat pada Gambar 2.6:



**Gambar 2.6.** Skema Penguat Membalik

Terminal membalik berada pada pertanahan semu yang berarti tegangan terhadap tanah mendekati nol. Tetapi karena pertanahan semu tidak dapat melepaskan arus, maka arus input didorong melalui  $R_2$ . Akibatnya:

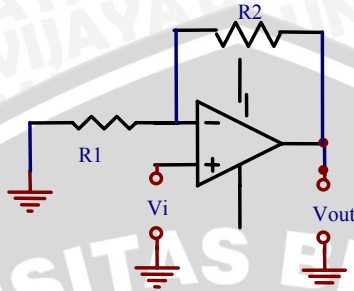
$$\begin{aligned} V_{in} &= I_{in} R_1 \\ V_{out} &= -I_{in} R_2 \end{aligned} \quad (2.15)$$

Tanda minus terjadi karena inversi. Dengan mengambil rasio kedua persamaan diatas, diperoleh penguatan tegangan:

$$\frac{V_{OUT}}{V_{in}} = -\frac{R_2}{R_1} \quad (2.16)$$

### 2.6.2 Penguat tak membalik

Pada penguat jenis ini isyarat masukan diumpankan pada isyarat masukan tak membalik (+). Balikan melalui  $R_2$  dan  $R_1$  tetap dipasang pada masukan membalik agar membentuk balikan negatif. Skema penguat tak membalik terlihat pada Gambar 2.7:



**Gambar 2.7.** Skema Penguat Tak Membalik

Penguat tak-membalik (Non-inverting amplifier) mempunyai impedansi input yang tinggi, karena isyarat masukan terhubung langsung dengan masukan tak membalik (semu) dan memiliki impedansi output yang rendah. Penguatan tegangan yang stabil diberikan dengan persamaan :

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_2}{R_1} + 1 \quad (2.17)$$

(Malvino,1992).

### 2.6.3 Penguat penjumlah

Penguat penjumlah merupakan pengembangan dari penguat inverting (membalik). Terminal inverting berada dalam keadaan tertanahkan (semu) melalui terminal non-inverting. Sehingga semua arus input ( $i_1, i_2, i_3$ ) langsung menuju terminal inverting. Jumlah ketiga arus tersebut seolah-olah diteruskan oleh  $R_4$  karena pada pertanahan semu tidak bisa meneruskan arus sehingga :

$$V_{out} i_{total} R_4 = (i_1 + i_2 + i_3) R_4$$

## 2.7 Analog to digital Converter (ADC)

Untuk dapat mengukur dan mengolah suatu variabel fisis yang umumnya bersifat analog dengan suatu peralatan digital, maka variabel tersebut harus terlebih dahulu diubah ke dalam bentuk digital. Pekerjaan pengubahan ini dilakukan oleh peralatan konverter analog ke digital (*Analog to Digital Conversion, ADC*). Parameter yang dominan yang menentukan untuk sebuah ADC di antaranya adalah: kesalahan kuantisasi, ketidak linieran, kode hilang (*Missing Code*), dan waktu konversi (*Conversion Time*).

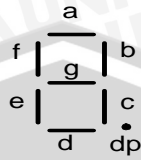
Kesalahan kuantisasi suatu ADC berhubungan langsung dengan jumlah bit yang dimilikinya, dan besar maksimumnya adalah  $\frac{1}{2}$  LSB. Kesalahan ini dapat diperkecil dengan menambah posisi biner.

Waktu konversi ADC adalah waktu yang diperlukan ADC untuk menghasilkan kode biner yang valid dari tegangan masukan analog yang diberikan. Sebuah konverter dikatakan berkecepatan tinggi apabila mempunyai waktu konversi yang pendek (Santoso, 1999).

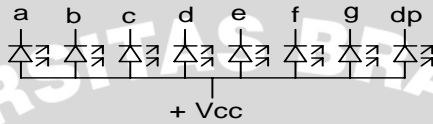
## 2.8 LED Seven Segmen

LED secara dasar merupakan dioda sambungan PN. Bila dioda mendapat bias maju, arus mengalir melalui sambungan PN dan cahaya yang dipancarkan dipusatkan oleh lensa plastik, memungkinkan pemakai melihat cahaya tersebut.

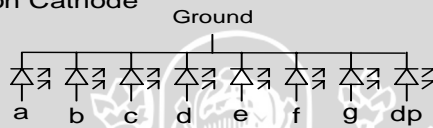
Suatu peraga LED *seven segment* tersusun atas 7 segmen yang masing masing segmen (a sampai g) berisi suatu LED. Terdapat dua macam *seven segment*, yaitu *common anode* dan *common cathode*. Pada *common anode* berarti anoda-anoda tersebut dihubungkan menjadi satu diberi tegangan *high* dan katodanya diberi tegangan *low*. Pada *common cathode*, katoda dihubungkan menjadi satu diberi tegangan *low* dan anodanya diberi tegangan *high* (Tokheim, 1990).



Common Anode

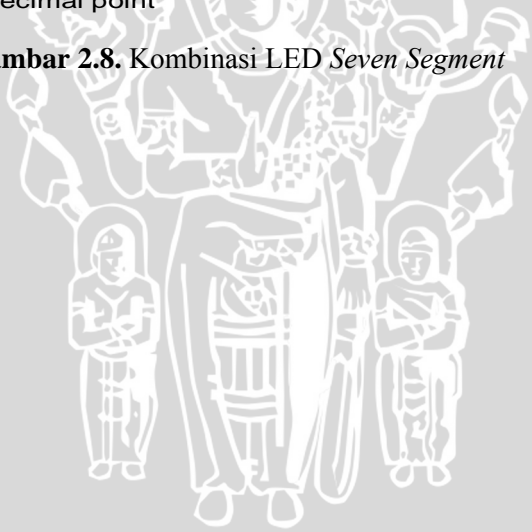


Common Cathode



dp : decimal point

**Gambar 2.8.** Kombinasi LED *Seven Segment*





## BAB III METODOLOGI

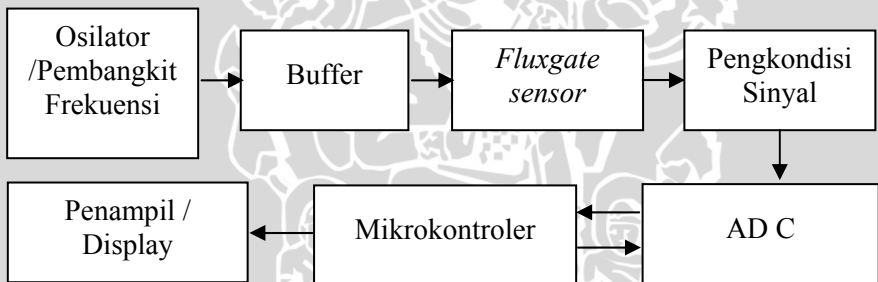
### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di laboratorium jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya. Waktu yang dibutuhkan secara keseluruhan, yaitu dari bulan April 2005 sampai dengan Agustus 2006.

### 3.2 Perancangan Alat

#### 3.2.1 Perancangan Hardware

Blok diagram rancangan alat secara umum adalah sebagai berikut :



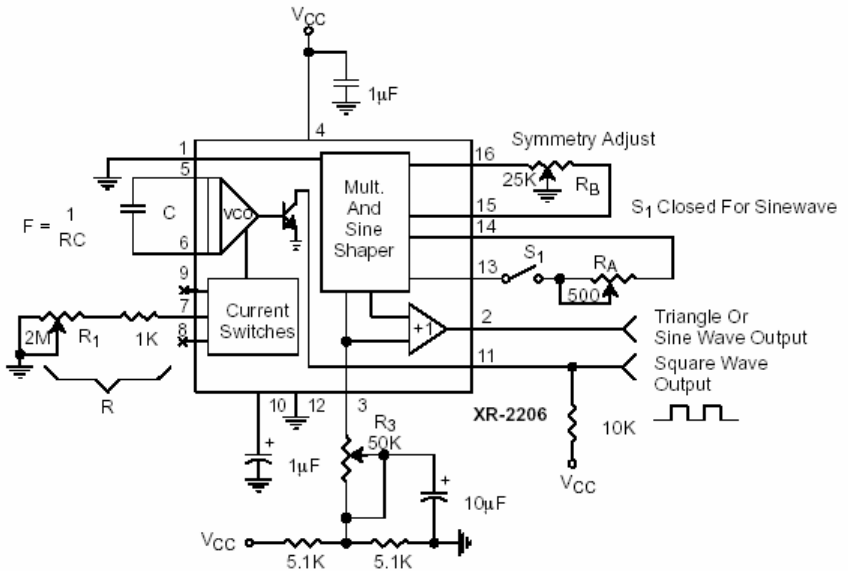
**Gambar 3.1** Blok diagram Fluxgate Magnetometer

#### 3.2.1.1 Osilator / Pembangkit Frekuensi

Osilator atau pembangkit frekuensi di sini adalah rangkaian yang berfungsi membangkitkan sinyal AC. Dalam penelitian kali ini osilator tersebut akan digunakan sebagai penggerak (*Driver*) sensor fluxgate.

IC XR2206 digunakan sebagai pembangkit frekuensi pada penelitian ini, karena pada modul IC XR2206 ini mampu membangkitkan tiga model gelombang yang berbeda yaitu sinus,

kotak, dan segitiga yang stabil dan mempunyai range frekuensi yang lebar.



**Gambar 3.2.** Rangkaian pembangkit sinyal dengan IC XR2206

Gambar 3.2 merupakan rangkaian pembangkit frekuensi dengan IC XR 2206. Besar frekuensi  $f$  ditentukan dengan nilai kapasitor pada pin 5 dan 6 serta nilai resistor  $R$  yang terpasang pada pin 7 atau 8. Besar frekuensi output diberikan dengan persamaan :

$$f = \frac{1}{RC} \text{ Hz} \quad (3.1)$$

Dengan persamaan diatas, besar frekuensi dapat diatur dengan mengubah nilai resistor  $R$  atau nilai kapasitas dari kapasitor  $C$ .

### 3.2.1.2 Buffer

Untuk menghindari pembebanan berlebih pada osilator, maka perlu adanya rangkaian buffer yang digunakan menangani kebutuhan arus pada sensor. Karena kalau sampai hal ini terjadi,

maka tegangan yang dihasilkan osilator akan banyak yang hilang pada impedansi input dan sensor tidak dapat bekerja semestinya.

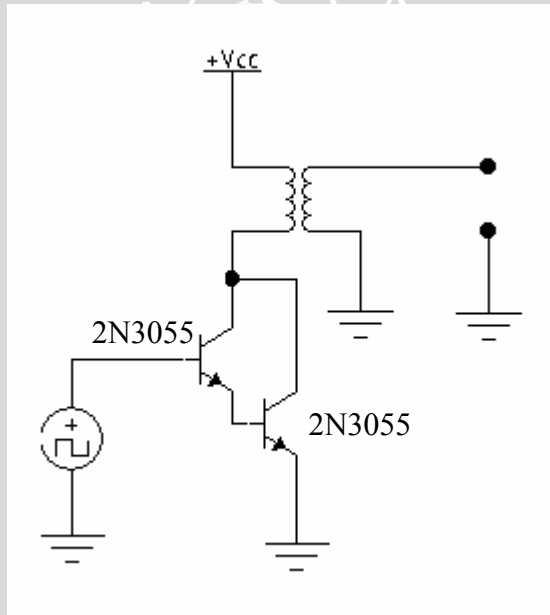
Impedansi input sensor sangat tergantung dari besar frekuensi driver. Karena mengingat reaktansi induktif lilitan ( $X_L$ ) adalah :

$$X_L = 2\pi fL \quad (3.2)$$

maka impedansi input adalah:

$$Z = \sqrt{X_L^2 + R^2} \quad (3.3)$$

di mana R adalah hambatan kawatnya. Jika  $R \gg X_L$  maka Z akan mendekati nilai  $X_L$ .



**Gambar 3.3.** Rangkaian buffer

Sumber AC menggerakkan basis, sensor dipasang sebagai beban. Besar arus pada sensor adalah :

$$I_{\text{sensor}} = \frac{V_{cc}}{Z_{\text{sensor}}} \quad (3.4)$$

$$I_{\text{sensor}} = I_{\text{basis}} \cdot h_{FE}$$

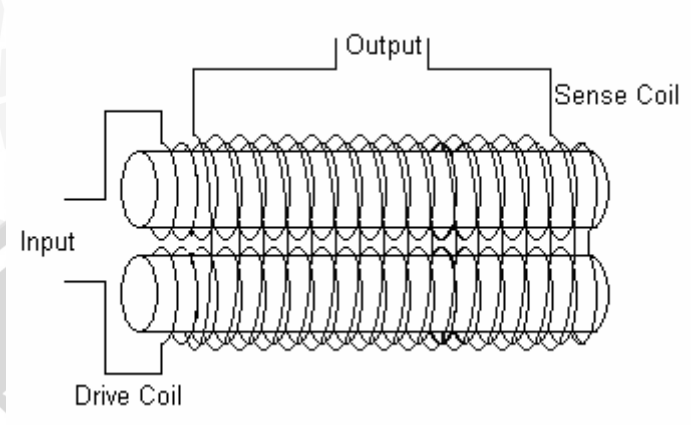
Pada saat frekuensi ratusan herz, arus yang dibutuhkan besar sehingga dengan digunakannya pasangan darlington diharapkan mampu mencukupi kebutuhan arus sensor. Besar arus sensor :

$$(I_{\text{sensor}}) = I_{\text{basis}} \cdot h_{FE1} \cdot h_{FE2} \quad (3.5)$$

### 3.2.1.3 Sensor Fluxgate

Sensor Fluxgate berupa serangkaian lilitan primer dan intinya yang dinamakan *drive coil* dan lilitan sekunder yang dinamakan *sense coil*. Prinsip kerja fluxgate ini cukup sederhana, yaitu dua buah inti yang diinduksi medan magnet oleh dua buah solenoid yang dialiri arus listrik bolak balik. Karena dua buah solenoid tersebut memiliki arah lilitan saling berlawanan maka kedua inti akan menjadi dua buah magnet dengan arah medan magnet yang saling berlawanan pula. Kumparan sekunder digunakan untuk mengindera setiap ada selisih medan magnet dari kedua inti tersebut.

Dalam keadaan tanpa medan magnet luar, idealnya kedua ujung *sense coil* tidak akan timbul GGL. Jika ada medan magnet luar, kedua ujung *sense coil* akan menghasilkan GGL.



**Gambar 3.4.** Konstruksi koil fluxgate

1. *Drive Coil.*

Inti digunakan ferit dengan diameter 1 cm dan panjang 10 cm. Ferit memiliki  $\mu$  rata-rata relatif terhadap udara 1000 dan akan terinduksi secara jenuh pada medan magnet 2500 Gauss.

$$B = \mu H \rightarrow 0.25 = 1000 \times 4\pi \times 10^{-7} \times H$$

$$H = \frac{0.25}{1000 \times 4\pi \times 10^{-7}} = 199.04459 \text{ At/m} \approx 200 \text{ At/m}$$

$$L = \frac{\mu N^2 A}{\lambda} \text{ dimana}$$

$$A = 3.14 \times (5 \times 10^{-3})^2 = 0.785 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$L = \frac{1000 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 270^2 \times 0.785 \times 10^{-4}}{0.1}$$

$$= \frac{12.56 \times 10^{-8} \times 57226,5}{0.1}$$

$$= 7187,6484 \times 10^{-5} \text{ H}$$

(3.6)

## 2. Sense Coil

$$V = -N \frac{\partial \phi}{\partial t}$$

di mana:  $\phi = B(t)A$

B = medan luar yang akan diukur dan A=Luas inti

$V = N\phi\omega = 2NBA\pi f$  ditentukan untuk medan magnet minimal yang terukur 1 nT akan menghasilkan GGL di ujung *sense coil* sebesar 0.1 mV, maka :

$$0,1 \times 10^{-3} = N \times 2 \times 1 \times 10^{-9} \times 1,785 \times 10^{-4} \times 3,14 \times 1000$$

$$0,1 \times 10^{-3} = N \times 11,2076 \times 10^{-10}$$

$$\text{maka } N = \frac{10^{-4}}{11,2076 \times 10^{-10}} = 89208 \text{ lilit} \approx 90000 \text{ lilit}$$

### 3.2.1.4 Pengkondisi Sinyal

Pengkondisi sinyal merupakan rangkaian yang digunakan untuk menyesuaikan karakteristik sinyal yang dihasilkan oleh sensor dengan rangkaian berikutnya, pada penelitian kali ini yaitu rangkaian Analog to Digital Conversion (ADC) sehingga diharapkan semua data yang dihasilkan sensor dapat terproses oleh ADC (tidak ada informasi yang hilang).

Gambar 3.3 adalah skema rangkaian pengkondisi sinyal dengan masukan AC dari sensor dan keluaran DC. Dioda D dan kapasitor C membentuk rangkaian detektor puncak (*peak detektor*) atau penyearah puncak (*peak rectifier*), karena pada kapasitor C terdapat tegangan searah yang besarnya sama dengan tegangan puncak input. Dengan diubahnya tegangan AC menjadi DC ini diharapkan akan mempermudah pengolahan data ke tahap berikutnya.

Tegangan Referensi max pada ADC +5volt dan tegangan referensi min 0 volt, oleh karena itu sinyal input yang diperbolehkan masuk input ADC adalah antara 0 volt sampai +5 Volt. Dengan pertimbangan bahwa besar medan magnet bumi ( $B_e$ ) disekitar equator

adalah  $\pm 40.000$  nT, maka dengan persamaan 3.7 akan didapat tegangan keluaran sensor yang lebih besar dari +5 volt. Oleh sebab itu penguatan yang digunakan kali ini adalah penguat inverting 2 tahap. Penguat tahap pertama untuk mendapat kan penguatan kurang dari satu, dan penguatan tahap kedua untuk membalikkan polaritas dari negatif hasil output tahap satu menjadi positif.

$IC1/R_{i1}, R_{f1}$  membentuk rangkaian penguat inverting tahap satu. Input positif ( $V_{i1}$ ) masuk melalui  $R_{i1}$  dan output berupa tegangan negatif lewat jalur output  $IC1/1$ . Besar penguatan ( $A_1$ ) yang terbentuk adalah

$$A_1 = -\frac{R_{f1}}{R_{i1}} \text{ dan tegangan output } (V_{o1}) \text{ adalah :}$$

$$V_{o1} = -\frac{R_{f1}}{R_{i1}} V_{i1} \quad (3.8)$$

$IC2/R_{i2}, R_{f2}$  membentuk rangkaian penguat inverting tahap dua. Input negatif yaitu output dari tahap satu ( $V_{o1}$ ) masuk melalui  $R_{i2}$  dan output berupa tegangan positif lewat jalur output  $IC2/2$ . Besar penguatan ( $A_2$ ) yang terbentuk adalah

$$A_2 = -\frac{R_{f2}}{R_{i2}} \text{ dan tegangan output } (V_{o2}) \text{ adalah :}$$

$$V_{o2} = -\frac{R_{f2}}{R_{i2}} V_{o1} \quad (3.9)$$

Penguatan total ( $A$ ) tahap satu dan tahap dua yaitu  $A_1 \times A_2$ , sebagai berikut :

$$A = A_1 \times A_2$$

$$A = -\frac{R_{f1}}{R_{i1}} \times -\frac{R_{f2}}{R_{i2}} \quad (3.10)$$

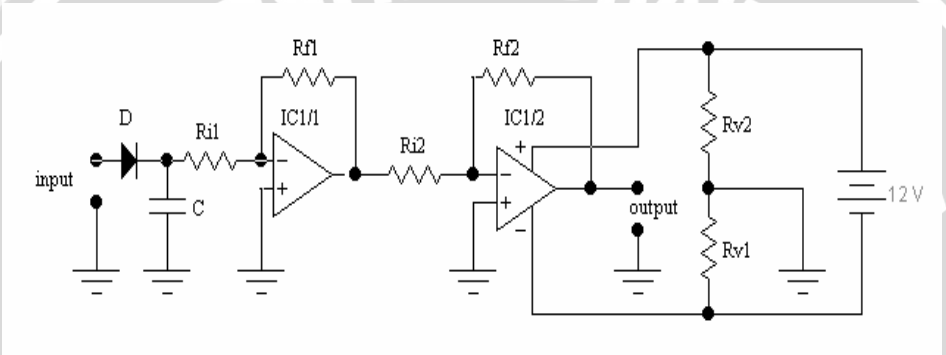
$$A = \frac{R_{f1} \cdot R_{f2}}{R_{i1} \cdot R_{i2}}$$

Tegangan output ( $V_o$ ) =  $V_{o2}$  tahapan keseluruhan yaitu :

$V_o = A V_{i1}$ , dengan A didapat dari persamaan 3.10, maka

$$V_o = -\frac{R_{f1}}{R_{i1}} x -\frac{R_{f2}}{R_{i2}} V_{i1} \quad (3.11)$$

$$V_o = -\frac{R_{f2}}{R_{i2}} V_{o1}$$



**Gambar 3.5.** Rangkaian Pengkondisi Sinyal

### 3.2.1.5 ADC

AD-0809 adalah modul yang digunakan untuk konversi sinyal analog ke bentuk data digital dengan 8 buah input analog, namun pada penelitian ini hanya digunakan 1 input analog yaitu pada IN 0 dengan mengeset  $A_0, A_1, A_2$  pada logika rendah(0).

Jalur masukan input mempunyai referensi tegangan tinggi pada pin  $V_{ref+}$  dan referensi tegangan rendah pada  $V_{ref-}$ . Hal ini mengandung arti bahwa setiap perubahan satu bit LSB sama dengan perubahan tegangan analog sebesar :

$$\frac{V_{ref+} - V_{ref-}}{2^n - 1} \text{ volt,}$$

di mana  $2^n$  adalah jumlah kemungkinan yang terjadi pada  $n$  bit.

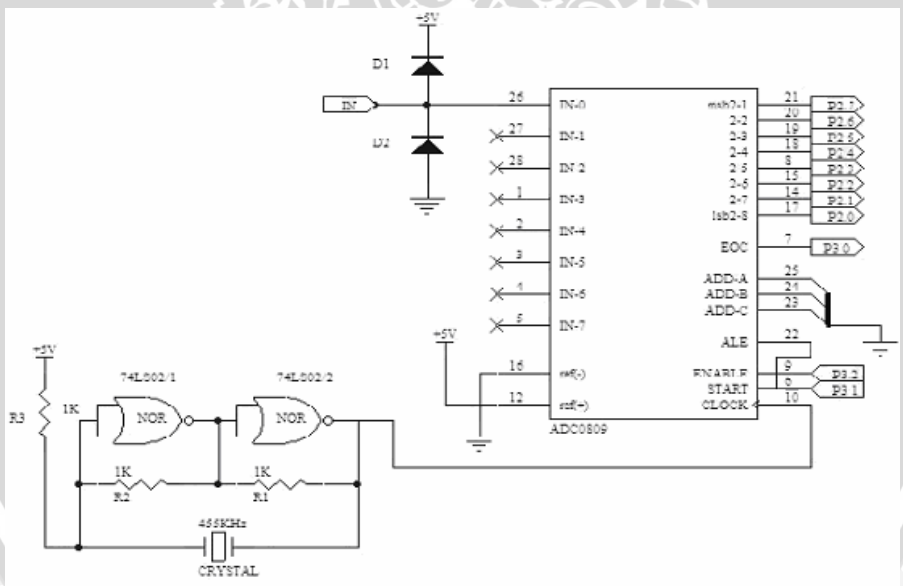


ADC-0809 memiliki resolusi 8 bit, berarti jumlah kemungkinan yang terjadi adalah  $2^8=256$ . Karena kemungkinan yang pertama terjadi pada saat semua berada pada logika rendah (0) maka menjadi  $256-1=255$ .

Pada Gambar 3.4 dipakai  $V_{ref+}=+5$  volt dan  $V_{ref-}=0$  volt, berarti setiap perubahan satu bit LSB sama dengan perubahan tegangan:

$$\frac{5-0}{255} = \frac{5}{255} = 0.0196 \text{ volt}$$

Dioda  $D_1$  dan  $D_2$  digunakan sebagai pengaman ADC. Dengan adanya  $D_1$  dan  $D_2$  ini, maka tegangan input yang masuk ke ADC tidak akan lebih dari tegangan jepit kedua dioda yaitu 5 volt, meskipun tegangan yang dihasilkan pada rangkaian sebelumnya lebih dari 5 volt.



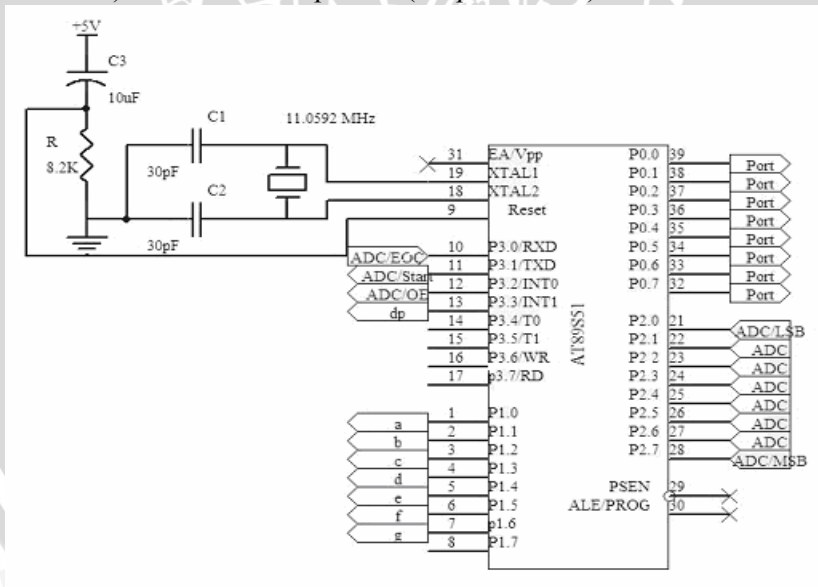
**Gambar 3.6.** Rangkaian ADC-0809

### 3.2.1.6 Mikrokontrol

Mikrokontrol yang sudah diprogram digunakan sebagai :

1. Pengontrol konversi ADC serta mengambil data konversi dari ADC
2. Mengolah data dari ADC yang masih sebanding dengan tegangan sensor menjadi data yang setara dengan nilai medan magnet terukur dengan routine-routine aritmatik.
3. Pengontrol penampil yang berupa sevensegmen.

Dalam sistem ini, digunakan mikrokontroller AT89S51 yang mempunyai empat buah kanal (*port*) I/O yaitu P0,P1,P2, dan P3. P2 digunakan sebagai pengambil data dari ADC, P1(P1.0-P1.7) digunakan untuk saluran data yang sudah diproses ke tampilan seven segmen. P0 (P0.0-P0.7) untuk saklar atau kendali dari kedelapan tampilan seven segment yaitu tampilan puluhan ribu sampai tampilan pecahan. P3 digunakan untuk mengatur kerja ADC, yaitu P3.0 untuk pin EOC (*End Of Conversion*) , P3.1 untuk pin SC (*Start Conversion*) dan P3.2 untuk pin OE (*Output Enable*) dari ADC.



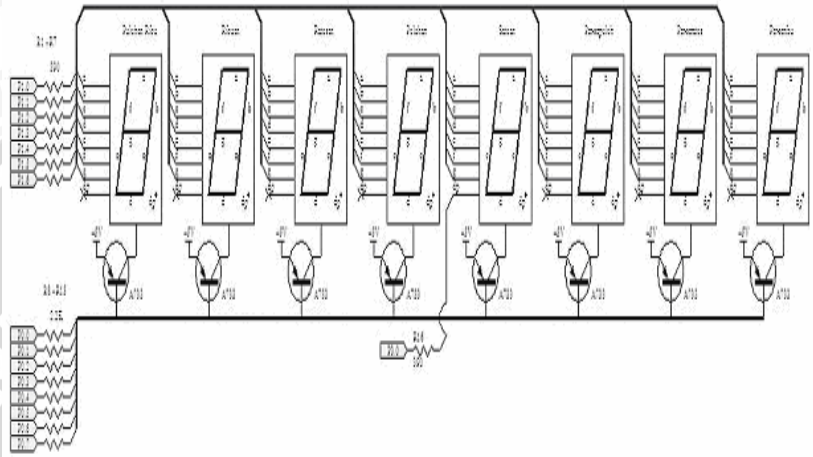
Gambar 3.7. Rangkaian Mikrokontroller AT89S51

### 3.2.1.7 Penampil / Display

Display atau penampil digunakan delapan buah *seven segment* common anode. Lima buah seven segmen sebelah kiri akan menampilkan angka puluhan ribu sampai satuan dan tiga buah seven segment sebelah kanan akan menampilkan tiga angka desimal dibelakang koma.

Kedelapan buah seven segment dirangkai seperti pada gambar 3.6. Masing-masing pin a sampai g seven segmen dijadikan satu dengan kaki a sampai g dari kedelapan seven segmen lainnya. Dengan menggunakan delapan buah resistor 390 ohm pin a sampai g ini kemudian digunakan sebagai jalur data dari mikrokontroler P1. Sedangkan untuk titik desimal digunakan satu resistor 390 untuk menghubungkan dp (*decimal point*) dari segmen kelima dari kiri.

Delapan buah transistor PNP A733 digunakan sebagai saklar yang menghubungkan P2 mikrokontroler melewati resistor 22K ohm pada bagian basisnya dengan setiap anoda seven segmen. Transistor akan mengalirkan arus dari emitor ke kolektor jika basis berada pada logika rendah sehingga seven segmen akan menampilkan data dari port P1. Jika basis diberi logika tinggi maka arus dari emitor tidak dapat mengalir ke kolektor dan mengakibatkan LED pada seven segmen tidak menyala.



**Gambar 3.8.** Rangkaian Penampilan dengan 8 buah seven segment

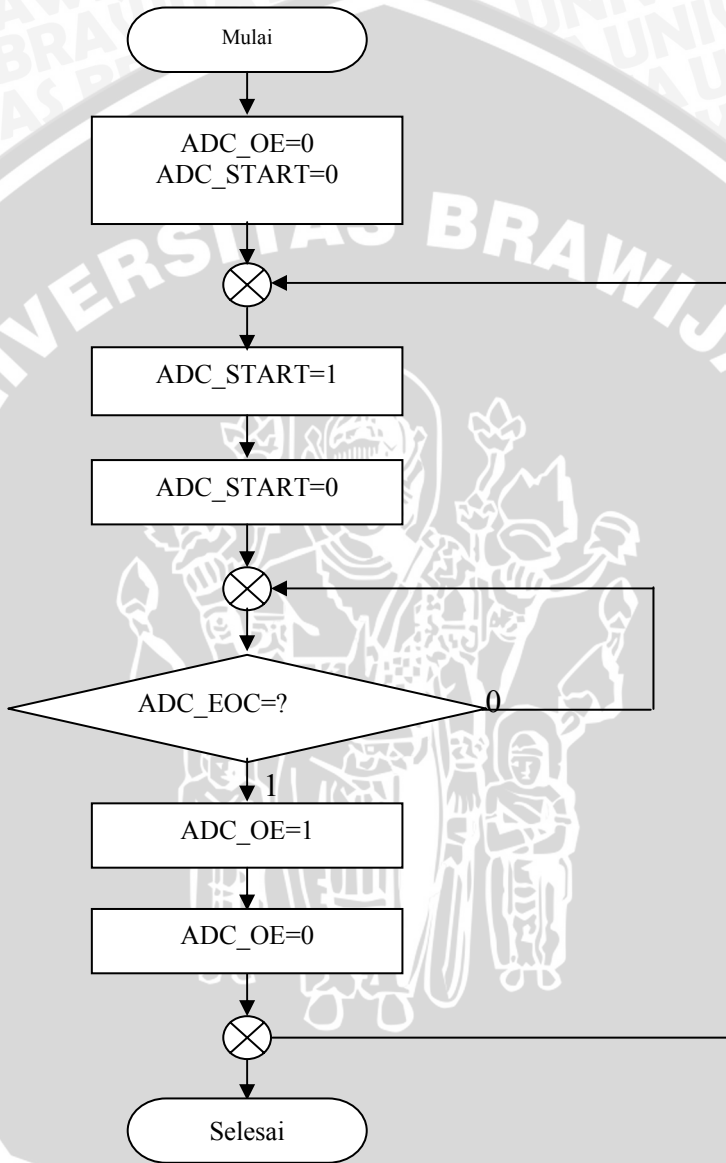
### 3.2.2 Perancangan Software

Perangkat lunak yang dibuat mempunyai tiga fungsi, yaitu :

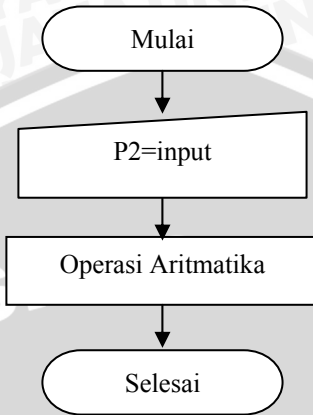
1. Mengendalikan kerja ADC.
2. Mengambil nilai hasil konversi ADC dan melakukan operasi aritmatika untuk mengubah nilai tersebut menjadi informasi medan magnet.
3. Mengendalikan tampilan.

Pembuatan program dilakukan dilakukan 3 kali, yaitu pertama Program untuk mengendalikan Konversi ADC, kedua Program operasi aritmatika dan menampilkannya pada display, dan yang terakhir program gabungan keduanya.

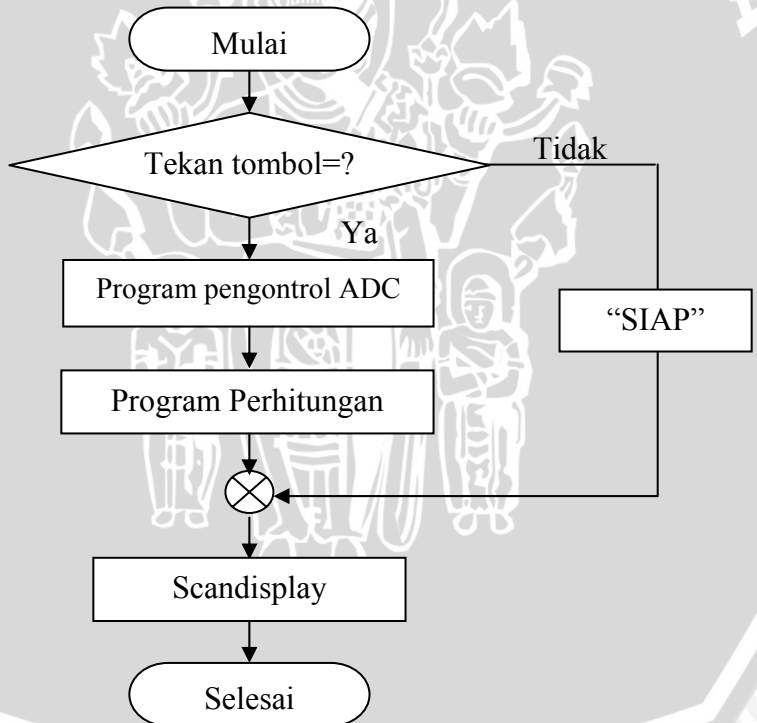
Berikut diagram alir perancangan program :



Gambar 3.9. Diagram alir program pengontrol ADC



**Gambar 3.10.** Diagram alir program perhitungan



**Gambar 3.11.** Diagram alir program keseluruhan

### 3.3 Analisa dan Pengujian

#### 3.3.1 Sensor Fluxgate

Tegangan terukur pada sense coil merupakan hasil dari :

$$V = -N \frac{\partial \phi}{\partial t} \text{ di mana } \phi = B(t)A \text{ dan } B = \mu.H(t)$$

$$B = \frac{\mu.N.I(t)}{l} \text{ di mana } I = \text{Im } ax.Cos(\omega t)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = - \frac{\mu.N.A.\omega.I \sin(\omega t)}{l} = -\omega.B.A \text{ sehingga}$$

$$V = -N \frac{\partial \phi}{\partial t} = -N(-\omega.B.A) = \omega.N.B.A \quad (3.12)$$

dengan  $\omega = 2.\pi.f$  maka:

$$V = 2.\pi.f.N.B.A,$$

di mana  $f$  = frekuensi driver

$N$  = jumlah sense coil

$B$  = besar medan magnet yang diukur

$V$  = tegangan pada kedua ujung sense coil

$A$  = luasan yang dilingkupi sense coil ( $r=0.5 \times 10^{-2}$  m)

sehingga besar medan magnet yang diukur adalah :

$$B = \frac{V}{2.\pi.f.N.A} = \frac{V}{6,28.1000.90000.1,785.10^{-4}} \quad (3.13)$$

$$B = \frac{V}{100888.2} \text{ tesla}$$

Arus driver diberikan pada *drive coil* sesuai perancangan. Dalam keadaan tanpa gangguan medan magnet eksternal, idealnya pada kedua ujung *sense coil* tidak akan muncul tegangan. Tetapi

keadaan ini sulit dicapai, hal ini dikarenakan adanya gangguan medan magnet bumi ( $T_e$ ). Sehingga tanpa diberikan gangguan medan magnet, kedua ujung *sense coil* akan timbul tegangan ( $V_e$ ) yang besarnya sebanding dengan besar medan magnet bumi yang ada pada daerah tersebut.

Dengan anggapan tersebut maka pengujian dapat dilakukan dengan memberikan medan magnet gangguan ( $T_d$ ) yang telah diketahui besarnya dan mengukur tegangan pada kedua ujung *sense coil* sebagai ( $V_d$ ). Besar medan magnet  $T_d$  sebanding dengan besar tegangan ( $V_m$ )= $V_d - V_e$ . Tegangan  $V_e$  akan dikonversi menjadi medan magnet terukur ( $T_m$ ) dengan persamaan 3.13. Dengan membandingkan antara  $T_m$  dan  $T_d$  serta perbandingan  $V_m$  dan  $T_d$  maka akan didapatkan formula empirik untuk konversi tegangan terukur menjadi medan magnet terukur yang digunakan pada perhitungan program penampil medan magnet.

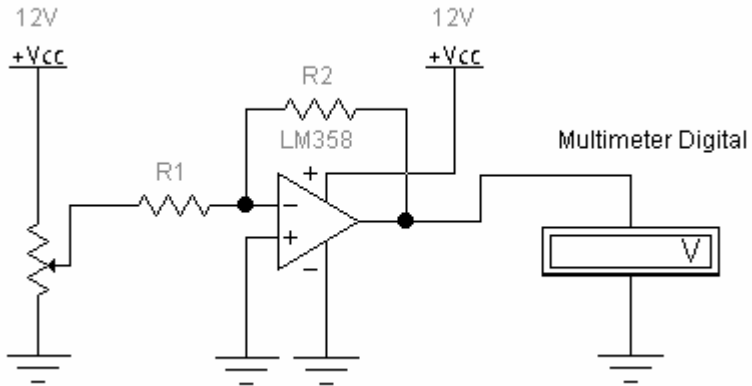
### 3.3.2 Pengkondisi Sinyal

Untuk membuktikan berapa penguatan yang terjadi pada kenyataannya maka pengujian rangkaian pengkondisi tegangan dicoba melalui tiga tahapan, yaitu untuk mengetahui penguatan tahap pertama, kedua dan terakhir untuk mengetahui penguatan secara keseluruhan. Pengujian dilakukan dengan memberikan masukan tegangan dengan variasi tegangan 1,2,3,4,5 volt pada bagian input. Pada saat yang sama diukur hasil penguatannya.

Gambar 3.9 menunjukkan skema dasar pengujian rangkaian penguat. Penguatan (A) yang terjadi adalah :

$$A = -\frac{V_o}{V_i} \text{ yang seharusnya mendekati nilai penguatan op-amp mode membalik yaitu : } A = -\frac{R_2}{R_1}.$$





**Gambar 3.12.** Rangkaian Uji Pengkondisi Sinyal

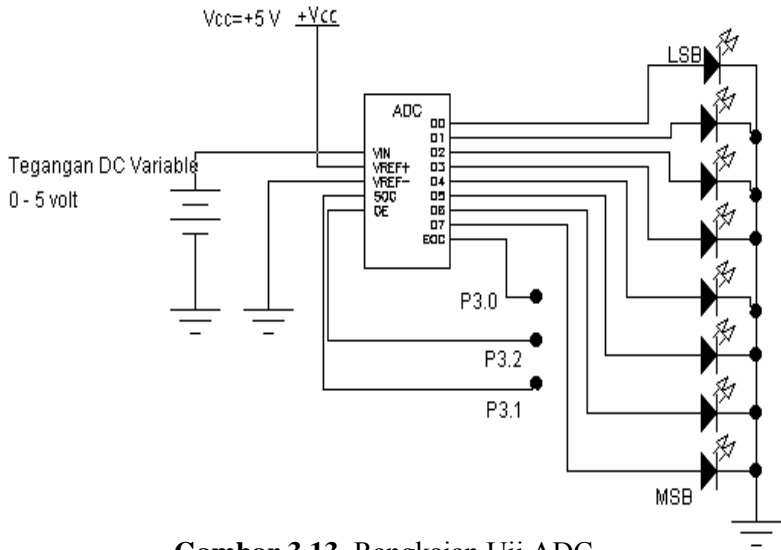
### 3.3.3 ADC

Rangkaian ADC diuji dengan menggunakan rangkaian seperti pada gambar 4.0. Input ADC diberi masukan dari sumber tegangan yang sudah diketahui besarnya. Output dihubungkan dengan delapan buah LED untuk menunjukkan kombinasi logikanya.

Pada saat bagian input diberi tegangan yang berubah-ubah, maka pada output akan diperoleh kombinasi yang berbeda pula. Kombinasi ini kemudian dikalikan kan dengan faktor pengali yang yang merupakan hasil dari  $\frac{V_{ref+} - V_{ref-}}{255}$ . Rangkaian ini akan dianggap benar jika :

$$V_{in} = outputADCx \left( \frac{V_{ref+} - V_{ref-}}{255} \right)$$

Selain dapat mengetahui kinerja ADC, dengan pengujian ini akan diketahui resolusi ADC. Resolusi disini maksudnya yaitu kemampuan ADC untuk memisahkan besar tegangan pada bit yang berdekatan.



**Gambar 3.13.** Rangkaian Uji ADC

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas hasil yang diperoleh setelah dilakukan serangkaian perancangan dan pengujian baik tiap bagian maupun pengujian instrumen secara keseluruhan.

#### 4.1 Sensor Fluxgate Magnetometer

Tegangan output sensor (*sense coil*) merupakan hasil dari persamaan 3.12, yaitu :

$$V = -N \frac{\partial \phi}{\partial t} = -N(-\omega \cdot B \cdot A) = \omega \cdot N \cdot B \cdot A$$

Dengan metode pengujian sensor seperti yang telah dijelaskan pada bab III diperoleh data-data sebagai berikut:

**Tabel 4.1.** Data hasil pengukuran tegangan pada sense coil sensor *Fluxgate*

No	Td(mT)	Vm(V)				
		1	2	3	4	5
1	0,005	0,57	0,57	0,57	0,57	0,63
2	0,010	1,15	1,09	1,15	1,09	1,09
3	0,015	1,78	1,83	1,78	1,95	1,89
4	0,020	2,01	2,12	1,12	2,18	2,18
5	0,025	2,64	2,75	2,81	2,81	2,81
6	0,030	3,27	3,33	3,38	3,38	3,38
7	0,035	3,73	3,73	3,67	3,73	3,78
8	0,040	4,59	4,53	4,70	4,70	4,70

**Tabel 4.2.** Data medan magnet hitung dari tegangan terukur sense coil sensor *Fluxgate*

No	Td(mT)	Tm rata (mT)	$\sum(Tm-Tm \text{ rata})^2$	$\delta Tm(mT)$	KR (%)
1	0,005	0,00576876	0,00000028	0,00011894	2,06
2	0,010	0,01104193	0,00000042	0,00014568	1,32
3	0,015	0,01829748	0,00000213	0,00032664	1,79
4	0,020	0,01905079	0,00008088	0,00201103	10,56
5	0,025	0,02739666	0,00000215	0,00032814	1,20
6	0,030	0,03318525	0,00000093	0,00021580	0,65
7	0,035	0,03695179	0,00000060	0,00017282	0,47
8	0,040	0,04603115	0,00000249	0,00035268	0,77

KR rata (%) 2,35  
 Presisi (%) 97,6

di mana:

$V_m$  : Selisih tegangan ( $V_e - V_d$ )

$T_d$  : Medan magnet yang diberikan yang sudah diketahui besarnya(mT)

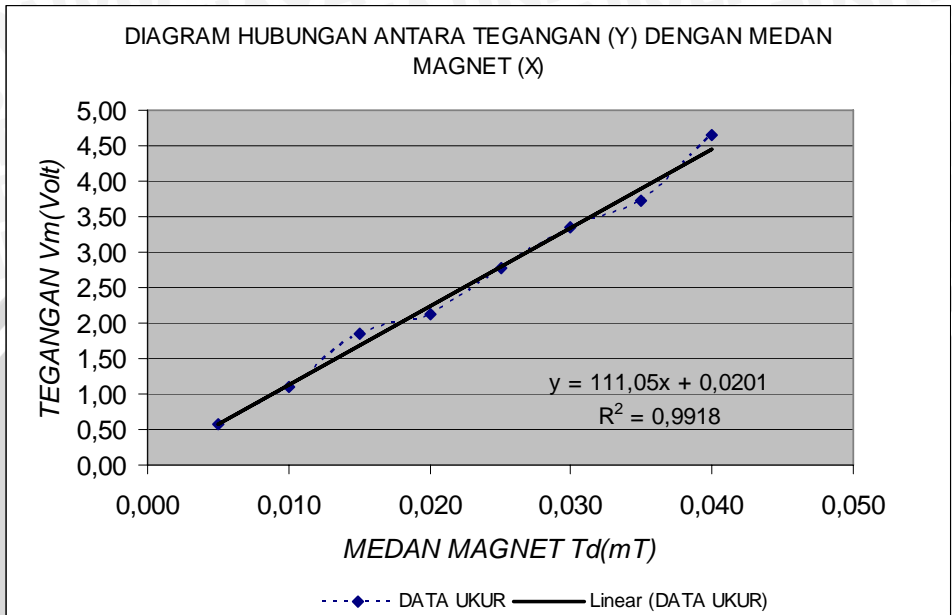
$T_m$  : Medan magnet hasil perhitungan (mT)

$T_m$  merupakan besar medan magnet yang dihitung dari tegangan yang terukur dengan menggunakan parameter yang sudah ditetapkan dalam perancangan. Sesuai dengan persamaan 3.13 maka:

$$B = \frac{V}{2.\pi.f.N.A} = \frac{V}{6,28.1000.90000.1,785.10^{-4}} = \frac{V}{100888.2 \text{ Tesla}}$$

$$B = \frac{V}{100,8882} \text{ mTesla}$$

Berikut Grafik hasil uji hubungan antara tegangan (y) yang dihasilkan oleh sensor terhadap besar medan magnet (x) yang menimbulkannya.



**Gambar 4.1.** Grafik hasil uji hubungan tegangan terukur dengan medan magnet yang menimbulkan.

Dari data–data di atas dapat diketahui hubungan antara tegangan yang dihasilkan sensor dengan medan magnet yang menimbulkannya. Persamaan  $y = 111,05x + 0,0201$  yang terdapat pada Gambar 4.2., adalah persamaan konversi dari besar tegangan yang dihasilkan sensor menjadi besar medan magnet terukur oleh sensor.  $y$  mewakili besar tegangan sensor dan  $x$  adalah medan magnet yang terukur,

$$V = 111,05B + 0,0201$$

. Misalkan dihasilkan tegangan pada kedua ujung sensor pada suatu pengukuran medan magnet adalah 2,23 Volt, maka besar medan magnet yang terukur oleh sensor tersebut adalah:

$$y = 111,05x + 0,0201$$

$$x = \frac{y - 0,0201}{111,05}$$

$$x = \frac{2,23 - 0,0201}{111,05}$$

$$x = \frac{2,2099}{111,05}$$

$$x = 0,0199000450 \text{ mT}$$

$$x = 19900,04 \text{ nT}$$

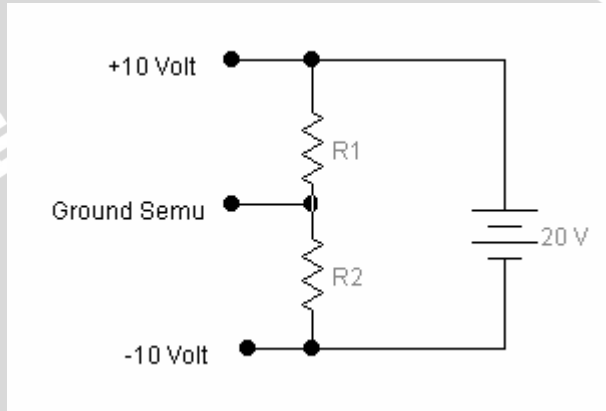
Persamaan tersebut digunakan dalam program operasi aritmatika yang bertugas mengkonversi besar tegangan menjadi besar medan magnet.

#### 4.2 Pengkondisi Sinyal

Rangkaian utama pengkondisi sinyal tersusun atas satu modul IC LM358 yang di dalamnya terdiri dari dua buah Operatoinal Amplifier (Op Amp). Kedua buah Op Amp disusun sebagai penguat inverting dengan tujuan menghasilkan penguatan akhir positif yang besarnya penguatan kurang dari satu.

Sinyal masukan berupa tegangan DC positif. Oleh karena itu agar Op Amp dapat bekerja sebagai penguat inverting maka idealnya

Op Amp dicatu dengan catu daya bipolar. Tetapi dengan pertimbangan kemudahan operasional alat, digunakan catu daya single polar. Untuk mengatasi masalah tersebut maka pencatuan penguat dibuatkan sebuah rangkaian pembagi tegangan dengan dua buah resistor,  $R_1=R_2$  yang digunakan untuk menciptakan catu bipolar semu, seperti terlihat pada gambar 4.2.



**Gambar 4.2.** Rangkaian pembagi tegangan untuk mencatu Op Amp.

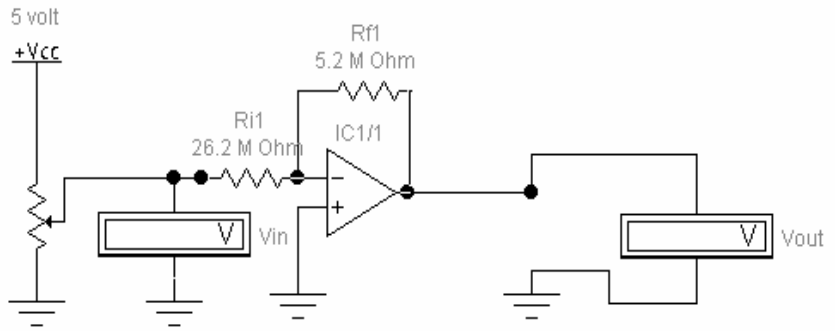
Pengujian rangkaian pengkondisi sinyal diperlukan untuk mengetahui apakah rangkaian bekerja sesuai yang diharapkan dan untuk memastikan bahwa tidak ada informasi yang hilang pada bagian ini.

Rangkaian pengkondisi tegangan terdiri dari dua tahap penguat yang keduanya merupakan penguat inverting.

Penguat tahap I.

Fungsi utama penguat tahap I yaitu memperoleh penguatan kurang dari 1, sehingga diharapkan sinyal yang masuk pada input ADC tidak lebih dari tegangan referensi positifnya, yaitu 5 Volt. Secara perhitungan penguatan yang terjadi pada tahap I adalah :

$$A_1 = -\frac{R_{f1}}{R_{i1}} = -\frac{5,2M\Omega}{26,2M\Omega} = -0.198kali = -0,20kali$$



**Gambar 4.3.** Skema rangkaian penguat inverting tahap I

Setelah dilakukan pengujian, didapat data-data sebagai berikut :

**Tabel 4.3.** Data hasil pengujian penguat tahap I

No	Vin(Volt)	Vout(Volt)					Vrata (Volt)	AV
		1	2	3	4	5		
1	4,99	-0,91	-0,91	-0,91	-0,91	-0,91	-0,91	-0,18
2	4,00	-0,74	-0,74	-0,75	-0,75	-0,74	-0,74	-0,19
3	3,00	-0,58	-0,57	-0,58	-0,58	-0,58	-0,58	-0,19
4	2,00	-0,41	-0,41	-0,41	-0,41	-0,41	-0,41	-0,21
5	1,00	-0,24	-0,24	-0,24	-0,24	-0,24	-0,24	-0,24

$$\sum AV \quad -1,01 \text{ kali}$$

$$AV_{rata} \quad -0,20 \text{ kali}$$

$$\Sigma(AV - AV_{rata})^2 \quad 0,002$$

$$KR \quad 5,19 \%$$



Besar penguatan yang didapatkan dari hasil uji,  $A = -\frac{V_o}{V_i}$ , memperlihatkan nilai yang sama dengan perhitungan yaitu -0,20 kali  $\pm 5,19 \%$ .

## Penguat tahap II.

Tujuan utama penguat tahap II adalah untuk membalikkan penguatan I yang negatif atau berlawanan dengan input tahap I menjadi positif atau sama dengan input tahap I dengan besar penguatan sama dengan 1 kali. Sehingga didapatkan penguatan total tahap pengkondisi tegangan kurang dari 1 dengan penguatan positif. Hal ini dikarenakan pada tegangan referensi negatif ADC dihubungkan dengan tanah, sehingga jika ada tegangan input ADC yang kurang dari nol tidak akan terbaca oleh ADC.

Skema penguatan tahap II sama dengan tahap I (gambar 4.3), hanya saja  $R_{f2}$  hampir sama dengan  $R_{in2}$  untuk mendapatkan penguatan mendekati 1 kali dengan  $R_{f2} = 4,41 M\Omega$  dan  $R_{in2} = 4,39 M\Omega$

$$A_2 = -\frac{R_{f2}}{R_{i2}} = -\frac{4,41M\Omega}{4,39M\Omega} = -1,004kali$$

Besar penguatan yang didapatkan dari hasil uji pada penguat tahap II,  $A = -\frac{V_o}{V_i}$ , memperlihatkan nilai yang sama dengan perhitungan yaitu -1,04 kali  $\pm 1,27 \%$  kali.

Berikut data-data hasil pengujian penguat tahap II,

**Tabel 4.4.** Tabel data hasil pengujian penguat tahap II

No	Vin (Volt)	Vout (Volt)					Vrata (Volt)	AV
		1	2	3	4	5		
1	4,99	-5,05	-5,06	-5,08	-5,06	-5,07	-5,06	-1,01
2	4,00	-4,11	-4,12	-4,13	-4,12	-4,12	-4,12	-1,03
3	3,00	-3,08	-3,09	-3,10	-3,10	-3,11	-3,10	-1,03
4	2,00	-2,08	-2,10	-2,09	-2,10	-2,10	-2,09	-1,05
5	1,00	-1,09	-1,08	-1,10	-1,09	-1,10	-1,09	-1,09

$$\sum AV = -5,22 \text{ kali}$$

$$AV_{rata} = -1,04 \text{ kali}$$

$$\Sigma(AV - AV_{rata})^2 = 0,004$$

$$KR = 1,27 \%$$

**Tabel 4.5.** Tabel data hasil pengujian penguat total

No	Vin (Volt)	Vout(Volt)					Vrata (Volt)	AV
		1	2	3	4	5		
1	4,99	0,83	0,84	0,84	0,82	0,82	0,83	0,17
2	4,00	0,68	0,69	0,69	0,68	0,68	0,68	0,17
3	3,00	0,50	0,49	0,48	0,49	0,48	0,49	0,16
4	2,00	0,35	0,34	0,34	0,33	0,34	0,34	0,17
5	1,00	0,21	0,20	0,21	0,20	0,19	0,20	0,20

$$\sum AV = 0,87 \text{ kali}$$

$$rataAV = 0,17 \text{ kali}$$

$$\Sigma(AV - rataAV)^2 = 0,001$$

$$KR(\%) = 4,05 \text{ kali}$$

Penguatan keseluruhan tahap penguat dapat dihitung dengan

$$A = -\frac{R_{f1}}{R_{i1}}x - \frac{R_{f2}}{R_{i2}}$$

persamaan 3.10, yaitu :  $A = -0,20x - 1,004$  .

$$A = 0,2008 = 0,20kali$$

Secara uji, besar penguatan keseluruhan dapat diketahui dengan perbandingan antar tegangan keluaran pada penguat tahap II terhadap tegangan masuk pada penguat tahap I.

Besar penguatan yang digunakan dalam program perhitungan adalah besar penguatan yang diperoleh dari hasil uji, yaitu sebesar 0,17 kali  $\pm$  4,05 %.

### 4.3 Rangkaian Digital

Seperti yang telah dijelaskan pada bab III, bahwa fungsi utama mikrokontroler digunakan sebagai :

#### 1. Pengontrol ADC

ADC 0809 akan mulai melakukan konversi sinyal analog menjadi digital jika ADC Start Conversion pada pin 6 (ADC SC) pada logika tinggi(1). ADC End Of Conversion pada pin 7 (ADC EOC). ADC EOC akan bernilai tinggi jika ADC tersebut telah selesai melakukan konversi, sekaligus menjadi tanda bahwa hasil tersebut sudah siap untuk dikeluarkan. Nilai-nilai hasil konversi berupa nilai digital 1 byte (8 bit) keluar pada jalur keluar yaitu pin 17 (LSB), pin 14, pin 15, pin 8, pin18, pin 19, pin 20, pin 21 (MSB). Data hasil konversi hanya dapat keluar pada jalur keluar jika ADC Output Enable pada pin 9 (ADC OE) pada logika tinggi (1).

Program pengontrolan ADC sebenarnya hanya menjalankan fungsi yang bertugas memberikan logika 1 pada ADC SC yang terhubung dengan P3.1 mikrokontrol dan memberikan logika 1 pada ADC OE yang terhubung dengan P3.2 mikrokontrol setelah P3.0 mikrokontrol mendapatkan interupsi dari ADC EOC secara kontinyu. Pada pengujian ADC, output tersebut dihubungkan dengan rangkaian LED (seperti pada gambar

3.11) sebagai indikator logika tinggi (1) jika LED menyala, dan sebaliknya.

Berikut sub rutin program pengontrolan ADC untuk uji ADC dan data hasil uji coba ADC :

*\$mod51*

```

                                Dseg
                                Org 50H
awal:                            ds 1
                                Cseg
                                org 00h

ADC_OE                            bit P3.2
ADC_START                          bit P3.1
ADC_EOC                            bit P3.0
                                mov R1,#awal
                                clr ADC_OE
                                clr ADC_START
                                clr ADC_START

next_sampling:
                                setb ADC_START ; start of
conversion
                                nop
                                nop
                                clr ADC_START

not_EOC:
                                jnb ADC_EOC,not_EOC
tunggu:
                                djnz R2,$
                                djnz R3,tunggu
                                setb ADC_OE ; Keluarkan

hasil
                                djnz R3,$
                                clr ADC_OE
                                Ljmp next_sampling
                                END

```

Secara teoritis besar konversi 1 bit LSB dapat dicari dengan persamaan 3.12,

$$\frac{V_{ref+} - V_{ref-}}{2^n - 1} = \frac{5 - 0}{256 - 1} = \frac{5}{255} = 0,0196 \text{ Volt} \approx 0.02 \text{ Volt} .$$

Dengan anggapan tersebut maka bisa dikatakan bahwa data uji diatas sesuai dengan karakteristik ADC nya.

## 2. Operasi aritmatika

Fungsi yang kedua yaitu untuk melakukan fungsi-fungsi aritmatika, seperti perkalian, penjumlahan, pembagian dan pengurangan. Operasi ini digunakan untuk :

a. Mendapatkan besar analog yang dimasukkan ke ADC dengan mengkonversi nilai digital yang didapat dengan faktor konversi (persamaan 3.12). Misalkan tegangan input ADC ( $V_{iADC}$ ) dan nilai digital output ADC ( $D_{oADC}$ ) maka  $V_{iADC} = (D_{oADC} \times 0,0196) \text{ Volt}$ .

b. Memperoleh besar tegangan sensor yang sebenarnya, sebelum dimasukkan ke rangkaian pengkondisi tegangan. Tegangan ini diperoleh dari tegangan output rangkaian pengkondisi tegangan yang juga merupakan tegangan input ADC dibagi dengan faktor penguatan,  $V_{sensor} = \frac{V_{iADC}}{0,17} \text{ volt}$  .

c. Mengkonversi nilai tegangan sensor menjadi informasi besar medan magnet yang terukur. Persamaan yang digunakan yaitu persamaan regresi hasil uji sensor,  $y = 111,05x + 0,0201$ .  $y$  mewakili tegangan dalam satuan Volt ( $V$ ) dan  $x$  mewakili medann magnet dalam mili Tesla ( $mT$ ). Jadi persamaantersebut menjadi  $B = (111,05V + 0,0201)mT$ .

Untuk menyederhanakan langkah pengolahan data tersebut, maka dari ketiga langkah diatas dapat terlebih dahulu disederhanakan seperti berikut :

Hasil akhir yang dihasilkan adalah informasi besar medan magnet  $B$  dalam mili Tesla.  $B = 111,05V + 0.0201$ , dimana  $V$

sama dengan  $V_{sensor} = \frac{V_{iADC}}{0,17} \text{ volt}$  dan yang terakhir

$V_{iADC} = (D_{oADC} \times 0,0196)$ . Dari substitusi ketiga persamaan itu didapat :

$$B = 111,05V + 0,0201 = (111,05x \frac{V_{iADC}}{0,17}) + 0,0201$$

$$B = \left( 111,05x \frac{D_{oADC} \times 0,0196}{0,17} \right) + 0,0201$$

$$B = (12,803411764x D_{oADC}) + 0,0201$$

$$B = ((12803411,764x D_{oADC}) + 20100)nT$$

### 3. Menampilkan hasil pada penampil

Delapan buah *sevensegment* digunakan sebagai penampil yang terdiri dari 6 digit bilangan bulat dan 2 digit pecahan. Setiap *sevensegment* mempunyai 9 pin yang berupa 1 pin ground dan 8 pin (7 untuk data dan 1 untuk desimal poin) VCC untuk *sevensegment common katode* dan sebaliknya untuk *sevensegment common anode*. Maka dibutuhkan 1 port untuk dapat mengaktifkan satu buah *sevensegment*. Masalah yang kemudian muncul disini adalah, bagaimana cara mengaktifkan 8 buah *sevensegment* yang akan digunakan ini, sedangkan mikrokontrol AT 89S51 yang digunakan hanya mempunyai 4 port, dimana 1 port digunakan sebagai jalur masukan dari ADC.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka dipakai cara *scanning* untuk mengaktifkan 8 buah *sevensegment* tersebut.

Prinsip dasar *scanning* ini adalah proses penggunaan port data yang digunakan secara bergantian untuk 8 buah *sevensegment*. Proses pengaktifan *sevensegment* dikontrol oleh sebuah port yang masing-masing pin dari port tersebut terhubung dengan *common nya sevensegment*. Hal ini berlangsung sangat cepat sehingga akan terlihat seolah-olah kedelapan buah *sevensegment* tersebut aktif dan dapat menampilkan data secara bersamaan. Dengan metode *scanning* ini digunakan 2 buah port 8 bit untuk mengaktifkan dan menampilkan data

pada 8 buah *sevensegment.*, satu port untuk data dan satu port lagi untuk *switching.*

Dengan pertimbangan jumlah bit ADC yang digunakan dan berdasarkan hasil pengujian sensor, maka resolusi alat dapat diketahui sebagai berikut :

Resolusi ADC 8 bit dengan  $V_{ref-} = 0$  Volt dan  $V_{ref+} = 5$  Volt adalah 0,0196 Volt/LSB. Dengan persamaan  $V = 111,05B + 0,0201$  perubahan medan magnet untuk tiap 1 bit LSB adalah

$$V_2 - V_1 = (111,05B_2 + 0,0201) - (111,05B_1 + 0,0201)$$

$$V_2 - V_1 = (111,05B_2 - 111,05B_1 - 0,0201 + 0,0201)$$

$$V_2 - V_1 = (111,05B_2 - 111,05B_1) = 111,05(B_2 - B_1)$$

$$\Delta V = 111,05\Delta B$$

$$\Delta B = \frac{\Delta V}{111,05}$$

Jika  $\Delta V = 0,0196$  Volt, maka :

$$\Delta B = \frac{0,0196}{111,05} = 1,76497 \times 10^{-4} \text{ mT}$$

$$\Delta B = 176,5 \text{ nT}$$

Jadi alat ini memiliki resolusi sebesar 176,5 nT. Artinya alat hanya mampu membedakan perubahan medan magnet dengan perubahan sebesar 176,5 nT.

## PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Telah dihasilkan sebuah alat pengukur medan magnet yang mampu mengukur medan magnet pada range  $0,005 \text{ mT}$  sampai dengan  $0,040 \text{ mT}$  yang memiliki tingkat presisi 97,6 %

Alat ukur medan magnet yang telah dibuat ini hanya menggunakan sensor dengan arah pengukuran satu sumbu, maka medan magnet yang dapat terukur adalah medan magnet yang arahnya sejajar dengan arah sumbu sensor.

Besar kecilnya resolusi alat secara keseluruhan sangat dipengaruhi oleh jumlah bit pada ADC yang digunakan, semakin tinggi bit yang digunakan maka akan didapatkan resolusi yang semakin kecil. Pada penelitian kali ini digunakan ADC 0809 8 bit dan menghasilkan alat dengan resolusi  $176,5 \text{ nT}$ .

### 5.2 Saran

Sensor fluxgate sensitif terhadap medan-medan magnet yang relatif kecil. Sehingga dalam proses pengujian sensor, sebisa mungkin dijauhkan dari benda benda yang bisa bereaksi dengan medan magnet.



## Daftar Pustaka

- Budiono,H.,1995, “**Teori Medan Elektronikamagnetik**”, diktat kuliah, Jurusan fisika, FMIPA Universitas Brawijaya, Malang.
- Dobrin,M.B.,1988,”**Introduction to Geophysical Prospecting**”,McGraw-Hill Book.Co, New York.
- Hayt, William H.,Jr ,1995, edisi ke-5, “**Elektromagnetika Teknologi**”, alih bahasa **The Houw Liong**, Ph.D, Ir. Yani Sianipar, Erlangga,Jakarta.
- [http://www.earthsci.unimelb.edu.au/ES304/MODULES/MAG/NOTE\\_S/fluxgate.html](http://www.earthsci.unimelb.edu.au/ES304/MODULES/MAG/NOTE_S/fluxgate.html)
- Jain, A., 2003, ***Overview of Magnetic Measurement Techniques***, Brookhaven National Laboratory, New York
- Malvino, 1992, ***Aproksimasi Rangkaian Semikonduktor***, Edisi-4, Alih bahasa: Barmawi-Tjia, Erlangga, Jakarta.
- Reitz, John,R., 1993, “**Dasar Teori listrik Magnet**”,alih bahasaWiryosimin, Suwarno, Drs., ITB, Bandung.
- Santoso,R.,D,1999,”**Petunjuk Praktikum Interfacing**”,Jurusan Fisika, Universitas Brawijaya, Malang.
- Srijatno, 1981, ***Geofisika Terapan***, Departemen Fisika ITB.
- Sutrisno, 1987, “**Elektronika Teori dan Penerapannya 2**”, ITB, Bandung.
- Telford, W.M., and Geldart,L.D.,1982, “**Applied Geophysics**”, McGraw-Hill Book. Co. New York.
- Tokhein, RL.,1990, “**Elektronika Digital**”,alih bahasa Sutisno, Erlangga,Jakarta.

**Lampiran A**  
**Data Hasil Kalibrasi ADC**

No	V(volt)	Nilai digital (desimal)				
		D1	D2	D3	D4	D5
1	0,02	1	1	1	1	1
2	0,04	2	2	2	2	2
3	0,06	3	3	3	3	3
4	0,08	4	4	3	4	4
5	0,10	5	6	5	5	4
6	0,12	6	6	6	6	6
7	0,14	7	7	6	7	6
8	0,16	8	8	8	8	8
9	0,18	9	9	9	9	9
10	0,20	10	10	11	10	11
11	0,22	12	12	11	11	12
12	0,24	13	12	13	12	12
13	0,26	13	13	12	14	13
14	0,27	14	15	15	15	15
15	0,29	15	16	16	15	16
16	0,31	16	17	17	17	17
17	0,33	18	17	18	18	18
18	0,35	19	19	18	18	18
19	0,37	20	20	20	20	20
20	0,39	21	20	21	21	21
21	0,41	22	22	22	22	22
22	0,43	23	23	23	22	23
23	0,45	24	24	24	24	24
24	0,47	25	25	25	25	25
25	0,49	26	26	26	26	25
26	0,51	27	27	27	27	27
27	0,53	28	28	28	28	28
28	0,55	29	29	30	29	30

29	0,57	30	31	30	30	31
30	0,59	31	31	31	32	32
31	0,61	32	32	32	32	32
32	0,63	33	34	34	34	33
33	0,65	34	34	34	35	35
34	0,67	36	36	35	35	35
35	0,69	37	37	37	36	36
36	0,71	38	38	38	38	38
37	0,73	38	39	39	39	39
38	0,75	40	40	40	40	40
39	0,76	41	41	41	41	41
40	0,78	41	41	41	41	41
41	0,80	42	41	41	41	41
42	0,82	42	43	43	43	42
43	0,84	43	43	42	42	42
44	0,86	46	46	45	45	46
45	0,88	47	47	47	47	47
46	0,90	48	47	48	48	48
47	0,92	49	49	50	49	49
48	0,94	50	50	51	50	50
49	0,96	51	51	51	51	52
50	0,98	52	52	53	53	52
51	1,00	53	54	54	53	53
52	1,02	54	55	54	55	54
53	1,04	55	55	55	56	55
54	1,06	56	56	57	56	57
55	1,08	57	57	57	57	57
56	1,10	59	59	70	59	70
57	1,12	60	60	59	60	59
58	1,14	61	61	61	60	60
59	1,16	61	62	62	61	61
60	1,18	63	62	62	63	62
61	1,20	64	64	64	64	63

62	1,22	65	64	65	64	65
63	1,24	66	66	66	66	66
64	1,25	67	67	67	66	66
65	1,27	68	68	68	68	68
66	1,29	69	69	69	69	69
67	1,57	78	79	80	80	80
68	1,76	89	88	89	89	89
69	1,94	99	98	99	100	99
70	2,16	108	108	109	108	108
71	2,35	118	119	120	119	119
72	2,55	130	128	129	129	129
73	2,75	139	138	139	139	138
74	2,94	150	150	149	150	150
75	3,14	159	159	160	160	160
76	3,33	168	170	170	169	171
77	3,53	180	180	180	179	180
78	3,73	190	191	190	190	189
79	3,92	199	199	198	198	199
80	3,12	210	210	210	210	209
81	4,31	220	219	219	219	219
82	4,51	229	230	229	229	229
83	4,70	239	239	239	239	239
84	4,90	251	250	250	249	250
85	5,00	255	255	225	225	225

## Lampiran B

### Program Keseluruhan pada Mikrokontroler

```

$mod51
ruas          Equ    4

              Dseg
              Org    50H
Digitke:     ds      ruas*2
Simpanan:    ds      ruas
Variabel:    ds      ruas
konstkali:   ds      ruas
hasilkali:   ds      ruas
sisas:       ds      ruas
awal:        ds      1
konstbagi    equ     konstkali
hasilbagi    equ     hasilkali

              Cseg
              org     00h

ADC_OE       bit     P3.3
ADC_START    bit     P3.2
ADC_EOC      bit     P3.1
Tombol       bit     P3.0

              mov     R1,#awal
;=====
;
; Siap
;=====

              setb   Tombol

Siap:
              mov    dptr,#judul
              clr    A
              movc  A,@A+dptr
              mov    p1,A          ; -

```

```
mov P0,#11111110b
inc dptr
call delay
```

```
clr A
movc A,@A+dptr
mov p1,A ;-
mov P0,#11111101b
inc dptr
call delay
```

```
clr A
movc A,@A+dptr
mov p1,A ;S
mov P0,#11111011b
inc dptr
call delay
```

```
clr A
movc A,@A+dptr
mov p1,A ;I
mov P0,#11110111b
inc dptr
call delay
```

```
clr A
movc A,@A+dptr
mov p1,A ;A
mov P0,#11101111b
inc dptr
call delay
```

```
clr A
movc A,@A+dptr
mov p1,A ;P
mov P0,#11011111b
```

```

inc    dptr
call   delay

clr    A
movc  A,@A+dptr
mov   p1,A      ;-
mov   P0,#10111111b
inc    dptr
call   delay

clr    A
movc  A,@A+dptr
mov   p1,A      ;-
mov   P0,#01111111b
inc    dptr
call   delay

jnb   Tombol,Siap

clr    ADC_OE
clr    ADC_START
clr    ADC_START

next_sampling:
setb  ADC_START ; start of conversion
nop
nop
clr   ADC_START

not_EOC:
jnb   ADC_EOC,not_EOC

tunggu:
djnz  R3,tunggu
setb  ADC_OE      ; Baca Data melalui P2
djnz  R3,$
mov   @r1,#00H
mov   @R1,P2
clr   ADC_OE

```

Perhitungan:

```
Mov  Variabel,#0EEH           ;diganti
Mov  Variabel+1,#0FDH       ;untuk
Mov  Variabel+2,#02H        ;
Mov  Variabel+3,#00H
```

```
Mov  konstkali,@R1
Mov  konstkali+1,#00h
Mov  konstkali+2,#00h
Mov  konstkali+3,#00h
```

call perkalian

```
Mov  Variabel,#0A0h
Mov  Variabel+1,#086h
mov  Variabel+2,#01h
Mov  Variabel+3,#00h
```

```
mov  R0,#hasilkali           ;yang dikurangi
mov  R1,#Variabel           ;Pengurang
call  Pengurangan
```

Simpandu:

```
;Mov  R0,#hasilkali
Mov  R1,#Simpanan
call  Copy
```

```
=====
;
;Konversi hex
=====
;
```

Konsepulrib:

```
Mov  R0,#Simpanan
mov  R1,#Variabel
call  copy
Mov  konstkali,#080h
Mov  konstkali+1,#096h
```



Mov konstkali+2,#098h  
Mov konstkali+3,#00h  
call konstbagian

Mov R0,#Digitke+7  
mov A,hasilbagi  
Anl A,#0fh  
call ambildata  
mov @r0,A

Konrib:

Mov R0,#sis  
mov R1,#Variabel  
call copy  
Mov konstkali,#040h  
Mov konstkali+1,#042h  
Mov konstkali+2,#0fh  
Mov konstkali+3,#00h  
call konstbagian

Mov R0,#Digitke+6  
mov A,hasilbagi  
Anl A,#0fh  
call ambildata  
mov @r0,A

Konrat:

Mov R0,#sis  
mov R1,#Variabel  
call copy  
Mov konstkali,#0A0h  
Mov konstkali+1,#086h  
Mov konstkali+2,#01h  
Mov konstkali+3,#00h  
call konstbagian

Mov R0,#Digitke+5  
mov A,hasilbagi

Anl A,#0fh  
call ambidata  
mov @r0,A  
konpul:  
Mov R0,#sis  
mov R1,#Variabel  
call copy  
Mov konstkali,#010h  
Mov konstkali+1,#027h  
Mov konstkali+2,#00h  
Mov konstkali+3,#00h  
call konstbagian

Mov R0,#Digitke+4  
mov A,hasilbagi  
Anl A,#0fh  
call ambidata  
mov @r0,A  
konstat:  
Mov R0,#sis  
mov R1,#Variabel  
call copy  
Mov konstkali,#0e8h  
Mov konstkali+1,#03h  
Mov konstkali+2,#00h  
Mov konstkali+3,#00h  
call konstbagian

Mov R0,#Digitke+3  
mov A,hasilbagi  
Anl A,#0fh  
call ambidata  
mov @r0,A  
konminsat:  
Mov R0,#sis  
mov R1,#Variabel

call copy  
Mov konstkali,#064h  
Mov konstkali+1,#00h  
Mov konstkali+2,#00h  
Mov konstkali+3,#00h  
call konstbagian

Mov R0,#Digitke+2  
mov A,hasilbagi  
Anl A,#0fh  
call ambildata  
mov @r0,A

konmindu:

mov R0,#sis  
mov R1,#Variabel  
call copy  
Mov konstkali,#0Ah  
Mov konstkali+1,#00h  
Mov konstkali+2,#00h  
Mov konstkali+3,#00h  
call konstbagian

Mov R0,#Digitke+1  
mov A,hasilbagi  
Anl A,#0fh  
call ambildata  
mov @r0,A

konminti:

mov R0,#sis  
mov R1,#Variabel  
call copy  
Mov konstkali,#0Ah  
Mov konstkali+1,#01h  
Mov konstkali+2,#00h  
Mov konstkali+3,#00h  
call konstbagian

```
Mov R0,#Digitke
mov A,hasilbagi
Anl A,#0fh
call ambildata
mov @r0,A
```

```
=====
; Scandisplay
=====
```

```
mov r0,#10
```

```
scandisplay:
```

```
mov P1,Digitke+7
Mov P0,#11111110b
call delay
```

```
mov P1,Digitke+6
Mov P0,#11111101b
call delay
```

```
mov P1,Digitke+5
Mov P0,#11111011b
call delay
```

```
mov P1,Digitke+4
Mov P0,#11110111b
call delay
```

```
mov P1,Digitke+3
Mov P0,#11101111b
call delay
```

```
mov P1,Digitke+2
Mov P0,#11011111b
```

```

call    delay

mov     P1,Digitke+1
Mov     P0,#10111111b
call    delay

mov     P1,Digitke
Mov     P0,#01111111b
call    delay

jb      Tombol,majulagi

DJnz   r0,scandisplay
Ljmp   next_sampling

majulagi:
Ljmp   Siap
delay:
mov     R5,#5
delaylagi:
mov     R7,#750

djnz   R7,$
Djnz   R5,delaylagi
ret

ambildata:
mov     dptr,#kombinasiSS
movc   A,@A+dptr
ret

kombinasiSS:
db     11000000b    ;0
db     11111001b    ;1
db     10100100b    ;2
db     10110000b    ;3
db     10011001b    ;4

```

```

db      10010010b    ;5
db      10000010b    ;6
db      11111000b    ;7
db      10000000b    ;8
db      10010000b    ;9

judul: db      10111111b    ;-
        db      10111111b    ;-
        db      10010010b    ;S
        db      11001111b    ;I
        db      10001000b    ;A
        db      10001100b    ;P
        db      10111111b    ;-
        db      10111111b    ;-
        db      10111111b    ;-

```

```

;
; Routine konstbagian
;

```

```

konstbagian:

```

```

    Mov    R0,#hasilbagi
    call   hapusnilai
    Mov    R0,#sisas
    call   hapusnilai
    Mov    R3,#ruas*8

```

```

Loopkonstbagian:

```

```

    Clr    C
    Mov    R0,#Variabel
    Call   Geserkiri1X
    Mov    R0,#sisas
    call   Geserkiri1x

```

```

    Mov    R0,#sisas
    Mov    R1,#konstbagi
    Call   Perbandingan
    Jc     Jangandikurangi

```

```
Mov R0,#sis  
Mov R1,#konstb  
Call Pengurang  
Jangandikurangi:  
Cpl C  
Mov R0,#hasilb  
Call geserkiri1X  
DJNZ R3,Loopkonstb  
Ret
```

```
=====  
; Routine Gesre Kiri1x  
=====
```

Geserkiri1x:

```
Mov R2,#ruas
```

Geserlagi:

```
Mov A,@R0
```

```
RLC A
```

```
Mov @R0,A
```

```
Inc R0
```

```
DJNZ R2,Geserlagi
```

```
Ret
```

```
=====  
; Routine Perbandingan  
=====
```

Perbandingan:

```
Clr C
```

```
Mov R2,#ruas
```

Looperbandingan:

```
Mov A,@R0
```

```
Subb A,@R1
```

```
Inc R1
```

```
Inc R0
```

```
DJNZ R2,Looperbandingan
```

```
Ret
```

=====  
; Routine Pengurangan  
=====

Pengurangan:

Clr C  
Mov R2,#ruas

Looppengurangan:

Mov A,@R0  
Subb A,@R1  
Mov @R0,A  
Inc R0  
Inc R1  
DJNZ R2,Looppengurangan  
ret

=====  
; Routine Perkalian  
=====

Perkalian:

Mov R0,#hasilkali  
Call Hapusnilai  
Mov R3,#ruas\*8

Loopperkalian:

Clr C  
Mov R0,#konstkali+ruas-1  
Mov R2,#ruas

GeserKanan:

Mov A,@R0  
RRC a  
Mov @R0,A  
Dec R0  
DJNZ R2,Geserkanan

JNC Janganditambah

Mov R0,#hasilkali  
Mov R1,#Variabel



Call Penambahan  
Janganditambah:  
Clr C  
Mov R0,#Variabel  
Call geserkiri1X  
DJNZ R3,Loopperkalian  
ret

=====  
; Routine Penambahan  
=====

Penambahan:

Clr C  
Mov R2,#ruas  
Loopenambahan:  
Mov A,@R0  
ADDC A,@R1  
Mov @R0,A  
Inc R0  
Inc R1  
DJNZ R2,Loopenambahan  
Ret

=====  
; Routine Hapus Nilai  
=====

Hapusnilai:

Mov R2,#ruas  
Loophapus:  
Mov @R0,#0  
Inc R0  
DJNZ R2,Loophapus  
ret

=====  
; Routine Copy  
=====

Copy:

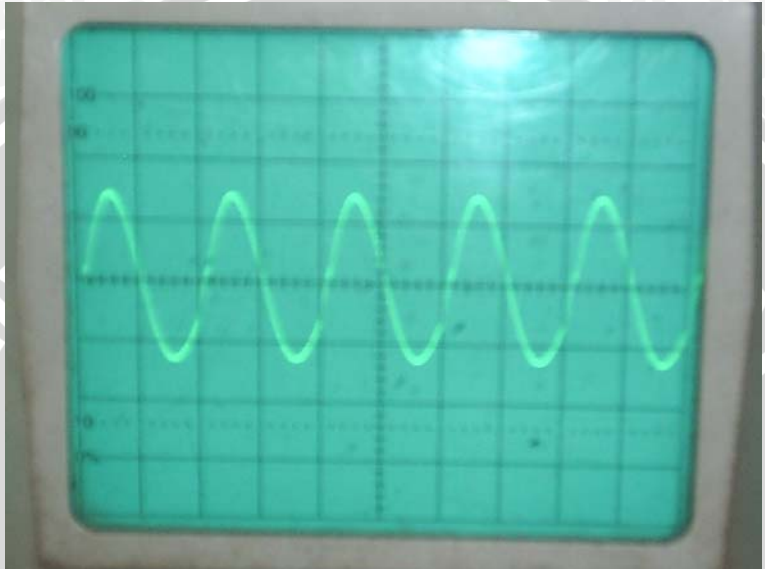
Mov R2,#ruas

```
LoopCopy:  
  Mov  A,@R0  
  Mov  @R1,A  
  Inc  R0  
  Inc  R1  
  DJNZ R2,LoopCopy  
  ret  
  
end
```

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Lampiran C  
Gambar – Gambar



Bentuk gelombang yang di gunakan sebagai drive



Gambar sensor fluxgate



Gambar Rangkaian Penampil



Gambar kalibrasi program perhitungan dan penampil



Gambar keseluruhan bagian alat.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

