

**DESAIN DAN PEMBUATAN ALAT UKUR MEDAN MAGNETIK PASIR  
BESI BERBASIS SENSOR *FLUXGATE***

**SKRIPSI**

*Diajukan Kepada Tim Penguji Skripsi Jurusan Fisika Sebagai Salah Satu  
Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains*



*Oleh :*

**FEBRI NANDA FARSITO**

**84178/2007**

**PROGRAM STUDI FISIKA  
JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI PADANG  
2012**

**PERSETUJUAN SKRIPSI**

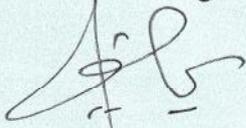
**DESAIN DAN PEMBUATAN ALAT UKUR MEDAN MAGNETIK PASIR  
BESI BERBASIS SENSOR *FLUXGATE***

Nama : Febri Nanda Farsito  
NIM : 84178  
Program Studi : Fisika  
Jurusan : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 1 Agustus 2012

Disetujui Oleh

Pembimbing I



Dr. Yulkifli, S.Pd, M.Si  
NIP. 19730702 200312 1 002

Pembimbing II



Fatni Mufit, S.Pd, M.Si  
NIP. 19731023 200012 2 002

## PENGESAHAN

Dinyatakan Lulus Setelah Dipertahankan Didepan Tim Penguji Skripsi

Program Studi Fisika Jurusan Fisika

Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Negeri Padang

**Judul** : Desain Dan Pembuatan Alat Ukur Medan  
Magnetik Pasir Besi Berbasis Sensor *Fluxgate*

Nama : Febri Nanda Farsito

NIM : 84178

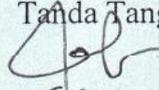
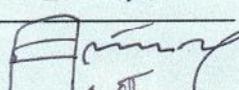
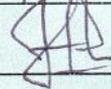
Program Studi : Fisika

Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 1 Agustus 2012

### Tim Penguji

	Nama	Tanda Tangan
1. Ketua	: Dr. Yulkifli, S.Pd, M.Si	1. 
2. Sekretaris	: Fatni Mufit, S.Pd, M.Si	2. 
3. Anggota	: Drs. Mahrizal, M.Si	3. 
4. Anggota	: Drs. H. Asrizal, M.Si	4. 
5. Anggota	: Drs. Hufri, M.Si	5. 

## SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang lazim.

Padang, 1 Agustus 2012

Yang Menyatakan,



Febri Nanda Farsito

## ABSTRAK

**Febri Fanda Farsito** : Desain dan Pembuatan Alat Ukur Medan Magnetik Pasir Besi berbasis Sensor *Fluxgate*

Pengukuran medan magnet penting dilakukan karena banyak benda-benda bersifat magnet dan bermanfaat dalam kehidupan. Salah satu benda yang mengandung medan magnet adalah pasir besi. Pasir besi merupakan salah satu sumber daya alam di Sumatra Barat yang cukup banyak terutama di Pantai Sunur dan Pantai Masang tetapi belum di manfaatkan secara optimal. Untuk mengukur medan magnetik suatu benda diperlukan sensor. Salah satu jenis dari sensor untuk mendeteksi medan magnetik adalah sensor *fluxgate*. Sensor *fluxgate* adalah sensor magnetik yang bekerja berdasarkan perubahan *flux* magnetik disekitar elemen sensor. Penelitian ini merancang alat ukur medan magnet berbasis sensor *fluxgate*. Tujuan dari penelitian ini adalah menjelaskan fungsi dari setiap bagian alat ukur dan menentukan kelinieran dan ketelitian dari alat ukur.

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen laboratorium. Teknik pengukuran dan pengumpulan data dilakukan secara langsung dan tidak langsung. Pengukuran secara langsung dilakukan dengan menggunakan kumparan solenoid dan pasir besi untuk melihat pengaruhnya terhadap tegangan keluaran yang dihasilkan oleh alat ukur medan magnet. Sedangkan pengumpulan dan pengukuran secara tidak langsung adalah kelinieran terhadap medan magnet dan ketelitian dari alat ukur kuat medan magnet. Data yang diperoleh melalui pengukuran dianalisis melalui dua cara yaitu secara statistik dan grafik. Untuk melihat kesebandingan dari alat ukur yang di buat dengan alat ukur standar, digunakan *magnetic susceptibilitas meter* sebagai pembandingnya.

Berdasarkan data dan analisis yang dilakukan dapat diketahui beberapa hasil penting. Pertama, alat ukur medan magnetik berbasis sensor *fluxgate* ini terdiri dari dua bagian penting yaitu elemen dari sensor *fluxgate* dan rangkaian pendukungnya seperti rangkaian *power supply*, rangkaian pengolah sinyal, dan rangkaian mikrokontroler. Kedua, spesifikasi desain dari alat ukur medan magnet berbasis sensor *fluxgate* ini yang berupa kelinieran dan ketelitian alat ukur. Setelah dilakukan pengukuran diperoleh kelinieran medan magnet terhadap arus pada solenoid adalah 0,990. Sedangkan ketelitian dari alat melalui perhitungan adalah 0,998. Alat ukur ini memiliki kelinieran dan ketelitian yang cukup tinggi terhadap medan magnet.

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur diucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan nikmat dan hidayahnya kepada peneliti sehingga laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan. Sebagai judul dari tugas akhir yaitu “Desain dan Pembuatan Alat Ukur Medan Magnetik Pasir Besi berbasis Sensor *Fluxgate*”.

Tugas akhir ini dibuat untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam memperoleh gelar sarjana Strata Satu (S1) di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang. Penelitian ini merupakan bagian dari Penelitian Hibah Bersaing No. 081/UN35.2/PG/2012 dengan ketua peneliti Dr. Yulkifli, M.Si beserta tim. Pada kesempatan ini peneliti mengucapkan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada :

1. Bapak Dr. Yulkifli, M.Si sebagai pembimbing I.
2. Ibu Fatni Mufit, S.Pd, M.Si sebagai pembimbing II.
3. Bapak Drs. Mahrizal, M.Si, Drs. Asrizal, M.Si, dan Drs. Hufri, M.Si sebagai tim penguji.
4. Bapak Drs. Akmam, M.Si sebagai Ketua Jurusan Fisika FMIPA UNP.
5. Ibu Dra. Hidayati, M.Si sebagai Ketua Prodi Fisika FMIPA UNP.
6. Bapak Harman Amir, S.Si, M.Si sebagai Penasehat Akademis di Jurusan Fisika FMIPA UNP.
7. Bapak-bapak dan Ibu-ibu Staf Pengajar Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang.

8. Orang tua dan saudara yang telah memberikan dorongan baik moril maupun materil dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Rekan-rekan seperjuangan yang telah memberikan saran dan masukan untuk menyelesaikan tugas akhir ini, khususnya rekan- rekan angkatan 2007.
10. Semua pihak yang telah membantu peneliti yang tidak dapat peneliti sebutkan satu persatu.

Semoga atas segala bantuan dan motivasi yang diberikan mendapat balasan yang setimpal dari Allah SWT. Penulis menyadari bahwa dalam laporan tugas akhir ini masih terdapat kesalahan dan kelemahan. Untuk itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan tugas akhir ini.

Padang, Juni 2012

Peneliti

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>ABSTAK</b> .....	i
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	ii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	viii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	ix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
A. Latar Belakang Masalah .....	1
B. Pembatasan dan Perumusan Masalah .....	4
C. Tujuan Penelitian .....	4
D. Pertanyaan Penelitian .....	5
E. Manfaat Penelitian .....	5
<b>BAB II TINJAUAN KEPUSTAKAAN</b> .....	6
A. Sensor .....	6
1. Pengertian Sensor .....	6
2. Sensor Magnetik .....	7
B. Sensor <i>Fluxgate</i> .....	8
1. Perumusan tentang Sensor <i>Fluxgate</i> .....	8
2. Rangkaian Sensor <i>Fluxgate</i> .....	14
C. Mikrokontroler ATMEGA8535 .....	20
D. <i>Liquid Crystal Display</i> (LCD) .....	22
E. Medan Magnet .....	25
F. Pasir Besi .....	26
1. Pengertian .....	26
2. Mineral Magnetik Pasir Besi .....	27
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	30
A. Tempat dan Waktu Penelitian .....	30
B. Alat dan Bahan .....	30

C. Desain Penelitian.....	31
1. Variabel Penelitian.....	31
2. Model Penelitian.....	31
3. Rancangan Sistem Pengukuran Medan Magnetik Pasir besi.....	32
a. Desain Perangkat Keras.....	32
b. Desain Perangkat Lunak.....	37
4. Teknik Pengumpulan Data.....	37
5. Teknik Analisis Data.....	38
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>41</b>
A. Hasil Penelitian.....	41
1. Deskripsi Sistem Pengukuran Kuat Medan Magnet.....	41
2. Pengaruh Jarak Sampel dengan Sensor <i>Fluxgate</i> .....	45
3. Kelinieran dan Ketelitian Sistem Pengukuran Kuat Medan Magnet.....	46
B. Pembahasan.....	50
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>54</b>
A. Kesimpulan.....	54
B. Saran.....	54
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>56</b>
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
1. Blok Fungsional Sensor/Transduser .....	6
2. Diagram Pengelompokan Sensor Magnetik berdasarkan Magnituda Medan Magnetik .....	7
3. Sensor <i>Fluxgate</i> Konvensional .....	8
4. Konfigurasi Paralel Sensor <i>Fluxgate</i> .....	10
5. Konfigurasi Ortogonal Sensor <i>Fluxgate</i> .....	10
6. Prinsip Kerja Sensor <i>Fluxgate</i> .....	11
7. Skema Diagram Pengolahan Sinyal .....	14
8. Rangkaian Osilator Kristal dan IC CD 4060 .....	15
9. Rangkaian MOSFET sebagai <i>Inverter</i> .....	15
10. Rangkaian Generator Sinyal Eksitasi .....	16
11. Rangkaian Penguat Inverting .....	17
12. Blok Diagram IC CD4053, Pin Out dari IC .....	18
13. Rangkaian Integrator .....	18
14. Blok Diagram Penguat Akhir .....	19
15. Diagram pin mikrokontroler ATMEGA8535 .....	20
16. Sistem Minimum Mikrokontroler ATMEGA8535 .....	21
17. Bentuk LCD .....	23
18. Pasir Besi .....	26
19. Solenoid .....	32
20. Pengkalibrasian Sensor <i>Fluxgate</i> .....	33
21. Perangkat Keras Sistem Pengukuran Magnetik Pasir Besi .....	34
22. Holder .....	35
23. Blok Diagram Alat Ukur Magnetik Pasir Besi .....	36
24. Flowchar Alat Ukur Magnetik Pasir Besi .....	37
25. Alat Ukur Medan Magnetik Pasir Besi dan Sampel .....	42
26. Rangkaian Elektronika Sistem Pengukuran Kuat Medan Magnet berbasis Sensor <i>Fluxgate</i> .....	42

27. Rangkaian Regulator Sistem Pengukuran Kuat Medan Magnet.....	43
28. Rangkaian Eksitasi dan Pengolah Sinyal .....	43
29. Rangkaian Mikrokontroler ATMEGA8535 .....	44
30. Tampilan Output Sistem Pengukuran Medan Magnet Pada LCD .....	44
31. Grafik Hubungan antara Arus dan Medan Magnet .....	47
32. Nilai Medan Magnet dari Masing-Masing Sampel.....	48
33. Nilai Suseptibilitas dari Masing-Masing Sampel.....	48
34. Grafik Hubungan antara Medan Magnet dan Suseptibilitas .....	49

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
1. Daftar Harga Beberapa Alat Ukur Medan Magnet .....	3
2. Fungsi pin pada LCD .....	23
3. Jadwal Kegiatan Penelitian .....	30
4. Data Hubungan Jarak dengan Tegangan Keluaran .....	45
5. Data Statistik Ketelitian Sistem Pengukuran Medan Magnet .....	50

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran</b>	<b>Halaman</b>
1. Rangkaian Pengolah Sinyal Sensor <i>Fluxgate</i> .....	58
2. Rangkaian Inverting dan Mikrokontroler ATMEGA8535 .....	59
3. Foto Pengambilan Data Hubungan Arus pada Kumparan Solenoid dengan Medan Magnet .....	60
4. TabelData Hubungan Antara Arus dan Medan Magnet.....	60
5. Hasil Pengukuran Kuat Medan Magnet dari Enam Sampel.....	61
6. Foto Pengambilan Data Pengukuran Besir Besi Setiap 15 <sup>0</sup> .....	62
7. Data Pengukuran Suseptibilitas Magnetik Pasir Besi dengan Bartington.....	62
8. Table Data Pengukuran Berulang Untuk Medan Magnet Pada Pasir Besi.....	63
9. Program Alat Ukur Medan Magnetik Pasir Besi .....	63

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang Masalah**

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK) pada saat sekarang ini mengalami peningkatan yang sangat pesat. Hasil IPTEK tersebut telah banyak memberikan cukup banyak kemudahan dan keuntungan bagi manusia. Jenis-jenis pekerjaan yang sebelumnya menuntut kemampuan fisik yang cukup besar, kini relatif sudah bisa digantikan oleh perangkat mesin-mesin otomatis. Demikian juga ditemukannya formulasi-formulasi baru kapasitas komputer, seolah sudah mampu menggeser posisi kemampuan otak manusia dalam berbagai bidang ilmu dan aktifitas manusia.

Perkembangan IPTEK yang begitu pesat tentunya tidak luput dari kontribusi semua bidang ilmu. Salah satu disiplin ilmu yang memberikan andil cukup besar dalam perkembangan teknologi itu adalah Fisika. Fisika telah memberikan dasar yang kuat pada kemajuan teknologi. Salah satu bidang kajian Fisika yang tidak kalah pesat perkembangannya saat ini adalah elektronika. Salah satu contoh kemajuan di bidang elektronika yang sedang berkembang saat ini adalah peralatan yang didukung oleh berbagai macam jenis sensor.

Sensor adalah alat untuk mendeteksi atau mengukur sesuatu yang digunakan untuk mengubah variasi mekanis, magnetis, panas, sinar dan kimia menjadi sinyal listrik. Sensor merupakan gerbang dari suatu instrumen. Suatu sensor dapat bereaksi terhadap stimulus (rangsangan) dan mengkonversinya ke dalam bentuk sinyal listrik yang sesuai dengan rangkaian listrik tertentu.

Sensor *fluxgate* adalah salah satu jenis sensor magnet. Prinsip fungsional yang mendasar dari sistem sensor *fluxgate* adalah perbandingan medan magnet yang diukur ( $B_{ext}$ ) dengan medan magnet referensi ( $B_{ref}$ ). Sensor magnetik *fluxgate* menggunakan medan magnet referensi ( $B_{ref}$ ) untuk dibandingkan dengan medan magnet yang akan diukur. Medan magnet referensi ( $B_{ref}$ ) disuperposisikan dengan medan magnet yang akan diukur ( $B_{ext}$ ) pada bahan inti ditangkap oleh kumparan sekunder (*pick-up coil*) untuk dievaluasi.

Kelebihan utama sensor ini adalah bias yang rendah. Bias (*offset*) yang muncul pun disebabkan oleh pengkondisi sinyal elektronik. Koefisien temperatur bias pun sangat rendah dan sensor ini dapat bekerja pada area temperatur yang luas. Sensor *fluxgate* bisa juga digunakan sebagai kompas pada sistem GPS, sensor jarak, memantau medan magnetik bumi, serta mendeteksi konstruksi besi baik yang di permukaan maupun di bawah permukaan bumi.

Penggunaan sensor *fluxgate* sebagai komponen penting dalam perancangan alat ukur medan magnetik ini adalah karena harganya yang relatif murah juga memiliki karakteristik yang baik. Sensor *fluxgate* mempunyai sifat yang linearitas terhadap medan magnet yang mengenainya. Dengan melihat kelebihan-kelebihan yang dimiliki oleh sensor *fluxgate*, maka dapat dirancang sebuah alat yang berfungsi untuk mengukur medan magnet pada bahan yang memiliki kandungan magnetik seperti pasir besi.

Sampel yang digunakan pada alat ukur medan magnetik ini adalah pasir besi. Pasir besi dijadikan sebagai sampel karena mengandung mineral-mineral magnetik yang dapat menjadi stimulus bagi sensor yang digunakan. Selain itu

pasir besi juga merupakan salah satu sumber daya alam di Sumatra Barat yang cukup banyak tetapi belum di manfaatkan secara optimal. Pasir besi ini tersebar di beberapa lokasi pesisir pantai, di antaranya Pantai Sunur dan Pantai Masang, Kota Pariaman, Propinsi Sumatra Barat.

Alat yang biasa digunakan untuk mengukur medan magnetik yang dikandung oleh suatu bahan bisa terbilang masih jarang. Harganya pun cukup mahal dan susah didapat, contohnya saja *fluxmeter*. Apabila terjadi kerusakan maka untuk memperbaikinya sangat sulit, walaupun bisa diperbaiki itupun membutuhkan biaya yang juga mahal. Dari Tabel 1 dapat dilihat beberapa alat ukur medan magnet beserta range pengukuran dan harganya.

Tabel 1. Daftar Harga Beberapa Alat Ukur Medan Magnet

NO	Nama Alat	Range pengukuran	Harga
1	Teslameter	200m T, 2000mT	± Rp. 4.000.000,00
2	Gaussmeter	30G, 3G, 300mG	± Rp. 2.500.000,00
3	Magnetic Susceptibility Meter	0-9000	± Rp. 25.000.000,00
4	Magnetic Flux Meter MF300B	0-1.99T	± Rp. 3.000.000,00
5	Digital Flux Meter	2, 20, 200,2000 m/Wb	± Rp. 10.000.000,00

Dengan perancangan alat ukur kuat medan magnetik diharapkan dapat mengatasi masalah di atas. Alat yang akan di buat ini selain biaya pembuatannya yang tidak terlalu mahal juga mudah diperbaiki. Apabila terjadi kerusakan pada salah satu komponen kita dapat memperbaiki bagian yang rusak tersebut.

Dari masalah yang telah diuraikan diatas, maka peneliti tertarik untuk merancang sebuah alat ukur medan magnetik yang harga jualnya lebih terjangkau, tetapi memiliki ketelitian yang lebih tinggi. Sehingga judul dari penelitian ini adalah “*Desain dan Pembuatan Alat Ukur Medan Magnetik Pasir Besi berbasis Sensor Fluxgate*”.

## **B. Pembatasan dan Perumusan Masalah**

Agar penelitian yang dilakukan lebih terarah, maka perlu dilakukan beberapa pembatasan masalah dalam penelitian ini. Sebagai pembatasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Elemen yang digunakan pada pembuatan alat ukur medan magnetik adalah sensor *fluxgate* dengan kode Z57.
2. Karakteristik statik sistem pengukuran yang diselidiki meliputi kelinieran dan ketelitian dari alat ukur medan magnetik berbasis sensor *fluxgate*.
3. Pasir besi yang diukur terdiri dari enam sampel yang berbeda, tiga sampel dari pantai sunur dan tiga sampel dari patai masang.

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dikemukakan maka dapat dijelaskan masalah pada penelitian ini yaitu: “Bagaimana Hasil Desain dan Pembuatan Alat Ukur Medan Magnetik Pasir Besi berbasis Sensor *Fluxgate* ?”

## **C. Tujuan Penelitian**

Secara umum penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan alat ukur magnetik pasir besi menggunakan sensor *fluxgate*. Secara khusus tujuan penelitian ini adalah:

1. Menjelaskan fungsi-fungsi dari setiap bagian dari alat ukur medan magnetik berbasis sensor *fluxgate*.
2. Menentukan kelinieran dan ketelitian dari alat ukur medan magnetik berbasis sensor *fluxgate*.

#### **D. Pertanyaan Penelitian**

Untuk menjawab permasalahan dalam penelitian ini perlu dikemukakan beberapa pertanyaan sebagai berikut:

1. Bagaimana fungsi–fungsi dari setiap bagian dari alat ukur medan magnetik pasir besi berbasis sensor *fluxgate*?
2. Bagaimana kelinieran dan ketelitian dari alat ukur medan magnetik pasir besi berbasis sensor *fluxgate*?

#### **E. Manfaat Penelitian**

Hasil dari penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi pada:

1. Kelompok kajian elektronika dalam pengembangan instrumentasi berbasis elektronika, khususnya dalam pengembangan sistem sensor.
2. Pembaca, untuk menambah pengetahuan dan memperluas wawasan dalam bidang kajian elektronika dan dalam upaya pengembangan instrumentasi berbasis elektronika khususnya tentang sensor *fluxgate*.
3. Peneliti, sebagai syarat untuk menyelesaikan program studi Fisika S1 dan pengembangan diri dalam bidang penelitian Fisika.
4. Peneliti lain, sebagai sumber ide dan referensi dalam pengembangan penelitian tentang instrumentasi.

## BAB II

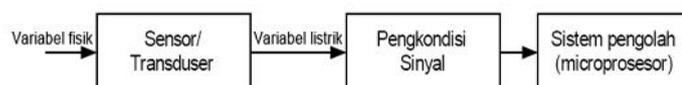
### TINJAUAN KEPUSTAKAAN

#### A. Sensor

##### 1. Pengertian sensor

*A sensor is often defined as a device that receives and responds to a signal or stimulus* (Jacob Fraden, 2003). Sensor sering didefinisikan sebagai perangkat yang menerima dan menanggapi sinyal atau stimulus. Variabel keluaran dari sensor yang diubah menjadi besaran listrik disebut transduser. Pada saat ini, sensor telah dibuat dengan ukuran sangat kecil dengan orde nanometer. Ukuran yang sangat kecil ini sangat memudahkan pemakaian dan menghemat energi.

Sensor merupakan salah satu komponen penting sebagai pengindera dari sistem. Bagian ini akan mengubah hal-hal yang dideteksi menjadi besaran-besaran listrik sehingga dapat diproses oleh sistem elektronika seperti mikrokontroler, PLC ataupun PC melalui ADC (*Analog to Digital Converter*) yang mengubah sinyal elektronik menjadi data digital. Namun seringkali besaran listrik yang dihasilkan sensor sangat kecil sehingga ADC tidak dapat memprosesnya secara langsung. Untuk itu dibutuhkan rangkaian pengkondisi signal yang menguatkan signal tersebut menjadi tegangan analog yang cukup besar, seperti gambar 1.

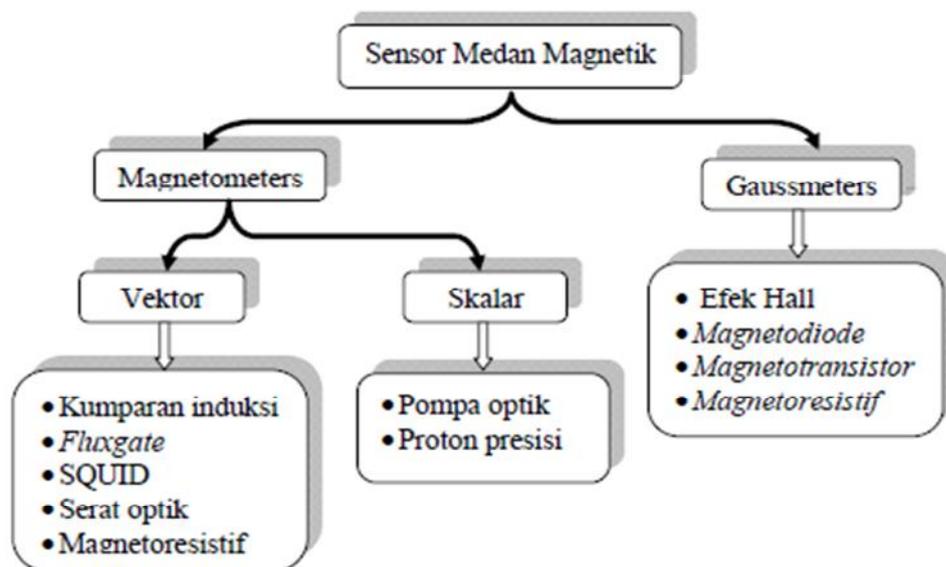


Gambar 1. Blok Fungsional Sensor/Transduser

Dalam kaitannya dengan sistem elektronik, sensor dan transduser pada dasarnya dapat dipandang sebagai sebuah perangkat atau *device* yang berfungsi mengubah suatu besaran fisik menjadi besaran listrik, sehingga keluarannya dapat diolah dengan rangkaian listrik atau sistem digital. Dewasa ini, hampir seluruh peralatan modern memiliki sensor di dalamnya.

## 2. Sensor Magnetik

Sensor-sensor yang bekerja berdasarkan perubahan medan magnetik yang terjadi di sekitar benda atau objek yang diukur disebut sensor medan magnet. Pembagian dari sensor medan magnet ini dapat dilihat pada Gambar 2.



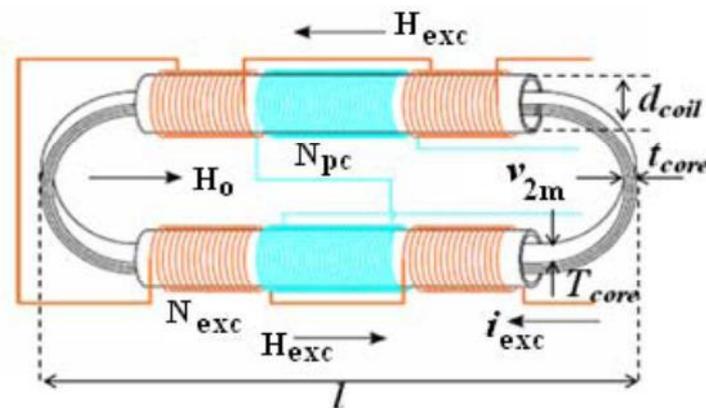
Gambar 2. Diagram Pengelompokan Sensor Magnetik berdasarkan Magnituda Medan Magnetik (dimodifikasi dari Macyntyre, 1999).

Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa sensor medan magnetik terbagi menjadi magnetometers dan gauss meter. Sensor megnetometers bisa untuk mengukur medan magnet dan juga arahnya, sedangkan gaussmeter hanya untuk mengukur

kuat medan magnet saja. Atau dalam kata lain berdasarkan magnituda medan magnet, sensor medan magnet dapat dibagi menjadi dua yaitu komponen vektor (*vector component*) dan berdasarkan skalar. Tipe vektor termasuk ke dalam sensor yang digunakan untuk mengukur medan magnet lemah dan medan magnet kuat.

### B. Sensor *Fluxgate*

Teknologi konvensional adalah teknologi manual dimana kawat yang menjadi kumparan eksitasi dan *pick-up* dililitkan secara manual. Sebagai inti feromagnetik masih menggunakan material buatan industri seperti *Vitrovac* dan *Metglas*. Desain elemen *fluxgate* dengan metode konvensional ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Sensor *Fluxgate* Konvensional ( Yulkifli, 2010)

#### 1. Perumusan tentang Sensor *Fluxgate*

Sensor *fluxgate* adalah sensor magnetik yang bekerja berdasarkan sifat non-linier dari material feromagnetik yang dapat berubah permeabilitasnya ketika terjadi perubahan magnetik di sekitar sensor (Kubik, 2006). Sensor *fluxgate* terdiri dari elemen *fluxgate* dan rangkaian pengolah sinyal. Elemen *fluxgate* terdiri dari kumparan eksitasi (*excitation coil*), kumparan *pickup* (*pick-up coil*) dan inti

feromagnetik (*core*) (Ando, dkk., 2006), seperti ditunjukkan Gambar 3.

Kumparan eksitasi berfungsi untuk menghasilkan medan eksitasi sedangkan kumparan *pick-up* berfungsi untuk menangkap perubahan fluks magnetik yang dihasilkan oleh kumparan eksitasi. Perubahan fluks pada kumparan eksitasi disebabkan perubahan sifat magnetisasi bahan inti.

Kumparan eksitasi berfungsi sebagai pembangkit medan magnet referensi. Pada kumparan eksitasi, medan listrik dialirkan dan diubah menjadi medan magnet. Besarnya medan magnet yang timbul secara matematis dirumuskan pada Pers.(1):

$$B = \mu in \quad (1)$$

dengan  $\mu$ , adalah nilai permeabilitas bahan,  $i$  adalah arus yang mengalir,  $n$  adalah jumlah lilitan persatuan panjang.

Kumparan sekunder (*pick-up coil*) adalah kumparan yang berfungsi untuk mengubah besarnya perubahan medan magnet yang terjadi menjadi besaran listrik. Besarnya tegangan yang terjadi secara matematika dirumuskan pada Pers.(2):

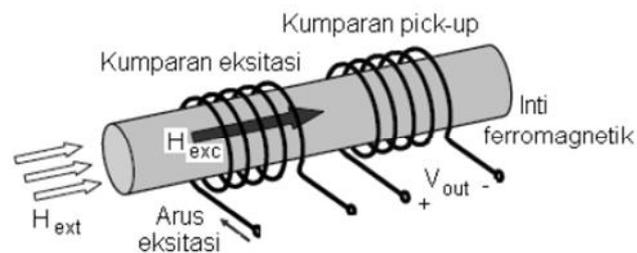
$$\mathcal{E} = -N \frac{d\Phi}{dt} = -N \frac{d(BA)}{dt} \quad (2)$$

dengan  $N$  adalah jumlah lilitan,  $B$  adalah besar medan magnet,  $A$  adalah luas penampang dari lilitan.

Berdasarkan arah medan eksitasi yang dihasilkan oleh kumparan eksitasi, maka elemen *fluxgate* terdiri dari dua yaitu:

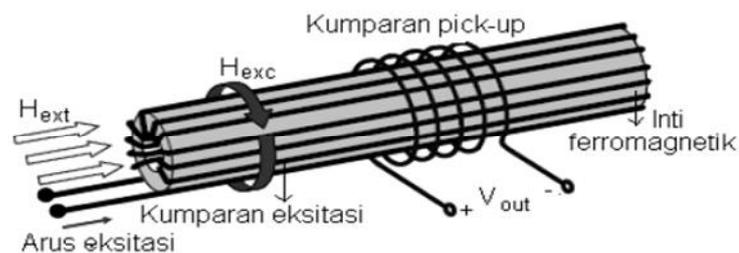
- a. *Fluxgate* paralel: arah medan eksitasi sejajar dengan medan eksternal yang diukur, pada konfigurasi ini, medan eksitasi sejajar dengan medan eksternal seperti yang terlihat pada Gambar 4. Mekanisme eksitasi dan deteksi saling

bergantung satu sama lain sehingga pembuatannya tidak bisa terpisah. Panjang inti dapat mempengaruhi medan eksitasi dan rentang medan magnet yang dapat diukur.



Gambar 4. Konfigurasi Paralel Sensor *Fluxgate* (Ando,dkk,2006)

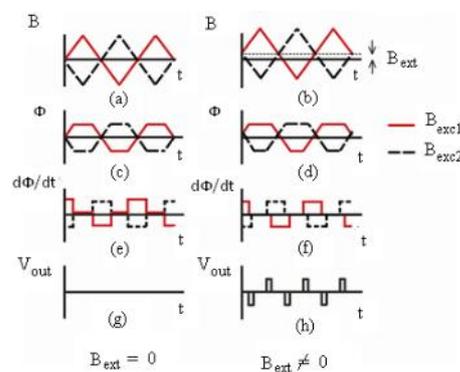
- b. *Fluxgate orthogonal*: arah medan eksitasi tegak lurus arah medan eksternal yang di ukur. Desain sensor dengan konfigurasi ini dapat secara terpisah karena tidak bergantung satu sama lain. Panjang inti hanya mempengaruhi rentang medan magnet tapi tidak mempengaruhi medan eksitasi. Konfigurasi ortogonal sensor *fluxgate* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Konfigurasi Ortogonal Sensor *Fluxgate* (Zorlu,2008)

Kumparan eskitasi dan *pick-up* merupakan sebuah kumparan dengan panjang ( $l$ ) yang diberi sejumlah lilitan ( $N$ ) dari kawat halus berinsulasi (kawat email). Medan eksitasi yang muncul pada kumparan eksitasi disebabkan oleh arus bolak-balik ( $i$ ) yang berasal dari rangkaian eksitasi.

Pada metoda *fluxgate* pengukuran medan magnet didasarkan pada hubungan antara kuat medan magnet yang diberikan dengan fluks medan magnet induksi. Jika yang dihasilkan berasal dari masukan berupa gelombang pulsa bolak-balik, maka dalam keadaan saturasi pada keluaran akan timbul gelombang harmonik genap, gelombang harmonik ke dua, yang besarnya sebanding dengan medan magnet luar yang mempengaruhi inti dan arahnya sebanding dengan arah medan magnet luar. Prinsip pengukuran ini ditunjukkan Gambar 6.



Gambar 6. Prinsip Kerja Sensor *Fluxgate* (Yulkifli, 2010, dimodifikasi dari Grueger,2000)

Untuk lebih jelasnya prinsip kerja pengukuran *fluxgate* dapat dilihat pada Gambar 6. Prinsip kerja sensor magnetik *fluxgate*. a) Medan eksitasi tanpa medan magnet luar  $B_{ext}=0$ ; b) Medan eksitasi dengan medan magnet luar  $B_{ext}\neq 0$ ; c) kurva magnetisasi dalam keadaan saturasi pada  $B_{ext}=0$ ; d) kurva magnetisasi dalam keadaan saturasi pada  $B_{ext}\neq 0$ ; e) perubahan fluks terhadap waktu pada  $B_{ext}=0$ ; f) perubahan fluks terhadap waktu pada  $B_{ext}\neq 0$ ; g) tegangan keluaran sensor pada  $B_{ext}=0$ ; h) tegangan keluaran sensor pada  $B_{ext}\neq 0$ .

Karakteristik tegangan keluaran sensor *fluxgate* dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain: jumlah lilitan eksitasi dan *pick-up*, jumlah lapisan inti, dimensi

geometri elemen sensor, sifat dan jenis material inti ferromagnetik, frekuensi dan arus eksitasi (Yulkifli, dkk., 2010).

Untuk mengevaluasi tegangan keluaran sensor *fluxgate* digunakan fungsi transfer. Fungsi transfer suatu sensor magnetik *fluxgate* menggambarkan hubungan antara tegangan keluaran  $V_o$  dengan medan magnet yang diukur. Fungsi transfer dapat dihitung menggunakan pendekatan polinomial kemudian mencari komponen frekuensi yang ada di dalam kerapatan fluks magnetik inti sensor. Penggunaan pendekatan polinomial teknik harmonisa kedua akan memudahkan untuk menyederhanakan fungsi transfer ke dalam komponen frekuensi (Göpel, W, *et al.* 1989). Dengan asumsi bahwa inti (*core*) sensor bertipe linear dan medan eksitasi berbentuk sinusoida, maka berdasarkan penurunan inti ini akan disaturasikan dengan medan eksitasi sinusoida sebagai

$$H_{ref} = H_{ref\ max} \sin \omega t \quad (3)$$

yang akan disuperposisikan dengan medan magnet eksternal. Medan magnet di dalam inti sensor kemudian akan menjadi

$$H_{int} = \frac{H_{ext} + H_{ref\ max} \sin \omega t}{1 + D(\mu_r - 1)} \quad (4)$$

dengan  $\mu_r$  adalah permeabilitas relatif dan  $D$  adalah faktor demagnetisasi untuk inti linear (Djamal, M., *et al.*, 2005:2007).

Untuk mengukur rapat flux di dalam inti, ada baiknya menormalisasi kuat medan magnet internal menjadi  $H_0^*$ , dalam bentuk:

$$H_0^* = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{B_{sat} [1 + D(\mu_{rn} - 1)]}{\mu_{rn} \mu_0} \quad (5)$$

Disini kuat medan magnet dalam inti menjadi

$$h_{int} = \frac{H_{int}}{H_0^*} = h_{ext} + h_{ref \max} \sin \omega t \quad (6)$$

Komponen harmonisasi kedua sebanding dengan kuat medan magnet luar. Tegangan keluaran  $V_{out}$  dari kumparan sekunder juga sesuai dengan turunan waktu rapat flux di dalam inti, amplitudo tegangan keluran induksi dilukiskan dengan hukum varaday:

$$V_{out} = -N \frac{d\Phi}{dt} = -NA \frac{dB}{dt} \quad (7)$$

$N$  adalah jumlah lilitan kumparan sekunder dan  $A$  adalah luas bidang potong inti sensor. Tegangan keluaran kumparan sekunder ternormalisasi  $v_{out}$  adalah :

$$v_{out} = -\frac{V_{out}}{NA} = \frac{dB}{dt} = B_0 \cdot \frac{db}{dt} \quad (8)$$

Komponen tegangan keluaran harmonisa kedua  $V_{out2h}$  dari kumparan sekunder adalah

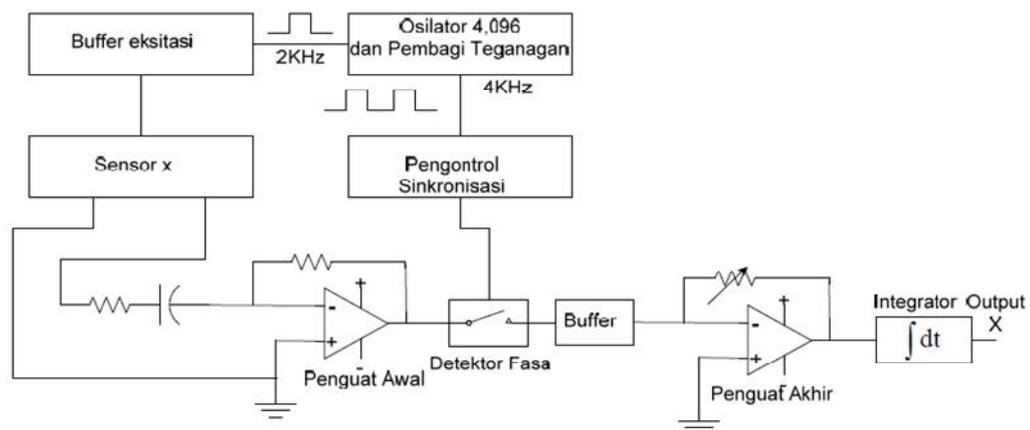
$$V_{out} = -3B_0 NA \omega A_3 h_{ext} h_{ref \max}^2 \sin 2\omega t \quad (9)$$

$$V_{out2h} = h_{ext} K \sin 2\omega t \quad (10)$$

Dengan  $K$  adalah tetapan.

## 2. Rangkaian Sensor *Fluxgate*

Tegangan keluaran  $V_{out}$  dari elemen sensor diolah dengan menggunakan rangkaian pengolah sinyal. Pengolah sinyal sensor terdiri dari beberapa bagian, yaitu differensiator, detektor, sinkronisasi fasa, integrator, dan penguat akhir. Secara skematik terlihat pada Gambar 7.



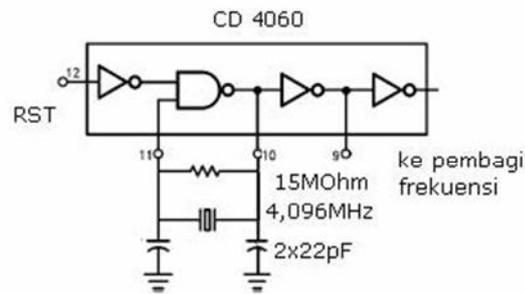
Gambar 7. Skema Diagram Pengolahan Sinyal (Yulkifli,dkk.2010)

Dimana bagian-bagian dari diagram pengolah sinyal tersebut sebagai berikut:

### a. Rangkaian Eksitasi

#### 1) Osilator dan Pembagi Frekuensi

Osilator dalam pembuatan sensor magnetik *fluxgate* merupakan rangkaian dasar yang sangat penting. Osilator berfungsi sebagai sinyal eksitasi yang akan diberikan pada lilitan eksitasi. Hal ini disebabkan karena stabilitas dari frekuensi medan yang dihasilkan tergantung kepada stabilitas osilator. Untuk mendapatkan kestabilan maka digunakan kristal. Rangkaian osilator dengan menggunakan kristal dapat dilihat pada Gambar 8.

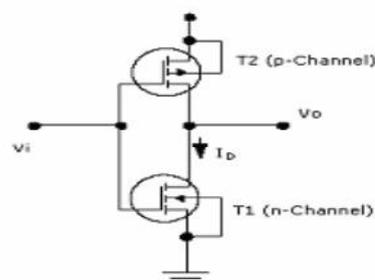


Gambar 8. Rangkaian Osilator Kristal dan IC CD 4060 (Datasheet CD 4060)

## 2) Rangkaian Penyangga (*Buffer*)

Rangkaian penyangga atau *buffer* ini berguna untuk menghindari terjadinya jatuh tegangan. Rangkaian *buffer* yang ideal memiliki penguatan satu dengan impedansi masukan yang sangat besar dan impedansi keluaran yang sangat kecil.

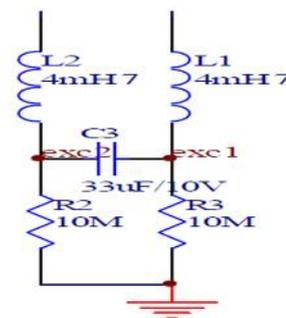
Ada beberapa rangkaian buffer misalnya dengan penguat kolektor ditanahkan, penguat tolak-tarik (*push pull amplifier*) atau menggunakan MOSFET. Untuk menguatkan arus sebelum sinyal masuk ke dalam MOSFET, terlebih dahulu sinyal dilewatkan pada 6 gerbang NOT dari IC 7404 yang dirangkai secara paralel. Selanjutnya sinyal tersebut dilewatkan pada dua transistor MOSFET yang berbeda tipe, n-MOS dan p-MOS, dimana dua MOSFET ini berfungsi sebagai CMOS *inverter* seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Rangkaian MOSFET sebagai *Inverter*

### 3) Pembangkit Sinyal Eksitasi

Pembangkit sinyal eksitasi merupakan bagian yang penting dalam rangkaian eksitasi. Sinyal eksitasi harus memiliki tegangan yang cukup untuk menggerakkan lilitan eksitasi, ini diperlukan agar sinyal dapat mensaturasi inti Vitrovac 6025. Bila hal ini tidak dipenuhi maka sensor tidak akan bekerja dengan baik karena memiliki efek memori. Rangkaian generator sinyal eksitasi ini terdiri dari induktor, resistor dan kapasitor, seperti pada Gambar 10.



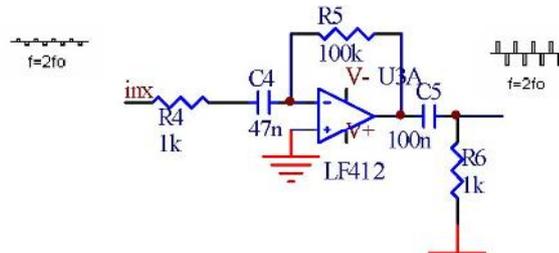
Gambar 10. Rangkaian Generator Sinyal Eksitasi

### b. Rangkaian Pengolah Sinyal

#### 1) Penguat Awal

Rangkaian penguat ini akan berfungsi sebagai penguat sinyal pada frekuensi tinggi. Rangkaian penguat awal terdiri dari sebuah *op-amp* dan beberapa komponen eksternal yaitu kapasitor dan resistor. Resistor penyangga ditempatkan sebelum kapasitor untuk menghindari cacat pada frekuensi tinggi. Arus yang melewati lilitan *pick up* dikonversikan menjadi tegangan oleh resistor yang besarnya sama dengan arus yang melewati kapasitor karena adanya prinsip hubungan singkat maya pada kaki *inverting* dan *non-inverting* pada *op-amp*. Sehingga pada kaki-kaki resistor terdapat perbedaan tegangan yang besarnya sama dengan keluaran *op-amp*. Kapasitor juga berguna untuk menghambat tegangan

DC yang berasal dari *op-amp* sehingga tidak mempengaruhi keluaran sensor. Blok dasar rangkaian penguat awal seperti Gambar 11.



Gambar 11. Rangkaian Penguat Inverting (Sutrisno, 1987)

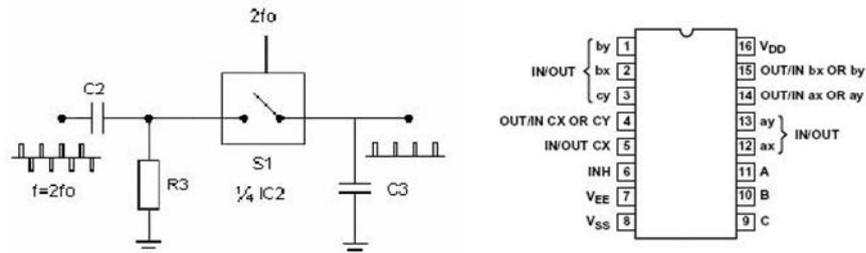
Untuk menjaga kestabilan sinyal sensor yang masuk ke detektor fasa, maka keluaran dari penguat awal sensor ditambahkan sebuah *buffer*. Dengan adanya buffer ini, keluaran dari detektor fasa akan stabil dan hambatan yang terdapat di dalam detektor fasa tidak akan mengurangi besar tegangan sinyal yang keluar dari detektor tersebut. Pada akhirnya penambahan *buffer* akan menjadikan keluaran sistem sensor menjadi lebih stabil dari yang dibuat sebelumnya.

## 2) Detektor Sinkronisasi

Detektor sinkronisasi berfungsi meneruskan sinyal yang mengandung harmonisasi genap menggunakan frekuensi referensi osilator sebagai pengendali. Sementara frekuensi diluar itu tidak diteruskan. Rangkaian detektor sinkronisasi terdiri dari sebuah diferensiator dan sebuah sakelar analog. Sakelar analog ini akan meneruskan sinyal yang masuk sesuai dengan frekuensi dari osilator yaitu  $2f_0$ .

Rangkaian detektor sinkronisasi terdiri dari sakelar elektronik. Salah satu IC yang memiliki sakelar ini adalah CD4053. Saklar memiliki resistansi  $125\Omega$  jika berada dalam keadaan terhubung. Sakelar berguna sebagai relay. Maka

digunakan dua sakelar untuk menghindari ketidakstabilan. Skematik rangkaian yang terdapat dalam IC CD4053 seperti pada Gambar 12 berikut ini.

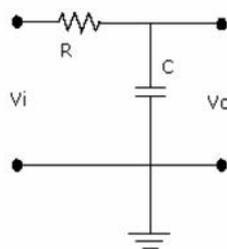


Gambar 12. Blok Diagram IC CD4053 ,Pin Out dari IC (Datasheet CD4053)

### 3) Integrator

Rangkaian integrator berfungsi sebagai pengintegrasi keluaran sekaligus sebagai tapis lolos rendah. Jika domain yang digunakan adalah domain frekuensi maka ia berfungsi sebagai tapis, namun bila domain waktu yang digunakan maka rangkaian tersebut sebagai integrator.

Ada dua macam integrator yaitu pasif dan aktif. Perbedaannya pada pemilihan komponen yang digunakan. Integrator pasif menggunakan komponen pasif yaitu kapasitor dan resistor biasa. Sementara integrator aktif menggunakan komponen aktif seperti penguat operasional. Integrator yang digunakan dalam rangkaian ini adalah integrator pasif. Bentuk rangkaiannya ditunjukkan pada Gambar 13.

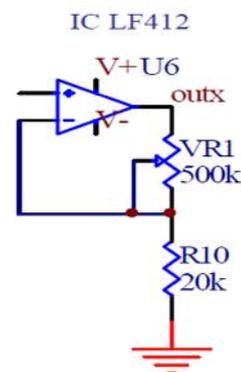


Gambar 13. Rangkaian Integrator(Sutrisno, 1987)

#### 4) Penguat Akhir

Sinyal yang keluar dari integrator masih lemah dan perlu diperkuat agar dapat diukur. Ada dua macam penguat yang dapat digunakan yaitu penguat instrumentasi dan penguat *inverting* dan *non-inverting*. Penguat yang digunakan di sini adalah penguat *inverting* atau penguat membalik. Penguat membalik memiliki keluaran fasa yang sama dengan masukannya.

Pada penguat akhir, keluaran dari tapis lolos rendah diatur penguatannya. Rangkaian ini diperlukan untuk mengkalibrasi keluaran sensor magnetik agar sesuai dengan medan magnet yang dideteksi oleh sensor. Penguat ini merupakan penguat tak membalik, dimana penguatannya diatur dengan resistor variabel 1 (VR1). Penguatan minimal sama dengan 1. Skema rangkaiannya dapat dilihat pada Gambar 14.

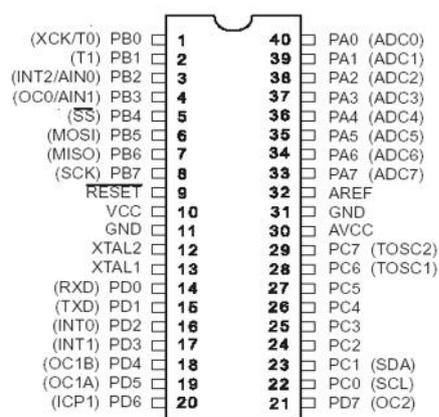


Gambar 14. Blok Diagram Penguat Akhir (Sutrisno, 1987)

Keseluruhan bagian yang telah dirangkai ini bekerja secara analog. Keluaran yang diperoleh dari rangkaian ini berupa tegangan analog yang merepresentasikan besar medan magnetik yang dideteksi. Rangkaian lengkap pengolah sinyal sensor *fluxgate* dapat dilihat pada lampiran 1.

### C. Mikrokontroler ATMEGA8535

Mikrokontroler adalah suatu komponen elektronika yang dapat diprogram dan memiliki kemampuan untuk mengeksekusi langkah-langkah yang telah diprogram. Secara umum mikrokontroler terdiri atas sebuah CPU (*Central Processing Unit*) yang berfungsi sebagai pengontrol program, ROM (*Read Only Memory*) dan RAM (*Random Access Memory*). Bentuk fisik dari mikrokontroler diperlihatkan pada Gambar 15.



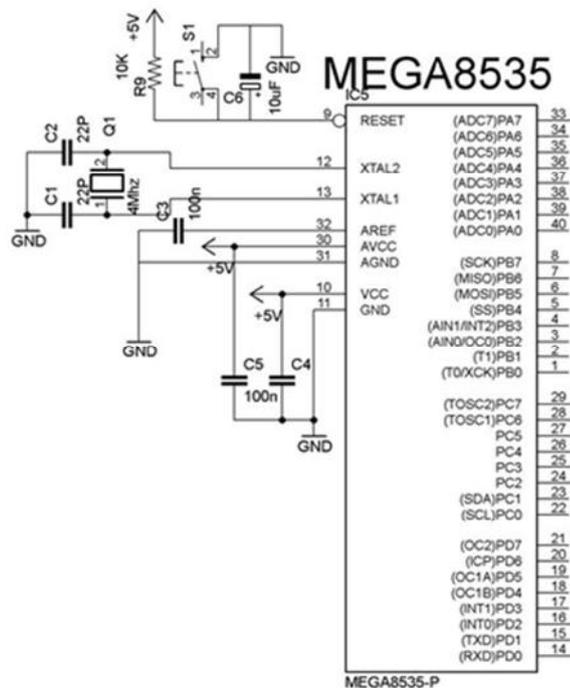
Gambar 15. Diagram Pin Mikrokontroler ATMEGA8535  
(Sumber: *Data Sheet ATMEGA8535*)

Mikrokontroler ATMEGA8535 termasuk seri AVR. Berdasarkan arsitekturnya, AVR merupakan mikrokontroler RISC (*Reduce Instruction Set Computer*) dengan lebar bus data 8 bit dengan kecepatan maksimal 16MHz. Mikrokontroler mempunyai 40 kaki. 32 kaki diantaranya adalah kaki untuk keperluan port paralel yaitu port A, port B, port C, port D. Nomor dari masing-masing kaki port paralel dimulai dari 0 sampai 7. Tiga buah timer/ counter dengan kemampuan perbandingan.

ATMEGA8535 memiliki fitur ADC dengan resolusi 10-bit yang terhubung dengan 8 saluran analog *multiplexer*, sehingga memungkinkan untuk membangun

sistem elektronika yang kompak. Pada pin ADC tersebut terdapat rangkaian *Sample* dan *Hold*. Tegangan input ADC ditahan dalam tingkat yang konstan pada saat konversi berlangsung. Kecepatan konversi adalah 65-260 us.

Proses inisialisasi ADC meliputi proses penentuan *clock*, tegangan referensi, format output data, dan mode pembacaan. Register yang perlu diset nilainya adalah ADMUX (*ADC Multiplexer Selection Register*), ADCSRA (*ADC Control and Status Register*), dan SFIOR (*Special Function IO Register*). ADMUX merupakan register 8 bit yang berfungsi menentukan tegangan referensi ADC, format data output dan saluran ADC yang digunakan. ADCSRA merupakan register 8 bit yang berfungsi melakukan manajemen sinyal kontrol dan status dari ADC. SFIOR merupakan register 8 bit pengatur sumber picu konversi ADC, apakah dari picu eksternal atau dari picu internal.



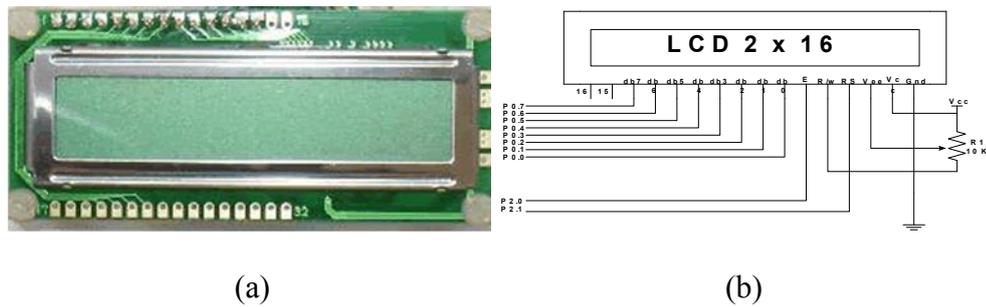
Gambar 16. Sistem Minimum Mikrokontroler ATMEGA8535

Mikrokontroler dapat beroperasi jika telah dihubungkan dengan rangkaian elektronik minimum atau biasa disebut juga dengan sistem minimum mikrokontroler (Gambar 16). Pin 10 (VCC) dan pin 30 (AVCC) dihubungkan ke catu daya 5 volt. Pin 11 dan pin 31 dihubungkan ke ground. Pin 12 dan pin 13 dihubungkan dengan kristal 4 Mhz dan dua buah kapasitor 22 pF. Rangkaian yang dihubungkan pada pin 12 dan pin 13 ini disebut rangkaian osilator yang digunakan sebagai sumber detak (*clock*) ke CPU. XTAL ini akan mempengaruhi kecepatan mikrokontroler dalam mengeksekusi setiap perintah dalam program. Pin 9 yang merupakan pin reset harus bernilai tinggi, dan tidak dalam logika 0 (0 volt).

#### **D. *Liquid Crystal Display (LCD)***

*Liquid Crystal Display (LCD)* merupakan perangkat yang digunakan untuk menampilkan data selain menggunakan *seven segment*. LCD memberikan beberapa keuntungan dibandingkan dengan perangkat lain untuk menampilkan sebuah data, antara lain, hemat energi, ringan dan proses perancangan yang relatif lebih mudah. Disamping itu LCD mampu menampilkan karakter berbasis kode ASCII, dan mampu menampilkan karakter sesuai dengan yang diinginkan.

LCD yang tersedia saat ini terdiri atas LCD grafik dan LCD teks. LCD grafik mampu menampilkan data dalam bentuk *image*, sedangkan LCD teks akan menampilkan karakter. LCD teks yang umum digunakan adalah 2X16 ( 2 baris X 16 kolom ), 2X20 dan 4X20. Bentuk fisik LCD diperlihatkan pada Gambar 17.



Gambar 17 . Bentuk LCD (Sumber : Didin, 2006)

(a) Bentuk Fisik LCD 2 x 16

(b) Rangkaian Display LCD

Operasi dasar LCD terdiri dari empat kondisi, yaitu instruksi mengakses proses internal, instruksi menulis data, instruksi membaca kondisi sibuk dan instruksi membaca data. Kombinasi instruksi dasar inilah yang dimanfaatkan untuk mengirim data ke LCD.

Mikrokontroler akan melakukan inisialisasi ketika sistem mulai diaktifkan. Selama proses inisialisasi ini maka akan ditampilkan pesan-pesan yang berhubungan dengan proses tersebut. LCD akan menampilkan kata-kata pembuka dan menunggu hingga *user* mengaktifkan menu utama.

Tabel 2. Fungsi pin pada LCD:

No	Simbol	Level	Keterangan
1	Vss	-	Dihubungkan ke 0 V (Ground)
2	Vcc	-	Dihubungkan dengan tegangan supply +5V dengan toleransi $\pm 10\%$ .
3	Vee	-	Digunakan untuk mengatur tingkat kontras LCD.
4	RS	H/L	Bernilai logika '0' untuk input instruksi dan bernilai logika '1' untuk input data.
5	R/W	H/L	Bernilai logika '0' untuk proses 'write' dan bernilai

			logika '1' untuk proses 'read'.
6	E	H	Merupakan sinyal enable. Sinyal ini akan aktif pada falling edge dari logika '1' ke logika '0'.
7	DB0	H/L	Pin data D0
8	DB1	H/L	Pin data D1
9	DB2	H/L	Pin data D2
10	DB3	H/L	Pin data D3
11	DB4	H/L	Pin data D4
12	DB5	H/L	Pin data D5
13	DB6	H/L	Pin data D6
14	DB7	H/L	Pin data D7
15	V+BL	-	Back Light pada LCD ini dihubungkan dengan tegangan sebesar 4 – 4,2 V dengan arus 50 – 200 mA
16	V-BL	-	Back Light pada LCD ini dihubungkan dengan ground

LCD hanya memerlukan daya yang sangat kecil, tegangan yang dibutuhkan juga sangat rendah yaitu +5 VDC. Panel TN LCD untuk pengaturan kontras cahaya pada display dan CMOS LCD drive sudah terdapat di dalamnya. Semua fungsi display dapat dikontrol dengan memberikan instruksi dan dapat dengan mudah dipisahkan oleh MPU. Hal ini membuat LCD berguna untuk *range* yang luas dari terminal display unit untuk mikrokomputer dan display unit *measuring gages* (Widodo,2005). Untuk melihat hubungan port dari LCD ke mikrokontroler dapat dilihat pada Lampiran 2.

### E. Medan Magnet

Sifat-sifat magnetik suatu bahan umumnya ditentukan oleh besar kecilnya permeabilitas relatif  $\mu_r$  dari bahan tersebut. Terdapat tiga jenis bahan menurut sifat magnetiknya yaitu: ferromagnetik ( $\mu_r \gg 1$ ), paramagnetik ( $\mu_r = 1$ ), dan diamagnetik ( $\mu_r < 0$ ). Harga permeabilitas absolut suatu bahan dinyatakan di dalam satuan henri per meter dengan simbol H/m.

Besaran-besaran magnetik yang banyak dijumpai yaitu: fluks magnetik ( $\Phi_m$ ); rapat fluks magnet ( $B$ ); intensitas medan magnetik ( $H$ ); magnetisasi ( $M$ ); momen magnetik; vektor energi torsi; dan besaran-besaran yang berkaitan dengan sifat bahan atau medium adalah permeabilitas absolut ( $\mu$ ), permeabilitas relatif ( $\mu_r$ ), dan suseptibilitas magnetik. Besaran magnetik yang berkaitan dengan komponen pasif adalah induktansi ( $L$ ) dan induktansi timbal-balik ( $M$ ).

Fluks magnetik ( $\Phi_m$ ) dalam sistem satuan standar internasional skala besar (MKS) dinyatakan dalam satuan Weber (Wb) dan dalam skala kecil (CGS) dinyatakan dalam Maxwell (Mx), yaitu banyaknya garis-garis induksi yang melalui permukaan tegak lurus seluas  $A$ . Garis-garis fluks magnetik tidak berakhir di muatan magnetik tetapi garis-garis ini membentuk loop tertutup.

Dalam suatu bahan, magnetisasi  $M$  sebanding dengan intensitas magnetik  $H$ . Ini dituliskan sebagai  $M = X_m H$ , tetapan  $X_m$  disebut suseptibilitas magnetik. Dengan menggunakan persamaan  $B = \mu_0 H + \mu_0 M$  didapat:

$$B = \mu_0 H + \mu_0 X_m H \quad (11)$$

$$B = \mu_0 (1 + X_m) H \quad (12)$$

Dari persamaan dapat dilihat bahwa  $B \approx X_m$ .

## **F. Pasir Besi**

Produktivitas dari alam mempunyai banyak raga. Salah satunya adalah bahan material. Bahan material memiliki sifat dan karakter tertentu yang dapat dimanfaatkan oleh manusia dalam memenuhi kehidupannya. Salah satu contoh dari bahan material adalah pasir besi yang mempunyai banyak manfaat. Salah satu manfaat tersebut adalah dalam bidang pengecoran logam. Pasir besi merupakan bahan tambang yang didalamnya terkandung mineral magnetik yang bersifat ferromagnetik, oleh karena itu pasir besi termasuk ke dalam keluarga oksida besi-titanium.

### **1. Pengertian**

Pasir besi adalah pasir yang komposisinya didominasi oleh unsur besi yang berasal dari pelapukan batuan yang kaya unsur besi (umumnya berasal dari batuan gunung api yang bersifat basa hingga ultra basa). Ciri utama dari pasir besi ini berwarna hitam dan umumnya diendapkan di sekitar pantai. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 18.



Gambar 18. Pasir Besi

Secara umum pasir besi terdiri dari mineral opak yang bercampur dengan butiran-butiran dari mineral non logam seperti, kuarsa, kalsit, feldspar, ampibol, piroksen, biotit, dan tourmalin. Mineral tersebut terdiri dari magnetit, titaniferous

magnetit, ilmenit, limonit, dan hematite. Titaniferous magnetit adalah bagian yang cukup penting merupakan ubahan dari magnetit dan ilmenit. Mineral bijih pasir besi terutama berasal dari batuan basaltik dan andesitik vulkanik.

Pasir besi merupakan bahan yang dapat dimanfaatkan untuk pengganti bahan baja yang digunakan sebagai bahan dasar di bidang industri pengecoran logam. Cara tersebut bisa dimungkinkan dengan pengolahan pasir besi secara mandiri dengan memisahkan atau mengeliminasi pengotor yang terdapat dalam pasir besi tersebut, yaitu dengan metode *bubbling* dan *compound separation*, sehingga pasir besi dapat digunakan sebagai solusi Pengolahan Bijih Besi Mandiri di Bidang Industri Pengecoran Logam.

## **2. Mineral Magnetik Pasir Besi**

Telah diketahui sebelumnya ( Yulianto dkk, 2002 ), bahwa endapan pasir besi, dapat memiliki mineral-mineral magnetik seperti magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), hematit ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ), dan maghemit ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ). Mineral-mineral tersebut mempunyai potensi untuk dikembangkan sebagai bahan industri. Magnetit, misalnya dapat digunakan sebagai bahan dasar untuk tinta kering (*toner*) pada mesin *photo-copy* dan printer laser, sementara maghemit adalah bahan utama untuk pita kaset. Ketiga mineral magnetik di atas juga dapat digunakan sebagai pewarna serta campuran (*filler*) untuk cat serta bahan dasar untuk industry magnet permanen (Bijaksana, 2002).

### *a. Magnetite*

*Magnetite* mempunyai komposisi ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) berwarna hitam berkilauan dengan permukaannya kebiru-biruan dan tidak tembus cahaya. Batuannya sangat keras dan sangat berat tidak terbelah-belah namun menunjukkan bagian-bagian

octahedral. *Magnetite* mempunyai sifat kemagnetan yang sangat kuat dengan magnetisasi saturasi berkisar antara 90-93 Am<sup>2</sup>kg<sup>-1</sup> dengan titik Curie 578<sup>0</sup>C dengan kuat medannya  $\leq 300$  mT.

*Magnetite* adalah struktur kubik spinel invers yang mempunyai 2 kisi yaitu A (tetrahedral) dan B (oktahedral). Seluruh cation pada bidang A bermuatan Fe<sup>3+</sup> sedangkan kation pada bidang B bermuatan Fe<sup>3+</sup> dan Fe<sup>2+</sup>. *Magnetite* merupakan mineral magnetik yang terkuat karena mineral ini merekam NRM yang stabil. *Ulvospinel* merupakan Ferrimagnetik lemah dengan temperatur Neel 120 K.

#### b. *Hematite*

Nama kimianya adalah oksida besi (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dengan bentuk butiran heksagonal, batumannya bulat dan kristal batuan membentuk daun bunga mawar. Massanya berisi butiran-butiran. Dengan batuan mineralnya berwarna merah kecoklatan.

*Hematite* adalah antiferomagnetik, atom Fe<sup>3+</sup> pada sub kisi A dan B sama dan anti paralel. Magnetisasi saturasinya adalah 0,2-0,4 Am<sup>2</sup>kg<sup>-1</sup> dan titik Curie 680<sup>0</sup>C dengan kuat medannya  $\geq 300$  mT. Mineral *hematite* mempunyai lapisan merah gelap yang membuatnya mudah dibedakan dengan *magnetite* dan leleh bila dipanaskan dalam larutan asam hidroklik dan berubah menjadi *magnetite*.

#### c. *Maghemite*

Formula kimianya sering diidentikkan dengan *hematite* karena kedua mineral itu mirip dan terletak pada diagram yang sama pada diagram ternary akan tetapi mereka tidak memiliki bentuk magnetik atau susunan kristal yang sama. Untuk membedakannya *hematite* ditunjukkan dengan  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> *maghemite*  $\gamma$ -

$\text{Fe}_2\text{O}_3$ . *Maghemite* adalah bentuk oksidid sederhana dari *magnetite* yang memiliki struktur kristal kubik.

d. *Ilmenite*

*Ilmenite* berwarna abu-abu terang dan bersifat an-isotrop, sebagian berikatan dengan *magnetite* membentuk ikatan *Lamolloe*. *Ilmenite* tersebar dalam banyak batuan dan pasir. Kristalnya mempunyai bentuk yang sama dengan *hematite* yaitu berbentuk heksagonal. Kelompok kristalnya berbentuk seperti kipas dan mawar, merupakan massa yang padat atau berbutir dan berlembaran, dapat pula tersebar dalam bentuk lepas seperti pasir. Pecahannya berbentuk kulit kerang (lokan) sampai yang tidak rata, setengah berkilap logam.

Jadi di dalam pasir besi, dijumpai oksida logam dalam dua fase yaitu  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Keduanya merupakan bahan magnetik yang menunjukkan sifat kemagnetan ketika berada dalam medan magnet. Sifat kemagnetan pasir besi yang cukup kuat terdapat pada *magnetite*. Karena pasir besi memiliki sifat kemagnetan maka pasir besi dapat kita ukur kuat medan magnetnya. Semakin banyak kandungan logam didalam pasir besi maka semakin kuat pula medan magnet yang akan dihasilkan.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **A. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis terhadap besaran yang terdapat pada sistem pengukuran kuat medan magnet pasir besi dapat dikemukakan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Sistem pengukuran kuat medan magnet ini dibangun oleh dua bagian utama yaitu; Pertama, tempat kedudukan sampel yang juga merupakan tempat dimana sensor *fluxgate* dipasang. Sedangkan yang kedua, kotak tempat rangkaian elektronika yang didalam terdapat rangkaian power supply, rangkaian pengolah sinyal, rangkaian mikrokontroler dan juga LCD untuk menampilkan nilai medan magnet yang terukur.
2. Kelinieran dari sistem terhadap medan magnet terhadap arus pada solenoid cukup tinggi yaitu 0.990. Sedangkan ketelitian rata-rata dari sistem pengukuran ini adalah 0.998 dengan standar deviasi rata-rata 0.012 dan kesalahan relatif rata-rata 0.127%.

#### **B. Saran**

Berdasarkan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat dikemukakan saran sebagai tindak lanjut dari penelitian ini yaitu :

1. Penelitian terhadap pembuatan sistem pengukuran kuat medan magnet dapat dikembangkan dengan menggunakan ADC dengan resolusi yang lebih besar sehingga dapat digunakan dengan baik untuk mengukur medan magnet dengan interval pengukuran yang lebih kecil.

2. Selama dalam pengoperasian alat harus selalu terhubung dengan PLN, jika hubungan PLN terputus maka alat ukur tidak bisa dioperasikan. Pengembangan yang dapat dilakukan adalah alat memiliki sumber tegangan lain seperti batere.
3. Dalam upaya mengoptimalkan range dari sensor *fluxgate* dapat dilakukan dengan menggunakan sensor dengan jumlah lilitan yang lebih pas dan sesuai untuk digunakan sebagai alat ukur kuat medan magnet pasir besi.
4. Pengambilan data dan pengukuran sebaiknya dilakukan di dalam ruang faraday, supaya hasil pengukuran lebih akurat karena tidak terpengaruh oleh medan magnet lain.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agfianto Eko Putra. 2002. *Belajar Mikrokontroler AT89C51/52/55 Teori dan Aplikasinya*. Yogyakarta: Gava Media.
- Bijaksana, S. 2002. *Kajian Sifat Magnetik Pada Endapan Pasir Besi di Wilayah Cilacap dan Upaya Pemanfaatannya untuk Bahan Industri* Laporan Penelitian Hibah Bersaing, ITB.
- Data Sheet.(2008). *Mikrokontroler AT89S8252*.www.atmel.com .Diakses 27 Agustus 2011.
- Diana, Heva Syafria. 2006. *Analisis Mineral Magnetik pada Pasir Besi di Kabupaten Agam dan di Kota Pariaman dengan Menggunakan X-Ray Diffractometer dan fotomicrograph*. Padang, UNP.
- M. Djamal, dkk.(2002), *Pembuatan dan Pengembangan Sensor Medan Magnet Fluxgate*, Laporan Penelitian Hibah Bersaing IX.
- Fraden, Jacob. (1996). *The Hand Book of Modern Sensor*. Californ-0\*ia : Thermoscan, Inc.
- Gopel, W. (1989), *Sensor a Comprehensive Survey Volume 5 Magnetic Sensor*, VCH, Weinhein.
- Misykah. 2006. *Penentuan Jenis Mineral Magnetik pada Pasir Besi di Beberapa Daerah di Sumatra Barat dengan Menggunakan Metoda Ishotermal Remanent Megnetization (IRM)*. Padang, UNP.
- Mufit, Fatni, dkk. 2006. *Kajian tentang Sifat Magnetik Pasir Besi dari Pantai Sunur, Pariaman, Sumatra Barat*. Jurnal Geofisika.
- Praginda, Wandi. (2008). *Desain Awal Fluxgatemagnetometer Menggunakan Kumparan Sekunder (Pick-up coil) Ganda Sebagai Penentu Posisi Benda (Tracking Position) Dalam Tiga Dimensi*. Karya Tulis, ITB: Bandung.
- Putra, Agfianto Eko. 2002. *Belajar Mikrokontroler AT89C51/52/55 teori dan Aplikasi*. Edisi 1. Yogyakarta, Gava Media.
- Sutrisno. (1987). *Elektronika Teori Dasar dan Penerapannya* . Bandung: ITB.
- Sutrisno. (1994). *Elektronika Teori dan Penerapannya* . Bandung : ITB.
- Sutrisno.(1999). *Elektronika Lanjutan Teori dan Penerapannya*. Bandung: ITB.

- Suyatno, dkk. 2008. *Desain dan Pengembangan Fluxgate Magnetometer dan Beberapa aplikasinya*. Jurnal Fisika Dan Aplikasinya.
- Wasito. 1997. *Data Sheet Book 1 Data IC Linier, TTL, dan CMOS*. Jakarta, Gramedia.
- Yulianto,A, S. Bijaksana, W. Loeksmato. 2002. *Karakterisasi Magnetik dari Pasir Besi Cilacap* , Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia vol A5 no 0527,
- Yulkifli.(2010). *Pengembangan Elemen Fluxgate dan Penggunaannya untuk Sensor- Sensor berbasis Magnetik dan Proksimiti*. Disertasi, Bandung : ITB