

**PEMBUATAN SENSOR *FLUXGATE* DENGAN METODE *PRINTED*  
*CIRCUIT BOARDS* (PCB)**

**SKRIPSI**

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



**Oleh**

**MELANY FEBRINA**

**84142/2007**

**PROGRAM STUDI FISIKA**

**JURUSAN FISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS NEGERI PADANG**

**2012**

**PERSETUJUAN SKRIPSI**

**PEMBUATAN SENSOR *FLUXGATE* DENGAN METODE *PRINTED*  
*CIRCUIT BOARDS (PCB)***

Nama : Melany Febrina  
NIM : 84142  
Program Studi : Fisika  
Jurusan : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 25 April 2012

Disetujui Oleh

Pembimbing I

Pembimbing II

Drs. H. Asrizal, M.Si  
NIP. 19660603 199203 1 001

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

## PENGESAHAN

**Dinyatakan Lulus Setelah Dipertahankan Didepan Tim Penguji Skripsi**

**Program Studi Fisika Jurusan Fisika**

**Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam**

**Universitas Negeri Padang**

Judul : Pembuatan Sensor *Fluxgate* Dengan Metode *Printed Circuit Boards* (PCB)  
Nama : Melany Febrina  
NIM : 84142  
Program Studi : Fisika  
Jurusan : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 25 April 2012

Tim Penguji

Nama		Tanda Tangan
1. Ketua	: Drs. H. Asrizal, M.Si	1. _____
2. Sekretaris	: Dr. Yulkifli, S.Pd, M.Si	2. _____
3. Anggota	: Dra. Yenni Darvina, M.Si	3. _____
4. Anggota	: Drs. Hufri, M.Si	4. _____
5. Anggota	: Zuhendri Kamus, S.Pd, 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, 25 April 2012

Yang Menyatakan,

Melany Febrina

## ABSTRAK

### **Melany Febrina : Pembuatan Sensor *Fluxgate* Dengan Metode *Printed Circuit Boards* (PCB)**

Pengukuran medan magnet penting dilakukan karena banyak benda-benda bersifat magnet dan bermanfaat dalam kehidupan. 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 di sekitar elemen sensor. Penelitian ini merancang sensor *fluxgate* dengan menggunakan metode *printed circuit boards* (PCB). Tujuan dari penelitian ini adalah mendeskripsikan spesifikasi performansi dari sensor *fluxgate* dengan metode PCB dan menentukan spesifikasi desain dari sensor *fluxgate* dengan metode PCB.

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen laboratorium. Teknik pengukuran dan pengumpulan data dilakukan secara langsung dan tidak langsung. Pengukuran secara langsung dilakukan dengan memvariasikan besar arus listrik dan melihat pengaruhnya terhadap tegangan keluaran yang dihasilkan oleh sensor *fluxgate*. Pengukuran terhadap pengaruh jarak magnet dengan tegangan keluaran yang dihasilkan sensor juga dilakukan. Data yang diperoleh melalui pengukuran dianalisis melalui dua cara yaitu secara statistik dan grafik.

Berdasarkan data dan analisis yang dilakukan dapat diketahui beberapa hasil penting. Pertama spesifikasi performansi dari sensor *fluxgate* dengan metode PCB ini terdiri dari dua bagian yaitu elemen dari sensor *fluxgate* dan rangkaian pengolah sinyalnya. Kedua spesifikasi desain dari sensor *fluxgate* dengan metode PCB ini yang berupa karakterisasi statik dari sensor *fluxgate* diperoleh nilai sensitivitas dari sensor *fluxgate* FL1, FL2 dan FL3 ini berubah sesuai dengan besar medan magnet yang diberikan pada sensor, dan ketiga sensor *fluxgate* ini memiliki ketepatan dan ketelitian yang tinggi.

## KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahiim.

Puji dan syukur peneliti ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan nikmat, hidayah, dan karunia-Nya pada peneliti, sehingga peneliti mampu menyelesaikan skripsi ini. Judul dari skripsi adalah “**Pembuatan Sensor Fluxgate Dengan Metode Printed Circuit Boards (PCB)**”.

Skripsi ini dapat selesai berkat bantuan, arahan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, pada kesempatan ini peneliti mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Drs. H. Asrizal, M.Si sebagai Pembimbing I.
2. Bapak Dr. Yulkifli, S.Pd, M.Si sebagai Pembimbing II.
3. Ibu Dra. Yenni Darvina, M.Si, Bapak Drs. Hufri, M.Si, dan Bapak Zuhendri Kamus, S.Pd, M.Si sebagai dosen penguji pada skripsi ini.
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 dan Ibu Dosen Jurusan Fisika FMIPA UNP.
7. Rekan- rekan mahasiswa Jurusan Fisika UNP, khususnya rekan-rekan angkatan 2007.
8. Semua pihak yang telah membantu peneliti yang tidak dapat peneliti sebutkan satu persatu.

Semoga bimbingan dan bantuan yang telah mereka berikan mendapat balasan dari Allah SWT.

Peneliti menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kelemahan dan kesalahan. Untuk itu, peneliti mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan skripsi ini. Peneliti juga berharap mudah-mudahan skripsi ini bisa berguna bagi semua pembaca.

Padang, April 2012

Peneliti

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	ii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	viii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang .....	1
B. Perumusan Masalah .....	4
C. Pembatasan Masalah .....	4
D. Pertanyaan Penelitian .....	4
E. Tujuan Penelitian .....	5
F. Kegunaan Penelitian .....	5
<b>BAB II TINJAUAN KEPUSTAKAAN</b>	
A. Sensor .....	6
B. Sensor Magnetik .....	8
C. Sensor <i>Fluxgate</i> .....	9
D. Pengolahan Sinyal Keluaran Sensor <i>Fluxgate</i> .....	16
E. Teknologi PCB .....	22
F. Spesifikasi Sensor.....	24

**BAB III METODE PENELITIAN**

A. Tempat dan Waktu Penelitian .....	29
B. Jenis Penelitian .....	30
C. Alat dan Bahan .....	30
D. Desain Penelitian .....	32
E. Teknik Pengumpulan Data .....	33
F. Teknik Analisis Data .....	34

**BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

A. Hasil Penelitian .....	37
1. Spesifikasi Performansi Sensor <i>Fluxgate</i> .....	37
2. Spesifikasi Desain Sensor <i>Fluxgate</i> .....	40
a. Fungsi Transfer dan Sensitivitas Sensor <i>Fluxgate</i> .....	40
b. Ketepatan Sensor <i>Fluxgate</i> .....	54
c. Ketelitian Sensor <i>Fluxgate</i> .....	59
B. Pembahasan .....	62

**BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

A. Kesimpulan .....	66
B. Saran .....	67

**DAFTAR PUSTAKA****LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Diagram Pengelompokan Sensor Magnetik Berdasarkan Magnitudo Medan Magnetik .....	8
Gambar 2.2. Elemen Sensor <i>Fluxgate</i> .....	10
Gambar 2.3 (a) Sebuah Solenoida Yang Dililitkan Secara Longgar.....	11
Gambar 2.3 (b) Penampang Solenoida Dengan abcd Adalah Lingkaran Tertutup..	11
Gambar 2.4. Konfigurasi Paralel Sensor <i>Fluxgate</i> .....	12
Gambar 2.5. Konfigurasi Ortogonal Sensor <i>Fluxgate</i> .....	13
Gambar 2.6. Prinsip Kerja Sensor <i>Fluxgate</i> .....	12
Gambar 2.7. Skema Rangkaian Elektronik Pengolahan Sinyal .....	17
Gambar 2.8. Rangkaian Osilator Kristal dan IC CD 4060 .....	18
Gambar 2.9. <i>Op-amp</i> Yang Berfungsi Sebagai <i>Buffer</i> Sinyal .....	18
Gambar 2.10. Rangkaian Generator Sinyal Eksitasi .....	19
Gambar 2.11. Rangkaian Penguat Diferensiator.....	20
Gambar 2.12. Rangkaian Detektor Fasa Ketika Keluaran Sensor Positif.....	20
Gambar 2.13. Rangkaian Integrator .....	21
Gambar 2.14. Blok Diagram Penguat Membalik .....	22
Gambar 2.15. <i>Printed Circuit Board</i> (PCB) .....	23
Gambar 3.1. (a)Desain Sensor <i>Fluxgate</i> Bagian Atas.....	32
Gambar 3.1. (b) Desain Sensor <i>Fluxgate</i> Bagian Bawah .....	32
Gambar 4.1 Elemen Sensor <i>Fluxgate</i> Dengan Metode PCB .....	37
Gambar 4.2 Rangkaian Pengolah Sinyal Sensor <i>Fluxgate</i> .....	38
Gambar 4.3 Magnet Batang .....	39

Gambar 4.4 Hubungan Antara Arus Listrik Dengan Medan Magnet Sensor	
<i>Fluxgate</i> FL1 .....	40
Gambar 4.5 Hubungan Antara Besar Medan Magnet Dengan Tegangan Keluaran	
Sensor <i>Fluxgate</i> FL1 .....	41
Gambar 4.6 Hubungan Pengaruh Jarak Magnet dengan Tegangan Keluaran	
Sensor <i>Fluxgate</i> FL1 .....	43
Gambar 4.7 Hubungan Antara Arus Listrik Dengan Medan Magnet Sensor	
<i>Fluxgate</i> FL2 .....	44
Gambar 4.8 Hubungan Antara Besar Medan Magnet Dengan Tegangan Keluaran	
Sensor <i>Fluxgate</i> FL2 .....	45
Gambar 4.9 Hubungan Pengaruh Jarak Magnet dengan Tegangan Keluaran	
Sensor <i>Fluxgate</i> FL2.....	47
Gambar 4.10 Hubungan Antara Arus Listrik Dengan Medan Magnet Sensor	
<i>Fluxgate</i> FL3 .....	49
Gambar 4.11 Hubungan Antara Besar Medan Magnet Dengan Tegangan Keluaran	
Sensor <i>Fluxgate</i> FL3.....	50
Gambar 4.15 Hubungan Pengaruh Jarak Magnet dengan Tegangan Keluaran	
Sensor <i>Fluxgate</i> FL3 .....	52

**DAFTAR TABEL**

Tabel 3.1. Tahap Kegiatan dalam Penelitian .....	28
Tabel 3.2. Alat dan Bahan Yang Digunakan.....	30
Tabel 4.1. Ketepatan Dari Sensor <i>Fluxgate</i> FL1 .....	53
Tabel 4.2. Ketepatan Dari Sensor <i>Fluxgate</i> FL2 .....	55
Tabel 4.3. Ketepatan Dari Sensor <i>Fluxgate</i> FL3 .....	57
Tabel 4.4. Ketelitian Sensor <i>Fluxgate</i> FL1 .....	59
Tabel 4.5. Ketelitian Sensor <i>Fluxgate</i> FL2 .....	60
Tabel 4.6. Ketelitian Sensor <i>Fluxgate</i> FL3 .....	61

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

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

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK) yang pesat disebabkan oleh pemenuhan kebutuhan manusia dalam menjalani kehidupan. Pada era globalisasi, kemajuan ilmu diberbagai bidang berkembang dengan pesat terutama dalam bidang ilmu pengetahuan alam. Perkembangan ini merupakan dasar dari IPTEK berdasarkan gejala alam yang terjadi.

Kemajuan IPTEK tidak dapat dipisahkan dari teknologi elektronika. Perkembangan teknologi elektronika saat ini telah memberikan banyak manfaat dan kemudahan bagi kehidupan manusia. Karena itu, teknologi elektronika menjadi perhatian yang serius dikalangan perancang teknologi masa depan.

Perkembangan teknologi elektronika menjanjikan prospek masa depan yang lebih baik. Saat ini teknologi elektronika telah mampu menyederhanakan dimensi dan meningkatkan kemampuan berbagai peralatan sebagai produk teknologi. Dengan kemajuan teknologi yang semakin berkembang dan persaingan dipasar bebas yang semakin ketat, menuntut perkembangan instrumen harus berkembang dari segi kualitas ataupun harganya.

Salah satu instrumen elektronika yang dikembangkan sekarang adalah sensor. Meningkatnya kebutuhan untuk otomatisasi, keamanan, dan kenyamanan menggiring orang untuk mengembangkan sensor dengan prinsip dan metoda yang berbeda-beda. Jumlah sensor dan sistem sensor yang diperlukan juga meningkat. Saat ini teknologi sensor telah memasuki bidang aplikasi baru dan pasar yang

semakin luas seperti otomotif, penelitian dan pengembangan, rumah cerdas (*smart home*), dan teknologi pengolahan (Meijer 2008 dan Intechno, 2008).

Sensor merupakan suatu komponen yang mampu mengubah stimulus fisis menjadi sinyal listrik. Sensor memegang peranan penting untuk membangun sebuah sistem pengukuran dan pengontrolan. Melalui sensor dapat dirancang berbagai sistem yang dapat bekerja secara otomatis dan mampu menganalisis fenomena-fenomena yang terjadi di alam. Selain itu, sensor dapat berfungsi untuk membantu tugas manusia yang terbatas.

Tantangan utama teknologi sensor sekarang ini adalah mengukur besaran-besaran yang selama ini sulit atau tidak bisa diukur dan meningkatkan nilai informasi sensor dengan menggunakan metode-metode pengukuran yang sudah dikenal (Traenkler, 2007). Dalam pengembangan sensor dan sistem sensor perlu dipilih prinsip-prinsip pengukuran yang cocok, pengukuran-pengukuran khusus perlu dikembangkan untuk meningkatkan kemampuan sensor (Traenkler, 1998). Dalam hal ini perlu dikompromikan antara biaya dan permintaan, sehingga pembuatan sensor dan sistem sensor lebih mudah dan biaya murah tentu dengan kualitas yang dapat bersaing dengan produk luar negeri.

Salah satu sensor yang banyak dikembangkan saat ini adalah sensor-sensor yang berbasiskan pada konsep perubahan medan magnetik di sekitar objek yang diukur. Sensor-sensor yang menggunakan konsep ini disebut sensor magnetik (Jacob Fraden, 2004). Salah satu jenis dari sensor magnetik ini adalah sensor *fluxgate*. Sensor *fluxgate* adalah sensor magnetik yang bekerja berdasar perubahan flux magnetik disekitar elemen sensor (Gopel, dkk., 1989). *Fluxgate* adalah sensor

magnetik yang memiliki beberapa keunggulan dibandingkan sensor-sensor lain seperti efek Hall, GMR, AMR, dan SQUID.

Elemen sensor *fluxgate* telah dikembangkan untuk berbagai aplikasi sensor. Perkembangan elemen sensor *fluxgate* ini didasarkan pada konsep magnetik dan proksimiti. Sensor-sensor yang dikembangkan antara lain: sensor medan magnet lemah, sensor jarak, sensor getaran, sensor kecepatan sudut, sensor arus listik dc, dan sensor muai panjang.

Salah satu teknik pembuatan *fluxgate* saat ini menggunakan teknologi mikro. Teknik ini memiliki permasalahan diantaranya sensor *fluxgate* ini memiliki sensitivitas rendah karena luas penampang elemen *fluxgate* yang dihasilkan kecil serta tidak mudah untuk membuat kombinasi lilitan eksitasi dan lilitan *pick-up*. Permasalahan lain yang ditemui dilapangan adalah proses pembuatan sensor yang lebih kompleks sehingga apabila terjadi kesalahan atau kerusakan sulit untuk memperbaikinya.

Permasalahan yang ditemui di lapangan tersebut dapat diatasi dengan menggunakan metode PCB. Metode PCB merupakan metode terkini dalam pembuatan elemen sensor *fluxgate*, karena memiliki kelebihan antara lain luas penampang besar sehingga sensitivitas sensor lebih tinggi, proses pembuatan yang tidak kompleks atau lebih mudah sehingga apabila terjadi kerusakan mudah untuk diperbaiki. Selain itu, bahan-bahan yang digunakan untuk membuat sensor *fluxgate* lebih mudah diperoleh.

Berdasarkan hal inilah penulis tertarik untuk mengembangkan sensor *fluxgate* dengan metode PCB. Oleh karena itu, penulis mengangkat judul

penelitian ini yaitu, “Pembuatan Sensor *Fluxgate* Dengan Metode *Printed Circuit Boards* (PCB)”.

### **B. Perumusan Masalah**

Sesuai dengan latar belakang yang telah dipaparkan sebelumnya, dapat dirumuskan permasalahan dari penelitian ini. Sebagai perumusan masalah ini yaitu : “Bagaimana spesifikasi performansi dan spesifikasi desain dari sensor *fluxgate* dengan metode PCB ?”

### **C. Pembatasan Masalah**

Untuk lebih memfokuskan permasalahan dalam penelitian ini, maka perlu dilakukan pembatasan masalah berikut ini :

1. Spesifikasi performansi sensor yang diteliti meliputi identifikasi fungsi setiap bagian pembentuk sensor *fluxgate*.
2. Spesifikasi desain dari sensor *fluxgate* berupa fungsi transfer dan sensitivitas, ketepatan, dan ketelitian sensor *fluxgate* dengan metode PCB.
3. Konfigurasi lilitan *pick-up* hanya 3 variasi, sedangkan eksitasi dibuat tetap.

### **D. Pertanyaan Penelitian**

Untuk menjawab permasalahan dalam penelitian ini perlu dikemukakan pertanyaan penelitian yaitu :

1. Bagaimana spesifikasi performansi dari sistem sensor *fluxgate* dengan metode PCB ?
2. Bagaimana spesifikasi desain dari sensor *fluxgate* berupa fungsi transfer dan sensitivitas, ketepatan, dan ketelitian sensor *fluxgate* dengan metode PCB ?

### **E. Tujuan Penelitian**

Tujuan umum penelitian ini adalah untuk membuat sensor *fluxgate* dengan memanfaatkan metode *Printed Circuit Boards* (PCB). Secara khusus penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mendeskripsikan spesifikasi performansi dari sensor *fluxgate* dengan metode PCB.
2. Menentukan spesifikasi desain dari sensor *fluxgate* berupa fungsi transfer dan sensitivitas, ketepatan, dan ketelitian sensor *fluxgate* dengan metode PCB.

### **F. Kegunaan Penelitian**

Hasil dari penelitian ini diharapkan mampu memberikan kegunaan pada :

1. Pembaca, untuk meningkatkan pengetahuan dan ide-ide kreatif untuk memperluas wawasan dalam upaya peningkatan pengembangan elektronika dan instrumentasi fisika.
2. KBK Elektronika instrumentasi dan jurusan fisika, untuk mengembangkan penelitian dalam bidang kajian elektronika dan instrumentasi fisika.
3. Laboratorium fisika dasar, untuk mengaplikasikan teori medan magnetik pada suatu instrumentasi.
4. Peneliti, untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan program studi fisika S1 dan pengembangan dibidang fisika.

## BAB II

### TINJAUAN KEPUSTAKAAN

#### A. Sensor

Sensor merupakan alat yang dapat menerima sinyal atau rangsangan dan mengubahnya menjadi besaran listrik, rangsangan ini berasal dari lingkungan atau berada di luar sistem sensor. Rangsangan ini dapat berupa besaran-besaran fisika. Dalam pengertian secara umum sensor adalah pengubah besaran non-elektrik menjadi besaran elektrik (Jacob Fraden,2004).

Menurut Ramon Pallas-Areny (2001), *Since there are six different kinds of signal-mechanical, thermal, magnetic, electric, chemical, and radiation (corpuscular and electromagnetic, including light)-any device corverting signals of one kind to signals of a different kind is a tranducer. The resulting signals can be of any useful physical form. Devices offering an electric output are called sensors.* Dari kutipan ini, dapat dikatakan bahwa sensor adalah sebuah alat yang dapat memberikan keluaran listrik dari sinyal mekanik, suhu, magnetik, listrik, kimia, dan radiasi.

Untuk mengubah rangsangan luar yang diterima menjadi sinyal listrik, beberapa sensor ada yang membutuhkan sumber energi tambahan dan ada yang tidak membutuhkannya. Berdasarkan hal ini, Jacob Fraden (2004) membedakan sensor atas dua macam, yaitu *passive sensor* dan *active sensor*.

1. *Passive Sensor*, merupakan sensor yang tidak membutuhkan sumber energi tambahan dan langsung membangkitkan sebuah sinyal listrik dari rangsangan

luar. Rangsangan luar ini dirubah oleh sensor menjadi sinyal keluaran.

Contohnya : termokopel, *photodiode*, dan piezoelektrik sensor.

2. *Active Sensor*, merupakan sensor membutuhkan tenaga eksternal untuk bisa beroperasi yang disebut sinyal eksitasi. Sinyal ini dirubah oleh sensor untuk menghasilkan sinyal keluaran. Contohnya : termistor, dan LDR.

Ada beberapa stimulus atau rangsangan luar yang dapat dideteksi oleh sensor, diantaranya kedekatan (*proximity*), tekanan, cahaya, suhu, dan medan magnet. Sinyal dari rangsangan luar inilah yang akan diubah menjadi sinyal listrik oleh sensor. Berdasarkan stimulus atau rangsangan luar yang dideteksinya ini, sensor dibedakan menjadi beberapa macam, diantara:

1. Sensor kedekatan (*proximity*), yaitu sensor yang dapat mendeteksi adanya target (logam) dengan tanpa adanya kontak fisik. Prinsip kerjanya adalah dengan memperhatikan perubahan amplitudo suatu lingkungan medan frekuensi tinggi.
2. Sensor magnetik, yaitu sensor yang bekerja karena adanya medan magnet dan akan memberikan perubahan kondisi pada keluarannya.
3. Sensor tekanan, yaitu sensor yang memiliki transduser yang mengukur ketegangan kawat, yang bisa mengubah tegangan mekanis menjadi sinyal listrik. Dasar pengindraannya pada perubahan tahanan penghantar (transduser) yang berubah akibat perubahan panjang dan luas penampangnya.
4. Sensor suhu, yaitu sensor yang bekerja karena adanya panas dari suatu objek dan mengubahnya menjadi sinyal listrik.

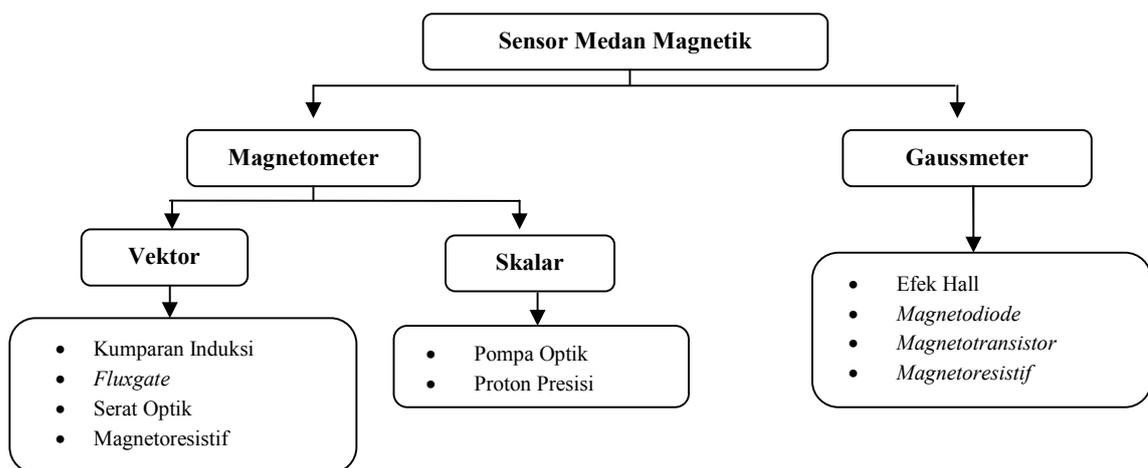
5. Sensor cahaya, yaitu sensor yang bekerja karena adanya cahaya dari objek disekitar sensor dan mengubahnya menjadi sinyal listrik.

## B. Sensor Magnetik

Sensor magnetik adalah sensor yang bekerja berdasarkan perubahan medan magnetik yang terjadi di sekitar benda atau objek yang diukur. S. M. Sze dan Kwok K. Ng (2007) mengatakan bahwa *“The main applications of magnetic sensors can be grouped into two functions; direct magnetic-field sensing, and position and motion sensing. Equipment to measure the magnet-field strength is called a magnetometer or gaussmeter”*. Dari kutipan dapat dikatakan bahwa aplikasi dari sensor magnetik bisa digunakan untuk mendeteksi medan magnet langsung dan bisa mendeteksi posisi dan pergerakan dari objek.

Sensor magnetik terbagi atas 2 jenis yaitu *magnetometer* dan *gaussmeter*.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1. Diagram Pengelompokan Sensor Magnetik Berdasarkan Magnitudo Medan Magnetik (Yulkifli,2011)

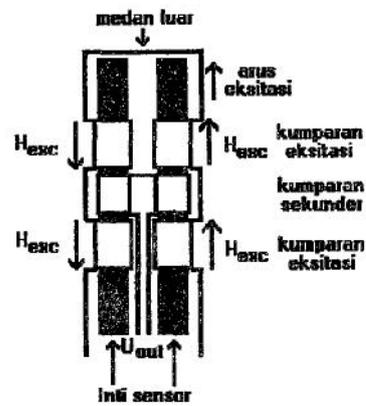
Berdasarkan magnitudo medan magnet, sensor medan magnet dapat dibagi menjadi 2 bagian yaitu *magnetometer* dan *gaussmeter*. *Magnetometer* adalah sensor medan magnetik yang digunakan untuk mengukur medan magnet lemah. *Magnetometer* terbagi atas 2 tipe yaitu tipe vektor dan tipe skalar, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. Disisi lain *gaussmeter* adalah sensor medan magnetik yang digunakan untuk mengukur medan magnet kuat.

### C. Sensor *Fluxgate*

Sensor *fluxgate* adalah sensor magnetik yang bekerja berdasarkan perubahan flux magnetik disekitar elemen sensor (Gopel, dkk., 1989). Menurut John R. Brauer (2006), *Fluxgate sensors are used as proximity sensors, for navigational and geomagnetic field measurement instruments, and for position and speed sensing*. Menurut J.Kubik (2009), *A fluxgate sensor is a vectorial magnetic field sensor used in navigation, geophysical research, space research and detection of ferrous objects. The fluxgate sensor measures DC or low-frequency AC magnetic field with field measurement range up to 1 mT with achievable resolution of 10 pT*. Berdasarkan kedua kutipan dapat dijelaskan bahwa sensor *fluxgate* adalah salah satu dari sensor magnetik yang dapat mengukur medan magnet pada rentang  $< 1\text{mT}$  dan digunakan sebagai sensor kedekatan untuk navigasi, mengukur medan magnet bumi, dan sebagai sensor posisi dan kecepatan.

Salah satu bentuk probe sensor dalam sensor *fluxgate* adalah berbentuk lurus, probe ini terdiri dari inti yang terbuat dari logam khusus, kumparan eksitasi dan kumparan *pick-up*. Probe yang dirancang di sini adalah probe sensor yang

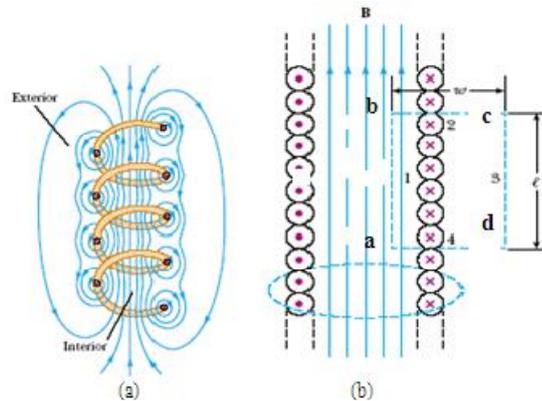
terdiri dua buah inti. Pada masing-masing inti dililitkan kumparan eksitasi dan kumparan *pick-up*, tampak seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Elemen Sensor *Fluxgate* (Suyatno, 2008)

Kumparan eksitasi dan kumparan *pick-up* merupakan kumparan dengan panjang ( $l$ ) yang diberi sejumlah lilitan ( $N$ ). medan eksitasi yang muncul pada kumparan eksitasi disebabkan oleh arus bolak-balik ( $i$ ) yang berasal dari rangkaian eksitasi. Untuk memudahkan memahami konsep timbulnya medan eksitasi akan ditinjau konsep medan magnet pada solenoida.

Kumparan solenoida akan menimbulkan medan magnet ditengah-tengah kumparan. Medan magnet tersebut dapat diketahui dengan menggunakan Hukum Ampere. Daerah cakupan integrasinya pada daerah abcd seperti pada Gambar 2.3 (b).



Gambar 2.3 (a) Sebuah Solenoida Yang Dililitkan Secara Longgar, (b) Penampang Solenoida Dengan abcd Adalah Lingkaran Tertutup

Hukum Ampere untuk solenoida dapat dilihat pada persamaan (1):

$$\oint_{abcd} \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i \quad (1)$$

Dengan nilai  $i$  adalah arus yang terkandung dalam lengkung abcd. Bila dipisahkan untuk integral bagian ab, bc, cd, dan da, maka integral bagian bc adalah nol karena  $d\vec{l} = 0$ , sedangkan bagian cd = 0 karena tidak ada medan magnetik diluar solenoida. Akibatnya persamaan (1) dapat disederhanakan menjadi persamaan (2):

$$\oint_{abcd} \vec{B} \cdot d\vec{l} = \int_{ab} \vec{B} \cdot d\vec{l} \quad (2)$$

karena  $\vec{B}$  sejajar dengan  $d\vec{l}$  pada ab, maka sudut antara kedua vector tersebut adalah nol sehingga integral  $d\vec{l} = l$ . Nilai  $l$  adalah panjang garis ab.

$$\int_{ab} \vec{B} \cdot d\vec{l} = Bl \quad (3)$$

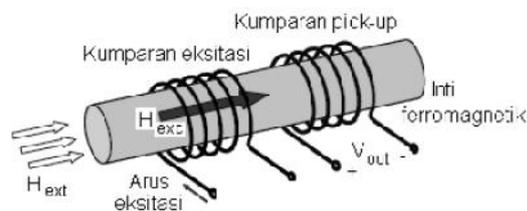
Bila solenoida dengan panjang  $l$  terdapat N lilitan, dan setiap lilitan dialiri arus  $I$ , maka persamaan (3) dapat ditulis ulang menjadi persamaan (4):

$$B = \mu_0 \frac{Ni}{l} \quad (4)$$

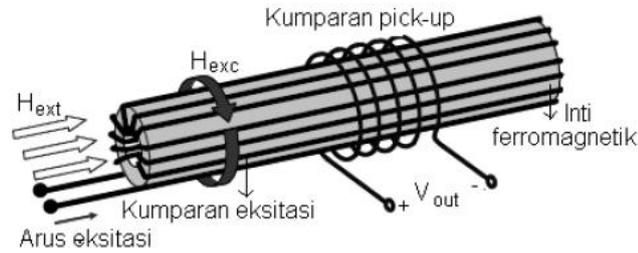
Berdasarkan persamaan (4) terlihat besar medan magnetik  $B$  bergantung pada  $N$ ,  $i$  dan  $l$ , dimana  $\mu_0$  adalah nilai permeabilitas bahan. Medan magnet yang dihasilkan oleh arus eksitasi akan menginduksi inti feromagnetik sehingga terjadi perubahan fluks magnetik didalam kumparan eksitasi. Perubahan fluks magnetik akan semakin besar sesuai dengan permeabilitas bahan yang digunakan inti.

Pada kumparan eksitasi, arus yang dialirkan dikendalikan oleh sebuah osilator frekuensi. Frekuensi osilator ditentukan oleh frekuensi dari kristal untuk *fluxgate* magnetometer yaitu 1-20 kHz. Frekuensi osilator yang digunakan adalah 4 kHz, dengan frekuensi sebesar ini hasil yang diperoleh lebih optimal. Frekuensi yang digunakan untuk kumparan eksitasi adalah setengah dari frekuensi ini yaitu 2 kHz ( $f$ ), dan frekuensi 4 kHz ( $2f$ ) digunakan untuk detektor fasa.

Berdasarkan arah medan eksitasi yang dihasilkan oleh kumparan eksitasi, maka elemen sensor *fluxgate* terdiri dari dua, yaitu: sensor *fluxgate* ortogonal, dan sensor *fluxgate* paralel. Sensor *fluxgate* ortogonal adalah sensor *fluxgate* yang arah medan eksitasi tegak lurus arah medan eksternal yang di ukur, sedangkan sensor *fluxgate* paralel adalah sensor *fluxgate* yang arah medan medan eksitasi sejajar dengan medan eksternal yang diukur.

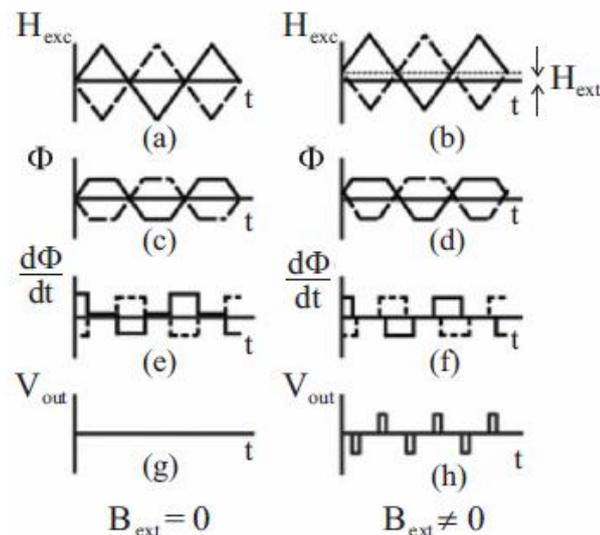


Gambar 2.4. Konfigurasi Paralel Sensor *Fluxgate* (Ando,dkk, 2006)



Gambar 2.5. Konfigurasi Ortogonal Sensor *Fluxgate* (Zorlu, 2008)

Pada metoda *fluxgate* pengukuran kuat 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 dapat ditunjukkan Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Prinsip Kerja Sensor *Fluxgate* (Grueger, 2000)

Pada Gambar 2.6 dapat dilihat prinsip kerja sensor *fluxgate* ketika mengukur medan magnet luar. 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 lilitan *pick-up*, jumlah lapisan inti (Yulkifli, dkk., 2007,2009,2010), dimensi geometri elemen sensor (Hinnrics, dkk., 2001), sifat dan jenis material inti ferromagnetik (Gopel, 1998 dan Ripka, dkk., 2008), frekuensi dan arus eksitasi (Ripka 2001a, Kubik, 2006 dan Janosek, 2009).

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

$$H_{ref} = H_{ref\ max} \sin \omega t \quad (5)$$

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

$$H_{\text{int}} = \frac{H_{\text{ext}} + H_{\text{ref max}} \sin \omega t}{1 + D(\mu_r - 1)} \quad (6)$$

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:

$$H_0^* = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{B_{\text{sat}} [1 + D(\mu_{rn} - 1)]}{\mu_{rn} \mu_0} \quad (7)$$

Disini kuat medan magnet dalam inti menjadi

$$h_{\text{int}} = \frac{H_{\text{int}}}{H_0^*} = h_{\text{ext}} + h_{\text{ref max}} \sin \alpha t \quad (8)$$

Komponen harmonisasi kedua sebanding dengan kuat medan magnet luar. Tegangan keluaran  $V_{\text{out}}$  dari kumparan sekunder juga sesuai dengan turunan waktu rapat flux di dalam inti, amplitudo tegangan keluran induksi dilukiskan dengan hukum faraday (Bashiroto, A., *et al.*, 2006):

$$V_{\text{out}} = -N \frac{d\Phi}{dt} = -NA \frac{dB}{dt} \quad (9)$$

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

$$V_{\text{out}} = -\frac{V_{\text{out}}}{NA} = \frac{dB}{dt} = B_0 \cdot \frac{db}{dt} \quad (10)$$

Komponen tegangan keluaran harmonisa kedua  $V_{\text{out}2h}$  dari kumparan sekunder adalah:

$$U_{out} = -3B_0 NA \omega A_3 h_{ext} h_{ref}^2 \max \sin 2\omega t \quad (11)$$

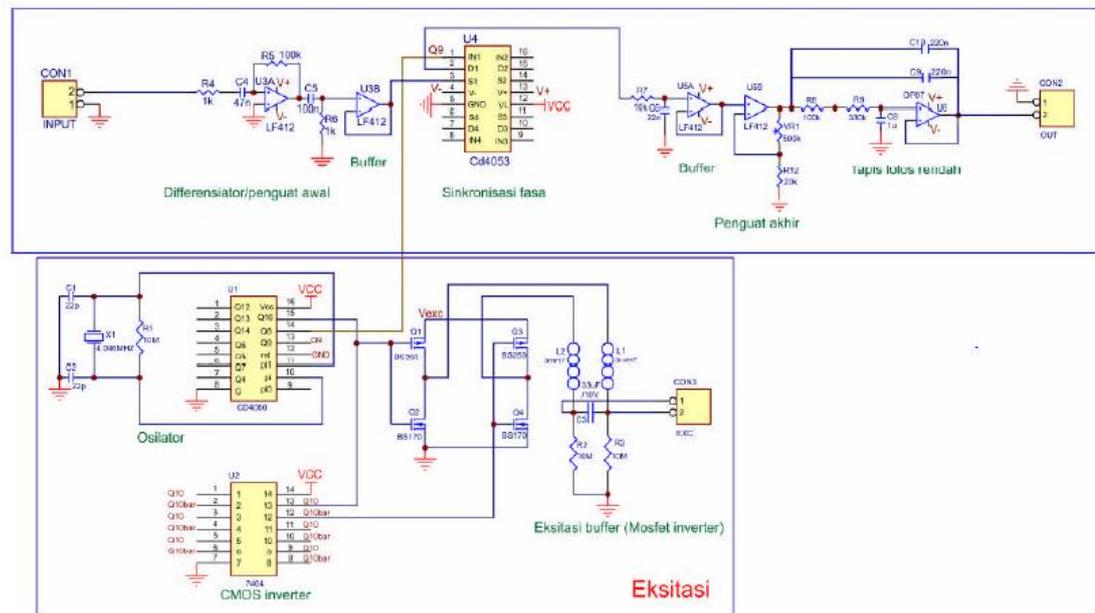
$$V_{out 2h} = h_{ext} K \sin 2\omega t \quad (12)$$

dengan  $h_{ext}$  adalah kuat medan magnet eksternal,  $h_{ref}$  adalah kuat medan magnet referensi, N adalah jumlah lilitan, A adalah luas bidang potong inti sensor,  $E_o$  adalah rapat fluks magnetik, dan K adalah tetapan.

#### **D. Pengolahan Sinyal Keluaran Sensor *Fluxgate***

Rangkaian pengolah sinyal sensor adalah rangkaian elektronik yang mengubah, mengkompensasi atau memanipulasi keluaran sensor kedalam kualitas listrik yang dibutuhkan. Menurut Mitra Djamal (2010), Pengolahan sinyal sensor ditujukan untuk mengatasi efek-efek pengaruh sehingga didapat nilai terbaik dari hasil pengukuran. Dengan teknik pengolahan sinyal yang sesuai maka karakteristik sistem sensor dan ketelitiannya dapat ditingkatkan secara signifikan.

Untuk menghasilkan sensor *fluxgate* dengan karakteristik yang baik dibutuhkan rangkaian pengolah sinyal dan elemen *fluxgate* yang optimum. Pengolah sinyal sensor *fluxgate* terdiri dari dua bagian utama, yaitu rangkaian eksitasi dan rangkaian pengolah sinyal lilitan *pick-up*. Secara skematik rangkaian elektronik pengolah sinyal sensor *fluxgate* terlihat pada Gambar 2.7



Gambar 2.7. Skema Rangkaian Elektronik Pengolahan Sinyal Sensor *Fluxgate*

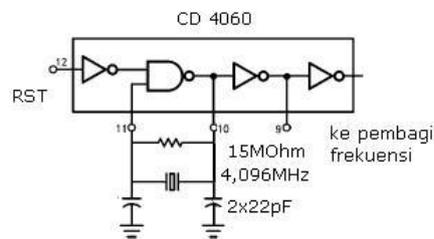
Pada Gambar 2.7 dapat dilihat bahwa rangkaian elektronik pengolah sinyal sensor *fluxgate* terdiri dari dua bagian utama yaitu rangkaian eksitasi dan rangkaian pengolah sinyal lilitan *pick-up*. Rangkaian eksitasi terdiri dari rangkaian osilator, rangkaian *buffer*, dan rangkaian pembangkit sinyal eksitasi. Untuk rangkaian pengolah sinyal lilitan *pick-up* terdiri dari rangkaian penguat awal, rangkaian *buffer*, detektor fasa, penguat akhir dan integrator.

## 1. Rangkaian Eksitasi

### a. Osilator dan Pembagi Frekuensi

Osilator merupakan piranti elektronik yang menghasilkan keluaran berupa isyarat tegangan. Osilator digunakan secara luas sebagai sumber isyarat untuk menguji rangkaian elektronik. Osilator seperti ini disebut pembangkit isyarat, atau pembangkit fungsi jika isyarat keluarannya dapat mempunyai berbagai bentuk (Sutrisno,1987).

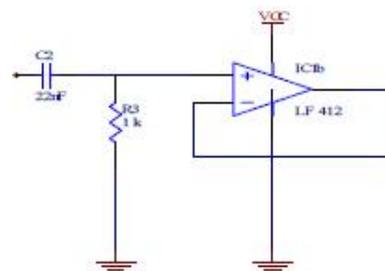
Osilator dalam pembuatan sensor *fluxgate* merupakan rangkaian dasar yang sangat penting. Osilator berfungsi sebagai sinyal eksitasi yang akan diberikan pada lilitan eksitasi. Hal ini disebabkan karena stabilitas dari frekuensi medan yang dihasilkan tergantung kepada stabilitas osilator. Untuk mendapatkan kestabilan maka digunakan kristal. Rangkaian osilator dengan menggunakan kristal dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Rangkaian Osilator Kristal dan IC CD 4060 (Sutrisno,1987)

#### b. Rangkaian Penyangga (*Buffer*)

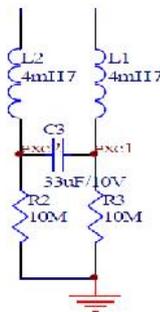
Rangkaian *buffer* ini digunakan untuk menghindari terjadinya jatuh tegangan. Rangkaian *buffer* yang ideal memiliki penguatan satu dengan impedansi masukan yang sangat besar dan impedansi keluaran yang sangat kecil (Sotrisno,1987). Hambatan yang terdapat di dalam detektor fasa tidak akan mengurangi besar tegangan sinyal yang keluar dari detektor tersebut. Pada akhirnya penambahan *buffer* akan menjadikan keluaran sistem sensor menjadi lebih stabil dari yang sebelumnya. Susunan *buffer* sama seperti Gambar 2.9



Gambar 2.9. *Op-amp* Yang Berfungsi Sebagai *Buffer* Sinyal (Malvino, 1985)

### c. 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 (Yulkifli,2011). 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 2.10.



Gambar 2.10. Rangkaian Generator Sinyal Eksitasi (Yulkifli, 2011)

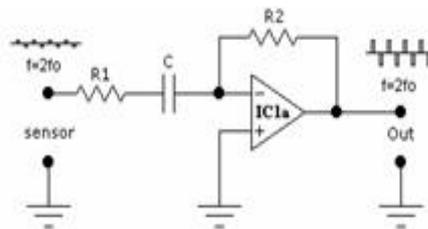
## 2. Rangkaian Pengolah Sinyal

### a. Penguat Awal

Rangkaian penguat yang digunakan adalah penguat differensiator. Penguat ini berfungsi sebagai pendiferensial sinyal yang keluar dari elemen sensor. Rangkaian ini mempunyai dua masukan. Karena digandeng langsung, sinyal masuknya dapat mempunyai frekuensi sampai nol, artinya sama dengan dc. Rangkaian ini bersifat simetris, akibatnya tegangan keluaran berharga nol bila dua masukannya sama (Malvino, 1985).

Pada rangkaian pengolah sinyal sensor *fluxgate* ini, penguat awal berfungsi untuk memperkuat sinyal yang diterima lilitan *pick-up* (Yulkifli,2011). Dalam keadaan tanpa adanya medan magnetik luar, penjumlahan arus yang

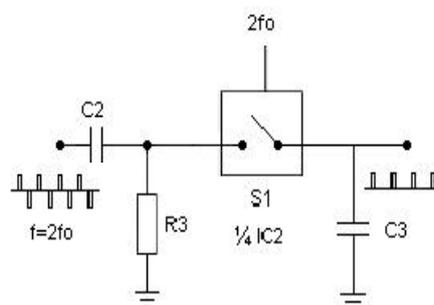
melewati lilitan *pick-up* sensor akan sama dengan nol. Ketika diganggu dengan medan magnetik luar, maka terdapat perbedaan arus diujung lilitan *pick-up*. Selisih arus pada ujung-ujung lilitan *pick-up* dirubah menjadi tegangan oleh penguat awal yang berbentuk differensiator dan sekaligus diperkuat. Blok dasar rangkaian penguat differensiator seperti Gambar 2.11.



Gambar 2.11. Rangkaian Penguat Diferensiator (Sutrisno, 1987)

b. Detektor Fasa (Sinkronisasi)

Detektor fasa (sinkronisasi), bagian ini berfungsi untuk mendeteksi fasa dari sinyal yang masuk dari penguat awal. Detektor ini akan meneruskan sinyal dengan frekuensi harmonisasi kedua dengan menggunakan frekuensi referensi osilator ( $f_0$ ) sebelum dibagi dua oleh pembagi frekuensi, sementara itu harmonisasi ganjil dan yang lain tidak diteruskan (Yulkifli, 2011).

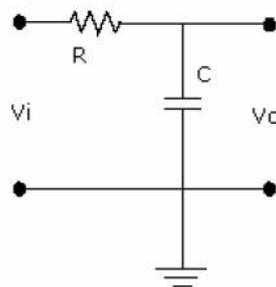


Gambar 2.12. Rangkaian Detektor Fasa Ketika Keluaran Sensor Positif (Yulkifli, 2011)

### 3. Integrator

Rangkaian integrator merupakan rangkaian yang tegangan keluarannya sama dengan integral dari masukannya. Menurut Malvino (1985), sebuah rangkaian integrator adalah rangkaian yang menyelenggarakan operasi integrasi secara matematik karena dapat menghasilkan tegangan keluaran yang sebanding dengan integral masukan.

Rangkaian integrator berfungsi sebagai pengintegrasian 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. Integrator yang digunakan dalam rangkaian ini adalah integrator pasif. Bentuk rangkaiannya ditunjukkan pada Gambar 2.13.

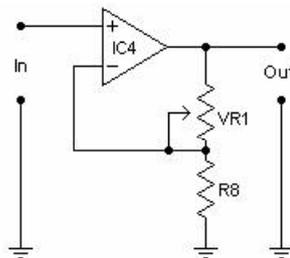


Gambar 2.13. Rangkaian Integrator (Sutrisno, 1987)

### 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 membalik dan tak membalik. Penguat yang digunakan di sini adalah penguat membalik. Penguat membalik menghasilkan tegangan keluaran yang sefasa dengan tegangan masuk. Rangkaian ini adalah pengubah

arus ke tegangan yang digerakkan oleh sumber tegangan dan bukan sumber arus (Malvino, 1985). Blok rangkaian penguat akhir seperti Gambar 2.14.



Gambar 2.14. Blok Diagram Penguat Membalik (Sutrisno,1987)

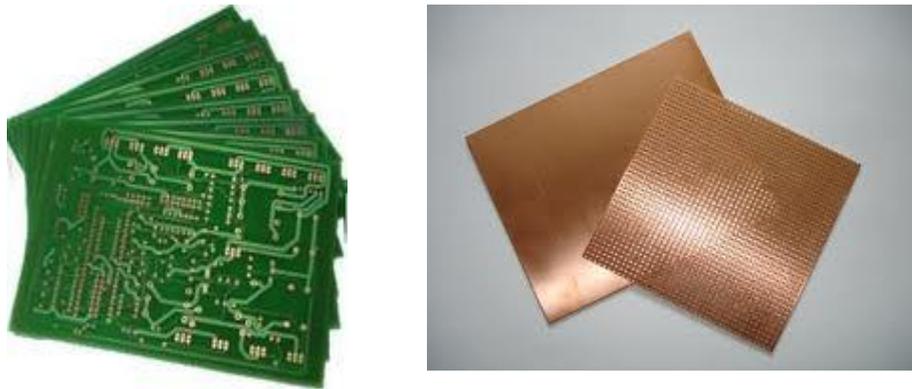
Pada penguat akhir, keluaran dari tapis lolos rendah diatur penguatannya. Rangkaian ini diperlukan untuk mengkalibrasi keluaran sensor magnetik agar sesuai dengan medan magnet yang dideteksi oleh sensor. Penguat ini merupakan penguat membalik, dimana penguatannya diatur dengan resistor variabel 1 (VR1).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

Keseluruhan bagian yang telah dirangkai ini bekerja secara analog. Tegangan keluaran yang diperoleh dari rangkaian ini berupa tegangan analog yang merepresentasikan besar medan magnetik yang dideteksi. Tegangan keluaran akhir dari sensor *fluxgate* ini diambil pada keluaran rangkaian integrator.

#### **E. Teknologi *Printed Circuit Boards* (PCB)**

*Printed Circuit Boards* (PCB) adalah papan rangkaian yang digunakan sebagai tempat penghubung jalur konduktor dan penyusunan letak komponen-komponen elektronika. Jalur konduktor adalah sistem pengkabelan antar komponen sebagai bagian hubungan data dan kelistrikan pada komponen tersebut. Menurut Klastika (2012), *Printed Circuit Board* (PCB) adalah sebuah papan yang digunakan untuk mendukung semua komponen-komponen elektronika yang

berada di atasnya, papan PCB juga memiliki jalur-jalur konduktor yang terbuat dari tembaga dan berfungsi untuk menghubungkan antara satu komponen dengan komponen lainnya.



Gambar 2.15. *Printed Circuit Board (PCB)*

PCB terbagi atas dua macam, yaitu *PCB Matrix Strip Board* dan *PCB Cooper Clad*.

1. *PCB Matrix Strip Board* atau biasa dikenal PCB ‘berlubang’ merupakan salah satu jenis PCB yang bentuknya terdiri atas susunan lubang-lubang. Namun, kekurangan dalam penggunaan PCB ini ialah sulitnya mengatur sistem pengkabelan yang menghubungkan antara komponen satu dengan komponen lain sehingga menyebabkan kabel-kabel yang dihubungkan saling menyilang. Kesulitan lain juga akan dijumpai saat penyolderan kaki-kaki komponen dengan 2 kabel penghubung atau lebih, pada titik solder (*pad*) yang sama.
2. *PCB Cooper Clad* merupakan PCB yang terbuat dari bahan *ebonite* atau *fiber glass* yang salah satu atau kedua sisinya dilapisi oleh lapisan tembaga. Untuk PCB yang mempunyai lapisan tembaga hanya pada salah satu sisi permukaannya saja disebut PCB satu sisi (*Single Side*). Sementara itu PCB

yang mempunyai lapisan tembaga di kedua sisi permukaannya disebut PCB dua sisi (*Double Side*).

Pembuatan sensor *fluxgate* dengan menggunakan metode PCB ini hanya bertujuan untuk menggantikan peranan kawat email yang sering dililitkan secara manual pada kumparan eksitasi dan kumparan *pick-up*. Metode PCB awalnya dikembangkan semenjak tahun 1999 oleh Dezuari, dkk., dari Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne (Switzerland). Pembuatan sensor *fluxgate* dengan metode PCB memiliki proses yang sederhana dan murah sehingga apabila terjadi kerusakan mudah untuk diperbaiki. Kekurangannya adalah ukurannya lebih besar dibandingkan konvensional apalagi jika dibandingkan dengan teknologi mikro (Yulkifli, 2011).

## **F. Spesifikasi Sensor**

Spesifikasi adalah pendeskripsian secara detail tentang suatu produk hasil penelitian. Spesifikasi merupakan ukuran (metrik) dan nilai dari ukuran tersebut (Bakri, 2009). Spesifikasi dibagi atas dua macam yaitu spesifikasi performansi dan spesifikasi desain.

### **1. Spesifikasi Performansi**

Spesifikasi performansi disebut juga dengan spesifikasi fungsional. Spesifikasi performansi adalah suatu uraian rinci mengenai material-material atau komponen-komponen pembentuk sistem serta mengidentifikasi fungsi-fungsi dari setiap komponen pembentuk sistem. Menurut Andi Nasution (2010), Spesifikasi performansi merupakan suatu proses membuat spesifikasi kinerja yang akurat dari

solusi rancangan yang diperlukan. Dalam proses perancangan suatu sistem harus memenuhi spesifikasi performansi agar dapat diperoleh suatu sistem yang optimal

Spesifikasi performansi bisa diartikan sebagai penguraian dari setiap komponen pembentuk sistem, baik itu dari segi material pembentuknya dan fungsi-fungsi dari setiap komponen itu. Apabila spesifikasi performansi dari sistem itu sudah baik dengan kualitas pembentuk sistem yang bagus, maka sistem memberikan kemudahan dalam penggunaannya.

## **2. Spesifikasi Desain**

Spesifikasi desain juga disebut sebagai spesifikasi produk. Spesifikasi desain adalah metrik dan nilai metrik yang harus dicapai oleh suatu produk dan bukan bagaimana produk harus bekerja (Bakri,2010). Spesifikasi desain tergantung pada sifat alami material yang digunakan. Spesifikasi desain menjelaskan tentang karakteristik statik produk, toleransi, bahan pembentuk sistem, ukuran sistem dan dimensi sistem.

Karakteristik statik dari sebuah sensor perlu diperhatikan untuk memilih peralatan sensor yang tepat dan sesuai dengan sistem yang akan disensor. Karakteristik statik merupakan sifat sensor yang sulit untuk dirubah, meliputi ketepatan dan ketelitian sebuah sensor. Karakteristik statik sensor selain ketepatan dan ketelitian adalah fungsi transfer dan sensitivitas.

### **a. Fungsi Transfer**

Fungsi transfer adalah hubungan ideal antara output dengan stimulus untuk setiap sensor. Menurut Jacob Fraden (2004), *An ideal (theoretical) output–stimulus relationship is characterized by the so-called transfer function*. Fungsi

ini tergantung kepada sinyal listrik yang dihasilkan oleh sensor dan stimulus.

Suatu hubungan linear antara output sensor dengan stimulus dapat dirumuskan :

$$S = a + bs \quad (13)$$

dimana a adalah sinyal keluaran pada saat sinyal masukannya nol, b adalah sensitivitas, sedangkan S adalah keluaran dari sensor.

#### b. Sensitivitas

Sensitivitas akan menunjukkan seberapa jauh kepekaan sensor terhadap kuantitas yang diukur. Menurut Ramon Pallas S-Areny dan John G. Webster (2001), *The sensitivity or scale factor is the slope of the calibration curve, whether it is constant or not along the measurement range. For a sensor in which output y is related to the input x by the equation  $y = f(x)$ , the sensitivity  $S(x_a)$ , at point  $x_a$ , is*

$$S(x_a) = \left. \frac{dy}{dx} \right|_{x=x_a} \quad (14)$$

dimana S adalah sensitivitas dari sensor, y keluaran dari sensor, sedangkan x adalah masukan dari sensor tersebut.

#### c. Ketepatan

Ketepatan adalah perbedaan maksimum antara nilai sebenarnya dan nilai yang ditunjukkan oleh keluaran sensor. Ramon Pallas Areny (2001) mengatakan bahwa, *“Accuracy is the quality that characterizes the capacity of a measuring instrument for giving results close to the true value of the measured quantity”*. Dari pengertian *accuracy* yang dikatakan oleh Ramon Pallas Areny ini, dapat

dikatakan bahwa ketepatan (*accuracy*) merupakan karakteristik dari sensor yang dapat memberikan hasil keluaran yang mendekati nilai sebenarnya.

Menurut Jacob Fraden (2004), *Inaccuracy is measured as a highest deviation of a value represented by the sensor from the ideal or true value at its input*. Dari kutipan dapat dikatakan bahwa ketidakpastian deviasi tertinggi dari nilai yang diperlihatkan sensor dari nilai masukan yang ideal. Ketidaktepatan (*inaccuracy*) biasanya dapat ditentukan dari persamaan berikut:

$$\varepsilon_0(\%) = \frac{X_m - X_t}{X_t} \times 100\% \quad (15)$$

dimana,  $X_t$  adalah nilai sebenarnya dan  $X_m$  adalah nilai yang diukur.

#### d. Ketelitian

Ketelitian adalah suatu kemampuan dari sensor untuk mendapatkan nilai yang sama dalam setiap pengukuran pada keadaan yang sama. Menurut Ramon Pallas S-Areny dan John G. Webster (2001) menyatakan bahwa “*Precision is the quality that characterizes the capability of a measuring instrument of giving the same reading when repetitively measuring the same quantity under the same prescribed conditions (environmental, operator, etc.), without regard for the coincidence or discrepancy between the result and the true value*”.

Berdasarkan kutipan dapat dikatakan ketelitian merupakan salah satu karakteristik dari sensor yang memberikan pembacaan yang sama pada pengukuran yang sama dan pada kondisi yang sama. Dengan kata lain, ketelitian dapat diperoleh dengan melakukan pengukuran berulang pada keadaan yang sama tanpa memperhatikan kebetulan atau ketidaksesuaian antara hasil dan nilai sebenarnya.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### A. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis terhadap data-data yang diperoleh selama penelitian, maka didapat beberapa kesimpulan berdasarkan tujuan dari penelitian diantara nya adalah :

1. Spesifikasi performansi dari sensor *fluxgate* dengan metode PCB ini terdiri dari elemen sensor *fluxgate* itu sendiri dan rangkaian pengolah sinyalnya.
2. Spesifikasi desain sensor *fluxgate* berupa fungsi transfer, sensitivitas, ketelitian, dan ketepatan.
  - a. Sensor *Fluxgate* FL1.

Sensor ini mempunyai fungsi transfer  $V_o = 2.10^{-7}B^4 - 7.10^{-5}B^3 + 0.008B^2 - 0.496B - 153.6$ . Nilai sensitivitas sensor *fluxgate* FL1 akan berubah sesuai dengan besar medan magnet yang diberikan pada sensor. Ketelitian dari sensor *fluxgate* FL1 relatif tinggi sebesar 99.95%, dengan kesalahan relatifnya sebesar 0.05%. Ketepatan dari sensor *fluxgate* FL1 ini cukup tinggi sebesar 94.76%, dengan kesalahan relatifnya sebesar 5.24%.

- b. Sensor *Fluxgate* FL2

Sensor ini mempunyai fungsi transfer  $V_o = -2.10^{-5}B^3 + 0.005B^2 - 0.541B - 144.4$ . Nilai sensitivitas sensor *fluxgate* FL2 akan berubah sesuai dengan besar medan magnet yang diberikan pada sensor. Ketelitian dari sensor *fluxgate* FL2 relatif tinggi sebesar 99.94%, dengan kesalahan relatifnya sebesar 0.06%. Ketepatan dari sensor *fluxgate* FL2 ini cukup tinggi sebesar 93.36%, dengan kesalahan relatifnya sebesar 6.64%.

c. Sensor *Fluxgate* FL3

Sensor ini mempunyai fungsi transfer  $V_o = -10^{-5}B^3 + 0.003B^2 - 0.401B - 148.6$ . Nilai sensitivitas sensor *fluxgate* FL3 akan berubah sesuai dengan besar medan magnet yang diberikan pada sensor.. Ketelitian dari sensor *fluxgate* FL3 relatif tinggi sebesar 99.945%, dengan kesalahan relatifnya sebesar 0.06%. Ketepatan dari sensor *fluxgate* FL3 ini cukup tinggi sebesar 99.17%, dengan kesalahan relatifnya sebesar 0.83%.

**B. Saran**

Berdasarkan kesimpulan yang telah dikemukakan sebelumnya, maka dapat diuraikan beberapa saran dalam penelitian ini, diantaranya:

1. Pada penelitian selanjutnya, sebaiknya pengujian sensor *fluxgate* dilakukan pada ruang Faraday, supaya tidak ada medan magnet lain yang terdeteksi oleh sensor *fluxgate* kecuali medan magnet dari sumber magnet.
2. Untuk Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Fisika UNP, sebaiknya dibuatkan atau disediakan ruang Faraday, agar mahasiswa bisa memanfaatkannya untuk penelitian yang berhubungan dengan medan magnet.
3. Pada penelitian selanjutnya, hendaknya didesain agar ukuran sensor menjadi lebih kecil dengan menggunakan program yang lebih baik dan bagus, agar sensor *fluxgate* bisa digunakan untuk aplikasi-aplikasi yang lebih baik.
4. Untuk peneliti selanjutnya, diharapkan bisa mengaplikasikan sensor *fluxgate* dengan metode PCB ini untuk aplikasi-aplikasi dibidang elektronika, seperti: sebagai alat ukur jarak dalam orde kecil, alat ukur medan magnetik pada mineral magnetik, dan sebagai sensor arus.

## DAFTAR PUSTAKA

- Baschiroto, A, dkk. 2006. *Development and Comparative Analysis of Fluxgate Magnetic Sensor Structure in PCB Tecnology*. IEEE Transaction on Magnetics
- Bakri, Ilham. 2010. *Spesifikasi Awal Produk*. <http://www.scribd.com>. Diakses tanggal 10 April-2012
- Colmar Hinnrichs, dkk. 2001. *Dependence of Sensitivity and Noise of Fluxgate Sensor on Racetrack Geometry*. Germany
- Djamal, Mitra, dkk. 2007. *Sensor Magnetik Fluxgate dan Aplikasinya*. Jurnal Materi Indonesia
- Djamal, Mitra. 2010. *Sensor dan Sistem Sensor: state of the art, Kontribusi dan Perspektif Pengembangannya Di Masa Depan*. ITB: Bandung
- Gerard C.M. Meijer (ed.). 2008. *Smart Sensor System*. John Willey & Sons.
- H. Grueger. 2000. *CMOS Integrated Two Axes Magnetic Field Sensors-Miniaturized Low Cost Systems With Large Temperature Range*. Germany
- Jacob Fraden. 2004. *Handbook Of Modern Sensors Physics, Designs, And Applications (Third Edition)*. Springer: New York.
- John R. Brauer. 2006. *Magnetic Actuators And Sensors*. IEEE Press: Canada
- J.Kubik, dkk. 2009. *Triaxial Fluxgate Sensor With Electroplated Core*. Tyndall National Institute, Lee Maltings, Prospect Row, Cork, Ireland
- Klastika. 2012. *Printed Circuit Boards (PCB)*. <http://www.klastika.com>. Diakses tanggal 10 April 2012.
- Malvino Barmawi. 1985. *Prinsip – prinsip Elektronika (Edisi Ketiga)*. Erlangga: Jakarta
- Michal Janosek. 2009. *PCB Sensors in Fluxgate Magnetometer with Controlled Excitation*.
- Nasution, Andi. 2010. *Pengaruh Kualitas Produk Terhadap Kepuasan Konsumen*. Skripsi. <http://www.etd.eprints.ums.ac.id>. Diakses tanggal 10 April 2012
- O.Zorlu. 2008. *Orthogonal Fluxgate Type Magnetic Micro sensors with Wide Linier Operation range*. Dissertation Thesis, EPFL in Ankara, Turquie.