

**PEMBUATAN ALAT UKUR MEDAN MAGNETIK BATUAN BERBASIS
SENSOR *FLUXGATE***

SKRIPSI

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



Oleh :

**AIRIN AHAD DINI
84175/2007**

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

2012

PERSETUJUAN SKRIPSI

PEMBUATAN ALAT UKUR MEDAN MAGNETIK BATUAN BERBASIS SENSOR *FLUXGATE*

Nama : Airin Ahad Dini
NIM : 84175
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 2 Agustus 2012

Disetujui Oleh

Pembimbing I



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

Pembimbing II



Zulfendri Kamus, S.Pd, M.Si
NIP.19751231 200012 1 001

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 Alat Ukur Medan Magnetik Batuan
Berbasis Sensor *Fluxgate*

Nama : Airin Ahad Dini

NIM : 84175

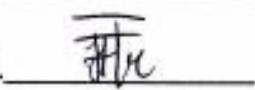
Program Studi : Fisika

Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 2 Agustus 2012

Tim Penguji

	Nama	Tanda Tangan
1. Ketua	: Dr. Yulkifli, S.Pd, M.Si	1. 
2. Sekretaris	: Zuhendri Kamus, S.Pd, M.Si	2. 
3. Anggota	: Drs. Mahrizal, M.Si	3. 
4. Anggota	: Drs. H. Asrizal, M.Si	4. 
5. Anggota	: Fatni Mufit, 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, 2 Agustus 2012

Yang Menyatakan,



Airin Ahad Dini

ABSTRAK

Airin Ahad Dini : Pembuatan Alat Ukur Medan Magnetik Batuan Berbasis Sensor *Fluxgate*

Batuan merupakan kumpulan atau gabungan dari berbagai macam jenis mineral atau sejenis yang membentuk suatu endapan. Setiap batuan memiliki sifat fisik atau kimia berbeda yang ditentukan oleh keanekaragaman masing-masing mineral pengusunnya. Mineral magnetik menjadi bahan penunjang teknologi yang utama. Untuk mengetahui kandungan magnetik suatu bahan memerlukan sensor. Salah satu jenis dari sensor untuk mendeteksi medan magnetik adalah sensor *fluxgate*, yang bekerja berdasarkan perubahan flux magnetik disekitar elemen sensor. Penelitian ini merancang alat ukur medan magnetik batuan berbasis sensor *fluxgate*. Tujuan dari penelitian ini adalah menjelaskan spesifikasi performansi dari alat ukur, menentukan ketepatan dan ketelitian dari alat ukur dan menjelaskan hasil pengujian alat ukur medan magnetik berbasis sensor *fluxgate*.

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen laboratorium. Teknik pengukuran dan pengumpulan data dilakukan secara langsung dan tidak langsung. Pengukuran secara langsung dilakukan terhadap kuat medan magnet batuan yang berbeda dan 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.

Berdasarkan analisis data yang dilakukan dapat dijelaskan beberapa hasil penting. Pertama, alat ukur medan magnetik berbasis sensor *fluxgate* ini terdiri dari tiga bagian yaitu elemen sensor *fluxgate* dan rangkaian pengolah sinyalnya. Kedua, semakin dekat jarak pengukuran sampel terhadap sensor maka nilai yang ditunjukkan akan semakin baik. Ketiga, spesifikasi desain dari alat ukur medan magnet berbasis sensor *fluxgate* ini yang berupa ketepatan dan ketelitian alat ukur. Setelah dilakukan pengukuran diperoleh ketepatan terhadap medan magnet 0,972 dan ketelitian 0,986. Alat ukur ini memiliki ketepatan dan ketelitian yang cukup tinggi terhadap medan magnet.

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahiim,

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 “Pembuatan Alat Ukur Medan Magnetik Batuan 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. Pada kesempatan ini peneliti mengucapkan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada :

1. Bapak Dr. Yulkifli, M.Si sebagai pembimbing I.
2. Bapak Zuhendri Kamus, S.Pd, M.Si sebagai pembimbing II.
3. Bapak Drs. Asrizal, M.Si, Drs. Mahrizal, M.Si dan Ibu Fatni Mufit, S.Pd, 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-bapak dan Ibu-ibu Staf Pengajar Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang.
7. Orang tua dan saudara yang telah memberikan dorongan baik moril maupun materil dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Rekan-rekan seperjuangan yang telah memberikan saran dan masukan untuk menyelesaikan tugas akhir ini, khususnya rekan-rekan angkatan 2007.

9. 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, 2 Agustus 2012

Peneliti

DAFTAR ISI

	Hal
ABSTAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Pembatasan Masalah	3
C. Perumusan Masalah.....	4
D. Tujuan Penelitian	4
E. Manfaat Penelitian	5
BAB II KAJIAN TEORI	6
A. Spesifikasi Alat Ukur	6
1. Spesifikasi Performansi.....	6
2. Spesifikasi Desain	6
B. Batuan	7
1. Batuan Beku (<i>igneous rocks</i>)	7
2. Batuan Sedimen (<i>sedimentary rocks</i>).....	7
3. Batuan Malihan (<i>metamorphic rocks</i>).....	8
C. Kemagnetan Bahan	9
1. Diamagnetik.....	9
2. Paramagnetik.....	9
3. Feromagnetik.....	10
D. Sensor Magnetik <i>Fluxgate</i>	11
E. Mikrokontroler ATMEGA 8535	28

F. <i>Liquid Crystal Display</i> (LCD)	31
BAB III METODE PENELITIAN	34
A. Jenis Penelitian.....	34
B. Variabel Penelitian	34
C. Waktu dan Tempat Penelitian.....	34
D. Desain Penelitian.....	35
1. Rancangan Sistem Elektronik.....	35
2. Desain Alat.....	36
3. Desain Perangkat Lunak.....	38
E. Prosedur Penelitian.....	39
1. Persiapan Penelitian.....	39
2. Prosedur Pengukuran.....	39
3. Pengambilan Data.....	40
4. Pengolahan Data.....	41
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	44
A. Hasil Penelitian	44
1. Spesifikasi Performansi Dari Alat Ukur Medan Magnetik Batuan.....	44
2. Hubungan Antara Medan Magnet dengan Jarak Sensor ke Sampel Batuan.....	48
3. Ketepatan Dan Ketelitian Sistem Pengukuran Kuat Medan Magnet	50
B. Pembahasan.....	52
BAB V PENUTUP	55
A. Kesimpulan	55
B. Saran	56
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN	59

DAFTAR TABEL

Tabel	Hal
1. Rentang Pengukuran Sensor Magnetik	14
2. Jumlah Lilitan dan Resistance Elemen Sensor.....	27
3. Fungsi Pin LCD	32
4. Jadwal Kegiatan Penelitian	35
5. Data Hubungan Keluaran dengan Jarak Sensor	48
6. Data Statistik Ketepatan Sistem Pengukuran Medan Magnet.....	51
7. Data Statistik Ketelitian Sistem Pengukuran Medan Magnet	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Hal
1. Eksplorasi Data Kebutuhan Sensor Tahun 2010.....	2
2. Siklus Batuan	8
3. Blok Fungsi Sensor/Transduser	11
4. Diagram Pengelompokan Sensor Magnetic Berdasarkan Magnitude Medan Magnetik	12
5. Metoda Pengukuran Medan Magnetik	15
6. Inti Sensor <i>Fluxgate</i>	16
7. Konfigurasi Paralel Sensor <i>Fluxgate</i>	17
8. Konfigurasi Ortogonal Sensor <i>Fluxgate</i>	17
9. Bentuk Sinyal Keluaran Sensor	18
10. Skema Program Pengolah Sinyal	21
11. Rangkaian Osilator Kristal Dan IC CD 4060.....	21
12. Rangkaian MOSFET Sebagai Inverter.....	22
13. Rangkaian Generator Sinyal Eksitasi.....	23
14. Rangkaian Penguat Awal	23
15. Blok Diagram IC CD 4053, Pin Out IC CD 4053.....	24
16. Rangkaian Integrator	25
17. Blok Diagram Penguat Akhir.....	26
18. Elemen Sensor <i>Fluxgate</i>	27
19. Set-up Karakterisasi Sensor <i>Fluxgate</i>	27
20. Kurva Linier Sensor Pcb's Pada Daerah Kerja $\pm 12 \mu\text{T}$	28
21. Diagram Pin Mikrokontroler ATMEGA 8535.....	29
22. Sistem Minimum Mikrokontroler ATMEGA 8535	30
23. Bentuk LCD	31
24. Blok Diagram Alat Ukur Batuan Magnetik	36
25. Rancangan Mekanik Alat Ukur Batuan Magnetik.....	36
26. Tempat Sampel.....	38
27. Flowchar Alat Ukur Batuan Magnetik.....	38

28. Bentuk Fisik dari Alat Ukur Medan Magnetik Batuan Berbasis Sensor <i>Fluxgate</i>	45
29. Rangkaian Elektronika Sistem Pengukuran Kuat Medan Magnetik Berbasis Sensor <i>Fluxgate</i>	45
30. Rangkaian Regulator Sistem Pengukuran Kuat Medan Magnet.....	46
31. Rangkaian Eksitasi dan Pengolah Sinyal.....	46
32. Rangkaian Mikrokontroler ATMEGA 8535.....	47
33. Tampilan Output Sistem Pengukuran Medan Magnet Pada LCD.... ..	47
34. Grafik Hubungan Keluaran dengan Jarak Sensor.....	49
35. Grafik Medan Magnetik Setiap Sampel.....	50

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Hal
1. Skematik Rangkaian Pengolah Sinyal	59
2. Rangkaian Inverting dari Mikrokontroler ATMEGA 8535	60
3. Data Hubungan Antara Arus dengan Medan Magnet	61
4. Data Pengukuran Berulang Untuk Medan Magnet Batuan.....	62
5. Data Pengukuran Sampel Menggunakan Sensor <i>Fluxgate Z57</i>	63
6. Foto Alat dan Pengambilan Data.....	64
7. Program Mikrokontroler ATMEGA 8535.....	66

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

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 yang terdepan bagi perancang teknologi masa depan.

Teknologi elektronika menjanjikan prospek masa depan yang lebih baik karena 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.

Bahan penunjang teknologi yang utama yaitu mineral magnetik. Mineral magnetik ini merupakan bahan tersedia di alam dan memiliki manfaat serta kegunaan besar. Penggunaan mineral magnetik ini tidak terbatas hanya satu atau beberapa saja. Semua barang-barang penunjang kehidupan manusia hampir berbahan dasar mineral magnetik, seperti besi, baja, dan lain-lain.

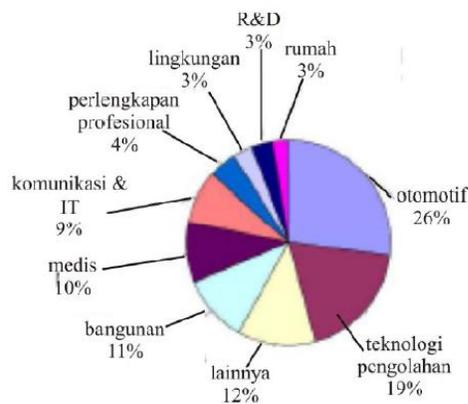
Seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan bahan mineral magnetik ini, maka dilakukan eksplorasi berskala besar agar kebutuhan pasar dapat terpenuhi. Meskipun bahan mineral magnetik tersedia di alam dalam jumlah yang cukup banyak, namun untuk mendeteksi persebaran atau keberadaan mineral magnetik batuan dibutuhkan suatu alat ukur atau detektor. Pembuatan detektor-detektor mineral

magnetik yang berteknologi modern bertujuan untuk mempermudah proses eksplorasi.

Disisi lain 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 fluxmeter. Karena alat ini begitu kompleks, apabila terjadi kerusakan maka untuk memperbaikinya sangat sulit, walaupun bisa diperbaiki itupun membutuhkan biaya yang juga mahal.

Untuk mengatasi permasalahan ini, maka dibutuhkan suatu alat yang memiliki kemampuan baik dan biaya yang dibutuhkan dalam perancangannya juga murah. Salah satunya yaitu dengan membuat alat ukur medan magnetik batuan berbasis sensor *fluxgate*.

Kebutuhan akan penggunaan sensor dalam era kehidupan teknologi saat ini semakin meningkat tajam. Berdasarkan data mengenai pasar sensor dunia diketahui bahwa perkembangan rata-rata produksi sensor dalam sepuluh tahun terakhir meningkat 4.5% setiap tahunnya, dengan prediksi komposisi kebutuhan pada tahun 2010 ditunjukkan Gambar 1.



Gambar 1. Ekstrapolasi data kebutuhan sensor tahun 2010 (Yulkifli, 2010)

Berdasarkan Gambar 1 terlihat bahwa pasar otomotif menempati segmen terbesar yakni 26% dari pasar dunia, disusul dengan teknologi pengolahan 19%, bangunan 11% dan kesehatan 10% (Yulkifli, 2010).

Sensor diklasifikasikan kedalam beberapa kelompok-kelompok tertentu berdasarkan prinsip kerja dan kegunaan masing-masingnya. Penggunaan sensor magnetik merupakan hal yang sangat populer untuk saat ini karena resolusi, kuat medan, homogenitas, variasi dalam waktu, sensitivitas dan keakuratan dari sensor ini sangat bagus. Prinsip pengukuran medan magnet pada sensor *fluxgate* didasarkan pada hubungan antara kuat medan magnet \mathbf{H} yang diberikan dengan fluks medan magnet induksi \mathbf{B} . Tegangan keluarannya sebanding dengan medan magnet luar yang mempengaruhi inti (*core*) dan arahnya sebanding dengan arah medan magnet luar tersebut. Sensor magnetik dengan prinsip *fluxgate* mempunyai sensitivitas yang tinggi, sehingga banyak digunakan untuk mengukur kuat medan magnet lemah.

Kemampuan alat ukur yang baik dan biaya yang dibutuhkan dalam pembuatannya juga murah, maka dalam pengaplikasiannya digunakan untuk membantu eksploitasi bahan mineral magnetik yang sangat dibutuhkan untuk kelangsungan hidup manusia.

B. Pembatasan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah dijabarkan dalam latar belakang, maka peneliti perlu membatasi permasalahan sebagai berikut:

1. Medan magnetik yang dapat terukur sensor *fluxgate* berkisar antara $0,001 \mu\text{T}$ sampai $10 \mu\text{T}$.

2. Jenis batuan yang digunakan sebagai sampel pengukuran adalah batuan magnetik yang berasal dari Kab. Solok Selatan.
3. Sensor *fluxgate* yang digunakan untuk pembuatan alat ukur medan magnetik batuan yaitu sensor *fluxgate* PCBs.

C. Perumusan Masalah

Berdasarkan batasan masalah yang diuraikan , maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana spesifikasi performansi dan karakteristik statik alat ukur medan magnetik batuan berbasis sensor *fluxgate*?
2. Bagaimana hubungan medan magnet dengan jarak sensor ke sampel batuan?
3. Berapa ketepatan dan ketelitian alat ukur medan magnetik batuan berbasis sensor *fluxgate*?

D. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menjelaskan spesifikasi performansi dari alat ukur medan magnetik batuan berbasis sensor *Fluxgate*.
2. Menjelaskan pengaruh jarak sampel dengan sensor terhadap keluaran dari alat ukur medan magnetik batuan berbasis sensor *Fluxgate*.
3. Menghasilkan sebuah alat ukur medan magnetik batuan berbasis sensor *Fluxgate* yang memiliki ketepatan dan ketelitian pengukuran yang baik.

E. Manfaat Penelitian

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat untuk:

1. Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Fisika, FMIPA, UNP, sebagai pengembangan aplikasi dari sensor magnetik (*Fluxgate*).
2. Dapat membantu menciptakan sebuah alat yang memiliki manfaat besar dan dengan harga yang terjangkau secara ekonomis.
3. Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.
4. Sebagai sumber ide dan referensi dalam pengembangan penelitian tentang instrumentasi Fisika.

BAB II

KAJIAN TEORI

A. Spesifikasi Alat Ukur

Spesifikasi adalah ukuran dan nilai dari ukuran tersebut (Ilham, 2010). Pada umumnya spesifikasi berisikan uraian tentang desain dan performansi. Secara umum spesifikasi digolongkan atas dua tipe yaitu spesifikasi performansi dan spesifikasi desain.

1. Spesifikasi Performansi

Spesifikasi performansi biasa disebut juga dengan spesifikasi fungsional. Spesifikasi performansi merupakan suatu uraian rinci mengenai material-material atau komponen-komponen pembentuk sistem serta mengidentifikasi fungsi-fungsi dari setiap komponen pembentuk sistem tersebut. Performansi ini cenderung menunjukkan manfaat utama dari suatu produk yang dihasilkan.

Spesifikasi performansi umumnya diukur dari segi kuantitas dan kualitas pembentuk sistem, sehingga suatu sistem dapat bekerja dengan baik dan dapat memberikan kemudahan dalam penggunaannya. Pernyataan tersebut sesuai dengan ungkapan Ilham (2009) yang menyatakan bahwa “ salah satu cara yang paling baik dalam menentukan spesifikasi awal adalah dengan menerapkan *Quality Function Deployment/QFD* (penyebaran fungsi kualitas)”. Kualitas merupakan hal utama yang harus diperhatikan dalam menghasilkan suatu produk.

2. Spesifikasi desain

Spesifikasi desain sering juga disebut sebagai spesifikasi produk. Spesifikasi produk adalah metrik dan nilai metrik yang harus dicapai oleh sebuah produk dan

bukan bagaimana produk harus bekerja (Ilham 2010). Spesifikasi desain tergantung pada sifat alami dari material yang digunakan. Spesifikasi desain menjelaskan tentang karakteristik statik produk, toleransi, bahan pembentuk sistem, ukuran sistem dan dimensi sistem. Karakteristik statik suatu sistem meliputi akurasi, presisi, resolusi, histeresis dan linieritas.

B. Batuan

Batuan merupakan kumpulan atau gabungan dari berbagai macam jenis mineral atau mineral sejenis yang membentuk suatu endapan. Sehingga setiap batuan memiliki sifat fisik atau kimia yang berbeda sebab keanekaragaman masing-masing mineral pengusunnya.

Berdasarkan proses terbentuknya, batuan terbagi atas tiga kelompok jenis batuan :

1. Batuan beku (igneous rocks)

Batuan beku (igneous rocks) terbentuk karena pembekuan magma (Iwangeodrs, 2011). Batuan beku sebagian mengandung banyak mineral silikat yaitu mineral yang mengandung atom silikat, silisium, dan oksigen. Mineral-mineral silikat ini biasanya akan bergabung dengan mineral lain seperti aluminium, besi, kalsium, sodium, potassium dan magnesium.

2. Batuan sedimen (sedimentary rocks)

Pengertian umum mengenai batuan endapan / sedimen adalah batuan yang terbentuk akibat litifikasi bahan rombakan batuan asal atau hasil reaksi kimia maupun hasil kegiatan organisme (Iwangeodrs, 2011). Ketersediaan batuan endapan / sedimen di bumi sangatlah sedikit yaitu hanya $\pm 5\%$ volume bumi. Namun penyebarannya

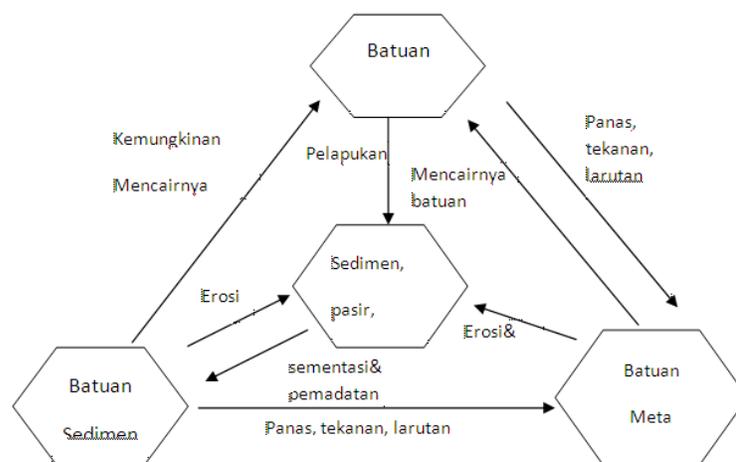
menempati lebih 65 % dari luas permukaan bumi . Oleh karena itu batuan endapan merupakan lapisan tipis di kulit bumi.

Faktor-faktor yang mengontrol terbentuknya sedimen adalah iklim, topografi, vegetasi dan juga susunan yang ada dari batuan. Sedangkan faktor yang mengontrol pengangkutan sedimen adalah air, angin, dan juga gaya gravitasi.

Ciri-ciri batuan sedimen adalah berlapis (stratification), mengandung fosil, memiliki struktur sedimen, dan tersusun dari fragmen butiran hasil transportasi. Contohnya adalah batu pasir, batu gamping dan batu lempung.

3. Batuan malihan (*metamorphic rocks*)

Batuan malihan/metamorf adalah batuan yang telah mengalami proses metamorfosis. Proses metamorfosis terjadi hanya di dalam Bumi. Proses tersebut mengubah tekstur asal batuan, susunan mineral batuan, atau keduanya. Proses ini terjadi dalam solid state, artinya batuan tersebut tidak melebur. Meskipun demikian, penting untuk diingat bahwa fluida terutama air memiliki peranan penting dalam proses metamorfosis. (Iwangeodrs, 2011).



Gambar 2. Siklus Batuan (Iwangeodrs, 2011)

Siklus pada Gambar 2. dapat dijelaskan bahwa pembentukan batuan terjadi akibat proses alamiah yang terjadi dalam kurun waktu tertentu sehingga struktur dan sifat batuan dapat berubah menjadi batuan lain akibat faktor-faktor alam yang berlangsung lama. Misalnya batuan sedimen dapat berubah sifat menjadi batuan metamorf akibat panas dan tekanan yang terjadi dalam waktu lama.

C. Kemagnetan Bahan

Kata magnet ini berasal dari kata *Magnesia*, yang merupakan nama suatu daerah di Asia Kecil, di mana ditemukannya batu besi lebih dari 2000 tahun yang lalu. Secara sederhana magnet dapat diartikan sebagai benda (besi) yang mempunyai inti atom. Atom tersebut mempunyai sejumlah elektron yang selalu bergerak mengitari inti atom (proton dan neutron). Magnet mempunyai 2 (dua) kutub (ujung), yaitu kutub utara dan kutub selatan. Pada kutub-kutub itulah terpusatkan gaya magnet, yaitu gaya tarik dan gaya tolak.

Sifat magnetik pada mineral alamiah dikaji secara mendalam dalam bidang paleomagnetisme atau kemagnetan purba. Stabil tidaknya magnetisasi pada suatu batuan sangat tergantung pada jenis mineral dan ukurannya. Sifat magnetik pada batuan ini juga berperan dalam metode geomagnetik untuk eksplorasi. Ditinjau dari sifat magnetiknya, mineral umumnya dikelompokkan menjadi:

1. Diamagnetik

Bahan diamagnetik adalah bahan yang resultan medan magnet atomis masing-masing atom/ molekulnya adalah nol, tetapi medan magnet akibat orbit dan spin elektronnya tidak nol (Halliday & Resnick.1989). Bahan diamagnetik merupakan bahan yang ditolak oleh magnet dan tidak dapat dimagnetkan. Contoh : bismuth, grafit, gipsum, marmer, kuarsa, garam.

2. Paramagnetik

Bahan paramagnetik adalah bahan yang resultan medan magnet atomis masing-masing atom/ molekulnya tidak nol, tetapi resultan medan magnet atomis total seluruh atom/ molekul dalam bahan nol, hal ini disebabkan karena gerakan atom/ molekul acak, sehingga resultan medan magnet atomis masing-masing atom saling meniadakan (Halliday & Resnick.1989). Bahan paramagnetik ini dapat ditarik oleh magnet namun tidak dapat dimagnetkan. Contoh : piroksen, olivin, garnet, biotit, amfibolit, aluminium, platina.

3. Feromagnetik

Bahan feromagnetik (termasuk ferimagnetik dan antiferomagnetik) yaitu bahan yang dapat ditarik dengan kuat oleh magnet dan dapat dimagnetkan. Contoh : besi, baja, nikel, kobalt. Bahan magnetik dapat dibedakan menjadi 2, magnet keras dan magnet lunak. Magnet keras ini adalah bahan yang sukar dijadikan magnet, tetapi setelah menjadi magnet akan menyimpan sifat kemagnetannya dalam waktu yang lama. Contoh : baja. Sedangkan magnet lunak adalah bahan yang mudah dijadikan magnet, tetapi setelah menjadi magnet sifat kemagnetannya tidak lama. Contoh : besi.

Biasanya arah dari momen dipole-magnet didalam suatu bahan adalah acak, dan dampaknya saling menghilangkan, apalagi bila bahan berada pada suhu yang tinggi. Apabila bahan dipengaruhi oleh medan magnet luar, maka hampir semua dipole-magnet membuat pembarisan arah polarisasi magnet, dan bahan tersebut dikatakan termagnetisasi.

Intensitas medan magnet didalam suatu bahan dinyatakan dengan adanya medan magnet alternatif H , seperti adanya medan D dalam bahan dielektrik.

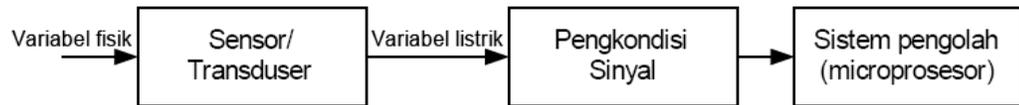
Mineral magnetik seperti besi, menunjukkan sifat magnet yang menonjol dan disebut sebagai bahan ferromagnetik. Bahan ini apabila berada pada suhu dibawah suhu Curie (suhu tertentu untuk suatu bahan), maka spin elektron disuatu daerah (domain) pada konduktor mempunyai arah yang saling sejajar untuk semua arahnya.

D. Sensor Magnetik Fluxgate

Sensor adalah jenis transduser yang digunakan untuk mengubah besaran mekanis, magnetis, panas, sinar, dan kimia menjadi tegangan dan arus listrik. Sensor sering digunakan untuk pendeteksian pada saat melakukan pengukuran atau pengendalian. Beberapa jenis sensor yang banyak digunakan dalam rangkaian elektronik antara lain sensor cahaya, sensor suhu, dan sensor tekanan. (Tim Fakultas Teknik.2003)

Sensor merupakan bagian dari suatu sistem yang tidak bisa berdiri sendiri. Keluaran dari sensor baru berarti setelah diolah dengan rangkaian listrik pengolahan sinyal. Keluaran sensor yang kecil diperkuat, difilter, atau bisa ditampilkan dalam panel display. Pada kenyataannya sensor merupakan bagian dari sistem yang lebih besar yang bisa digabungkan dengan peralatan lain seperti mikrokontroler dan komputer yang berperan sebagai jembatan antara manusia dan divais (*Human mechine Interpace*). 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 3.

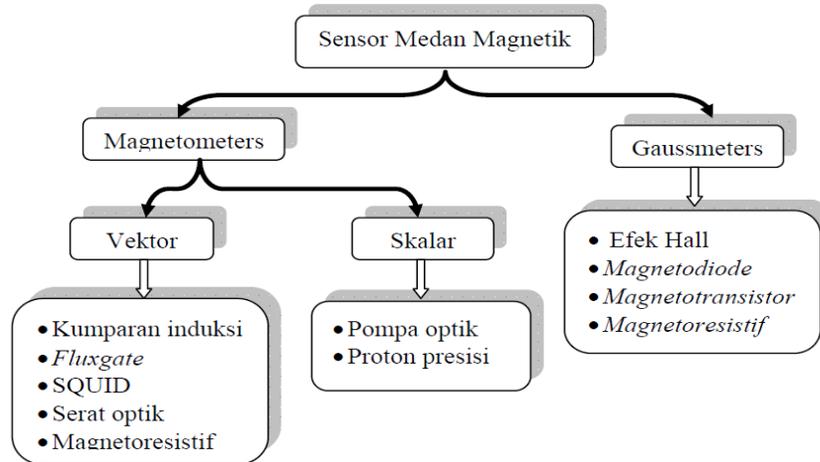


Gambar 3. Blok Fungsional Sensor/Transduser

Dalam kaitannya dengan sistem elektronis, 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.

Sensor dibedakan menjadi dua yaitu pasif dan aktif. Sensor pasif adalah sensor yang langsung dapat menghasilkan sinyal listrik yang diakibatkan oleh rangsangan luar tanpa membutuhkan sumber daya tambahan. Contohnya adalah termokopel, detektor piroelektrik, dan sensor piezoelektrik. Sedangkan sensor aktif adalah sensor yang memerlukan daya luar untuk pengoperasiannya, daya luar ini disebut sinyal eksitasi, sinyal ini diubah oleh sensor untuk menghasilkan sinyal keluaran.

Sensor-sensor yang bekerja berdasarkan perubahan medan magnetik yang terjadi di sekitar benda atau objek yang diukur disebut sensor medan magnet.



Gambar 4. Diagram pengelompokan sensor magnetik berdasarkan magnituda medan magnetik (dimodifikasi dari Macyntyre, 1999).

Berdasarkan magnituda medan magnet, sensor medan magnet dapat dibagi menjadi tipe komponen vektor (*vector component*) dan berdasarkan skalar (Macyntyre, 1999), seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Tipe vektor termasuk ke dalam sensor yang digunakan untuk mengukur medan magnet lemah ($<1\text{mT}$) dan medan magnet kuat ($>1\text{mT}$). Instrumen untuk mengukur medan magnet lemah biasa disebut *magnetometer* dan instrumen untuk mengukur medan magnet kuat disebut *gaussmeter*.

Sensor magnetik *fluxgate* tergolong sebagai sensor aktif, karena berdasarkan prinsip kerjanya, sensor fluxgate terdiri dari lilitan eksitasi yang berfungsi sebagai rangkaian pembangkit daya luar yang akan diberikan kepada lilitan pickup untuk menghasilkan sinyal keluaran. Daya luar yang dimaksud berasal dari medan magnet lingkungan (*external*) yang ditangkap oleh sistem (sensor fluxgate) sehingga keberadaan dan besarnya medan magnet yang berasal dari lingkungan dapat dideteksi.

Ada dua macam cara yang dapat dilakukan untuk mengukur besar medan magnetik:

Cara yang pertama adalah dengan menggunakan rangkaian elektronik yang langsung mampu mengukur besarnya medan magnetik. Cara ini cukup mudah dan sederhana karena tidak memerlukan pengolahan sinyal secara langsung bila digunakan untuk medan magnetik yang lebih besar. Namun metode ini memberikan hasil yang kurang memuaskan bila digunakan untuk mengukur medan magnetik yang kecil. Hal ini disebabkan karena adanya sinyal pengganggu (*noise*) yang mengakibatkan sinyal dan *noise* sulit dibedakan.

Cara yang kedua adalah dengan menggunakan suatu medan magnetik referensi untuk dibandingkan dengan medan magnetik eksternal. Sensor magnetik fluxgate menggunakan metode kedua sehingga daerah kerjanya terbatas pada medan magnetik yang besarnya relatif kecil. Sensor fluxgate mengukur kekuatan absolut dari medan magnet di sekitar sensor atau perbedaan kuat medan diantara dua titik yang berbeda di dalam dua inti sensor. Di sini terdapat perbedaan dengan koil induksi yang bereaksi terhadap turunan waktu dari kuat medan magnet.

Pada metoda fluxgate, pengukuran kuat medan magnet didasarkan pada hubungan antara kuat medan magnet \mathbf{H} yang diberikan (medan magnet luar = B_{ext}) dengan fluks medan magnet induksi \mathbf{B} . Jika \mathbf{B} yang dihasilkan berasal dari masukan \mathbf{H} berupa gelombang pulsa bolak-balik, maka dalam keadaan saturasi pada keluaran \mathbf{B} akan timbul gelombang harmonik genap, gelombang harmonik ke dua, yang besarnya sebanding dengan medan magnet luar yang mempengaruhi inti (core) dan arahnya sebanding dengan arah medan magnet luar tersebut.

Berdasarkan rentangan dan karakteristik pengukuran medan magnetik, sensor magnet dikelompokkan dalam tiga kategori, yaitu : *low field* (kecil dari $1 \mu\text{G}$), *medium filed* ($1\mu\text{G}$ - $10\mu\text{G}$) dan *high field* (diatas $10 \mu\text{G}$), Ketiga kategori tersebut dapat terlihat

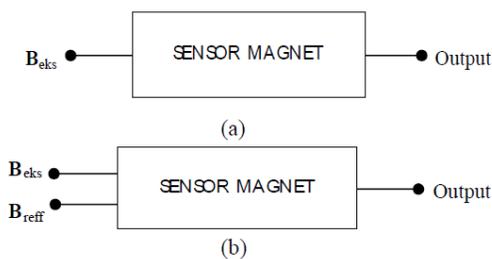
pada tabel 1. Berdasarkan tabel 1. terlihat bahwa sensor magnetic fluxgate sangat cocok digunakan untuk mengukur kuat medan magnet yang sangat lemah karena Sensor *Fluxgate* mengukur medan magnet mendekati 10^{-1} - 10^6 nT. (Tim Fakultas Teknik.2003)

Tabel 1. Rentang pengukuran sensor magnetic (Yulkifli,2010)

Teknologi Sensor Magnetik	Rentang Medan Magnet (gauss)*				
	10^{-5}	10^{-4}	10^0	10^4	10^8
<i>SQUID</i>	[Bar chart showing range from 10^{-5} to 10^4 gauss]				
<i>Fiber-Optic</i>	[Bar chart showing range from 10^{-4} to 10^0 gauss]				
<i>Optically Pumped</i>	[Bar chart showing range from 10^{-4} to 10^0 gauss]				
<i>Nuclear Precession</i>	[Bar chart showing range from 10^{-4} to 10^0 gauss]				
<i>Search-Coil</i>	[Bar chart showing range from 10^{-4} to 10^8 gauss]				
Medan Magnet Bumi	[Bar chart showing range from 10^{-4} to 10^0 gauss]				
<i>Anisotropic Magnetoresistive</i>	[Bar chart showing range from 10^{-4} to 10^0 gauss]				
<i>Fluxgate</i>	[Bar chart showing range from 10^{-1} to 10^6 gauss]				
<i>Magnetotransistor</i>	[Bar chart showing range from 10^0 to 10^4 gauss]				
<i>Magnetodiode</i>	[Bar chart showing range from 10^0 to 10^4 gauss]				
<i>Magneto-Optical</i>	[Bar chart showing range from 10^0 to 10^8 gauss]				
<i>Giant Magnetoresistive</i>	[Bar chart showing range from 10^0 to 10^4 gauss]				
Efek Hall	[Bar chart showing range from 10^0 to 10^4 gauss]				

* Cat: 1 gauss= 10^{-4} Tesla= 10^5 gamma

Berdasarkan daerah pengukuran dan resolusi, sensor *fluxgate* berada diantara daerah sensor yang murah, seperti *magnetoresistive* atau sensor efek Hall dengan batas resolusi 10 nT, sampai pada magnetometer yang sangat mahal yang bekerja berdasarkan efek kuantum.



Gambar 5. Metoda Pengukuran Medan Magnetik (a) secara langsung tanpa menggunakan sinyal referensi, (b) dengan menggunakan sinyal referensi (Yulkifli,2010)

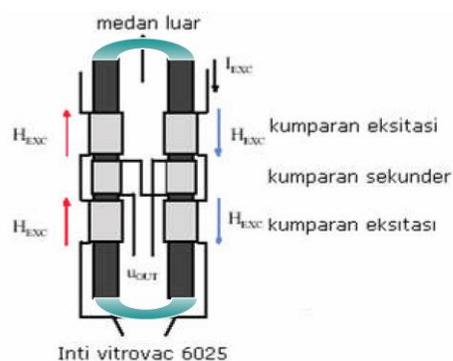
Untuk mengubah kerapatan flux B_{ext} di dalam sebuah medan magnetik yang akan diukur menjadi sinyal listrik, metode yang sederhana seperti Gambar 5(a) sudah

cukup baik, tapi metode ini memiliki kekurangan dalam mengukur medan magnetik lemah. Sensor fluxgate tidak menggunakan metode sederhana ini, tapi membutuhkan medan magnetik referensi B_{ref} , seperti pada Gambar 5(b) untuk membandingkan medan magnetik B_{ext} yang akan diukur dengan medan referensi yang dihasilkan oleh material inti sensor magnet.

Medan referensi biasanya berupa medan magnet bolak-balik sinusoidal, persegi, atau segitiga yang diberikan pada inti, kumparan yang menggerakkan inti disebut kumparan eksitasi, dan kumparan ini kemudian mensaturasikan inti kumparan secara periodik. Hasil perbandingan berdasarkan pada rapat flux di dalam inti ditangkap oleh kumparan sekunder yang dililitkan pada sekeliling inti, di sini inti fluxgate biasanya terdiri dari material dengan permeabilitas yang tinggi.

a. Prinsip Dasar Sensor *Fluxgate*

Prinsip fungsional dasar dari magnetometer adalah sebagai berikut, bagian sensor memiliki inti yang terbuat dari material yang dapat tersaturasi, dan memiliki dua kumparan, kumparan eksitasi dan kumparan pick up seperti terlihat pada Gambar 6 berikut:



Gambar 6. Inti Sensor *fluxgate*(Suyatno,2008).

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.(3):

$$B = \mu i n \quad (3)$$

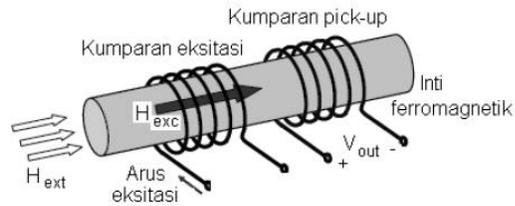
dengan μ , adalah nilai permeabilitas bahan, i adalah arus yang mengalir, n adalah jumlah lilitan persatuan panjang.

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.(4):

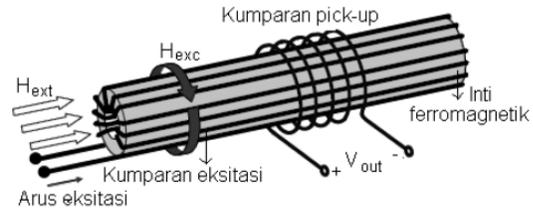
$$E = -N \frac{d\Phi}{dt} = -N \frac{d(BA)}{dt} \quad (4)$$

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, di sini digunakan osilator dengan frekuensi 4 kHz, dengan frekuensi sebesar ini basil 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* orthogonal: arah medan eksitasi tegak lurus arah medan eksternal yang di ukur, sedangkan parallel sensor *fluxgate* : arah medan medan eksitasi sejajar dengan medan eksternal yang diukur.



Gambar 7. Konfigurasi paralel sensor fluxgate (Ando,dkk,2006)

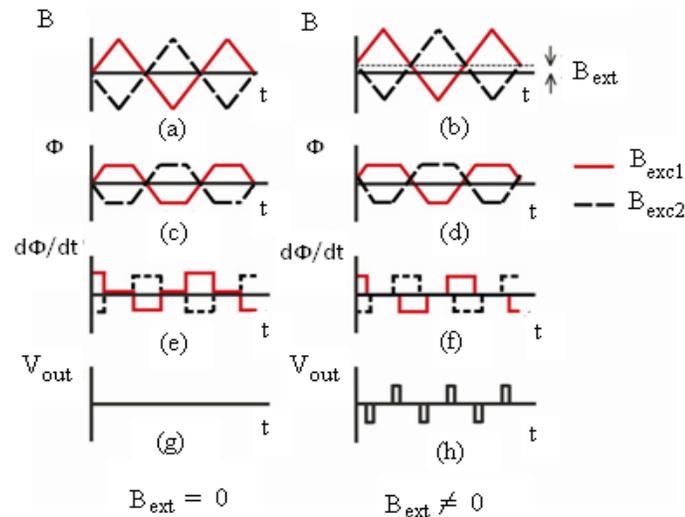


Gambar 8. Konfigurasi ortogonal sensor fluxgate (Zorlu,2008)

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 7.

Inti sensor berada dalam daerah saturasi secara periodik oleh medan eksitasi segitiga B_{ref} , yang dihasilkan oleh arus segitiga yang mengalir ke dalam kumparan eksitasi, ketika medan magnetik luar sama dengan nol, maka medan magnetik yang timbul oleh kumparan eksitasi akan simetris. Sedangkan ketika ada medan magnetik luar yang sejajar terhadap inti, induksi di dalam inti menyebabkan fungsi terangkat dari proyeksi pada kurva magnetisasi, akibatnya sinyal tidak lagi simetris setelah

diproyeksikan terhadap sumbu B. Adanya ketidak simetrisan ini menyebabkan ada selisih tegangan pada kedua bagian sekunder sensor.



Gambar 9. Bentuk Sinyal Keluaran Sensor (Yulkifli,2010: dimodifikasi dari Groger 2000)

Prinsip kerja sensor *fluxgate* ketika mengukur perubahan medan magnet luar ditunjukkan pada Gambar 9. 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, 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, dkk.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

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

dengan μ_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:

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

Disini kuat medan magnet dalam inti menjadi

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

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 (Bashiroto,A.dkk. 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_{out} adalah

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

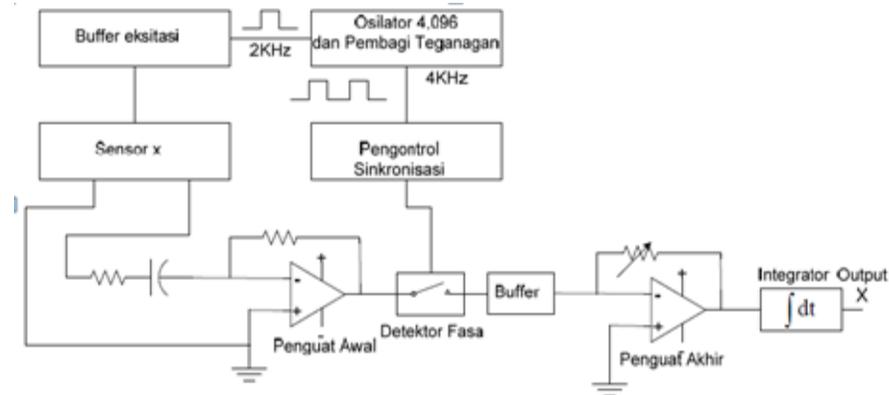
Komponen tegangan keluaran harmonisa kedua $V_{\text{out}2h}$ dari kumparan sekunder adalah

$$U_{\text{out}} = -3B_0NA\omega a_3 h_{\text{ext}} h_{\text{ref max}}^2 \sin 2\omega t \quad (11)$$

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

dengan K adalah tetapan.

Tegangan keluaran V_{out} dari elemen sensor diolah dengan menggunakan rangkaian pengolah sinyal. Pengolah sinyal sensor terdiri dari beberapa bagian, yaitu diffrensiator, detektor, sinkronisasi fasa, integrator, dan penguat akhir. Secara skematik terlihat pada Gambar 10.

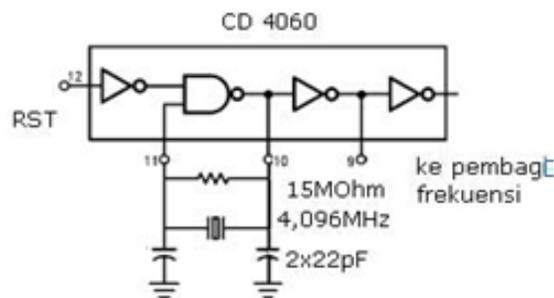


Gambar 10. Skema diagram pengolahan sinyal
Dimana bagian-bagian dari diagram pengolah sinyal tersebut sebagai berikut:

1) Rangkaian Eksitasi

a. 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 11 berikut

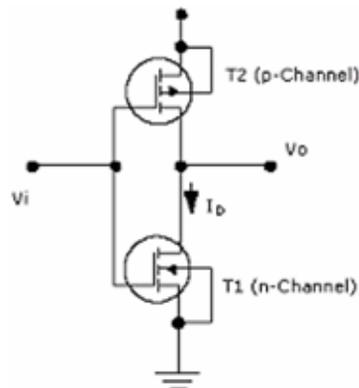


Gambar 11. Rangkaian Osilator Kristal dan IC CD 4060 (Datasheet CD 4060)

b. 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.

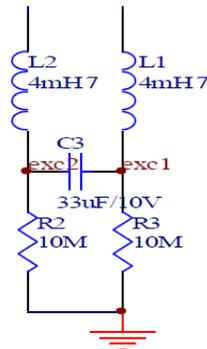
Ada beberapa rangkaian buffer misalnya dengan penguat kolektor ditanahkan, penguat tolak-tarik (*push pull amplifier*) atau menggunakan MOSFET. Untuk menguatkan arus sebelum sinyal masuk ke dalam MOSFET, terlebih dahulu sinyal dilewatkan pada 6 gerbang NOT dari IC 7404 yang dirangkai secara paralel. Selanjutnya sinyal tersebut dilewatkan pada dua transistor MOSFET yang berbeda tipe, n-MOS dan p-MOS, dimana dua MOSFET ini berfungsi sebagai CMOS inverter (Wandi, 2008). seperti pada Gambar 12.



Gambar 12. Rangkaian MOSFET Sebagai Inverter (Sutrisno, 1987)

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. 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 13.

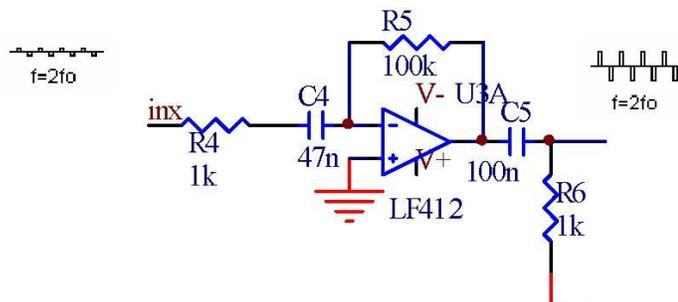


Gambar 13. Rangkaian Generator Sinyal Eksitasi (Sutrisno, 1987)

2). Rangkaian Pengolah Sinyal

a. 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 kakikaki 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 14.



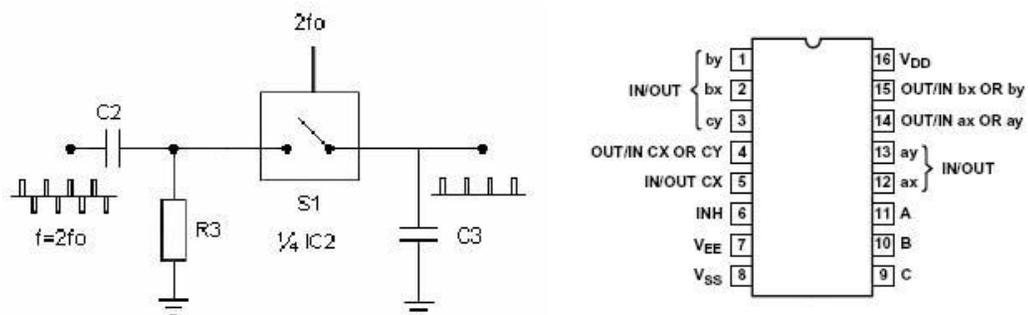
Gambar 14. Rangkaian Penguat Awal (Sutrisno, 1987)

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.

b. 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 125Ω 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 15 di berikut ini.

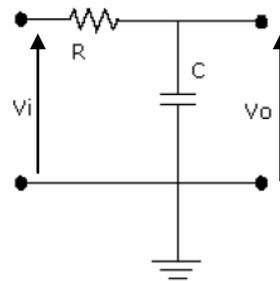


Gambar 15. Blok Diagram IC CD4053 ,Pin Out dari IC (Datasheet CD4053)

c. Integrator

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.

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 16.



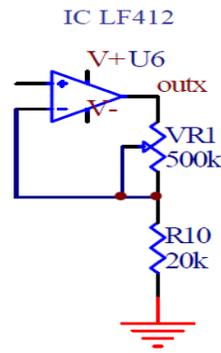
Gambar 16. Rangkaian Integrator (Sutrisno, 1987)

3). 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 17



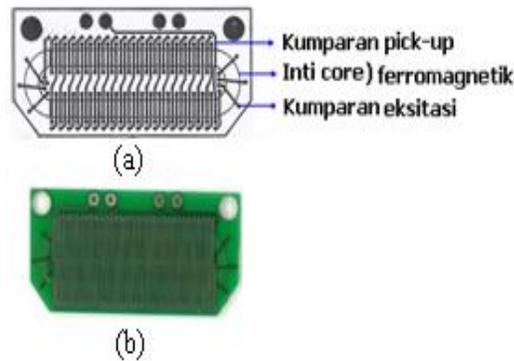
Gambar 17. Blok diagram penguat akhir (Sutrisno, 1987)

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.

b. Teknologi *Printed Circuit Boards* (PCBs)

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.

Teknologi PCBs merupakan teknologi terkini dalam pembuatan elemen sensor Fluxgate, karena memiliki kelebihan antara lain luas penampang besar serta memiliki jumlah lilitan yang lebih banyak sehingga sensitivitas sensor lebih tinggi. Salah satu bentuk sensor *fluxgate* dengan teknologi PCBs dapat dilihat pada Gambar 18.



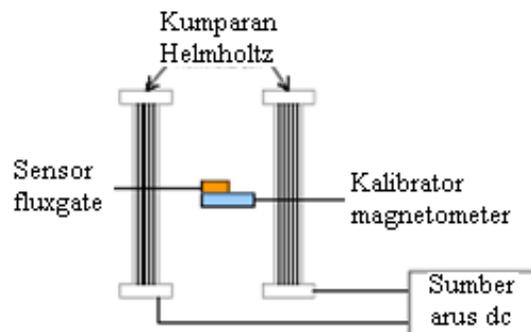
Gambar 18. Elemen sensor Fluxgate PCB; (a) Desain elemen sensor, (b) PCB sensor (Yulkifli,2010)

Sensor ini memiliki jumlah lilitan seperti di tunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Jumlah lilitan dan resistance elemen sensor PCB

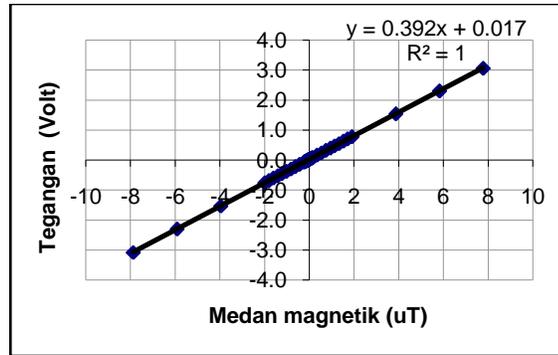
PCB Coil	N (lilitan)	R (Ω)
Exc. Coil	46	0,6
Pick-up Coil	68	4.9

Sensor ini telah dikalibrasi dengan peralatan karakterisasi terdiri dari sumber arus DC, kumparan Helmholtz, osiloskop dan multimeter digital. Set-up karakterisasi ditunjukkan Gambar 19.



Gambar 19. Set-up karakterisasi sensor *fluxgate*

Dari hasil kalibrasi sensor yang dilakukan maka diperoleh grafik hubungan antara arus yang diberikan terhadap sensor dengan medan magnetik yang dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 20.



Gambar 20. Kurva linier sensor PCBs pada daerah kerja $\pm 12\mu\text{T}$ (Yulkifli,2010)

Karakteristik sensor *fluxgate* dengan teknologi PCB yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 20. Dapat diketahui bahwa sensitivitas, kesalahan absolut dan kesalahan relatif maka keluaran daerah kerja sensor didekati dengan persamaan linier. Terlihat bahwa keluaran sensor dengan pendekatan persamaan linier adalah:

$$y = 0,3921x - 0,0175 \quad (13)$$

dimana $y = V_{\text{out}}$, dan $x = \text{medan magnet (B)}$

Persamaan (13) menggambarkan secara umum hubungan antara keluaran sensor dengan medan magnet yang dideteksi oleh sensor. Sensitivitas (S) adalah perbedaan rasio dari perubahan sinyal keluaran terhadap perubahan sinyal input.

Dimana nilainya dapat diukur : $S = \frac{\Delta \text{keluaran}}{\Delta \text{masukan}}$, sehingga dari persamaan (13)

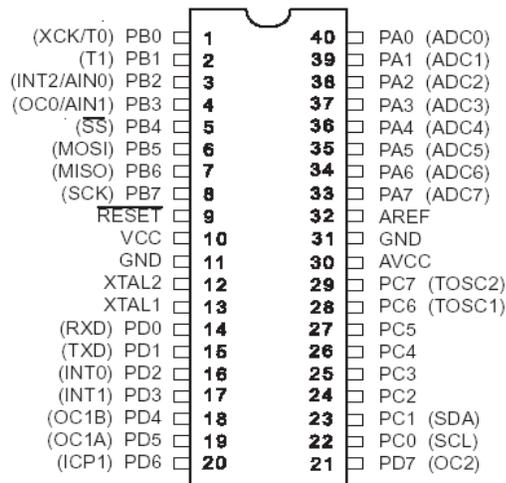
diperoleh sensitivitas sensor $392.1 \text{ mV}/\mu\text{T}$.

E. Mikrokontroler ATMEGA 8535

Mikrokontroler merupakan suatu piranti yang dapat diumpamakan sebagai bentuk minimum dari sebuah mikrokomputer yang mempunyai perangkat keras dan perangkat lunak, memori, CPU dan lain sebagainya yang terpadu dalam sebuah

keping IC (Agfianto; 2002). Mikrokontroler merupakan alat kontrol yang fleksibel yang mudah dibawa kemana- mana serta dapat diprogram ulang (*reprogrammable*), misalnya sebagai inti dari alat kontrol penampil tulisan, sistem pengukuran jarak jauh, dan lain-lain.

Mikrokontroler yang digunakan pada desain sistem ini adalah ATMEGA8535 dengan lebar bus data 8 bit dengan kecepatan maksimal 16MHz. 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. Bentuk fisik dari mikrokontroler diperlihatkan pada Gambar 21.

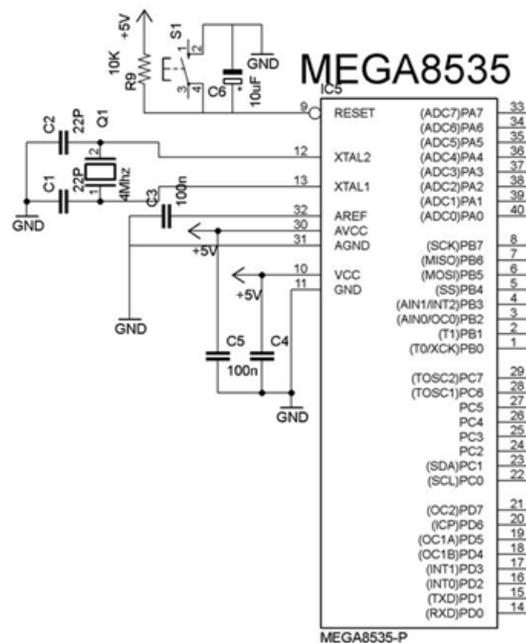


Gambar 21. Diagram Pin Mikrokontroler ATMEGA8535

(Sumber: *Data Sheet ATMEGA8535*)

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 konversinya adalah 65-260 us.

Proses inialisasi 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 pembangkit konversi ADC, apakah dari pembangkit eksternal atau dari pembangkit internal.



Gambar 22. Sistem Minimum Mikrokontroler ATMEGA8535

(Sumber: *Data Sheet ATMEGA8535*)

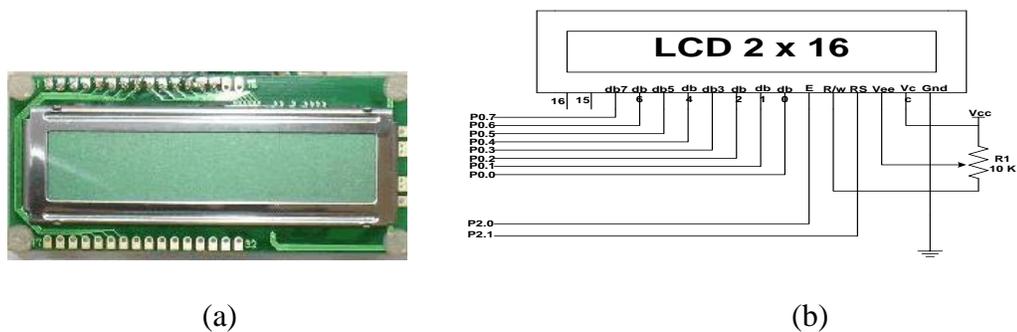
Mikrokontroler dapat beroperasi jika telah dihubungkan dengan rangkaian elektronik minimum atau biasa disebut juga dengan sistem minimum mikrokontroler (Gambar 17). Pin 10 (VCC) dan pin 30 (AVCC) dihubungkan ke catu daya 5 volt.

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 *high*, dan tidak dalam logika 0 (0 volt).

F. 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 23.



Gambar 23. Bentuk LCD (a) Bentuk Fisik LCD 2 x 16 (b) Rangkaian Display LCD (Didin, 2006)

Operasi dasar LCD terdiri dari empat kondisi, yaitu instruksi mengakses prose 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 3. 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 kekontrasan 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).

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; Tempat kedudukan sampel dan kotak tempat rangkaian elektronika. Kemampuan sistem mengukur kuat medan magnet adalah $\pm 10 \mu\text{T}$, dengan skala terkecil $0.001 \mu\text{T}$.
2. Semakin dekat jarak antara sampel dengan sensor medan magnet yang ditunjukkan alat akan semakin tinggi. Jadi untuk mendapatkan hasil pengukuran medan magnet yang maksimal, jarak antara sampel dengan sensor harus dibuat semakin dekat.
3. Ketepatan pengukuran dengan membandingkan hasil pengukuran alat dengan sensor *fluxgate Z57* diketahui bahwa terdapat kesebandingan nilai pengukuran antara keduanya. Ketepatan rata-rata pengukuran yaitu 0.972, dengan persentase kesalahan rata-rata 4.76%.
4. Ketelitian rata-rata dari sistem pengukuran ini adalah 0.986 dengan standar deviasi rata-rata 0.013 dan kesalahan relatif rata-rata 0.310%.

B. Saran

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

1. Dalam lanjutan dari penelitian juga diharapkan pada sistem pengukuran kuat medan magnet lebih stabil terhadap pengaruh medan magnet luar, upaya yang dilakukan salah satunya dengan meningkatkan pemanfaatan mikrokontroler dalam pengambilan data sampel sebelum ditampilkan pada LCD hasil pengukurannya
2. Selama dalam pengoperasian alat harus selalu terhubung dengan PLN, jika hubungan PLN terputus maka alat ukur tidak bisa di operasikan. Pengembangan yang dapat dilakukan adalah alat memiliki sumber tegangan lain seperti batere.
3. Untuk membandingkan hasil pengukuran alat sebaiknya menggunakan alat standar agar hasil yang diperoleh lebih akurat.
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

- Data Sheet LCD . LMB126ABC-Manual-Rev0.DOC. Shenzhen TOPWAY. Technology Co. Ltd.
- Djamil, Mitra, dkk.2007. *LinieritasTegangan Keluaran Sensor Magnetik Fluxgate Menggunakan Elemen Sensor Multi-core*, SNBM V, 5 September, Solo-Indonesia. (diterbitkan di J. Sains dan Materi, Batan 2007)
- Estevanus dan Bijaksana.2007. *Identifikasi Mineral Magnetik pada Lindi (Leachate)*. Kelompok Keahlian Fisika Sistem Kompleks, FMIPA : ITB.
- Gopel, W.1989. *Sensor a Comprehensive Survey Volume 5 Magnetic Sensor*. VCH,Weinhein.
- Halliday & Resnick. 1989.
- Herman,Danny Z.2010. *Tinjauan Terhadap Mineralogi Endapan Placer Pasir Besi*. Sub Direktorat Konservasi-DIM.
- Ilham,Bakri. (2010). *Spesifikasi Awal Produk*. <http://www.scribd.com/>. Diakses 25 November 2011.
- Iwangeodrs.2011. *Jenis-Jenis Batuan*. Pembelajaran Geografi Online SMA Muhammadiyah 1 : Tasikmalaya.
- Juliadarma,Viny.2007. *Karakterisasi Magnetik Pasir Besi Sebagai Bahan Dasar Pembuatan Semen Menggunakan Metoda Kemagnetan Batuan*. Tugas Akhir, FMIPA: UNP.
- Litbang Pengolahan Mineral.2009. *Pemanfaatan Mineral Al-Silikat Untuk Bahan Katalis Hydrocarbon Cracking Minyak Bumi*. Kementrian ESDM: Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara.
- Marliyani, Gayatri.I. *Proses Sedimentasi Dan Batuan Sedimen*. Dipersiapkan sebagai materi kuliah geologi Dasar di Jur.Geofisika FMIPA UGM
- Mufit.2006. *Kajian Tentang Sifat Magnetik Pasir Besi dari Pantai Sunur, Pariaman, Sumatera Barat*. Jurnal Geofisika, FMIPA: UNP.

- 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.
- Sutrisno. (1987). *Elektronika Teori Dasar dan Penerapannya*. Bandung: ITB.
- Tim Fakultas Teknik. 2003. *Sensor dan Transduser*. Universitas Negeri Yogyakarta : Yogyakarta.
- Triyanto, Yuli. 2002. *Pemetaan Nilai Suseptibilitas Magnetik Tanah Lapisan Atas Di Kodya Surakarta Menggunakan Bartington Ms2 Sebagai Indikator Pendekatan Sebaran Logam*. Tugas Akhir Mahasiswa, Universitas Sebelas Maret: Surakarta
- Try Setyobudi, Prihatin. 2010. *Sifat-Sifat Fisik Mineral*.
<http://ptbudie.wordpress.com/2010/12/23/sifat-sifat-fisikmineral/> (**diakses tanggal 3 Mei 2011**)
- Yulkifli a. 2010.** *Sensor Fluxgate Berbasis Teknologi Printed Circuit Boards (PCBs)*. Jurnal Eksakta Vol 2 KK-FTETI FMIPA Institut Teknologi Bandung
- Yulkifli b. 2010. *Pengembangan Elemen Fluxgate dan Penggunaannya untuk Sensor-Sensor Berbasis Magnetik dan Proksimiti*. Laporan disertasi, ITB: Bandung.