

PENGUKURAN MEDAN MAGNETIK BATUAN MENGUNAKAN SENSOR *FLUXGATE*

Airin Ahad Dini^{*)}, Yulkifli^{)}, Zulhendri Kamus^{**)}**

^{*)}Mahasiswa Jurusan Fisika FMIPA UNP

Email : dini_oul@yahoo.com

^{**)}Staf Pengajar Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang

ABSTRACT

Magnetic minerals serve as the main support technology. To know the content of a substance requires magnetic sensors. One type of sensor for detecting a magnetic field is fluxgate sensor, which works based on changes in magnetic flux surrounding the sensor element. This research plan of measuring tools based rock magnetic field fluxgate sensor. The purpose of this study was explained performansi specification of measurment instruments, determining the accuracy and precision of measurements, measuring tools fluxgate magnetic field sensor based. This research is a research laboratory experiment. Measurement techniques and data collection is performed directly and indirectly. Direct measurements carried out on the magnetic field strength of different rocks and see the effects on the output voltage produced by the magnetic field measuring devices. While the collection and measurement is kelinieran indirectly to the magnetic field and the bias magnetic field strength measuring devices. Data obtained through measurement is analyzed in two ways, namely in statistics and graphics. Based on the analysis performed can be explained several important results. First, measurement instrument of magnetic field based on fluxgate sensor consists of three elements namely the fluxgate sensor and the signal processing chain. Second, the closer the distance measurement on the sensor samples the value shown will improve. Third, the design specifications of the magnetic field measuring devices based fluxgate sensor is in the form of precision and accuracy of a measuring instrument. Having obtained the accuracy of measurement of the magnetic field and the precision 0.986,0.972. Measurment instrument has a precision and accuracy are high enough on the magnetic field.

Keyword : *Fluxgate sensor, magnetic field, sensitivity, accuracy, precision.*

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang semakin pesat menuntut ketersediaan alat-alat yang canggih dan dalam jumlah yang semakin meningkat dari waktu ke waktu. Bahan penunjang kemajuan teknologi ini tidak lepas dari bahan-bahan mineral magnetik, seperti besi, baja, dan lainnya. Untuk itu dibutuhkan sebuah instrument elektronika sebagai detektor dalam proses eksplorasi bahan mineral magnetik yaitu sensor magnetik.

1. 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.

Secara sederhana batuan magnetik dapat diartikan sebagai benda (mengandung besi) yang mempunyai inti atom. Atom tersebut mempunyai sejumlah elektron yang selalu bergerak mengitari inti atom (proton dan neutron). Ditinjau dari sifat magnetiknya, mineral umumnya dikelompokkan menjadi:

a. 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.

b. 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.

c. 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.

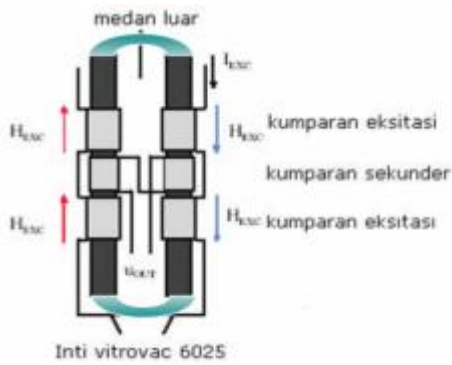
Intensitas medan magnet didalam suatu bahan dinyatakan dengan adanya medan magnet alternatif H , seperti adanya medan D dalam bahan dielektrik.

Mineral magnetik seperti besi, menunjukkan sifat magnet yang menonjol dan disebut sebagai bahan feromagnetik. 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.

2. Sensor *Fluxgate*

Sensor magnetik adalah alat ukur yang bekerja berdasarkan perubahan medan magnet disekitarnya. Salah satu sensor yang digunakan adalah sensor magnetic *fluxgate*. Prinsip pengukuran medan magnet pada sensor *fluxgate* didasarkan pada hubungan antara kuat medan magnet H yang diberikan dengan fluks medan magnet induksi 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.

Prinsip fungsional dasar dari *fluxgate* 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 1 berikut:

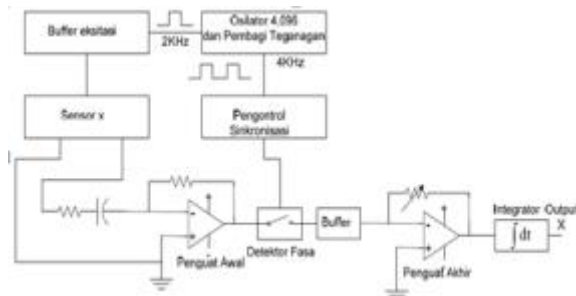


Gambar 1. Inti Sensor fluxgate(Suyatno,2008).

Kumparan eksitasi berfungsi sebagai pembangkit medan magnet referensi. Pada kumparan eksitasi, medan listrik dialirkan dan diubah menjadi medan magnet. Kumparan sekunder (*pick-up coil*) adalah kumparan yang berfungsi untuk mengubah besarnya perubahan medan magnet yang terjadi menjadi besaran listrik.

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).

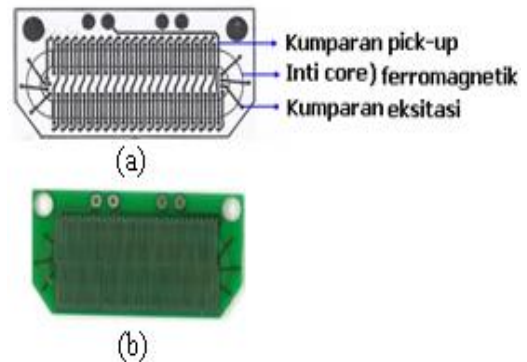
Tegangan keluaran V_{out} dari elemen sensor diolah dengan menggunakan rangkaian pengolah sinyal. Pengolah sinyal sensor terdiri dari beberapa bagian, yaitu differensiator, detektor, sinkronisasi fasa, integrator, dan penguat akhir. Secara skematik terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema diagram pengolahan sinyal

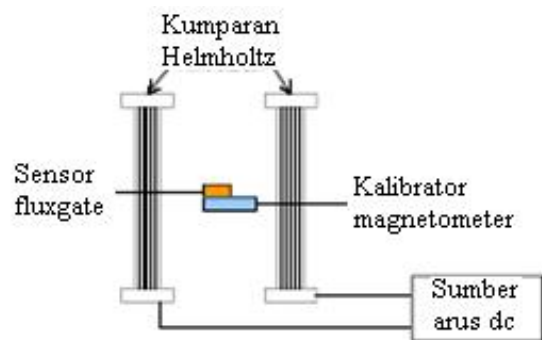
Penelitian ini menggunakan sensor fluxgate dengan teknologi PCBs. Teknologi

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 3.



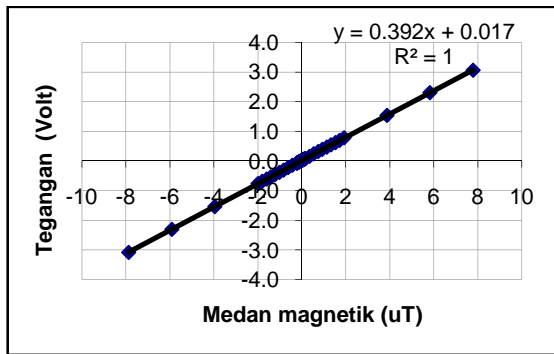
Gambar 3. Elemen sensor Fluxgate PCB; (a) Desain elemen sensor, (b) PCB sensor (Yulkifli,2010)

Sensor ini telah dikalibrasi dengan peralatan karakterisasi terdiri dari sumber arus DC, kumparan Helmholtz, osiloskop dan multimeter digital. Set-up karakterisasi ditunjukkan Gambar 4.



Gambar 4. Set-up karakterisasi sensor fluxgate (Yulkifli,2010)

Dari hasil kalibrasi sensor yang dilakukan maka diperoleh grafik hubungan antara arus yang diberikan terhadap sensor dengan medan magnetik yang dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. 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:

$$y = 0,3921x - 0,0175 \quad (1)$$

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

Persamaan (1) 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 : $S = \frac{\text{keluaran}}{\text{masukan}}$, sehingga dari persamaan (1) diperoleh sensitivitas sensor 392.1 mV/ μT .

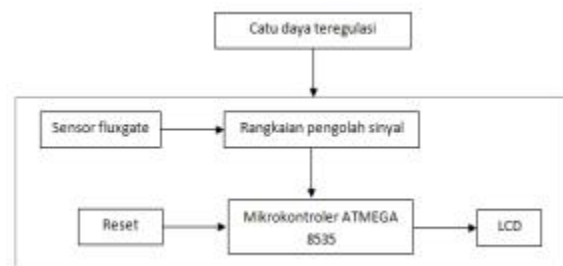
Tujuan dari penelitian ini yaitu Menjelaskan spesifikasi performansi dari alat ukur medan magnetik batuan berbasis sensor *Fluxgate*. Menjelaskan pengaruh jarak sampel dengan sensor terhadap keluaran dari alat ukur medan magnetik batuan berbasis sensor *Fluxgate*. Dan menghasilkan sebuah alat ukur medan magnetik batuan berbasis sensor *Fluxgate* yang memiliki ketepatan dan ketelitian pengukuran yang baik.

METODE PENELITIAN

Jenis penelitian yang akan dilakukan adalah penelitian eksperimen laboratorium (*laboratory Experimentation*). Penelitian Eksperimen ini bertujuan untuk melihat hubungan kausal (hubungan sebab akibat) antara variabel independen dikontrol dan dimanipulasi oleh peneliti sedangkan variable dependen dibiarkan bervariasi. Setelah menentukan tujuan dari eksperimen, maka dilakukan perencanaan dan persiapan untuk melakukan eksperimen.

1. Rancangan Sistem Elektronika

Pembuatan sistem pengukuran batuan magnetik ini dibangun oleh beberapa rangkaian elektronika. Rangkaian pembangun sistem antara lain rangkaian pengolah sinyal yang terdiri dari penguat instrumentasi dan buffer dan mikrokontroler. Secara umum blok diagram sistem secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 6.



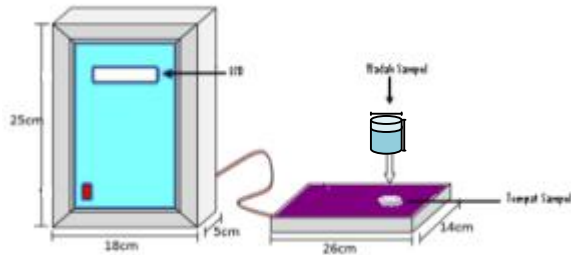
Gambar 6. Blok Diagram Alat Ukur Batuan Magnetik

Tegangan input 5, -5, dan 12 volt dari catu daya teregulasi akan mengaktifkan rangkaian pengolah sinyal dari sensor *fluxgate*. Kemudian sinyal keluarannya akan diteruskan ke ADC. Data dari ADC masuk ke mikrokontroler dan ditampilkan di LCD sehingga dapat dibaca dengan jelas.

Rangkaian pengolah sinyal dari system alat ukur batuan magnetik yang akan di buat dapat dilihat pada Lampiran

a. Desain Alat

Rancangan mekanik alat ukur batuan magnetik berbasis sensor *fluxgate* ini dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 7. Rancangan mekanik alat ukur batuan magnetik

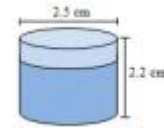
Berdasarkan Gambar 7, perangkat keras sistem pengukuran batuan magnetik ini berupa sebuah kotak yang terbuat dari bahan kaca plastik. Dimensi dari kotak tersebut yaitu: panjang 20 cm lebar 15 cm dan tinggi 10 cm. Pada bagian depan sistem terdapat LCD sebagai tampilan data, tombol On/Off untuk menghidupkan dan mematikan system, dan tombol Reset. Di sisi bagian belakang terdapat sebuah colokan sebagai sumber listrik 220 volt untuk mengaktifkan sistem.

Sensor *fluxgate* sangat sensitif terhadap besi dan bahan ferromagnetik lainnya. Oleh sebab itu tempat sampel dan sensor *fluxgate* dibuat terpisah dari rangkaian utama, hal ini bertujuan agar sensor tidak terpengaruh oleh besi yang ada pada rangkaian. Selain itu juga agar saat dilakukan pengukuran kita dapat dengan leluasa memutar dan memindahkan sampel.

Posisi pemasangan sensor *fluxgate* tepat berada pada bagian bawah dari tempat masuknya sampel. Jadi sensor *fluxgate* tidak langsung dipasang pada papan rangkaian melainkan dihubungkan dengan kabel penghubung. Hal ini dilakukan agar jarak antara sampel dengan sensor dapat diatur sedemikian rupa dan menghasilkan pengukuran batuan magnetik yang maksimal.

Meskipun sampel berupa batuan, maka dapat di buat wadahnya agar tidak mengotori tempat sampel. Sampel dari batuan akan dimasukkan kedalam wadah tersebut. Jadi dengan adanya wadah dari sampel ini diharapkan volume dari masing- masing

sampel yang kita ukur akan sama. Untuk lebih jelasnya mengenai wadah tersebut dapat dilihat pada Gambar 8.

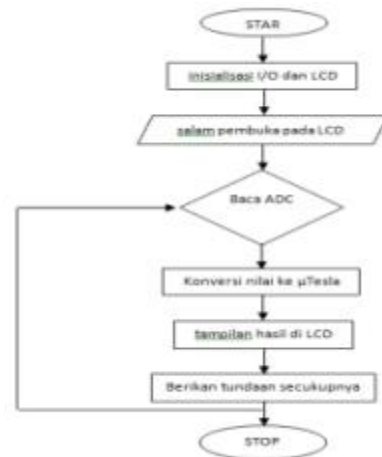


Gambar 8. Tempat Sampel

Wadah ini memiliki diameter 2.5 cm dengan tinggi 2.2 cm dengan berat rata-rata 2,6 gram. Tempat sampel ini harus terbuat dari bahan yang dapat ditembus oleh medan magnet seperti plastik, hal ini dimaksudkan agar saat melakukan pengukuran nilai yang dihasilkan tidak dipengaruhi oleh tempat tersebut.

b. Desain Perangkat Lunak

Desain perangkat lunak dari sistem ini berupa *flowchart* dari program untuk mikrokontroler menggunakan bahasa bascom. *Flowchart* dari alat ukur medan magnetik pasir besi berbasis *fluxgate* dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Flowchar Alat Ukur Batuan Magnetik

2. Prosedur Penelitian

Peralatan yang utama dalam penelitian ini adalah alat ukur listrik (osiloskop, multimeter analog/digital,), sensor *fluxgate* Z57, dan sumber arus sebagai medan magnet (*Fluke*) pada solenoid. Sedangkan bahan yang dipakai yaitu sensor *fluxgate* degan teknologi PCBs yang telah di karakterisasi,

dan sampel batuan magnetik dari daerah Solok Selatan.

- a. Memotret komponen utama penyusun alat. Kemudian mendeskripsikan dan menjelaskan fungsi dari masing-masing komponen penyusun alat
- b. Pengukuran terhadap hubungan antara medan magnet dengan jarak sensor ke sampel batuan. Sampel di masukkan ke dalam wadah sampel, kemudian diukur medan magnet setiap sampel dengan merubah jarak pengukuran setiap 1 cm.
- c. Prosedur menentukan karakteristik statik sistem. Langkah-langkah dalam menentukan ketepatan dan ketelitian pada sistem pengukuran ini eletakkan sampel pada tempat sampel, kemudian melakukan pengukuran berulang sebanyak 10 kali dan membandingkan hasil pengukuran dengan sensor standar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Spesifikasi Performansi Dari Alat Ukur Medan Magnetik Batuan

Alat ukur kuat medan magnet berbasis sensor *fluxgate* ini berfungsi sebagai pengindra kuat medan magnet sampel yang akan diukur. Sampel yang akan digunakan pada penelitian ini adalah batuan magnetik. Bentuk fisik dari alat ukur kuat medan magnet batuan berbasis sensor *fluxgate* ini dapat diperlihatkan pada Gambar 10.

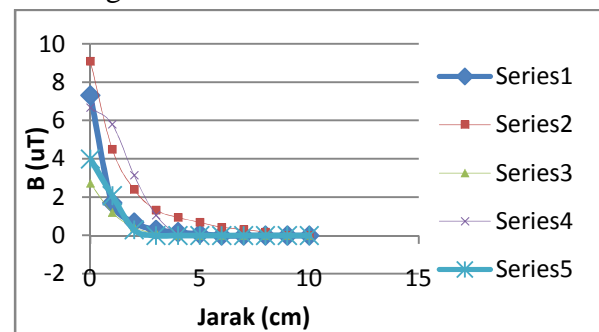


Gambar 10. Bentuk fisik dari alat ukur kuat medan magnet batuan Berbasis sensor *fluxgate*

Sistem ini terdiri dari dua bagian utama yaitu: tempat kedudukan sampel yang akan diukur kuat medan magnet yang terpisah agar tidak terjadi gangguan pada saat melakukan pengukuran, dan ruang sistem dimana didalamnya terdapat rangkaian power supply, rangkaian pengolah sinyal dari sensor *fluxgate* dan rangkaian mikrokontroler serta LCD sebagai output kerja sistem pengukuran kuat medan magnet.

2. Hubungan Antara Medan Magnet dengan Jarak Sensor ke Sampel Batuan

Medan magnet yang diterima oleh sensor dipengaruhi oleh jarak antara sampel dengan sensor *fluxgate*. Agar medan magnet yang terbaca oleh sensor menunjukkan nilai yang optimal, maka perlu diteliti hubungan antara jarak dengan keluaran sensor. Berdasarkan data pengukuran dari lima sampel diperoleh data yang di plot kedalam bentuk grafik.



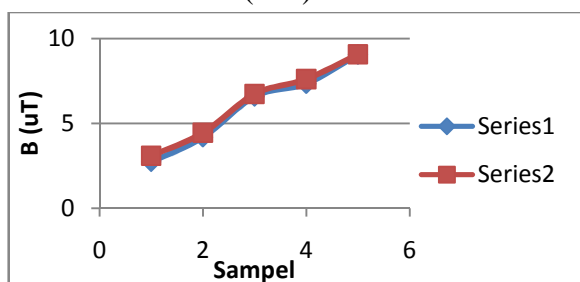
Gambar 11. Grafik Hubungan Keluaran dengan Jarak Sensor

Dari grafik pada Gambar 11 terlihat bahwa saat semakin dekat jarak antara sampel dengan sensor medan magnet yang ditunjukkan alat akan semakin tinggi. Berdasarkan fungsi transfer dari sensor *fluxgate* diketahui bahwa semakin tinggi tegangan maka medan magnet yang terbaca oleh sensor juga semakin tinggi. Jadi untuk mendapatkan hasil pengukuran medan magnet yang maksimal, jarak antara sampel dengan sensor harus dibuat semakin dekat.

3. Ketepatan dan Ketelitian Sistem Pengukuran Kuat Medan Magnet

Ketepatan pengukuran medan magnet batuan diperoleh dengan membandingkan hasil pengukuran alat ukur yang dirancang dengan tegangan keluaran yang dihasilkan sensor *fluxgate* Z57 jenis sensor *fluxgate* konvensional yang telah dikalibrasi. Hal ini dilakukan karena keterbatasan pengadaan alat ukur standar medan magnetik batuan. Agar besaran yang dibandingkan sama maka tegangan yang dihasilkan sensor *fluxgate* Z57 dari hasil pengukuran lima sampel dilakukan perhitungan dengan persamaan 2.

$B = 34,5V - 1,761$ (2) Besar medan magnet ditunjukkan B dalam satuan mT (miliTesla) kemudian dirubah kedalam satuan μT dengan membagi 1000. Tegangan keluaran sensor V (mV) .



Gambar 12. Grafik medan magnetik setiap sampel

Gambar 12 merupakan grafik medan magnet dari 5 sampel batuan yang telah diurutkan nilainya dari yang terkecil sampai yang memiliki medan magnet terbesar. Grafik 35 menunjukkan bahwa hasil pengukuran medan magnetik batuan menggunakan alat ukur yang dirancang hampir sama nilainya dengan hasil perhitungan tegangan keluaran sensor *fluxgate* Z57 yang telah terkalibrasi. Berdasarkan pengukuran dapat ditentukan ketepatan, ketepatan relatif rata-rata, persentase kesalahan dari pengukuran yang diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Statistik Ketepatan Sistem Pengukuran Medan Magnet

NO	SAMPEL	\bar{B} (μT)	Ketepatan \bar{B}	% Kesalahan \bar{B}	% Ketepatan \bar{B}
1	I	7.343	0.958	3.65 %	96.35 %
2	II	9.057	0.998	0.16 %	99.84 %
3	III	2.729	0.988	11.8 %	88.2 %
4	IV	6.588	0.978	2.19 %	97.81 %
5	V	4.179	0.939	6 %	94 %

Untuk mengetahui tingkat ketelitian dari sistem pengukuran kuat medan magnet ini dilakukan dengan cara melakukan pengukuran berulang, yaitu pengukuran untuk setiap sampel batuan dilakukan sebanyak 10 kali pengukuran dengan jarak antara sampel dengan sensor 0 cm. Hasil pengukuran selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran .

Nilai rata-rata, standar deviasi, persentase simpangan dan ketelitian. Berdasarkan data pengukuran berulang diperoleh hasil analitik statistik ketelitian pengukuran yang diperlihatkan pada Tabel 2

Tabel 2. Data Statistik Ketelitian Sistem Pengukuran Medan Magnet

N O	SAMP EL	\bar{B} (μT)	Keteliti an	B	$B \pm B$	KR(%)
1	I	7.343	0.958	0.008	7.343 ± 0.008	0.108 %
2	II	9.057	0.998	0.007	9.057 ± 0.007	0.08 %
3	III	2.729	0.988	0.016	2.729 ± 0.016	0.58 %
4	IV	6.588	0.978	0.011	6.588 ± 0.011	0.17 %
5	V	4.179	0.939	0.027	4.179 ± 0.027	0.65 %

Dari Tabel 2 terlihat bahwa alat memiliki ketelitian yang tinggi untuk pengukuran kuat medan magnet. Ketelitian rata-rata alat untuk 5 sampel batuan pada pengukuran adalah 0.986 dengan standar deviasi 0.013 dan kesalahan relatif rata-rata 0.31%. Sehingga pengukuran berulang untuk sampel yang sama akan menunjukkan hasil

yang hampir sama untuk setiap pengulangan pengukuran karena pada program digunakan skala terkecil $0.001 \mu\text{T}$.

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%.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kepada Bapak Dr. Yulkifli, S.Pd, M.Si beserta tim yang telah

mengikutsertakan saya dalam penelitian Hibah Bersaing No. 243H/UN.35.2/P 6 2011, sehingga saya bisa menyelesaikan Tugas Akhir.

DAFTAR PUSTAKA

- Djamil, Mitra, dkk.2007. *Linieritas Tegangan Keluaran Sensor Magnetik Fluxgate Menggunakan Elemen Sensor Multi-core*, SNBM V, 5 September, Solo-Indonesia. (diterbitkan di J. Sains dan Materi, Batan 2007)
- Elfitri, Rahayu. 2012. *Panduan Menulis Jurnal Ilmiah*. Kompas. Com diakses tanggal 3 September 2012 <http://edukasi.kompas.com/read/2012/02/09/10353179/Panduan.Menulis.Jurnal.Ilmiah>
- Suhanda, Yogasetyo. 2012. *Pedoman Penulisan Jurnal Ilmiah. Program Studi Teknik Informatika*. Sekolah Tinggi Manajemen Informatika dan Komputer. Swadharma.
- 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.