

PENENTUAN KARAKTERISTIK STATIK SISTEM PENGUKURAN MEDAN MAGNETIK DENGAN SENSOR FLUXGATE

Asrizal, Zuhendri Kamus

Staf Pengajar Jurusan Fisika FMIPA UNP, email: asrizal_unp@yahoo.com,
zul_unp@yahoo.com

ABSTRACT

The objectives of this research was to determine the static characteristics of the magnetic field measurement system. This research can be categorized into experimental laboratory type. Measurement system consists of an excitation, fluxgate magnetic sensor, analog signal processing circuits, ADC, microcontroller, and display. Data collection techniques that used in this research were direct measurement and undirect measurement. The variables that measured directly were the electric current, output voltage, and magnetic field, while the variables that measured indirectly were slope of a straight line and initial value of a quantity. The data were analyzed by using the graph method and the errors analysis. The results of data analysis indicated that: 1). Magnetic field that generated by an coil with electric current is directly proportional to electric current that given to coil with sensitivity is $1.957 \mu T / mA$, 2). The output voltage of fluxgate sensor is not linear both electric current and magnetic field. The linear range of sensor output voltage for electric current from $-10 mA$ until $10 mA$, and for magnetic field from $-20 \mu T$ until $20 \mu T$, 3). Magnetic field that measured by the measurement system using fluxgate sensor is directly proportional to the magnetic field with the slope is 0.9704 and the initial magnetic field at zero is 0.0061 , and 4). The accuracy of the measurement system is high with range variation from 0.925 to 1.000 and average accuracy value is 0.968 . Precision of measurement system is also high with range variation from 0.95 until 1.00 and average precision value is 0.99 .

Keywords: *fluxgate sensor, magnetic field, transfer function, sensitivity, accuracy, precision*

PENDAHULUAN

Medan magnet merupakan suatu besaran fisika yang penting karena banyak ditemukan dan diaplikasikan dalam kehidupan manusia. Meskipun medan magnet tidak bisa dilihat atau disentuh, namun dapat dirasakan pengaruhnya oleh manusia terhadap benda-benda disekitarnya. Keberadaan medan magnet dapat diketahui melalui efek yang ditimbulkan oleh bahan magnetik atau konduktor berarus terhadap benda-benda seperti jarum, serbuk besi dan lain-lain (Tauxe L, 2002). Untuk mengetahui besar medan

magnet maka diperlukan suatu alat ukur kuat medan magnet.

Pengukuran terhadap medan magnet menjadi bagian yang kritical dalam berbagai bidang teknis untuk berbagai keperluan. Pada bidang kelautan, pendeteksian keberadaan benda ferromagnetik yang besar seperti kapal selam ditentukan melalui perubahan distribusi medan magnetik. Dalam aplikasi industri, arus yang mengalir dalam suatu rangkaian listrik menghasilkan medan magnet yang sebanding dengan arus, sehingga secara tidak langsung kuat arus yang mengalir dapat ditentukan melalui pengukuran medan magnet. Kebe

radaan dan lokasi dari material di bawah permukaan bumi dapat dideteksi dengan pengukuran distribusi medan magnetik, yang secara luas digunakan oleh industri tambang. Kontrol balistik sebuah peluru jarak jauh dapat direalisasikan dengan pendeteksian perubahan medan magnet bumi setiap menit selama peluru terbang. Kontrol balistik jenis ini juga digunakan pada auto-pilot kapal udara (Ki Dong O, 1997). Berdasarkan contoh-contoh yang telah dikemukakan dapat disimpulkan bahwa pengukuran medan magnetik sangat diperlukan untuk berbagai aplikasi seperti sistem keamanan, geofisika, industri dan teknik.

Untuk melakukan penginderaan terhadap medan magnetik yang akan diukur diperlukan suatu sensor. Dalam hal ini sensor didefinisikan sebagai suatu piranti yang dapat mendeteksi, mengindera atau sensitif terhadap gerak, panas, cahaya, tekanan, magnetik atau bentuk energi lain dan mengkonversinya kedalam bentuk sinyal listrik yang sesuai seperti arus, tahanan dan tegangan melalui beberapa tahap konversi (Kissell T. E, 2000). Pemilihan terhadap sensor magnetik bergantung pada metoda atau teknik pengukuran yang akan digunakan. Selain itu, setiap metoda pengukuran yang akan dipilih haruslah mempertimbangkan beberapa faktor antara lain kuat medan magnet yang diukur, homogenitas, variasi terhadap waktu dan akurasi yang diinginkan (Henrichsen, K.N).

Sensor magnetik dapat dibagi kedalam jenis komponen vektor dan skalar. Selanjutnya jenis vektor dapat dibagi kedalam sensor yang digunakan untuk mengukur medan rendah ($<1\text{mT}$) dan medan tinggi ($>1\text{mT}$). Instrumen yang memakai sensor magnetik untuk mengukur medan rendah sering disebut magnetometer, sedangkan instrumen yang menggunakan sensor magnetik untuk mengukur medan tinggi disebut Gaussmeter. Ada beberapa jenis sensor magnetik yang digunakan pada instrumen magnetometer

yaitu search coil, fluxgate, SQUID, magnetoresistive dan fiber-optic. Setiap sensor ini memiliki range kerja, resolusi, lebar pita (*bandwidth*) dan kesesuaian dengan rancangan rangkaian elektronik pendukung (Macintyre S. A, 1999).

Hasil konversi kuat medan magnetik yang diukur ke dalam bentuk sinyal listrik oleh sensor diolah menggunakan rangkaian pengolah sinyal yang sesuai. Jika informasi tentang kuantitas yang diukur dikomunikasikan pada manusia untuk dimonitor, dikontrol atau dianalisis, maka informasi tersebut ditempatkan ke dalam bentuk yang dapat dikenal oleh salah satu indera manusia. Elemen yang melakukan fungsi penterjemahan ini disebut elemen presentasi data (Doebelin E. O, 1990). Berbagai elemen presentasi data yang dapat digunakan antara lain seven segment, LCD (*Liquid Crystal Display*), personal komputer dan sebagainya.

Dalam menganalisis dan membuat sistem pengukuran medan magnetik ini diperlukan kemampuan berfikir dalam elektronika. Pendapat ini sesuai dengan Sutrisno (1987) yang menyatakan "Dalam memperbaiki peralatan yang rusak, maupun merancang peralatan elektronika mutlak diperlukan kemampuan berfikir dalam bidang elektronika, sehingga dengan melihat rangkaian yang baru dikenal segera memikirkan fungsi masing-masing komponen di dalam rangkaian". Kemampuan ini dimanfaatkan untuk memperbaiki peralatan, membuat peralatan berdasarkan pada gambar rangkaian, serta mengadakan perubahan untuk meningkatkan kemampuan peralatan yang ada.

Untuk pengukuran medan magnetik tinggi dalam orde Tesla banyak sensor yang tersedia seperti sensor efek Hall Linear dengan harga relatif murah. Penelitian tentang sistem pengukuran medan magnetik menggunakan sensor efek Hall linear 3503 telah dilakukan oleh Dessy, Y (2005), namun masih ditemukan dua kendala utama. Pertama, tampilan pada sistem pengukuran masih dalam bentuk

tegangan sehingga diperlukan pengkalibrasian ke medan magnetik. Kedua, pengukuran medan magnetik hanya bisa dilakukan dalam orde 0 sampai 1000 Gauss atau 0 sampai 0,1 T.

Untuk pengukuran medan magnetik lemah dalam orde nT jarang sensor tersedia. Padahal pengukuran tersebut seringkali diperlukan seperti medan magnetik pada kumparan berarus, medan magnetik bumi, dan medan magnetik batuan. Sensor fluxgate mampu mengindera medan magnetik lemah dalam orde nT. Pembuatan dan pengembangan sensor medan magnet fluxgate telah dilakukan oleh Mitra, D (2001). Pengembangan penerapan sensor magnetik fluxgate ke sistem pengukuran medan magnetik fluxgate ini perlu dilakukan guna menghasilkan instrumen yang berkualitas untuk berbagai keperluan.

Sistem pengukuran medan magnetik dengan ketelitian tinggi, range pengukuran dalam orde nT, harga yang relatif murah dan presentasi data yang baik perlu dikembangkan. Pengembangan diarahkan pada penginderaan medan magnetik menggunakan sensor magnetik fluxgate, berbagai piranti elektronik untuk mengolah sinyal analog dan pengolahan sinyal digital berbasis mikrokontroler dengan display seven segment. Agar sistem dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan perlu dilakukan pengkajian secara teoritis tentang keterkaitan antara tegangan keluaran sensor dengan medan magnetik, rangkaian

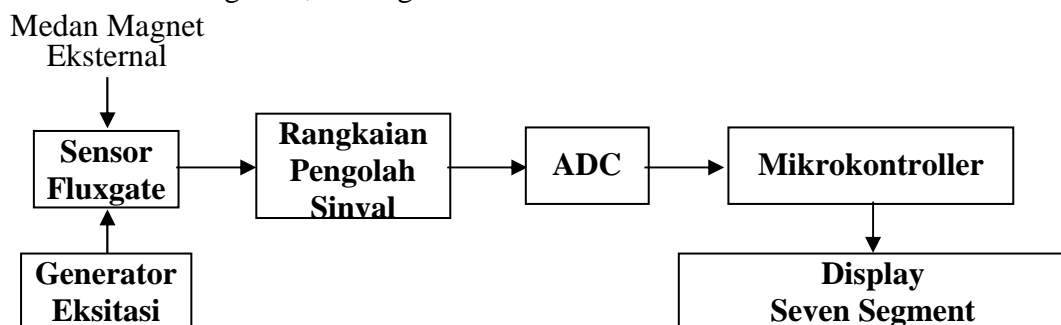
elektronika yang digunakan pada sistem, dan karakteristik dari sistem pengukuran.

Hasil dari desain ini perlu diuji melalui pengukuran dan dianalisis untuk mendapatkan hubungan tegangan keluaran dengan stimulus dan menentukan karakteristik statik dari sistem pengukuran medan magnetik. Untuk dapat mengkaji fungsi serta peran sistem pengukuran ini perlu dilakukan penelitian agar sistem tersebut memberikan hasil yang optimal. Karena itu peneliti merasa tertarik untuk menyelidiki hubungan antara besaran pada sistem, menentukan daerah linear sensor, dan menentukan karakteristik statik sistem pengukuran medan magnetik dengan sensor magnetik fluxgate.

METODE PENELITIAN

Desain dari sistem pengukuran medan magnetik dikembangkan berdasarkan diagram blok suatu sistem instrumentasi elektronik. Secara umum diagram blok sistem terdiri dari sensor fluxgate, rangkaian eksitasi, rangkaian pengolahan sinyal, display, dan catu daya. Berdasarkan diagram blok dasar tersebut dikembangkan diagram blok sistem instrumentasi yang sesuai dengan kebutuhan, dengan cara pemilihan sensor, rangkaian elektronika, dan display yang sesuai.

Untuk lebih mempermudah pemahaman tentang desain penelitian dapat dilukiskan pada skema berikut ini :



Gambar 1. Diagram blok sistem pengukuran medan magnetik

Berdasarkan blok diagram sistem pengukuran medan magnetik, dilakukan perakitan sementara sistem pada project board, dan dilakukan pengujian terhadap karakteristik dari sistem. Bila hasil yang didapatkan telah sesuai dengan yang diharapkan, selanjutnya dilakukan perakitan sistem pengukuran secara permanen pada PCB dan pembuatan kotak yang sesuai dengan sistem. Sebagai produk dari kegiatan penelitian ini adalah dihasilkan suatu sistem pengukuran medan magnetik dalam orde kecil dalam bentuk hardware.

Instrumen yang digunakan untuk mendapatkan data meliputi alat ukur listrik seperti osiloskop dua channel, universal digital multimeter, calibrator, dan flux meter standar. Disamping itu diperlukan komponen dan bahan seperti berbagai jenis IC, transistor, tahanan, kapasitor dan lain-lain. Peralatan pendukung lainnya antara lain power supply teregulasi, toolkits, dan peralatan bengkel. Untuk mencapai ketepatan dalam pengukuran perlu dilakukan kalibrasi dari alat ukur dan melakukan pengukuran terhadap komponen yang digunakan. Untuk melihat ketelitian dan ketepatan dilakukan pengukuran beberapa kali terhadap suatu besaran Fisika.

Teknik pengukuran meliputi dua bagian yaitu pengukuran secara langsung terhadap variabel yang akan diukur dan pengukuran secara tidak langsung. Pengukuran secara langsung artinya variabel yang akan diketahui diukur secara langsung misalnya tegangan diukur dengan multi meter, medan magnetik diukur dengan alat ukur medan magnetik standar. Pengukuran tidak langsung artinya pengukuran terhadap suatu variabel dengan cara melakukan pengukuran terhadap variabel lain sedangkan variabel yang diinginkan ditentukan kemudian seperti penentuan kemiringan suatu garis lurus dengan melakukan pengukuran terhadap tegangan dan medan magnetik.

Dalam penelitian ini variabel yang diukur secara langsung adalah medan magnetik, tegangan keluaran pada setiap

blok rangkaian, dan kuat arus keluaran. Sementara itu variabel yang diukur secara tidak langsung dalam penelitian ini meliputi sensitivitas dan resolusi dari sensor, ketepatan dan ketelitian, penguatan dari penguat dan sebagainya.

Data yang menyangkut hubungan antara variabel, atau pengaruh suatu variabel terhadap variabel lain ditampilkan dalam bentuk grafik. Plot terhadap data dilakukan menggunakan program Micro soft Excel. Melalui plot data dapat diketahui hubungan antara variabel bebas dengan variabel terikat, bentuk pendekatan persamaan dari grafik yang dihasilkan, variansi dan standar deviasi. Bila pendekatan garis dari hubungan antara dua variabel adalah linear maka dapat ditentukan nilai awal dan kemiringan dari garis lurus.

Untuk menentukan ketepatan dan ketelitian dari sistem pengukuran ditentukan menggunakan teori kesalahan. Kesalahan adalah simpangan antara nilai yang dipercaya dengan nilai yang diukur. Kesalahan absolut dapat didefinisikan sebagai perbedaan antara nilai yang dipercaya dari variabel dengan nilai yang diukur dari variabel tersebut yang dapat dinyatakan dalam bentuk:

$$e = Y_n - X_n \dots\dots\dots(1)$$

Disini :

Y_n = Nilai yang dipercaya atau nilai sebenarnya.

X_n = Nilai yang diukur atau nilai yang terbaca.

Ketepatan merupakan tingkat kesesuaian atau dekatnya suatu hasil pengukuran terhadap harga sebenarnya (Cooper W.D, 1985). Ketepatan dari sistem pengukuran dapat ditentukan dari persentase kesalahan antara nilai aktual dengan nilai yang terlihat. Persentase kesalahan dapat ditentukan dari persamaan berikut :

$$\text{Percent error} = \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right| \times 100 \% \dots\dots(2)$$

Persentase kesalahan (*percent error*) merupakan persentase simpangan antara harga besaran yang diukur dengan nilai yang dipercaya (*expected value*).

Ketepatan pengukuran dari suatu sistem pengukuran dapat ditentukan melalui persamaan :

$$A = 1 - \left| \frac{Y_n - \bar{X}_n}{Y_n} \right| \dots\dots\dots (3)$$

Pada persamaan A menyatakan akurasi relatif yang sering dikenal dengan ketepatan (Jones, L.D: 1995).

Ketelitian dari pengukuran merupakan kesamaan harga dari sekelompok pengukuran. Nilai yang paling mungkin dari suatu pengukuran variabel adalah nilai rata-rata dari total pengukuran yang dilakukan. Nilai rata-rata pengukuran dapat diberikan oleh persamaan berikut :

$$\bar{X}_n = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^n X_n \dots\dots\dots (4)$$

Disini X_n adalah nilai pengukuran ke-n dan n adalah jumlah total pengukuran. Ketelitian dari suatu pengukuran adalah suatu kuantitas atau angka yang menunjukkan berapa dekatnya hasil dari set pengukuran berulang dari variabel sama dengan rata-rata set pengukuran (Jones, L.D: 1995). Ketelitian dapat diekspresikan dalam bentuk matematika seperti:

$$\text{Precision} = 1 - \left| \frac{X_n - \bar{X}_n}{\bar{X}_n} \right| \dots\dots\dots (5)$$

Dimana,

X_n = nilai dari pengukuran ke n

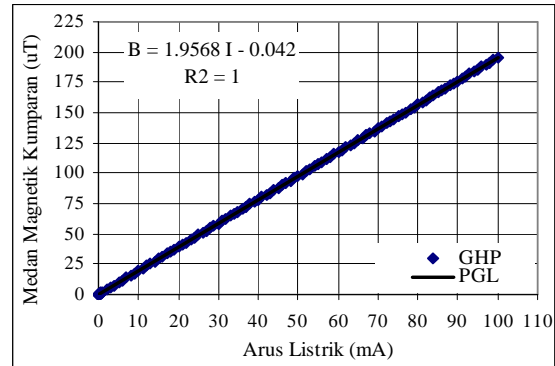
\bar{X}_n = rata-rata dari set n pengukuran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hubungan medan magnetik dan arus listrik kumparan berarus

Pengambilan data pengukuran awal yang dilakukan adalah menentukan hubungan antara medan magnetik dengan arus listrik yang diberikan pada kumparan. Dengan bervariasikan arus listrik yang diberikan, kemudian dilakukan pengukuran terhadap medan magnetik yang dihasilkan pada kumparan. Arus listrik diukur dengan

kalibrator sedangkan medan magnetik diukur dengan fluxmeter standar. Dari data pengukuran yang diperoleh diplot grafik hubungan antara medan magnetik dengan arus listrik seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan medan magnetik dengan arus listrik

Garis kontinu pada Gambar 2 diperoleh dari pendekatan garis lurus terhadap hasil pengukuran, sedangkan garis diskrit diperoleh dari hasil pengukuran. Pada gambar terlihat bahwa semakin besar arus listrik yang diberikan didapatkan medan magnetik yang besar pula. Garis hasil pengukuran yang diperoleh hampir berimpit dengan pendekatan garis lurus. Melalui pendekatan garis lurus diperoleh hubungan antara medan magnetik dengan arus listrik dalam bentuk

$$B = 1,9568 I - 0,042 \dots\dots\dots (6)$$

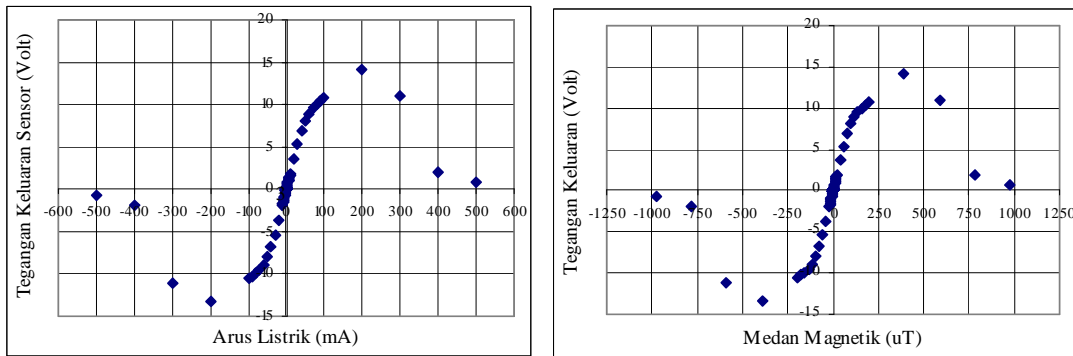
Pada persamaan satuan B adalah μT dan satuan I mA. Angka 1,9568 menyatakan sensitivitas dari sensor. Nilai arus minimum yang diperlukan untuk medan magnetik nol adalah 0,0215 mA. Koefisien penentu didapatkan 1, berarti 100 % perubahan medan magnetik pada kawat kumparan ditentukan oleh perubahan arus listrik. Disisi lain koefisien korelasi juga didapatkan 1 yang berarti hubungan antara medan magnetik dengan arus listrik sangat kuat.

2. Fungsi Transfer sensor fluxgate

Dengan bervariasikan arus listrik dilakukan pengukuran terhadap tegangan keluaran sensor magnetik fluxgate yang ditempatkan di dalam kumparan. Plot

hubungan antara tegangan keluaran sensor dengan arus listrik dan medan magnetik

pada kumparan, masing-masing pada Gambar 3.



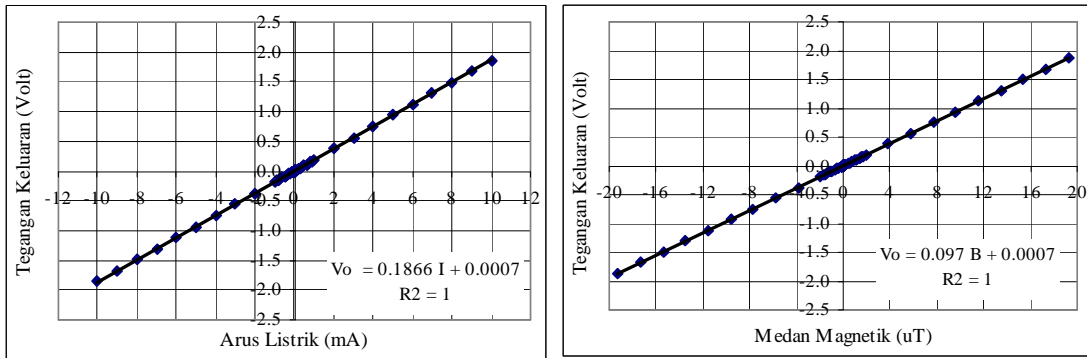
Gambar 3. Hubungan tegangan keluaran sensor dengan arus listrik dan medan magnetik

Pada Gambar 3, tegangan keluaran sensor bervariasi untuk arus listrik mulai dari -500 mA sampai 500 mA. Tanda negatif pada sumbu horizontal menunjukkan arah pemberian arus pada kumparan yang berlawanan dari arah semula. Berdasarkan grafik pada gambar 6a dapat dikemukakan tiga hal. Pertama, semakin besar arus listrik yang diberikan pada kumparan untuk kisaran -200 mA hingga 200 mA, maka diperoleh tegangan keluaran sensor semakin besar pula. Kedua, untuk nilai arus di atas -200 dan 200 mA diperoleh tegangan keluaran sensor yang semakin kecil, hal ini disebabkan sensor telah mengalami keadaan jenuh atau saturasi pada daerah tersebut. Ketiga, pada kisaran arus listrik mulai dari -50 mA sampai 50 mA diperoleh garis lurus hubungan antara tegangan keluaran sensor dengan arus listrik.

Tegangan keluaran sensor juga bervariasi dengan medan magnetik yang dihasilkan pada kumparan. Tanda negatif pada sumbu horizontal menunjukkan arah medan magnetik berlawanan dari arah

semula. Dari grafik yang diperoleh dapat dikemukakan tiga hal penting. Pertama, pada daerah -500 μT sampai 500 μT , semakin besar medan magnetik pada kumparan maka tegangan keluaran sensor semakin besar pula. Kedua, untuk nilai medan magnetik di atas -500 dan 500 μT diperoleh tegangan keluaran sensor yang semakin kecil, hal ini disebabkan sensor telah mengalami keadaan jenuh atau saturasi. Ketiga, pada kisaran medan magnetik mulai dari -100 μT sampai 100 μT diperoleh garis lurus hubungan antara tegangan keluaran sensor dengan medan magnetik yang dihasilkan kumparan.

Untuk mendapatkan sistem pengukuran yang cukup baik maka perlu dilihat daerah linear dari sensor. Berdasarkan data pengukuran tegangan keluaran sensor dengan arus listrik dan medan magnetik maka didapatkan daerah kerja sensor yang cukup linear. Plot hubungan antara tegangan keluaran sensor dengan arus listrik dan medan magnetik pada daerah linear diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hubungan tegangan keluaran sensor dengan arus listrik dan medan magnetik pada daerah linear

Garis kontinu pada gambar 4 didapat dari pendekatan garis lurus terhadap hasil pengukuran, sedangkan garis diskrit didapat dari hasil pengukuran. Berdasarkan gambar dapat dikemukakan bahwa semakin besar arus listrik yang diberikan pada kumparan maka diperoleh tegangan keluaran sensor semakin besar pula. Daerah linear dari sistem sensor diperoleh dari rentang arus antara -10 mA sampai 10 mA. Kemudian garis yang diperoleh dari hasil pengukuran berimpit dengan pendekatan garis lurus, sehingga dapat disimpulkan bahwa tegangan keluaran sensor berbanding lurus dengan arus listrik yang diberikan pada kumparan.

Melalui pendekatan garis lurus terhadap hasil pengukuran diperoleh persamaan hubungan antara tegangan keluaran sensor dengan arus listrik $V_o = 0,1866 I + 0,0007.....(7)$

Disini V_o dalam satuan Volt dan I dalam satuan mA. Angka 0,1866 menunjukkan harga gradien atau kemiringan dari garis lurus, sedangkan angka 0,0007 menunjukkan nilai tegangan keluaran yang dihasilkan sensor pada saat arus yang diberikan pada kumparan nol. Koefisien determinasi dari hubungan tegangan dan arus didapatkan 1 sehingga dapat dikemukakan bahwa 100 % perubahan tegangan keluaran sensor disebabkan oleh perubahan arus listrik.

Berdasarkan grafik dapat dikemukakan bahwa daerah linear sensor berada antara -20 μT dan 20 μT . Semakin besar medan magnetik yang dihasilkan kumparan

menyebabkan tegangan keluaran sensor semakin besar pula. Kemudian garis yang diperoleh dari hasil pengukuran berimpit dengan pendekatan garis lurus. Berarti tegangan keluaran sensor berbanding lurus dengan medan magnetik yang dihasilkan oleh kumparan berarus.

Melalui pendekatan garis lurus terhadap hasil pengukuran diperoleh persamaan hubungan antara tegangan keluaran sensor dengan arus listrik

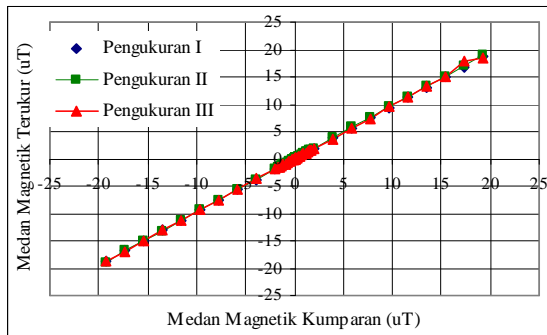
$$V_o = 0,097 B + 0,0007.....(7)$$

Pada persamaan, V_o dalam satuan Volt dan B dalam satuan μT . Angka 0,097 menunjukkan harga gradien atau kemiringan dari garis lurus, sedangkan angka 0,0007 menunjukkan nilai tegangan keluaran yang dihasilkan sensor pada saat medan magnetik yang dihasilkan kumparan nol. Koefisien determinasi dari hubungan tegangan keluaran sensor dengan medan magnetik pada daerah linear didapatkan 1.

1. Hasil pengukuran medan magnetik oleh sistem pengukuran

Pengambilan data pengukuran terakhir adalah melihat hasil pengukuran medan magnetik menggunakan sistem pengukuran medan magnetik menggunakan sensor magnetik fluxgate yang ditampilkan dengan seven segmen. Data diambil secara berulang sebanyak tiga kali pengukuran untuk 57 variasi arus listrik. Dari data pengukuran berulang yang diperoleh diplot hubungan antara medan magnetik yang terukur oleh sistem pengukuran menggunakan sensor magnetik fluxgate dengan

medan magnetik pada kumparan menggunakan alat standar seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Hubungan medan magnetik terukur dengan medan magnetik kumparan

Pada gambar 5, terlihat bahwa medan magnetik yang terukur pada kumparan oleh sistem pengukuran menggunakan sensor magnetik fluxgate untuk pengukuran I, II dan III sebanding dengan medan magnetik yang terukur menggunakan alat standar. Hubungan antara medan magnetik terukur oleh sistem pengukuran menggunakan sensor fluxgate dengan alat standar cenderung berbentuk garis lurus. Melalui pendekatan garis lurus, dapat diinterpretasikan hubungan antara medan magnetik yang terukur oleh sistem pengukuran menggunakan sensor magnetik fluxgate dengan yang terukur oleh alat standar untuk satu kali pengukuran dalam bentuk

$$B_u = 0.9704 B_s + 0.0061 \dots \dots \dots (8)$$

Lambang B_u pada persamaan adalah medan magnetik yang terukur oleh sistem pengukuran menggunakan sensor magnetik fluxgate dan B_s adalah medan magnetik yang terukur oleh alat standar. Angka 0,9704 menunjukkan kemiringan garis lurus yang menyatakan derajat korelasi antara medan magnetik yang terukur oleh sistem pengukuran menggunakan sensor magnetik fluxgate dengan alat standar. Angka 0,0061 menunjukkan nilai medan magnetik yang terukur oleh sistem pengukuran menggunakan sensor magnetik fluxgate pada saat alat standar menunjukkan nol. Persentase simpangan antara pengukuran medan magnetik meng

gunakan sistem pengukuran menggunakan sensor fluxgate dengan pendekatan garis lurus 2,96 %.

2. Ketepatan dan ketelitian sistem pengukuran

Ketepatan dan ketelitian dari sistem pengukuran medan magnetik menggunakan sistem sensor magnetik fluxgate ditentukan dari data hasil pengukuran berulang sebelumnya yakni sebanyak tiga kali pengukuran. Langkah pertama yang dilakukan dalam penentuan ketepatan dan ketelitian pengukuran adalah menentukan nilai rata-rata dan kesalahan setiap variasi untuk ketiga pengukuran menggunakan sistem pengukuran menggunakan sensor magnetik fluxgate.

Kesalahan pengukuran adalah nilai absolut dari selisih nilai yang ditunjukkan oleh alat standar dengan sistem pengukuran menggunakan sensor magnetik fluxgate dibandingkan nilai yang ditunjukkan alat standar. Berdasarkan data hasil pengukuran diperoleh nilai kesalahan untuk setiap variasi pengukuran berada dalam kisaran 0,000 sampai 0,075 dengan nilai kesalahan rata-rata untuk semua pengukuran 0,032 atau persentase kesalahan rata-rata pengukuran sebesar 3,2 %.

Ketepatan pengukuran dapat ditentukan dari nilai kesalahan yang didapat sebelumnya. Dari 57 variasi pengukuran yang dilakukan diperoleh ketepatan untuk setiap variasi pengukuran berkisar dari 0,925 sampai 1,000. Ketepatan rata-rata untuk semua variasi pengukuran adalah 0,968. Nilai yang diperoleh mendekati 1 sehingga dapat disimpulkan bahwa ketepatan sistem pengukuran medan magnetik tinggi.

Ketelitian pengukuran dapat ditentukan dari nilai rata-rata setiap variasi pengukuran berulang yang dilakukan. Dari pengukuran berulang yang dilakukan sebanyak tiga kali diperoleh ketelitian untuk setiap variasi pengukuran berkisar dari 0,95 sampai 1,00. Ketelitian rata-rata untuk semua variasi pengukuran sebesar 0,99. Nilai yang diperoleh juga mendekati

1 sehingga dapat disimpulkan ketelitian dari sistem pengukuran medan magnetik termasuk tinggi.

Dari analisis data yang telah dilakukan secara garis besar dapat dikemukakan bahwa hasil yang didapat telah sesuai dengan tujuan yang ditetapkan. Namun ada dua permasalahan utama yang masih ditemukan pada saat pengukuran dan analisis data yaitu terjadinya kesalahan pada pengukuran berulang dan keterbatasan daerah pengukuran medan magnetik oleh sistem.

Terjadinya kesalahan pada pengukuran berulang disebabkan karena sistem pengukuran medan magnetik dengan sensor fluxgate sangat sensitif terhadap medan magnetik luar seperti medan magnetik bumi. Untuk mengatasi permasalahan ini diperlukan sistem isolasi medan magnetik luar yang lebih baik seperti menggunakan mumetal. Pada penelitian sistem isolasi yang dilakukan menggunakan logam kuningan yang masih menimbulkan kesalahan.

Permasalahan lain dari sistem pengukuran adalah adanya keterbatasan pengukuran medan magnetik oleh sistem. Sistem pengukuran hanya mampu mengukur medan magnetik dalam range $-20 \mu\text{T}$ sampai $20 \mu\text{T}$. Hal ini disebabkan karena display dari sistem menggunakan seven segmen yang hanya memanfaatkan daerah linear, padahal ada daerah lain dari sensor yang tidak linear. Dengan memanfaatkan daerah tidak linear ini menyebabkan jangkauan pengukuran dari sistem akan lebih lebar. Hal ini dapat diwujudkan dengan pengolahan sinyal menggunakan personal komputer.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data yang telah dilakukan dapat dikemukakan lima kesimpulan penelitian ini yaitu :

1. Medan magnetik yang dihasilkan oleh kumparan berarus berbanding lurus dengan arus yang diberikan pada kumparan, dengan kemiringan 1,9568

$\mu\text{T}/\text{mA}$, nilai arus minimum yang diperlukan untuk medan magnetik nol adalah 0,0215 mA, dan koefisien determinasi 1.

2. Secara umum tegangan keluaran sensor tidak linear dengan arus dan medan magnetik. Daerah linear tegangan keluaran sistem sensor fluxgate diperoleh dari rentang arus antara -10 mA sampai 10 mA , dan medan magnetik pada rentang antara $-20 \mu\text{T}$ dan $20 \mu\text{T}$.
3. Medan magnetik yang terukur oleh sistem pengukuran menggunakan sensor fluxgate berbanding lurus dengan medan magnetik yang terukur oleh alat standar dengan kemiringan garis 0,9704 dan medan magnetik awal pada saat pengukuran alat standar nol adalah 0,0061.
4. Ketepatan dari sistem pengukuran termasuk tinggi berkisar dari 0,925 sampai 1,000 untuk setiap variasi pengukuran dengan ketepatan rata-rata untuk semua variasi pengukuran adalah 0,968. Ketelitian dari sistem pengukuran juga termasuk tinggi berkisar dari 0,95 sampai 1,00 untuk setiap variasi pengukuran dengan ketelitian rata-rata semua variasi pengukuran sebesar 0,99.

DAFTAR PUSTAKA

- Arnaud, Gerkens, J. C. , (1989). **Foundation of Exploration Geophysics**. Elsevier Science Publishers, B. V, New York.
- Cooper, W.D. (1985). **Electronic Instrumentation and Measurement Techniques**. Prentice Hall, inc, New Jersey.
- Dessy, Y. (2005). **Penentuan Karakteristik Dari Sistem Pengukuran Medan Magnetik Menggunakan Sensor Efek Hall Linear**. Universitas Negeri Padang.
- Doebelin, E.O. (1990). **Measurement Systems**. McGraw-Hill International.

- Fraden, J. (1996). **Handbook of Modern Sensors**. Springer-Verlag New York.
- Gopel, W. (1989). **Sensors a Comprehensive Survey**. Volume 5 Magnetic Sensors. VCH, Weinheim.
- Gutierrez, R. (). **Intellegent sensor System**. Wright State University
- Henrichsen, K. N. (). **Magnetic Field Imaging**. Geneva, Switzerland.
- Jones, L.D. (1995). **Electronic Instruments and Measurements**. Prentice Hall International, inc
- Ki Dong, O. (1997). **Optical Fiber Fabry-Perot Interferometer based Sensor Instrumentation System for Low Magnetic Field Measurement**. The Hanyan University, Korea.
- Kissell, T. E. (2000). **Industrial Electronics : Applications for Programmable Controllers, Instrumentations and Process Control and Electrical Machines and Motor Controls**. Prentice Hall, inc, New Jersey.
- Macintyre, Steven, A. (1999). **Magnetic Field Measurement**. CRC Press LLC, New York.
- Mitra, D. (2001). **Pembuatan dan Pengembangan Sensor Medan Magnetik Fluxgate**. Institut Teknologi Bandung.
- Moskowicz, S.(2003). **Fluxgate Sensor With a Special Permalloy Core-Construction and Investigation**. Measurement Science Review. Vol.3.Section 3. Poland.
- Omang Wirasmita. (1989). **Pengantar Laboratorium Fisika**, P2LPTK, Dikti, Depdikbud , Jakarta.
- Pallas, R. (1991). **Sensors and Signal Conditioning**. A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, INC, New York.
- Rangan, C.S. (1983). **Instrumentation Devices and Systems**. Tata Mc Graw-Hill, New Delhi
- Sutrisno. (1986). **Elektronika Teori Dasar dan Penerapannya**. ITB Bandung.
- Tauxe, L. (2002). **Rock and Paleomagnetism**. Scripps Institution of Oceanography.
- Telford, W. M, Geldart, L. P, Sheriff, R. E, Keys, D. A, (1978). **Applied Geophysics**. Cambridge University Press, Cambridge.