



Karakteristik sensor kumparan dengan metode induksi untuk pengukuran fluks magnet

F D Pratama^{1,a} dan E Rahmawati^{1,b}

¹Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Surabaya
Jl Ketintang, Gd C3 Lt 1, Surabaya 60231, Indonesia

^afadhildanipratama69@gmail.com dan ^be.rahmawati@gmail.com

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan karakteristik sensor kumparan dengan metode induksi. Sensor kumparan didesain dengan beberapa variasi jumlah lilitan 200, 300, dan 500 serta variasi diameter kumparan 0,62cm dan 1,62cm. Sumber fluks magnet menggunakan kumparan dengan lilitan 1450 yang dihubungkan dengan sumber arus ac. Sebagai data pembandingan pengukuran juga dilakukan dengan menggunakan sensor medan magnet buatan PASCO scientific tipe CI-6520A. Percobaan pertama adalah dilakukan untuk menentukan fungsi transfer hubungan antara output tegangan sensor terhadap perubahan fluks magnet dengan memberikan variasi nilai arus pada kumparan sumber fluks, diperoleh fungsi transfer dalam bentuk polinomial orde dua. Dari percobaan pertama ini juga diperoleh pengaruh jumlah lilitan dan diameter terhadap sensitifitas sensor, sensitifitas sensor meningkat sebanding dengan jumlah lilitan dan diameter luas tampang lintang kumparan. Percobaan kedua menentukan fungsi transfer hubungan antara output tegangan sensor terhadap perubahan fluks magnet dengan merubah jarak sensor kumparan terhadap kumparan sumber fluks, diperoleh fungsi transfer dalam bentuk polinomial orde dua. Dari percobaan kedua juga diperoleh hasil bahwa semakin jauh jarak pengukuran maka nilai medan magnet semakin kecil. Hal ini sesuai dengan teori dimana, nilai medan magnet berbanding terbalik dengan nilai jarak pengukuran.

1. Pendahuluan

Pengukuran medan magnet memiliki beberapa metode antara lain metode induksi, *SQUIDS*, *magnetoresistive*, sensor efek Hall, dan *fluxgate magnetometers resonance* (Craik, 1995). Setiap metode mempunyai karakteristik yang berbeda. Metode *SQUIDS* digunakan untuk mengukur medan magnet lemah yang nilainya berkisar 10^{-14} - 10^{-9} tesla. Metode *magnetoresistive* dan *fluxgate magnetometers resonance* mampu mengukur medan magnet dengan rentang nilai 10^{-10} - 10^{-3} tesla (Djamal, 2006; Suyatno, 2008). Sedangkan untuk mengukur medan magnet yang memiliki nilai di atas satu Tesla dapat menggunakan metode induksi dan efek Hall.

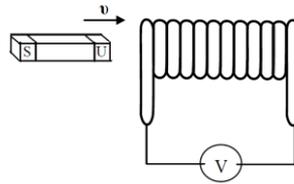
Dewasa ini telah banyak teknologi yang digunakan untuk mengukur medan magnet dan kebanyakan pengukuran medan magnet menggunakan sensor magnetik. Pada penelitian ini, pengukuran medan magnet dilakukan dengan metode induksi karena merupakan metode yang paling sederhana di mana pengukurannya didasarkan pada perubahan fluks magnetic di dalam kumparan. Metode induksi mengacu pada hukum Faraday yang menyatakan bahwa jika suatu kawat penghantar digerakkan memotong arah suatu medan magnet maka akan timbul suatu gaya gerak listrik pada kawat penghantar tersebut. Gaya gerak listrik ini disebut Gaya Gerak Listrik (GGL) induksi. GGL induksi ini

dipengaruhi oleh perubahan fluks dan besarnya bergantung pada jenis inti kumparan dan jumlah lilitan dari kumparan tersebut. Semakin besar jumlah kumparan, maka GGL induksi yang dihasilkan juga semakin besar.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji karakteristik sensor magnetic dengan penerapan metode induksi. Adanya penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan lebih luas terkait aplikasi konsep induksi elektromagnetik dalam sensor magnetik, memberikan inovasi alat ukur medan magnet yang lebih valid dan sensitif, serta dapat digunakan sebagai acuan untuk penelitian selanjutnya yang lebih mendalam.

2. Kajian Pustaka

Medan magnet merupakan daerah di sekitar magnet atau sebuah penghantar yang dialiri arus listrik. Metode yang digunakan untuk mengukur medan magnet dalam penelitian ini adalah metode induksi. Metode induksi bekerja melalui pengukuran fluks magnetik yang merangkum mengenai gaya gerak listrik induksi (GGL induksi), dimana kuat medan magnet diukur sepanjang lintasan elektrik dengan disertai adanya perubahan fluks didalamnya (Jiles,1998). GGL induksi ini timbul jika ada sebuah kawat penghantar yang digerakkan memotong arah suatu medan magnet. Gambar 1 berikut memperlihatkan diagram skematik mekanisme terjadinya GGL induksi.



Gambar 1 Diagram skematik mekanisme terjadinya GGL induksi.

Nilai tegangan (GGL induksi) diukur dari nilai tegangan pada voltmeter yang terhubung dengan kumparan. Tegangan ini muncul disebabkan adanya sebuah magnet yang digerakkan keluar masuk kumparan. GGL induksi juga dapat timbul karena adanya perubahan fluks magnetik seperti yang disebutkan dalam hukum Faraday, di mana apabila suatu kumparan yang memiliki jumlah lilitan N sehingga memotong medan magnet maka akan timbul perubahan fluks magnetik atau garis gaya magnet yang berubah menurut waktu. Secara matematis, GGL induksi dapat dituliskan sebagai berikut:

$$V = -N \frac{d\phi}{dt} \quad (1)$$

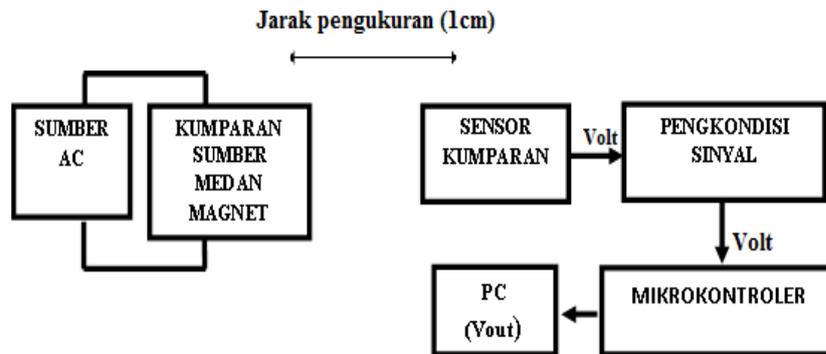
Jika N adalah banyak lilitan dan A adalah luasan tampang lilitan, maka $B = \frac{\phi}{A}$, sehingga

$$V = -NA \frac{dB}{dt} \quad (2)$$

Persamaan (2) menunjukkan bahwa GGL induksi dihasilkan karena adanya perubahan medan magnet menurut waktu atau dapat dikatakan GGL induksi muncul karena adanya medan magnet yang berubah-ubah (Buck dan Hayt, 2006). Selain itu, GGL induksi juga dipengaruhi oleh jumlah lilitan dan luas tampang lintang kumparan. Jadi, semakin banyak lilitan dan semakin luas tampang lintang kumparan maka semakin besar nilai GGL induksi yang dihasilkan.

3. Metode Penelitian

Prosedur penelitian untuk mengukur medan magnet menggunakan metode induksi berbasis mikrokonverter digambarkan pada gambar 2 berikut :



Gambar 2 Prosedur penelitian.

Medan magnet akan diukur oleh sensor kumparan dengan jarak 1cm. Pengukuran medan magnet akan dilakukan dengan variasi jumlah lilitan (N) dan diameter luas tampang lintang (d) dan Hasil pengukuran berupa tegangan. Tegangan keluaran tersebut akan melewati pengkondisi sinyal untuk menyearahkan tegangan keluaran AC menjadi DC menggunakan *peak detector* kemudian dikuatkan dengan penguat *non-inverting*. Selanjutnya, tegangan keluaran akan diolah oleh mikrokontroler dan hasil tegangan keluaran V_{out} akan ditampilkan pada PC (*Personal Computer*).

Variabel operasional yang digunakan pada penelitian ini meliputi 3 komponen yaitu variabel kontrol, variabel manipulasi dan variabel respon. Variabel kontrol merupakan sesuatu yang dibuat tetap selama penelitian yaitu jarak pengukuran (r), sumber arus AC dan kumparan sumber medan magnet. Variabel manipulasi adalah kuat arus (i) yang dirubah selama penelitian, jumlah lilitan (N) yang terdiri atas 200,300,500; serta diameter luas tampang lintang kumparan (d) 0,62cm, 1,62cm. Selanjutnya sensor magnetik dengan jumlah lilitan 200 dan diameter 0,62cm disebut sebagai 200A sedangkan dengan diameter 1,62cm disebut 200B dan berlaku untuk sensor lainnya. Variabel respon merupakan besaran fisis yang berubah karena pengaruh dari kuat arus (i).

Penelitian ini memiliki dua langkah pengambilan data. langkah yang pertama mengukur tegangan adaptor PASCO – SF9584A menggunakan mikrokontroler dan multimeter SANWA CD800A. Hasil pengukuran akan dibandingkan untuk mengetahui nilai konversi ADC menjadi tegangan. Langkah kedua yaitu dilakukan dengan cara pengukuran tegangan keluaran yang muncul akibat perubahan *fluks magnetik* dengan menggunakan sensor kumparan dan sensor medan magnet pasco CI-6520A. Pengukuran pada percobaan pertama ini dilakukan dengan jarak 1cm agar hasil pengukuran tidak terpengaruh oleh medan magnet luar. Pengulangan pengukuran dilakukan dengan 10 kali pengulangan pada setiap sensor kumparan. Sensor kumparan ini memiliki variasi pada jumlah lilitan (N) dan diameter luas tampang lintang (d). Pada percobaan kedua pengukuran dilakukan dengan memanipulasi jarak pengukuran pada kuat arus yang sama yaitu 0,11mA

Hasil pengukuran dari langkah pertama dan langkah kedua akan dibuat akan dianalisa dalam bentuk grafik. Hasil pengukuran dari langkah pertama akan dibuat grafik hubungan antara tegangan (V) yang terbaca oleh multimeter dan nilai ADC yang terbaca oleh mikrokontroler. Dari grafik tersebut diperoleh nilai konversi ADC menjadi tegangan. Kemudian hasil pengukuran dari langkah kedua pada percobaan pertama dan kedua juga akan dibuat grafik hubungan antara besar medan magnet (B) yang terbaca oleh sensor medan magnet pasco CI-6520A dengan tegangan (V) yang terbaca oleh mikrokontroler. Hal ini dilakuan untuk mengetahui karakteristik dari sensor kumparan dan untuk mengetahui sensitivitas hasil pengukuran.

Pada pengukuran medan magnet biasanya disertai dengan kurva histeresis. Kurva histeresis merupakan kurva yang menunjukkan magnetisasi suatu bahan dengan medan magnetik yang menimbulkannya. Kurva histeresis diperoleh dengan cara memberikan arus dari nilai arus yang kecil menuju ke nilai arus yang besar dan sebaliknya. Fokus perhatian pada penelitian ini hanya pada

konsistensi dan sensitivitas dari sensor kumparan. Konsistensi dapat dilihat dari hasil pengukuran sensor kumparan menceritakan hal yang sama pada saat mengukur medan magnet dari kumparan sumber medan magnet. Kemudian sensitivitas sensor dapat dilihat dari hasil pengukuran sensor kumparan yang didekati dengan persamaan linier.

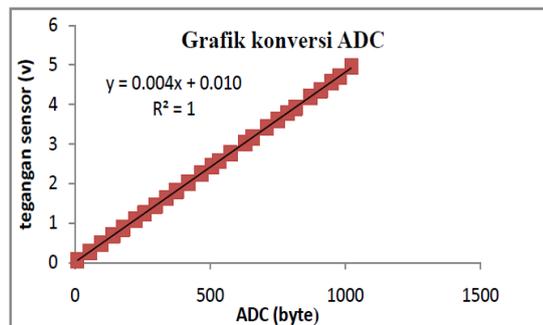
4. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Sensor magnetik terdiri atas tiga bagian utama. Bagian yang pertama merupakan sensor magnetik berupa kumparan. Bagian kedua berupa sistem instrumentasi yang terdiri atas rangkaian detektor puncak dan penguat *non-inverting*. Bagian ketiga adalah sistem pengolahan data yaitu mikrokontroler. Gambar 3 merupakan salah satu contoh sensor magnetik dengan jumlah lilitan 200 dan diameter 0,62 cm.



Gambar 3 Bagian-bagian sensor magnetik.

Data yang terbaca pada mikrokontroler berupa data ADC sehingga perlu dikonversi untuk mendapatkan nilai tegangan. Proses konversi ini dilakukan dengan mencari fungsi transfer, di mana ditunjukkan oleh grafik berikut:



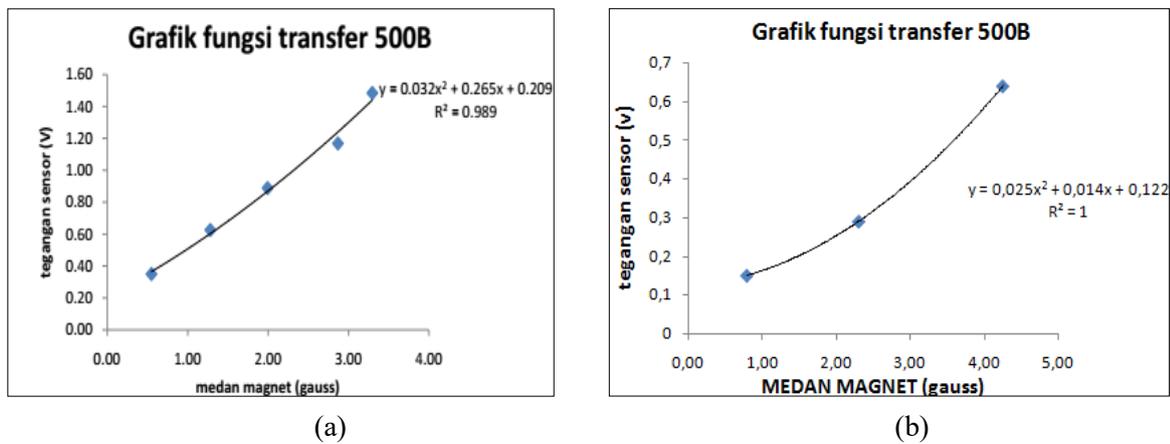
Gambar 4 Grafik konversi ADC.

Dari grafik tersebut diperoleh nilai gradien 0,004. Nilai ini digunakan sebagai fungsi transfer untuk mengubah nilai ADC (byte) menjadi nilai tegangan (Volt) sehingga pada hasil pengukuran data yang ditampilkan dalam bentuk tegangan (volt).

Berdasarkan data hasil pembacaan mikrokontroler, dapat dianalisis karakteristik sensor magnetik pada percobaan satu dan dua sebagai berikut :

4.1 Fungsi transfer

Fungsi transfer, adalah fungsi yang menunjukkan hubungan perubahan output terhadap input. Fungsi ini dapat berupa persamaan linier, polinomial, maupun eksponensial. Dari kedua percobaan yang telah dilakukan didapatkan bahwa fungsi transfer sensor magnetic berupa persamaan polinomial orde

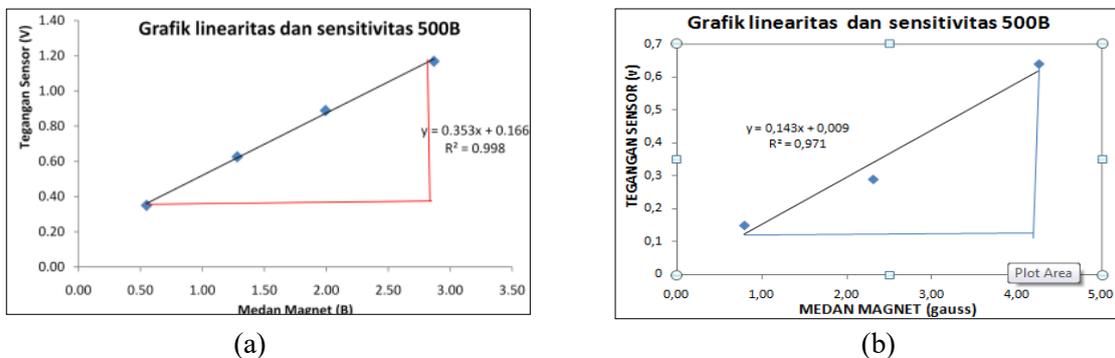


Gambar 4 Fungsi transfer (a) percobaan pertama dan (b) percobaan kedua.

4.1. *Repeatability dan Uncertainty*

Pengukuran flux magnet menggunakan sensor magnetik dilakukan dengan sepuluh kali pengulangan untuk mendapatkan pengukuran yang presisi. Repeatability menunjukkan nilai yang relatif sama. Pada percobaan pertama Pengukuran menggunakan sensor magnetik 300A memiliki selisih pengukuran yang terbesar yaitu 9,83% pada kuat arus 0,02mA. Sedangkan pada percobaan kedua pengukuran menggunakan sensor medan magnetik 500A memiliki selisih pengukuran sebesar 2,43% pada jarak 3 cm.

4.2 *Linearitas dan Sensitivitas*



Gambar 5 Grafik linearitas dan sensitivitas (a) percobaan pertama dan (b) percobaan kedua.

Linearitas sensor terjadi pada rentang pengukuran 0,5 gauss sampai dengan 3gauss pada percobaan pertama sedangkan percobaan kedua linearitas sensor terjadi pada rantang pengukuran 0,9 sampai 4 gauss seperti yang terlihat pada gambar 5. Hal ini menunjukkan bahwa daerah tersebut merupakan daerah pengukuran yang paling baik bagi sensor magnetik dengan metode induksi. Dari daerah linearitas sensor magnetik dapat diketahui sensitivitas sensor magnetik dengan cara pendekatan menggunakan persamaan linear. Pada percobaan pertama diperoleh nilai sebagai berikut :

$$y = 0,353x + 0,166 \tag{3}$$

Dengan memasukkan nilai $x=1$ ke dalam masing-masing persamaan linier maka diperoleh nilai y sebagai sensitivitas sensor sebesar 519 mV/G.

Sedangkan pada percobaan kedua nilainya sebagai berikut :

$$y = 0,143x + 0,009 \tag{4}$$

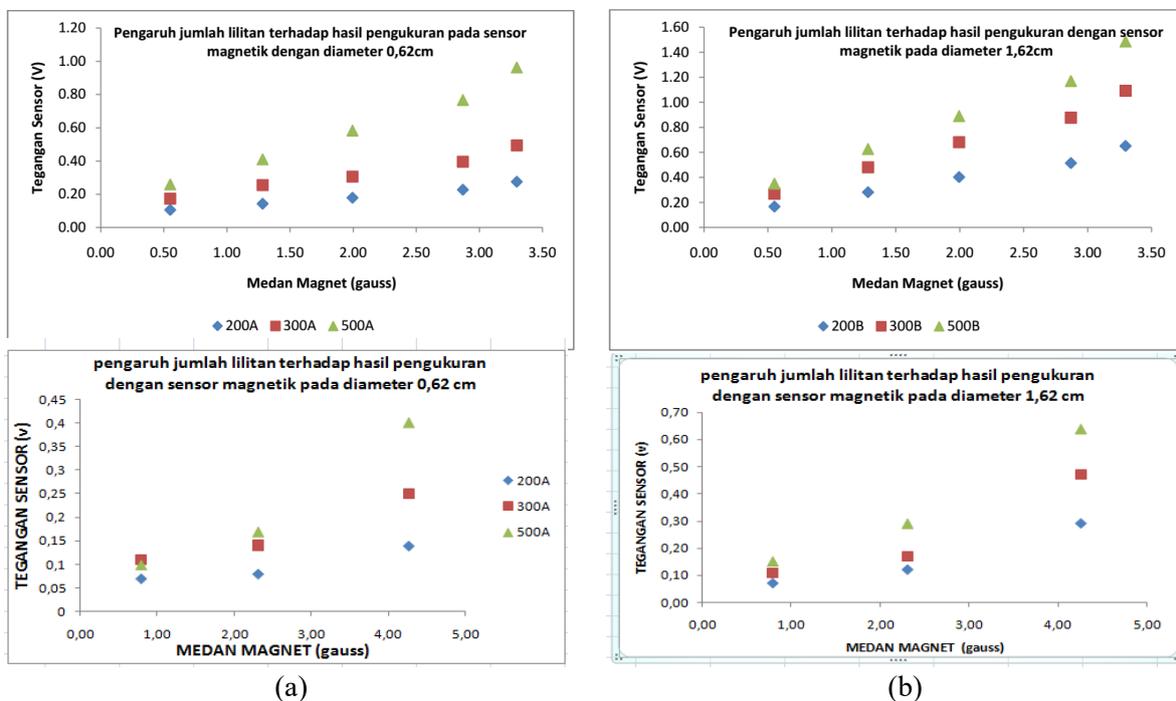
Dengan memasukkan nilai $x=1$ ke dalam masing-masing persamaan linear maka diperoleh nilai y sebagai sensitivitas sensor sebesar 152 mV/G.

4.3 Histerisis

Dalam penelitian ini sensor magnetik tidak menunjukkan adanya peristiwa histerisis karena sensor magnetik tidak mengandung bahan yang termasuk pada golongan diamagnetik, paramagnetik dan feromagnetik. Peristiwa histerisis dapat diabaikan pada pengukuran flux magnet menggunakan sensor magnetik. Hal ini yang menjadi kelebihan dari sensor magnetik.

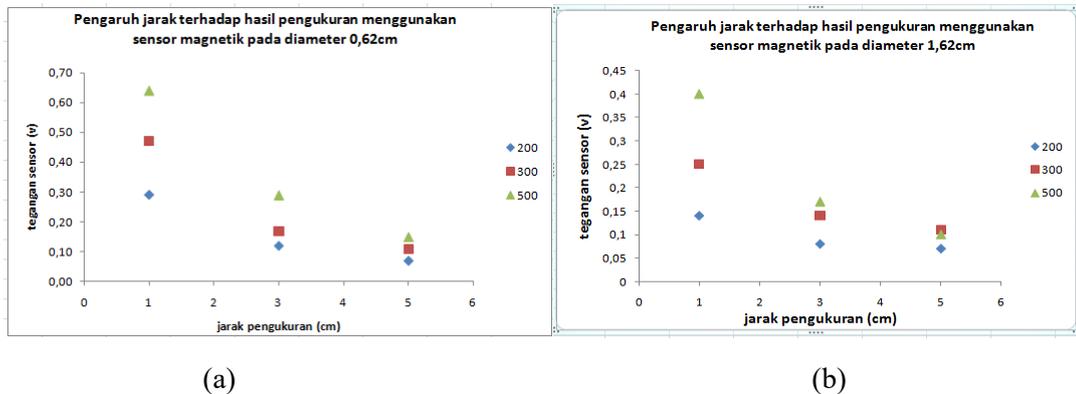
4.4 Hasil pengukuran

Hasil pengukuran flux magnet dengan variasi jumlah lilitan dan diameter luas tampang lintang kumparan pada percobaan pertama ditunjukkan oleh gambar 6 dan percobaan kedua ditunjukkan oleh gambar 7.



Gambar 6 Grafik pengukuran medan magnet menggunakan sensor magnetik dengan diameter (a) 0,62 cm dan (b) 1,62 cm.

Dari grafik diatas teramati nilai GGL induksi yang dihasilkan oleh setiap sensor magnetik dengan jumlah lilitan 200, 300 dan 500 memiliki perbedaan pada kuat arus yang sama (lihat lampiran D). Perbedaan nilai GGL induksi (v) pada arus yang sama disebabkan oleh jumlah lilitan N dan nilai diameter luas tampang lintang kumparan (A) karena nilai medan magnet (B) merupakan nilai yang sama. Sensor magnetik dengan diameter 0,62cm dan 1,62cm yang memiliki nilai GGL induksi (v) yang paling besar adalah sensor magnetik dengan jumlah lilitan 500. Hal ini sesuai dengan teori faraday dimana, semakin banyak jumlah lilitan maka semakin besar pula nilai GGL induksi(v) yang dihasilkan.



Gambar 7 Grafik pengukuran medan magnet menggunakan sensor magnetik dengan diameter (a) 0,62 cm dan (b) 1,62 cm

Dari grafik diatas teramati nilai GGL induksi yang dihasilkan oleh setiap sensor magnetik dengan jumlah lilitan 200, 300 dan 500 memiliki perbedaan pada jarak pengukuran yang sama. Perbedaan nilai GGL induksi (v) pada jarak pengukuran yang sama disebabkan oleh jumlah lilitan N dan nilai diameter luas tampang lintang kumparan (A) karena nilai medan magnet (B) merupakan nilai yang sama. Sensor magnetik dengan diameter 0,62cm dan 1,62cm yang memiliki nilai GGL induksi (v) yang paling besar adalah sensor magnetik dengan jumlah lilitan 500. Pada percobaan kedua ini menunjukkan bahwa pengukuran medan magnet dipengaruhi oleh jarak pengukurannya. Hal ini sesuai dengan persamaan biot-savart $B = \frac{\mu_0 I}{(2\pi r)}$ dimana, semakin semakin jauh jarak pengukuran maka semakin kecil nilai GGL induksi (v) yang dihasilkan

5. Kesimpulan

Dalam penelitian ini telah berhasil dibuat sensor magnetik yang dapat digunakan untuk mengukur flux magnet. Percobaan pertama dilakukan untuk menentukan fungsi transfer hubungan antara output tegangan sensor terhadap perubahan fluks magnet dengan memberikan variasi nilai arus pada kumparan sumber fluks, diperoleh fungsi transfer dalam bentuk polinomial orde dua. Dari percobaan pertama ini juga diperoleh pengaruh jumlah lilitan dan diameter terhadap sensitifitas sensor, sensitifitas sensor meningkat sebanding dengan jumlah lilitan dan diameter luas tampang lintang kumparan. Percobaan kedua menentukan fungsi transfer hubungan antara output tegangan sensor terhadap perubahan fluks magnet dengan merubah jarak sensor kumparan terhadap kumparan sumber fluks, diperoleh fungsi transfer dalam bentuk polinomial orde dua. Dari percobaan kedua juga diperoleh hasil bahwa semakin jauh jarak pengukuran maka nilai medan magnet semakin kecil. Hal ini sesuai dengan teori dimana, nilai medan magnet berbanding terbalik dengan nilai jarak pengukuran.

Referensi

- [1] A reference
This reference has two entries but the second one is not numbered (it uses the 'Reference (no number)' style.
- [2] Another reference
- [3] More references