

## PENGGUNAAN SENSOR *FLUXGATE* HARMONISA KEDUA UNTUK MENGUKUR MEDAN MAGNETIK SEARAH DUA DIMENSI

Ivan Limansyah dan Mitra Djamal  
Departemen Fisika, Institut Teknologi Bandung  
Jl. Ganesha No. 10, Bandung

### ABSTRAK

**PENGGUNAAN SENSOR *FLUXGATE* HARMONISA KEDUA UNTUK MENGUKUR MEDAN MAGNETIK SEARAH DUA DIMENSI.** Sensor medan magnetik *fluxgate* merupakan solusi dalam pengukuran medan magnetik searah yang besarnya relatif kecil yang murah, akurat dan sederhana. Dengan menambahkan sedikit pengembangan maka sensor ini dapat digunakan untuk mengukur besar dan arah medan magnetik luar. Dengan menambahkan kumparan pendeteksi yang memiliki arah tegak lurus dengan kumparan pendeteksi semula maka dapat dibuat sensor medan magnetik *fluxgate* yang dapat mengukur medan dalam arah dua dimensi.

**Kata kunci :** Sensor medan magnetik lemah, *fluxgate*, dua dimensi

### ABSTRACT

**UTILIZATION OF SECOND HARMONISA *FLUXGATE* FOR TWO DIMENTION DIRECT MAGNETIC FIELD.** Fluxgate magnetic field sensor is a cheap, accurate and simple solution to measure DC external weak magnetic field. With adding some modification, this sensor can be used to measure amplitude and direction of the external magnetic field. By adding another pick up coils that orthogonal with ordinary pick up coils, two dimensions fluxgate magnetic field sensor can be build.

**Key words :** Weak magnetic field sensor, fluxgate, two dimensions

### PENDAHULUAN

Medan magnetik merupakan besaran vektor yang tidak dapat dilihat oleh mata namun keberadaanya dapat dideteksi dengan menggunakan bantuan alat tertentu. Untuk mendeteksi adanya medan magnetik yang ada dan mengetahui besar dan arah medan magnetik tersebut diperlukan suatu sensor.

Ada beberapa jenis sensor magnetik yang dapat digunakan untuk mengukur suatu besaran medan magnetik. Salah satu diantaranya adalah sensor magnetik *fluxgate*. Sensor ini dapat digunakan untuk mengukur medan magnetik searah yang besarnya relatif kecil. Arus pada kumparan yang melilit inti berbentuk cincin menjadi pembangkit medan magnetik referensi serta kumparan yang dililitkan melingkupinya sebagai kumparan pendeteksi medan magnetik yang diukur merupakan elemen penting sensor magnetik *fluxgate*.

### TEORI

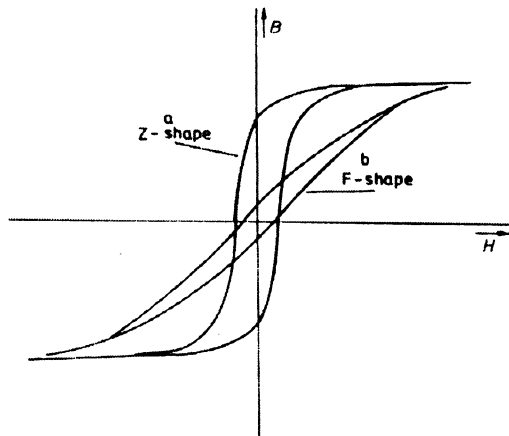
Ada dua macam cara yang dapat dilakukan untuk mengukur besar medan magnetik. Cara yang pertama adalah dengan menggunakan rangkaian elektronik untuk langsung dapat mengukur besarnya medan

magnetik. 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 lainnya 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.

### Metode Harmonisa Kedua

Ada beberapa metode yang dapat digunakan dalam pembuatan sensor *fluxgate* diantaranya adalah metode harmonisa kedua, metode posisi pulsa dan metode tinggi pulsa, tergantung dari kurva magnetisasi inti yang digunakan. Metode yang digunakan dalam pembuatan sensor *fluxgate* dua dimensi adalah metode harmonisa kedua. Hal ini dikarenakan metode harmonisa kedua merupakan metode yang relatif termudah dibandingkan kedua metode lainnya

Kurva magnetisasi bahan dapat didekati dengan



Gambar 1. Kurva magnetisasi suatu bahan (a) bentuk Z (b) bentuk F

menggunakan beberapa pendekatan matematis. Misalnya dengan menggunakan fungsi polinomial, fungsi pemotong linier, dan fungsi trigonometri. Fungsi tersebut dipilih berdasarkan kurva magnetisasi bahan. Kurva magnetisasi Z dapat didekati dengan kedua fungsi pertama, sedangkan kurva magnetisasi F dapat didekati dengan fungsi terakhir.

Pendekatan polinomial dapat digunakan untuk menghitung sinyal harmonisasi kedua yang terkandung dalam sinyal keluaran sensor. Pada satu cabang, kurva magnetisasi dapat didekati dengan menggunakan fungsi polinomial berikut :

$$b_1(h) = a_0 + a_1h + a_2h^2 + a_3h^3 + \dots + a_nh^n \quad (1)$$

Pendekatan matematika terhadap polinomial dan menggunakan prinsip kesimetrian maka diperoleh fungsi [1].

$$b(h) = a_1h - a_3h^3 \quad (2)$$

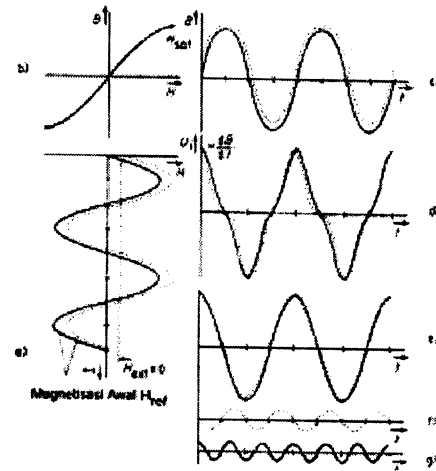
### Prinsip Kerja Sensor Fluxgate Harmonisa Kedua

Sensor terdiri dari sebuah inti yang mudah tersaturasi, kumparan primer sebagai penghasil medan magnetik referensi dan kumparan sekunder sebagai pendeteksi medan magnetik eksternal. Kumparan primer diberi sinyal periodik sehingga inti dalam keadaan saturasi secara periodik.

Bila ada medan magnetik eksternal yang sejajar dengan kumparan sekunder maka medan magnetik pada inti merupakan penjumlahan medan magnetik referensi dengan medan magnetik eksternal.

Kumparan sekunder berfungsi menangkap perubahan medan magnetik yang dihasilkan terhadap waktu. Fungsi tersebut terlihat seperti sinyal cacat karena memiliki komponen tambahan (Gambar 2d).

Medan magnetik eksternal yang sejajar terhadap inti ditambahkan pada medan referensi awal. Medan



- Medan magnetisasi awal
- Kurva magnetisasi
- Induksi dalam inti
- Tegangan keluaran lilitan sekunder
- Tegangan keluaran harmonisa pertama
- Tegangan keluaran harmonisa kedua
- Tegangan keluaran harmonisa ketiga
- Garis putus-putus menggambarkan sinyal yang mengandung medan magnetik eksternal

Gambar 2. Prinsip dasar sensor magnetik fluxgate dengan menggunakan harmonisasi kedua

magnetik ini menyebabkan ketidaklinieran rapat fluks magnet dalam inti. Kurva pada daerah maksimum akan menjadi lebih lebar dan rata sedangkan pada bagian minimum akan lebih sinusoidal. Sinyal yang mengandung medan magnetik eksternal hanyalah sinyal harmonisasi kedua.

Fungsi transfer dapat ditentukan dengan menggunakan pendekatan polinomial, dan mencari komponen frekuensi yang mengandung medan magnetik eksternal.

Anggap bahwa inti linier dan akan tersaturasi oleh medan sinusoidal :

$$H_{ref} = H_{ref\ max} \sin \omega t$$

Besar medan magnetik internal adalah

$$h_{int} = h_{ext} + h_{ref\ max} \sin \omega t \quad (3)$$

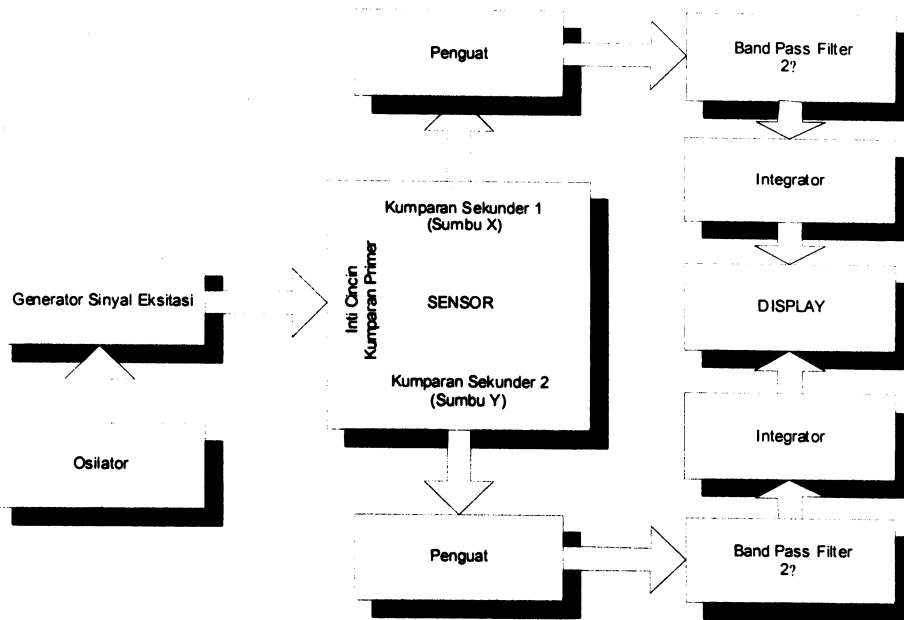
Dengan menggunakan pendekatan polinomial kurva magnetisasi bahan orde 3

$$b(h) = a_1h - a_3h^3 \quad (4)$$

dengan nilai b adalah rapat fluks ternormalisasi. Bila persamaan (3) dimasukkan kedalam persamaan (4) maka akan diperoleh rapat fluks ternormalisasi :

$$b = a_1h_{ext} + a_1h_{ref\ max} \sin \omega t - a_3(h_{ext} + h_{ref\ max} \sin \omega t)^3 \quad (5)$$

atau diuraikan menjadi seperti persamaan (6) dibawah ini :



Gambar 3. Diagram blok sensor fluxgate 2 dimensi

$$b = a_1 h_{ext} - a_3 h_{ext}^3 - \frac{3}{2} a_3 h_{ext} \cdot h_{ref\ max}^2 + \left( a_1 h_{ref\ max} - 3a_3 h_{ext}^2 h_{ref\ max} - \frac{3}{4} a_3 h_{ref\ max}^3 \right) \sin \omega t - \frac{3}{2} a_3 h_{ext} h_{ref\ max}^2 \cos 2\omega t + \frac{1}{4} a_3 h_{ref\ max}^3 \sin 3\omega t$$

Tegangan keluaran kumparan sekunder yang merupakan diferensiasi medan magnetik terhadap waktu adalah:

$$U_{out} = -N \frac{d\phi}{dt} = -NA \frac{dB}{dt} \quad (7)$$

Dengan nilai N adalah jumlah lilitan kumparan sekunder dan A adalah luas penampang hamburan pada inti. Tegangan keluaran kumparan sekunder dapat digantikan dengan tegangan ternormalisasi :

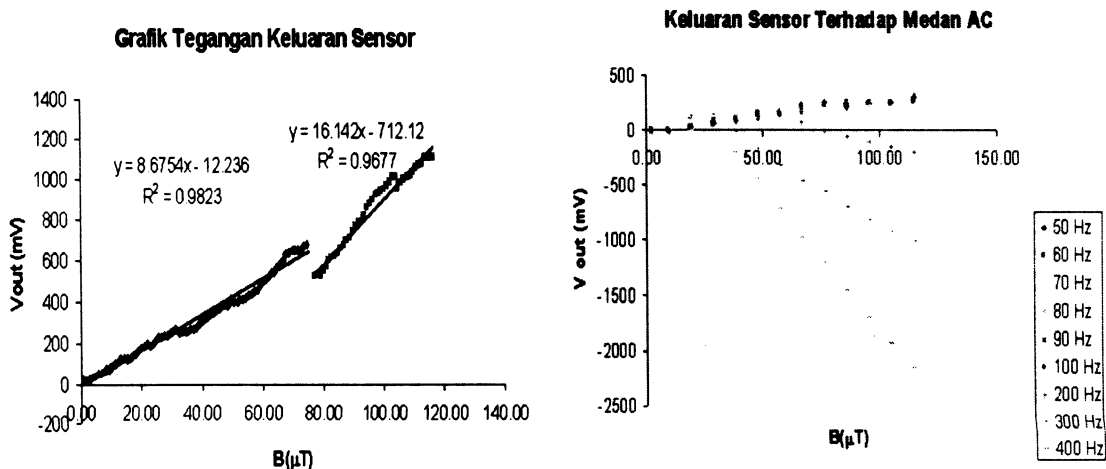
$$u_{out} = -\frac{U_{out}}{NA} = \frac{dB}{dt} = B_0 \cdot \frac{db}{dt} \quad (8)$$

Bila persamaan ini disubstitusikan dengan persamaan (6) maka akan diperoleh persamaan (9) seperti dibawah ini :

$$u_{ou} = B_0 \omega \left( a_1 h_{ref\ max} - 3a_3 h_{ext}^2 h_{ref\ max} \right) \cos \omega t + 3B_0 \omega a_3 h_{ext} h_{ref\ max}^2 \sin 2\omega t + \frac{3}{4} B_0 \omega a_3 h_{ref\ max}^3 \cos 3\omega t$$

Setelah melewati filter lolos pita  $2\omega$  atau detektor sinkronisasi, tegangan keluaran sensor adalah

$$U_{out} = -3B_0 NA \omega a_3 h_{ext} h_{ref\ max}^2 \sin 2\omega t \quad (10)$$



Gambar 4. Kurva keluaran sensor serta pengaruhnya terhadap medan magnetik eksternal bolak-balik

## **METODE PERCOBAAN**

### **Cara Kerja Elektronik**

Sinyal dengan frekuensi  $\omega$  dibangkitkan oleh osilator lalu diolah menjadi sinyal eksitasi yang mampu menghasilkan medan magnet referensi pada inti yang berbentuk cincin. Kumparan sekunder sepanjang sumbu x dan sepanjang sumbu y masing-masing membungkus inti cincin tersebut mendeteksi perubahan medan magnetik pada inti cincin akibat medan magnetik referensi dan medan magnetik eksternal terhadap waktu dalam arah dua dimensi. Masing-masing sinyal keluaran tiap kumparan dikuatkan dan selanjutnya menuju kepada tapis lolos pita  $2\omega$  untuk mengambil komponen harmonisa kedua. Keluaran dari tapis lolos pita selanjutnya diintegrasikan oleh integrator agar dapat diubah menjadi tegangan DC yang selanjutnya ditampilkan.

## **HASIL**

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat dibuat grafik tegangan keluaran sensor dengan medan magnetik eksternal serta pengaruhnya terhadap medan magnetik eksternal bolak-balik, seperti pada Gambar 4.

Dari kurva diatas apat disimpulkan bahwa sensor linier sampai dengan frekuensi 100 Hz.

## **KESIMPULAN**

Dari penelitian yang dihasilkan dapat disimpulkan beberapa hal diantaranya adalah :

1. Sensor medan magnetik *fluxgate* baik untuk mengukur medan magnetik searah yang besarnya kecil, dengan cara yang ekonomis, sederhana serta memiliki akurasi dan linieritas yang relatif baik.
2. Sensor medan magnetik *fluxgate* dapat mengukur besar dan arah vektor medan magnet eksternal dalam bentuk satu, dua maupun tiga dimensi.
3. Frekuensi kerja sensor terbatas karena medan magnet yang dapat dideteksi dengan linier oleh sensor adalah medan magnetik searah atau medan magnetik dengan frekuensi rendah.

## **DAFTAR ACUAN**

- [1]. GOPEL, W., *Sensors a Comprehensive Survey Volume 5 Magnetic Sensors*, VCH, Weinheim (1989)
- [2]. LIMANSYAH, I. Perancangan Sensor Medan Magnetik Fluxgate Inti Cincin Dengan Metode Harmonisa Kedua, *Laporan Tugas Akhir*, Departemen Fisika ITB (2003)
- [3]. LIMANSYAH, I., MITRA DJAMAL, AC External Magnetic Field Detection With Fluxgate Magnetometer, *Proceeding Seminar Instrumentasi Berbasis Fisika*, Departemen Fisika ITB, (2003)

- [4]. MIEN, S., Studi Awal Perancangan Sensor Magnetik Fluxgate Dengan Inti Cincin, *Laporan Tugas Akhir*, Departemen Fisika ITB, Bandung (2001)
- [5]. PRIMDAHL, F., The Fluxgate Magnetometer, *J. Phys. E : Sci. Instrum*, **12**, (1979)