

PENGUKURAN KUAT ARUS PADA KAWAT DENGAN MENGGUNAKAN SENSOR MEDAN MAGNETIK FLUXGATE

Rahmondia Nanda Setiadi*, Usman Malik, Lazuardi Umar

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Riau, Pekanbaru 28293, Indonesia

*E-mail korespondensi: rahmondia.nanda@unri.ac.id

ABSTRACT

Current measurement is normally carried out using an amperemeter and the instrument is serially installed in the circuit, so that it becomes a part of the measured system. As a consequence, a power dissipation is occurred in the instrument that can cause some damages and it also opens the possibility of the measurement error due to the loading effect. In this study, it has been developed a non-contact current measurement method by utilizing a fluxgate magnetic field sensor. The measurement employs the surrounding magnetic field around a current carrying wire. By using a very sensitive magnetic sensor, the magnitude and the direction of the flowing current can be known. From the results, the measurement has a good achievement, which can measure the flowing current up to 1 A. In this paper, it will be described the basic and the application of the fluxgate magnetic field sensor for current measurement.

Keywords: Current, measurement, magnetic field, magnetic sensor, fluxgate.

ABSTRAK

Pengukuran kuat arus biasanya dilakukan dengan menggunakan amperemeter dan alat ukur dipasang seri dengan rangkaian, sehingga berada di dalam sistem yang diukur. Akibatnya akan terjadi disipasi daya pada alat ukur yang dapat merusak dan kemungkinan adanya kesalahan pengukuran akibat efek pembebanan. Pada studi ini telah dikembangkan metode pengukuran kuat arus non-kontak dengan menggunakan sensor medan magnetik fluxgate. Pengukuran ini memanfaatkan adanya medan magnetik yang ada di sekitar kawat berarus. Dengan menggunakan sensor magnetik yang sangat sensitif, besar arus yang mengalir pada kawat tersebut dapat diukur dan diketahui arahnya. Dari hasil yang diperoleh, pengukuran kuat arus menggunakan sensor magnetik ini memberikan hasil yang baik dan dapat mengukur arus hingga 1 A. Dalam makalah ini dipaparkan prinsip dan aplikasi sensor medan magnet fluxgate untuk pengukuran kuat arus pada kawat.

Kata kunci: Arus, pengukuran, medan magnetik, sensor magnetik, fluxgate.

PENDAHULUAN

Pengukuran arus merupakan hal yang sangat penting dalam rangkaian listrik dan rangkaian alat ukur menggunakan sensor yang mempunyai keluaran dalam bentuk arus. Ada banyak metoda yang dapat digunakan untuk mengukur besar kuat arus pada rangkaian listrik. Metoda yang umum digunakan adalah metoda *shunt resistor*, di mana pada metoda ini alat ukur berada di dalam rangkaian yang akan diukur. Metoda ini memiliki beberapa kerugian diantaranya adalah terjadinya disipasi daya pada alat ukur yang dapat menyebabkan terjadinya kerusakan pada alat ukur, selain itu dengan adanya resistor *shunt* pada alat ukur akan terjadi pembebanan yang akan

mengakibatkan terjadinya kesalahan pada pengukuran [1]. Pengukuran ini juga tanpa isolasi sehingga sangat berbahaya untuk arus yang bertegangan tinggi.

Berdasarkan kerugian-kerugian tersebut, maka diperlukan solusi untuk memecahkan permasalahan-permasalahan tersebut. Salah satu metoda yang dapat digunakan adalah dengan menggunakan sistem pengukuran arus non-kontak melalui medan magnetik. Metoda ini menawarkan pengukuran yang terisolasi dari rangkaian yang diukur sehingga kerusakan alat ukur dapat dihindari, tidak terjadi pembebanan, dan menjamin keamanan dari sengatan listrik tegangan tinggi.

TINJAUAN PUSTAKA

Arus yang mengalir pada suatu kawat dapat menyebabkan medan magnetik induksi di sekeliling kawat. Jika kawat tersebut berbentuk lurus, maka medan induksi yang tercipta berbentuk lingkaran yang pusatnya berada pada lingkaran tersebut. Arah medan magnetik pada lingkaran tersebut ditentukan oleh aturan tangan kanan [2].

Untuk menentukan besar medan magnetik di sekitar kawat tersebut, dapat digunakan hukum Biot-Savart. Hukum ini menyimpulkan bahwa besar medan magnetik yang disebabkan oleh kawat berarus I dengan elemen panjang dl , pada sebuah titik P adalah

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2} \quad (1)$$

dimana μ_0 adalah permeabilitas ruang vakum dan r adalah jarak antara titik P dan dl . Jika jarak terdekat kawat dengan titik tersebut adalah z , maka persamaan (1) dapat disederhanakan menjadi

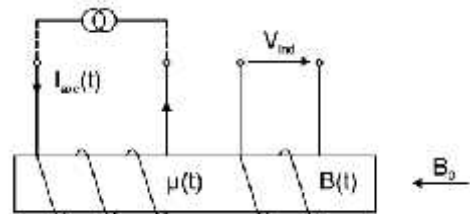
$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi z} \quad (2)$$

Jadi, dengan persamaan ini dapat dilihat bahwa arus yang mengalir (I) berbanding lurus dengan medan magnetik dan berbanding terbalik dengan jarak antara titik pengamatan P dan kawat (z).

Sensor medan magnetik fluxgate merupakan sensor medan magnetik vektorial yang sangat sensitif terhadap medan magnetik, mudah dibuat, berbiaya rendah, dan sangat ringkas. Sensor ini dapat mengukur medan magnetik dengan resolusi hingga 100 pT dan mempunyai noise yang sangat rendah hingga 10 pT/ $\sqrt{\text{Hz}}$ pada 10 Hz. Sensor ini hanya tidak lebih baik dari sensor magnetik SQUID dan *optically pumped* [3] dan jauh lebih baik dari sensor Hall, GMR, AMR, dan GMI, sehingga sensor ini dapat diandalkan untuk mengukur medan magnetik yang sangat kecil yang

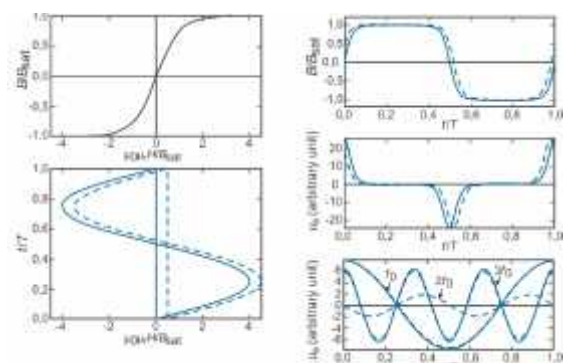
berasal dari kawat berarus.

Sensor fluxgate sederhana terdiri dari dua buah coil yaitu coil eksitasi dan coil *pick-up* [4]. Konfigurasi sederhana sensor ini mirip dengan konfigurasi pada transformator seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Konfigurasi sederhana sensor fluxgate [5].

Kedua coil dililitkan pada material inti ferromagnetik yang memiliki permeabilitas yang sangat tinggi mencapai 10^5 dan medan induksi saturasi yang cukup rendah, sehingga mudah mengalami saturasi. Ketidaklinieran fluks medan magnetik inti terhadap medan magnetik akibat eksitasi merupakan dasar dari sensor ini. Untuk itu material harus tereksitasi untuk melewati kurva tidak linier tersebut. Prinsip pengukuran medan magnetik oleh sensor fluxgate dapat dilihat dari Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Prinsip pengukuran medan magnetik oleh sensor fluxgate [6].

Material inti sensor dieksitasi hingga mengalami saturasi. Jika terdapat medan magnetik di sekeliling sensor, maka medan eksitasi akan memiliki ofset. Sehingga medan induksi akan mengalami asimetri. Ketidaksimetrian ini akan menimbulkan gelombang harmonik genap yang merepresentasikan besar medan magnetik luar

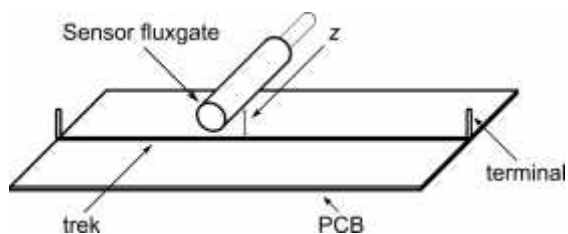
yang dideteksi. Gelombang harmonik yang sangat besar dipengaruhi oleh medan magnetik adalah harmonik kedua, sehingga harmonik kedua sering digunakan sebagai representasi medan magnetik yang dideteksi. Tegangan keluaran (V_0) dari sensor fluxgate sesuai dengan persamaan [7]

$$V_0 = -N \mu_0 H_{ext} A \frac{d\tilde{z}(t)}{dt} \quad (3)$$

dimana N adalah jumlah lilitan koil *pick-up*, H_{ext} adalah medan magnetik, A adalah luas penampang koil *pick-up*, dan μ_r adalah permeabilitas relatif material inti sensor.

METODE

Pengujian metode pengukuran dilakukan dengan cara mengukur medan magnetik di sekitar kawat berarus menggunakan sensor medan magnetik fluxgate. Sebagai kawat berarus, digunakan sebuah trek pada papan PCB dengan panjang 20 cm dan lebar 2 mm. Sensor magnetik diletakkan di atas trek tersebut dengan jarak yang bervariasi untuk melihat respon jarak terhadap pengukuran. Arah deteksi sensor diposisikan tegak lurus dengan trek, sehingga diharapkan medan yang terdeteksi dapat mencapai nilai maksimum karena sejajar dengan arah deteksi sensor. *Set-up* pengukuran dapat dilihat pada Gambar 3. Terminal-terminal di ujung trek dihubungkan ke sumber arus pada kalibrator Fluke 5100B.



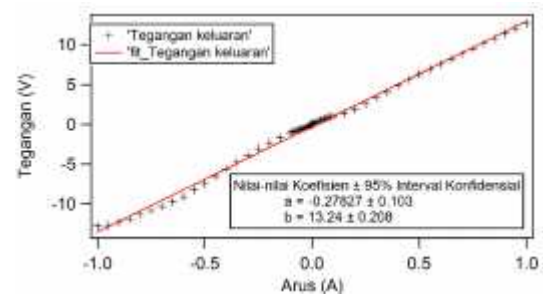
Gambar 3. *Set-up* pengukuran.

Arus dialirkan ke dalam trek dengan interval tertentu mulai dari -1 A hingga +1A. Interval yang digunakan adalah 10 mA untuk arus di bawah 100 mA dan 50 mA untuk arus di atas 100 mA. Pengukuran dilakukan dengan

tiga variasi jarak, yaitu 4 mm, 8 mm, dan 18 mm. Tiga variasi jarak ini dipilih karena ideal dengan ukuran sensor yang digunakan, dan tiga variasi telah cukup memberikan respon yang memadai untuk pengukuran arus terhadap jarak.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk menguji respon kuat arus pada kawat, pengukuran dilakukan pada jarak 8 mm. Jarak ini merupakan jarak yang ideal untuk pengukuran tersebut karena memberikan rentang nilai tegangan keluaran yang sesuai dengan tegangan keluaran komponen elektronik yang digunakan. Hasil pengukuran ini dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil pengukuran arus pada kawat.

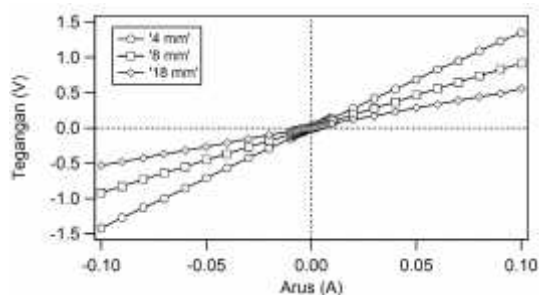
Berdasarkan kurva pada gambar tersebut, terlihat bahwa tegangan keluaran sensor fluxgate linier terhadap kuat arus yang mengalir pada kawat meskipun terlihat adanya kesalahan pengukuran yang cukup besar untuk arus yang bernilai negatif. Ini menunjukkan bahwa sensor magnetik fluxgate dapat digunakan untuk pengukuran arus dan respon yang diberikan sesuai dengan persamaan (2) dan (3). Kesalahan yang cukup besar pada pengukuran arus negatif diduga berasal dari ketidaksimetrian sensor fluxgate yang dibuat sendiri. Persamaan linier yang merepresentasikan tegangan keluaran sensor adalah

$$V_0 = 13.24I - 0.278 \quad (4)$$

V dalam volt dan I dalam amper. Dari

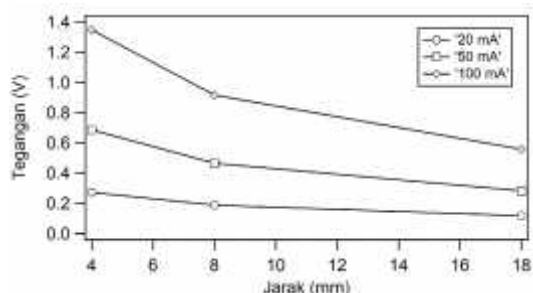
persamaan ini terlihat bahwa tegangan keluaran sensor memiliki sensitivitas dan ofset sebesar 13.24 V/A dan 0.278 V. Nilai sensitivitas sebesar ini memadai untuk mengukur arus yang cukup kecil dalam orde mA. Nilai *offset* yang cukup besar diakibatkan berasal dari medan magnetik lingkungan (medan magnetik bumi) yang terdeteksi oleh sistem pengukuran. Untuk mengatasi masalah ini sebaiknya pengukuran dilakukan di dalam ruangan metal yang terisolasi dari medan magnetik lingkungan yang terbuat dari bahan feromagnetik.

Pengukuran kuat arus dengan variasi jarak yang berbeda-beda ditujukan untuk melihat kesesuaian persamaan (2) dengan eksperimen yang dilakukan, selain itu juga ditujukan untuk menentukan jarak yang paling baik untuk pengukuran arus. Hasil pengukuran terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengukuran arus dengan variasi jarak sensor fluxgate.

Kurva-kurva pada gambar 5 menunjukkan bahwa terdapat perubahan respon jarak sensor terhadap tegangan keluaran sensor. Jarak yang terdekat memberikan respon yang besar, yang ditandai dengan besarnya gradien kurva yang dimiliki, begitu juga untuk jarak yang terjauh yang memberikan gradien terkecil. Respon tegangan keluaran terhadap jarak untuk beberapa nilai arus ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Respon jarak terhadap tegangan keluaran sensor.

Dari kurva-kurva yang ditampilkan terlihat bahwa tegangan berbanding terbalik dengan jarak. Ini menunjukkan kesesuaian antara pengukuran dengan persamaan (2). Walaupun demikian terlihat bahwa penurunan tegangan terhadap jarak kurang linier. Penyebab ini tidak diketahui secara pasti, tetapi kemungkinan berasal dari penentuan jarak yang kurang tepat.

KESIMPULAN

Telah ditunjukkan bahwa sensor magnetik fluxgate dapat digunakan untuk mengukur arus secara non-kontak. Pengukuran yang telah dilakukan dapat menunjukkan hubungan tegangan keluaran sensor fluxgate sebagai representasi dari medan magnetik dengan besar arus dan jarak antara sensor dan kawat berarus, dimana secara teoritis ditentukan oleh persamaan (2) dan (3). Studi ini memungkinkan untuk mengaplikasikan sensor magnetik fluxgate untuk pengukuran arus dengan resolusi yang cukup kecil dalam orde mA.

REFERENSI

1. Wildian. (2002). Sistem Pengukuran Arus DC Berbasis GMR, *Thesis Magister*, Departemen Fisika, ITB, Bandung.
2. Van Domelen, D. J. (1999). Artificial right-hand rule device. *The Physics Teacher*, **37**(8), 500–501.
3. Pavel, R. (2010), Advances in Magnetic Field Sensors, *IEEE Sens. J.*, **10**(6), 1108 – 1116.
4. Ye, W., Zhu, W., Le Z., & Fang, G. (2016), A Quantitative Model for the Sensitivity of Untuned Voltage Output Fluxgate Sensors, *IEEE Sens. J.*, **16**(22), 7876 – 7883.

5. Pavel, R. (2003), Advances in fluxgate sensors, *Sens. Actuators A*, **106**, 8-14.
6. Ludwig, F. (2018), Induktionsspulen und fluxgate-sensoren, *Presentation Handout EMG*, Technische Universitaet Braunschweig.
7. Kubik, J. & Ripka, P. (2008). Racetrack fluxgate sensor core demagnetization factor, *Sens. Actuators A*, **143**, 237-244.