

# PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI DATA LOGGER PADA SISTEM DETEKSI PERANGKAT ELEKTROMAGNETIK INDUKSI

Widyaningrum Indrasari<sup>1\*)</sup>, Rahmondia Nanda<sup>2</sup>, Mitra Djamal<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Jakarta, Jl Pemuda 10 Rawamangun, Jakarta 13220

<sup>2</sup>Jurusan Fisika, Universitas Riau, Kampus Bina Widya, Simpang Baru km 12,5 Pekanbaru, Riau 28293

<sup>3</sup>Departemen Fisika FMIPA Institut Teknologi Bandung, Jl Ganesha No 10 Bandung, 40132

\*) Email: Widyaningrum-indrasari@unj.ac.id

## Abstrak

Telah dilakukan pembuatan dan karakterisasi data logger sebagai perangkat akuisisi data digital pada sistem deteksi elektromagnetik induksi. Perangkat dibangun menggunakan ADC (*Analog to Digital Converter*) 16-bit dengan kecepatan 500 kilo samples per second (ksps). Untuk mengendalikan kerja ADC digunakan prosesor jenis mikrokontroler ATmega64A, sementara sebagai rangkaian pendukung kerja sistem digunakan multiplexer, rangkaian penguat, filter aktif lolos rendah Sallen Key tipe Butterworth, dan program antar muka. Sistem akuisisi data yang dibangun dapat merekam sinyal dengan frekuensi maksimum 10 kHz dari empat saluran masukan (*channel*). Rentang tegangan yang digunakan adalah  $\pm 2,5$  Volt dengan resolusi ADC  $76 \mu\text{V}$ , dan dapat mengakuisisi data setiap  $2 \mu\text{s}$ . Hasil karakterisasi menggunakan input tegangan DC dari kalibrator diperoleh kurva keluaran ADC masing-masing *channel* mempunyai persamaan yang cukup identik dengan gradien sebesar 0,90. Sedangkan hasil karakteristik ADC terhadap sumber tegangan AC dari sensor magnetik fluxgate, menunjukkan adanya distorsi pada sinyal dengan frekuensi  $> 6$  kHz.

## Abstract

It has been made and characterized data logger as a digital data acquisition devices on the electromagnetic induction detection system. This device was built using the ADC (*Analog to Digital Converter*) of 16-bit with the speed of 500 kilo samples per second (KSPS). The processors of microcontroller ATmega64A used as a controller of ADC's working. Several electronics circuits was used as a working supporting system, there are a multiplexer circuit, an amplifier circuit, an active low pass filter (Sallen-Key filter type Butterworth), and the interface program. Data acquisition system consists of four channels which is able to record the signal with a maximum frequency of 10 kHz. The working voltage range used is  $\pm 2.5$  Volts, with ADC's resolution of  $76 \mu\text{V}$ , and able to obtain data every  $2 \mu\text{s}$ . The characterization result of ADC's output using a DC voltage input from the calibrator, obtained that ADC output curve of each channel identical equation with a gradient of 0.90. Meanwhile the characterization result of ADC's output using the AC voltage source of fluxgate magnetic sensors, showed a distortion in a signal with a frequency  $> 6$  kHz.

**Keywords:** *electromagnetic induction, data logger, ADC, resolution, fluxgate*

## 1. Pendahuluan

Metode induksi elektromagnetik merupakan salah satu metode deteksi non destruktif untuk karakterisasi sifat fisika tanah dengan memanfaatkan gelombang elektromagnetik. Sebuah perangkat sistem induksi elektromagnetik umumnya tersusun dari dua bagian, transmiter dan receiver. Transmitter berfungsi sebagai pembangkit medan elektromagnetik primer terdiri dari instrumen pembangkit sinyal sinusoida, penguat daya, dan solenoid [1]. Sementara receiver sebagai detektor medan elektromagnetik sekunder tersusun atas sistem sensor fluxgate, pengolah sinyal analog, data logger, dan *personal computer* (PC).

Salah satu kelebihan metode induksi elektromagnetik adalah jangkauan kedalaman

investigasi yang cukup lebar, dari orde meter (dangkal) hingga kilometer [2], bergantung frekuensi medan primer dan pada pemilihan metodologi survey. Penentuan rentang frekuensi kerja pada pembangkit medan magnet primer dan detektor medan elektromagnetik sekunder disesuaikan dengan kedalaman target yang dituju, yaitu menggunakan konsep dasar *skin depth* dengan persamaan [3] :

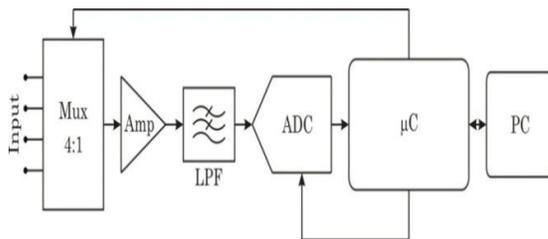
$$\delta \approx 503 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \text{ m} \quad (1)$$

Tampak bahwa kedalaman target berbanding terbalik dengan frekuensi sinyal, semakin dangkal target diperlukan frekuensi sinyal yang lebih tinggi [4].

Pada makalah ini dipaparkan proses pembuatan dan karakterisasi data *logger* yang difokuskan untuk deteksi target material menggunakan metode elektromagnetik induksi pada kedalaman dangkal.

## 2. Metode Penelitian

Data logger yang dibangun pada perangkat akuisisi data ini berfungsi untuk menerima tegangan analog dari pengolah sinyal sensor magnetik, kemudian mengkonversinya menjadi bilangan digital. Bilangan digital ini dapat disimpan dalam pemroses digital ataupun komputer. Rangkaian digital yang digunakan adalah ADC (*Analog to Digital Converter*) 16-bit dengan kecepatan 500 *kilo samples per second* (ksp). Resolusi ADC 16-Bit ini cukup besar sehingga memungkinkan ADC mampu mendeteksi tegangan yang kecil walaupun rentang tegangan masukan cukup besar sehingga pembacaan tegangan masukan lebih akurat. Untuk mengendalikan kerja ADC dalam akuisisi data digunakan prosesor jenis mikrokontroler ATmega64A. Mikrokontroler ( $\mu$ C) ini memiliki banyak saluran *port* I/O untuk mengakomodasi *interface* ADC. Untuk mendukung kerja sistem diperlukan rangkaian lain yaitu multiplexer (Mux), rangkaian penguat (Amp), filter (LPF), dan *interface* ke computer (PC) [5]. Diagram blok sistem rangkaian digital ditunjukkan pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Skema rangkaian digital sensor

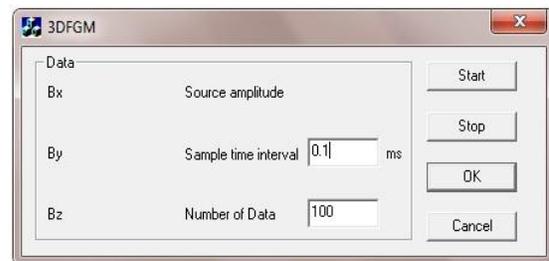
Multiplexer merupakan piranti yang digunakan mengakomodasi banyak masukan dengan hanya satu keluaran. Masukan dari multiplexer adalah tegangan keluaran dari pengolah sinyal analog sensor 1, sensor 2, dan sensor 3, serta tegangan keluaran dari transmiter arus. Tegangan keluaran multiplexer akan diperkuat oleh rangkaian penguat. Rangkaian penguat ini diperlukan karena hambatan pada multiplexer cukup besar sehingga akan mudah terjadi jatuh tegangan pada sinyal keluaran multiplexer. Dengan memperkuat sinyal keluaran multiplexer, maka impedansi keluaran sinyal mengecil sehingga tidak mudah terbebani.

Tegangan keluaran dari rangkaian penguat selanjutnya dilewatkan pada sebuah filter aktif lolos rendah Sallen Key tipe Butterworth. Penggunaan filter ini untuk menghilangkan noise-noise dengan frekuensi tinggi yang akan mengganggu pembacaan ADC. Frekuensi kutub filter adalah 100 kHz, cukup jauh di atas frekuensi sinyal dari sensor (10 kHz),

sehingga tidak mengganggu frekuensi sinyal yang akan direkam.

Mikrokontroler bekerja mengatur kerja sistem secara keseluruhan. Mulai dari pengaturan multiplexer, menjalankan ADC, akuisisi data, pengolahan data dan pengiriman data ke PC. Pada ADC sinyal keluaran dari filter diubah ke dalam bentuk digital kemudian data disimpan di dalam memori mikrokontroler. Data dari ADC yang berjumlah 16-bit dikirimkan ke mikrokontroler melalui dua buah *port*, karena satu buah *port* mikrokontroler hanya dapat menampung 8-bit data. Untuk masing-masing saluran jumlah data yang disimpan sebanyak 100 buah, sehingga total data yang disimpan adalah 400 data untuk 4 saluran. Data dari keempat masukan dicuplik secara sekuensial, ketika selesai mengambil data pada saluran 1, maka dilanjutkan dengan mengambil data pada saluran 2, dan seterusnya. Walaupun ada perbedaan waktu antara mengambil data dari saluran 1 dan 2, tetapi waktu ini dapat diabaikan karena waktu untuk pengambilan kedua cukup besar yaitu 2  $\mu$ s dibanding 100  $\mu$ s

Setelah semua data dari keempat saluran diambil dan disimpan pada memori mikrokontroler, data kemudian dikirim ke PC melalui *interface serial to USB*. Adapun tampilan *interface* pada PC ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Tampilan interface pada PC

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Kalibrasi Rangkaian Pengolah Sinyal Digital

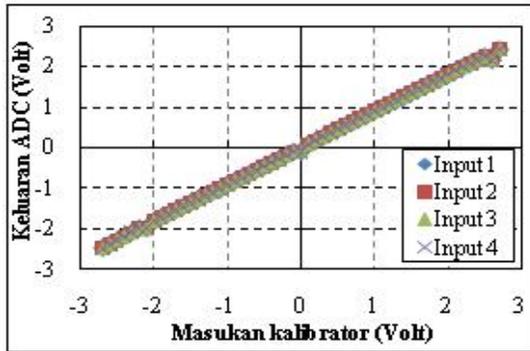
ADC 16-bit dengan kecepatan akuisisi data sebesar 500 ksp yang digunakan pada rangkaian digital sensor ini berada pada kelas menengah dan dapat mengakuisisi data setiap 2  $\mu$ s. Dengan rentang tegangan  $\pm 2,5$  Volt, maka resolusi ADC ini adalah:

$$\frac{5 \text{ Volt}}{2^{16}} = 76 \mu\text{Volt} \quad (2)$$

Resolusi ADC 16-Bit cukup besar sehingga memungkinkan ADC mampu mendeteksi tegangan yang kecil.

Jumlah saluran masukan ADC yang digunakan ada empat, sesuai dengan jumlah input sinyal analog

pada multiplexer. Kalibrasi diperlukan untuk mengetahui karakteristik keluaran ADC terhadap input tegangan analog. Input tegangan analog diberikan secara bersamaan pada keempat input multiplexer, sedangkan output ADC dibaca oleh PC. Hasil kalibrasi tegangan pengukuran rangkaian pengolah sinyal digital untuk empat saluran masukan ditunjukkan pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Kalibrasi tegangan keluaran ADC

Dari Gambar 3 diperoleh persamaan kalibrasi keluaran rangkaian untuk masing-masing output yaitu :

$$V_{01} = 0,901 V_i - 0,006 \quad (3)$$

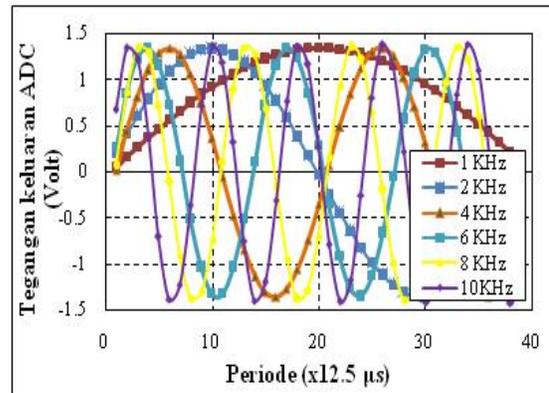
$$V_{02} = 0,903 V_i - 0,006 \quad (4)$$

$$V_{03} = 0,901 V_i - 0,005 \quad (5)$$

$$V_{04} = 0,902 V_i - 0,006 \quad (6)$$

Tampak bahwa keempat output ADC mempunyai karakteristik keluaran yang identik, dengan daerah  $\pm 2,5$  V. Kesalahan relatif pengukuran sebesar 2,67% terjadi pada input tegangan 2,1 V menggunakan saluran masukan 4.

Dengan kecepatan sampling ADC sebesar 500 kps, maka setiap saluran masukan mempunyai kecepatan sampling sebesar 125 kps. Jika diasumsikan jumlah data yang akan direkam pada setiap saluran masukan adalah 10 poin/periode, maka frekuensi maksimum yang dapat direkam oleh alat ini adalah 12,5 kHz.



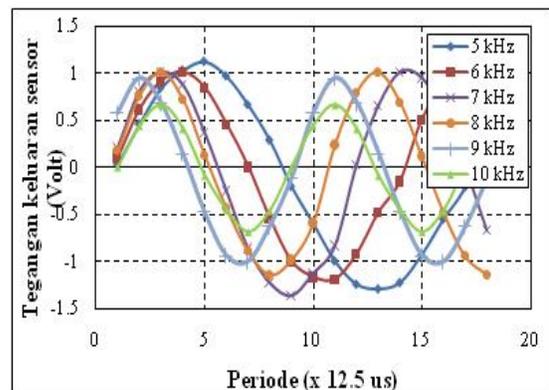
**Gambar 4.** Karakterisasi keluaran saluran 2 menggunakan tegangan masukan AC frekuensi 1 – 10 kHz

Untuk mengetahui karakteristik kecepatan ADC dalam melakukan sampling data terhadap sinyal sinusoida, dilakukan karakterisasi dengan memberikan tegangan AC frekuensi 1 – 10 kHz pada keempat input multiplexer. Hasil yang diperoleh oleh saluran 2 ditunjukkan pada Gambar 4.

Dari Gambar 4 terlihat ADC bekerja dengan baik dalam merespon masukan tegangan AC hingga frekuensi 10kHz. Sedangkan untuk mengetahui karakteristik ADC terhadap keluaran sensor dilakukan karakterisasi sumber AC 5-10 kHz menggunakan sensor fluxgate. Hasil yang diperoleh terlihat pada Gambar 5. Tampak bentuk kurva sinusoida mulai mengalami distorsi pada frekuensi lebih besar daripada 6 kHz. Hal ini berkaitan dengan syarat Nyquist, dimana untuk mendapatkan sinyal waktu diskrit yang mampu mewakili sifat sinyal aslinya, proses sampling harus memenuhi :

$$f_s \geq 2f_{in} \quad (7)$$

dengan  $f_s$  dan  $f_{in}$  masing-masing adalah frekuensi sampling maksimum dan frekuensi sinyal. Sehingga frekuensi sinyal maksimum yang dapat disampling dengan baik oleh ADC adalah 6 kHz.



**Gambar 5.** Pengukuran respon medan AC frekuensi 5 – 10 kHz pada saluran 2 menggunakan sensor fluxgate

#### **4. Kesimpulan**

Hasil karakterisasi data logger untuk akuisisi data digital menggunakan sistem sensor fluxgate sebagai perangkat receiver pada metode elektromagnetik induksi menunjukkan bahwa data logger bekerja baik dalam mendeteksi sinyal AC hingga frekuensi 6 kHz.

#### **Ucapan Terimakasih**

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Jakarta yang telah membiayai penelitian ini.

#### **Daftar Acuan**

- [1]. Grzegorzcyk, T.M., Fernández, J.P., Shubitidze, F., O'Neill, K., dan Barrowes, B.E., Subsurface Electromagnetic Induction Imaging for Unexploded Ordnance Detection, *Journal of Applied Geophysics*, 79 (2012), p 38-45.
- [2]. Indrasari, W., Srigutomo, W., Djamal, M., Ramli, Development of Alternating Current Transmitter of Detection System for Magnetic Material in Soil Subsurface, The 4th International Conference on Theoretical and Applied Physics (ICTAP), Denpasar, 16-17 Oktober 2014.
- [3]. Huang, H., SanFilipo, B., Oren, A., dan Won, I.J., Coaxial Electromagnetic Sensor for Uxo Detection, 18th EEGS Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems (2010), pp 1378 – 1388.
- [4]. Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., *Applied Geophysics*, Cambridge University Press, 2010.
- [5]. Indrasari, W., Pengembangan sistem deteksi material magnetik di bawah permukaan tanah dengan metode induksi elektromagnetik berbasis sensor fluxgate. Disertasi ITB (2010).