

## DESAIN DAN IMPLEMENTASI SISTEM AKUISISI DATA MAGNETOMETER HMC5883L

Muhammad Taufik, Hasan Mayditia  
Pusat Teknologi Satelit, LAPAN  
Pos El : muhammad08taufik@gmail.com

### Abstrak

Telah didesain dan diimplementasikan suatu sistem akuisisi untuk memperoleh, memproses dan menginterpretasikan data dari *magnetometer* HMC5883L. HMC5883L merupakan *low cost* dan *low power magnetometer* yang mampu mengukur besar medan magnet hingga  $\pm 8$  Gauss dengan resolusi 2 mG. Sensor ini banyak digunakan untuk mengakuisisi medan magnet bumi serta sebagai sensor referensi seperti *Attitude Heading Reference System* (AHRS). Sistem akuisisi ini terdiri dari sistem elektronik menggunakan Arduino UNO (ATmega328) yang terhubung dengan *magnetometer* melalui antarmuka I2C, perangkat lunak mikrokontroler (*firmware*) dan perangkat lunak pada PC (GUI) dengan interpretasi data berupa nilai dan grafik vektor medan magnet. Dari hasil pengujian, sistem akuisisi ini mampu mengukur vektor medan magnet bumi dan lingkungan sekitarnya dengan real output data rate 200 Hz. Selain digunakan sebagai kompas digital, sistem ini pun dapat digunakan untuk mengukur kuat medan magnet yang dihasilkan oleh motor BLDC pada *Reaction Wheel* dengan hasil pengukuran ditampilkan dalam bentuk grafik. Untuk hasil pengukuran yang lebih akurat, pengembangan sistem akan dilanjutkan dengan kalibrasi menggunakan sistem yang telah tervalidasi, seperti *Helmholtz cage*.

**Kata kunci:** HMC5883L, medan magnet, sistem akuisisi, Arduino

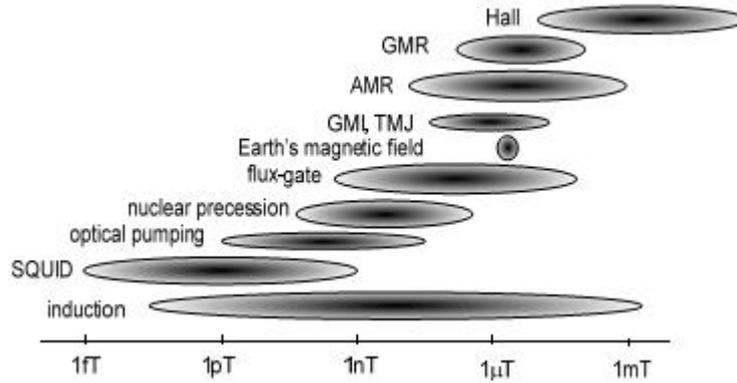
### Abstract

*Has designed and implemented an acquisition system to acquire, process and interpret data from the HMC5883L magnetometer. HMC5883L is low cost and low power magnetometers capable of measuring large magnetic fields up to  $\pm 8$  Gauss with a resolution of 2 mG. This sensor is used to acquire Earth's magnetic field as well as a reference sensor such as Attitude Heading Reference System (AHRS). The acquisition system consists of an electronic system using Arduino UNO (ATmega328) which is connected to the magnetometer via I2C interface, microcontroller software (firmware) and software on a PC (GUI) with interpretation of data in the form of value and the magnetic field vector graphics. As the results, the acquisition system is able to measure the Earth's magnetic field vector and the surrounding environment with real output data rate of 200 Hz. Besides being used as a digital compass, the system can also be used to measure the magnetic field strength generated by BLDC motor of the Reaction Wheel which measurement results shown in graphical form. For a more accurate measurement results, the development will be followed by a calibration system using a system that has been validated, such as Helmholtz cage.*

**Keywords:** HMC5883L, magnetic field, acquisition system, Arduino

## 1. PENDAHULUAN

Medan magnet adalah salah satu besaran fisis yang penting dalam banyak bidang, seperti: geofisika, geologi, kedokteran, oseanografi, ekspedisi luar angkasa dan banyak kegunaan lainnya. Medan magnet dapat digunakan sebagai referensi untuk menentukan sikap (*attitude*) suatu benda terhadap bumi seperti pada pesawat terbang, UAV, dan satelit. Ada beberapa metoda yang dapat digunakan untuk mengukur kuat medan magnet. Pemilihan metode ini bergantung pada beberapa faktor, antara lain: resolusi, kuat medan, homogenitas, variasi dalam waktu, sensitivitas dan keakuratan[1]. Gambar 1-1 menunjukkan metode pengukuran kuat medan magnet beserta daerah operasinya, antara lain metode induksi, *hall effect*, *giant magnetoresistance* (GMR), *tunnelling magnetic junction* (TMJ) dan *anisotropic magnetoresistance* (AMR).



**Gambar 1-1** Metode pengukuran medan magnet dan daerah operasinya[2]

Metode AMR merupakan metode pengukuran yang digunakan pada *magnetometer* HMC5883L. Metode ini membuat *permalloy* (logam campuran yang terdiri dari 80% nikel dan 20% besi) bertindak sebagai *magnetometer*. Teknologi ini bekerja dengan memanfaatkan resistansi *permalloy* yang berubah-ubah sesuai dengan arah rotasi magnetisasi dan arus listrik. Metode AMR memberikan sensitivitas dan stabilitas pengukuran lebih baik dari pada metode lain[3]. HMC5883L memiliki jangkauan pengukuran medan magnet cukup lebar yaitu  $\pm 8$  Gauss, sensitivitas tinggi dan dapat bekerja pada temperatur -30 s/d 85 °C. Diperlukan sistem akuisisi data yang handal dan akurat untuk menerima, memproses dan menginterpretasikan data, sehingga memudahkan proses analisis.

Sistem akuisisi yang dirancang dan diimplementasikan terdiri dari sistem elektronik menggunakan Arduino UNO (ATMega328) yang terhubung dengan *magnetometer* melalui antarmuka I2C, perangkat lunak mikrokontroler (*firmware*) dan perangkat lunak pada PC yang disebut *Graphic User Interface* (GUI).

Tujuan rancang bangun sistem akuisisi adalah untuk mengukur vektor medan magnet bumi dan lingkungan sekitarnya. Sistem ini juga digunakan untuk mengukur variasi kuat medan magnet yang dihasilkan oleh motor *Brushless DC*(BLDC) pada *Reaction Wheel*. Oleh karena itu, sensor harus dikalibrasi agar diperoleh data yang valid dan pengukuran kehandalan sistem akuisisi perlu dilakukan.

## 2. METODOLOGI

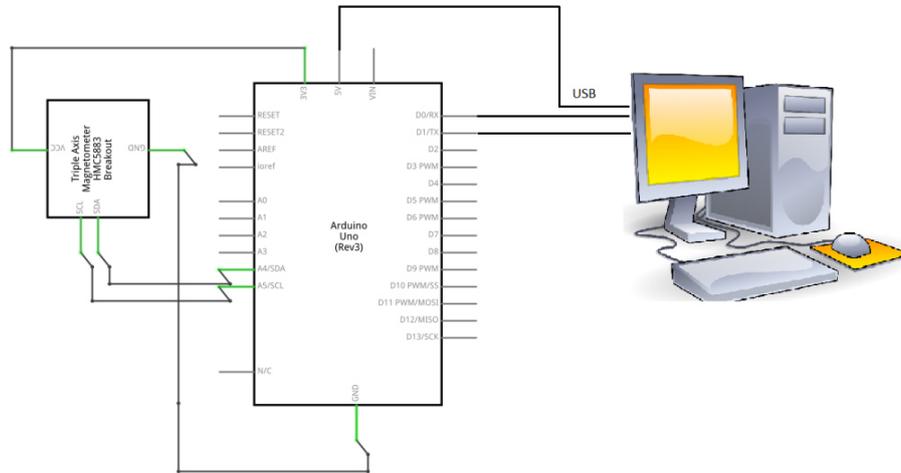
Metode yang digunakan dalam rancang bangun sistem akuisisi adalah perancangan sistem elektronik beserta *firmware* mikrokontroler, dan perancangan GUI. Rancangan sistem elektronik meliputi *board* Arduino UNO dan sistem elektronis lainnya, sedangkan rancangan *firmware* mikrokontroler menggunakan Arduino IDE versi 1.6.3. Sedangkan rancangan GUI meliputi komunikasi serial dan akuisisi data *magnetometer* melalui *board* Arduino. Diagram blok sistem akuisisi ditunjukkan pada Gambar 2-1



**Gambar 2-1** Diagram Blok Sistem Akuisisi Data *Magnetometer* HMC5883L

## 2.1 Perancangan Sistem Elektronik

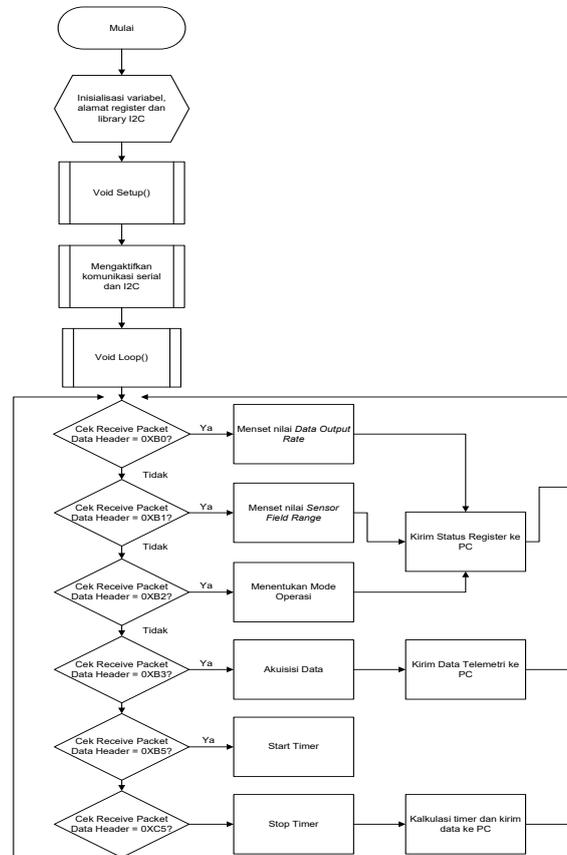
Perancangan sistem elektronik meliputi *board* Arduino UNO terhubung dengan PC melalui USB Mini-B yang memberikan supply daya dan bertindak sebagai jalur komunikasi. *Board* Arduino juga terhubung dengan HMC5883L melalui antarmuka I2C, seperti ditampilkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2-2 Skematik Sistem Elektronik Sistem Akuisisi Data *Magnetometer* HMC5883L

## 2.2 Perancangan *Firmware*

Perancangan dilakukan menggunakan *Arduino Integrated Development Environment (IDE)*. Perancangan *firmware* menggunakan bahasa *Arduino* karena *open source* dan mudah dikembangkan dengan *library* pendukung cukup banyak. Perancangan *firmware* mencakup komunikasi serial dengan PC dan komunikasi dengan *magnetometer* melalui antarmuka I2C. Diagram alir perancangan *firmware* ditampilkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2-3 Diagram Alir Perancangan *Firmware*

Dimulai dengan inisialisasi variabel, *baudrate*, alamat register HMC5883L serta antarmuka I2C yang digunakan. Kristal yang digunakan adalah 16MHz, untuk itu digunakan komunikasi serial 250kbps yang bebas noise[4]. Proses selanjutnya adalah mengaktifkan komunikasi serial dan I2C. Terdapat beberapa jenis paket yang diterima maupun yang dikirim oleh Arduino dari dan ke PC, seperti ditampilkan pada table-table dibawah ini.

**Tabel 2-1** Paket Data Diterima

Byte No.	1	2
Arduino	0xBx	D1

**Tabel 2-2** Paket Data Dikirim-A

Byte No.	1	2
Arduino	0xBx	F1

**Tabel 2-3** Paket Data Dikirim-B

Byte No.	1	2	3	4	5	6	7	8
Arduino	0xB3	H1	H2	H3	H4	H5	H6	Checksum

**Tabel 2-4** Paket Data Dikirim-C

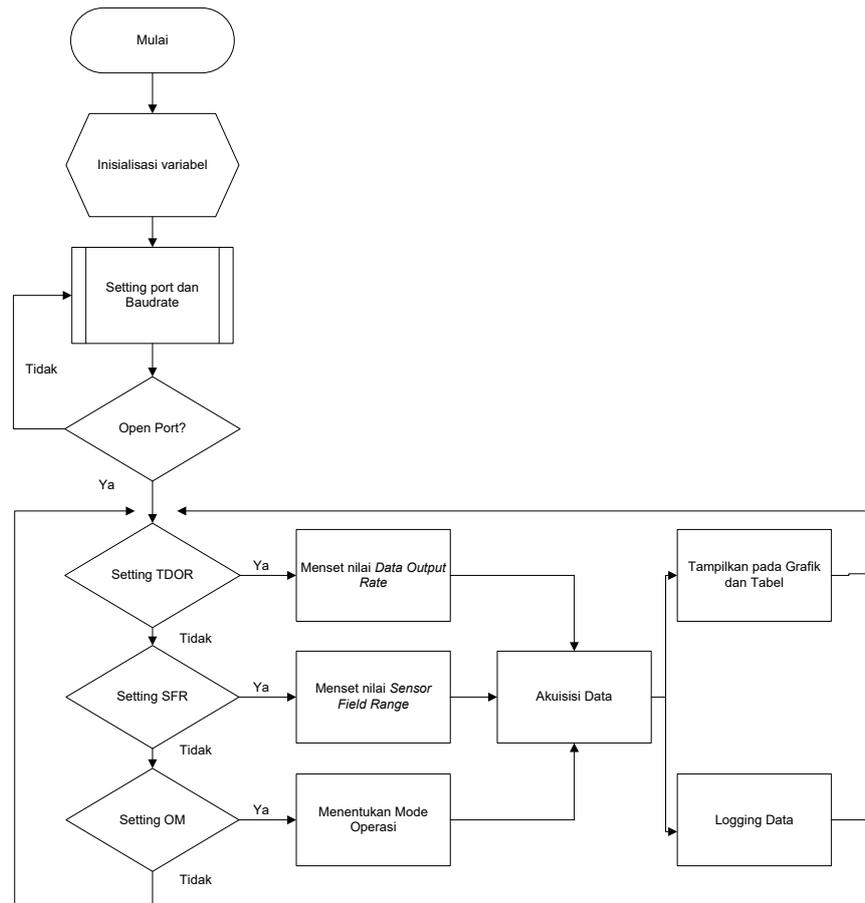
Byte No.	1	2	3	4	5
Arduino	0xB5	L1	L2	L3	L4

Tabel 2-1 menunjukkan paket data yang diterima oleh Arduino, terdiri dari 2 *byte*, yaitu *header* pada *byte* pertama dan data (D1) pada *byte* ke 2. *Header* yang diterima oleh Arduino terdiri dari 0xB0, 0xB1, 0xB2, 0xB4 dan 0xB5. Data (D1) berisi nilai untuk men-set alamat register (*register setting*) pada *magnetometer*. Masing-masing *header* menentukan perintah selanjutnya yang akan diberikan arduino terhadap HMC5883L, antara lain men-set nilai *data output rate*, *sensor field range*, menentukan mode operasi, akuisisi data *magnetometer* serta memulai maupun mematikan *timer*. *Timer* digunakan untuk menghitung waktu pemrosesan, dan penginterpretasian data oleh GUI pada PC.

Paket data yang dikirim oleh Arduino terdiri dari 3 jenis paket data yaitu tipe A,B dan C. Paket data A terdiri dari 2 *byte* data yaitu *header* dan data (F1). Jika Arduino berhasil men-set nilai register sesuai dengan *command* yang diterima maka *header* dan *byte* data akan dikirim kembali sesuai dengan tabel 2-2. Paket data B terdiri dari 8 *byte*, dimana *byte* pertama merupakan *header* yang nilainya sama dengan *header byte* yang diterima sebelumnya. Enam *byte* selanjutnya merupakan data telemetri *3-axis magnetometer* dan data ke 8 adalah *checksum*. *Checksum* berfungsi sebagai *error detection*, yaitu kesesuaian data yang dikirim oleh Arduino dan yang diterima oleh PC. Paket data C berisi data *timer* perhitungan proses oleh GUI.

### 2.3 Perancangan GUI

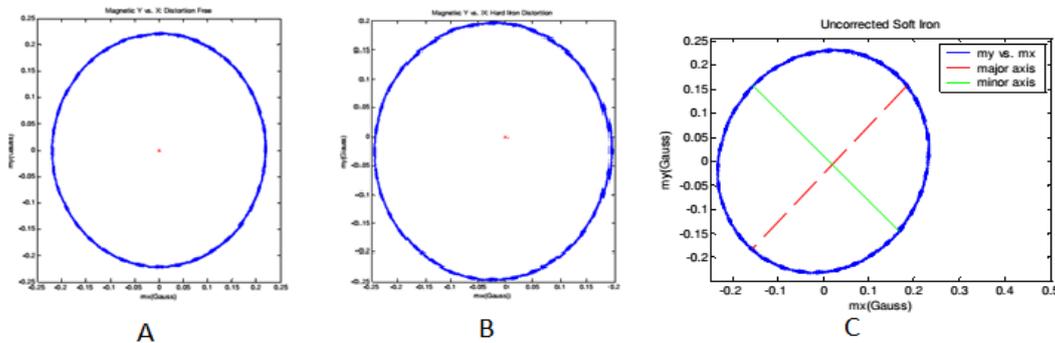
Perancangan GUI menggunakan bahasa pemrograman Visual Basic berbasis .Net Framework. GUI dilengkapi dengan grafik untuk interpretasi data dan tabel untuk menampilkan data yang diperoleh dari *magnetometer*. Data yang ditampilkan pada grafik mencakup kuat medan magnet terukur (B), sumbu X, Y, dan Z dalam miligauss. *Data logger* berbasis *text* untuk menyimpan data yang telah diperoleh. Program dimulai dengan inisialisasi variabel, *setting port* dan *baudrate* yang digunakan. Fitur-fitur *command* yang ditampilkan antara lain : pemilihan *Typical Data Output Rate* (TDOR), *Sensor Field Range* (SFR), dan *Operating Mode* (OM). TDOR menentukan kecepatan akuisisi yang dapat dilakukan oleh *magnetometer* setiap detiknya. Jangkauan medan magnet yang dapat terukur oleh sensor ditentukan oleh *setting* SFR. OM mencakup *pilihan Continous atau Single Measurement* . Jika dipilih mode *Continous Measurement*, sensor akan mengukur besar medan magnet secara terus menerus tiap waktunya, dan jika dipilih *Single Measurement*, sensor hanya mengukur sekali waktu pada saat diperintah pertama dan kemudian sensor pada kondisi *idle*. Digunakan *timer* untuk menghitung waktu yang diperlukan dari *command* dikirim hingga diterima kembali oleh PC.



Gambar 2-4 Diagram Alir Perancangan Perangkat Lunak (GUI)

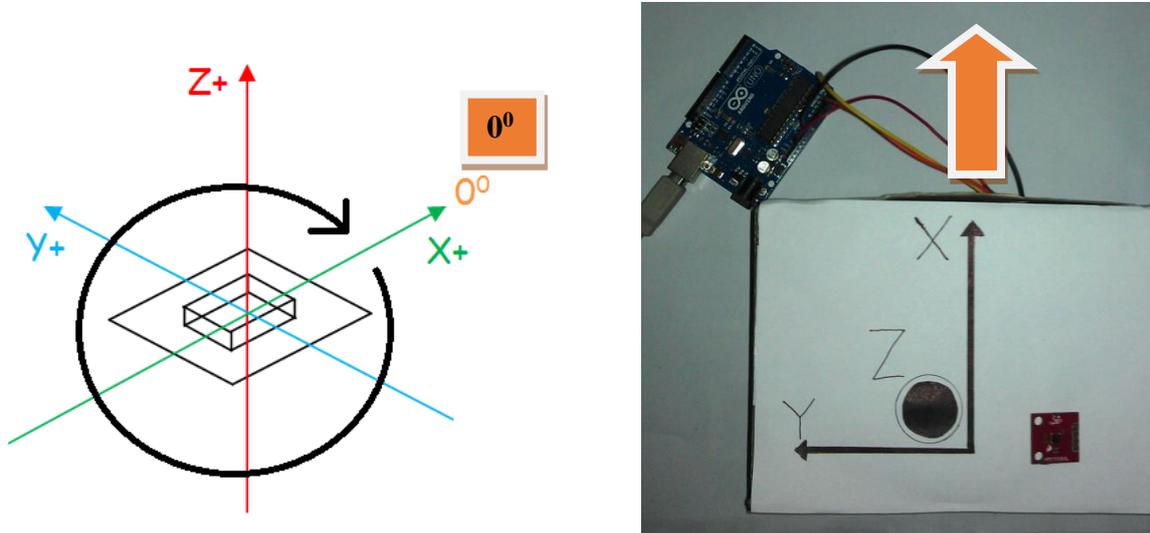
## 2.4 Kalibrasi Magnetometer

Distorsi yang terjadi terhadap hasil akuisisi data *magnetometer* akibat pengaruh medan magnet eksternal yang dapat diklasifikasikan menjadi *Hard Iron Effect* atau *Soft Iron Effect*[5]. Distorsi ini dapat terlihat ketika *magnetometer* dirotasi horizontal  $360^0$  dan hasilnya diplot pada sumbu X dan sumbu Y. Data *magnetometer* yang bebas distorsi akan berbentuk lingkaran dengan pusatnya tepat pada titik (0,0)[6]. *Hard Iron Effect* diakibatkan oleh medan magnet eksternal disekitar sensor yang dapat muncul dari konduktor atau kabel elektrik. *Hard Iron Effect* dapat diidentifikasi dari hasil *plotting* pada sumbu X dan Y dimana titik tengahnya tidak berada pada pusat (0,0). Besarnya distorsi ini bersifat konstan, dan tidak bergantung pada orientasi arah. *Soft Iron Effect* muncul karena adanya bahan *ferromagnetic* disekitar sensor yang membelokkan arah medan magnet. *Soft Iron Effect* dapat diidentifikasi dari hasil *plotting* pada sumbu X dan Y, dimana medan magnetiknya berbentuk *ellipse*.



Gambar 2-5 (a) *Plotting* medan magnet yang pada sumbu X dan Y yang bebas distorsi dengan titik pusat pada (0,0). (b) *Hard Iron Effect*, dengan titik tengah (tanda X) tidak berada dipusat (0,0). (c) *Soft Iron Effect* yang terbentuk pada kedua sumbu berbentuk ellipse[5]

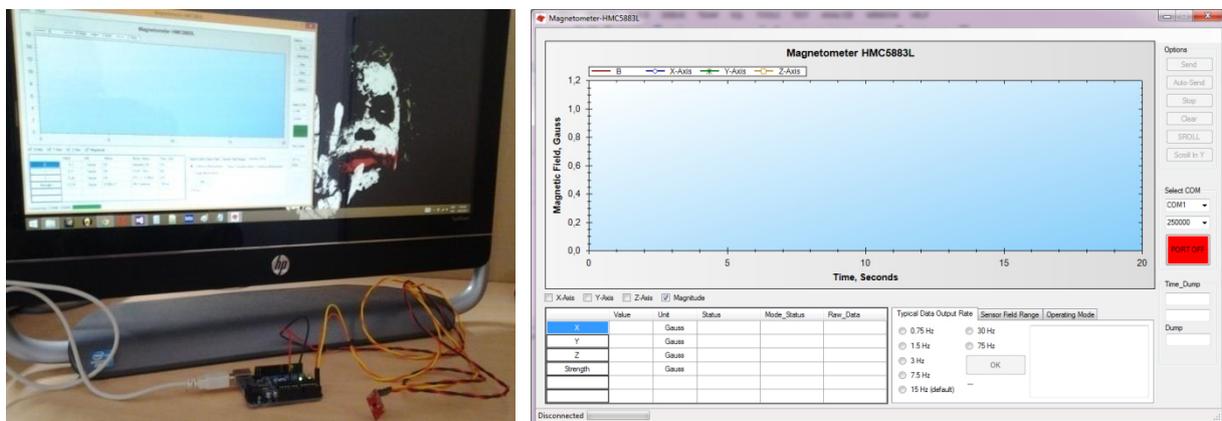
Proses kalibrasi dilakukan dengan menempatkan *magnetometer* tegak lurus pada bidang isolator. Kemudian, dirotasi horizontal  $360^{\circ}$  untuk mendapatkan data nilai medan magnet pada sumbu X dan Y. Proses kalibrasi dilakukan diruangan yang bebas dengan konduktor ataupun metal sehingga dapat meminimalisir timbulnya efek medan magnet eksternal yang dapat mengganggu proses kalibrasi. *Magnetometer* diset pada data *output rate* 15 Hz, *full scale* input  $\pm 0.88$  Ga serta pada mode *Continuous Measurement*.



Gambar 2-6 Kalibrasi *magnetometer* pada sumbu X dan Y

## 2.5 Implementasi Sistem

Sistem akuisisi yang dibangun terdiri dari 3 perangkat utama yaitu Arduino, GUI dan *magnetometer*. Spesifikasi *Board* Arduino adalah *Operating voltage* 5 V, *DC current* 40 mA, 16 Pin I/O, *clock speed* 16MHz, dan *I2C rate* 100kHz[7]. Untuk dapat menjalankan GUI, spesifikasi komputer yang digunakan adalah Intel(R) Core(TM) i7 3.10GHz dan RAM 8 GB. Sedangkan HMC5883L bekerja pada maksimal *fullscale*  $\pm 8$  Gauss, *sensitivity gain* 230-1370 Lsb/Gauss, dan *digital resolution* 0.73-4.35 mG. *Output Rate* maksimal hingga 75Hz pada mode *Continuous* dan 160Hz pada mode *Single Measurement*. *I2C rate* maksimum yang dapat dicapai adalah 400kHz[8]. GUI menampilkan grafik dan tabel hasil pembacaan sensor *magnetometer* dalam 3 sumbu dan juga kuat medan magnet (B). GUI juga menampilkan waktu yang dibutuhkan PC untuk mengirim dan menerima data *command* dan data akuisisi.

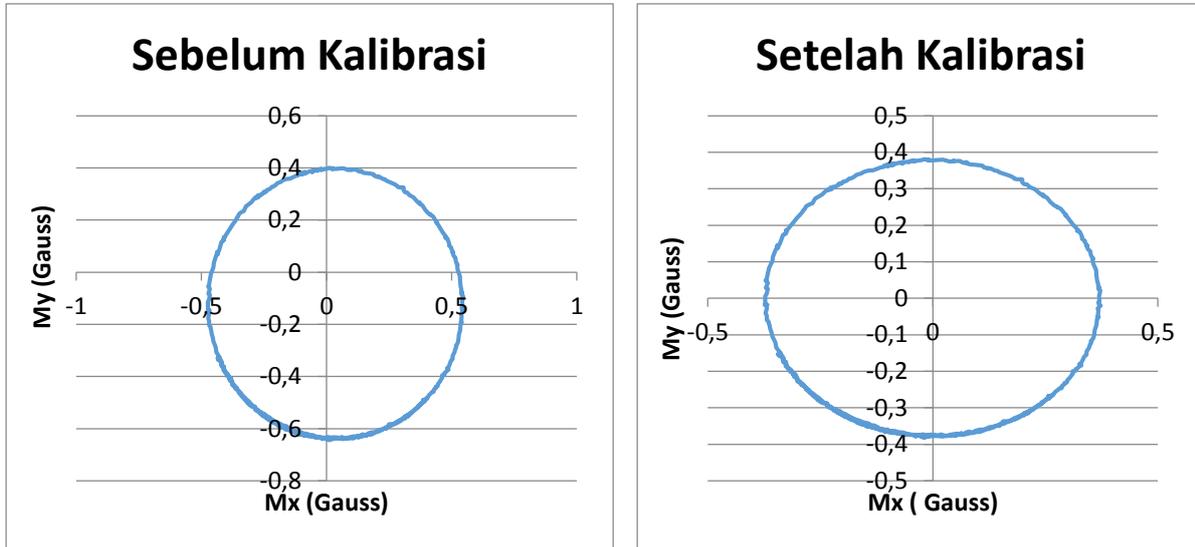


Gambar 2-7 Implementasi Sistem Akuisisi

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Kalibrasi Magnetometer

Hasil proses kalibrasi setelah diplot pada sumbu X dan Y terjadi *Hard Iron Effect* yang ditunjukkan bahwa pusat medan magnet kedua sumbu tidak berada pada titik (0,0). Diduga *Hard Iron Effect* ini muncul dari kabel komunikasi, pengaruh dari *board* Arduino dan PC.



Gambar 3-1 Hasil Kalibrasi Magnetometer akibat *Hard Iron Effect*

Proses kalibrasi dilakukan dengan mencari nilai *offset* terhadap sumbu X dan Y dengan cara menentukan nilai tengah dari nilai maksimum maupun minimum rotasi kemudian dikalikan dengan nilai resolusi digital sebesar 0.73 Lsb/mG[8]. Nilai resolusi digital bergantung pada SFR yang telah ditentukan sebelumnya.

$$X_{offset} = \left[ \frac{(X_{max} - X_{min})}{2} \right] * Digital\ Resolution \quad (1)$$

$$Y_{offset} = \left[ \frac{(Y_{max} - Y_{min})}{2} \right] * Digital\ Resolution \quad (2)$$

Dari hasil rotasi, didapat nilai  $X_{max} = 0.547$  mG dan nilai  $X_{min} = -0.475$  mG, sehingga berdasarkan persamaan (1) didapat nilai  $X_{offset}$  sebesar 0.036 mG. Selanjutnya diperoleh  $Y_{max} = 0.401$  mG, dan  $Y_{min} = -0.644$  mG. Dari persamaan (2) didapat nilai  $Y_{offset} = -0.121$  mG. Nilai  $X_{offset}$  dan  $Y_{offset}$  yang diperoleh kemudian diubah ke dalam satuan Ga dan hasilnya dikurangi dengan *raw* data yang didapat sebelum kalibrasi. Grafik sebelum kalibrasi menunjukkan nilai Mx dan My berbentuk lingkaran (tidak ellipse), sehingga tidak perlu dilakukan kalibrasi *Soft Iron Effect*. Selanjutnya untuk memastikan validitas data medan magnet ketiga sumbu perlu dilakukan kalibrasi menggunakan *air coil*[9], *magnetometer* lainnya yang telah terkalibrasi ataupun *helmholtz Cage*[10].

#### 3.2 Sistem Akuisisi

Kehandalan sistem akuisisi ini diukur dari 3 buah parameter, yaitu:

a. Waktu *Command*

*Command* yang dikirim dari GUI ke Arduino akan diproses oleh mikrokontroler, kemudian diteruskan ke sensor untuk menset nilai register pada alamat register tertentu, atau akuisisi data dari sensor. Kecepatan *baudrate* dari serial *port* PC dan kecepatan *I2C rate* turut mempengaruhi waktu yang dibutuhkan oleh PC untuk menerima kembali data *command* yang telah dikirim sebelumnya. Estimasi waktu *command* secara umum adalah kurang dari 100ms, keterlambatan dalam menerima data oleh PC mengurangi tingkat presisi pengukuran tiap waktunya.

**Tabel 4.1** Waktu *Command* Sistem Akuisisi

Typical Data Output Rate (ms)	Sensor Field Range	Operating Mode	Send	Auto Send
4 ms	3 ms	3.5 ms	3 ms	5 ms

Setiap *command* memiliki waktu yang berbeda ketika diterima kembali oleh PC. Waktu terbesar terdapat pada *command* untuk fitur *Auto-Send*. Hal ini disebabkan karena *command* yang dikirim berulang-ulang dalam rentang waktu kurang dari 1ms sehingga deviasi yang didapat antar *command* yang pertama dikirim dan seterusnya lebih besar.

b. Error data

Output range sensor berkisar pada 0xF800 - 0x07FF (-2048 s/d 2047)[8]. *Overflow* terjadi ketika sensor mengalami saturasi, akibat tingginya sensitivitas pengukuran. Semakin kecil *full scale* yang dipilih maka sensitivitas pengukuran semakin tinggi dan menyebabkan kesalahan data yang diterima lebih besar ketika ada benda disekitar sensor yang menghasilkan medan magnet cukup besar. Error data dihitung persamaan berikut :

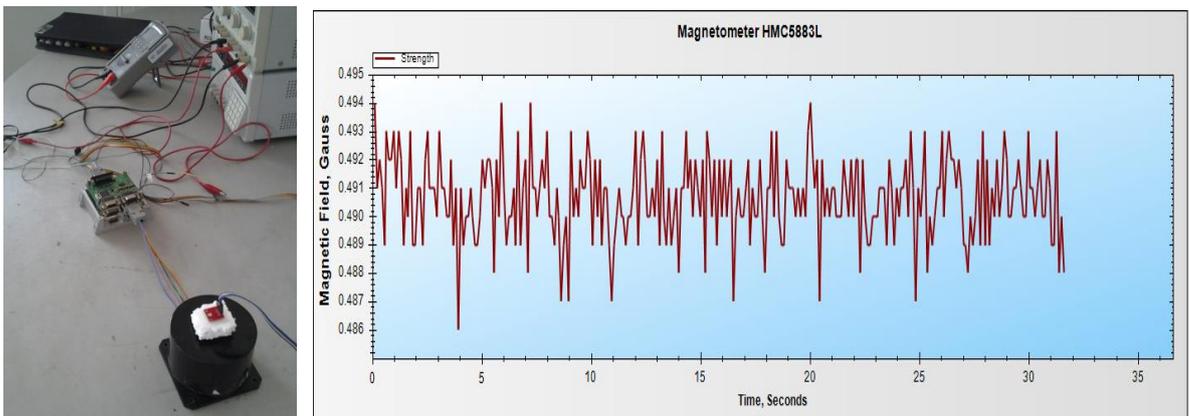
$$\text{Error data} = \left( \frac{\Sigma \text{ overflow data}}{\Sigma \text{ data}} \right) * 100\% \quad (3)$$

Pada saat kalibrasi, sensor diset pada TDOR 15Hz, SFR  $\pm 0.88\text{Ga}$ , bekerja pada mode *Continous-Measurement*. Dari hasil pengujian, didapat 2170 data pengukuran dan terdapat *overflow* 3 data, sehingga *error data* yang diperoleh sebesar 0.138%.

c. Waktu pemrosesan data

*Command* yang diterima kembali oleh GUI, diinterpretasikan dalam bentuk tabel dan grafik. *Raw data* yang dikirim oleh Arduino dihitung untuk mendapatkan data medan magnet aktual dalam 3 sumbu dan kuat medan magnet yang terukur oleh sensor dalam Gauss. Perintah akuisisi selanjutnya tidak akan dikirim sebelum proses dan interpretasi data selesai dilakukan. Pada saat kalibrasi, sensor diset pada TDOR 15Hz, SFR  $\pm 0.88\text{Ga}$ , bekerja pada mode *Continous-Measurement*. Dari hasil pengujian, didapat waktu pemrosesan ialah  $\pm 2\text{ms}$ .

Sistem akuisisi dapat digunakan untuk pengukuran kuat medan magnet motor BLDC pada *Reaction Wheel* seperti ditunjukkan pada Gambar 3-2.



**Gambar 3-2** Pengukuran Medan Magnet Motor BLDC Reaction Wheel

#### 4. KESIMPULAN

Telah berhasil didesain dan diimplementasikan sistem akuisisi data *magnetometer* HMC5883L. Proses kalibrasi data *magnetometer* dengan teknik *Hard Iron Effect* menghasilkan nilai  $X_{offset} = 0.036$  mG dan  $Y_{offset} = -0.121$  mG. Error data sistem akuisisi sebesar 0.138%, waktu *command* serta pemrosesan kurang dari 6ms. Dari hasil yang telah diperoleh, dapat disimpulkan bahwa sistem akuisisi ini handal dan akurat untuk mengukur medan magnet disekitarnya dan kuat medan magnet yang dihasilkan oleh motor BLDC *Reaction Wheel*. Error yang dihasilkan dapat diminimalisir dengan pengukuran diruangan yang bebas dengan pengaruh medan magnet lainnya.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Bapak Ir.Suhermanto,MT dan Bapak Abdul Karim,ST,MT atas fasilitas dan dukungan yang diberikan sehingga penulisan ini bisa terselesaikan.

#### PERNYATAAN PENULIS

Penulis dengan ini menyatakan bahwa seluruh isi menjadi tanggung jawab penulis.

#### DAFTAR PUSTAKA

- 1) Djamal, Mitra., Rahmondia Nanda Setiadi, *Pengukuran Medan Magnet Lemah Menggunakan Sensor Magnetik Fluxgate dengan Satu Koil Pick-Up*, PROC. ITB Sains & Tek. Vol. 38 A, No. 2, 2006, 99-115, 2006.
- 2) Tumanski, Slawomir., *Modern magnetic field sensors – a review*, PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY, ISSN 0033-2097, R. 89 NR 10/2013, 2013.
- 3) Cai, Yongyao., Yang Zhao, et.all. 2012.*Magnetometer basics for mobile phone applications*, tersedia di : [www2.electronicproducts.com](http://www2.electronicproducts.com). diakses Mei 2015.
- 4) Atmel. “ATMega328 Datasheet.” April 2015. <http://www.atmel.com>. Diakses April 2015.
- 5) Konvalin C., *Technical document: compensating for tilt, hard iron and Soft Iron Effects*. Tech. Rep. MTD-0802, MEMSense, 2008.
- 6) Caruso, M. J., *Applications of magnetic sensors for low cost compass systems*. In Position Location and Navigation Symposium, IEEE 2000 (pp. 177-184). IEEE, 2000.
- 7) <http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno> . Diakses Mei 2015
- 8) Honeywell. “HMC5883L Datasheet.” April 2015. <http://www.honeywell.com>. Diakses April 2012.
- 9) Prabowo, S. Gunawan., Hasan Mayditia, *Sistem Kalibrasi Sensor Magnetometer dan Rate-Gyro untuk INASAT-1*. Proceeding in National Workshop on Mastering Satellite Technology that organized by Space Electronics Technology Center of LAPAN, December 12th – 13th, 2005, Cipayung, Bogor, Indonesia ISBN: 979-25-6140-4, 2005.
- 10) Foley, J. D, *Calibration and Characterization of Cubesat Magnetic Sensors Using a Helmholtz Cage*, 2012.