

## Sistem kendali medan magnet solenoida berbasis Arduino

Wahyu Hidayat, dan Yudhiakto Pramudya

Program Magister Pendidikan Fisika, Universitas Ahmad Dahlan  
Jalan Pramuka 42, Sidikan, Umbulharjo, Yogyakarta 55161

E-mail: wahyu3623@gmail.com

**Abstrak.** Solenoida mempunyai potensi untuk digunakan pada berbagai instrumen modern termasuk pada pemberian medan magnet eksternal pada fluida magnetorheologi. Medan magnet dengan intensitas tinggi dibutuhkan untuk menaikkan yield strength fluida. Inti solenoida mempengaruhi intensitas medan magnet yang ditimbulkan oleh solenoida. Medan magnet pada solenoida dihasilkan oleh arus yang mengalir pada kawat lilitan. Dengan mengatur arus yang mengalir pada solenoida, maka tingkat yield strength fluida dapat diubah sesuai dengan kebutuhan. Arus yang mengalir di solenoida dirancang sedemikian rupa sehingga kenaikannya bertahap agar tidak terjadi perubahan yang signifikan dalam waktu yang singkat pada kondisi solenoida dan fluida. Pengaturan bertahap tersebut dapat dilakukan dengan kendali berbasis Arduino Leonardo dan transistor. Telah berhasil dilakukan perubahan medan magnet dari 0 mT sampai ke 1,824 mT dalam waktu 40 detik dengan 9 tahap kenaikan. Tahap kenaikan diatur sedemikian rupa sehingga mendekati perubahan yang kontinyu.

### 1. Pendahuluan

Solenoida adalah sebuah kumparan panjang yang terdiri dari banyak lilitan. Solenoida berperilaku seperti magnet, salah satu ujungnya sebagai kutub utara dan kutub lainnya sebagai kutub selatan, bergantung pada arah arus di lilitan. Solenoida mempunyai potensi untuk digunakan pada berbagai instrumen modern termasuk pada pemberian medan magnet eksternal pada fluida magnetorheologi.

Medan magnet adalah suatu medan yang dibentuk dengan menggerakkan muatan listrik (arus listrik) yang menyebabkan munculnya gaya di muatan listrik yang bergerak lainnya [1]. Medan magnet dapat diperkuat dengan memperbanyak jumlah lilitan pada solenoida dan memperbesar arus yang mengalir melalui kawat. Akan tetapi peningkatan medan magnet yang besar diperoleh ketika sebuah inti besi ditempatkan di tengah-tengah solenoida. Medan magnet meningkat sangat besar karena domain-domain besi akan mempunyai arah momen dipol yang seragam akibat medan magnet yang dihasilkan oleh arus [2], [3], [4]. Medan magnet yang dihasilkan sama dengan jumlah dari medan magnet kumparan dan medan magnet besi. Medan magnet ini dapat ratusan bahkan ribuan kali lebih besar daripada kekuatan medan magnet yang dihasilkan oleh solenoida sendiri [5].

Namun, perubahan arus yang diberikan pada solenoida menimbulkan beberapa masalah. Pada desain sistem MRF dan solenoida, perubahan arus yang drastis dapat menyebabkan inti besi mendorong wadah MRF dengan keras. Hal ini menyebabkan perubahan kekakuan MRF susah untuk diukur [6]. Oleh karena itu, perlu adanya kendali arus secara bertahap menggunakan arduino.

Arduino telah dimanfaatkan dalam sistem kendali pemberian makan dan minum pada hewan peliharaan. Sistem kendali tersebut menggunakan solenoida yang berfungsi sebagai kran pengatur laju

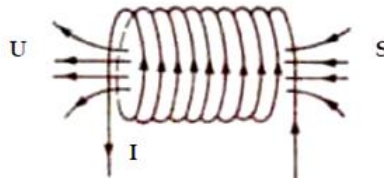
air minum. Transistor berfungsi untuk mengubah tegangan rendah pada mikrokontroler Arduino menjadi tegangan yang lebih besar pada solenoida [7].

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh arus yang dikontrol secara bertahap menggunakan arduino terhadap kenaikan medan magnet. Dengan memvariasi besarnya arus yang mengalir ke solenoida, maka besarnya medan magnet juga akan bervariasi.

## 2. Teori yang Digunakan

### 2.1. Solenoida

Solenoida merupakan induktor yang terdiri atas gulungan kawat yang terkadang di dalamnya dimasukkan sebuah batang besi berbentuk silinder dengan tujuan memperkuat medan magnet yang dihasilkannya. Secara skematik, bentuk solenoida dapat dilihat pada gambar 1 dimana solenoida terdiri dari  $n$  buah lilitan kawat berarus listrik  $I$ , medan magnet yang dihasilkan memiliki arah seperti pada gambar 1, dimana kutub utara magnet mengikuti aturan tangan kanan.



Gambar 1. Solenoida dengan banyaknya lilitan  $n$  [8]

### 2.2. Medan Magnet dari Solenoida

Kuat medan magnet untuk solenoida dengan jumlah lilitan persatuan panjang  $n$  adalah

$$B = \mu_0 nI \quad (1)$$

Persamaan (1) berlaku hanya untuk titik-titik di dekat pusat (yaitu yang jauh dari ujung) dari solenoida yang sangat panjang. Pada ujung solenoida yang sangat panjang, besar medannya adalah setengah besar medan di pusat (2). Besarnya medan magnet pada ujung solenoida adalah

$$B = \frac{\mu_0 nI}{2} \quad (2)$$

### 2.3. Arduino

Arduino disebut sebagai sebuah *platform* dari *physical computing* yang bersifat *open source*. Arduino tidak hanya sekedar sebuah alat pengembangan, tetapi ia adalah kombinasi dari perangkat keras, bahasa pemrograman dan *Integrated Development Environment* (IDE) yang canggih. IDE adalah sebuah perangkat lunak yang sangat berperan untuk menulis program, meng-*compile* menjadi kode biner dan mengunggahnya ke dalam *memory* mikrokontroler[9].

Seperti terlihat pada gambar 2, Arduino Leonardo merupakan sebuah papan mikrokontroler yang berbasis Atmega32u4. Arduino Leonardo memiliki 20 *input/output* pin dimana 7 diantaranya dapat digunakan sebagai keluaran PWM (*Pulse Width Modulation*) yang berfungsi sebagai pengontrol suatu objek dengan menggunakan *impulse* listrik, dan 12 pin sisanya digunakan sebagai masukan analog. Arduino Leonardo juga dilengkapi dengan sebuah 16MHz *crystal oscillator*, koneksi micro USB, catu daya, ICSP *header*, dan tombol reset. Arduino Leonardo dapat dihubungkan melalui komputer menggunakan kabel USB dan catu daya untuk mengaktifkannya [10].



**Gambar 2.** Board Arduino

### 3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan cara melakukan pengamatan dan pengukuran secara langsung. Hasil diperoleh bersifat kuantitatif dan kualitatif. Selain itu, akan ditunjukkan 2 grafik hubungan antara besarnya kuat arus dan medan magnet serta hubungan waktu dengan medan magnet, kuat arus dan besarnya tegangan.

#### 3.1. Alat dan Bahan

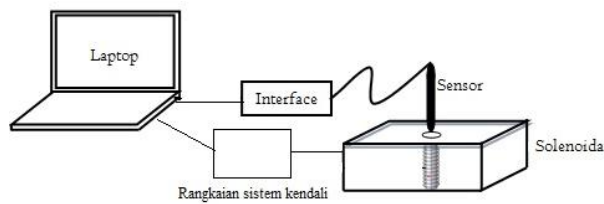
Sumber tegangan (Baterai 9 V), transistor TIP 120, resistor 1 K, papan breadboard, kabel penghubung, multimeter, sensor medan magnet, *Interface*, penggaris, jangka sorong, laptop, *software* Logger Pro 3.9, Ms. Excel, kawat tembaga diameter 0,04 cm, solenoida 500 lilitan panjang 6 cm, inti besi berbentuk silinder dan Arduino Leonardo.

#### 3.2. Prosedur Penelitian

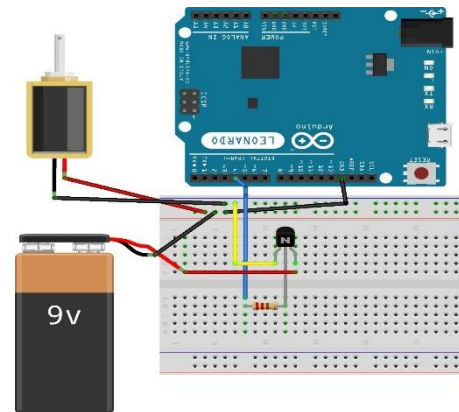
Pengukuran diameter dan panjang ferrit menggunakan jangka sorong. Panjang ferrit ( $6,48 \pm 0,02$ ) cm, sedangkan diameter awalnya ( $1,2250 \pm 0,0005$ ) cm. Diameter dalam solenoida pada penelitian sebelumnya adalah ( $1,00036 \pm 0,00005$ ) cm. Agar inti besi (ferrit) ini bisa masuk ke dalam solenoida, maka diameter inti besi harus dikurangi sebesar 3 milimeter dengan cara mengamplas menggunakan amplas kasar *siliconerbide* dengan ukuran P 80 DW. Ferrit (inti besi) ini berfungsi untuk memperbesar intensitas medan magnet yang ditimbulkan oleh solenoida.

Langkah-langkah dalam pengukuran medan magnet adalah sebagai berikut:

- Merangkai alat penelitian seperti gambar 3.
- Menghubungkan papan Arduino Leonardo menggunakan kabel USB ke laptop.
- Membuka perangkat lunak Arduino, kemudian memasukkan program yang berfungsi sebagai perintah untuk mengendalikan solenoida.
- Logger Pro diatur untuk pengambilan data selama 30 detik.
- Sensor medan magnet yang sudah dihubungkan ke Logger Pro diletakkan di atas solenoida dengan jarak antara sensor dan solenoida adalah 0,5 cm.
- Mengatur *port* agar terhubung dengan papan Arduino Leonardo, kemudian mengupload program tersebut.
- Klik serial monitor dan masukan "s" untuk memulai. Arus akan mengalir ke rangkaian yang menyebabkan nilai arus pada multimeter akan naik secara bertahap yang semakin lama nilainya akan semakin bertambah dengan *delay* selama 3 detik tiap tahapannya.
- Klik *collect* pada logger pro untuk mengukur medan magnet pada solenoida.
- Langkah a sampai h diulangi untuk solenoida yang didalamnya terdapat inti besi.
- Dilakukan analisis data  
Besarnya medan magnet diambil pada saat arus mulai mengalir pada solenoida sampai arus mencapai nilai maksimal.



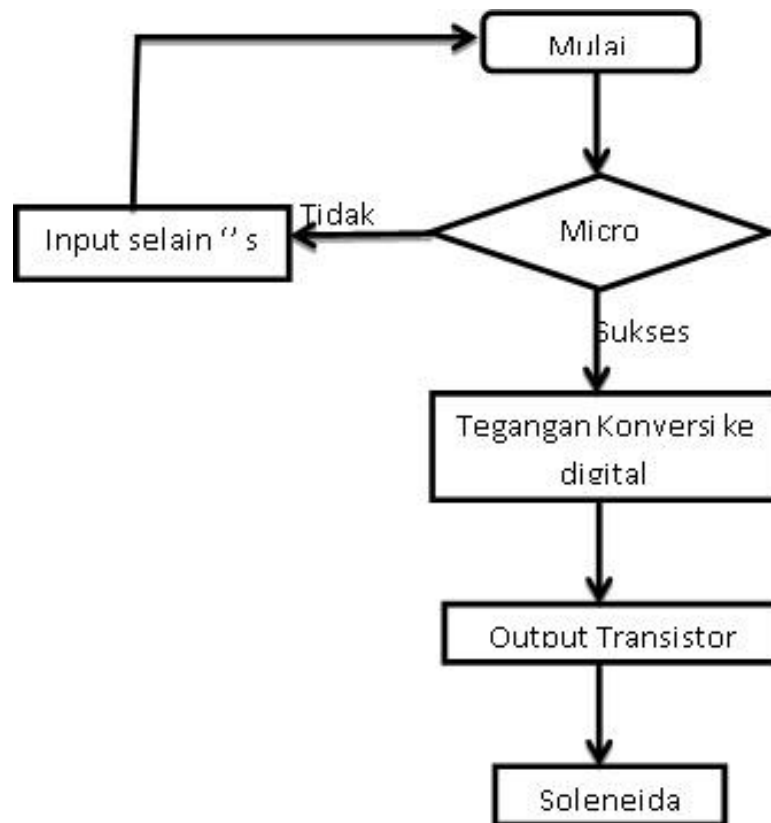
Gambar 3. Desain alat penelitian



Gambar 4. Rangkaian sistem kendali

Pada rangkaian diatas Arduino leonardo dihubungkan ke laptop menggunakan kabel usb. Transistor TIP 120 yang berfungsi sebagai kran yang dapat mengatur tegangan output pada baterai. Kaki-kaki pada transistor dimana basis dihubungkan ke resistor  $1K\Omega$  dan pin 10 masuk ke resistor. Kolektor dihubungkan langsung ke positif baterai. Sedangkan emitor masuk ke negative alat, ground Arduino dan negative baterai tidak langsung masuk ke alat tetapi dihubungkan dengan com (negatif) multimeter, yang kemudian positif multimeter masuk ke positif alat. Hal ini dikarenakan agar dapat diukur nilai arus yang keluar dari transistor sehingga dapat diketahui besar arus yang mengalir pada solenoida.

Untuk mengontrol arus dibuat *sketch* (program) di dalam perangkat lunak Arduino. Perintah yang telah dibuat akan diunggah kedalam papan mikro Arduino yang memiliki *library* untuk menyimpan dan memproses perintah tersebut. memulai dengan memasukan "s" di serial monitor. Setiap masukan yang di serial monitor akan dikirim ke Papan mikro dan di identifikasi sesuai dengan program. Jika masukan di serial monitor tidak sesuai dengan perintah maka tidak akan bisa dilanjutkan ke langkah selanjutnya. Begitupun sebaliknya, jika masukan di serial monitor sesuai dengan *sketch*/perintah maka akan berlanjut ke tahap selanjutnya yaitu mikro akan mengubah tegangan yang sebelumnya berbentuk analog menjadi digital yang berfungsi untuk mengatur transistor. Transistor berfungsi seperti kran, tegangan akan naik secara bertahap. Jika tegangan melebihi batas minimum transistor, maka kran akan terbuka sehingga luaran transistor berupa tegangan. Adanya tegangan menimbulkan arus, arus akan mengalir ke solenoida sehingga timbul medan magnet. *Flowchart* dari sistem kendali solenoida dapat dilihat pada gambar 5.

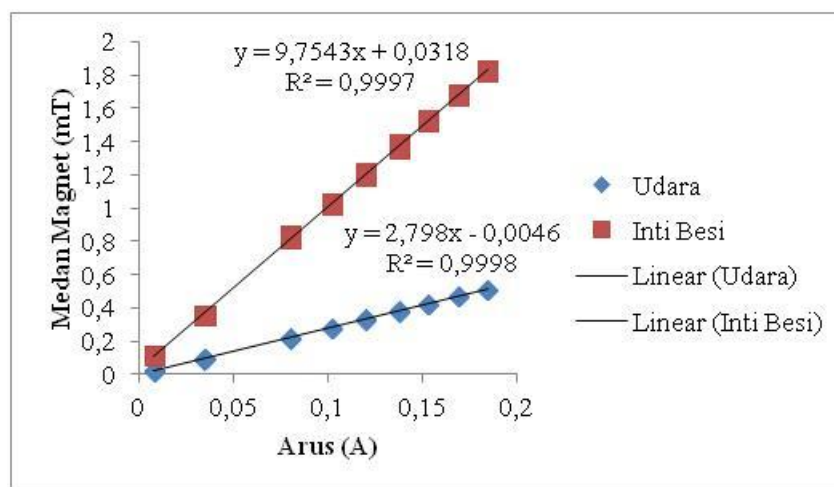


**Gambar 5.** Flowchart Sistem kendali solenoida

#### 4. Hasil dan Pembahasan

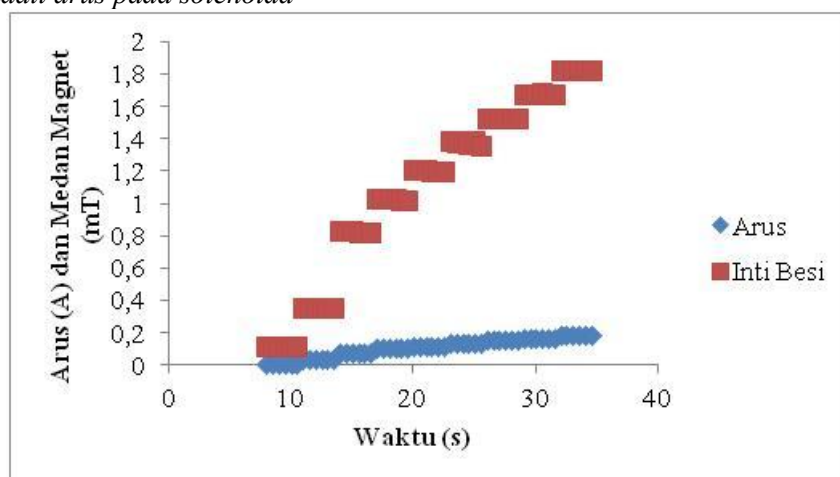
##### 4.1. Pengukuran pengaruh inti solenoida terhadap medan magnet

Hasil pengukuran medan magnet dengan arus bertahap berbasis Arduino Leonardo pada solenoida dengan inti besi dan tanpa inti besi (udara) dapat dilihat pada gambar 6. Hasil *fitting* digunakan untuk menentukan permeabilitas suatu bahan menggunakan persamaan (1). Hasil yang didapat bahwa permeabilitas udara sebesar ( $\mu_0 = 6,7152 \times 10^{-4}$  H/m) sedangkan permeabilitas besi sebesar ( $\mu = 2,3410 \times 10^{-3}$  H/m). Perbedaan nilai permeabilitas dimana  $\mu > \mu_0$  menandakan bahan tersebut (Ferrit) dapat menghasilkan medan magnet yang besar dibandingkan dengan udara meskipun dengan arus kecil. Terlihat pada grafik nilai medan magnet yang menggunakan inti besi (ferrit) pada solenoida lebih curam dibandingkan tanpa menggunakan intibesi (udara). Nilai medan magnet pada solenoida yang dihasilkan tanpa inti besi (udara) sebesar 0,5123 mT sedangkan medan magnet menggunakan ferrit sebesar 1,824 mT. Medan magnet yang menggunakan ferrit memiliki nilai 3x lebih besar dibandingkan dengan yang tanpa inti besi (udara).



Gambar 6. Hubungan arus dan medan magnet

#### 4.2. Sistem kendali arus pada solenoida



Gambar 7. Hubungan waktu , arus dan medan magnet

Semakin lama arus akan mengalami kenaikan yang menyebabkan nilai medan magnet juga mengalami kenaikan. Kenaikan arus secara bertahap dapat diatur dalam *sketch* (program yang ditulis menggunakan Arduino *perangkat lunak*) dengan cara memvariasi luaran analog. Luaran Analog memiliki nilai 0-255 yang berarti nilai 0 untuk tegangan minimal dan 255 sebagai tegangan maksimum. Pada gambar 6, terdapat 9 tahap kenaikan yang setiap tahap memiliki nilai tegangan yang berbeda-beda setiap 3 detik, dimana nilai tegangan akan bertambah sampai mencapai nilai maksimal. Tegangan luaran akan menimbulkan arus. Waktu yang diperlukan untuk mencapai arus maksimal selama 27 detik. Arus maksimal yang didapat sebesar 0,18 A dan menghasilkan medan magnet sebesar 1,824 mT.

Tahapan arus (*analog output*) dan *delay time* juga dapat divariasikan, dengan cara mengubah *sketch* yang ada pada perangkat lunak Arduino. Semakin kecil tahapan kenaikan arusnya maka akan terjadi perubahan nilai arus secara signifikan, akan tetapi grafik yang dihasilkan mendekati perubahan yang kontinyu. Pada penelitian ini tidak dilakukan variasi baik dari tahapan kenaikan maupun dari *delay time*-nya. Penelitian ini hanya mengontrol kenaikan arus secara bertahap dengan perintah Arduino dan mengukur medan magnet setelah dialiri arus.

## 5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan bahwa semakin besar arus yang mengalir ke solenoida, maka semakin besar pula medan magnet yang dihasilkan. Medan magnet dapat diperbesar dengan menambahkan inti besi (*ferrit*) didalam solenoida. Nilai medan magnet menggunakan ferrit sebesar 1,824 mT sedangkan nilai medan magnet tanpa ferrit (udara) sebesar 0,5123 mT. Medan magnet yang menggunakan inti besi (*ferrit*) memiliki nilai 3x lebih besar dibandingkan dengan yang tanpa inti besi (udara).

Arus dapat dikendalikan menggunakan arduino dengan kenaikan secara bertahap pada soleneida, dimana kenaikan arus dapat diamati pada multimeter yang setiap 3 sekon akan berubah semakin besar sampai mencapai arus maksimal sebesar 0,18 A. Adanya arus yang mengalir pada soleneida menyebabkan medan magnet mengalami kenaikan juga. Kenaikan tersebut dapat di ukur dan diamati menggunakan sensor medan magnet dan *Logger pro*

## 6. Daftar Pustaka

- [1] Kukuh Dwi Sudharma, Sudarti dan Rif'ati Dina Handayani. 2016. Distribusi Medan Magnet pada Solenoid. *Jurnal Pembelajaran Fisika*. **5**(3); 305-308
- [2] Anggoro, Jery dan Ign Edi Santoso. 2015. Distribusi Medan Magnet di sekitar Kawat Berarus. *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXIX HFI Jateng & DIY*. ISSN: **0853-0823**. Hal 5-8.
- [3] Setiawan, M. Ihwan, Yudhiakto P., dan Muchlas. 2016. Studi Perilaku *Magnetorheological Fluid* pada Medan Magnet Induksi. *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXX HFI Jateng & DIY*. ISSN: 0853-0823.
- [4] Sulistyaningsih D, M. Ihwan, Yudhiakto Pramudya dan Muchlas. 2016. *Prosiding Seminar Nasional Quantum*. ISSN: 2477-1511. Hal: 287-290
- [5] Giancoli, Douglas C. 2001. *Fisika*. Jakarta: Erlangga.
- [6] Sulistyaningsih, Dwi. 2017. Rancangan Bangun Sistem Kendali Pola Tactile pada Magnetorheological Fluid Berbsis Arduino. *Tesis*. Yogyakarta: Program Studi Magister Pendidikan Fisika Universitas Ahmad Dahlan
- [7] Beltran, Jr, Allen R. C., John Mark, B. D. 2015. Arduino-based Food and Water Dispenser for Pets with GSM Technology Control. *International Journal of Scientific Engineering and Technology*. **4**(4). 231-234.
- [8] Setiawan, M. Ihwan. 2016. Pengembangan Pola Tactile Huruf Braille Berbasis Magnetorheological Fluid (MRF) bagi Penyandang Tunanetra. *Tesis*. Yogyakarta: Program Studi Magister Pendidikan Fisika Universitas Ahmad Dahlan.
- [9] Djuandi, Feri. 2011. Pengenalan Arduino. <http://www.tobuku.com/docs/Arduino-Pengenalan.pdf> (diunduh pada tanggal 5 Desember 2017 pukul 14:19).
- [10] Sadewa, Harry Luanda, Herry Sujaini, Rudi Dwi Nyoto. 2015. Implementasi Mikrokontroler pada Sistem Kontrol Peralatan Listrik dan Monitoring Rumah Berbasis Website. *Jurnal Edukasi dan Penelitian Informatika (JPPIN)*. **1**(2) :1-7.