



## Perancangan Alat Peraga Medan Magnet Disekitar Kawat Berarus dengan Hall Magnetik Sensor Bipolar Analog sebagai Demonstrasi dalam Pembelajaran Fisika

Alex Harijanto<sup>1</sup>, Subiki<sup>2</sup>, Melisa Putri Febriyanti<sup>3\*</sup>, Nidya Nur Mashitoh<sup>4</sup>,  
Tika Widiya Ningrum<sup>5</sup>, Evie Rahmawati<sup>6</sup>, Ratna Sary Anindy<sup>7</sup>

<sup>1,2,3,4,5,6,7</sup>Program Studi Pendidikan Fisika, FKIP, Universitas Jember

### Abstract

Received: 12 April 2023  
Revised: 22 April 2023  
Accepted: 15 Mei 2023

*Magnetic field props not only help students in understanding the basic concepts of magnetic fields, but also help in proving the existence of magnetic fields in electric current wires. The magnetic field practicum tool around the current wire, with that tool, students can conduct experiments to prove the existence of a magnetic field around the current wire and observe the direction of the deviation that occurs. The research method used is quantitative descriptive method. The collected data in a quantitative descriptive manner is used to provide an overview of the actual situation, as well as to answer questions related to the status of the subject of the study. The experiment was carried out by changing the voltage value, namely at 1.5V and 3V to analyze the difference. The relationship between the magnitude of the voltage  $V$  to the strength of the current  $I$  is directly proportional. That is, the greater the voltage given, the greater the current generated, and vice versa. Then the relationship between the strength of current  $I$  to the magnitude of deviation  $B$  is directly proportional. That is, the greater the strong current produced, the greater the deviation produced, and vice versa.*

**Keywords:** Current Wire, Lorentz Force, Magnetic Field, Magnetic Sensor, Physics

(\*) Corresponding Author: Melisa Putri Febriyanti

**How to Cite:** Harijanto Alex, Subiki, Febriyanti Melisa Putri, Mashitoh Nidya Nur, Ningrum Tika Widiya, Rahmawati Evie, & Anindy Ratna Sary. (2023). Perancangan Alat Peraga Medan Magnet Disekitar Kawat Berarus dengan Hall Magnetik Sensor Bipolar Analog sebagai Demonstrasi dalam Pembelajaran Fisika. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8068244>

## PENDAHULUAN

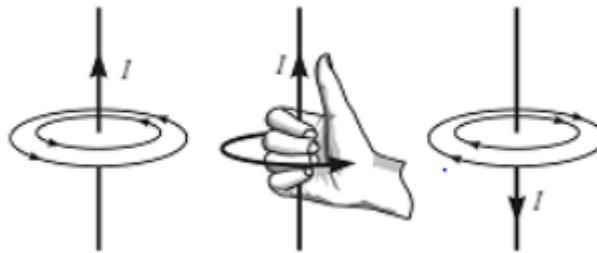
Praktikum dalam materi fisika adalah sarana kegiatan untuk membuktikan pengembangan dari konsep fisika yang selama ini dianggap sebagai topik abstrak dalam buku, di web, dan dalam pengajaran di kelas. Praktikum dilaksanakan untuk meminimalisir pemahaman fisika peserta didik yang bersifat abstrak dan menjadikan pengalaman bagi peserta didik mengenai pengetahuan fisika yang baru secara nyata berupa praktikum. Sehingga, fisika tidak akan lagi menjadi ilmu yang semata-mata untuk diingat saja baik dari konsep, fakta-fakta, dan prinsip. Melainkan untuk dipelajari dan dipahami lagi mengenai konsep ilmu pengetahuannya (Waris et al., 2017).

Menurut (Wullan, 2017), alat peraga medan magnet (APMM) adalah sejenis alat demonstrasi yang dibuat secara mandiri. Dengan adanya alat peraga ini, maka akan menghubungkan konsep-konsep yang berhubungan pada materi fisika medan magnet. APMM adalah alat yang dirancang bagi guru untuk mengajarkan topik medan magnet secara lebih realistis. Selain itu, APMM terbuat dari bahan-bahan sederhana yang mudah ditemukan di sekitar kita. Medan magnet sendiri sulit diamati menggunakan mata telanjang secara langsung, namun medan magnet



dapat diamati menggunakan bantuan kompas. Namun, dengan bantuan kompas kita hanya dapat mengetahui arah medan magnet saja, kita tidak dapat mengetahui nilai suatu medan magnet.

Menurut Bambang Ruswanto (dalam (Febri Rismaningsih et al., 2022) pada tahun 1980 seorang fisikawan bernama Hans Christian Oersted melakukan uji coba mengenai medan magnetik yang disebabkan dari kawat berarus listrik. Sehingga didapatkan hasil bahwa terdapat medan magnet di sekitar kawat arus listrik. Arah garis gaya magnet sejajar dengan garis singgung lingkaran kawat dengan arah yang ditunjukkan oleh kutub utara magnet. Medan magnetik yang muncul oleh arus listrik disebut dengan induksi magnetik. Adapun cara menentukan arah garis-garis medan magnetik yaitu dengan menerapkan kaidah tangan kanan. Caranya adalah dengan memegang kawat lurus dengan tangan kanan, kemudian ibu jari akan menunjukkan kuat arus listrik, dan arah putaran keempat jari yang dirapatkan akan menunjukkan arah garis medan magnet.



Gambar 1. Percobaan dengan Kaidah Tangan Kanan

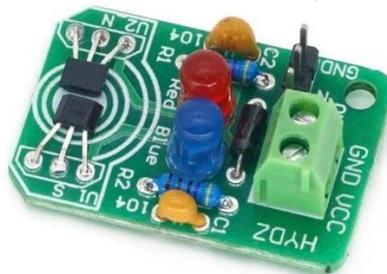
Percobaan mengenai medan magnet juga diselesaikan oleh Biot-Savart. Secara prinsip, medan magnetik dan induksi magnetik adalah sama. Medan magnetik adalah besaran vektor yang memiliki besar sekaligus arah. Vektor medan magnetik biasanya dilambangkan dengan  $B$ , kemudian besar medan magnetik dilambangkan dengan  $B$ . Besar medan magnetik dapat dilihat melalui garis-garis medan magnetik yang terdapat pada kawat berarus. Kuat medan magnetik  $B$  yang muncul disebabkan oleh arus listrik  $I$  yang mengalir di kawat lurus dengan jari-jari  $\alpha$ , bentuk persamaan umumnya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi\alpha}$$

Sensor magnetik atau reed relay adalah perangkat yang dipengaruhi oleh medan magnet. Sensor magnetik memberikan kondisi keluaran yang berbeda. Seperti sakelar toggle (on/off), ia dapat digerakkan oleh medan magnet di sekitarnya. Sensor biasanya tertutup rapat dan bebas dari debu, kelembapan, asam, atau uap (Mansyah & Myori, 2022). Salah satu cara untuk mengukur kuat medan magnet (induksi magnet) adalah dengan menggunakan sensor medan magnet pada sensor Hall effect tipe UGN3503, yang ditandai dengan resistansi pengukuran yang relatif tinggi (Putri et al., 2022). *Hall magnetic sensor bipolar* merupakan sensor magnet dengan struktur transistor bipolar kolektor ganda. Secara khusus, medan magnet menghasilkan arus yang tidak sama antar kedua kolektor. Sinyal keluaran diambil sebagai tegangan diferensial yang dikembangkan melintasi

resistor beban keluaran. Menurut (Schade et al., 2019) dalam efek Hall klasik arah arus  $I$  dan medan magnet  $B$  menentukan arah gaya magnet. Muatan permukaan menghasilkan medan listrik transversal  $E$ .

Tegangan output dari sensor Hall adalah linier terhadap input magnetik medan. Oleh karena itu, secara umum, medan magnet eksternal menyebabkan dua jenis kesalahan dalam Output sensor Hall: penyerang dapat menyuntikkan medan magnet yang kuat, yang dapat mengubah output sensor dalam skala besar (yaitu, volt rentang) dan menggerakkan output dari wilayah liniernya hingga mendekati wilayah saturasi, atau dapat menipu medan magnet yang lemah, yang dapat mengubah output sensor dalam skala milivolt hanya dalam wilayah linier (Barua & Faruque, 2022). Sensor Hall memiliki elemen Hall, yang mengeluarkan tegangan yang sebanding dengan medan magnet yang disensor ke penguat diferensial. Karakteristik input-output penguat diferensial adalah linier. Jika tegangan output dari elemen Hall kecil, penguat diferensial biasanya bekerja di wilayah linier. Namun, jika tegangan output dari elemen Hall besar, penguat diferensial tidak dapat bekerja di wilayah liniernya dan didorong ke wilayah jenuhnya (Barua & Al Faruque, 2022). Mekanisme yang menimbulkan arus kolektor yang tidak sama adalah modulasi injeksi emitor yang disebabkan oleh medan magnet yang muncul. Medan magnet menyebabkan injeksi pada satu bagian emitor ditingkatkan sambil menekan injeksi di tempat lain sehingga mengatur arus yang tidak sama antar kedua kolektor (Vinal & Masnari, 1984).



Gambar 2. Mikrokontroler *hall magnetic sensor bipolar*

Alat peraga medan magnet tidak hanya membantu siswa memahami konsep dasar medan magnet, tetapi juga membantu dalam membuktikan terdapat medan magnet pada sekitar kawat berarus listrik. Masalah yang umumnya ditemui oleh siswa yaitu kesulitan dalam membuktikan arah simpangan medan magnet yang terlibat dalam suatu percobaan. Permasalahan diatas dapat diatasi dengan menggunakan alat praktikum medan magnet di sekitar kawat berarus, dengan alat itu maka, siswa dapat melakukan percobaan untuk membuktikan adanya medan medan magnet di sekitar kawat berarus dan mengamati arah simpangan yang terjadi. oleh karena itu, peneliti memiliki gagasan untuk membuat penelitian mengenai “Pengembangan Alat Peraga Medan Magnetik Untuk Demonstrasi Konsep Medan Magnet Disekitar Kawat Berarus Pada Pembelajaran Fisika”.

## **METODE**

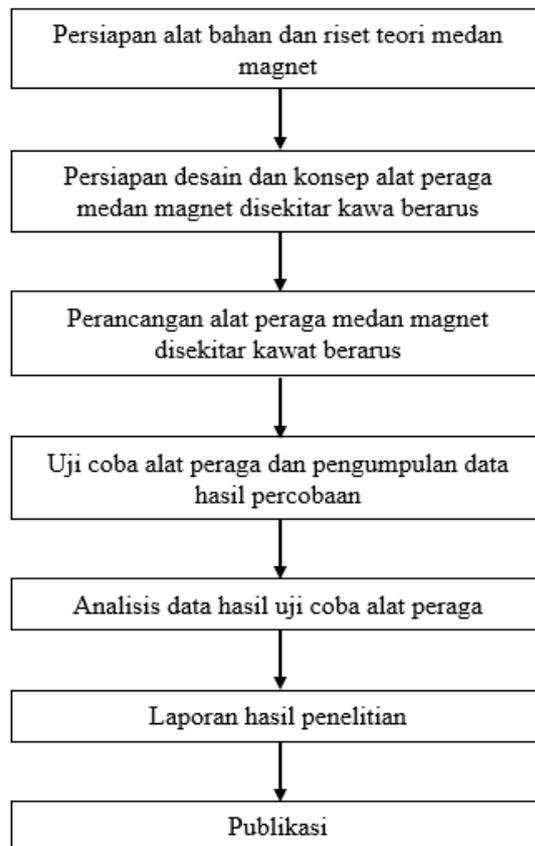
Metode dalam penelitian ini yaitu dengan menggunakan metode deskriptif kuantitatif. Data dikumpulkan secara deskriptif kuantitatif untuk memberikan gambaran terhadap keadaan yang sebenarnya terjadi, serta untuk menjawab pertanyaan yang berkaitan dengan status subjek pada penelitian (Rukajat, 2018).

### Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan antara lain:

- a. Triplek ukuran 20 x 30 dan 30 x 40
- b. Hall magnetic sensor bipolar (dual *output* dan dual LED indikator)
- c. Vu meter
- d. Baterai
- e. Holder baterai
- f. Kabel jumper merah
- g. Kabel jumper hitam
- h. Kawat
- i. Kompas
- j. Magnet batang
- k. Saklar
- l. Lampu
- m. Fitting lampu
- n. Multimeter digital

### Prosedur Kerja

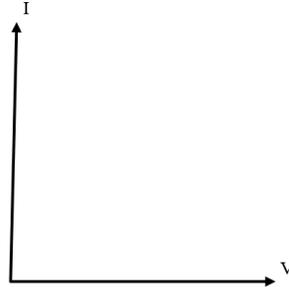


Gambar 3. Diagram alur prosedur penelitian

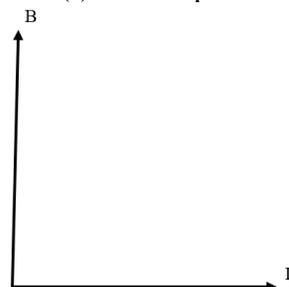
### Analisis Data

Data dalam penelitian diperoleh langsung dari hasil arus dan besar simpangan (medan magnet). Analisis data dilakukan dengan teknik analisis kuantitatif berdasarkan hasil grafik dan regresi linier sederhana.

- a. Grafik hubungan antara besar tegangan (V) terhadap kuatnya arus (I)



- Gambar 4. Grafik hubungan pada besar tegangan (V) terhadap kuatnya arus (I)  
 b. Grafik hubungan antara kuat arus (I) terhadap besar simpangan (B)



- Gambar 5. Grafik hubungan pada kuat arus (I) terhadap besar simpangan (B)  
 c. Persamaan regresi linier sederhana

Analisis regresi linier sederhana dilakukan untuk mengetahui keterkaitan antara variabel bebas (x) dengan variabel terikat (y). Bentuk persamaannya yaitu sebagai berikut:

$$y = bx + a$$

$$a = \frac{(\sum y \sum x^2) - (\sum x \sum xy)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

$$a = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

Kemudian, dari hasil analisis regresi tersebut akan didapatkan koefisien korelasi untuk mengetahui kekuatan hubungan antar variabel. Untuk menginterpretasikan hasilnya, maka digunakan kriteria sebagai berikut:

- 0 : tidak ada grafik hubungan antar variabel
- > 0 – 0,25 : grafik hubungan antar variabel sangat lemah
- > 0,25 – 0,5 : grafik hubungan antar variabel cukup kuat
- > 0,5 – 0,75 : grafik hubungan antar variabel kuat
- > 0,75 – 0,99 : grafik hubungan antar variabel sangat kuat
- 1 : grafik hubungan antar variabel sempurna

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Alat Peraga Medan Magnet Disekitar Kawat Berarus

Pembuatan alat peraga medan magnet disekitar kawat berarus yang dilengkapi dengan sensor analog ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana

hubungan besar tegangan dengan kuat arus dan besar medan magnet yang dihasilkan. Berikut merupakan hasil dari rancang bangun alat peraga tersebut.



Gambar 6. Hasil perancangan alat medan magnet disekitar kawat berarus

Dari gambar hasil rancangan alat peraga medan magnet disekitar kawat berarus diatas terdapat beberapa komponen yang menyusun alat peraga tersebut, antara lain kabel jumper, kawat, baterai, lampu, saklar, multimeter, kompas, serta magnet. Dimana dari komponen-komponen tersebut memiliki fungsi tersendiri, kabel jumper digunakan untuk mengalirkan arus listrik dari baterai ke kawat dengan perantara lampu LED agar dapat mengetahui ada atau tidaknya arus yang mengalir. Selain itu terdapat pula fungsi dari multimeter dan juga kompas.

#### a. Multimeter

Multimeter sendiri merupakan alat yang digunakan untuk membaca besar arus atau tegangan yang terdapat dalam suatu rangkaian listrik. Dalam rangkaian yang telah tim penulis susun menggunakan multimeter jenis analog, dimana multimeter analog ini berfungsi untuk mengetahui karakteristik suatu arus listrik, dengan perhitungan secara manual. Sehingga untuk dapat mengetahui besarnya arus yang mengalir pada rangkaian maka kita harus membaca dan menghitung secara manual.

#### b. Kompas

Kompas merupakan suatu alat yang digunakan untuk menunjukkan arah mata angin yang cara kerjanya mengikuti medan magnet pada bumi. Kompas sendiri dibagi menjadi dua yakni kompas analog dan kompas digital, namun kedua jenis kompas ini memiliki fungsi yang sama. Pada rangkaian diatas kompas analog disini berfungsi sebagai penunjuk arah simpangan dari medan magnet yang diletakkan di sekitar kompas.

Sedangkan pada rangkaian sensor magnetic terdapat beberapa komponen yang digunakan dalam merancang sensor tersebut. Seperti IC, tahanan, resistor, baterai, lampu LED, VU meter, sensor proximity, buzzer speaker, dan juga hall sensor magnetic. IC, tahanan, resistor, dan hall sensor magnetic merupakan satu kesatuan yang harus ada dalam rancang bangun sensor magnetic.

#### a. VU Meter

VU Meter merupakan suatu alat pengukur volume suara atau bunyi. VU meter juga dapat dikatakan sebagai perangkat yang dapat mengukur atau menstandarkan suatu transmisi dari suatu bunyi. Dalam perangkat sensor VU

meter digunakan sebagai pengukur besarnya arah simpangan yang dihasilkan lewat bunyi dari sensor magnetic itu sendiri.

b. Hall Sensor Magnetik

Hall sensor magnetic merupakan dasar yang digunakan dalam rangkaian sensor magnetic yang akan dibentuk. Hall sensor magnetic sendiri digunakan sebagai sensor magnet yang akan menghasilkan suatu besaran tegangan yang dihasilkan oleh medan magnet yang didekatkan kepada sensor. Dalam rancangan ini *hall sensor magnetic* menjadi jantung atau komponen utama yang harus ada apabila hendak membuat suatu sensor magnetic yang dapat bekerja dengan baik.

c. Sensor Proximity

Komponen yang harus ada pada rangkaian sensor magnetic sendiri adalah sensor proximity, dimana sensor proximity sendiri merupakan sebuah sensor yang digunakan untuk mendeteksi ada atau tidaknya suatu medan magnet. Sensor proximity ini akan disambungkan pada buzzer speaker dan hall magnetic sensor, pada saat sensor proximity mendeteksi adanya medan magnet maka secara otomatis LED yang ada pada hall sensor magnetic akan menyala dan kemudian akan menghasilkan bunyi pada buzzer speaker.

d. Buzzer Speaker

Buzzer speaker merupakan komponen elektronika yang dapat mengubah suatu getaran listrik menjadi getaran bunyi. Buzzer sendiri akan disambungkan ke sensor proximity, hall sensor magnetic, serta pada VU meter. Dimana pada saat buzzer speaker disambungkan pada hall sensor magnetic dan sensor proximity maka akan menghasilkan bunyi akibat adanya arus medan magnet serta listrik yang terdeteksi, yang kemudian bunyi tersebut akan menggerakkan VU meter sebagai pengukur volume bunyi.

**Prinsip kerja alat peraga**

Prinsip kerja dari alat peraga ini yaitu menggunakan *hall magnetic* sensor bipolar yang berguna untuk mendeteksi besar simpangan atau medan magnet yang dihasilkan. Ketika saklar dalam posisi terbuka, maka akan ada arus yang mengalir melewati kawat lurus, sehingga lampu akan menyala. Apabila terdapat arus yang mengalir maka disekitar kawat lurus akan menghasilkan medan magnet. Untuk mengetahui kemana arah medan magnet yang timbul, maka dibutuhkan Kompas dan magnet U yang didekatkan disekitar kawat lurus. Namun, Kompas hanya berfungsi untuk menunjukkan arah simpangan dari medan magnet saja, sehingga dibutuhkan hall magnetic sensor bipolar yang dihubungkan dengan VU meter.



Gambar 7. Sensor pendeteksi medan magnet

Dalam sensor tersebut, apabila terdapat medan magnet disekitar kawat berarus maka akan mengeluarkan suara dari buzzer speaker dan lampu (LED) akan menyala. Lampu merah mendeteksi kutub utara dan lampu biru mendeteksi kutub selatan. Besar simpangan dari medan magnetnya akan terbaca pada skala VU meter.

### Hasil Uji Coba Alat Peraga

#### Data Hasil Percobaan

Tabel 1. Data perolehan nilai arus, arah simpangan dan besar simpangan

Tegangan Baterai (V)	Posisi Magnet		Nyala Lampu	Kuat arus Simpangan (mA)	Arah Simpangan	Besar Simpangan
1,5	N	S	++	18,50	Kanan	-0,2
3	N	S	++++	19,36	Kanan	-0,5
1,5	S	N	++	17,44	Kiri	-0,8
3	S	N	++++	18,24	Kiri	-1

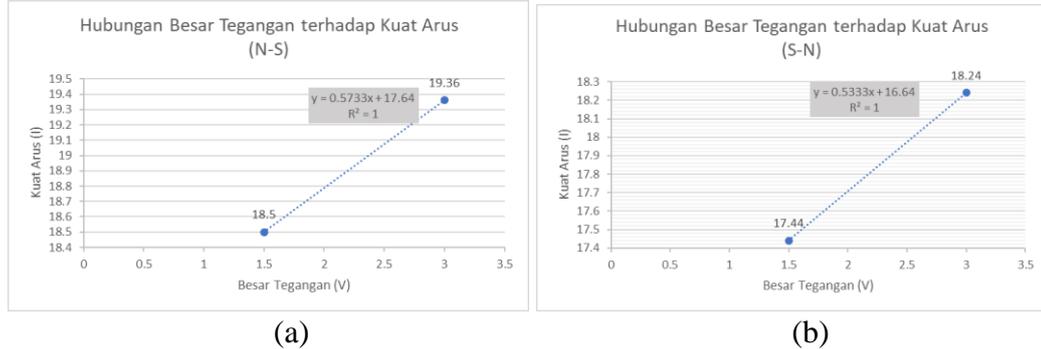
Keterangan :

++ : nyala lampu redup

++++ : nyala lampu terang

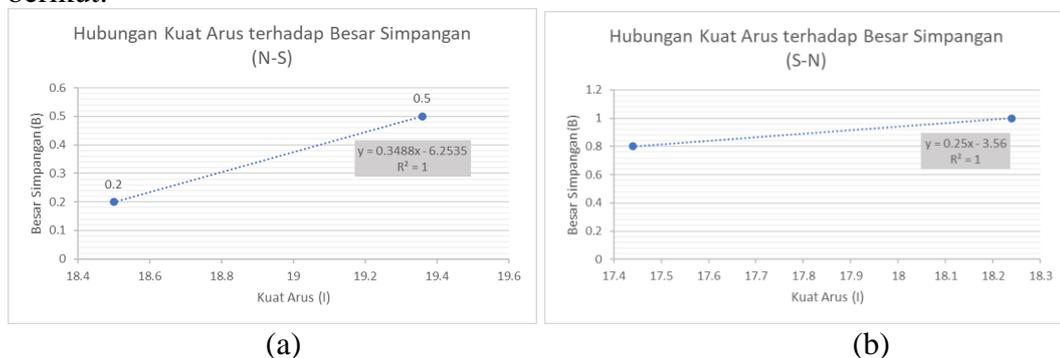
Percobaan dilakukan dengan mengubah-ubah nilai tegangan yaitu pada 1,5V dan 3V untuk dianalisis perbedaannya. Berdasarkan hasil data yang ditunjukkan oleh tabel 1, untuk mengetahui keterkaitan antar variabel maka diperlukan grafik yang menunjukkan korelasinya. Pertama, dari hasil tabel diketahui bahwa hubungan antara besar tegangan  $V$  terhadap kuat arus  $I$  adalah berbanding lurus. Artinya, semakin besar tegangan yang diberikan maka akan semakin besar kuat arus yang dihasilkan, begitupun sebaliknya. Begitu juga dengan nyala lampu yang dihasilkan, pada tegangan 1,5 Volt nyala lampu redup, sedangkan pada tegangan 3 Volt nyala lampu lebih terang. Arus akan mengalir dalam kondisi saklar tertutup. Hal ini sesuai dengan persamaan  $V = IR$  yang

menyatakan bahwa besar tegangan berbanding lurus dengan nilai arus. Grafik hubungan antara besar tegangan terhadap kuat arus dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar . Grafik hubungan antara besar tegangan (V) terhadap kuat arus (I) pada N-S dan S-N

Kedua, dari hasil tabel diketahui bahwa hubungan antara kuat arus  $I$  terhadap besar simpangan  $B$  adalah berbanding lurus. Artinya, semakin besar kuat arus yang dihasilkan maka akan semakin besar juga besar simpangan yang dihasilkan, begitupun sebaliknya. Hal tersebut sesuai dengan hukum Biot-Savart, dimana besar medan magnetik sebanding dengan arus yang mengalir. Dalam kondisi saklar tertutup, maka arus akan mengalir sehingga terdapat medan magnet disekitar kawat lurus atau kawat penghantar. Saat magnet diletakkan sejajar dengan kutub yang sama terhadap kompas (N-S), maka jarum kompas akan menyimpang ke kanan. Lalu saat magnet diletakkan sejajar dengan kutub yang berlawanan arah terhadap kompas (S-N), maka jarum kompas akan menyimpang ke kiri. Maka dari itu, diketahui bahwa gaya yang bekerja pada kawat penghantar juga termasuk gaya Lorentz, dengan menggunakan kaidah tangan kanan maka arah penyimpangan jarum kompas juga akan sesuai dengan data diatas. Grafik hubungan antara kuat arus terhadap besar simpangan dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar . Grafik hubungan antara kuat arus (I) terhadap besar simpangan (B) pada N-S dan S-N

Selanjutnya, berdasarkan analisis regresi sederhana yang sudah tertera pada grafik, diketahui bahwa koefisien korelasi menunjukkan skala 1. Hal tersebut menunjukkan bahwa terdapat hubungan sempurna antar variabel, sehingga perancangan alat peraga ini dapat dikatakan valid dan sesuai dengan konsep medan magnet disekitar kawat berarus pada literatur. Oleh karena itu, alat peraga ini cocok diterapkan dalam pembelajaran fisika pada materi medan magnet. Alat

peraga ini selain dapat dijadikan sebagai media pembelajaran, juga dapat digunakan sebagai media praktikum untuk menjelaskan dan membuktikan konsep fisika medan magnet yang sebelumnya terkesan abstrak.

## KESIMPULAN

Hubungan antara besar tegangan  $V$  terhadap kuat arus  $I$  adalah berbanding lurus. Artinya, semakin besar tegangan yang diberikan maka akan semakin besar kuat arus yang dihasilkan, begitupun sebaliknya. Kemudian hubungan antara kuat arus  $I$  terhadap besar simpangan  $B$  adalah berbanding lurus. Artinya, semakin besar kuat arus yang dihasilkan maka akan semakin besar juga besar simpangan yang dihasilkan, begitupun sebaliknya. Maka dari itu, diketahui bahwa gaya yang bekerja pada kawat penghantar juga termasuk gaya Lorentz, dengan menggunakan kaidah tangan kanan maka arah penyimpangan jarum kompas juga akan sesuai. Sehingga alat peraga ini cocok untuk diterapkan dalam pembelajaran fisika pada materi medan kawat berarus.

## REFERENSI

- Barua, A., & Al Faruque, M. A. (2022). PreMSat: Preventing Magnetic Saturation Attack on Hall Sensors. *IACR Transactions on Cryptographic Hardware and Embedded Systems*, 2022(4), 438–462. <https://doi.org/10.46586/tches.v2022.i4.438-462>
- Barua, A., & Faruque, M. A. Al. (2022). HALC: A Real-time In-sensor Defense against the Magnetic Spoofing Attack on Hall Sensors. *ACM International Conference Proceeding Series*, 185–199. <https://doi.org/10.1145/3545948.3545964>
- Febri Rismaningsih, S. P. S. M. S., Yulianti Malik, S. S. M. T., Eko Sujarwanto, M. P., Syukri Muaz, A. M. R. O. S. S., Sumario, S. P., Bergita Gela M Saka, S. S. M. S., Fitri Yati, A. M. R. O. S. K. M. M. P., Erwinda Fenty Anggraeni, S. P. S. M. S., Dr. Jan Setiawan, S. S. M. S., & I Gusti Ayu Ngurah Kade Sukiastini, S. P. M. P. (2022). *Fisika Magnet Untuk Teknik*. Media Sains Indonesia. <https://books.google.co.id/books?id=sbJ3EAAAQBAJ>
- Mansyah, S., & Myori, D. E. (2022). *Rancang Bangun Alarm Pintu Rumah Otomatis Menggunakan Sensor Magnet Bebas Arduino Uno*. 3(2), 407–415.
- Putri, H. V., Radiyono, Y., & Setiawan, I. B. (2022). Pengembangan Alat Percobaan Induksi Magnetik Pada Kawat Melingkar Berarus dengan Hall Effect Sensor UGN3503. *Jurnal Materi Dan Pembelajaran Fisika*, 12(1), 44–50.
- Rukajat, A. (2018). *Pendekatan Penelitian Kuantitatif: Quantitative Research Approach*. Deepublish.
- Schade, N. B., Schuster, D. I., & Nagel, S. R. (2019). A nonlinear, geometric Hall effect without magnetic field. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(49), 24475–24479.
- Vinal, A. W., & Masnari, N. A. (1984). Operating principles of bipolar transistor magnetic sensors. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 31(10), 1486–1494. <https://doi.org/10.1109/T-ED.1984.21737>
- Waris, A., Darsikin, D., & Nurjannah, N. (2017). Pengembangan alat praktikum sederhana konsep listrik magnet untuk siswa smp daerah terpencil. *JPFT (Jurnal Pendidikan Fisika Tadulako Online)*, 3(2), 1–7.
- Wullan, N. S. (2017). *Pengaruh Alat Peraga Medan Magnet (APMM) Terhadap Hasil Belajar Siswa pada Konsep Medan Magnet*. FITK UINJKT.