



Pengembangan Alat Ukur Fluks Magnetik berbasis Mikrokontroler menggunakan Sensor *Hall Effect*

Merni Limbong¹, Revaldy Imanuel Orlando Karundeng^{1*}, Marianus¹, Jeane Verra Tumangkeng¹, Ishak Pawarangan²

¹ Pendidikan Fisika, Universitas Negeri Manado, Tondano, Indonesia

² Fisika, Universitas Negeri Manado, Tondano, Indonesia

Abstrak

Pemahaman peserta didik terhadap konsep medan magnetik dan fluks magnetik sering kali masih rendah karena penyajiannya yang bersifat teoritis sehingga penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat ukur fluks magnetik berbasis mikrokontroler arduino uno menggunakan sensor *hall effect* sebagai sarana pendukung pembelajaran pada peserta didik. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Research and Development* (R&D) yang mengacu pada identifikasi masalah, perancangan secara *software* dan *hardware*, perangkaian alat hingga uji coba alat. Teknik pengolahan data yang digunakan dengan cara menguji hasil pengukuran fluks magnetik menggunakan alat, yang kemudian dibandingkan dengan nilai teoritis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat mampu mendeteksi variasi fluks magnetik dengan tingkat akurasi yang tinggi, di mana selisih antara hasil alat dan nilai teoritis tercatat cukup kecil, berkisar antara 0,004% hingga 0,072%. Data fluks yang diperoleh menunjukkan pola penurunan konsisten seiring bertambahnya sudut, selaras dengan karakteristik fungsi kosinus dalam teori medan magnetik. Alat ukur yang berhasil dikembangkan memberikan potensi alternatif sebagai media pembelajaran praktikum digital yang aplikatif dalam upaya memperkuat pemahaman siswa terhadap konsep dasar fisika magnetik.

Masuk:

28 Januari 2025

Diterima:

18 April 2025

Diterbitkan:

30 Juni 2025

Kata kunci:

Alat Praktikum, Arduino Uno, Fluks Magnetik, *Hall effect*, Medan Magnetik.

PENDAHULUAN

Fisika adalah suatu bidang yang menarik untuk dipelajari karena keterkaitan dengan fenomena sehari-hari (Puri, R. A., & Perdana, R., 2023; Afifah, S. R., dkk., 2022). Konsep dalam bidang fisika sering kali dirasa sulit (Ady & Warliani, 2022), sehingga diperlukan upaya agar peserta didik mampu memahami konsep fisika dengan baik. Salah satu materi fisika yang membutuhkan penjelasan konsep dan fenomena adalah medan magnet (Nur dkk., 2024).

Medan magnetik dan fluks magnetik merupakan dua materi yang masih tergolong mendasar dalam fisika. Magnet

merupakan suatu benda yang memiliki medan listrik sendiri, karena memiliki muatan listrik sehingga pengaruh magnet dapat menghasilkan medan magnet (Dwicahyaning dkk., 2023).

Dalam fenomena fluks magnetik akan terjadi sejumlah garis kuat medan magnetik tertentu yang menembus permukaan yang disebut dengan fluks magnetik (Cahyono dkk., 2023; Putri dkk., 2022). Keberadaan medan magnet disebabkan oleh adanya arus listrik yang mengalir pada suatu kawat atau benda. Fluks magnet dipengaruhi oleh medan magnet B dan luas permukaan A yang ada pada sudut antara arah medan magnet

*Korespondensi: Revaldy Imanuel Orlando Karundeng ✉ 22505006@unima.ac.id 📍 Universitas Negeri Manado, Jl. Kampus Unima, Tondano, 95618, Indonesia.

dengan garis normal yang tegak lurus $\cos \theta$. Jika arah medan magnet sejajar dengan bidang, maka nilai $\theta = 90^\circ$ dan fluks magnetik bernilai 0. Jika arah medan magnetik tegak lurus dengan bidang, maka nilai $\theta = 0^\circ$ dan fluks magnetiknya bernilai BA (maksimum).

Umumnya alat ukur yang digunakan untuk mengukur medan magnet dibagi menjadi dua, yang pertama alat ukur analog dan yang kedua menggunakan alat ukur digital. Medan magnetik (induksi magnet) dapat diukur melalui berbagai cara, salah satunya dengan menggunakan sensor medan magnet jenis sensor *hall effect*. Sensor *hall effect* ini merupakan sensor yang dapat digunakan untuk mendeteksi medan magnet, sensor yang digunakan akan menghasilkan sebuah tegangan yang setara dengan kuat medan magnet yang diterima oleh sensor tersebut. Sensor *hall effect* terdiri dari sebuah lapisan silikon yang di mana berfungsi untuk mengalirkan arus listrik (Waruwu dkk., 2021). Sensor *hall effect* memiliki 3 tiga pin yaitu yang pertama, Pin 1 merupakan *supply* sebagai sumber tegangan yang diberikan ke dalam sensor *efek hall* sehingga sensor dapat berfungsi. Pin 2 merupakan *ground* dan Pin 3 adalah *output* yang berfungsi sebagai tegangan yang diperoleh dari medan magnet yang di ukur (Bilal dkk., 2024; Prastyaningrum dkk., 2020). Kuat medan magnetik akan diproses kembali dan alat yang digunakan untuk memproses sinyal adalah Arduino Uno. Arduino Uno adalah papan mikrokontroler menggunakan fitur Atmega8U2 yang memiliki 14 pin digital *input/output* (di mana 6 pin dapat digunakan sebagai *output* PWM), 6 *input analog*, *clock speed* 16 MHz, menggunakan koneksi USB, serta tombol reset (Maabuat, 2020).

Alat ukur dalam pembelajaran fisika umumnya digunakan sebagai alat peraga pendukung praktikum. Alat peraga adalah media pembelajaran yang penting untuk membantu siswa memvisualisasikan konsep-konsep abstrak menjadi lebih konkret (Ahmad dkk., 2024; Pangke dkk., 2021; Rahmawati dkk.,

2024). Penggunaannya membuat proses belajar lebih menarik dan kreatif, sehingga pemahaman siswa terhadap materi pelajaran menjadi lebih baik (Nomor dkk., 2024). Sebagaimana disampaikan oleh Fauziyah dkk. (2024), penggunaan alat praktikum berbasis mikrokontroler mampu meningkatkan keterampilan peserta didik dalam memahami konsep-konsep elektronika secara langsung melalui kegiatan praktikum. Berdasarkan kajian literatur, hingga saat ini masih jarang ditemukan pengembangan alat praktikum yang dirancang khusus untuk mendeteksi perubahan fluks magnetik menggunakan sensor *hall effect* berbasis Arduino Uno. Komalasari dkk. (2021) juga menegaskan pentingnya penyederhanaan sistem deteksi otomatis berbasis sensor untuk memberikan pengalaman belajar yang efisien dan aplikatif. Sebagian besar penelitian sebelumnya hanya terbatas pada pengukuran medan magnet statis tanpa menghubungkannya dengan perubahan fluks magnetik (Boisandi & Matsun, 2025; Dwicahyaning dkk., 2023; Putra dkk., 2019).

Keterbatasan alat peraga dan kurangnya alat bantu praktikum yang memadai di laboratorium sekolah mengakibatkan sering tidak dilakukannya kegiatan praktikum (Rizal, 2024), khususnya pada materi kemagnetan. Hal ini selaras dengan temuan bahwa sebagian besar sekolah masih sangat terbatas dalam pemanfaatan alat praktikum secara langsung, dan lebih bergantung pada bahan ajar tertulis seperti LKPD atau modul (Utama dkk., 2024). Oleh karena itu, peneliti merancang alat peraga fisika yang dapat mengukur fluks magnetik sekaligus mengetahui kuat medan magnet menggunakan Arduino Uno dan sensor *hall effect*. Hasil deteksi dari fluks magnetik dan kuat medan magnetik yang dirancang akan ditampilkan pada layar LCD yang menunjukkan nilai dalam bentuk digital. Pengembangan perangkat semacam ini sangat dibutuhkan untuk menghadirkan pengalaman praktikum yang kontekstual, aplikatif, dan mampu menumbuhkan keterampilan berpikir ilmiah siswa di

tengah keterbatasan fasilitas laboratorium (Utama dkk., 2024; Komalasari dkk., 2021).

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan alat pengukur fluks magnet dan kuat medan magnet yang dapat mendeteksi serta menampilkan perubahan nilai secara langsung di layar LCD. Selain itu, penelitian ini juga menguji tingkat akurasi dan sensitivitas alat dalam berbagai kondisi eksperimen. Alat ini dikembangkan sebagai media pembelajaran interaktif untuk memperdalam pemahaman konsep fluks magnet melalui praktikum langsung, sehingga dapat menjadi salah satu pilihan media pembelajaran fisika yang bersifat nyata, aplikatif, dan berbasis teknologi.

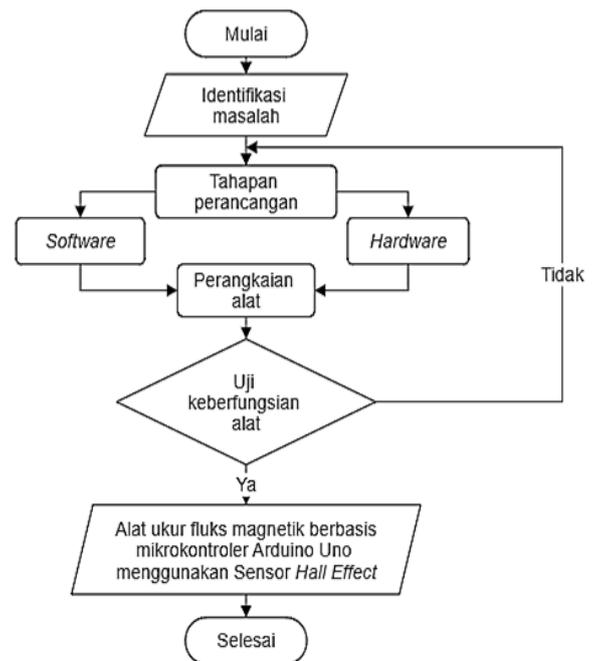
METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Research and Development (R&D)* yang berfokus pada perancangan dan pengujian alat pengukur fluks magnetik menggunakan sensor *hall effect* dan mikrokontroler arduino uno.

Research and Development (R&D) merupakan suatu rangkaian proses sistematis yang bertujuan untuk menciptakan produk baru atau menyempurnakan produk yang telah ada sebelumnya, baik dari segi fungsi, kualitas, maupun efisiensinya (Rustamana dkk., 2024).

Tahapan pengembangan alat terbagi dalam 4 bagian utama meliputi yang dilakukan secara berurutan. Bagian pertama adalah identifikasi masalah, yang dilakukan dengan pengumpulan data dan analisis terkait kesulitan peserta didik dalam memahami konsep medan magnetik dan fluks magnetik, kemudian tahapan perancangan, yang mencakup dua aspek penting, yaitu perancangan perangkat lunak (*software*) berupa program untuk mikrokontroler Arduino Uno dalam membaca dan mengolah data sensor, serta perancangan perangkat keras (*hardware*) yang meliputi pemilihan komponen elektronik dan desain rangkaian alat ukur, dilanjut dengan perangkaian alat yaitu

proses perakitan komponen perangkat keras sesuai dengan perangkaian alat, yaitu proses perakitan komponen perangkat keras sesuai dengan skema yang sudah dibuat, dan yang terakhir adalah pengujian alat untuk menentukan keberhasilan pembuatan alat. Apabila alat berhasil maka dilanjutkan sesuai dengan tahapan diagram alir pada Gambar 1



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir adalah sebuah gambaran langkah-langkah yang dilakukan secara berurutan dalam proses merancang dan membuat alat ukur fluks magnetik. Diagram ini bertujuan untuk memudahkan pemahaman tentang alur kerja hingga alat siap digunakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi Masalah

Salah satu kendala utama dalam pembelajaran fisika di sekolah, khususnya pada materi kemagnetan, adalah minimnya ketersediaan alat peraga dan alat bantu praktikum yang memadai di laboratorium. Keterbatasan ini berdampak pada kurangnya pelaksanaan kegiatan praktikum, padahal praktikum merupakan bagian penting dalam memahami konsep-konsep fisika yang bersifat abstrak, seperti medan magnetik dan fluks magnetik. Akibatnya, peserta didik cenderung hanya mendapatkan pengetahuan melalui

penyampaian teoritis tanpa adanya pengalaman langsung untuk mengamati atau mengukur fenomena magnetik tersebut. Hal ini menyebabkan rendahnya pemahaman siswa terhadap konsep medan dan fluks magnetik, yang seharusnya dapat dipahami lebih baik jika disertai dengan kegiatan eksperimen.

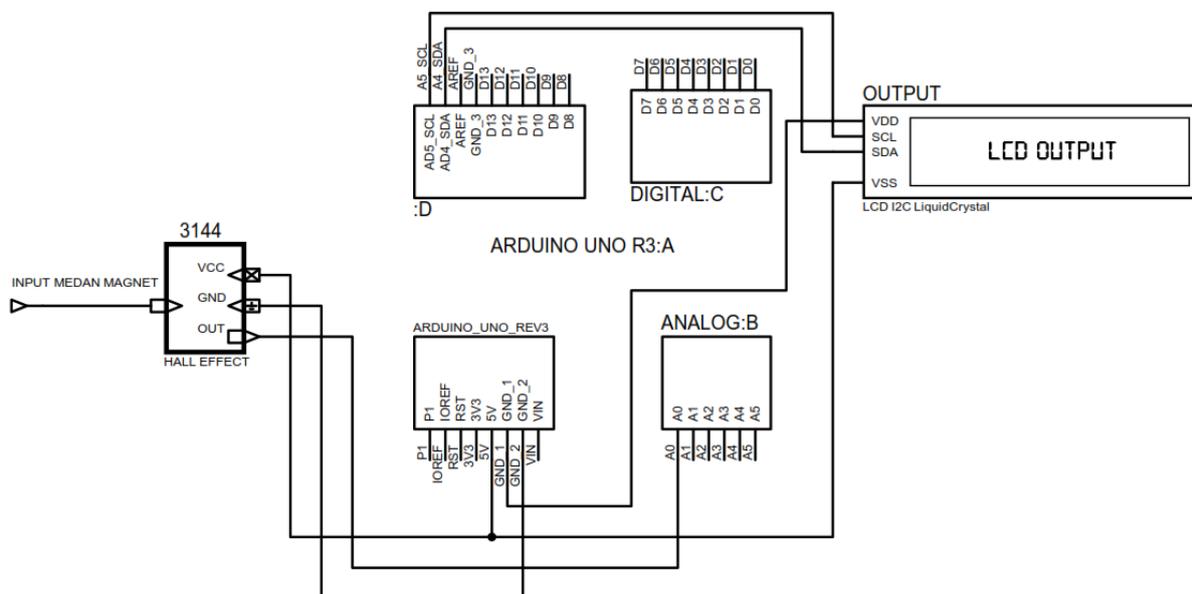
Untuk mengatasi permasalahan tersebut, peneliti merancang dan mengembangkan sebuah alat peraga fisika berbasis mikrokontroler Arduino Uno yang dikombinasikan dengan sensor *Hall Effect*. Alat ini dirancang agar mampu mengukur kuat medan magnet dan fluks magnetik secara *real time*, serta menampilkan hasil pengukuran dalam bentuk digital melalui layar lcd. Melalui pengembangan alat ini, peserta didik dapat melakukan pengamatan langsung terhadap perubahan nilai medan magnet seiring perubahan posisi atau kekuatan sumber magnet, sehingga konsep yang sebelumnya abstrak menjadi lebih nyata dan mudah dipahami. Dengan demikian, pengembangan alat ini tidak hanya bertujuan sebagai inovasi teknologi pembelajaran, tetapi juga sebagai solusi terhadap rendahnya kualitas

praktikum fisika di sekolah. Alat ini diharapkan dapat meningkatkan pemahaman siswa serta menjadikan pembelajaran fisika lebih interaktif.

Hasil Rancangan *Software* dan *Hardware*

Software pada penelitian ini dibuat dengan simulasi skematik elektronik menggunakan aplikasi Proteus 8 dan pemrograman menggunakan Aplikasi Arduino IDE. Hasil simulasi rangkaian berfungsi sebagai pengujian logika alat sebelum diterapkan pada pembuatan alat.

Proteus 8 merupakan perangkat lunak yang dirancang untuk membantu pengguna dalam membuat skematik rangkaian sekaligus mensimulasikan kerja rangkaian elektronik secara digital. Aplikasi ini memberikan kemudahan dalam melakukan pengujian simulasi pada tahap skematik sebelum pembuatan alat secara langsung sehingga dapat memastikan rangkaian bekerja dengan baik. Hasil dari simulasi rangkaian pada aplikasi Proteus 8 ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skematik Rangkaian Aplikasi Proteus 8

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) adalah perangkat lunak yang digunakan untuk menulis, mengedit, dan mengunggah

program ke papan mikrokontroler. Dengan antarmuka yang sederhana dan penggunaan bahasa pemrograman berbasis C/C++, arduino IDE

memungkinkan pengguna untuk mengembangkan program yang kemudian diunggah dan dijalankan langsung oleh mikrokontroler Arduino Uno.

Perancangan *Hardware* adalah pembuatan komponen alat dimulai dari penyusunan komponen-komponen yang akan digunakan dalam perancangan alat, yaitu Arduino Uno R3 sebagai mikrokontroler utama yang bertugas membaca data dari sensor dan mengolah data sehingga ditampilkan di layar. Sensor *hall effect* (A3144) digunakan untuk mendeteksi perubahan magnetik dan mengubahnya menjadi sinyal listrik (tegangan) yang akan dibaca Arduino Uno, LCD 16x2 menampilkan hasil pembacaan fluks magnetik secara langsung berbentuk angka, *breadboard* digunakan sebagai tempat penyusunan dalam menghubungkan setiap komponen tanpa menggunakan alat solder, kabel jumper digunakan untuk menghubungkan tiap komponen di *breadboard* atau dari *breadboard* ke arduino. Kabel jumper yang digunakan dalam perancangan alat ini ada dua yaitu kabel jumper *male to female* dan kabel jumper *male to male*.

Magnet *Neodymium* digunakan sebagai sumber medan magnet yang dideteksi oleh sensor, baterai 9 V sebagai sumber daya portabel untuk komponen lainnya yang disambungkan ke arduino, resistor 10k Ω digunakan untuk menstabilkan sinyal dari sensor yang akan disalurkan ke arduino, LED digunakan sebagai indikator visual sederhana menandakan keaktifan alat, dan kabel USB yang digunakan sebagai penghubung arduino ke komputer.

Hasil Perangkaian Alat

Perangkaian alat ini melibatkan penyusunan dari beberapa komponen utama yang saling terhubung sehingga membentuk sebuah alat pendeteksi fluks magnetik. Komponen pertama adalah sensor *hall effect* yang berfungsi sebagai alat pendeteksi magnetik yang menghasilkan tegangan sebagai *output*. Sensor ini dihubungkan dengan menghubungkan pin VCC sensor ke pin 5V

arduino, kemudian pin GND Sensor dihubungkan ke pin GND arduino, terakhir pin Out sensor dihubungkan ke pin analog A0 arduino.

Penampilan data hasil dari deteksi sensor secara langsung digunakan LCD 16x2 yang saling terhubung menggunakan bantuan dari modul I2C, sehingga memerlukan dua jalur komunikasi data. Penyusunan rangkaian LCD ke arduino disusun dengan rincian Pin VCC LCD dihubungkan ke pin 5V arduino, pin GND LCD ke GND arduino, pin SDA LCD disambungkan ke pin A4 arduino, dan terakhir Pin SCL LCD disambungkan ke pin A5 di arduino. Ketika magnet terdeteksi lampu LED yang dirangkai di *breadboard* akan menyala dan ketika magnet tidak terdeteksi maka LED akan padam.

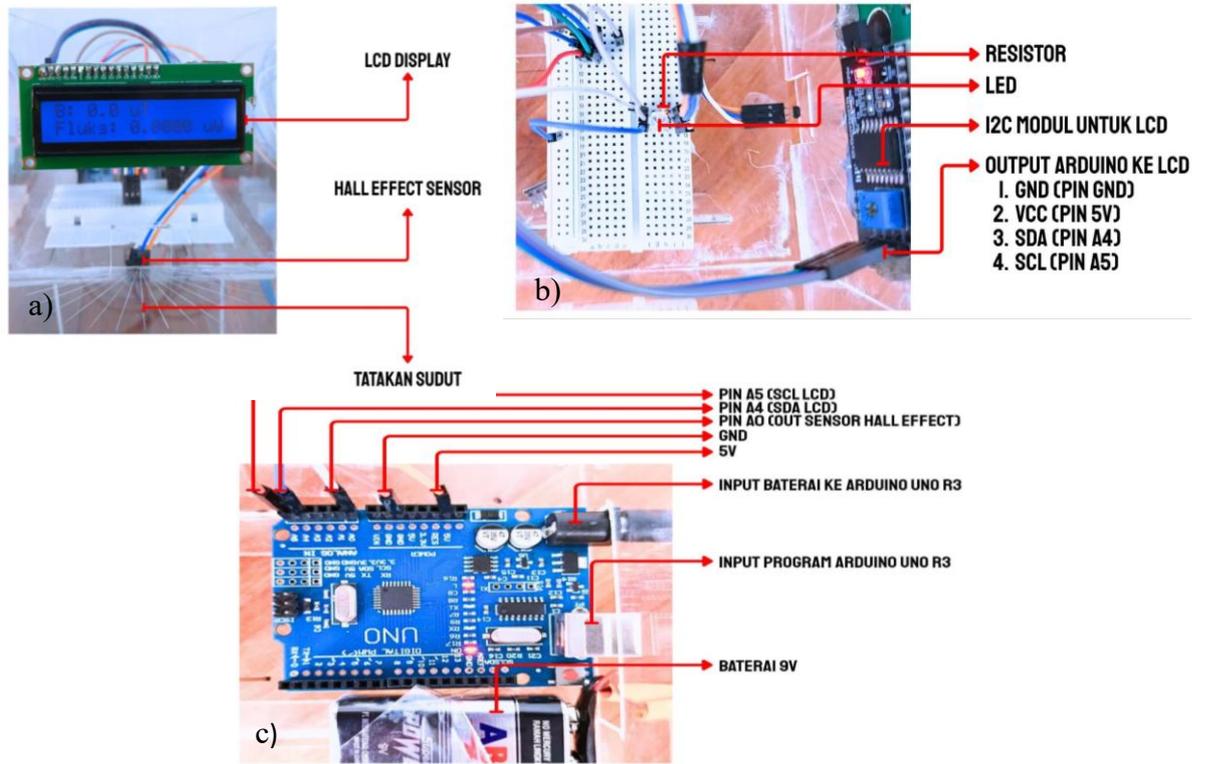
Rangkaian pembuatan alat telah berhasil diimplementasikan secara lengkap dengan integrasi pembagian tampilan sebagaimana terlihat pada Gambar 3.

Hasil Uji Coba Alat

Dalam proses pengembangan alat ukur fluks magnetik berbasis mikrokontroler dan sensor *hall effect*, tahapan pengujian merupakan langkah krusial untuk memastikan bahwa alat yang dirancang tidak hanya bekerja secara teoritis, tetapi juga dapat berfungsi secara optimal di lapangan. Pengujian ini mencakup aspek akurasi pengukuran serta kemampuan alat dalam merespon perubahan medan magnet secara langsung.

Pengujian keakuratan dan responsivitas alat yang telah dikembangkan dilakukan dengan uji coba alat secara langsung. Uji coba alat menggunakan cara mendekatkan sensor *hall effect* ke sumber medan magnet berupa magnet *neodymium*. Alat kemudian merekam perubahan medan magnet berdasarkan variasi jarak dan orientasi sensor terhadap magnet. Nilai pembacaan yang diperoleh dari sensor kemudian dikonversi menjadi nilai medan magnet (B) dan digunakan untuk menghitung fluks magnetik (Φ) berdasarkan luas permukaan

magnet. Hasil pengukuran disajikan dalam Tabel 1.



Gambar 3. Tampilan Akhir Alat Ukur Fluks Magnetik a) Tampak Bagian Depan, b) Tampak Atas Bagian Depan, dan c) Tampak Atas Bagian Belakang.

Tabel 1. Uji Validitas Alat Fluks Magnetik

Pengujian ke-	Medan Magnet Terbaca (T)	Sudut (°)	Nilai Luaran Alat (Wb)	Nilai Teoritis (Wb)	Galat (%)
1	1365	0	1064.79	1064.7	0.008
2	1357	10	1058.69	1058.46	0.021
3	1353	20	1055.64	1055.34	0.028
4	1339	30	1044.96	1044.42	0.052
5	1333	40	1040.39	1039.74	0.063
6	1327	50	1035.81	1035.06	0.072
7	1324	60	1032.76	1032.72	0.004
8	1312	70	1023.61	1023.36	0.024

Data pada Tabel 1 menunjukkan hasil uji validitas alat fluks magnetik yang dilakukan dengan cara memvariasi sudut magnetik dari 0° hingga 70° dan jarak sensor ke magnet yaitu sejauh 1,5 cm. Magnet yang digunakan memiliki luas permukaan (A) yaitu $0,78 \text{ cm}^2$. Pada pengujian peneliti melakukan percobaan

alat sebanyak 7 kali percobaan dengan sudut yang berbeda-beda.

Berdasarkan data pada Tabel 1, terlihat bahwa perubahan sudut antara arah medan magnet dan permukaan sensor *hall effect* memberikan pengaruh terhadap nilai fluks magnetik yang dihasilkan, baik dari hasil pengukuran maupun

perhitungan teoritis. Hal ini juga tercermin pada nilai galat yang tercatat pada tiap pengukuran.

Dalam Pengujian alat ini dilakukan perhitungan pengukuran menggunakan alat dan perhitungan nilai secara teoritis. Pada sudut 0° , nilai fluks magnetik hasil pengukuran mencapai 1064,79 Wb, sangat dekat dengan nilai teoritis 1064,7 Wb, dengan galat terkecil sebesar 0,008%. Ini menunjukkan bahwa fluks magnetik berada pada kondisi maksimum saat arah medan magnet tegak lurus terhadap permukaan sensor.

Penurunan fluks magnetik secara bertahap ini sesuai dengan prediksi teoritis, mengingat nilai $\cos \theta$ akan semakin kecil saat sudut bertambah, sehingga memperkecil hasil perkalian dalam persamaan fluks magnetik. Namun, pada sudut 60° dan 70° , galat kembali menurun menjadi 0,004% dan 0,024%. Penurunan nilai galat pada sudut tinggi ini dapat disebabkan oleh posisi sensor dan magnet yang lebih stabil dan juga dipengaruhi sistematis dan gangguan eksternal. Dari data percobaan dari sudut 0° hingga 70° menunjukkan bahwa galat antara hasil pengukuran alat dan nilai teori sekitar 0,004% hingga 0,072% dengan perbedaan yang sangat kecil.

Hasil pengamatan dalam pengujian memperlihatkan bahwa nilai pada medan magnetik yang terdeteksi sensor *hall effect* mengalami penurunan secara bertahap ketika sudut kemiringan magnet terhadap sensor diubah. Penurunan nilai medan magnet ini yang mengakibatkan penurunan terhadap fluks magnetik yang terdeteksi baik pada hasil fluks pengukuran langsung maupun fluks magnetik secara teoritis. Fenomena ini sesuai dengan teori hubungan medan magnet dan fluks magnetik (Pratama, 2023). Pada sudut 0° , seluruh komponen medan magnetik sejajar dengan sensor sehingga fluks magnetik yang terdeteksi berada pada nilai maksimum, ketika sudut bertambah, nilai $\cos \theta$ akan mengecil yang menyebabkan komponen magnetik efektif yang mengenai sensor menjadi lebih kecil dari sudut sebelumnya dan ini juga

berpengaruh pada nilai fluks (Putra dkk., 2019; Lin Qindkk., 2024; Qin dkk., 2023; Waruwu dkk., 2021).

Selama proses pengujian, ada beberapa kendala yang mempengaruhi terhadap kestabilan hasil pengukuran. Salah satu masalah utama yang sering kali muncul adalah tingginya sensitivitas sensor *hall effect* terhadap perubahan medan maupun gangguan atau gerakan di sekitar komponen lain. Untuk mengurangi dampak gangguan pada penelitian selanjutnya, disarankan untuk menggunakan perisai magnetik (*magnetic shielding*) untuk melindungi sensor dari gangguan medan magnet luar dan memperbaiki tata letak komponen. Dengan demikian, sensor dapat bekerja lebih stabil dan menghasilkan data yang lebih akurat.

Kegagalan juga bisa dipengaruhi oleh faktasi tegangan dari sumber listrik arduino yang menyebabkan sensor memberikan *output* yang tidak konsisten. Oleh karena itu, dalam percobaan dibutuhkan waktu beberapa detik maupun menit untuk menunggu alat menstabilkan tegangan sebelum percobaan dilanjutkan kembali. Proses ini dilakukan untuk memastikan bahwa setiap pengukuran dilakukan dalam kondisi sistem alat yang stabil sehingga hasil dari pengujian yang diperoleh valid dan sesuai dengan prinsip teori fluks magnetik (Putri dkk., 2022). Dengan memperhatikan kestabilan sistem pengukuran, akurasi data yang dapat dipertahankan, dan alat pengukur fluks magnetik berbasis mikrokontroler dan sensor *hall effect* dapat dikatakan berhasil dan sesuai dengan teori yang ada.

SIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil merancang dan mengembangkan serta mengujicobakan alat ukur fluks magnetik berbasis mikrokontroler menggunakan sensor *hall effect*. Hasil pengukuran pada pengujian alat menunjukkan bahwa nilai fluks magnetik akan menurun seiring bertambahnya sudut. Interpretasi data hasil pengukuran mengkonfirmasi bahwa nilai fluks magnetik pengukuran alat memiliki keakuratan nilai yang baik di

mana nilai galat berkisar pada rentang 0,004 hingga 0,072% terhadap nilai pengukuran secara teoritis.

REFERENSI

- Ady, W. N., & Warliani, R. (2022). Analisis Kesulitan Belajar Siswa SMA terhadap Mata Pelajaran Fisika pada Materi Gerak Lurus Beraturan. *Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Fisika*, 2(1), 104. <https://doi.org/10.52434/jpif.v2i1.1599>.
- Afifah, S.R., Safitri, N.A.W. & Setiaji, B. (2022). BUKA FENAM (Buletin Fisika Fenomena Alam) Sebagai Alternatif untuk Meningkatkan Minat Baca: Sebuah Uji Kelayakan. *JKPI: Jurnal Kajian Pendidikan IPA Program Studi Pendidikan IPA*, 2(2), 69–75.
- Ahmad, L. S., Dian Utami, Tessa Zerina Naryamastri, & Hari Anggito. (2024). Dampak Pembelajaran Fisika Menggunakan Alat Peraga Venturimeter pada Materi Fluida Dinamis. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Profesi Guru*, 7(1), 222–234. <https://doi.org/10.23887/jippg.v7i1.69230>
- Bilal, M., Fikra Titan, F. T. S., & Yuliantoro, P. (2024). Unjuk Kerja Sensor *Hall effect* Untuk Penentuan Kuat Medan Magnet Acuan Jarak. *Jurnal SINTA: Sistem Informasi Dan Teknologi Komputasi*, 1(3), 147–152. <https://doi.org/10.61124/sinta.v1i3.24>
- Boisandi, & Matsun. (2025). *Implementasi Alat Ukur Kemagnetan Berbasis Microcontroller Arduino Uno Sebagai Media Pembelajaran Saintifik untuk Meningkatkan Kemampuan Literasi Sains*. 14(1), 1–8. <https://doi.org/10.20961/inkuiri.v14i1.95667>
- Cahyono, A. D., Sudarti, S., & Prihandono, T. (2023). Analisis Radiasi Medan Magnet Peralatan Elektronik Rumah Tangga Terhadap Kesehatan. *ORBITA: Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Fisika*, 9(1), 73. <https://doi.org/10.31764/orbita.v9i1.14654>
- DwicaHYaning, E., Harijanto, A., Maryani, M., Rohma, S. A., Azmi, F., Alivia, H., & Friselya, E. Y. (2023). Rancang Bangun Alat Pratikum Fisika Untuk Mengukur Kuat Medan Magnet Berbasis Arduino Uno. *EDUPROXIMA: Jurnal Ilmiah Pendidikan IPA*, 5(2), 174–179. <https://doi.org/10.29100/v5i2.4194>
- Fauziyah, A., Pertiwi, N. A. S., & Putra, I. A. (2024). Pengembangan alat praktikum gerbang logika sebagai media pembelajaran praktikum Elektronika Dasar II. *Diffraction: Journal for Physics Education and Applied Physics*, 6(2), 65–74. <https://doi.org/10.37058/diffraction.v6i2.12552>
- Komalasari, K., Nurlaili, D., Qolbi, M. A., Halimatussa'diah, N., & Maulidah, R. (2021). Perancangan flood warning alarm sederhana dengan indikator ketinggian berbasis tenaga panel surya. *Diffraction: Journal for Physics Education and Applied Physics*, 3(2), 36–41. <https://doi.org/10.37058/diffraction.v3i2.3809>
- Lin, S., Lai, M., & Fang, W. (2024). On the influence of magnetic flux guide location to the out-of-plane magnetic field sensing of chip-scale AMR sensor. *Sensors and Actuators A: Physical*, 375. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2024.115517>
- Maabuat, A. J. dkk. (2020). Perancangan Proteksi Inverter Berbasis Arduino Uno. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer*, 9(1), 39–48.
- Nomor, V. X., Desember, X. J., Hall, M., Sensor, E., Sma, D. I., Novriensi, D., Hamdani, D., Putri, D. H., & Supratman, J. W. R. (2024). Development Of Magnetic Induction Teaching Aids On Arduinouno With Ky-024 Linear Magnetic Hall. *Jurnal Pendidikan Fisika* 13(1), 93–102.
- Nur, R. Z., Aminah, N. S., & Aimon, A. H. (2024). Pengembangan Prototipe Alat Pengukur Medan Magnet Menggunakan Sensor Magnetik 49E.

- Jurnal Fisika Unand*, 13(4), 573–578. <https://doi.org/10.25077/jfu.13.4.573-578.2024>
- Pangke, R., Rende, J. C., & Komansilan, A. (2021). Pengembangan Alat Peraga Sebagai Media Pembelajaran Penerapan Konsep Hukum Pascal Untuk Peserta Didik Kelas Viii Di Smp Negeri 1 Sitimsel. *Charm Sains: Jurnal Pendidikan Fisika*, 2(2), 75–82. <https://doi.org/10.53682/charmsains.v2i2.110>
- Prastyaningrum, I., Kartikawati, S., & Antika, R. (2020). Pengaruh Media Kit Ggl Induksi Elektromagnetik. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 3(2), 208–213.
- Pratama, D. (2023). Reduksi miskonsepsi mahasiswa Teknik Elektro pada materi induksi elektromagnetik melalui laboratorium virtual PhET. *Berkala Fisika Indonesia: Jurnal Ilmiah Fisika, Pembelajaran Dan Aplikasinya*, 14(2), 100–112. <https://doi.org/10.12928/bfi-jifpa.v14i2.26397>
- Puri, R.A., & Perdana, R. (2023). Analisis Kemampuan Pemahaman Konsep Fisika Peserta Didik SMA Di Bantul Pada Materi Fluida Statis Dan Upaya Peningkatannya Melalui Model Pembelajaran Visualization Auditory Kinesthetic. *MAGNETON: Jurnal Inovasi Pembelajaran Fisika UNWIRA*, 1(2), 93–101. <https://doi.org/10.30822/magneton.v1i2.2463>.
- Putra, H., Stephan, Aisyah, S. (2019). Rancang Bangun Alat Pengukuran Kuat Medan Magnetik Digital Berbasis Arduino Uno. *Seminar Nasional Industri Dan Teknologi (SNIT), Politeknik Negeri Bengkalis, Lcm*, 270–276.
- 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. <https://doi.org/10.20961/jmpf.v12i1.61193>
- Qin, Q., Zhu, W., Xi, B., Yang, T., Wang, R., & Qiao, X. (2023). Magnetic flux leakage detection based on a sensitivity-enhanced fiber Bragg grating magnetic field sensor. *Applied Optics*, 62(16), E62–E69. <https://doi.org/10.1364/AO.483773>
- Rahmawati, T. W., Utami, A., Santi, P., & Taznim, T. (2024). Implementasi Alat Peraga Gantungan pada Materi Pengukuran Berat Benda Tidak Baku Kelas 1 MI Muhammadiyah Semanu. 1115–1123.
- Rizal, R., Aripin, H., & Joni, I. M. (2024). Solar-powered electric car: validity and effectivity of prop in energy conversion learning. *Journal of Education and Learning*, 18(3), 699–707. <https://doi.org/10.11591/edulearn.v18i3.21720>.
- Rustamana, A., Hasna Sahl, K., Ardianti, D., Hisyam, A., Solihin, S., Sultan, U., Tirtayasa, A., Raya, J., No, C., & Banten, S. (2024). Penelitian dan Pengembangan (Research & Development) dalam Pendidikan. *Jurnal Bima: Pusat Publikasi Ilmu Pendidikan Bahasa Dan Sastra*, 2(3), 60–69. <https://doi.org/10.61132/bima.v2i3.1014>
- Utama, J. A., Entang, & Liliawati, W. (2024). Profil praktikum energi terbarukan di sekolah dan kebutuhan perangkat praktikum berbasis sel surya menurut perspektif guru fisika. *Diffraction: Journal for Physics Education and Applied Physics*, 6(2), 58–63. <https://doi.org/10.37058/diffraction.v6i2.12808>
- Waruwu, L. Y., Rahmi, A., & Anaperta, M. (2021). Rancang Bangun Alat Ukur Medan Magnet Berbasis Arduino Uno Menggunakan Sensor Efek Hall. *Semesta Teknika*, 24(2), 129–139. <https://doi.org/10.18196/st.v24i2.12938>