

ANALISIS KUANTITATIF HUBUNGAN JARAK-BESAR MEDAN MAGNET MENGGUNAKAN SENSOR PS-2112

¹⁾Jorji Abigeil Sumanti, ²⁾Audrey Elysabeth Sasono, ³⁾Agnes Lodya George, ⁴⁾Megastin Massang Lumembang, ⁵⁾Hesky Stevy Kolibu

- ¹⁾ Prodi Fisika, FMIPA, Universitas Sam Ratulangi Manado, email: jorjiumanti104@student.unsrat.ac.id
²⁾ Prodi Fisika, FMIPA, Universitas Sam Ratulangi Manado, email: audreysasono104@student.unsrat.ac.id
³⁾ Prodi Fisika, FMIPA, Universitas Sam Ratulangi Manado, email: agnesgeorge104@student.unsrat.ac.id
⁴⁾ Prodi Fisika, FMIPA, Universitas Sam Ratulangi Manado, email: megastinml@unsrat.ac.id
⁵⁾ Prodi Fisika, FMIPA, Universitas Sam Ratulangi Manado, email: heskykolibu@unsrat.ac.id

Abstrak

Pengukuran medan magnet sering menyimpang dari teori akibat keterbatasan sensor, gangguan medan lingkungan, dan efek ujung solenoida, sehingga akurasi sensor perlu dievaluasi, termasuk dalam pengukuran hubungan jarak-medan magnet. Magnetic Field Sensor PASCO PS-2112 menyediakan akuisisi data digital, namun ketelitiannya tetap harus dibuktikan secara eksperimen. Penelitian ini menganalisis hubungan kuantitatif antara jarak sensor dan kuat medan magnet pada solenoida serta mengevaluasi ketelitian hasil kalibrasinya. Pengukuran dilakukan dengan arus konstan 0,389 A pada kumparan 600 lilitan sepanjang 13,5 cm pada tujuh titik jarak. Hasil menunjukkan pola perubahan B sesuai hukum Biot-Savart, dengan galat relatif rata-rata 13,41% dan $R^2 = 0,984$. Sensor PASCO PS-2112 terbukti cukup akurat untuk studi eksperimen medan magnet dalam praktikum dan penelitian pendidikan fisika.

Kata Kunci: Medan magnet, Solenoida, Sensor PS-2112, Biot-Savart, Kalibrasi, Analisis kuantitatif.

Abstract

Magnetic field measurements often deviate from theory due to sensor limitations, environmental magnetic disturbances, and solenoid edge effects, making accuracy evaluation essential, especially for distance-field measurements. The PASCO PS-2112 Magnetic Field Sensor offers digital data acquisition, but its precision must still be experimentally verified. This study analyzes the quantitative relationship between sensor distance and magnetic field strength in a solenoid and evaluates the accuracy of its calibration. Measurements were performed using a constant current of 0.389 A through a 600-turn, 13.5-cm solenoid at seven distance points. The results follow the Biot-Savart law, with an average relative error of 13.41% and $R^2 = 0.984$. The PASCO PS-2112 sensor is therefore sufficiently accurate for magnetic field experiments in physics laboratory and educational research settings.

Keywords: Magnetic field, Solenoid, Sensor PS-2112, Biot-Savart, Calibration, Quantitative analysis.

I. PENDAHULUAN

Fenomena medan magnet pada solenoida merupakan salah satu konsep dasar dalam fisika yang memiliki peranan penting dalam berbagai aplikasi teknologi, seperti aktuator elektromagnetik, transformator, sensor, hingga perangkat instrumentasi ilmiah. Secara teoritis, kuat medan magnet di sepanjang sumbu solenoida diturunkan melalui hukum Biot-Savart dan Ampere, yang menunjukkan bahwa besar medan magnet dipengaruhi oleh arus listrik, jumlah lilitan, serta jarak titik ukur dari pusat solenoida. Pemahaman mengenai hubungan kuantitatif antara variabel tersebut menjadi penting tidak hanya untuk penguatan teori tetapi juga untuk kepentingan praktikum, desain alat, dan penelitian eksperimental di bidang pendidikan fisika.

Namun demikian, pengukuran medan magnet secara eksperimen tidak selalu sesuai dengan hasil teoritis akibat berbagai faktor seperti ketelitian sensor, keberadaan medan magnet lingkungan, efek ujung solenoida, dan kondisi geometris kumparan [1][2][3]. Kesalahan ini dapat menyebabkan perbedaan signifikan antara nilai teoritis dan nilai terukur jika alat ukur tidak memiliki sensitivitas dan akurasi yang memadai. Karena itu, diperlukan evaluasi terhadap performa sensor medan magnet, terutama pada konteks pengukuran jarak terhadap kuat medan magnet pada solenoida. Sensor modern seperti PASCO PS-2112 menawarkan kemudahan dalam akuisisi data digital, tetapi tingkat presisi dan ketelitiannya tetap perlu dibuktikan melalui pengujian eksperimen yang sistematis [9][10].

Dalam praktik pengukuran, hasil eksperimen medan magnet pada solenoida tidak selalu sepenuhnya sesuai dengan prediksi teori akibat keterbatasan sensor, gangguan medan magnet lingkungan, ketidaksempurnaan geometri kumparan, serta efek ujung solenoida. Berbagai studi menunjukkan bahwa kuat medan magnet pada solenoida dipengaruhi oleh arus listrik, jumlah lilitan, dan posisi titik pengukuran terhadap pusat kumparan, serta bahwa distribusi medan magnet sepanjang sumbu solenoida cenderung tidak seragam, terutama di daerah dekat ujung solenoida. Selain itu, akurasi pengukuran sangat bergantung pada proses kalibrasi sensor dan kondisi lingkungan pengukuran [5][6][7]. Meskipun demikian, kajian yang secara khusus mengevaluasi ketelitian sensor PASCO PS-2112 dalam mengukur hubungan kuantitatif antara jarak dan kuat medan magnet pada solenoida masih terbatas. Oleh karena itu, diperlukan penelitian eksperimental yang membandingkan hasil pengukuran sensor PASCO PS-2112 dengan model teoritis medan magnet solenoida berhingga.

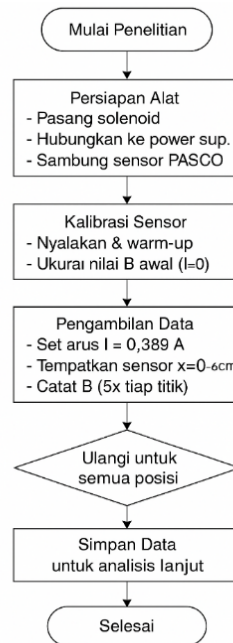
II. METODE

A. Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental kuantitatif, dengan pendekatan laboratorium untuk menganalisis hubungan antara jarak sensor dan kuat medan magnet pada solenoida. Eksperimen dilakukan dengan memvariasikan posisi *magnetic fields Pasco PS-2112* terhadap pusat kumparan untuk memperoleh data hubungan $B(x)$ secara empiris dan membandingkannya dengan nilai teoritis berdasarkan hukum Biot-Savart. Berikut Alur Penelitian yang dilakukan.

Prosedur penelitian diawali dengan menyiapkan seluruh peralatan, yaitu memasang solenoid pada dudukan yang stabil, menghubungkannya dengan power supply DC serta multimeter untuk memonitor arus, dan menyambungkan sensor PS-2112 ke interface dan komputer. Selanjutnya dilakukan kalibrasi sensor dengan menyalakannya beberapa menit hingga mencapai kondisi stabil, kemudian mengukur medan magnet latar ketika arus bernilai 0 A untuk menentukan nilai offset. Setelah itu proses pengambilan data dilakukan dengan mengatur arus konstan sebesar 0,389 A, menempatkan sensor pada posisi $x = 0$ hingga 6 cm, dan mencatat nilai kuat medan magnet dari perangkat lunak PASCO pada setiap titik pengukuran sebanyak lima kali. Langkah tersebut diulang untuk seluruh posisi, dan seluruh hasil pencatatan kemudian disimpan untuk keperluan analisis lebih lanjut. Pemilihan tujuh titik pengukuran dilakukan untuk merepresentasikan daerah pusat, daerah transisi, dan daerah dekat ujung solenoida secara proporsional. Jumlah titik ini dipilih dengan mempertimbangkan keterbatasan resolusi posisi sensor, kestabilan arus selama pengukuran, serta kebutuhan

untuk memperoleh pola variasi medan magnet yang representatif tanpa meningkatkan ketidakpastian akibat fluktuasi lingkungan dan kesalahan penempatan sensor.



Gambar 1. Diagram Alir

B. Variabel Operasional Penelitian

- Variabel bebas (X): Jarak sensor dari pusat solenoida (cm).
- Variabel terikat (Y): Kuat medan magnet B (Tesla).
- Variabel kontrol: Arus listrik (0,389 A), jumlah lilitan kumparan, suhu ruangan, dan posisi sensor.

C. Teknik Pengumpulan Data

Data dikumpulkan secara langsung melalui pembacaan *Magnetic Field Sensor PASCO PS-2112* dan dicatat otomatis oleh perangkat lunak *PASCO Capstone*. Setiap jarak dan arus konstan menghasilkan satu set data berisi nilai B rata-rata dan simpangan baku. Nilai arus dan tegangan juga direkam untuk memastikan kestabilan selama pengukuran.

D. Teknik Pengolahan Data

Analisis data dilakukan untuk menentukan besar kuat medan magnet teoritis dan eksperimen pada kumparan solenoida dengan arus konstan. Tujuan analisis ini adalah memperoleh hubungan antara jarak pengukuran (x) dengan kuat medan magnet serta mengevaluasi ketelitian hasil pengukuran *Magnetic Field Sensor PASCO PS-2112* terhadap nilai teoritis. Nilai kuat medan magnet teoritis dihitung menggunakan persamaan medan magnet pada sumbu solenoida berhingga sebagai berikut:

$$B_{teori}(x) = \frac{\mu_0 NI}{2L} \left[\frac{\frac{L}{2} + x}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{L}{2} + x\right)^2}} - \frac{\frac{L}{2} - x}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{L}{2} - x\right)^2}} \right] \quad (1)$$

dengan keterangan:

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$: Permeabilitas vakum,

N : Jumlah lilitan kawat pada kumparan,

I : Arus listrik yang mengalir (2A),

R : Jari-jari kumparan (m),

L : Panjang kumparan (m), dan

x : Posisi titik ukur terhadap pusat kumparan (m).

Untuk mengetahui tingkat ketelitian pengukuran, dihitung besar galat relatif (error) antara nilai teoritis dan hasil pengukuran dengan persamaan:

$$\text{Error}(\%) = \left| \frac{B_{\text{teori}} - B_{\text{pengukuran}}}{B_{\text{teori}}} \right| \times 100\% \quad (2)$$

Hasil perhitungan nilai B_{teori} untuk setiap jarak x ditunjukkan pada **Tabel 1**. Nilai ini selanjutnya dibandingkan dengan B_{efektif} hasil pengukuran sensor medan magnet PASCO untuk memperoleh tingkat ketelitian alat dan kesesuaian antara teori dan eksperimen. Diakhir penelitian kami mengukur koefisien determinasi R^2 untuk meninjau kesesuaian hasil eksperimen dengan teori

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y})^2}{\sum (\hat{y} - y_i)^2} \quad (3)$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

Pada percobaan ini dilakukan pengukuran kuat medan magnet pada solenoida dengan arus konstan sebesar 0,389 A. Sensor ditempatkan pada tujuh posisi berbeda sepanjang sumbu solenoida untuk mengamati perubahan medan magnet terhadap jarak. Pembacaan awal (offset) diambil pada saat arus 0 A untuk mendapatkan nilai medan magnet lingkungan yang kemudian dikoreksi dari hasil pengukuran utama. Nilai $B_{\text{pengukuran}}$ yang digunakan dalam analisis merupakan selisih antara medan magnet terukur dan medan magnet awal. Nilai medan magnet awal tidak dapat diabaikan dikarenakan dapat mempengaruhi hasil pengukuran hal ini bersesuaian dengan penelitian (Ye, 2022) secara numerik menghitung komponen medan luar solenoida menggunakan hukum Biot-Savart dan menemukan bahwa distribusi medan eksternal tidak dapat diabaikan, terutama pada solenoida dengan rasio panjang - jejari tertentu [8].

Nilai teoritis medan magnet pada setiap jarak dihitung menggunakan persamaan medan magnet solenoida berhingga, sehingga dapat dibandingkan langsung dengan hasil eksperimen. Data hasil pengukuran ditunjukkan pada **Tabel 1**.

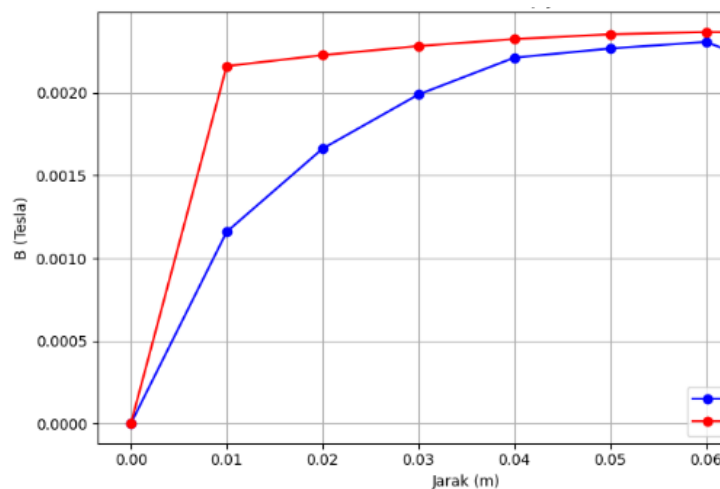
Tabel 1. Hasil Pengukuran dan Perhitungan

Pengukuran	X (m)	Tegangan (V)	Arus (A)	$B_{\text{pengukuran}}$ (T)	B_{teori} (T)
1	0,0675	0	0	0	0
2	0,0575	1,791	0,389	0.001159630	0.002161627
3	0,0475	1,791	0,389	0.001662276	0.002227785
4	0,0375	1,791	0,389	0.001989556	0.002282586
5	0,0275	1,791	0,389	0.002212398	0.002324904
6	0,0175	1,791	0,389	0.002267870	0.002353594
7	0,0075	1,791	0,389	0.002307626	0.002367446

Berdasarkan **Tabel 1**, nilai X diperoleh dari jarak dikurang $L/2$ yakni setengah dari panjang solenoid, nilai ini digunakan agar jarak berpatokan pada pusat solenoid. Hasil pengukuran memberikan gambaran awal mengenai pola variasi medan magnet sepanjang sumbu solenoid dan menunjukkan kecenderungan perubahan nilai ketika sensor digeser pada jarak yang berbeda dari pusat kumparan.

B. Pembahasan

Selisih antara nilai teoritis dan hasil pengukuran pada setiap posisi menjadi dasar untuk menghitung galat relatif serta menilai akurasi sensor dalam kondisi eksperimen yang dilakukan. Informasi ini kemudian digunakan sebagai landasan untuk menganalisis kesesuaian hasil eksperimen terhadap teori dan menentukan tingkat ketelitian alat ukur pada bagian pembahasan berikutnya.



Gambar 2. Grafik perbandingan $B_{\text{Pengukuran}}$ dan B_{teori}

Grafik menunjukkan hubungan antara **jarak sensor dari pusat solenoida** terhadap **kuat medan magnet (B)** baik secara teoritis maupun hasil eksperimen. Secara umum, kedua kurva memiliki bentuk yang serupa, yaitu meningkat tajam pada jarak dekat dari pusat solenoida, kemudian mendatar (mencapai titik hampir maksimum), sebelum sedikit menurun pada jarak paling jauh. Pola ini konsisten dengan karakteristik medan magnet solenoida berhingga berdasarkan hukum Biot-Savart [4][13].

Pada jarak $x = 0,01 \text{ m}$ terlihat lebih dominan pada kurva teori. Nilai medan magnet teoritis mencapai lebih dari $0,0021 \text{ T}$, sedangkan hasil pengukuran baru mencapai sekitar separuh dari nilai tersebut. Perbedaan besar ini mengindikasikan bahwa pengaruh medan luar solenoida dan sensitivitas awal sensor PASCO masih belum optimal pada titik sangat dekat dengan ujung solenoida [11]. Selain itu, ketidaksempurnaan bentuk kumparan serta posisi sensor yang sedikit meleset dari sumbu dapat menyebabkan perbedaan besar pada jarak pendek [12]. Mulai dari jarak $0,02 \text{ m}$ hingga $0,06 \text{ m}$, kedua kurva menunjukkan kecenderungan serupa yaitu meningkat lalu mendatar di sekitar rentang $0,0022 \text{ T}$. Pada rentang ini, nilai eksperimen semakin mendekati nilai teoritis, menunjukkan bahwa pengukuran sensor PASCO berada dalam zona kestabilan medan solenoida. Keselarasan antara kurva teori dan eksperimen pada jarak menengah ini menegaskan bahwa sensor bekerja dengan baik ketika berada pada posisi yang relatif jauh dari ujung solenoida dan dekat dengan daerah pusat medan magnet maksimum.

Selain galat relatif terhadap nilai teoritis, ketidakpastian pengukuran juga dipengaruhi oleh resolusi dan stabilitas Magnetic Field Sensor PASCO PS-2112 serta fluktuasi medan magnet lingkungan. Berdasarkan spesifikasi sensor dan pengulangan pengukuran, ketidakpastian instrumen berada pada orde 10^{-4} T , yang relatif kecil dibandingkan variasi nilai medan magnet yang diukur. Oleh karena itu, nilai galat relatif rata-rata sebesar $13,41\%$ yang diperoleh dalam penelitian ini tidak semata-mata disebabkan oleh keterbatasan resolusi sensor, melainkan lebih dipengaruhi oleh faktor sistematis seperti efek ujung solenoida, ketidaksempurnaan geometri kumparan, serta perbedaan kondisi eksperimen terhadap asumsi model teoritis solenoida ideal.

Secara keseluruhan, grafik menampilkan konsistensi yang baik antara kurva teori dan eksperimen, terutama pada rentang tengah ($0,02\text{--}0,06 \text{ m}$), yang ditunjukkan juga oleh nilai koefisien determinasi tinggi (R^2). Meski terdapat deviasi pada jarak jauh, hal ini sesuai dengan literatur yang menyatakan bahwa medan magnet luar solenoida tidak dapat sepenuhnya diabaikan dan sangat dipengaruhi faktor geometri serta posisi sensor. Dengan demikian, sensor PASCO PS-2112 terbukti mampu mengukur kuat medan magnet dengan ketelitian tinggi pada kondisi eksperimen yang stabil dan berada dalam rentang medan yang relatif kuat.

IV. PENUTUP

A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kuat medan magnet pada solenoida menunjukkan hubungan yang jelas dengan jarak pengukuran sensor terhadap pusat kumparan. Nilai medan magnet meningkat tajam pada posisi yang lebih dekat dengan pusat solenoida, kemudian

cenderung stabil pada rentang jarak 0,02 m hingga 0,06 m, sesuai dengan prediksi teori medan magnet solenoida berhingga berdasarkan hukum Biot-Savart. Hal ini menunjukkan bahwa secara umum pola perubahan medan magnet eksperimen sejalan dengan teori.

Perbandingan antara nilai eksperimen dan nilai teoritis menunjukkan adanya deviasi, terutama pada jarak yang sangat dekat dan sangat jauh dari pusat solenoida. Deviasi ini disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain pengaruh medan magnet lingkungan, ketidaksempurnaan bentuk kumparan, sensitivitas sensor pada jarak pendek, serta efek ujung solenoida yang lebih dominan pada kondisi nyata dibandingkan asumsi model teoritis. Meskipun demikian, pada rentang tengah, sensor PASCO PS-2112 memberikan hasil yang sangat mendekati nilai teoritis.

Nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,984$ menunjukkan tingkat kesesuaian yang sangat kuat antara data eksperimen dan perhitungan teori, sehingga dapat disimpulkan bahwa sensor PASCO PS-2112 memiliki akurasi yang tinggi untuk mengukur kuat medan magnet pada kondisi eksperimen dengan medan yang relatif stabil. Selain itu, nilai rata-rata galat relatif sebesar 13,41% masih berada pada batas yang wajar untuk eksperimen pendidikan fisika dan instrumen laboratorium umum.

Dengan demikian, penelitian ini berhasil mencapai tujuannya, yaitu menganalisis hubungan jarak terhadap kuat medan magnet secara kuantitatif dan mengevaluasi tingkat ketelitian sensor PASCO PS-2112. Sensor ini terbukti layak digunakan dalam kegiatan praktikum maupun penelitian pendidikan fisika, terutama untuk studi mengenai karakteristik medan magnet solenoida.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian, disarankan agar pengukuran medan magnet selanjutnya dilakukan pada lingkungan dengan gangguan medan eksternal seminimal mungkin agar noise dapat ditekan. Selain itu, titik pengukuran dapat diperbanyak, terutama pada jarak sangat dekat dan sangat jauh dari pusat solenoida, untuk memperoleh karakteristik medan yang lebih detail. Konstruksi solenoida juga perlu diperbaiki, misalnya dengan lilitan yang lebih rapat dan dimensi yang lebih presisi, sehingga efek ujung dapat diminimalkan. Untuk penelitian lanjutan, penggunaan sensor pembanding seperti sensor efek Hall atau fluxgate dapat memberikan evaluasi performa yang lebih komprehensif, dan penambahan analisis numerik menggunakan metode simulasi juga dapat membantu memvisualisasikan distribusi medan magnet secara lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Basu, S., "Pulsed Magnetic Field Measurement Outside Finite Length Solenoid: Experimental Results & Mathematical Verification", *Journal of Electromagnetic Analysis and Applications*, 5(1), 371–378, 2013.
- Erlangga, I. S., *Pembuatan Alat Ukur Medan Magnet Pada Kumparan Helmholtz Menggunakan Sensor UGN3503 yang Dilengkapi Interface Digital*, Universitas Brawijaya, 2017.
- Pambuka, R. N., & Rahardjo, D. T., "Pembuatan Alat Eksperimen Induksi Magnet pada Toroida Menggunakan Arduino dan Hall Effect Sensor", *Jurnal Materi dan Pembelajaran Fisika*, 8(2), 33–38, 2018. [Online]. Tersedia: <https://doi.org/10.20961/jmpf.v8i2.28436>
- Salomo, Malik, U., & Erwin. (2019). Paparan Induksi Magnetik Telepon Seluler sebagai Fungsi Bahan Penyerap. *Jurnal APTK (Jurnal Aplikasi dan Teknologi Komunikasi)*, 9(1). <https://doi.org/10.30606/aptk.v9i1.1060>
- Sudharma, K. D., Manggala, I. K., & Artana, I. K., "Distribusi Medan Magnet Pada Solenoid", *Jurnal Sains dan Teknologi*, 2(2), 112–118, 2013. [Online]. Tersedia: <https://media.neliti.com/media/publications/117392-ID-distribusi-medan-magnet-pada-solenoid.pdf>
- Wahyuni, S., Tursina, T., & Sutrimo, S., "Analisa Pengaruh Inti Koil Terhadap Medan Magnetik", *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*, 8(2), 1–6, 2015. [Online]. Tersedia: <https://media.neliti.com/media/publications/186730-ID-analisa-pengaruh-inti-koil-terhadap-meda.pdf>
- Waruwu, L. Y., Rahmi, A., & Anaperta, M., "Rancang Bangun Alat Ukur Medan Magnet Berbasis Arduino Uno Menggunakan Sensor Efek Hall", *Jurnal Saintek*, 24(2), 133–139, 2021. [Online]. Tersedia: <https://journal.umy.ac.id/index.php/st/article/download/12938/6946/48750>

- Ye, L., "Numerical Calculation of External Magnetic Field Distribution in Solenoids Using the Biot-Savart Law", *Journal of Computational Electromagnetics*, 29(3), 281–289, 2022.
- Hu, X., He, S., Zhao, X., Tian, Q., Mamatemin, A., Guo, P., & Chang, G., "Analysis of orientation errors in triaxial fluxgate sensors and research on their calibration methods", *Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems*, 13(1), 301–308, 2024. [Online]. Tersedia: <https://doi.org/10.5194/gi-13-301-2024>
- Papafotis, K., Nikitas, D., & Sotiriadis, P. P., "Magnetic Field Sensors' Calibration: Algorithms' Overview and Comparison", *Sensors*, 21(16), 5288, Agustus 2021. [Online]. Tersedia: <https://doi.org/10.3390/s21165288>
- Durdaut, P., Wolfram, H., & Höft, M., "Low-Frequency Magnetic Noise in Statically-Driven Solenoid for Biasing Magnetic Field Sensors", *arXiv preprint*, 2020. [Online]. Tersedia: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2006.08515>
- Saparullah, S., Pertiwii, A. H. I., & Ayu, N. R., "Analisis Medan Magnet di Luar Sumbu Solenoida dengan Sensor Efek Hall SS49E 3 Dimensi", *Jurnal Mosfet*, 2025. [Online]. Tersedia: <https://paperity.org/p/363602726>
- Ripka, P., & Janosek, M. (2010). *Advances in magnetic field sensors*. IEEE Sensors Journal, 10(6), 1108–1116. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2010.2043429>