

Pengembangan Aplikasi Sensor *Giant Magnetoresistance* seri AB001-02 untuk Desain Alat Ukur Massa berbasis Mikrokontroler ATmega328p

Fanny Maulida, Ahmad Aminudin*, dan Waslaluddin

Program Studi Fisika, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Pendidikan Indonesia, Jl. Dr. Setiabudhi No. 229 Bandung 40154, Indonesia

*E-mail: aaminudin@upi.edu

Abstrak

Pada penelitian ini telah dikembangkan aplikasi sensor *Giant Magnetoresistance* seri AB001-02 untuk pengukuran massa menggunakan mikrokontroler ATmega328p. Karakterisasi dilakukan dengan mendekati magnet *neodymium* pada sensor GMR. Dilakukan karakterisasi sensor terhadap jarak dan medan magnet bumi. Sampel massa yang diletakkan pada sistem akan menyebabkan pegas dan magnet mendekati sensor. Dari pengujian yang dilakukan diketahui bahwa jangkauan terjauh yang terdeteksi adalah 3,5 cm dengan daerah sensitivitas optimal pada rentang 0 – 1,5 cm. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, perubahan massa mengakibatkan displacement pegas (Δx). Displacement menimbulkan perubahan medan magnet yang terbaca oleh sensor GMR sehingga tegangan keluaran dari sensor GMR berubah. Semakin besar massa yang diberikan, maka semakin besar tegangan keluaran sensor GMR. Hasil penelitian menunjukkan sensitivitas sensor GMR pada pengukuran massa sebesar 0,0816 Volt/Kg dan memiliki rentang pengukuran 0 – 4,3 Kg dengan resolusi 100 g.

Kata kunci: Sensor Giant Magnetoresistance, Alat Ukur Massa, Timbangan, Sensitivitas.

Abstract

In this research, the application of Giant Magnetoresistance sensor AB001-02 series for mass measurement using ATmega328p microcontroller has been developed. Characterization is done by bringing a neodymium magnet closer to the GMR sensor. From the tests conducted, it is known that the farthest range detected is 3.5 cm with the optimal sensitivity area in the range of 0 - 1.5 cm. Based on the tests that have been carried out, changes in mass result in spring displacement (Δx). Displacement causes changes in the magnetic field read by the GMR sensor so that the output voltage of the GMR sensor changes. The greater the mass given, the greater the output voltage of the GMR sensor. The results show the sensitivity of the GMR sensor on mass measurement is 0.0816 Volt/Kg and has a measurement range of 0 - 4.3 Kg with a resolution of 100 g.

Keywords: Giant Magnetoresistance Sensor, GMR AB001-02, Weighing System, Sensitivity.

PENDAHULUAN

Medan magnet merupakan suatu lingkungan atau suatu wilayah yang dipengaruhi oleh gaya magnetik (Qolbi dkk., 2023). Untuk mengukur kuat medan magnet diperlukan sensor magnetik. Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, sensor magnetik pun ikut berkembang. Salah satu sensor yang

berkembang adalah sensor *Giant Magnetoresistance*. Sejak ditemukannya GMR oleh (Baibich dkk., 1988), para peneliti mulai melakukan percobaan untuk mengembangkan penggunaan GMR. Percobaan-percobaan yang dilakukan pada penggunaan sensor GMR yakni, deteksi konsentrasi porphyrin pada sel darah merah menggunakan sensor GMR (Aminudin dkk., 2017), sistem pengukur kecepatan kendaraan (Ramdhani dkk., 2017), mengukur kecepatan putar (Aminudin dkk.,

2024), pengukuran defleksi jembatan (Aminudin dkk., 2019), deteksi level air (Husna dkk., 2020), serta Pengukuran arus AC/DC (Dhani dkk., 2018; Muşuroi dkk., 2020).

Karakteristik yang dimiliki GMR memungkinkan penggunaan sensor magnetik pada aplikasi yang luas. Beberapa keunggulan yang dimiliki sensor GMR antara lain memiliki sensitivitas tinggi untuk diaplikasikan pada pengukuran medan magnet, tetap stabil pada temperatur yang tinggi, konsumsi daya yang rendah, serta memiliki ukuran yang minimalis (NVE Corporation, 2012).

Massa adalah salah satu besaran fisis yang paling penting dalam fisika. Kegiatan pengukuran massa banyak dijumpai dalam aktivitas manusia. Massa suatu benda dapat diidentifikasi dengan sebuah alat ukur massa yang biasa kita sebut timbangan. Kegiatan mengukur berat dengan timbangan ini telah merambah ke berbagai bidang, baik komersial, industri, bahkan medis (Yandra dkk., 2016). Berbagai jenis timbangan telah dikembangkan, misalnya menggunakan sensor loadcell (Achlisson & Suhartono, 2020; Frendi Yandra dkk., 2016; Hidayani dkk., 2013; Manege dkk., 2017; Rahman & Nawawi, 2017; Risfendra dkk., 2023; Syahwanti dkk., 2015; Ulyanida dkk., 2022), timbangan dengan menggunakan sensor *fiber optic* yang dilakukan oleh Putri dkk. (2023) dapat mengukur beban dengan berat maksimum 140 Kg. Selanjutnya timbangan menggunakan sensor *flexiforce* yang dilakukan oleh Wahyu (2022) dapat mengukur hingga massa 11 kg dengan ketelitian 0,01kg, serta Suryono dkk (2009) juga melakukan implementasi pada pengukuran massa dengan menggunakan sensor magnetik UGN3503 terhadap sumber magnet. Dengan perpaduan tersebut dihasilkan sebuah alat timbang yang dapat menampilkan pengukuran massa antara 1 – 10 gram setiap interval 500 mg. Namun, desain perangkat yang mudah bergerak ketika diberi beban mengakibatkan hasil pengukuran berbeda.

Meninjau dari penelitian yang pernah dilakukan, pengembangan alat ukur massa belum banyak menggunakan sensor magnetik. Pada alat ukur massa, massa dapat menghasilkan gaya akibat adanya pengaruh

gravitasi. Gaya gravitasi tersebut menarik benda yang memiliki massa menuju pusat bumi, sehingga dapat menyebabkan sebuah perpindahan posisi (*displacement*). Pada alat ukur massa ini sensor GMR dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi perubahan posisi dengan bantuan magnet permanen (Ramdhani dkk., 2017). Oleh karena itu dilakukan penelitian pengembangan aplikasi sensor *giant magnetoresistance* seri AB001-02 untuk desain alat ukur massa berbasis mikrokontroler ATmega328p.

METODE/EKSPERIMEN.

Pada penelitian ini dilakukan beberapa tahapan, melakukan perancangan sistem, pembuatan sistem, dan pengujian sistem. Gambar 1 merupakan rancangan sistem alat ukur massa. Sistem mekanik alat ukur massa pada penelitian ini adalah pegas. Ketika pegas diberi gaya, maka pegas akan mengalami perubahan bentuk yang disebut deformasi. Sesuai dengan Hukum Hooke secara matematis dapat dinyatakan dalam persamaan (1):

$$F = -k\Delta x \quad (1)$$

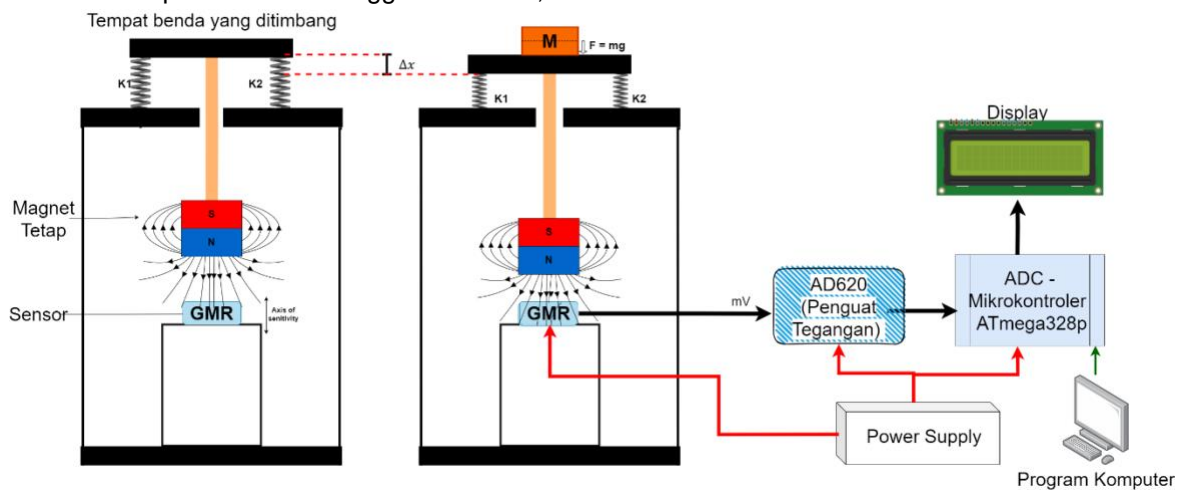
Dimana F adalah gaya, k adalah konstanta pegas dan Δx adalah perubahan panjang pegas dari posisi kesetimbangan (Tipler & Paul A, 1998).

Selanjutnya akibat adanya perubahan panjang pada pegas mengakibatkan perubahan jarak antara magnet dengan sensor GMR. Sehingga sensor GMR mendeteksi adanya perubahan medan magnet Sensor GMR Seri AB001-02 adalah sebuah sensor magnetik analog yang memiliki rentang pengukuran hingga 250 Oe dengan rentang sensitivitas pada 10 Oe – 175 Oe. Sensor GMR tetap stabil pada suhu tinggi, sehingga dapat digunakan pada rentang suhu -50°C hingga 125°C . Perubahan medan magnet menyebabkan perubahan resistansi pada sensor GMR sehingga terjadi perubahan konduktivitas (Ennen dkk., 2016; Lee dkk., 2014). Keluaran yang dihasilkan oleh sensor GMR berupa tegangan dalam orde mV, agar hasil deteksi yang dilakukan sensor dapat terbaca oleh mikrokontroler ATmega 328p

maka digunakanlah sebuah penguat instrumentasi AD620 (HAREENDRAN, 2021). Penguat AD620 memiliki akurasi tinggi yang hanya membutuhkan satu resistor eksternal untuk menetapkan penguatan 1 hingga 10.000 dan memiliki konsumsi daya rendah dengan arus pasokan maksimum hanya 1,3 mA, sehingga sangat cocok untuk sistem bertenaga baterai atau perangkat portabel. Selain itu, AD620 menawarkan noise rendah dan arus bias input kecil, yang meningkatkan akurasi pengukuran sinyal dari sensor. Mikrokontroler kemudian diberi perintah untuk melakukan proses data dan menampilkan hasil pengukuran pada layar LCD (Widharma, 2021). ATmega328p adalah mikrokontroler yang memiliki kecepatan clock hingga 20 MHz,

memungkinkan pemrosesan data dengan cepat dan efisien. Selain itu, dengan 23 pin I/O digital, mikrokontroler ini dapat dengan mudah terhubung ke berbagai sensor dan komponen eksternal dalam sistem alat ukur massa.

Pengkalibrasian pada sistem ini menggunakan sebuah timbangan digital dengan merek finito yang memiliki beban maksimal 5 kg dengan ketelitian 1 gram. Proses kalibrasi dilakukan dengan menaruh beban pada tempat beban di sistem yang sudah dibuat. Memvariasikan massa beban untuk melihat perubahan pergeseran pada sistem dengan bantuan jangka sorong. Serta melihat perubahan yang terjadi pada tegangan keluaran ketika beban diubah.

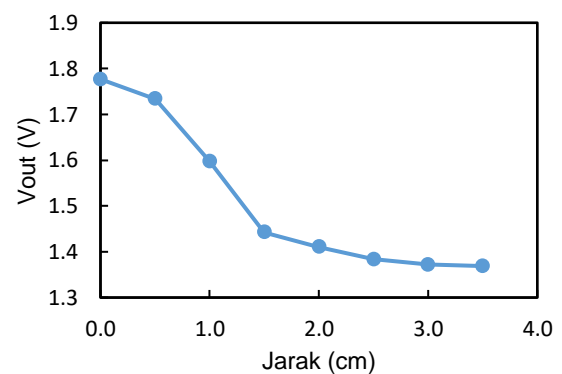


Gambar 1 Rancangan Sistem Alat Ukur Massa

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Jangkauan Sensor GMR

Pengujian dilakukan untuk mengetahui jarak maksimal sensor GMR dapat mendeteksi perubahan medan magnet. Perubahan medan magnet terhadap sensor GMR diperoleh dengan cara menggeser sistem magnet sejauh 0,5 cm. Selanjutnya dilakukan pengamatan perubahan tegangan keluar dari sensor GMR terhadap perubahan jarak yang diamati menggunakan voltmeter digital.



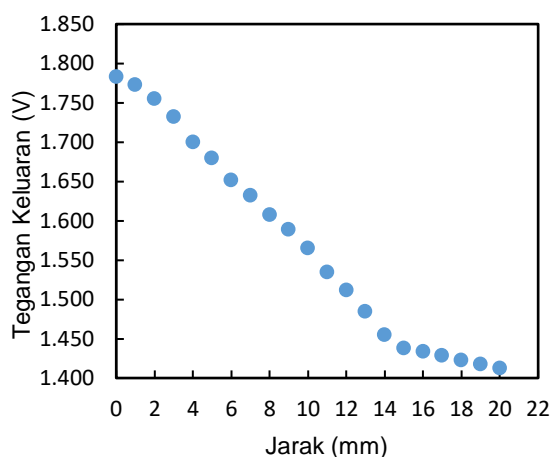
Gambar 2 Grafik Uji Jangkauan Sensor GMR

Berdasarkan grafik pada gambar 2, sensor GMR mampu mendeteksi medan magnet pada jarak 0-3,5 cm. Perubahan tegangan yang dihasilkan pada jarak 0-2 cm mengalami perubahan yang besar, sedangkan

pada jarak lebih dari 2 cm tegangan keluaran sensor cenderung konstan. Hal ini menunjukkan bahwa sensor GMR tidak lagi dapat secara optimal mendeteksi medan magnet yang diberikan sumber magnet pada jarak lebih dari 2 cm.

Uji Daerah Linearitas Sensor GMR

Berdasarkan hasil yang dilakukan pada uji jangkauan, perubahan voltase sensor GMR pada jarak 0 – 20 mm dianggap sebagai daerah linearitas yang optimal untuk melakukan penelitian ini. Berdasarkan spekulasi tersebut dilakukan pengambilan data yang bertujuan untuk melihat jarak linear terhadap medan magnet. Besar pergeseran jarak pada uji linearitas adalah 1 mm.

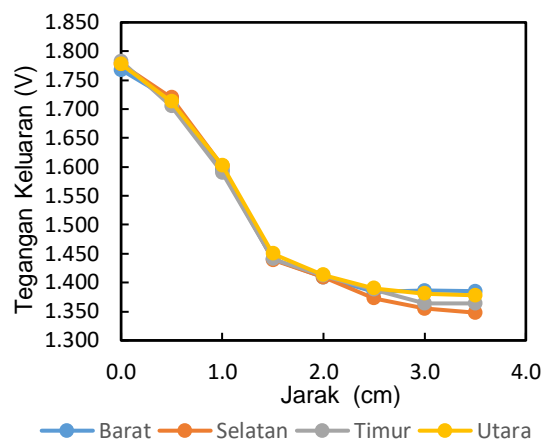


Gambar 3 Grafik Uji Daerah Linearitas Sensor GMR

Pada uji linearitas ini dapat dilihat pada Gambar 3 bahwa tegangan keluaran pada jarak 0-15 mm menunjukkan kecenderungan grafik pada keadaan linear dan pada rentang 15 – 20 mm tegangan keluaran sensor GMR berada pada keadaan cenderung konstan. Berdasarkan analisis tersebut, pada rentang jarak 0-15 mm merupakan daerah linear terhadap medan magnet.

Uji Pengaruh Medan Magnet Bumi terhadap Sensor GMR

Pengujian ini dilakukan untuk melihat pengaruh medan magnet bumi terhadap magnet permanen. Pengujian dilakukan sesuai arah mata angin yaitu Utara, Selatan, Timur, dan Barat. Hasil pengujian pengaruh medan magnet bumi ditunjukkan pada gambar 4.

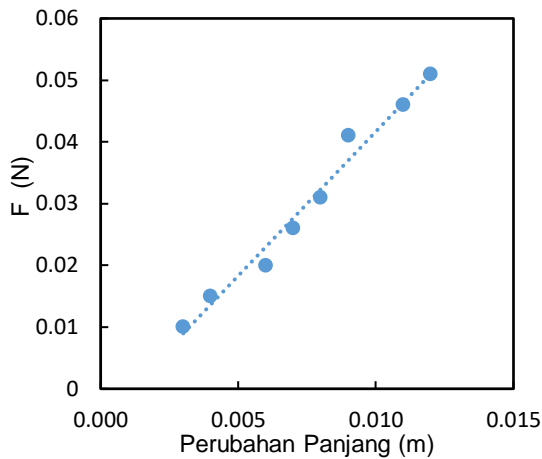


Gambar 4 Grafik Uji Pengaruh Medan Magnet Bumi terhadap Sensor GMR

Grafik pada gambar 4 menunjukkan bahwa tidak terlihat perbedaan yang signifikan akibat adanya pengaruh medan magnet bumi. Tegangan yang dihasilkan pada jarak 0-1,5 cm menunjukkan keadaan sensitif sensor yang dapat dilihat dari perubahan tegangan keluaran yang signifikan. Sedangkan tegangan keluaran ketika magnet berada pada jarak 2-3,5 cm cenderung konstan. Hal ini menunjukkan bahwa medan magnet bumi tidak mempengaruhi hasil pengujian dari medan magnet. Dalam penelitian ini medan magnet bumi tidak mempengaruhi kinerja sensor GMR. Dalam aplikasinya sensor GMR hanya dipengaruhi oleh medan magnet permanen, karena besar medan magnet bumi hanya sekitar 25 – 65 μT (NOAA).

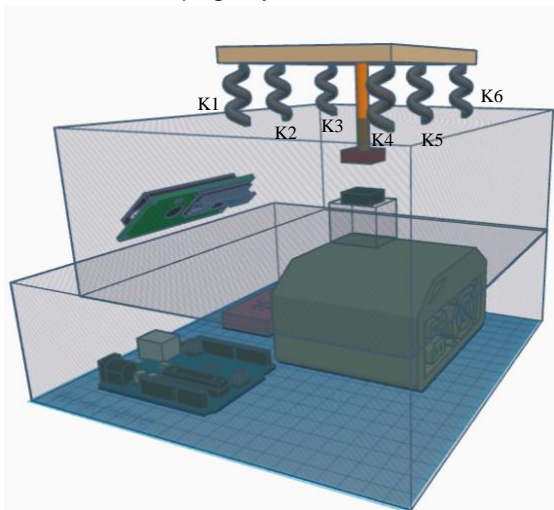
Uji Pegas

Berdasarkan hasil uji karakteristik pegas dapat dilihat dari hubungan antara perubahan panjang pegas dengan gaya yang diberikan pada pegas (Elisa & Claudya, 2016). Dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5 Grafik Uji Koefisien Pegas

Berdasarkan grafik pada Gambar 5, diperoleh hubungan antara gaya terhadap perubahan pegas adalah linear positif, yang berarti ketika ada pertambahan gaya yang diberikan pada pegas maka panjang pegas juga ikut berubah sebanding dengan gaya yang diberikan. Berdasarkan grafik pada Gambar 5 diperoleh persamaan regresi $y = 4,6714x + 0,005$ dengan koefisien determinasi sebesar 0,9792. Berdasarkan percobaan ini diperoleh nilai konstanta pegas yaitu 4,6714.



Gambar 6 Desain Prototype 3D

Pada penelitian ini digunakan sebanyak 6 buah pegas yang disusun secara paralel pada sistem sensor seperti pada gambar 6. Konstanta pegas secara paralel dapat dihitung dengan persamaan (2):

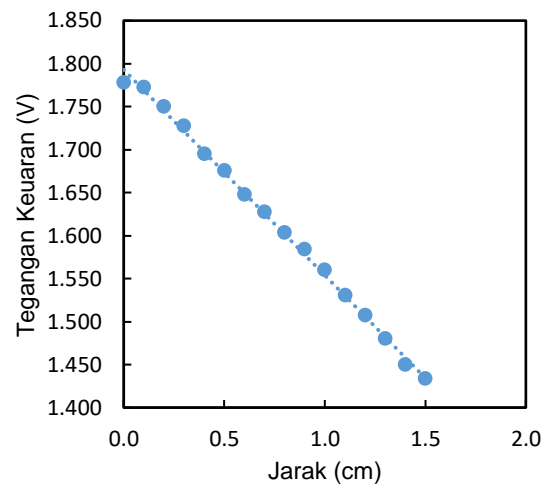
$$K_p = K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5 + K_6 \quad (2)$$

Pegas yang digunakan pada penelitian ini adalah pegas yang sama persis sehingga konstanta paralel 6 pegas yaitu 28,0284. Nilai

konstanta pegas yang diperoleh akan digunakan untuk mencari massa.

Kalibrasi Perangkat Mekanik

Berdasarkan hasil uji karakteristik sensor GMR yang telah dilakukan, menunjukkan bahwa dengan adanya perubahan jarak magnet, maka tegangan keluaran sensor juga berubah.



Gambar 7 Kalibrasi Sistem Mekanik Alat Ukur Massa

Pada gambar 7 diperoleh persamaan regresi $V = -0,239x + 1,7929$. Koefisien regresi yang bernilai -0,239 menunjukkan bahwa Ketika ada perubahan jarak sebesar 1 cm akibat adanya perubahan jarak maka tegangan sensor GMR akan berkurang sebesar 0,239 Volt. Ketika sistem tidak diberi gangguan, maka tegangan keluaran pada sensor sebesar 1,793 Volt.

Pengujian Alat Ukur Massa

Pada penelitian ini perubahan jarak magnet dari posisi awal menyatakan besar pergeseran akibat perubahan gaya. Setiap terjadi perubahan gaya yang diberikan akan menyebabkan perubahan terhadap respon sensor GMR. Secara matematis besar dari pergeseran dapat diungkap dalam persamaan 3:

$$\Delta x = x_0 - x \quad (3)$$

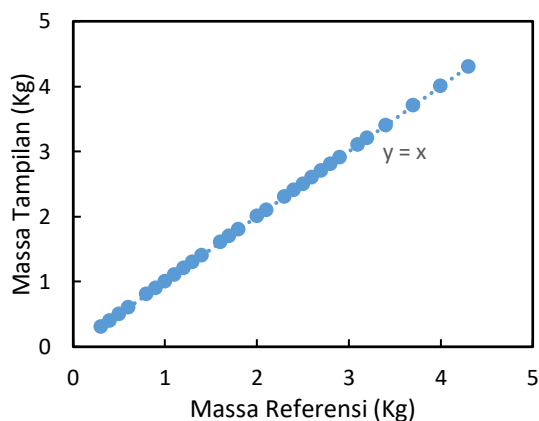
Berdasarkan persamaan 3, x_0 merupakan posisi awal magnet terhadap sensor GMR sebesar 15 mm dan x merupakan pergeseran jarak magnet terhadap sensor ketika terjadi perubahan gaya yang diberikan.

Sehingga ketika dihubungkan dengan Hukum Hooke pada persamaan (1) massa suatu benda dapat dicari. Contoh pengujian dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8 Prototipe Alat Ukur Massa

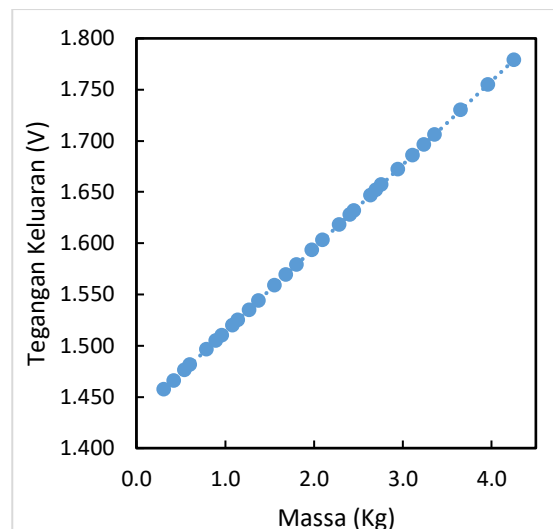
Hasil pengujian ditunjukkan pada gambar 9. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa program yang dibuat dapat menampilkan hasil pengukuran pada LCD. Pengujian terhadap sistem dilakukan dengan membandingkan antara massa referensi dengan massa yang ditampilkan dalam LCD.



Gambar 9 Grafik hubungan massa referensi dengan massa pada tampilan LCD menggunakan sensor GMR AB001-02

Persamaan regresi yang diperoleh yaitu $Y = X$ dengan Y adalah massa yang terlihat pada tampilan (Kg), sedangkan X adalah massa referensi (Kg). Sistem yang telah dibuat dapat digunakan dalam pengukuran massa antara 0 - 4,2 Kg setiap interval 100 g.

Sensitivitas Alat Ukur Massa



Gambar 10 Grafik Sensitivitas Sensor Terhadap Perubahan Massa

Berdasarkan grafik pada gambar 10 dapat dilihat bahwa hubungan antara tegangan keluaran sensor terhadap massa adalah linear positif, yang berarti bahwa semakin besar perubahan massa yang diberikan, semakin besar pula tegangan keluaran yang dapat dibaca oleh sensor GMR. Pada pengukuran massa sensor GMR dapat mengukur maksimal hingga 4,2 kg. Hasil pengukuran dapat dijelaskan menggunakan analisis persamaan linear $V = 0,0816x + 1,4317$ dengan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,999$. Koefisien regresi yang bernilai 0,0816 menunjukkan bahwa ketika ada perubahan massa sebesar 1 Kg akibat adanya perubahan jarak antara sensor GMR dengan magnet maka tegangan sensor GMR akan bertambah sebesar 0,0816 Volt. Ketika sistem tidak diberi gangguan, maka tegangan keluaran pada sensor sebesar 1,4371 Volt.

PENUTUP

Dalam penelitian ini telah berhasil dibuat alat ukur massa dengan menggunakan sensor GMR. Alat ukur massa yang telah dibuat dapat digunakan dalam pengukuran massa antara 0 – 4,2 kg dengan ketelitian 100 g. Sensitivitas sensor GMR dapat diperoleh sebesar 0,0816 Volt/Kg. Untuk menambah kemampuan alat ukur massa sehingga interval pengukuran massa agar lebih teliti hingga dapat mengukur per 1 gram, penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan mengurangi jumlah pegas

atau memilih pegas dengan konstanta yang lebih kecil. Penelitian lebih lanjut dapat difokuskan pada optimasi material pegas serta konfigurasi sensor guna meningkatkan sensitivitas dan respons sistem terhadap perubahan massa yang lebih kecil. Dengan pemilihan material pegas yang lebih sesuai dan pengaturan sensor yang lebih presisi, alat ukur massa dapat mencapai tingkat akurasi yang lebih tinggi untuk aplikasi yang membutuhkan pengukuran dengan resolusi yang lebih kecil.

REFERENSI

- Achlison, U., & Suhartono, B. (2020). *Analisis Hasil Ukur Sensor Load Cell untuk Penimbang Berat Beras, Paket dan Buah berbasis Arduino*. 13(1), 96–101. <http://journal.stekom.ac.id/index.php/e-bisnis/page96>
- Aminudin, A., Harnum, R. D., & Iryanti, M. (2019). The characterization of giant magnetoresistance sensor for prototype of bridge deflection measurement. *Journal of Physics: Conference Series*, 1280(2). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1280/2/022065>
- Aminudin, A., Tjahyono, D. H., Suprijadi, Djamil, M., Zaen, R., & Nandiyanto, A. B. D. (2017). Solution Concentration and Flow Rate of Fe³⁺- modified Porphyrin (Red Blood Model) on Giant Magnetoresistance (GMR) Sensor Efficiency. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 180, 012137. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/180/1/012137>
- Aminudin, A., Wildan, M., & Wiendartun. (2024). PENGEMBANGAN APLIKASI SENSOR GIANT MAGNETORESISTANCE UNTUK MENGUKUR KECEPATAN PUTAR BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA 328. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)*, XII. <https://doi.org/10.21009/03.1201.FA11>
- Baibich, M. N., Broto, J. M., Fert, A., Van Dau, F. N., Petroff, F., Etienne, P., Creuzet, G., Friederich, A., & Chazelas, J. (1988). Giant Magnetoresistance of (001)Fe/(001)Cr Magnetic Superlattices. *Physical Review Letters*, 61(21), 2472–2475. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.61.2472>
- Dhani, H. S., Aminudin, A., & Waslaluiddin. (2018). Characterization of AC current sensor based on giant magnetoresistance and coil for power meter design. *Journal of Physics: Conference Series*, 1013, 012177. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1013/1/012177>
- Elisa, & Claudya, Y. (2016). Penentuan Konstanta Pegas Dengan Cara Statis dan Dinamis. *Fisika Edukasi*, 3.
- Ennen, I., Kappe, D., Rempel, T., Glenske, C., & Hütten, A. (2016). Giant Magnetoresistance: Basic concepts, microstructure, magnetic interactions and applications. Dalam *Sensors (Switzerland)* (Vol. 16, Nomor 6). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/s16060904>
- Frendi Yandra, E., pahlano Lapanporo, B., & Ishak Jumarang, M. (2016). Rancang Bangun Timbangan Digital Berbasis Sensor Beban 5 Kg Menggunakan Mikrokontroler Atmega328. *POSITRON*, VI(1), 23–28.
- HAREENDRAN, T. K. (2021, Februari 16). *AD620 IA Module*. www.electroschematics.com.
- Hidayani, T. U., Miharani, T., Rahman, A., & Hermanto, D. (2013). RANCANG BANGUN TIMBANGAN BUAH DIGITAL DENGAN KELUARAN BERAT DAN HARGA. <http://www.seeedstudio.com/d>
- Husna, F. N., Suharti, S., Wulandari, & Aminudin, A. (2020). Uji Rangedan Rise Timepada Deteksi Level Air Menggunakan Sensor Giant Magnetoresistance. *Prosiding Seminar Nasional Fisika* 6.0, 172–177.
- Lee, C.-P., Lai, M.-F., Huang, H.-T., Lin, C.-W., & Wei, Z.-H. (2014). Wheatstone bridge giant-magnetoresistance based cell

- counter. *Biosensors and Bioelectronics*, 57, 48–53. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2014.01.028>
- Manege, P. M. N., Allo, El. K., & Bahrin. (2017). RANCANG BANGUN TIMBANGAN DIGITAL DENGAN KAPASITAS 20KG BERBASIS MICROCONTROLLER ATMEGA8535. *Teknik Elektro dan Komputer*, 6(1), 57–62.
- Muşuroi, C., Oproiu, M., Volmer, M., & Firastrau, I. (2020). High sensitivity differential giant magnetoresistance (GMR) based sensor for non-contacting DC/AC current measurement. *Sensors (Switzerland)*, 20(1). <https://doi.org/10.3390/s20010323>
- NOAA. (t.t.). *Geomagnetism*. <https://www.ncei.noaa.gov/products/geomagnetic-data>
- NVE Corporation. (2012). *GMR Sensor Catalog*.
- Putri, R. S., Iriawan, E., Widiyatmoko, B., & Rayhana, E. (2023). PERANCANGAN ALAT TIMBANGAN HEWAN TERNAK MENGGUNAKAN SENSOR FIBER OPTIC DAN SOFTWARE ARDUINO IDE DESIGN EQUIPMENT FOR LIVESTOCK SCALES USING FIBER OPTIC SENSORS AND ARDUINO IDE SOFTWARE (Vol. 33, Nomor 3).
- Qolbi, R. N., Rosida, A. S. G., Bahri, A., Mahardika, I. K., Handono, S., & Ernasari. (2023). PERANAN MATERI MEDAN MAGNET DALAM PENGEMBANGAN PENDIDIKAN FISIKA. Dalam *Jurnal Pendidikan Multidisipliner* (Vol. 6).
- Rahman, A., & Nawawi, M. (2017). Perbandingan Nilai Ukur Sensor Load Cell pada Alat Penyortir Buah Otomatis terhadap Timbangan Manual. *ELKOMIKA*, 5(2), 207–220.
- Ramdhani, A. S., Aminudin, ; Ahmad, & Danawan, A. (2017). RANCANG BANGUN SISTEM PENGUKUR KECEPATAN KENDARAAN MENGGUNAKAN SENSOR MAGNETIK. *Wahana Fisika*, 2(1). <http://ejournal.upi.edu/index.php/wafi>
- Risfendra, Putra, R. E., Pulungan, A. B., Taali, & Setyawan, H. (2023). *Sistem Timbangan Digital Menggunakan HMI Weintek Berbasis Outseal PLC*. 4(1), 31–39. <https://doi.org/10.24036/jtein.v4i1.348>
- Suryono, Riyanti, A., & Suseno, J. E. (2009). Karakterisasi Sensor Magnetik Efek Hall UGN3503 Terhadap Sumber magnet dan Implementasinya pada pengukuran massa. *Berkala Fisika*, 12(1).
- Syahwanti, H., Nelvi, A., Hendro, dan M., & Studi Magister Fisika, P. (2015). *Rancang Bangun Data Logger Massa Menggunakan Load Cell*.
- Tipler, & Paul A. (1998). *Fisika Untuk Teknik dan Sains* (Jilid 2 Edisi Ketiga). Erlangga.
- Ulyanida, S., Supriyanto, A., & Wahyu Suciayati, S. (2022). Automatization of Weight and Height Measurement Using Ultrasonic Sensors HC-SR04 and Load Cell Based on Arduino UNO at Integrated Services Posts (Posyandu). *Journal of Energy, Material, and Instrumentation Technology*, 3(4). <https://jemit.fmipa.unila.ac.id/>
- Wahyu, M. F. (2022). Rancang Bangun Timbangan Bayi Digital dengan Sensor Flexiforce Berbasis Mikrokontroler ATMEGA 8535. *Scientia Sacra: Jurnal Sains*, 2(1). <http://pijarpemikiran.com/index.php/Scientia>
- Widharma, I. G. (2021). *Buku Teks Mikrokontroler (Chapter Six)*.
- Yandra, E. F., Lapanporo, B. P., & Jumarang, Muh. I. (2016). Rancang Bangun Timbangan Digital Berbasis Sensor Beban 5 Kg Menggunakan Mikrokontroler Atmega328. *POSITRON*, VI(1), 23–28.