

Karakterisasi Sensor Magnetik Efek Hall UGN3503 Terhadap Sumber Magnet dan Implementasinya pada Pengukuran Massa

Suryono, Agus Riyanti, Jatmiko Endro Suseno

Laboratorium Instrumentasi dan Elektronika Jurusan Fisika FMIPA UNDIP Semarang

ABSTRACT

Characterisation of magnetic Hall effect sensor UGN 3503 and its application for mass measurement based on AT89S51 microcontroller have been done. This device can be used as mass measurement device at post office, chemical laboratory, and food industry. Characterisation done by drawing near sensor of UGN 3503 with source of permanent magnet and brand magnet. Then the next step is using Faraday cage for sensor and magnetic source. Then from result of characterization, application of sensor of UGN 3503 to measure mass have been made. By putting mass sample on the spiral, it creates a resilience and the sensor is approaching the magnetic source. The output voltage is proportional to the magnetic field. A differential op amp is used to gain the sensor output voltage. The result is converted by ADC 0804 to digital signal. Meanwhile, the digital signal will be proceed by AT89S51 microcontroller then display it on seven segment. This mass measurement system has been realized and works (can measuring equal to the refference). The measured value is equal with the known mass value. The level of mass which measurable is 1 – 10 gram with 500 mg accuracy scale.

Keyword : magnetic, Hall effect, massa

Abstrak

Pada penelitian ini telah dilakukan karakterisasi sensor magnetik Efek-Hall tipe UGN3503 sebuah sensor magnetik semi konduktor yang murah, dan aplikasinya untuk pengukuran massa menggunakan mikrokontroler AT89S51. Sistem ini dapat diaplikasikan pada pengukuran masa yang memerlukan ketelitian tinggi. Karakterisasi dilakukan dengan mendekati sensor UGN3503 pada sumber magnet permanen dan magnet koil buatan di luar dan di dalam sangkar Faraday. Setelah dilakukan kareakterisasi keluaran sensor terhadap jarak sumber, selanjutnya sistem diimplementasikan untuk mengukur massa benda. Sampel massa yang diletakkan pada wadah akan menyebabkan pegas dan sensor meregang ke bawah mendekati sumber magnet. Mikrokontroler AT89S51 digunakan untuk mengolah hasil konversi tersebut dan dibandingkan dengan massa benda yang diketahui, kemudian menampilkannya pada seven segment. Dari pengujian yang dilakukan diketahui bahwa sistem sensor yang dibuat memiliki sifat keluaran tegangan tidak linier terhadap sumber magnet permanen dengan persamaan $Y = 0,4697 + 2,4357X + 0,0176X^2 + 0,0002X^3$ dan $2,6880 - 0,0044X + 0,0001X^2$ pada sumber magnet koil, dimanana Y adalah tegangan (volt) dan X adalah jarak (cm). Sistem sensor juga dipengaruhi medan magnet bumi dengan perbedaan keluaran sebesar 0,0017 mV antara arah 000° (utara-selatan) dan 090° (timut-barat), serta dipengaruhi induksi magnet dari sumber luar sebesar 0,0030 mV pada arah 000° dan selatan. Nilai massa yang terukur sama dengan nilai massa yang sudah diketahui. Besarnya massa yang dapat diukur adalah 1-10 gram dengan interval 500 mg.

Kata kunci : magnetik, efek Hall, massa

Pendahuluan

Kuat medan magnet merupakan salah satu besaran fisika yang sangat penting adalah medan magnet dan untuk mengukur kuat medan magnet diperlukan sensor magnetik. Pada saat ini sensor magnetik berkembang pesat seiring dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Berbagai jenis sensor magnetik telah banyak dikembangkan, misalnya menggunakan koil dengan metode induksi, pada pengukuran jarak, pengukuran kuat medan magnet, komputerisasi pencacah sampel menggunakan sensor Efek Hall [1], pengukuran daya listrik lampu pijar [2], menggunakan magnetogalvanik,

menggunakan Efek Hall atau memanfaatkan efek magnetoresistans [3]. Pada perkembangannya, sensor magnetik diaplikasikan dalam berbagai bidang antara lain industri, rumah tangga, kesehatan, pendidikan dan masih banyak lagi bidang aplikasi yang lain. Hal ini disebabkan adanya kecenderungan penggunaan sensor magnetik yang mempunyai banyak kelebihan antara lain: linieritas dan kestabilan yang tinggi, tidak merusak (non destruktif), sensitivitas terhadap arah yang tinggi, *reliable*, relatif sederhana dan biaya operasi yang murah, sehingga ada tendensi dari manusia untuk menggunakan sensor tersebut.

Di sisi lain, pengukuran massa sebuah benda memiliki essensi yang tinggi dalam kehidupan sehari-hari, misalnya pada pengukuran massa sebuah surat di jasa pengiriman surat, pengukuran massa bahan-bahan kimia, untuk membuat komposisi reaksi kimia di bidang industri kimia, untuk pengukuran komposisi bahan pada perusahaan makan dan masih banyak essensi yang lain. Pembuatan alat pengukur massa dapat dilakukan dengan memanfaatkan sensor misalnya aplikasi sensor pergeseran linier (LVDT) sebagai pengukur massa berbasis mikrokontroler [4].

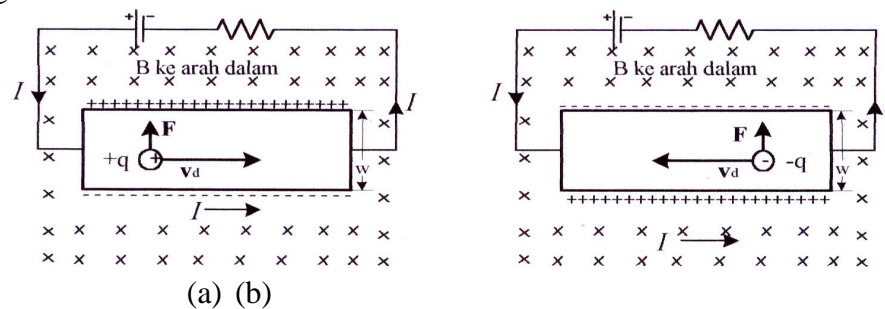
Dari permasalahan di atas, maka dilakukan penelitian tentang sensor magnetik Efek Hall dalam aplikasinya untuk pengukuran massa. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi yang nyata untuk peranan dengan bidang-bidang yang terkait.

Dasar Teori

Effek Hall terjadi ketika konduktor pembawa arus tertahan pada medan magnet, medan memberi gaya menyamping pada muatan-muatan yang mengalir pada konduktor [6]. Gambar 1. menunjukkan dua lempengan yang mengalirkan arus yang salah satunya menyalurkan arus *I* ke kanan karena sisi kiri lempengan itu dihubungkan dengan terminal positif baterai, dan sisi kanan dihubungkan ke terminal negatif baterai. Lempengan ini berada dalam medan magnetik yang diarahkan ke dalam. Pada gambar 1.a, diasumsikan bahwa arus tersebut terdiri atas muatan positif yang bergerak ke kanan. Gaya magnetik pada partikel ini adalah

$$\vec{F} = q\vec{v}_d \times \vec{B} \tag{1}$$

dengan \vec{v}_d merupakan kecepatan pembawa muatan. Gaya ini mengarah ke atas. Partikel positif bergerak ke atas lempengan, yang membuat bagian bawah lempengan itu mengandung muatan negatif. Pemisahan muatan ini menghasilkan medan elektrostatis pada lempengan yang melawan gaya magnetik pada pembawa muatannya. Apabila medan elektrostatis dan medan magnetik seimbang, pembawa muatan tidak lagi bergerak ke atas. Pada keadaan setimbang, bagian atas lempengan tadi bermuatan lebih positif, sehingga berada pada potensial yang lebih tinggi dari bagian bawah yang bermuatan negatif. Jika arus itu terdiri atas



Gambar 1. Efek Hall. a) Partikel positif bergerak ke kanan, b) Partikel negatif bergerak ke kiri [6]

partikel bermuatan negatif seperti pada gambar 1.b, pembawa muatan harus bergerak ke kiri (karena arusnya masih tetap ke kanan). Gaya magnetik $q\vec{v}_d \times \vec{B}$ dalam hal ini ke atas karena tanda q maupun \vec{v}_d telah diubah. Pembawa muatan bergerak ke bagian atas lempengan, dan bagian atas lempengan sekarang menyalurkan muatan negatif dan bagian bawah lempengan menyalurkan muatan positif [7].

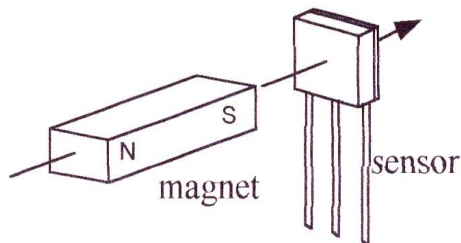
Besar gaya magnetik pada pembawa muatan dalam lempengan adalah $q\vec{v}_d \times \vec{B}$. Gaya magnetik ini diimbangi oleh gaya elektrostatik yang besarnya $q\vec{E}$, dengan \vec{E} merupakan medan listrik akibat pemisahan muatan tersebut, sehingga diperoleh

$$\vec{E} = \vec{v}_d \times \vec{B} \quad (2)$$

Jika lebar lempengannya w , beda potensial adalah Ew , sehingga diperoleh tegangan Hall sama dengan (Tipler, 1991).

$$V_H = \vec{E}_w = \vec{v}_d \times \vec{B}_w \quad (3)$$

Semua peralatan Efek Hall diaktifkan oleh adanya medan magnet. Medan magnet mempunyai dua karakteristik yang penting, densitas-flux dan polaritas. Kebanyakan dari saklar digital Efek Hall dirancang akan mati jika tidak ada medan magnet (rangkaiannya terbuka pada keluaran). Saklar akan aktif jika hanya dikenai medan magnet yang memiliki densitas yang cukup dan arah yang tepat [7]. Skema sensor Efek Hall dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Sensor Efek Hall [7]

Untuk mengoperasikannya, garis flux magnet harus tegak lurus pada permukaan paket sensor, dan harus memiliki polaritas yang tepat. Salah satu contoh sensor Efek Hall adalah IC Efek Hall dengan tipe UGN 3503U yang merupakan tipe sensor Efek Hall linier. IC ini memiliki 3 pena komponen internal terdiri dari elemen sensor efek Hall, *amplifier* dan *buffer*, semuanya dalam satu *chip*. Sensor ini memberikan tegangan keluaran yang sebanding dengan densitas medan magnet. Keluaran sensor pada saat medan magnet masukannya 0 gauss adalah setengah dari V_{cc} . Untuk medan positif (kutub selatan), semakin besar medan maka tegangan keluarannya juga semakin besar dan untuk medan negatif (kutub utara), semakin besar medan maka tegangan keluarannya akan semakin kecil.

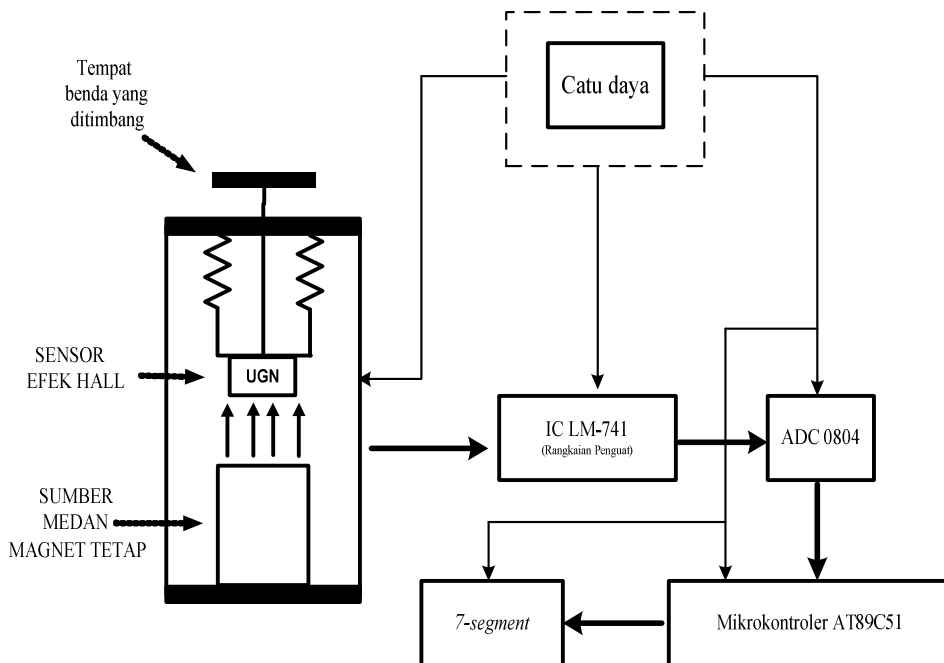
Metoda Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan dua tahapan besar yaitu tahapan karakterisasi sensor Efek Hall UGN 3503 dan tahapan pembuatan alat ukur massa menggunakan sensor tersebut. Karakterisasi sensor yang dilakukan meliputi karakterisasi sumber magnet buatan, magnet permanen, karakterisasi posisi dan penggunaan sangkar Faraday. Karakterisasi Magnet Buatan digunakan magnet buatan yang terbuat dari inti ferit dan kumparan dari email dengan diameter email 0,8 mm dan jumlah lilitan sebanyak 300 lilitan. Pengambilan data dilakukan dengan memvariasi jarak sumber magnet dan besar medan magnet terhadap tegangan keluaran sensor. Karakterisasi Magnet Permanen memanfaatkan magnet tetap, dengan variasi jarak (d) dan besar medan magnet (B) terhadap V_s sensor. Kutub magnet yang digunakan pada saat pengambilan data adalah kutub selatan. Karakterisasi Pengaruh Magnetik Bumi dilakukan dengan variasi posisi magnet dan sensor dalam posisi utara-selatan serta posisi barat-timur. Karakterisasi pengaruh induksi luar dilakukan dengan variasi

penggunaan sangkar faraday pada sensor dan magnet. Karakterisasi ini dilakukan dengan cara menutup sensor dan magnet pada jarak 1 cm dengan sangkar faraday yang terbuat dari seng, dan pengukuran tanpa sangkar faraday. Data yang diambil berupa besarnya medan magnet dan tegangan keluaran sensor.

Dalam mengaplikasikan sensor sebagai pengukur massa, maka variabel yang menjadi subyek adalah massa. Perancangan dan realisasi rangkaian pendukung sistem meliputi desain perangkat mekanik, rangkaian sensor efek Hall, rangkaian penguat selisih, rangkaian pengubah analog ke digital (ADC), sistem minimum mikrokontroler dan rangkaian penampil *seven segment*. Perancangan sistem tersebut ditunjukkan gambar 5. Kuat medan magnet yang mengenai sensor, nilainya akan bergantung pada jarak antara sumber magnet dengan sensor Efek Hall. Besaran kuat medan magnet ini

akan dirubah menjadi besaran listrik oleh sensor Efek Hall berupa tegangan keluaran (V_s). Apabila diberikan beban (massa) maka jarak sensor akan mendekati sumber magnet, jarak semakin kecil sehingga B makin besar, oleh karena itu V_s yang dihasilkan sensor akan semakin besar begitu juga sebaliknya. Besarnya V_{out} sebanding dengan massa suatu benda. Karena perbedaan tegangan yang dihasilkan sensor sangat kecil maka diperlukan penguat untuk menguatkannya. Kemudian, hasil penguatan berupa sinyal analog akan dikonversi oleh ADC (*Analog to Digital Converter*) dalam format data digital 8 bit. Data hasil konversi akan dimasukkan secara paralel ke mikrokontroler yang selanjutnya oleh mikrokontroler data tersebut akan dibandingkan dengan massa benda yang telah diketahui. Nilai massa benda kemudian ditampilkan di rangkaian penampil *seven segment*

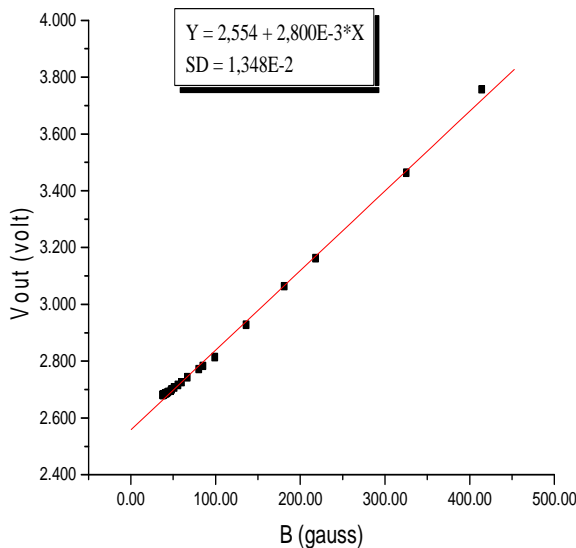


Gambar 5. Diagram blok aplikasi sensor magnetik UGN 3503 sebagai pengukur massa.

Hasil dan Pembahasan

Hasil Karakterisasi Magnet Permanen dan Magnet Buatan

Hasil karakterisasi sensor ditunjukkan pada grafik gambar 6. Pada aplikasinya untuk pengukuran posisi maupun jarak, sensor Efek Hall harus dikenai sumber medan magnet.

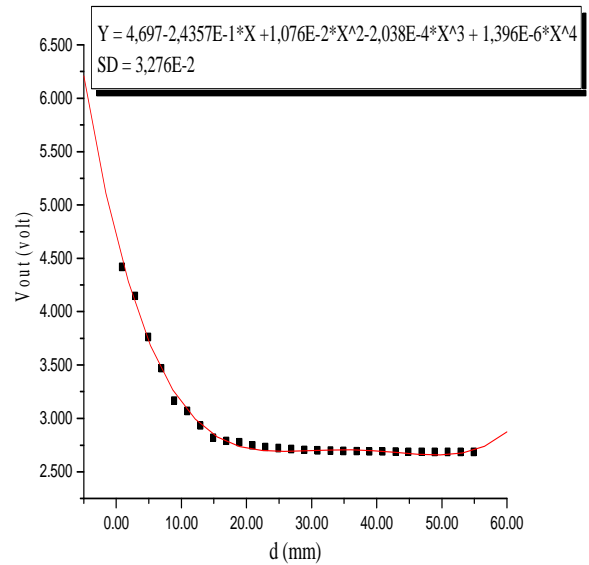


Gambar 6. Grafik hubungan kuat medan magnet dengan tegangan keluaran sensor untuk magnet permanen

Dari grafik tersebut diperoleh persamaan $Y = 2,800E-3X + 2,554$ volt. Y adalah tegangan keluaran (volt) dan X adalah besarnya medan magnet (gauss). Nilai 2,554 memiliki arti bahwa sensor tersebut mempunyai tegangan keluaran sebesar 2,554 volt pada saat medan magnet bernilai 0 gauss. Nilai ini membuktikan karakteristik sensor yang tercantum pada *data sheet* sensor, bahwa tegangan keluaran sensor adalah 0,5 dari Vcc (5 volt) pada saat B = 0 gauss. Berdasarkan referensi nilai sebenarnya adalah 2,5 volt, maka ralat yang diperoleh:

$$\delta V = \frac{0,054}{2,5} \times 100\% = 2,16\% \quad (4)$$

Hasil pengukuran ini berbeda 2,16% dari referensi, karena sensor tidak benar-benar bebas dari medan magnet, sedangkan untuk pengukuran jarak dan tegangan keluaran dapat dilihat pada gambar 7.

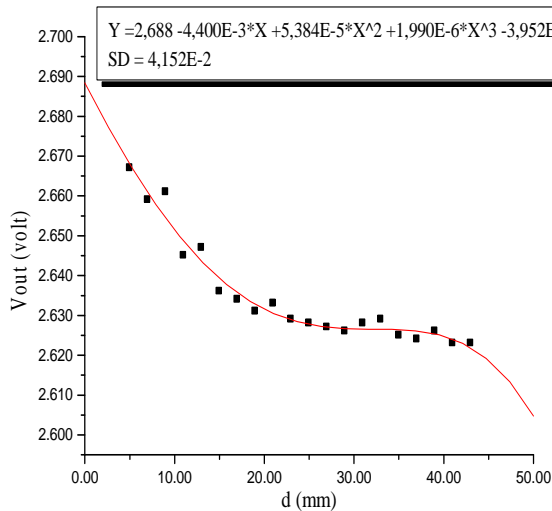


Gambar 7. Grafik hubungan jarak dengan tegangan keluaran untuk magnet permanen

Grafik pada gambar 8 menunjukkan kurva dengan persamaan polinomial orde 4. Galat baku yang diperoleh sebesar 3,276E-2. Dari grafik terlihat bahwa pada jarak 0-2 cm tegangan yang dihasilkan mengalami perubahan yang besar, sedangkan pada jarak lebih dari 2 cm tegangan keluaran sensor cenderung stabil dan konstan.

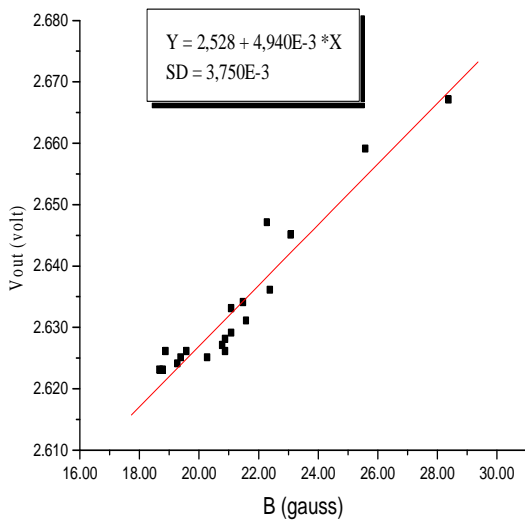
Dari penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa sumber magnet permanen menghasilkan medan magnet yang lebih stabil yang dapat dilihat dari hasil pengukuran tegangan sensor, sehingga pada realisasi alat pengukur massa menggunakan magnet tersebut. Hal ini disebabkan polaritas (kutub) pada magnet permanen lebih teratur.

Grafik pada gambar 8 dan gambar 9 merupakan grafik untuk magnet buatan. Pada gambar 8 diperoleh persamaan regresi polinomial orde 4 dengan galat baku atau standar deviasi lebih besar dibandingkan dengan magnet permanen. Dari grafik terlihat bahwa untuk magnet buatan yang terbuat dari kumparan email yang dililitkan ke inti ferit, besarnya tegangan keluaran yang dihasilkan setiap perubahan jarak terlihat acak dan cenderung fluktuatif.



Gambar 8. Grafik hubungan jarak terhadap tegangan keluaran pada magnet buatan

Hal yang sama dapat dilihat pada grafik 9. Grafik tersebut menunjukkan bahwa tegangan yang dihasilkan setiap perubahan medan tidak stabil. Hal ini disebabkan medan magnet yang dihasilkan magnet buatan dibangkitkan dari sumber arus yang tidak stabil. Faktor hambatan yang dipakai pada rangkaian pembangkit medan berpengaruh pada medan magnet yang dihasilkan. Selain itu magnet yang terbuat dari lilitan tidak sama homogen dari ujung satu terhadap ujung yang lain.



Gambar 9. Grafik hubungan kuat medan magnet terhadap tegangan keluaran untuk magnet buatan

Hasil Karakterisasi Pengaruh Magnetik Bumi

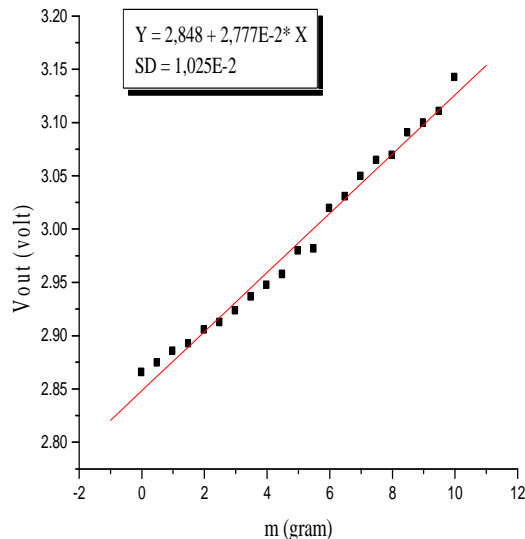
Pada data karakterisasi sensor untuk variasi posisi, terlihat bahwa terdapat perbedaan antara pengukuran B dan V_s untuk posisi utara-selatan dengan barat-timur. Tegangan keluaran sensor pada posisi utara-selatan diperoleh $V_s = (2,933 \pm 0,007)$ volt, sedangkan pada posisi barat-timur diperoleh $V_s = (2,916 \pm 0,003)$ volt. Hal ini disebabkan adanya pengaruh medan magnet bumi. Secara alamiah, bumi sudah memiliki medan magnet, sehingga faktor tersebut tidak dapat diabaikan. Pada posisi utara-selatan menunjukkan besarnya B dan V_s yang lebih besar, karena medan magnet bergerak dari kutub utara menuju kutub selatan. Adanya indikasi dan persamaan arah medan baik dari sumber magnet permanen maupun dari magnet bumi, sehingga jika dalam posisi yang sama, antara keduanya akan saling menguatkan. Oleh sebab itu, hasil pengukuran kuat medan dari magnet dan keluaran tegangan sensor pada posisi utara-selatan akan lebih besar.

Hasil Karakterisasi Pengaruh Induksi Luar

Dari karakterisasi sensor dengan penggunaan sangkar faraday yang telah dilakukan terlihat bahwa ada pengaruh penggunaan sangkar faraday terhadap tegangan keluaran sensor yang dihasilkan. Besarnya B dan V_s akan semakin kecil dibandingkan dengan tanpa sangkar faraday karena magnet dan sensor berada pada ruang tertutup. Tegangan keluaran sensor dengan sangkar faraday diperoleh $V_s = (2,834 \pm 0,002)$ volt, sedangkan untuk pengukuran tanpa sangkar faraday didapatkan $V_s = (2,831 \pm 0,002)$ volt. Medan magnet yang ditimbulkan akan berputar di satu ruang, artinya sangkar faraday dapat meminimalisir dan memperkecil pengaruh medan dari luar.

Hasil Pengujian Perangkat Mekanik

Grafik hasil pengujian perangkat mekanik dapat dilihat pada gambar 10. yang menunjukkan bahwa dengan adanya perubahan massa, maka tegangan keluaran sensor juga berubah.



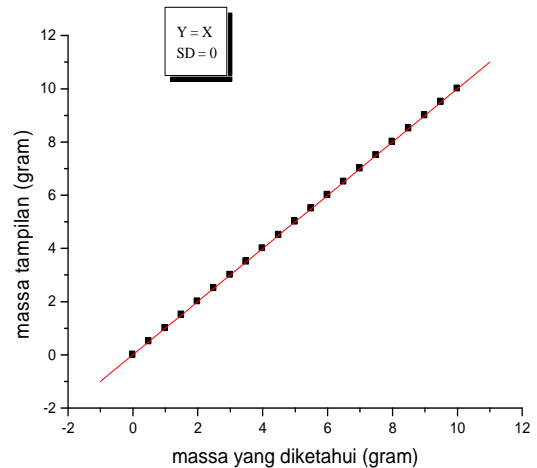
Gambar 10. Grafik hubungan massa terhadap tegangan keluaran

Dari grafik diatas diperoleh persamaan regresi linier $Y = 2,777E-2X + 2,848$ volt, dengan Y adalah tegangan keluaran sensor dan X adalah besarnya massa. Nilai 2,848 artinya bahwa tegangan keluaran sensor tanpa beban (sebelum diberi massa) adalah sebesar 2,848 volt. Jadi nilai 2,848 volt merupakan tegangan keluaran awal sensor pada perangkat mekanik dengan jarak sensor dan sumber magnet 1,8 cm. Persamaan regresi digunakan untuk data yang mempunyai banyak ralat yang berhubungan dengan data. Regresi adalah menurunkan kurva dengan meminimumkan ketidaksesuaian antara titik-titik dan kurva. Ralat pada regresi linier adalah ketidaksesuaian antara nilai Y yang sebenarnya dan nilai taksiran pada persamaan linier.

Hasil pengujian pengukur massa

Hasil pengujian tersebut terlihat gambar 11. Dari hasil pengujian ini dapat diambil kesimpulan bahwa program dapat menampilkan hasil massa terukur dengan

jumlah massa yang diberikan dan keluaran yang dihasilkan dapat dilihat pada *seven segment*. Pengujian terhadap sistem dilakukan dengan membandingkan antara massa yang sudah diketahui dengan massa yang ditampilkan dalam *seven segment*.



Gambar 11. Grafik hubungan massa yang telah diketahui dengan massa pada tampilan *seven segment* menggunakan sensor Efek Hall UGN 3503

Persamaan regresi yang diperoleh yaitu $Y = X$ dengan Y adalah massa yang terlihat pada tampilan (gram), sedangkan X adalah massa yang sudah diketahui (gram). Sistem yang telah dibuat dapat digunakan dalam pengukuran massa antara 1-10 gram setiap interval 500 mg. Hal ini karena pegas yang digunakan kurang lentur sehingga tidak bisa mengukur massa dengan nilai yang lebih kecil dari 500 mg. Permasalahan perangkat mekanik sangat berpengaruh. Tangkai dan pegas yang mudah bergerak jika dikenai beban serta wadah massa yang mudah bergerak menyebabkan hasil pengukuran yang berbeda. Selain itu, penempatan massa dengan posisi yang berbeda juga akan mempengaruhi hasil pengukuran terutama terhadap keluaran sensor. Sifat sensitivitas sensor yang mudah berubah terhadap perubahan medan magnet sangat berpengaruh terhadap hasil pengukuran.

Daftar Pustaka

[1]. Widyarningsih, R., 2004, *Komputerisasi Pencacah Sampel*

- Menggunakan Sensor Efek Hall*, Skripsi Jurusan Fisika Universitas Diponegoro, Semarang
- [2]. Elnanda, H., 2001, *Perancangan Alat Ukur Daya Listrik Lampu Pijar Menggunakan ADC TLV 2543 dengan Tampilan Komputer*, www.te.ugm.ac.id
- [3]. Djamal, M., 2001, *Desain dan Pembuatan Sensor Magnetik*, www.ti.itb.ac.id
- Pengembangan Sensor Medan Magnet Fluxgate dengan Metode Posisi Pulsa*, www.fi.itb.ac.id
- [4]. Nugroho, A.Y., 2005, *Aplikasi Sensor Pergeseran Linier (LVDT) sebagai Pengukur Massa Berbasis Mikrokontroller AT89S51*, Skripsi Jurusan Fisika Univeritas Diponegoro, Semarang
- [5]. Giancolli, C. D., 1998, *Fisika Jilid 2 Terjemahan*, Edisi kelima, Erlangga, Jakarta
- [6]. Tipler, A. P., 1991, *Fisika untuk Sains dan Teknik Terjemahan Jilid 2 Edisi Ketiga*, Erlangga, Jakarta
- [7]. Gopel, W., dan Hesse, J., 1989, *Sensors A Comprehensive Survey Magnetic Sensor*, Weinhem, VCH