

**PENINGKATAN DAERAH KERJA ALAT UKUR MEDAN MAGNET  
MELALUI SMART CALIBRATION BERBASIS INTERPOLASI**

**(IMPROVEMENT OF THE MAGNETIC FIELD MEASURING DEVICES  
USING AN INTERPOLATION BASED SMART CALIBRATION)**

**Fenta Rahmawati<sup>1</sup>**

**Dudi Darmawan<sup>2</sup>**

**Suprayogi<sup>3</sup>**

<sup>1-3</sup> Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Telkom

<sup>1</sup>[fenta.rahmawati@gmail.com](mailto:fenta.rahmawati@gmail.com)

<sup>2</sup>[dudidw@gmail.com](mailto:dudidw@gmail.com)

<sup>3</sup>[spiyogi@yahoo.co.id](mailto:spiyogi@yahoo.co.id)

---

**Abstrak**

Pada penelitian ini telah dilakukan peningkatan daerah kerja sensor medan magnet yang memiliki daerah kerja sempit melalui *smart calibration* dengan persamaan interpolasi. Dimana hasil dari persamaan interpolasi sensor yang memiliki daerah kerja sempit tersebut kemudian di transformasikan ke sensor acuan yang memiliki daerah kerja lebih lebar. Sehingga menghasilkan persamaan baru berupa persamaan interpolasi. Persamaan tersebut diolah dan diprogram menggunakan software, setelah itu program *smart calibration* ditanamkan ke mikrokontroler. Berdasarkan transformasi kurva dari sensor yang memiliki daerah kerja sempit dengan daerah kerja lebar diperoleh hasil pengukuran mendekati daerah kerja lebih lebar dengan kesalahan relatif rata-rata sebesar 1,6 %.

**Kata kunci : Daerah Kerja, Smart Calibration, Interpolasi**

---

**Abstract**

This research has been conducted on the improvement of the range of the magnetic field sensor which has a narrow range region through smart calibration with interpolation equations. Where the result of the interpolation equations sensor has narrow range are then in transformation to the reference sensor has a wider range. So the new equation yields the equation in the form of interpolation. These equations are processed and programmed using the software, after which the program smart calibration were implanted to mikrokontroler. Based on the transformation of the curve of the sensor has narrow range with a wide range retrieved results measurement wider range approaching with a relative average error of 1,6%.

**Keywords : Range, Smart Calibration, Interpolation**

---

**Pendahuluan****1.1 Latar Belakang**

Salah satu karakteristik sensor adalah lebar daerah kerja yang menghasilkan kurva linier antara nilai parameter fisis yang sebenarnya dengan parameter fisis yang terukur. Daerah kerja atau yang dikenal dengan rentang adalah nilai maksimum dan nilai minimum parameter masukan yang dapat diukur dan aman digunakan sebelum mencapai saturasi. Saturasi adalah daerah kerja sensor setelah rentang linier di mana responnya terhadap masukan tidak lagi menghasilkan keluaran yang diharapkan. Proses pengukuran memiliki beberapa hal yang harus diperhatikan yaitu kemampuan alat ukur untuk mengetahui besaran fisis yang diinginkan dengan segala kondisi dan proses pengukuran sering ditemukan kendala, salah satunya adalah keterbatasan alat ukur untuk melakukan pengukuran sesuai keinginan.

Salah satu contoh alat ukur yang memiliki daerah kerja adalah alat ukur medan magnet. Alat ukur ini untuk mendeteksi adanya medan magnet. Dalam beberapa tahun ini pengukuran medan magnet telah menjadi perhatian penting di dunia industri [2]. Terbukti dengan adanya penelitian yang telah dilakukan mengenai pengukuran medan magnet. Sensor yang digunakan untuk mendeteksi medan magnet adalah sensor magnetik. Sensor magnetik yaitu untuk mengukur kuat medan magnet, sensor yang mengukur besaran-besaran fisika berdasarkan perubahan medan magnet yang diakibatkan karena keberadaan atau pergerakan suatu benda yang menjadi objek pengukuran [3]. Hasil pengujian sensor magnetik dengan pemberian medan magnet bervariasi menghasilkan keluaran pengukuran bervariasi. Sistem pada alat merespon medan magnet yang diberikan apabila pemberian medan magnet dibawah daerah kerja ukur sensor yaitu sebesar 100,1 gauss sampai 1560 gauss dengan pemberian sumber medan magnet sebesar 260,7 gauss sampai 1090,1 gauss [4]. Namun berbeda dengan pemberian sumber medan magnet yang lebih besar, keluaran pengukuran mulai mencapai saturasi ketika keluaran maksimum yang terbaca tidak lagi pada daerah kerja sensor yaitu sebesar 1900 gauss, karena objek yang diberikan lebih besar dari batas daerah kerja sensor tersebut. Daerah pengukuran diatas 1800 gauss, hasilnya mulai tidak linear sehingga batas maksimum pengukur yang digunakan adalah 1800 gauss [5]. Dengan kata lain sensor tidak dapat mengukur objek yang lebih lebar.

Hal ini menjadi kendala untuk *user* karena sering kali daerah kerja yang ditemukan sempit atau lebih kecil dibandingkan dengan objek yang akan diukur dan sudah mencapai saturasi. Maka daerah kerja yang dihasilkan masih tidak linier, oleh karena itu tidak bisa digunakan untuk mengukur objek lebih lebar. Sehingga

user harus terus mencari alat ukur yang sesuai untuk mengukur objek ukur. Dengan mencari alat ukur yang sesuai hal ini akan menghabiskan waktu pengguna untuk melakukan pengukuran. Alat ukur yang tidak bergantung pada daerah kerja inilah yang menjadi solusi untuk dapat mengukur objek yang lebih lebar. Sehingga daerah kerja yang sempit bisa juga digunakan untuk mengukur objek yang lebih lebar.

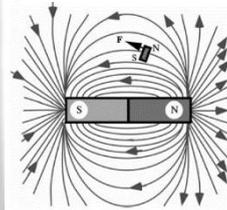
Berdasarkan masalah tersebut maka solusi yang akan diberikan adalah memperlebar daerah kerja sensor. Sehingga daerah kerja yang sempit bisa juga digunakan untuk mengukur objek yang lebih lebar. Pada tugas akhir ini dilakukan peningkatan daerah kerja sensor melalui *smart calibration* dengan Persamaan interpolasi. Persamaan interpolasi diperoleh dari sensor yang memiliki daerah lebih lebar sebagai data acuan yang dapat digunakan untuk mendapatkan hubungan antara data acuan dengan parameter yang terukur. Proses peningkatan daerah kerja sensor dilakukan dengan mentransformasikan Persamaan interpolasi dari sensor daerah kerja sempit ke daerah kerja sensor lebih lebar. Setelah mendapatkan Persamaan interpolasi baru dari proses transformasi kemudian Persamaan tersebut diprogram menggunakan software lalu ditanamkan ke mikrokontroler, dimana proses ini yang disebut sebagai *smart calibration*.

Pada penelitian ini digunakan dua sensor magnetik, sensor magnetik ini hanya sebagai sampel sensor yang daerah kerja dari sensor inilah yang akan ditingkatkan. Dua sensor magnetik yang digunakan yaitu sensor efek hall masing-masing sensor memiliki daerah kerja sensor yang berbeda. Satu sensor untuk acuan yang memiliki daerah kerja lebih lebar dan sensor lainnya menjadi sensor yang akan ditingkatkan daerah kerja sensornya karena memiliki daerah kerja sempit.

## Dasar Teori

### 2.2 Magnet

Setiap magnet bagaimanapun bentuknya selalu memiliki dua kutub yaitu kutub utara dan kutub selatan [6]. Jika sumber medan magnetnya permanen (kutub-kutub batang magnet) maka arah medan magnetnya berasal dari kutub utara ke kutub selatan seperti terlihat pada Gambar 1. Medan magnet paling kuat berada pada kutub-kutub magnet. Walaupun gaya-gaya magnet yang terkuat terletak pada kutub-kutub magnet, gaya-gaya magnet tidak hanya berada pada kutub-kutubnya saja tetapi juga timbul disekitar magnet. Medan magnet dapat menembus benda maupun medium yang berada disekitar medan magnet tersebut. Medan magnet merupakan besaran vektor sehingga untuk menyatakannya dapat digunakan garis-garis medan medan yang disebut fluks. Daerah yang memiliki medan magnet kuat digambarkan dengan garis-garis gaya yang rapat, sedangkan daerah yang memiliki medan magnet lemah digambarkan dengan garis-garis gaya yang renggang.



Gambar 1. Kutub magnet batang [5]

Kuat medan magnet pada suatu magnet permanen dapat diukur dengan cara yaitu menggunakan alat ukur medan magnet. Pengukuran kuat medan magnet menggunakan alat ukur bisa dilakukan dengan menggunakan *Teslameter* atau *Gaussmeter* dengan menggunakan sensor yang didekatkan pada suatu area magnet. Satuan kuat medan magnet yang diukur yaitu *Tesla* (T) sebagai satuan SI. Satuan lain yang umum digunakan untuk menyatakan medan magnet adalah *gauss*,  $\text{Wb/m}^2$ , hubungan antara keduanya yaitu:  $\text{Tesla} = 10^4 \text{ gauss} = 1 \text{ weber/m}^2$  [6]. Memahami prinsip medan magnet permanen sangat penting untuk memahami teknik pengukuran medan magnet. Pada suatu magnet batang, medan magnet dihasilkan berupa besaran vektor yang memiliki besaran dan arah. Seperti yang ditunjukkan gambar 1. Apabila medan magnet tersebut diukur pada jarak tertentu, dapat digambarkan dengan persamaan berikut [7]:

$$\vec{B} = \frac{3(\vec{m} \times \hat{r})_r - \vec{m}}{r^3} \quad (2.1)$$

Dimana  $\hat{r}$  adalah unit vektor disepanjang  $r$ ,  $r$  adalah jarak antara sumber magnet dengan titik pengukuran dan  $\vec{m}$  adalah momen dipole magnetik. Selain medan magnet, terdapat juga vektor magnet yang lain yaitu vektor induksi magnet  $\vec{B}$  atau rapat flux medan magnet. Besaran rapat flux berbanding lurus dengan vektor medan magnet  $\vec{B}$  dengan faktor kali  $\mu_0$  seperti yang dirumuskan pada persamaan berikut:

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} \quad (2.2)$$

Dari kedua persamaan diatas besar medan magnet untuk magnet permanen berbentuk batang dapat dirumuskan menjadi persamaan seperti dibawah ini:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \left( \frac{3(\vec{m} \cdot \vec{r})\vec{r} - r^2\vec{m}}{r^5} \right) \tag{2.3}$$

untuk membandingkan hasil pengukuran medan magnet permanen dengan teori yang sudah ada, melihat dari hubungan antara besar medan magnet dan jarak maka persamaan 2.3 diatas dapat ditulis:

$$\vec{B} \propto \frac{1}{r^3} \tag{2.4}$$

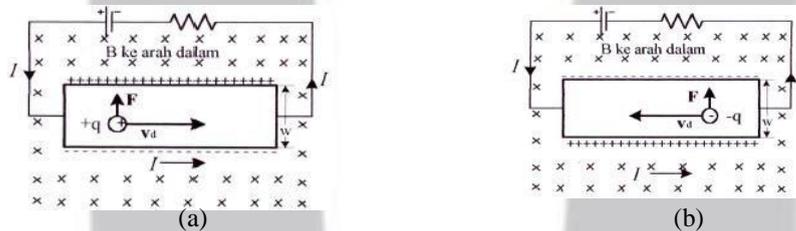
Persamaan (2.2) menunjukkan hubungan antara medan magnet (B) dengan jarak antar magnet (r). Besar medan magnet yang diukur tergantung pada jarak antar magnet yang berkaitan. Semakin dekat jarak antar magnet maka besar medan magnetnya akan semakin besar. Begitu pula sebaliknya, semakin jauh jarak antara magnet maka kuat medan magnetnya akan semakin kecil. Sehingga hubungan antara kuat medan magnet (B) berbanding terbalik dengan pangkat tiga jarak antar magnet (r). Pada penelitian ini, sumber medan magnet yang digunakan adalah magnet batang yang sudah diketahuin besar medan magnetnya. Penggunaan magnet permanen ini karena magnet permanen memiliki garis-garis medan yang stabil [8].

### 2.3 Sensor Efek Hall

Pada tahun 1879 Dr. Edwin Hall mengamati efek yang kemudian disebut efek hall. Efek Hall terjadi ketika konduktor pembawa arus tertahan pada medan magnet, medan memberi gaya menyamping pada muatan-muatan yang mengalir pada konduktor. Gambar 2 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 2(a), diasumsikan bahwa arus tersebut terdiri atas muatan positif yang bergerak ke kanan. Gaya magnetik pada partikel ini adalah

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} \tag{2.5}$$

dengan  $\vec{v}$  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 setimbang, 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.



Gambar 2. Efek Hall, a) Partikel positif bergerak ke kanan, b) Partikel negatif bergerak ke kiri [5]

Jika arus itu terdiri atas partikel bermuatan negatif seperti pada gambar 2(b), pembawa muatan harus bergerak ke kiri (karena arusnya masih tetap ke kanan). Gaya magnetik  $q\vec{v} \times \vec{B}$  dalam hal ini ke atas karena tanda q maupun  $\vec{v}$  telah diubah. Pembawa muatan bergerak ke bagian atas lempengan, dan bagian atas lempengan sekarang menyalurkan muatan negatif dan bagian bawah lempengan menyalurkan muatan positif. Beda potensial antara bagian atas dan bagian bawah lempengan disebut tegangan hall

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

$$qE = q\vec{v} \times \vec{B} \tag{2.6}$$

Jika lebar lempengannya w, beda potensial adalah  $Ew$ , sehingga diperoleh tegangan Hall sama dengan.

$$V_d = Ew = \vec{v} \times \vec{B}w \tag{2.7}$$

Dari pengukuran tegangan hall untuk lempengan yang ukurannya diketahui sedang menyalurkan arus yang diketahui dalam medan magnetik, dapat ditentukan jumlah pembawa muatan per volume satuan dalam lempengan tersebut. Dengan persamaan arus  $I = nqAv_d$  dengan A merupakan luas penampang lempengannya. Untuk lempengan dengan lebar w dan tebal t, luas penampangnya ialah  $A=wt$ . Karena pembawa muatannya berupa elektron, besar q sama dengan muatan pada satu elektron e. Densitas jumlah muatan yang menyalurkan  $n = \frac{I}{qAw} = \frac{I}{qwt}$ , dengan mensubstitusikan  $n = I / (qAw)$  dari persamaan (2.7) diperoleh  $V_d = \frac{I}{qwt} \times Bw = \frac{IB}{qt}$ . Dari persamaan tersebut

dapat diperoleh tegangan Hall untuk mengukur medan magnetik sebagai berikut [5]:

$$V_d = \frac{IB}{qt} \tag{2.8}$$

Sensor efek hall merupakan salah satu contoh sensor magnetik. Sensor efek hall adalah sebuah sensor yang akan menghasilkan tegangan keluaran yang bervariasi sebagai respons terhadap perubahan dalam medan magnet. Medan magnetik mempunyai dua karakteristik yang penting yaitu densitas fluks dan polaritas (kutub). Sensor efek Hall dibuat dari elemen Hall, IC sensor efek hall ini memiliki tiga komponen internal yang terdiri atas elemen sensor efek hall, *amplifier* dan *buffer* dalam satu *chip* dikemas menjadi satu rangkaian terintegrasi.

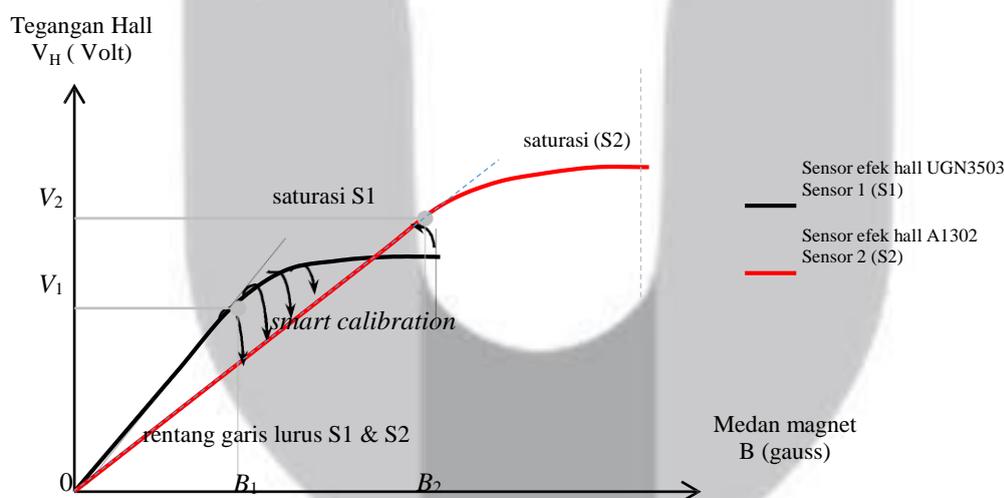
Keluaran elemen Hall dihubungkan dengan penguat diferensial sehingga keluaran sensor sebanding dengan  $V_{Hall}$  dan regulator ditambahkan agar keluaran sensor selalu stabil. Keluaran sensor mempunyai nilai setengah dari catu daya, sehingga titik tegangan acuan saat tanpa medan magnet tidak pada 0 volt tetapi setengah tegangan catu daya. Titik acuan setengah tegangan catu disebut sebagai tegangan kuiesenct (*quiesenct voltage*) [4]. Untuk medan positif (kutub selatan), semakin besar medan magnet maka tegangan keluarannya juga semakin besar dan untuk medan negatif (kutub utara), semakin besar medan magnet maka tegangan keluarannya semakin kecil. Sensor ini memberikan tegangan keluaran yang sebanding dengan kuat medan magnetik. Seperti persamaan dibawah ini, semakin besar tegangan keluaran sensor yang dihasilkan maka semakin besar juga medan magnet yang dihasilkan [9].

$$V_H \propto I \times B \quad (2.9)$$

Persamaan (2.9) menyatakan bahwa  $V_H$  sebanding dengan  $I$  dan  $B$ . Jika  $I$  konstan,  $V_H$  sebanding dengan kuat medan magnetik ( $B$ ).

### Grafik *Smart Calibration*

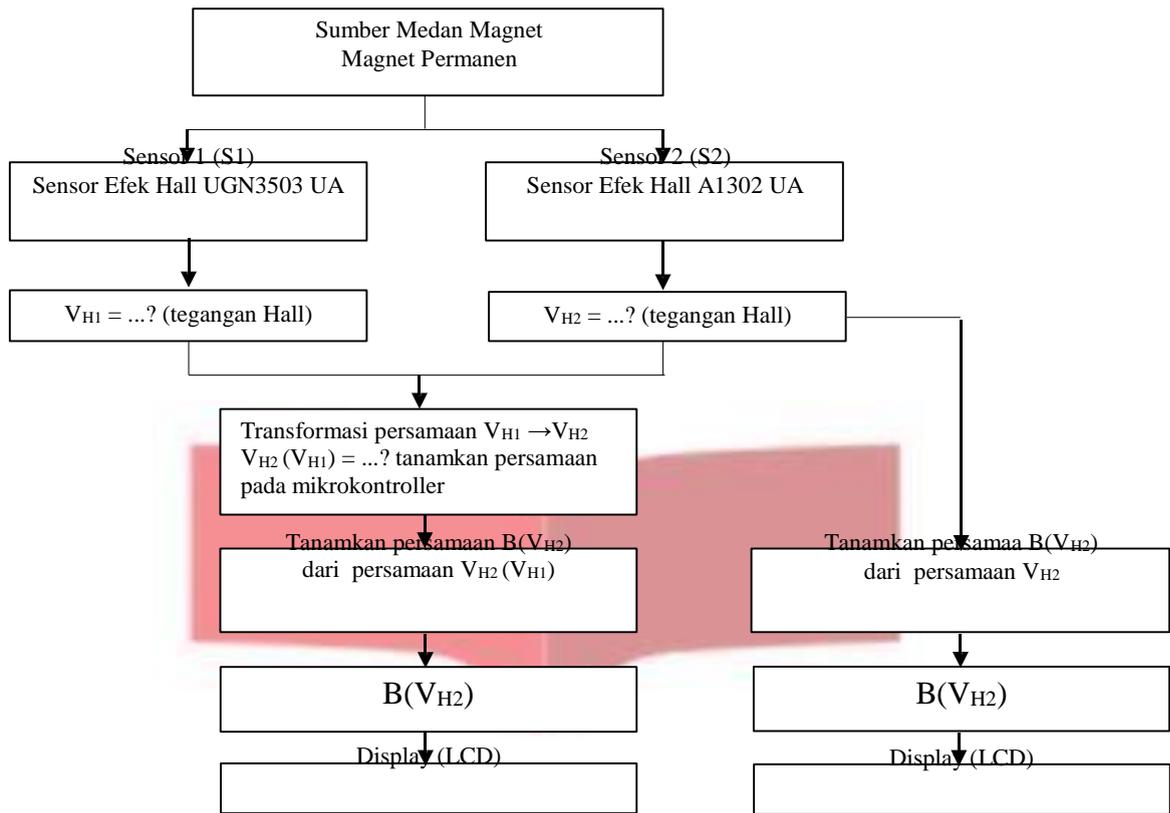
Dari data yang diperoleh meliputi data acuan sensor yang sebenarnya dan data sensor yang terukur seperti terlihat pada Gambar 2 diperoleh hubungan tegangan keluaran dan kuat medan magnet kedua sensor. Perancangan grafik *smart calibration* untuk peningkatan daerah kerja alat ukur medan magnet lebih jelas terlihat pada gambar dibawah ini. Sensor efek hall A1302 sebagai sensor dua ( $S_2$ ) menjadi sensor acuan dengan daerah kerja lebih besar rentang garis lurus yang dihasilkan antara  $0-B_2$  sumbu absis dibandingkan sensor satu ( $S_1$ ) yaitu sensor efek hall UGN3503 hanya menghasilkan rentang garis lurus antara  $0-B_1$ . Maka dibutuhkan persamaan interpolasi untuk proses peningkatan daerah kerja sensor. Setelah di peroleh persamaan dari masing-masing sensor selanjutnya dilakukan teknik pendekatan interpolasi yang dinamakan dengan *smart calibration*. Persamaan interpolasi yang akan ditanamkan pada mikrokontroler diperoleh dari data acuan sebagai parameter fisis sebenarnya. Dengan ini perlu pemanggilan fungsi interpolasi sesuai dengan data yang dihasilkan .



Gambar 2. Grafik *smart calibration*

### 2.4 Gambaran Umum Sistem

Pada gambar 3 merupakan blok diagram yang digunakan dalam perancangan perangkat keras pada pembuatan pendeteksi dan pengukuran besar medan magnet sebagai gambaran umum sistem. Gambar 3 memperlihatkan bagian blok 4system yang digunakan, masing-masing blok mempunyai fungsi yang berbeda-beda. Perancangan sensor efek hall tipe A1302 UA, sensor efek hall UGN3503 UA dan perancangan 4system minimum mikrokontroler ATmega8535 sebagai pengolah data serta LCD untuk menampilkan data yang telah di program.

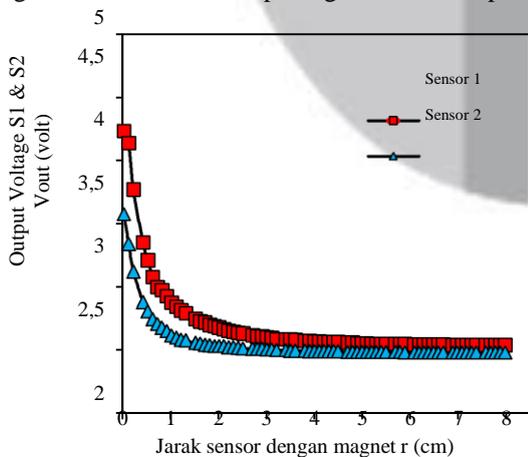


Gambar 3. Diagram smart calibration

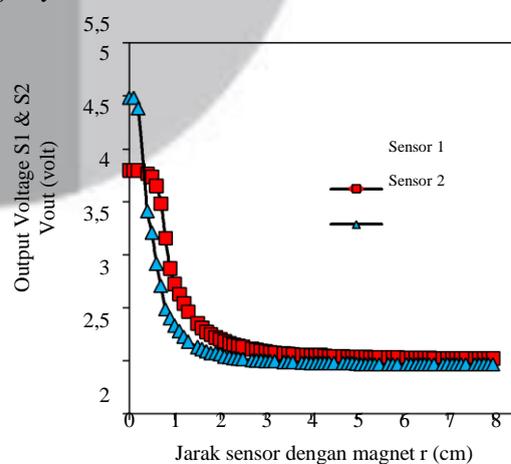
**Pengujian dan Analisis**

**3.5 Pengujian Sensor Efek Hall**

Pengujian sensor Efek Hall disini dilakukan untuk melihat bagaimana respon sensor terhadap magnet. Tujuannya disini ingin melihat serta mengetahui bagaimana perubahan nilai keluaran sensor bila didekatkan ke magnet. Magnet yang diuji disini adalah magnet permanen yang sudah diukur menggunakan Gauss/Teslameter Model 7010 dengan magnet permanen ferrite dan magnet permanen neodymium. Pengujiannya adalah dengan memvariasikan jarak X terhadap magnet permanen. Bagian sensor yang digunakan adalah bagian depan sensor, ini dikarenakan letak elemen hall berada pada bagian depan sensor. Hasil pengujian kedua sensor dengan sensor efek hall tipe A1302 UA dan sensor efek hall tipe UGN3503 UA seperti gambar 4 dan 5 dibawah ini menunjukkan tegangan keluaran. Semakin kecil jarak yang diukur maka semakin besar output tegangan sensor dan sebaliknya. Dengan demikian sensor dapat digunakan untuk proses selanjutnya.

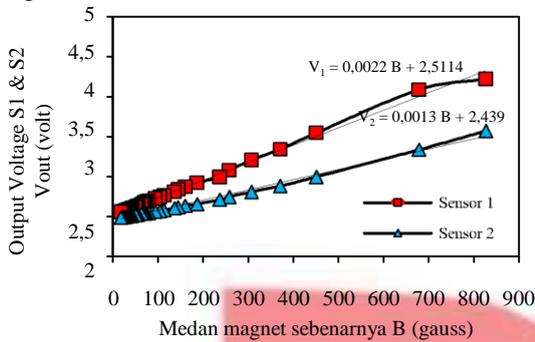


Gambar 4. Grafik jarak terhadap keluaran sensor 1 dan sensor 2 menggunakan magnet ferrite

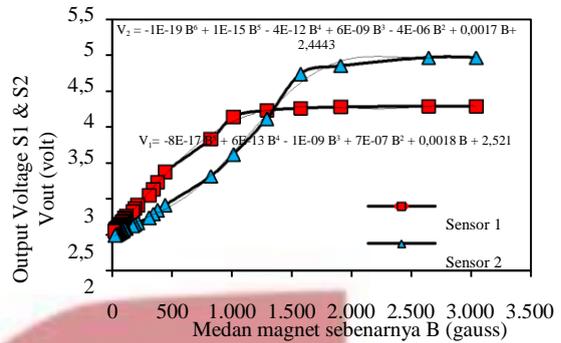


Gambar 5. Grafik jarak terhadap keluaran sensor 1 dan sensor 2 menggunakan magnet neodymium

Setelah dilakukan pengujian sensor 1 dan sensor 2 terhadap jarak dengan magnet yang menghasilkan tegangan keluaran pada masing-masing sensor. Selanjutnya data tegangan keluaran kedua sensor diplot dengan data pengukuran besar medan magnet untuk mengetahui linearitas dari masing-masing sensor. Data hasil pengukuran tegangan keluaran pada sensor dan besar medan magnet pada probe terhadap magnet permanen terlihat pada grafik berikut:



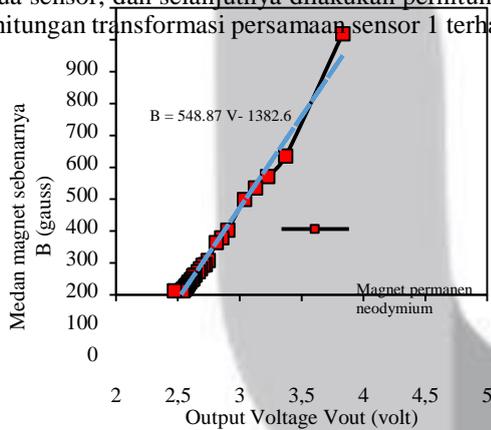
Gambar 6. Grafik perbandingan medan magnet dengan tegangan keluaran sensor 1 dan sensor 2 terhadap magnet permanen ferrite



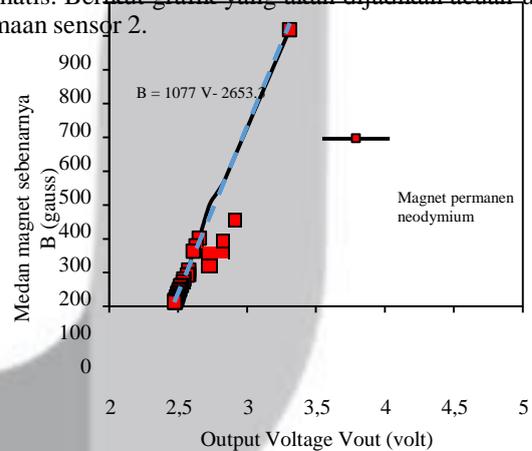
Gambar 7. Grafik perbandingan medan magnet dengan tegangan keluaran sensor 1 dan sensor 2 terhadap magnet permanen ferrite

### 3.6 Menentukan Persamaan Sensor Efek hall

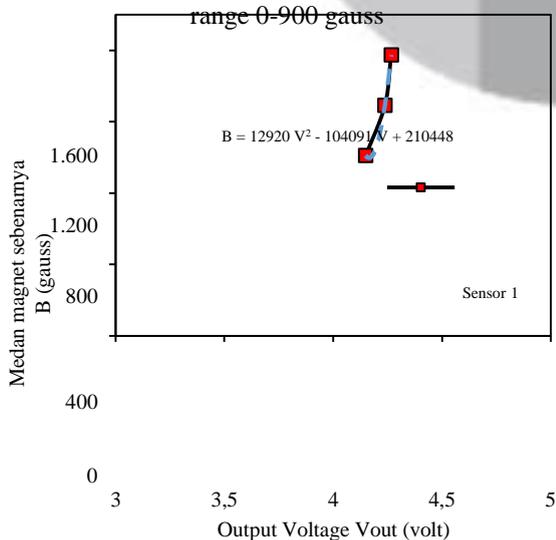
Dari data yang diperoleh dari kedua sensor tersebut maka peningkatan daerah kerja sensor dapat dilakukan. Dikarenakan salah satu sensor memiliki daerah kerja yang sempit yaitu sensor 1 efek hall UGN3503UA dengan daerah kerja dari 0 sampai 900 gauss dibandingkan dengan sensor 2 efek hall A1302UA memiliki daerah kerja dari 0 sampai 1400 gauss. Dengan demikian akan ditingkatkan daerah kerja (range) dari sensor 1 melalui *smart calibration* berbasis interpolasi dari data sensor 2 sebagai data acuan dengan cara menentukan persamaan dari kedua sensor, dan selanjutnya dilakukan perhitungan matematis. Berikut grafik yang akan dijadikan acuan untuk perhitungan transformasi persamaan sensor 1 terhadap persamaan sensor 2.



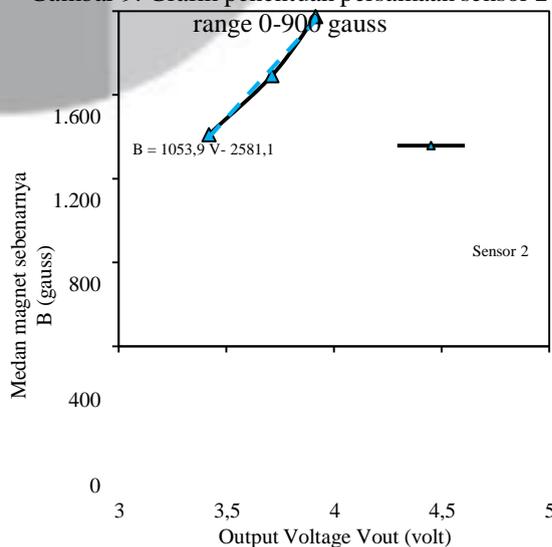
Gambar 8. Grafik penentuan persamaan sensor 1 range 0-900 gauss



Gambar 9. Grafik penentuan persamaan sensor 2 range 0-900 gauss



Gambar 10. Grafik penentuan persamaan sensor 1 range 900-1400 gauss



Gambar 11. Grafik penentuan persamaan sensor 2 range 900-1400 gauss

Dari grafik diatas dapat dilihat persamaan yang tertera pada grafik dari sensor 1 dan sensor 2 untuk range 0-900 dan 900-1400 gauss yaitu  $B = 548,87 V - 1382,6$  dan yaitu  $B = 1077 V - 2653,3$  sedangkan untuk range 900-1400 adalah  $B = 12920 V^2 - 104091 V + 210448$  dan  $B = 1053,9 V - 2581,1$ ,  $B$  adalah besar medan magnet (gauss) dan  $V$  tegangan keluaran (volt) sensor.

$$B (V_1) = (548,87 V_1 - 1382,6) \text{ gauss} \quad (3.1)$$

$$B (V_2) = (1077 V_2 - 2653,3) \text{ gauss} \quad (3.2)$$

Proses transformasi persamaan akan mendapatkan persamaan baru sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_1 &\rightarrow V_2 \\ B (V_1) &= B (V_2) \\ V_2(V_1) &= \frac{548,87 V_1 - 1270,7}{1077} \end{aligned} \quad (3.3)$$

Persamaan (3.3) adalah persamaan transformasi untuk mendapatkan tegangan yang sama dengan tegangan sensor 2. Selanjutnya persamaan tegangan tersebut disubstitusikan ke persamaan (3.2) akan menghasilkan persamaan sebagai berikut:  $B (V_2) = 1077 V_2(V_1) - 2653,3$  (3.4)

$$B (V_1) = (12920 V_1^2 - 104091 V_1 + 210448) \text{ gauss} \quad (3.5)$$

$$B (V_2) = (1053,9 V_2 - 2581,1) \text{ gauss} \quad (3.6)$$

Proses transformasi persamaan akan mendapatkan persamaan baru sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_1 &\rightarrow V_2 \\ B (V_1) &= B (V_2) \\ V_2(V_1) &= \frac{102920V_1^2 - 104091V_1 + 2130291}{1053,9} \end{aligned} \quad (3.7)$$

Persamaan (3.7) adalah persamaan transformasi untuk mendapatkan tegangan yang sama dengan tegangan sensor 2. Selanjutnya persamaan tegangan tersebut disubstitusikan ke persamaan (2.4) akan menghasilkan persamaan sebagai berikut:  $B (V_2) = 1053,9 V_2(V_1) - 2581,1$  (3.8)

Setelah dilakukan transformasi persamaan sensor 1 terhadap persamaan sensor 2 maka didapatkan persamaan baru seperti persamaan (3.4) dan (3.8) artinya persamaan tersebut dapat digunakan untuk pengukuran seperti sensor 2. Dan persamaan tersebut akan ditanamkan pada mikrokontroler.

### 3.7 Pengujian Persamaan Sensor pada Mikrokontroler

Sistem pengukuran ini menggunakan menggunakan batre 9 Volt (pada saat prototype) yang kemudian disesuaikan dengan kebutuhan perangkat. Sensor efek hall membutuhkan tegangan sebesar 5 volt DC (*allegro datasheet* sensor efek hall tipe UGN3503 UA dan sensor efek hall tipe A1302 UA). Sistem memanfaatkan tegangan sebesar 9 volt DC untuk board mikrokontroler yang didapat dari power suply, 9 volt tersebut dibutuhkan untuk menghidupkan mikrokontroler. Kemudian sensor mengambil tegangan keluaran langsung dari pin mikrokontroler sebesar 5 volt DC.

Pembuatan program mikrokontroler dilakukan dengan menggunakan software CodeAVR 5.0. Program dibuat sesuai dengan hasil dari persamaan yang sudah ditransformasi sebelum ditanamkan kedalam IC Atmega8535 dengan menggunakan USB ASP downloder, program terlebih dahulu diuji dengan menggunakan simulator. Pengambilan data pengukuran pada penelitian ini dilakukan dengan cara mengukur besarnya medan magnet yang terhadap jarak. Besarnya medan magnet yang diberikan dengan cara menggeser magnet permanen baik mendekati dan menjauhi sensor. Setelah ditanamkan program kedalam IC mikrokontroler Atmega8535 dari hasil persamaan interpolasi diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 1 Hasil peningkatan sensor 1 terhadap sensor 2 rentang 900-1400 Gauss

Posisi (cm)	Magnet Neodymium				
	V1 Sensor 1 (Volt)	V2 Sensor 2 (Volt)	V2 (V1) (Volt)	B (V2) sensor 1 (Gauss)	B (V2) sensor 2 (Gauss)
0.4	4.267	3.915	3.719	1472.64	1454.26
0.5	4.238	3.712	3.703	1235.08	1226.362
0.6	4.150	3.519	3.343	1072.242	1059.082

Tabel 2 Hasil peningkatan sensor 1 terhadap sensor 2 rentang 0-900 Gauss

Posisi (cm)	Magnet Neodymium				
	V1 Sensor 1 (Volt)	V2 Sensor 2 (Volt)	V2 (V1) (Volt)	B (V2) sensor 1 (Gauss)	B (V2) sensor 2 (Gauss)
0.7	3.832	3.109	3.232	881.598	855.62
0.8	3.558	2.986	3.113	703.718	694.478
0.9	3.372	2.903	3.006	577.126	569.26
1	3.226	2.835	2.925	486.598	454.576

Dari tabel 1 dan 2 setelah mengalami peningkatan daerah kerja sensor 1 diperoleh kesalahan relatif rata-rata sebesar 1,6 %. Besar kesalahan terjadi karena terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi. Faktor- faktor yang mempengaruhi diantaranya adalah jarak antara sumber magnet permanen dengan sensor relatif dekat dan dalam pengukuran sensor sangat sensitif. Pengaruh medan magnet sekitar serta pengaruh sentuhan juga menjadi faktor sehingga data berubah-ubah. Pengaruh magnet disekitar dapat mempengaruhi pembacaan dan respon pada ADC yang akhirnya mempengaruhi hasil pengukuran pada alat ukur medan magnet.

### 3.8 Analisis Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan maka didapat analisis sebagai berikut :

1. Sensor 1 efek hall UGN3503UA memiliki daerah lebih kecil dibandingkan sensor 2 efek hall A1302 hal ini dikarenakan rangkaian didalam sensor tersebut berbeda. Sehingga pada penelitian ini sensor 1 akan ditransformasikan ke sensor 2 agar sensor 1 memiliki daerah kerja sama seperti sensor 2.
2. Persamaan yang digunakan untuk ditanamkan ke mikrokontroller berdasarkan hasil pengambilan data yaitu persamaan interpolasi yang sudah melalui proses transformasi.
3. Hasil yang diperoleh dari pengukuran menghasilkan error sebesar 1,6 % besar kesalahan pada alat yang digunakan terjadi karena terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi. Faktor- faktor yang mempengaruhi diantaranya adalah jarak antara sumber magnet permanen dengan sensor relatif dekat dan dalam pengukuran sensor sangat sensitif. Pengaruh medan magnet sekitar serta pengaruh sentuhan juga menjadi faktor sehingga data berubah-ubah.

### Kesimpulan

Kesimpulan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Peningkatan daerah kerja sensor pada penelitian ini dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan interpolasi dari hasil transformasi sensor yang memiliki daerah kerja sempit ke sensor yang memiliki daerah kerja lebih lebar.
2. Hasil pengukuran menggunakan sensor daerah kerja sempit (sensor efek Hall tipe UGN3503 UA) sebagai sensor terukur dengan sensor daerah kerja lebih lebar (sensor efek Hall tipe A1302 UA) sebagai sensor acuan diperoleh kesalahan relatif rata-rata sebesar 1,6%.
3. Daerah kerja sensor efek Hall UGN3503 dapat diperlebar dari rentang 0 gauss sampai 900 gauss menjadi 0 gauss sampai 1452,6 Gauss, artinya sensor yang semula memiliki daerah kerja sempit dapat berperilaku mendekati sensor yang memiliki daerah lebih lebar.

### Saran

Saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Pemilihan daerah kerja sensor yang akan diteliti harus sesuai dan memiliki rentang yang jauh berbeda.
2. Penelitian lebih lanjut disarankan menggunakan proses pengubahan dari besaran analog ke besaran digital menggunakan ADC dengan resolusi yang lebih tinggi, misalnya ADC 12 bit.
3. Pembuatan alat ukur yang dapat berkomunikasi dengan komputer, sehingga data dapat disimpan ke dalam memori komputer.

### Daftar Pustaka:

- [1] James Sedgwick, William R, dan Reinhold Ludwiq, "Design of a Digital Gauss Meter for Precision Magnetic Field Measurements," Departement of Electrical and Computer Engineering, Worcester Polytechnic Institute, Worcester, USA, 1998.
- [2] Mitra Djamel, Ramli, Rahadi Wirawan, Edi Sanjaya, "Sensor Magnetic GMR, Teknologi dan Aplikasinya," dalam Prosiding Pertemuan Ilmiah XXV HFI, Jateng & DIY.
- [3] Johan Wahyudi, Gurum Ahmad Pauzi dan Warsito, "Desain dan Karakteristik Penggunaan Sensor Efek Hall UGN3503 untuk Mengukur Arus Listrik pada Kumparan Leybold P6271 secara Non Destruktif", Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung, Bandar Lampung, 2013.
- [4] Bachtera Indarto, Melania Suweni Muntini, dan Darminto, "Pembuatan Magnetometer ber-tranduser Efek Hall", Jurusan Fisika FMIPA ITS, Surabaya, 2009.
- [5] Jacob Fraden, Handbook of Modern Sensors (Physics, Designs, and Applications), New York: Springer, 2010.
- [6] Tipler, Fisika untuk Sains dan Teknik Terjemahan Jilid 2 Edisi Ketiga, Jakarta: Erlangga, 1991.
- [7] John G. Webster, Electrical measurements, signal processing, and displays, New York: CRC, 2004.
- [8] Suryono, Riyanti Agus, Jatmiko Endro Suseno, "Karakteristik Sensor Magnetik Efek Hall UGN3503 Terhadap Sumber Magnet dan Implementasinya pada Pengukuran Massa. Laboratorium Instrumen dan Elektronika. Jurusan Fisika FMIPA Universitas Diponegoro. Semarang.
- [9] Honeywell, MICRO Switch Sensing and Control, Chapter 2.