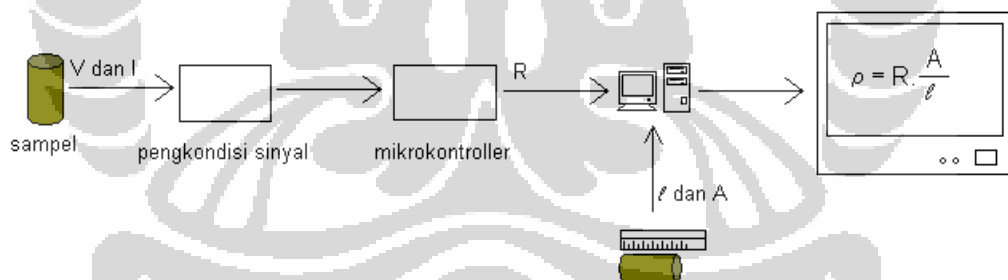


## BAB III

### PERANCANGAN SISTEM

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, pengukuran resistivitas dikhususkan pada bahan yang berbentuk silinder. Rancangan alat ukur ini dibuat untuk mengukur tegangan dan arus pada bahan untuk memperoleh besar resistansinya. Sedangkan nilai panjang dan luas penampang melintang bahan yang telah diukur sebelumnya diolah oleh komputer bersama dengan nilai resistansi yang terukur menjadi resistivitas. Gambar 3.1 menunjukkan diagram skematik dari alat ukur ini.

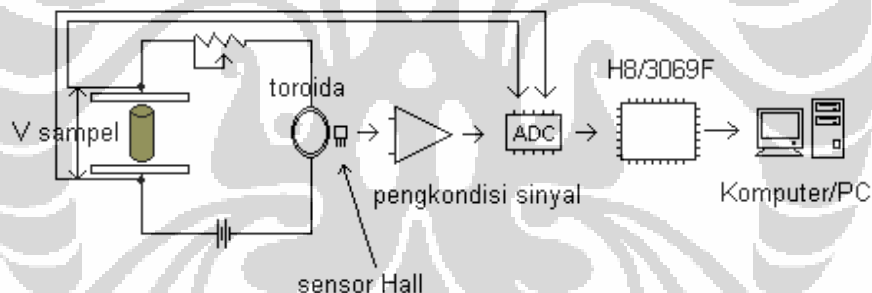


**Gambar 3.1** Diagram skematik alat ukur resistivitas

Sistem terbagi menjadi dua yaitu perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Perangkat keras merupakan modul untuk mengukur arus dan tegangan pada material dan mengolahnya menjadi nilai resistivitas. Sedangkan perangkat lunak digunakan untuk mengatur perangkat keras dan menampilkan hasil dari pengukuran kepada user.

### III.1 PERANCANGAN PERANGKAT KERAS (*HARDWARE*)

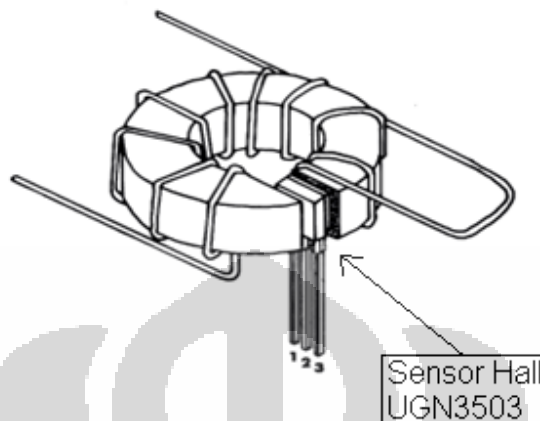
Perangkat keras yang dibuat adalah modul pengukur tegangan dan arus pada bahan. Dari nilai tegangan dan arus inilah diperoleh nilai resistansi dan lebih lanjut akan diolah yang menghasilkan nilai resistivitas. Rancangan perangkat keras alat ukur resistivitas material terdiri dari Mikrokontroler H8/3069F, rangkaian pengukur arus yang terdiri dari sensor Hall UGN3503, Toroida, dan pengkondisi sinyal, dan sebuah PC (*Personal Computer*). Untuk lebih jelas, sistem perangkat keras alat ukur resistivitas dapat dilihat pada Gambar 3.2.



**Gambar 3.2** Sistem perangkat keras alat ukur resistivitas

#### III.1.1 Rancangan Rangkaian Pengukur Arus

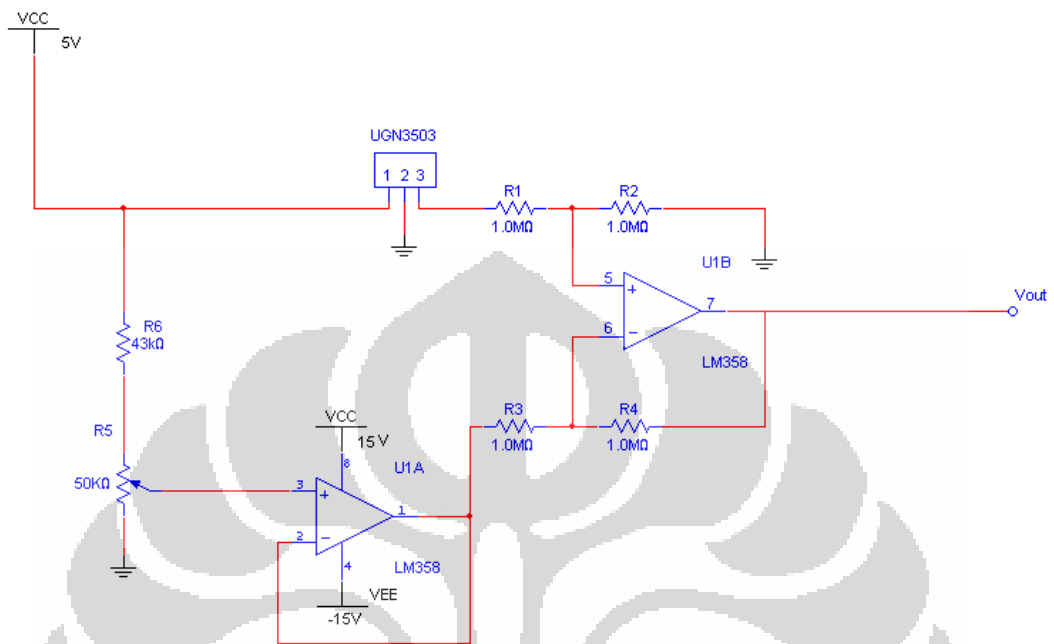
Sampel yang diberi beda potensial akan timbul arus listrik. Arus pada sampel ini lah yang diukur. Pengukuran dilakukan dengan mengalirkan arus melalui toroida. Toroida yang digunakan adalah toroida bercelah. Inti Ferrit dililit kawat email tipis dan diberi celah kira-kira 3mm. Di dalam celah diletakkan sensor Hall UGN3503 seperti yang terlihat pada Gambar 3.3.



**Gambar 3.3** Sensor Hall di dalam toroida bercelah.

Medan magnet akan berpusat pada celah toroida. Perubahan medan magnet pada celah bergantung pada arus yang mengalir pada toroida. Perubahan medan magnet akan dideteksi oleh sensor Hall yang menghasilkan output tegangan yang sebanding dengan arus yang mengalir pada toroida.

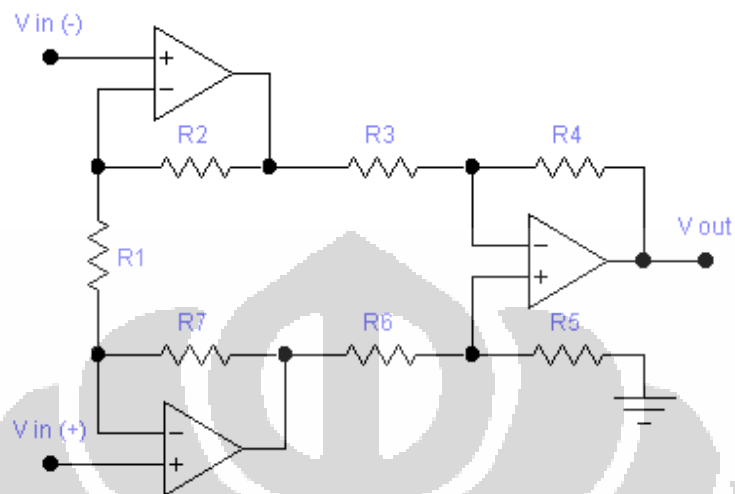
Sensor Hall yang dipakai adalah UGN3503. Sensor ini memiliki tegangan offset pada saat arus toroida nol. Untuk mengurangi tegangan offset ini dibuat rangkaian differensial amplifier. Input noninverting pada differensial amplifier merupakan output dari sensor Hall. Sedangkan input inverting differensial amplifier berasal dari pembagi tegangan yang dapat diatur sedemikian rupa sehingga sama dengan tegangan offset sensor Hall. Dengan rangkaian ini diharapkan output dari differensial amplifier nol ketika tidak ada arus yang mengalir pada toroida dan perubahan tegangan output differensial amplifier sebanding dengan perubahan arus toroida.



**Gambar 3.4** Rangkaian Differential Amplifier

Tegangan output differensial amplifier relatif kecil dalam orde miliVolt. Untuk itu sebelum masuk ke ADC MAX128, tegangan keluaran differensial amplifier diperkuat dengan PGA204 (*Programmable Gain Amplifier*). PGA adalah *Instrumentation Amplifier* yang diproduksi oleh *Texas Instrument* yang penguatannya dapat diatur atau diprogram secara digital.

Instrumentation amplifier merupakan rangkaian penguat yang mampu meredam sinyal-sinyal noise, serta mempunyai impedansi input dan CMRR yang tinggi.

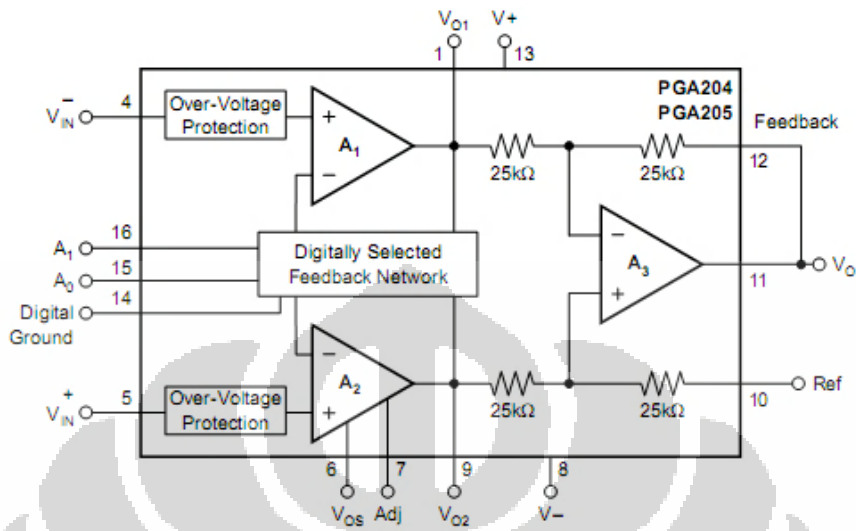


**Gambar 3.5** *Instrumentation Amplifier*

Jika nilai  $R_2, R_3, R_4, R_5, R_6$  dan  $R_7$  sama, maka penguatan hanya bergantung pada nilai  $R_1$ . Besar penguatan rangkaian di atas adalah

$$A = \frac{2R_2}{2R_1} + 1 \quad (3.1)$$

*Instrumentation amplifier* dapat dirangkai dengan komponen-komponen terpisah atau terintegrasi dalam satu *chip*. Salah satu chip yang terintegrasi rangkaian *instrumentation amplifier* adalah PGA204 atau PGA205 buatan *Burr-Brown, Texas Instrument*.



**Gambar 3.6** PGA 204 dan 205

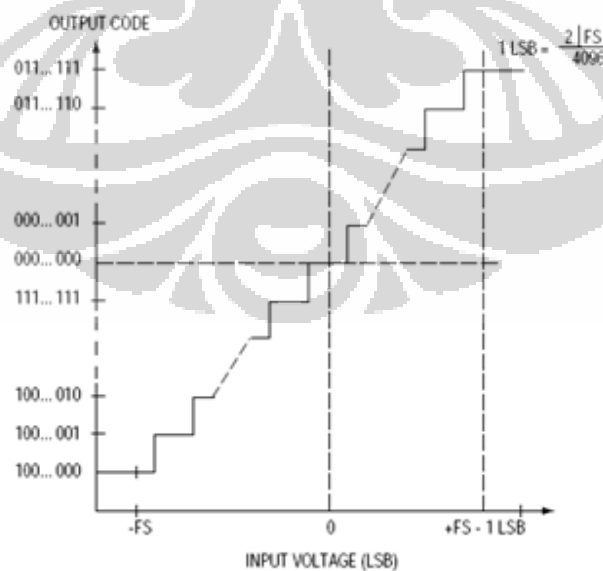
Texas Instrument membuat PGA dalam dua jenis yaitu PGA204 dan PGA205. Perbedaan dari kedua jenis ini adalah besarnya penguatan yang dihasilkan. Untuk PGA 204, penguatan yang dihasilkan 1,10,100, dan 1000 sedangkan penguatan PGA205 1,2,4, dan 8. Besarnya penguatan dapat diatur dengan memberikan logika tertentu pada input A<sub>0</sub> dan A<sub>1</sub>. Gambar 3.6 merupakan rangkaian analogi yang terdapat dalam satu chip PGA.

PGA yang digunakan adalah PGA204. Besarnya penguatan diatur oleh mikrokontroller dengan menghubungkan pin A<sub>0</sub> dan A<sub>1</sub> pada port mikrokontroller. Kombinasi nilai-nilai digital yang diberikan mikrokontroller menghasilkan penguatan seperti pada tabel 3.1

**Tabel 3.1** Nilai penguatan PGA

GAIN	A <sub>1</sub>	A <sub>0</sub>
1	0	0
10	0	1
100	1	0
1000	1	1

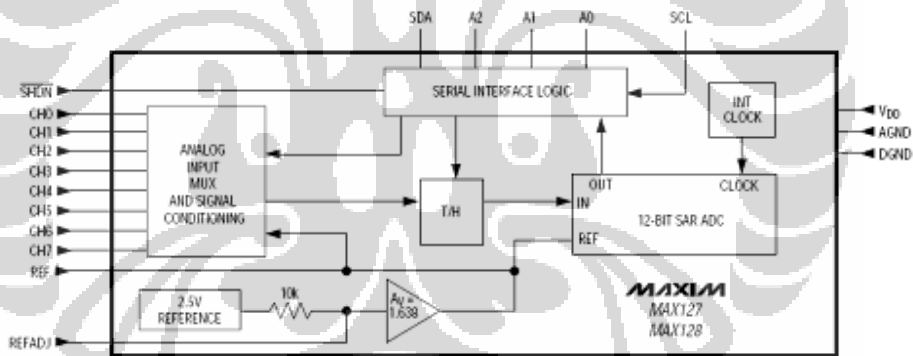
Tegangan keluaran dari PGA masih berupa tegangan analog. Untuk itu, supaya mikrokontroler dapat membaca nilai tegangannya diperlukan ADC (Analog to Digital Converter). Pada mikrokontroler H8/3069F terdapat ADC internal, namun ADC ini belum dapat membaca tegangan negatif. Oleh karena itu, ADC yang digunakan adalah ADC MAX128. ADC MAX128 ini memiliki 8 kanal masukan dan resolusi sebesar 12 bit serta dapat menerima masukan tegangan positif dan negatif. Kanal ADC yang digunakan adalah kanal 0 dan kanal 1. Kanal 0 ADC dihubungkan dengan pengkondisi sinyal kanal 1 dan kanal 1 ADC dihubungkan dengan pengkondisi sinyal kanal 2. Sebagai tegangan referensi ADC digunakan rangkaian *buffer* yang menghasilkan tegangan referensi sebesar 5,12 Volt yang dihubungkan dengan pin REF yaitu pin 23 pada IC ADC.



**Gambar 3.7** Fungsi transfer bipolar

$$LSB = \frac{2|FS|}{4096} \quad (3.2)$$

Dari persamaan 3.1 di atas dapat diketahui resolusi ADC sebesar 2,5 mV setiap *step*-nya. Artinya, bila ADC menunjukkan angka 4, maka angka tersebut merupakan hasil konversi dari sinyal analog yang besarnya 10 mV. Nilai tegangan positif akan muncul dengan angka 0 sampai dengan 2047 dan nilai tegangan negatif akan muncul dengan angka 2048 sampai dengan 4095.



**Gambar 3.8** Blok diagram ADC MAX128

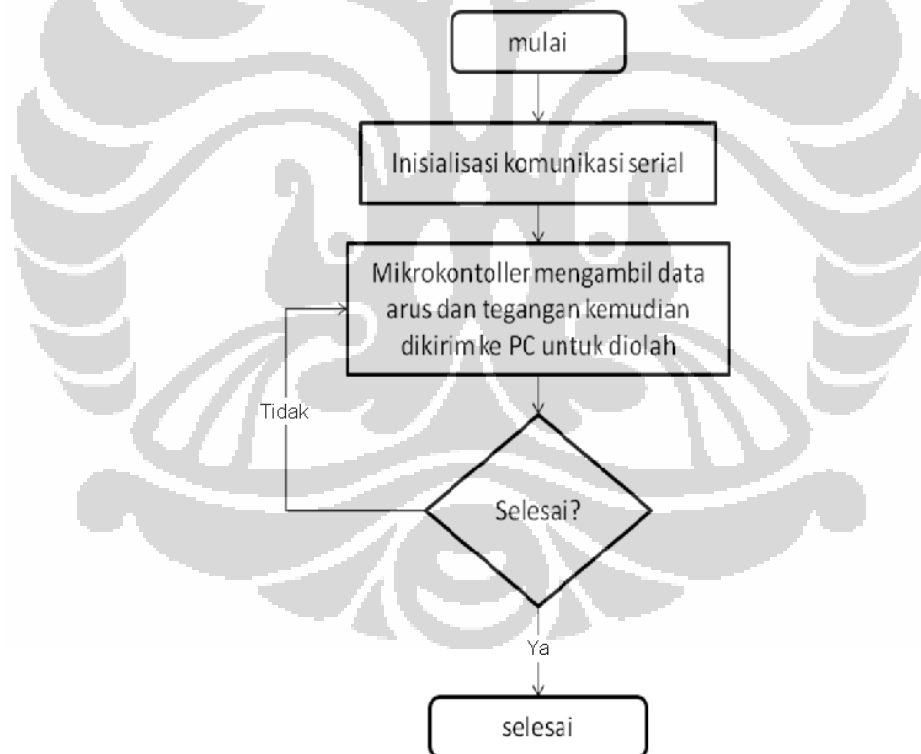
### III.1.2 Rancangan Rangkaian Pengukur Tegangan

Beda potensial pada sampel diukur langsung pada ujung-ujung sampel dengan menggunakan ADC MAX128 agar dapat dibaca oleh mikrokontroler H8/3069F. Nilai tegangan ini diolah dengan nilai arus listrik pada sampel pada rangkaian pengukur arus oleh mikrokontroler H8/3069F menjadi nilai resistansi bahan dan dikirimkan ke komputer/PC.



### III.2 PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK (SOFTWARE)

Perangkat lunak yang dipakai adalah WinAVR dan Delphi 7. Program kompiler mikrokontroller H8/3069F masih belum dapat ditemukan di Indonesia, oleh karena itu digunakan kompiler mikrokontroller AVR yaitu WinAVR. Program ini menggunakan bahasa C dan file motorola (\*.mot) yang ditulis ke dalam mikrokontroller H8/3069F. Delphi 7 menjadi interfacing mikrokontroller dengan komputer/PC sekaligus GUI (*Graphical User Interface*).



**Gambar 3.9** Diagram Alir perangkat lunak sistem

Gambar diatas menunjukkan diagram alir (flowchart) dari sistem perangkat lunak. Dimulai dengan inisialisasi komunikasi serial antara mikrokontroller dengan PC. Setelah terkoneksi, mikrokontroller mengambil

data berupa tegangan dan arus pada sampel dan mengirimkannya ke PC untuk diolah. Proses pengambilan data dapat dilakukan secara kontinu.



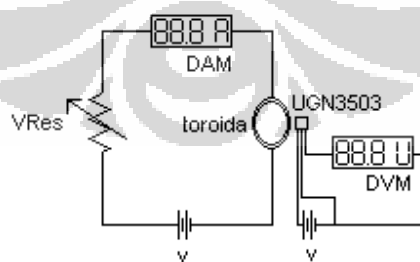
## BAB IV

### PENGUJIAN dan ANALISIS

Pengujian untuk mengetahui komponen atau sistem bekerja dengan baik meliputi pengujian perangkat keras dan pengujian perangkat lunak. Pengujian perangkat keras ditujukan untuk mengetahui linearitas, menentukan persamaan sistem dan mengetahui apakah alat bekerja dengan baik. Pengujian perangkat keras dilakukan terlebih dahulu, setelah bekerja dengan baik, pengujian perangkat lunak dilakukan sekaligus pengujian sistem secara keseluruhan.

#### IV.1 PENGUJIAN SENSOR DAN DIFFERENSIAL AMPLIFIER

Sensor Hall UGN3503 diuji untuk mengetahui linearitasnya. Pengujian sensor Hall dilakukan dengan cara mengukur arus yang melalui toroida dan tegangan keluaran sensor Hall dengan DMM (*Digital Multimeter*).

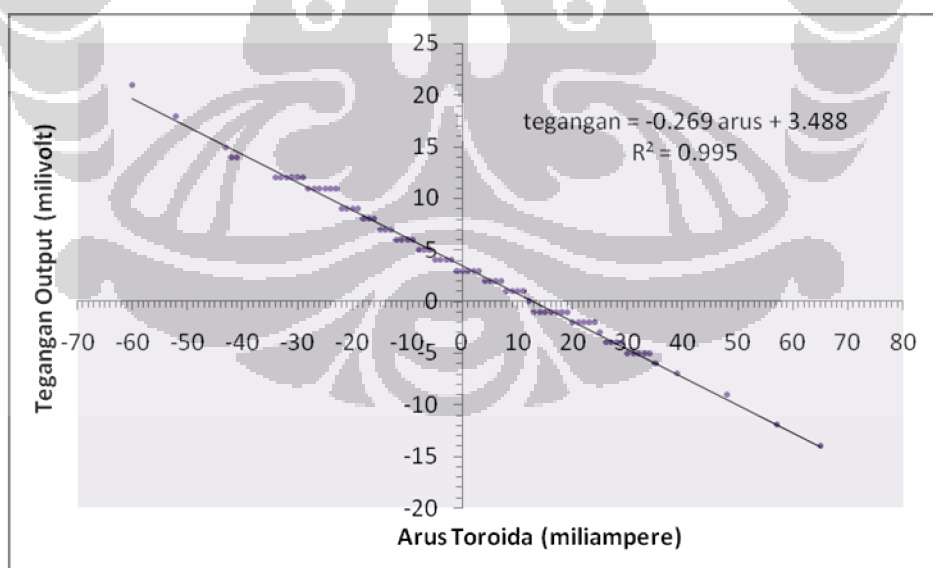


**Gambar 4.1** Pengujian Sensor Hall UGN3503

Gambar 4.1 menunjukkan prosedur pengujian sensor Hall. Tegangan yang terbaca pada voltmeter digital adalah sekitar 2,5 volt pada arus toroida

nol. Tegangan ini merupakan tegangan offset. Perubahan tegangan keluaran sensor Hall dalam orde milivolt untuk setiap perubahan arus toroida dalam miliampere. Pengukuran tegangan dalam orde milivolt pada voltmeter digital mempunyai nilai maksimum 2000 milivolt atau 2 volt. Jika tegangan offset 2,5 volt, maka perubahan tegangan keluaran tidak mampu diperlihatkan pada voltmeter digital. Oleh karena itu, pengujian dilakukan dengan menyertakan differensial amplifier sekaligus menguji differensial amplifier.

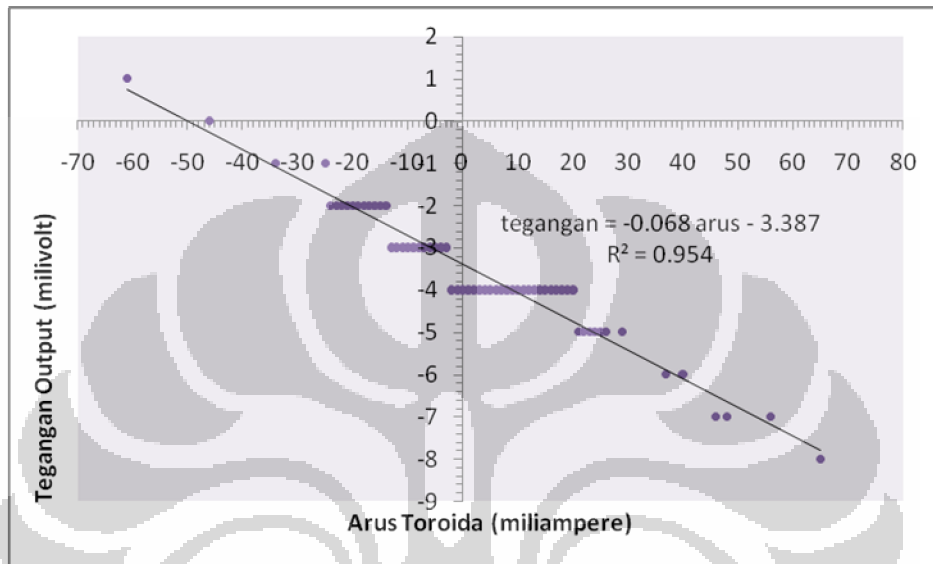
Pengujian dilakukan tiga kali dengan memvariasikan jenis kawat dan jumlah lilitan pada toroida. Pengujian yang pertama menggunakan toroida dengan lilitan kawat email dengan jumlah lilitan  $\pm 80$  lilitan. Grafik hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.2.



**Gambar 4.2** Grafik Hasil pengujian 1

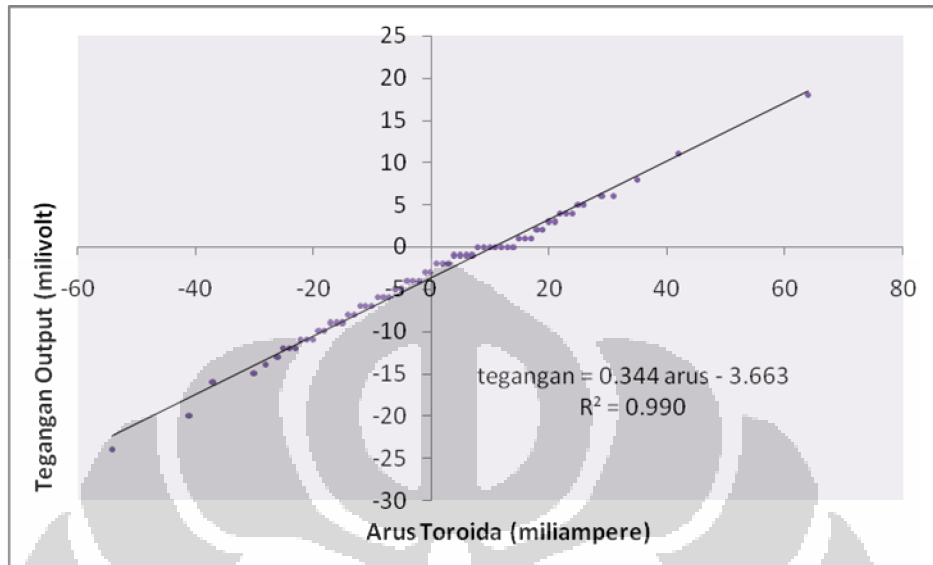
Pada pengujian kedua, kawat lilitan toroida diganti dengan kabel tunggal. Karena ukurannya cukup besar, maka jumlah lilitan yang

memungkinkan hanya sedikit yaitu  $\pm 26$  lilitan. Hasilnya ditunjukkan pada Gambar 4.3.



**Gambar 4.3** Grafik hasil pengujian 2

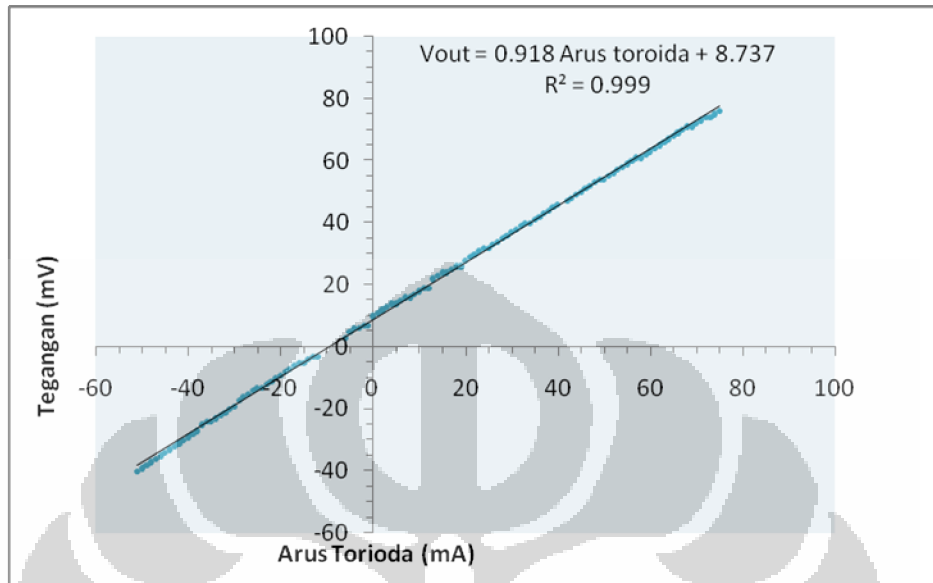
Karena hasil pengujian 2 kurang memuaskan, maka pengujian 3 dilakukan kembali dengan menggunakan kawat email pada lilitan toroida dengan jumlah lilitan lebih banyak yaitu  $\pm 110$  lilitan. Hasilnya ditunjukkan pada Gambar 4.4.



**Gambar 4.4** Grafik hasil pengujian 3

## IV.2 PENENTUAN PERSAMAAN SISTEM

Setelah pengujian sensor dan differensial amplifier, dibuat rangkaian sensor dan pengkondisi sinyal dalam suatu PCB agar parameter-parameter seperti besar dan arah medan magnet pada sensor tidak berubah. Langkah selanjutnya adalah penentuan persamaan sistem. Yang dimaksud persamaan sistem adalah fungsi tegangan keluaran pada sensor Hall terhadap arus yang mengalir pada toroida. Hasil pengujian rangkaian terdapat dalam Gambar 4.5.



**Gambar 4.5** Hasil pengujian untuk persamaan sistem

Dari grafik pada gambar 4.4 hasil pengujian, di dapat persamaan sistem pengukuran arus yaitu hubungan perubahan arus yang mengalir pada toroida dengan perubahan tegangan keluaran adalah

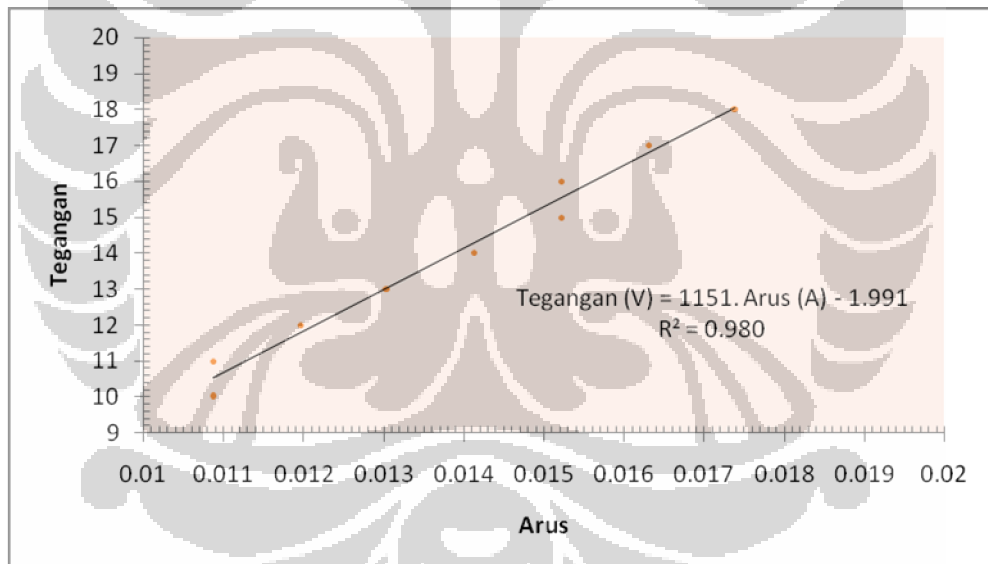
$$I = \frac{V - 8.737}{0.918} \quad (4.1)$$

Dengan I adalah arus yang mengalir pada toroida atau arus pada sampel dan V tegangan keluaran differensial amplifier.

### IV.3 PENGUJIAN SISTEM

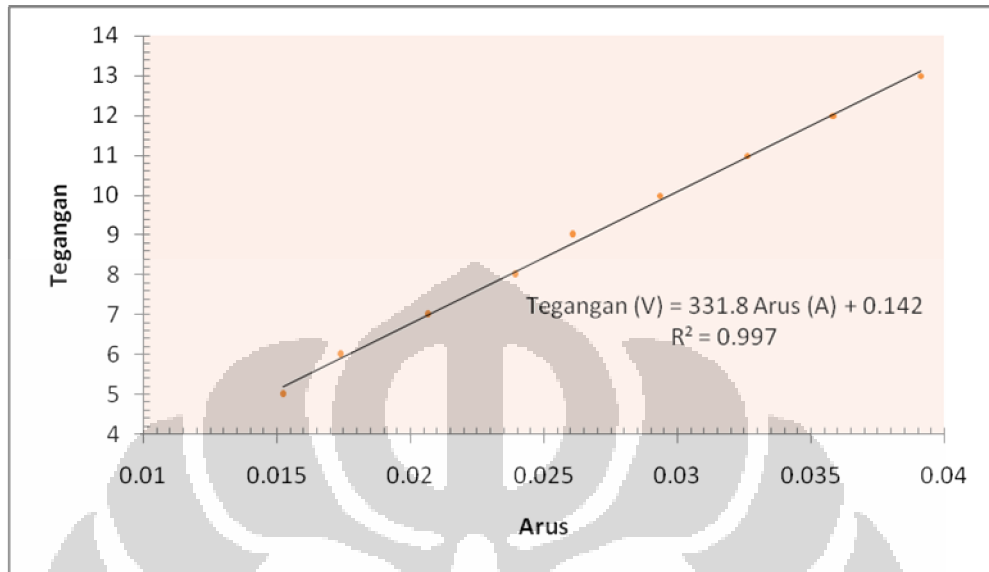
Setelah persamaan sistem diperoleh, pengujian modul yang dibuat dilakukan untuk mengetahui kebenaran dari persamaan sistem tersebut. Uji coba dilakukan dengan dua tahap. Pertama adalah menguji rangkaian yang mengukur resistansi bahan dan dilanjutkan pengujian secara keseluruhan.

Untuk menguji rangkaian yang mengukur resistansi bahan digunakan dua buah resistor yang bernilai  $1k\Omega/0,5W$  dan  $330\Omega/0,5W$ . Dengan memvariasikan arus pada resistor, tegangan pada resistor dan tegangan output differensial amplifier diukur. Nilai tegangan output differensial amplifier dikonversi menjadi arus kemudian diplot bersama tegangan pada resistor. Grafik hasil pengukuran dapat dilihat pada Gambar 4.6.



a.



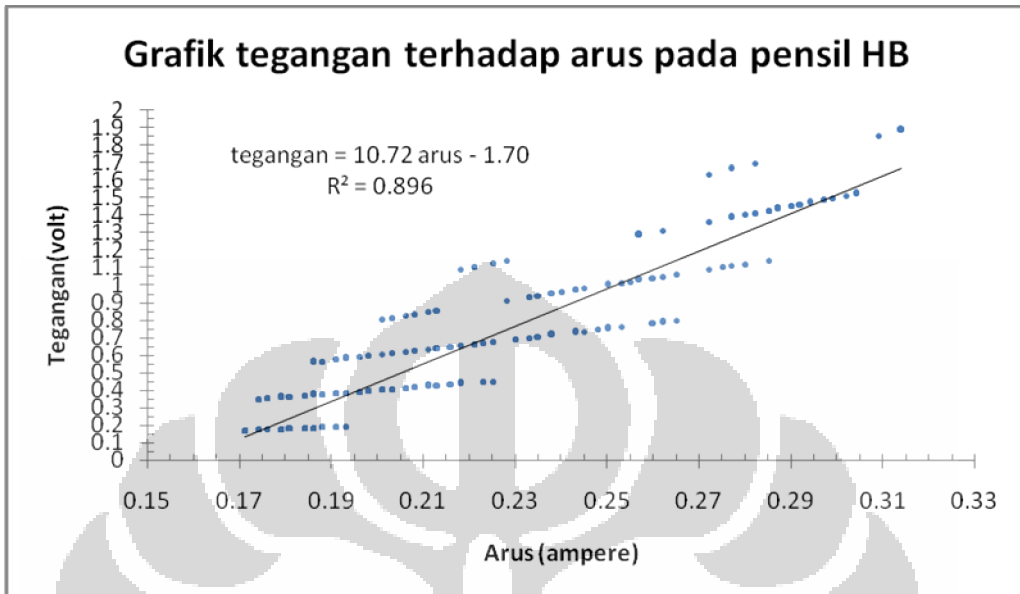


b.

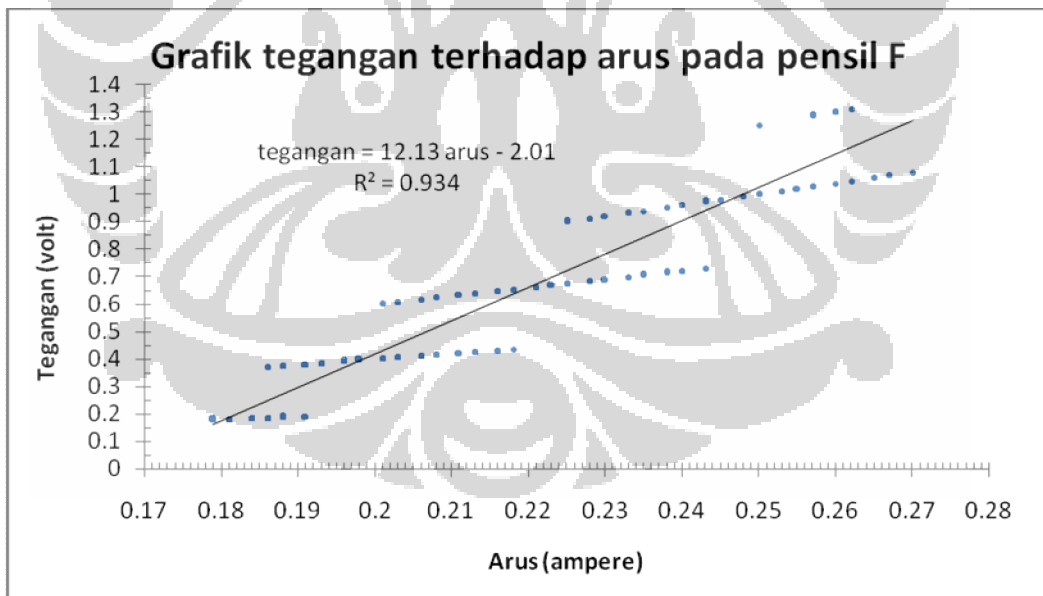
**Gambar 4.6** Grafik hubungan tegangan dan arus yang terukur. (a.) untuk resistor 1kΩ/0,5W. (b.) untuk resistor 330Ω/0,5W.

Dapat dilihat bahwa gradien garis pada Gambar 4.6 merupakan nilai resistansi dari resistor karena  $R = \frac{\Delta V}{\Delta I}$ . Hasil pengujian mendekati nilai referensi yaitu 1,151kΩ untuk resistor 1kΩ dan 331,8Ω untuk resistor 330Ω.

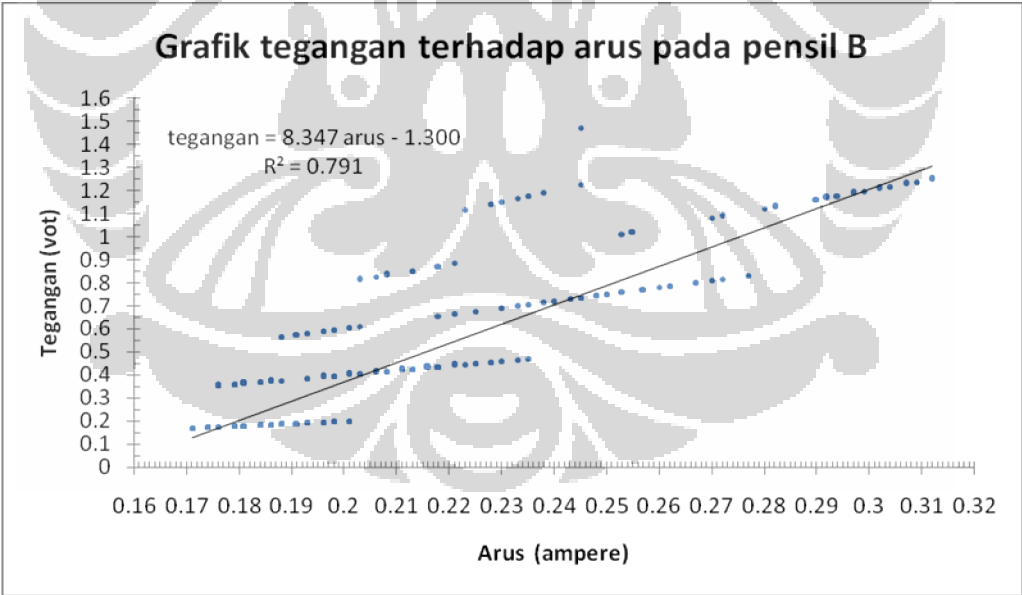
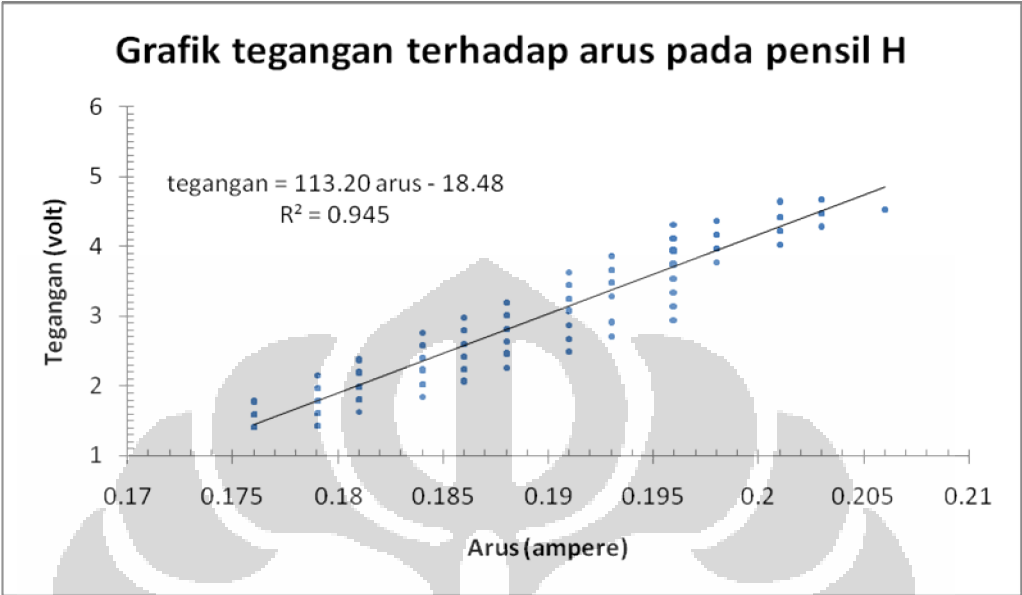
Setelah pengujian rangkaian pengukur resistansi, dilakukan pengukuran sebuah bahan grafit yaitu inti sebuah pensil staedtler™ HB, F, B, dan H. Grafik hasil pengukuran dapat dilihat pada Gambar 4.7.



a.



b.

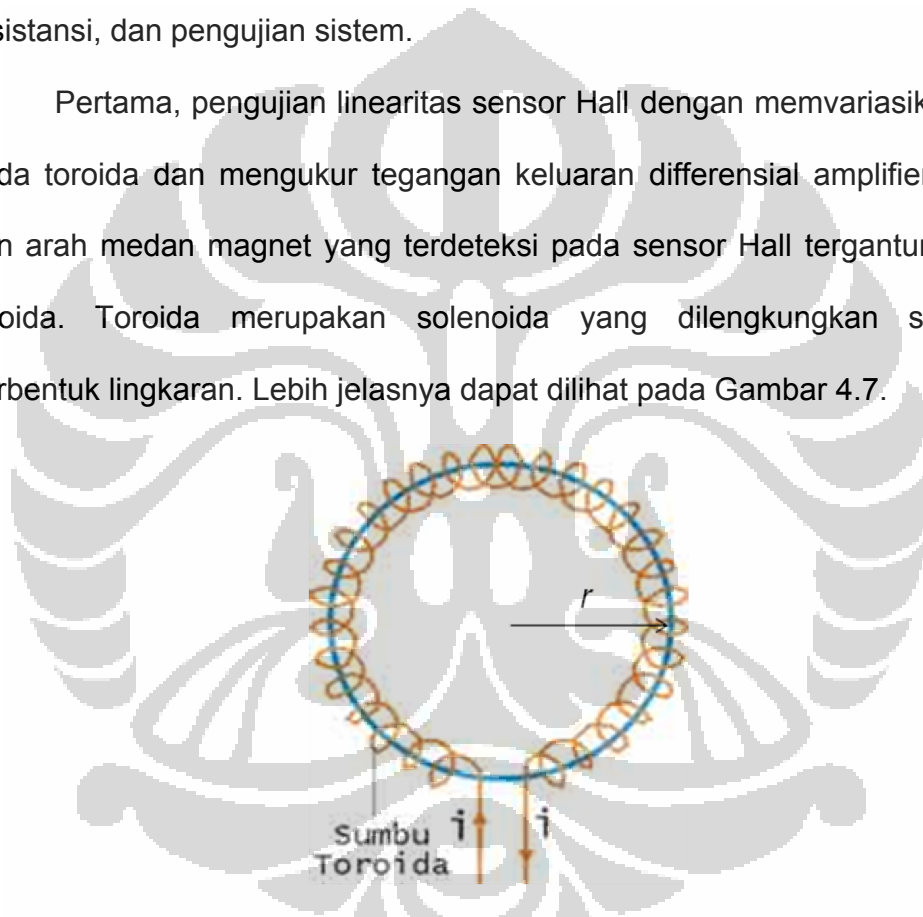


**Gambar 4.7** Grafik hasil pengukuran inti pensil (a.) HB ;(b.) F ;(c.) H ;(d.) B;

#### IV.4 ANALISIS

Telah dibuat sebuah alat ukur resistivitas dan dilakukan pengujian pada alat ukur ini. Pengujian yang dilakukan terdiri dari beberapa langkah-langkah, yaitu pengujian sensor Hall, pengujian rangkaian pengukur resistansi, dan pengujian sistem.

Pertama, pengujian linearitas sensor Hall dengan memvariasikan arus pada toroida dan mengukur tegangan keluaran differensial amplifier. Besar dan arah medan magnet yang terdeteksi pada sensor Hall tergantung pada toroida. Toroida merupakan solenoida yang dilengkungkan sehingga berbentuk lingkaran. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.7.



**Gambar 4.7** Toroida tanpa inti[11]

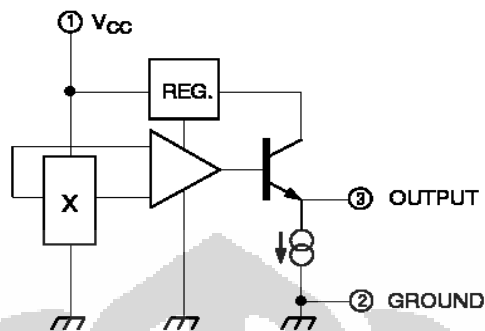
Dengan demikian, medan magnet akan terpusat pada sumbu toroida. Sedangkan medan magnet pada daerah di luar toroida sangat kecil atau nol. Besarnya medan magnet pada sumbu toroida tanpa inti dapat dinyatakan dengan

$$B = \frac{\mu_0 i N}{2\pi \cdot r} \quad (4.3)$$

Dengan  $B$  merupakan medan magnet pada sumbu toroida,  $\mu_0$  merupakan permeabilitas,  $i$  adalah arus yang mengalir pada toroida,  $N$  jumlah lilitan toroida, dan  $r$  jari-jari sumbu toroida.

Medan magnet pada toroida yang mempunyai inti besi lebih besar daripada toroida tanpa inti. Ini disebabkan sifat besi yang menjadi magnet bila diberikan medan magnet luar, sehingga medan magnet pada sumbu toroida akumulasi medan magnet luar yang disebabkan arus listrik dengan medan magnet dari inti besi itu sendiri. Pada saat arus toroida mengalir, momen-momen magnet yang terdapat pada inti besi berusaha mensejajarkan arahnya dengan medan magnet yang berasal dari toroida. Untuk itu, pengukuran harus dilakukan perlahan agar kemungkinan kesalahan menjadi kecil. Toroida yang digunakan pada alat ukur resistivitas mempunyai inti besi yang diberi celah.

UGN3503, sensor yang mendeteksi medan magnet bekerja berdasarkan efek Hall. Gambar 4.8 menunjukkan blok diagram dari sensor Hall UGN3503. Elemen Hall terintegrasi di dalam bersama supply dan penguatnya. Output tegangan di dapat dari perubahan medan magnet yang mengenai elemen Hall.



**Gambar 4.7** Blok diagram sensor Hall UGN3503[8]

Sensor ini diletakkan pada celah toroida. Pada arus toroida nol, sensor ini mempunyai tegangan offset yang besarnya setengah dari supply yaitu sekitar 2,5 Volt. Sensor ini mempunyai noise output yang rendah yang memungkinkan kesalahan pada pengukuran. Untuk mengurangi tegangan offset sensor Hall, dibuat rangkaian differensial amplifier.

Rangkaian ini menggunakan LM358 dengan dual op-amp terintegrasi di dalamnya. IC LM358 tidak memiliki fasilitas null offset, sehingga noise yang tidak diinginkan tidak dapat dikurangi. Dengan adanya noise ini output differensial amplifier menjadi kurang stabil yang menghasilkan kesalahan pada pengukuran. Hasil pengujian yang ditunjukkan pada sub-bab 4.1 menunjukkan bahwa perubahan tegangan keluaran yang sebanding dengan perubahan medan magnet, sebanding pula dengan jumlah lilitan toroida.

Pengukuran selanjutnya adalah pengukuran resistansi dari sebuah resistor. Pengukuran ini untuk menguji rangkaian pengukur resistansi atau hambatan. Tujuannya adalah menguji kebenaran dari persamaan sistem. Pengujian ini menggunakan dua buah resistor dengan nilai hambatan

masing-masing  $1\text{k}\Omega/0,5\text{W}$  dan  $330\Omega/0,5\text{W}$ . Arus pada resistor yang juga mengalir pada toroida divariasikan dengan *multiturn variable resistor* yang dipasang seri dengan resistor. Variabel-variabel yang diukur adalah tegangan pada resistor yang diukur langsung dan arus pada resistor yang diukur melalui tegangan pada differensial amplifier. Tegangan keluaran differensial ampifier ini dikonversi kembali menjadi arus dengan persamaan. Grafik tegangan terhadap arus hasil pengujian kedua resistor menunjukkan grafik garis yang relatif linear. Gradien garis pada grafik tersebut adalah nilai resistansi yang terukur. Hal ini sesuai dengan hukum ohm, yaitu arus yang mengalir pada sebuah konduktor sebanding dengan beda potensial pada kaki-kaki konduktor yang bergantung pada nilai hambatan konduktor tersebut yang dirumuskan dengan

$$V = R.I \quad (4.2)$$

Toleransi dari kedua resistor bernilai 5%, dengan kata lain nilai hambatan  $1000,0 \pm 50,0 \Omega$  untuk resistor  $1\text{k}\Omega$  dan  $330,0 \pm 16,5 \Omega$  untuk resistor  $330\Omega$ . Hasil pengukuran pada resistor  $330\Omega$  berada dalam batas toleransi pabrik, namun untuk hasil pengukuran resistor  $1\text{k}\Omega$  terjadi penyimpangan. Beberapa faktor yang mungkin menyebabkan kesalahan (error) pada pengukuran dibahas kemudian.

Yang kedua adalah mencari resistivitas suatu bahan. Pengujian kedua ini bertujuan untuk menguji sistem secara keseluruhan baik perangkat keras maupun perangkat lunak. Data yang ditunjukkan pada grafik pada Gambar 4.7 menunjukkan bahwa perubahan tegangan sangat kecil terhadap

arus. Tegangan referensi ADC MAX128 menyebabkan tegangan saturasi apabila tegangan masukan yaitu tegangan hall dan tegangan sampel pada ADC melebihi tegangan referensinya.

Hasil pengukuran mendekati nilai referensi yaitu pada rentang 3 sampai  $60 \times 10^{-5} \Omega\text{m}$ . besarnya nilai resistivitas grafit tergantung pada komposisi atau kemurnian karbon. Hal ini ditunjukkan pada perbedaan nilai resistivitas pada masing- masing pensil yang berbeda jenis. Untuk pensil HB nilai resistivitasnya  $33 \times 10^{-5} \Omega\text{m}$ , pensil F nilai resistivitasnya  $38 \times 10^{-5} \Omega\text{m}$ , pensil H nilai resistivitasnya  $355 \times 10^{-5} \Omega\text{m}$ , dan pensil B nilai resistivitasnya  $26 \times 10^{-5} \Omega\text{m}$ .