

Karakterisasi Bahan Konduktor (Besi, Baja, dan Timbal) dan Semikonduktor (Tungsten) Berdasarkan Percobaan Efek Hall

Herman S. Pakpahan*, Afni K. Wardani, Rifa'atul Maulidah, dan Enjang J. Mustopa

Abstrak

Untuk mengetahui karakterisasi konduktor besi (Fe), baja (Zn-C), timbal (Pb) dan semikonduktor tungsten (W) dapat dilakukan melalui percobaan Efek Hall. Melalui percobaan ini, diperoleh Konstanta Hall (R_H) untuk masing-masing bahan tersebut. Konstanta Hall menunjukkan banyaknya pembawa arus dalam sebuah plat konduktor saat dialiri arus listrik. Pembawa arus dalam mekanisme konduksi bahan konduktor dapat berupa muatan positif (hole) atau muatan negatif (elektron). Hasil percobaan memberikan nilai R_H untuk tungsten pada I_b tetap sebesar $1,21 \times 10^{-10} \text{ m}^3/\text{C}$ dan B tetap sebesar $1,29 \times 10^{-10} \text{ m}^3/\text{C}$; besi untuk I_b tetap sebesar $1,44 \times 10^{-10} \text{ m}^3/\text{C}$ dan B tetap sebesar $3,29 \times 10^{-10} \text{ m}^3/\text{C}$; baja untuk I_b tetap sebesar $2,94 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{C}$ dan B tetap sebesar $3,15 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{C}$; dan timbal untuk I_b tetap sebesar $2,77 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{C}$ dan B tetap sebesar $3,03 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{C}$. Berdasarkan nilai U_H yang diperoleh dapat dinyatakan bahwa pembawa arus pada konduktor besi, baja dan semikonduktor tungsten adalah muatan positif, sedangkan pembawa arus pada konduktor timbal adalah elektron.

Kata-kata kunci: Efek Hall, pembawa arus, koefisien Hall, tegangan Hall.

Pendahuluan

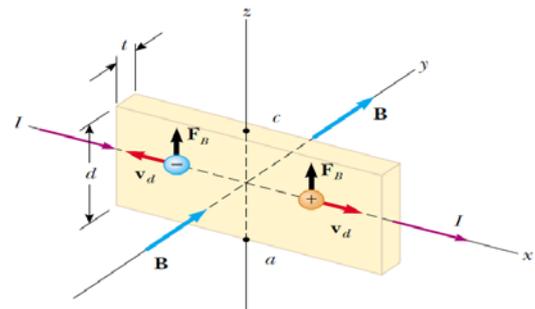
Salah satu cara mengetahui besaran karakteristik suatu bahan konduktor atau semikonduktor dapat dilakukan dengan mengukur koefisien Hall bahan tersebut. Percobaan efek Hall memungkinkan kita untuk mengetahui apakah pembawa muatan dalam sebuah bahan konduktor maupun semikonduktor adalah hole atau elektron [1]. Percobaan efek Hall pada tungsten memberikan hasil tegangan Hall positif, menunjukkan bahwa mekanisme sifat konduksi bahan diakibatkan oleh pembawa muatan positif [2]. Sedangkan percobaan pada bahan logam perak diperoleh nilai tegangan Hall negatif, menunjukkan bahwa mekanisme konduksi bahan diakibatkan oleh pembawa muatan negatif [3].

Selama ini percobaan efek Hall yang telah dilakukan di laboratorium Fisika Lanjut FMIPA ITB hanya menggunakan bahan perak dan tungsten, sedangkan di alam ini terdapat banyak jenis bahan konduktor lainnya yang dapat diuji. Oleh karena itu untuk menambah pengetahuan kita mengenai karakteristik suatu bahan, pada percobaan kali ini diberikan inovasi baru melalui penggunaan bahan logam besi, baja, dan timbal serta tungsten dalam percobaan efek Hall.

Teori

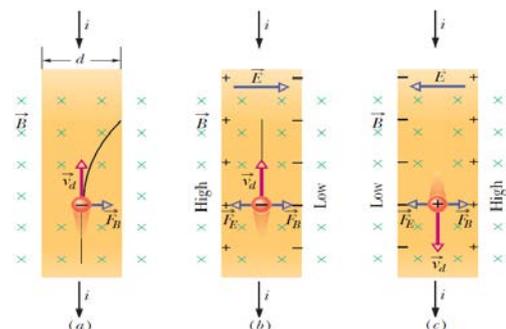
Ketika pembawa arus ditempatkan dalam sebuah medan magnet, beda potensial akan dihasilkan dalam arah yang tegak lurus dengan arus dan medan magnet [4]. Fenomena tersebut

pertama kali ditemukan oleh Edwin Hall (1855-1938), dan dikenal sebagai efek Hall.



Gambar 1 Plat yang dialiri arus dan ditempatkan dalam medan magnet memiliki beda potensial di titik a dan c. [5]

Untuk mengamati efek Hall, sebuah medan magnet ditempatkan disekitar pembawa arus dalam plat konduktor. Ketika arus (I) dalam arah x dan medan magnet (B) dalam arah y , muatan-muatan positif dan negatif diblokkan ke sisi atas dan bawah plat di sekitar medan magnet. Kemudian beda potensial dapat di ukur pada titik a dan c seperti pada Gambar 1.



Gambar 2 Arah kecepatan pembawa arus v_d menentukan titik potensial tinggi dan rendah pada plat [6]

Sebuah plat dengan lebar d , ketika pembawa arusnya adalah elektron maka muatan bergerak dari arus negatif, yaitu dari arah bawah ke atas seperti pada Gambar 2(b). Apabila pembawa arusnya adalah hole, maka ia bergerak dari arah berlawanan sehingga potensial tertinggi pada plat untuk kedua kondisi tersebut berlawanan arah. Keadaan tersebut dapat diamati dengan pembacaan nilai tegangan pada alat ukur.

Melalui efek Hall yang dihasilkan pada plat konduktor atau semikonduktor dapat ditentukan besar tegangan Hall (V_H) melalui persamaan

$$V_H = \frac{1}{n \cdot e} \frac{B \cdot I_b}{d} \quad (1)$$

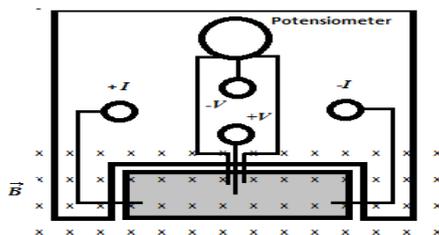
Persamaan (1) menyatakan beda potensial yang dihasilkan dipengaruhi oleh besar fluks medan magnet (B), dan besar arus bahan (I_b) yang dilewatkan pada plat, dengan d merupakan ketebalan bahan. Konstanta Hall (R_H) dapat dinyatakan sebagai

$$R_H = \frac{1}{n \cdot e} \quad (2)$$

Hubungan antara persamaan (1) dan (2) menunjukkan bahwa tegangan Hall yang dihasilkan bergantung pada konstanta Hall bahan yang dipengaruhi oleh banyaknya pembawa arus dalam plat bahan tersebut (n).

Metode

Bahan yang digunakan dalam percobaan ini adalah besi (Fe), Baja ($Zn-C$), timbal (Pb), tungsten (W). Keempat bahan tersebut memiliki sifat konduktif (mudah mengalirkan arus listrik). Bahan tungsten termasuk semikonduktor yang dapat menghantarkan arus listrik pada suhu ruang. Keempat bahan tersebut ditipiskan hingga diperoleh ketebalan plat antara $1 \times 10^{-5} - 2 \times 10^{-5}$ m. Selanjutnya membuat *prototype* kit rangkaian efek Hall seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Kit rangkaian efek Hall

Rangkaian ini pada kedua ujung kanan-kiri plat dialiri arus listrik dan diletakkan dalam

medan magnet, maka pada keadaan setimbang muatan akan terpolarisasi di sisi atas-bawah plat sehingga terjadi beda potensial. Polarisasi muatan bergantung pada karakteristik bahan yang diamati.

Pengukuran diawali dengan mengkalibrasi medan magnet tanpa bahan dan dialiri arus AC hingga dianggap tidak ada medan magnet disekitar alat (dalam hal ini diperoleh saat arus mencapai 10 A). Untuk mengetahui bahwa tidak ada medan magnet disekitar alat, maka dibuktikan dengan menggunakan teslameter. Selanjutnya mengukur besar fluks magnet (B) dengan mengalirkan arus DC pada kumparan serta memvariasikan variabel arus pada kumparan (I_k). Percobaan menentukan koefisien Hall pada keempat bahan dilakukan dengan cara memvariasikan arus kumparan terhadap medan magnet dimana arus beban tetap (I_b) dan sebaliknya.

Hasil dan diskusi

Kalibrasi medan magnet (B)

Melalui pemberian variasi arus pada kumparan saat tidak ada bahan dalam kit rangkaian efek Hall, didapatkan nilai medan magnet B sebagai fungsi arus kumparan (I_k) (Persamaan 4). Selanjutnya persamaan tersebut digunakan untuk menentukan medan magnet pada variasi bahan-bahan yang digunakan.

$$B = 0,0947 \cdot I_k - 0,0151 \quad (4)$$

Analisis Bahan-bahan yang digunakan

Dari keempat bahan yang diteliti didapatkan nilai koefisien Hall (R_H) pada Tabel 1.

Tabel 1 Nilai R_H masing-masing bahan

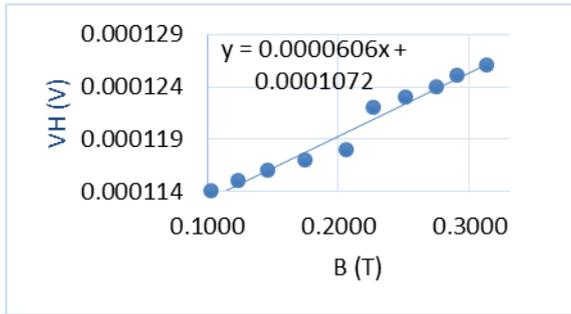
Bahan	$R_H (I_b \text{ tetap}) \text{ m}^3/\text{C}$	$R_H (B \text{ tetap}) \text{ m}^3/\text{C}$
Tungsten	$1,21 \times 10^{-10}$	$1,29 \times 10^{-10}$
Besi	$1,44 \times 10^{-10}$	$3,29 \times 10^{-10}$
Baja	$2,94 \times 10^{-7}$	$3,15 \times 10^{-7}$
Timbal	$2,77 \times 10^{-9}$	$3,03 \times 10^{-9}$

Konstanta hall dari tungsten, besi dan baja diperoleh berbeda dengan referensi maka konsentrasi pembawa muatan bahan pun berbeda. Penempatan bahan, kesetabilan arus yang dialirkan ke bahan, dan *noise-noise* (medan magnet lingkungan) pun berkontribusi pada hasil pengukuran. Selain itu, bahan yang digunakan pun belum tentu memiliki kemurnian yang sama.

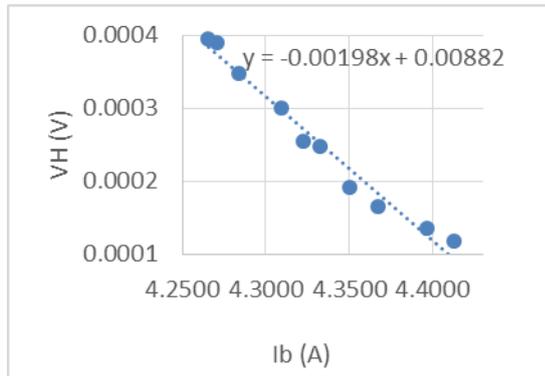
Tungsten

Menghitung nilai R_H pada data percobaan dengan I_b sebagai variabel tetap dan B sebagai

variabel berubah menggunakan persamaan (1). Diperoleh data pada Tabel 1 yang mendekati nilai R_H referensi sebesar $1,18 \times 10^{-10} \text{ m}^3/\text{As}$ [7].



(a)



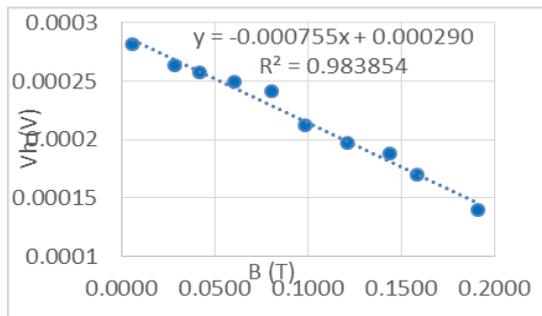
(b)

Gambar 4 V_H sebagai fungsi B dengan I_b konstan sebesar 6 A (a) dan B konstan sebesar 0.93 T (b) pada plat tungsten

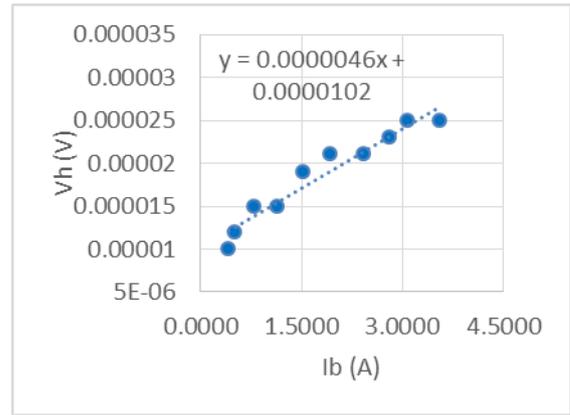
Didapatkan nilai tegangan Hall bertanda positif yang menunjukkan bahwa mekanisme konduksi pada tungsten diakibatkan oleh dominasi pembawa muatan positif. Fenomena ini dinamakan sebagai suatu keanehan (anomali), karena karakterisasi bahan tersebut diakibatkan oleh pembawa muatan positif.

Besi (Fe)

Hasil pengolahan data percobaan untuk nilai R_H konduktor besi diperoleh data yang berbeda dengan data referensi yaitu sebesar $1,0 \times 10^{-10} \text{ m}^3/\text{As}$ [8]. Perbedaan tersebut mungkin saja terjadi karena selama ini belum dapat dipastikan secara teori untuk nilai R_H pada konduktor besi.



(a)

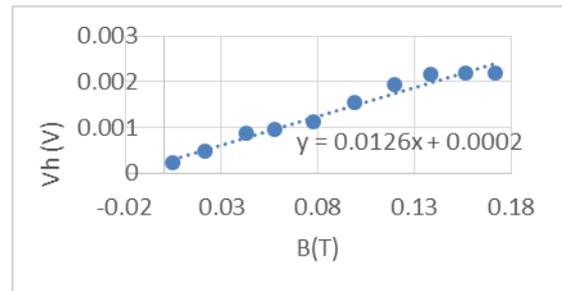


(b)

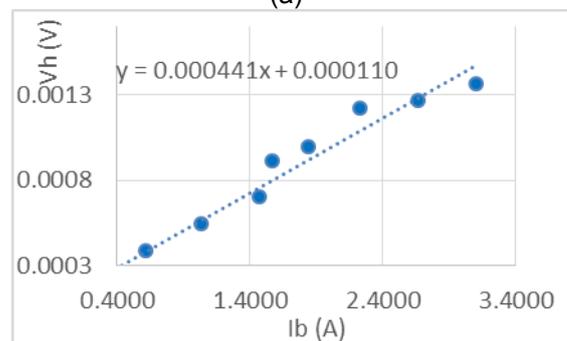
Gambar 5. V_H sebagai fungsi B dengan I_b konstan sebesar 6,31A (a) dan B konstan sebesar 0,17 T (b) pada plat besi

Pada gambar 5(a) ditunjukkan gradien bertanda negatif sedangkan pada gambar 5(b) ditunjukkan gradien bertanda positif. Kedua gradien memiliki tanda yang berbeda, meski demikian apabila dicermati, tegangan Hall pada kedua grafik tersebut bertanda positif. Tegangan Hall tersebut menandakan bahwa mekanisme konduksi pada konduktor besi diakibatkan oleh dominasi muatan positif (hole).

Baja (Zn-C)



(a)



(b)

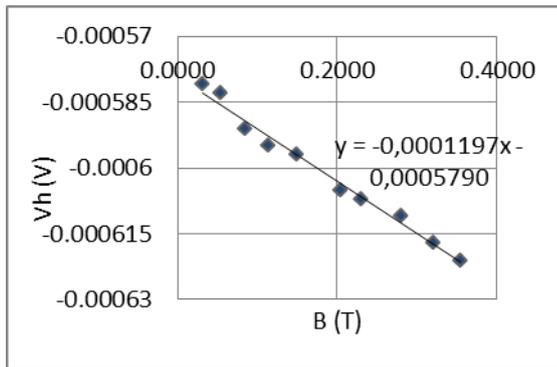
Gambar 6 V_H sebagai fungsi B dengan I_b konstan sebesar 0,51A (a) dan B konstan sebesar 0,17 T (b) pada plat baja

Nilai R_H konduktor baja untuk I_b tetap sama dengan nilai R_H saat B tetap. Sama halnya dengan tungsten dan besi, konduktor baja juga

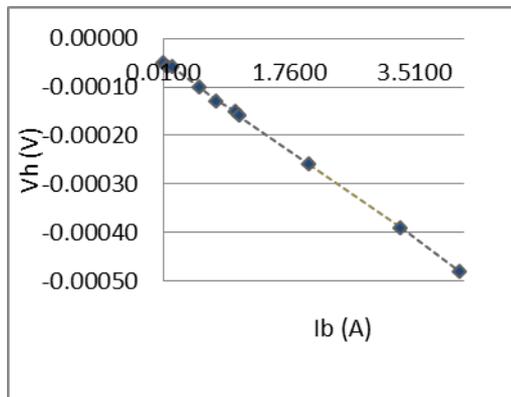
mengalami keanehan (anomali), karena mekanisme konduksi bahan diakibatkan oleh pembawa muatan positif (hole). Hal tersebut dikatakan anomali karena lazimnya muatan yang dapat berpindah hanyalah muatan negatif (elektron). Akan tetapi akibat dari efek Hall, terlihat seolah-olah muatan positif (hole) yang berpindah karena teramati muatan berpindah dari arus positif ke negatif.

Timbal (Pb)

Grafik gambar 7 menunjukkan bahwa hubungan perubahan variabel I_b (a) dan variabel B (b) linier dengan kenaikan nilai V_H .



(a)



(b)

Gambar 7 V_H sebagai fungsi B dengan I_b konstan sebesar 5,19 A (a) dan B konstan sebesar 0,42 T (b) pada plat timbal.

Tegangan Hall yang diperoleh dari data percobaan bernilai negatif. Berdasarkan referensi menyatakan bahwa nilai tegangan Hall yang bertanda negatif tersebut menunjukkan bahwa pembawa arus dalam konduktor bahan merupakan muatan negatif (elektron). Hal tersebut sesuai dengan teori mekanisme perpindahan muatan pada konduktor yaitu elektron yang berpindah dari arus negatif ke positif.

Kesimpulan

Konduktor baja memiliki nilai koefisien Hall tertinggi. Artinya bahan tersebut memiliki jumlah pembawa arus yang paling banyak, sehingga

lebih mudah menghantarkan arus dibandingkan ketiga bahan lainnya. Pada mekanisme pembawa arus konduksi, semikonduktor tungsten dan konduktor besi dan baja didominasi oleh muatan positif (hole), sedangkan konduktor timbal oleh muatan negatif (elektron).

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prodi Magister Pengajaran Fisika atas fasilitas laboratorium Fisika Lanjut, Jurusan Fisika, FMIPA ITB dan dukungan finansialnya. Serta Pakar Instrumentasi Bengkel Fisika ITB, atas bimbingannya dalam proses pembuatan alat.

Referensi

- [1] J. Walker, "Fundamental of Physic - 9th", Willey Plus, USA, 2011, p. 741
- [2] Kontributor LD. Didactic GmbH, "Investigating the Anomalous Hall Effect in Tungsten", LD Physics Leaflets. D-50354 Huerth/Germany [diakses 21-11-2014], p 2
- [3] Kontributor LD. Didactic GmbH, "Investigating the Anomalous Hall Effect in Silver", LD Physics Leaflets. D-50354 Huerth/Germany [diakses 21-11-2014], p 2
- [4] R. A. Serway dan J. W. Jewett, "Physics for Scientists and Engineers", Thomson Brooks/Cole, USA, 2004, p. 914
- [5] R. A. Serway dan J. W. Jewett, "Physics for Scientists and Engineers", Thomson Brooks/Cole, USA, 2004, p. 914
- [6] J. Walker, "Fundamental of Physic - 9th", Willey Plus, USA, 2011, p. 741
- [7] Kontributor LD. Didactic GmbH, "Investigating the Anomalous Hall Effect in Tungsten", LD Physics Leaflets. D-50354 Huerth/Germany [diakses 21-11-2014], p 5
- [8] Kontributor PHYWE, "Hall Effect in Metal" Lab. Exp. Physics, D-37070 Gottingen/Germany [diakses 21-11-2014], p 4

Herman S. Pakpahan *
Magister Pengajaran Fisika
FMIPA Institut Teknologi Bandung
pakpahan.herman891@gmail.com

Afni K. Wardani
Magister Pengajaran Fisika
FMIPA Institut Teknologi Bandung
wardani.k.afni@gmail.com

Rifa'atul Maulidah
Magister Pengajaran Fisika
FMIPA Institut Teknologi Bandung
rmaulidah@gmail.com

Enjang J. Mustopa
Kelompok Keahlian Fisika Bumi dan Sistem Kompleks
FMIPA Institut Teknologi Bandung
enjang@fi.itb.ac.id