



**KARAKTERISASI PEMBAWA MUATAN PADA BAHAN
SEMIKONDUKTOR DENGAN METODE EFEK HALL**



PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS HASANUDDIN	
Tgl. Terima	20-12-05
Asal dari	Fak. MIPA
Banyaknya	1 (satu) eksemplar
Harga	H.
No. Inventaris	455/20-12-05
No. Klas	

M A S N A H
H 211 01 026

**JURUSAN FISIKA PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2005**

**KARAKTERISASI PEMBAWA MUATAN PADA BAHAN
SEMIKONDUKTOR DENGAN METODE EFEK HALL**

Oleh

MASNAH

H 211 01 026

Disetujui Oleh

Pembimbing Utama,



DR. Nurlaela Rauf, M.Sc

Nip. 131 570 877

Pembimbing Pertama,



Dahlan T, S.Si, M.Si

Nip. 132 259 078

Pada Agustus 2005

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Wr. Wb

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan atas kehadiran **Allah SWT**, atas rahmat kesehatan, keselamatan, serta anugrah-Nya sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

Ucapan terima kasih tak terhingga serta sembah sujud penulis berikan kepada Ibundaku 'Hj. Noma' dan Ayahanda 'Rella (alm)' atas segala doa dan usaha yang tak ternilai harganya serta kesabaran dan kasih sayangnya dalam membesarkan dan mendidik penulis dengan tulus sampai penulis seperti sekarang ini.

Teruntuk **Kakanda Huzain** sekeluarga di KL, **Nurbaya, A.Md, kep** sekeluarga, **Nurlia** sekeluarga, **Marlina, A.Md, kep, adinda Mastura** sekeluarga dan **adinda Huslin (yoko)**, atas segala waktu, doa & usahanya, kebersamaan, persaudaraan serta semangat yang senantiasa diberikan kepada penulis. Tak lupa untuk semua keponakan tercinta **Reza, Nini, Magfirah, Boboy, Dede', Ryan, Busrah**, dan keponakan baru **Ade' Tri**, atas segala canda tawa serta keceriaan. Jangan pernah menyerah dalam mencapai segala yang dicita-citakan, jaga selalu persaudaraan, dan tak lupa senantiasa membahagiakan orang tua kita.

Tak lupa penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

- ✦ *Ibu Dr. Nurlaela Rauf, M.Sc*, selaku pembimbing utama yang telah sabar mendidik, memberikan nasihat, serta arahan dalam penyelesaian tugas akhir hingga penulis dapat selesai dengan baik.
- ✦ *Bapak Dr. Syamsir Dewang*, selaku penasehat akademik yang telah banyak memberikan nasehat dan mengarahkan penulis selama menempuh pendidikan

- ✦ *Bapak Dahlang T, S.Si, M.Si*, selaku pembimbing pertama yang telah banyak memberikan saran, pemikiran, serta kesabaran dalam mendidik penulis dalam penyelesaian tugas akhir hingga penulis dapat selesai dengan baik.
- ✦ *Bapak Drs. Arifin, MT dan Ibu Dra. Bidayatul Armynah* atas segala kritik dan saran untuk perbaikan dalam penyelesaian skripsi ini.
- ✦ *Bapak dan Ibu dosen* atas segala ilmu yang telah diberikan kepada penulis selama menempuh pendidikan .
- ✦ *Staf Jurusan dan Laboran* atas segala kerjasamanya selama penulis menempuh pendidikan.
- ✦ Sahabat, saudara, teman terbaikku yang selalu ada untukku, *Mule', Wa' etthy, Emma, Arni, Mo2t, dan anti*. Atas segala bantuan, atas waktu, spirit, kebersamaan yang tak terlupakan, semoga tak akan pernah terputus. Teman curhat (siapa tuh..!!), teman bikin acara (Hmmm.. Besok acara apalagi yah...), teman jalan (monas dulue...). Semoga selalu menjadi kenangan terindah dalam perjalanan hidup ini. Friend's ... thanks to everything
- ✦ *Teruntuk Hasry* atas segala waktu, kebersamaan, kesabaran dan dukungan semangat dalam mendampingi penulis to do anything. Don't be lazy, do ! what U can do today coz' I always beside U. Jangan cepat menyerah & berputus asa, ingat! Semuanya ada yang menentukan kita hanya bisa berdoa dan berusaha. Lebih rajin beribadah dan bertawakkal kepada **Allah SWT**, karena Dialah sebaik-baiknya Penolong.
- ✦ Seluruh teman-teman seperjuangan 'Fisika 01' *Salbiah* (thanks atas nasehatnya & lunchnya), *Amma* (kapan lagi kerumahmu?), *Endas* (Ayo..kamu bisa), *Cida', Ame, Evi , Mira, Ata'*, *Indra* (thanks atas smsnya), *Osfan, Dini, Marni, Jo', Velma, Idayat, Ida, Yati, Uni bondeng* dan *Iin* teman seperjuangan ngurus izin sidang, *Egha, Murti, Ocha, Uni, Tari, Ory*. Untuk cowo'nya *echank, achank, cullunk, cullank, muflich* (moga tambah rajin kuliah), *Edy, Wandy, Mas chandra, Ano', Yoyo, Rahim, Arif, Yoseph, Ardy, Desnat, Habibie* (thanks atas waktu dan bantuannya), *Ichal, Udhin, Alim, Syarif & marwan* (thanks atas alatnya, tanpa itu penulis takkan bisa selesai). Thanks atas kebersamaan dan kenangan suka dan duka dari awal masuk hingga hari ini. Atas segala semangat, doa dan dukungan yang diberikan kepada penulis. Semoga Allah SWT dapat membalas seluruh kebaikan-kebaikan kita, Amin.

- ✦ Untuk kanda, *k'kifli, k'lutfi, k'adin, k'adi 98*, thanks atas bantuan dan spiritnya, serta untuk seluruh kanda-kanda senior yang tak bisa disebutkan satu-satu. Untuk Adinda Angk. 02, 03, 04, jangan pernah menyerah.
- ✦ Tak lupa untuk seluruh *anak pondo' Rahmat*, baik yang sudah tereliminasi maupun yang masih mempertahankan diri. Untuk yang alus-alus *K'ani* (thanks atas segala nasehat dan tempat sharing penulis, moga cepat selesai), *imma, marni, cia, innah, ira* thanks atas canda dan tawanya. *K'syam, K'luke', K'Dasram, Muftah Ali, Nasrun, Alim, Yusra'* dan yang lainnya, thanks atas kebersamaan sehari-hari, perhatian, canda & tawa serta spirit yang diberikan kepada penulis, moga menjadi kenangan yang tak terlupakan.

Mudah-mudahan Allah SWT senantiasa memberikan petunjuk dan rahmat-Nya kepada semua pihak yang telah membantu penulis dan menjadi amal ibadah yang bernilai di sisi-Nya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis dengan segala kerendahan hati menerima kritikan dan saran yang sifatnya membangun.

Akhir kata penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis pada khususnya dan bagi pembaca pada umumnya.

W a s s a l a m

Makassar, Agustus 2005

Penulis

ABSTRACT

At this research have been designed system of measurement of carrier of substance semiconductor by using Hall effect method. This method exploit the solenoid as source magnetic field in determining closeness of magnetic flux to passing semiconductor material. Result of measurement carrier obtained by a Hall voltage base on current and magnetic flux, ever greater current and magnetic flux given hence Hall voltage will more and more big. The result is later then used to determine the Hall constant, carrier concentration, conductivity, and Hall mobility, ever greater of carrier concentration hence constant of Hall and Hall mobility will smaller and ever greater substance conductivity hence mobility will be ever greater.

*Keyword: Magnetic Flux, Semiconductor, Hall Constant,
Carrier Concentration, Hall Mobility.*

ABSTRAK

Pada penelitian ini telah dirancang sistem pengukuran karakterisasi pembawa muatan pada bahan semikonduktor dengan menggunakan metode efek Hall. Metode ini memanfaatkan kumparan solenoida sebagai sumber medan magnet dalam menentukan kerapatan fluks magnetik yang akan melalui sampel semikonduktor. Hasil pengukuran karakterisasi diperoleh tegangan Hall yang bergantung pada arus listrik dan kerapatan fluks magnetik, semakin besar arus dan kerapatan fluks magnetik yang diberikan maka tegangan Hall akan makin besar. Hasil tersebut kemudian digunakan untuk menentukan konstanta Hall, konsentrasi pembawa muatan, konduktivitas dan mobilitas Hall, semakin besar konsentrasi pembawa muatan maka konstanta Hall dan mobilitas Hall akan semakin kecil dan semakin besar konduktivitas bahan maka mobilitas akan semakin besar.

Kata kunci: Kerapatan Fluks Magnetik, Semikonduktor, Konstanta Hall, Konsentrasi Pembawa Muatan, Mobilitas Hall.



DAFTAR SIMBOL

Simbol	nama	Satuan
I	<i>Arus</i>	<i>Ampere (A)</i>
B	<i>Kerapatan Fluks MAGnetik</i>	<i>Tesla (T)</i>
μ_0	<i>Permeabilitas Ruang Hampa</i>	<i>Tesla.meterpre.Ampere</i> <i>(T.m / A)</i>
N	<i>Jumlah Lilitan</i>	-
R	<i>Jari-jari Kumparan</i>	<i>meter (m)</i>
R_H	<i>Konstanta Hall</i>	<i>meter.kubikper.Ampere.secon</i> <i>(m³/As)</i>
q	<i>Muatan</i>	<i>Coulomb (C)</i>
V_H	<i>Potensial Hall</i>	<i>Volt (V)</i>
n,p	<i>Konsentrasi Pembawa Muatan</i>	<i>banyaknya muatan/satuanvolume</i> <i>(m⁻³)</i>
σ_0	<i>Konduktivitas</i>	<i>seperOhm.meter</i> <i>($\Omega^{-1}m^{-1}$)</i>
μ_H	<i>Mobilitas Hall</i>	<i>meterkuadratpervolt.secon</i> <i>(m²/Vs)</i>
d	<i>Tebal Sampel</i>	<i>meter (m)</i>

DAFTAR GAMBAR

1. Gambar 1. Diagram konduktivitas listrik pada material isolator, semikonduktor, dan konduktor.
2. Gambar 2. Kristal kubus (a) Simple cubic (b) Body-centred cubic (c) Face-centred cubic.
3. Gambar 3. Struktur kisi intan dan Stuktur kisi Zinc-Blende.
4. Gambar 4. Skema pita energi pada (a) isolator (b) semikonduktor (c) konduktor.
5. Gambar 5 (a) Ikatan dalam atom Si, (b) Generasi hole dan elektron , (c) Gerakan hole.
6. Gambar 6. Ikatan atom Silikon dengan Arsenic bervalensi 5.
7. Gambar 7. Ikatan atom Silikon dengan Galium bervalensi 3.
8. Gambar 8. Pergerakan hole dan elektron dalam sampel semikonduktor.
9. Gambar 9 (a) Solenoida dengan N lilitan, (b) Arah medan magnet dalam solenoida dengan panjang d .
10. Gambar 10. Diagram Resistivitas vs Konsentrasi impuritas untuk Si dan GaAs pada suhu kamar.
11. Gambar 11. Skema Efek Hall.
12. Gambar 12. Skema Pengukuran dengan metode Efek Hall.

DAFTAR TABEL

1. 1. Tabel 1. Semikonduktor unsur dan senyawa
2. Tabel 2 Sifat-sifat Semikonduktor pada temperatur 300 K
3. 3. Tabel 3 Sifat atom-atom ketidakmurnian
4. Tabel I. Karakterisasi pembawa muatan pada jarak bervariasi (14 cm – 20 cm), yaitu pada B variasi dan I konstan
5. Tabel II. Karakterisasi pembawa muatan pada $B = 15 \mu\text{T}$ (jarak 14 cm)
6. Tabel III. Karakterisasi pembawa muatan pada $B = 7.5 \mu\text{T}$ (jarak 18 cm)

DAFTAR GRAFIK

1. Grafik IV.1. Hubungan antara Jarak vs Kerapatan Fluks Magnetik (B). Dengan memperhatikan perbandingan B ukur dan B hitung.
2. Grafik IV.2 Hubungan antara kerapatan fluks magnetik vs tegangan Hall pada sampel 1, dengan arus (I) = 20 mA .
3. Grafik IV.3 Hubungan antara kerapatan fluks magnetik vs tegangan Hall pada sampel 1, dengan arus (I) = 10 mA .
4. Grafik IV.4. Grafik hubungan antara tegangan Hall vs arus listrik pada rapat fluks magneti konstan yaitu pada $B = 15 \mu T$ dan $B = 7,5 \mu T$.
5. Grafik IV.5 Hubungan antara Kerapatan Fluks Magnetik (B) vs Tegangan Hall (V_H) pada sampel 2, dengan arus (I) = 30 mA.
6. Grafik IV.6 Hubungan antara kerapatan fluks magnetik vs Tegangan Hall (V_H) pada sampel 2, dengan arus (I) = 20 mA.
7. Grafik IV.7. Grafik hubungan antara Tegangan Hall vs Arus listrik dengan rapat fluks magneti konstan yaitu pada $B = 15 \mu T$ dan $B = 7,5 \mu T$.
8. Grafik IV.8 Hubungan antara kerapatan fluks magnetik vs tegangan Hall pada sampel 3, dengan arus (I) = 1 μA .

DAFTAR LAMPIRAN

- 1. Lampiran I. Data Sampel I**
- 2. Lampiran II. Data Sampel II**
- 3. Lampiran III. Data Sampel III**
- 4. Lampiran IV. Data Perbandingan untuk V_s yang bervariasi**
- 5. Lampiran V. Gambar Alat**
- 6. Lampiran VI. Acuan Penelitian**

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRACK	iv
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI	vi
BAB I. PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Ruang Lingkup	2
I.3 Tujuan Penelitian	2
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	3
II.1 Material Semikonduktor	3
II.2 Struktur Kristal	5
II.3 Pita Energi	7
II.4 Semikonduktor Intrinsik dan Semikonduktor Ekstrinsik	10
II.5 Konduktivitas dan Mobilitas Semikonduktor	16
II.6 Medan magnet	20
II.7 Metode Efek Hall	25
BAB III. METODOLOGI	30

III.1 Alat dan Bahan	30
III.2 Prosedur Kerja	30
III.3 Bagan Alir Penelitian	34
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	35
IV.1 Ukuran Sampel Semikonduktor	36
IV.2 Spesifikasi Kumparan	36
IV.3 Analisis Data	36
IV.4 Hasil Pengukuran Kerapatan Fluks Magnetik	38
IV.5 Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus Listrik dalam Penentuan Karakterisasi Sampel Semikonduktor	40
IV.6 Analisa Hasil Data Pengukuran	55
BAB V. P E N U T U P	57
V.1 Kesimpulan	57
V.2 S a r a n	58
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN I	L-i
LAMPIRAN II	L-v
LAMPIRAN III	L-ix
LAMPIRAN IV	L-xi
LAMPIRAN V	L-xiv
LAMPIRAN VI	L-xiv

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Kemampuan menguasai teknologi tinggi adalah merupakan syarat mutlak bagi suatu negara untuk memasuki negara industri baru. Salah satu bidang teknologi tinggi yang sangat mempengaruhi peradaban manusia di abad ini adalah teknologi semikonduktor.

Material semikonduktor seperti Silikon merupakan material yang dominan untuk elektronika, bahkan dapat dikatakan bahwa kristal silikon adalah jantung industri telekomunikasi dan komputer modern. Dengan ditemukannya semikonduktor maka komponen menjadi sangat ringan, sangat kompak dan persatuan luas mempunyai kepadatan rangkaian yang sangat tinggi, misalnya apa yang terdapat dalam rangkaian komputer.

Menyadari betapa pentingnya bahan semikonduktor ini dalam kehidupan manusia sebagai faktor penunjang dalam setiap penemuan teknologi baru, maka sangat penting untuk mengembangkan bahan semikonduktor sehingga diperoleh hasil yang lebih baik.

Bahan semikonduktor mempunyai nilai konduktivitas listrik yang lebih baik daripada isolator. Dalam pengembangan bahan semikonduktor yang harus diketahui adalah sifat-sifat pembawa muatan. Satu metode yang telah digunakan dan banyak dikembangkan adalah metode *efek Hall*, aplikasi dari penggunaan metode *efek Hall*

pada bahan semikonduktor antara lain dapat menentukan konsentrasi pembawa muatan dengan mengetahui jenis dan tipe semikonduktor, serta dapat digunakan sebagai dasar perencanaan pengukur rapat fluks magnetik.

1.2 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian adalah mendesain kumparan solenoida sebagai sumber medan magnet dalam sistem eksperimen efek Hall untuk menentukan karakterisasi pembawa muatan bahan semikonduktor pada suhu kamar (300 K). Melakukan pengukuran tegangan Hall sebagai fungsi dari rapat fluks magnetik pada arus konstan dan tegangan Hall sebagai fungsi dari arus pada rapat fluks magnetik konstan.

1.3 Tujuan

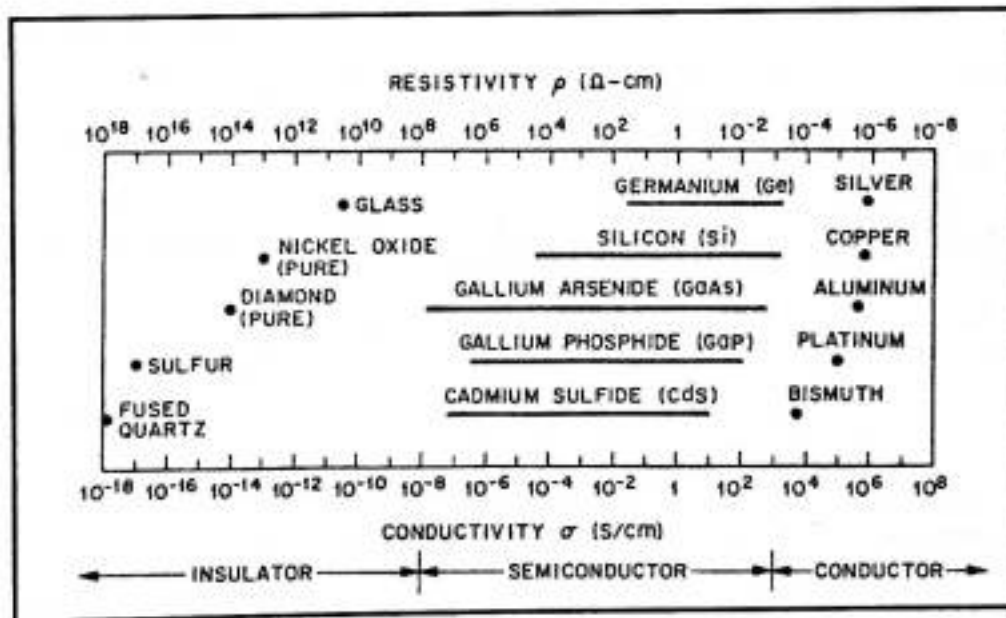
1. Menentukan kerapatan fluks magnetik dengan menggunakan metode efek Hall.
2. Menentukan konstanta Hall, serta jenis dan tipe semikonduktor.
3. Menentukan konsentrasi dan mobilitas Hall pembawa muatan pada bahan semikonduktor.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Material Semikonduktor

Material zat padat di kelompokkan ke dalam tiga jenis berdasarkan sifat konduktivitasnya yaitu isolator, semikonduktor, dan konduktor. Gambar 1 menunjukkan konduktivitas listrik (σ) dan resistivitas ($\rho = \frac{1}{\sigma}$) dari beberapa jenis material.



Gambar 1. Diagram konduktivitas listrik pada material isolator, semikonduktor, dan konduktor.^[2]

Isolator seperti kuarsa cair (fused quartz) dan kaca (glass) mempunyai konduktivitas yang sangat rendah, yaitu dalam orde 10^{-18} hingga $10^{-8} \text{ } \Omega\text{-cm}$; dan konduktor mempunyai konduktivitas yang sangat tinggi yaitu berkisar 10^4 hingga $10^6 \text{ } \Omega\text{-cm}$ Seperti aluminium dan perak (silver). Semikonduktor mempunyai konduktivitas antara isolator dan konduktor yaitu antara 10^{-8} hingga $10^4 \text{ } \Omega\text{-cm}$. Secara umum konduktivitas semikonduktor sangat dipengaruhi oleh temperatur, iluminasi, medan magnet, dan jumlah atom impuritas.

Semikonduktor mulai dipelajari pada awal abad ke -19. Dari tahun ke tahun banyak semikonduktor yang telah di teliti dan tersusun pada beberapa golongan dalam susunan berkala unsur. Unsur-unsur semikonduktor terdiri atas atom jenis tunggal seperti silikon (Si) dan germanium (Ge) yang dapat ditemukan pada golongan IV dalam susunan berkala dan senyawa semikonduktor yaitu terdiri atas dua atau lebih unsur-unsur seperti gallium arsenide (GaAs) yaitu kombinasi dari gallium (Ga) golongan III dan Arsenic golongan V. Tabel 1 menunjukkan beberapa semikonduktor unsur dan senyawa.

Tabel 1. Semikonduktor unsur dan senyawa^[2]

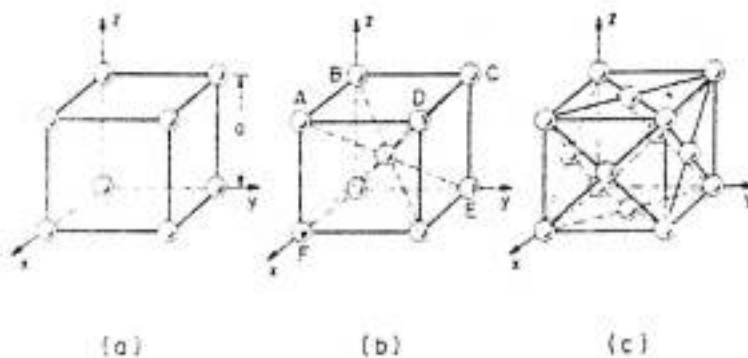
Unsur	IV-IV senyawa	III-V senyawa	II-VI senyawa	IV-VI senyawa
Si	SiC	AlAs	CdS	PbS
Ge		AlSb	CdSe	PbTe
		BN	CdTe	
		GaAs	ZnS	
		GaP	ZnSe	
		GaSb	ZnTe	
		InAs		
		InP		
		InSb		

Secara umum semikonduktor bersifat isolator pada suhu mendekati 0°C dan pada suhu kamar bersifat konduktor. Terdapat dua macam semikonduktor yaitu *semikonduktor intrinsik dan ekstrinsik*. Semikonduktor intrinsik adalah semikonduktor murni terdiri atas atom silikon (Si) atau germanium (Ge) atau paduan antara keduanya. Semikonduktor ekstrinsik yaitu semikonduktor intrinsik yang di doping (dikotori) oleh atom dari golongan III atau V dari susunan berkala unsur.^{[5] [6]}

II.2 Struktur Kristal

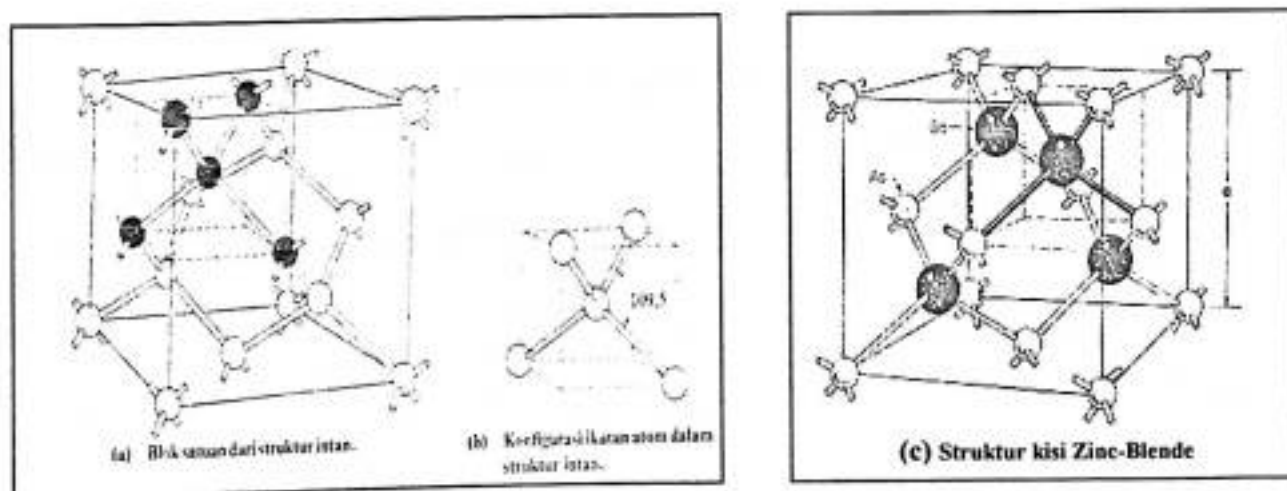
Sebagian besar zat padat berbentuk kristalin dengan atom-atom pembangunnya tersusun menjadi pola tiga dimensional yang teratur secara periodik. Penyusun atom secara periodik dalam kristal disebut dengan *kisi*, misal pada sistem kristal berbentuk kubus (cubic) yang mencakup 3 bentuk kisi (gambar 2) yaitu simple cubic (primitive) dimana setiap atom menempati setiap sudut kisi kubus sehingga satu atom mempunyai 6 atom tetangga terdekat pada jarak yang sama (gambar 2a). Dimensi a menyatakan konstanta kisi, contohnya polonium. Body-centered cubic (bcc) yaitu sebagai tambahan dari 8 atom sudut terdapat satu atom yang diletakkan di tengah kubus dan setiap atom mempunyai 8 atom tetangga terdekat (gambar 2b) contohnya sodium dan tungsten. Face-centered cubic (fcc) yaitu sebagai tambahan dari 8 atom sudut terdapat satu atom setiap permukaan kubus dan setiap atom mempunyai 12

atom tetangga terdekat (gambar 2c) contohnya aluminium, tembaga, emas dan platinum.



Gambar 2. Kristal kubus (a) Simple cubic (b) Body-centred cubic (c) Face-centred cubic^[5]

Unsur semikonduktor seperti Si dan Ge memiliki struktur seperti pada gambar 3(a) yang disebut struktur *kisi intan*. Struktur ini termasuk ke dalam kristal kubus. Kristal yang lebih besar di bentuk dari kubus satuan yang tersusun satu sama lain secara sistematis dalam tiga dimensi. Untuk Si tiap rusuk dari kubus panjangnya 5,43 Å.



Gambar 3. Struktur kisi intan dan Stuktur kisi Zinc-Blende^{[4][5]}

Semua atom identik dalam kisi intan, dan setiap atom dalam kisi intan di kelilingi oleh empat atom tetangga terdekat pada jarak yang sama yang ditempatkan pada sudut kubus dan membentuk ikatan kovalen. Untuk senyawa semikonduktor III-V (misal GaAs) mempunyai *kisi zinc-blende* pada gambar 3(c), identik dengan kisi intan hanya mempunyai dua jenis atom yaitu golongan III (Ga) dan golongan V (As), setiap atom Ga membentuk ikatan dengan empat atom As dan tiap rusuk kubus panjangnya 5,63 Å.^{[4][5]}

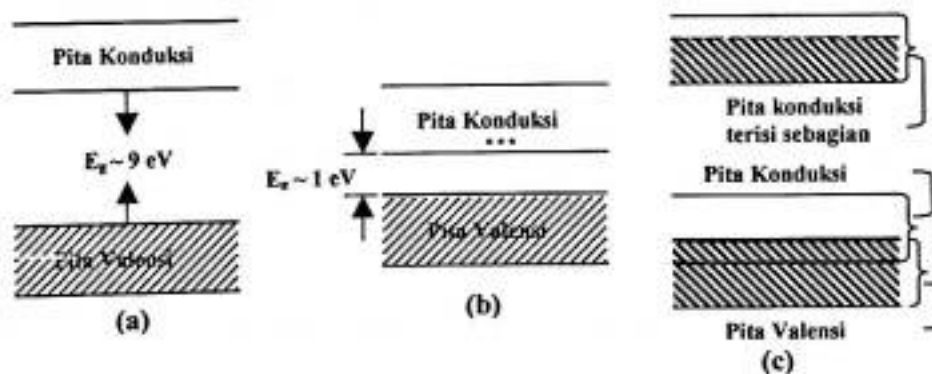
II.3 Pita Energi

Atom-atom dalam hampir semua zat padat kristalin terletak sangat berdekatan, sehingga elektron valensinya membentuk sistem tunggal dari elektron milik bersama dari kristal keseluruhan. Elektron-elektron dalam sebuah atom (atom tunggal) hanya diperbolehkan menempati tingkat-tingkat energi tertentu. Jika terdapat banyak atom yang saling berdekatan maka dalam kasus zat padat elektron-elektron pada kulit-kulit bagian dalam hampir tidak berinteraksi, tetapi elektron-elektron pada kulit terluar (elektron valensi) saling berinteraksi sehingga tingkat-tingkat energinya sangat berdekatan satu sama lain dan membentuk *pita energi* dan beberapa tingkat energi terdapat celah energi terlarang (antara pita konduksi dan pita valensi). Pita valensi berada di bawah dan berisi sejumlah elektron sedang pita konduksi kosong. Elektron pada pita valensi bebas bergerak bila telah menerima energi dan berpindah ke pita

konduksi. Besar energi yang dibutuhkan untuk berpindah sebesar energi celah terlarang (energi gap).

Gambar 4 menunjukkan diagram pita energi pada tiga jenis zat padat yaitu isolator, semikonduktor, dan konduktor. Pada bahan isolator seperti silikon dioxide (SiO_2), elektron valensi membentuk ikatan yang kuat dengan atom tetangga terdekatnya dan sangat sukar untuk putus sehingga tidak ada partisipasi elektron bebas dalam arus konduksi.

Pada gambar 4(a) menunjukkan diagram pita energi yang mempunyai energi gap yang sangat besar sehingga energi termal maupun medan magnet tidak dapat memindahkan elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Oleh karena itu SiO_2 bersifat isolator karena tidak terdapat arus konduksi.



Gambar 4. Skema pita energi pada (a) isolator (b) semikonduktor (c) konduktor^[5]

Energi pada bahan semikonduktor seperti Si dan Ge persis seperti isolator perbedaannya hanya pada lebar celah (energi gap). Pada suhu kamar banyak elektron valensi terlepas dari ikatan kovalen oleh karena terjadinya getaran atom yang

diakibatkan oleh energi termal, karena itu beberapa elektron akan bergerak dari pita valensi ke pita konduksi dan meninggalkan hole dalam pita valensi. Ketika medan listrik diterapkan, elektron dalam pita konduksi dan hole dalam pita valensi akan mendapatkan energi kinetik dan menghasilkan arus.

Dalam bahan konduktor seperti tembaga atau kebanyakan logam, pita konduksi terisi sebagian elektron dan bertumpukan dengan pita valensi sehingga tidak terdapat energi gap (celah energi). Sebagai konsekuensinya, elektron yang terisi sebagian pada pita konduksi atau elektron teratas pita valensi dapat bergerak ke tingkat energi yang lebih tinggi ketika memperoleh energi kinetik (dari penggunaan medan listrik). Oleh karena itu arus mudah terjadi dalam konduktor .

Diagram pita energi yang ditunjukkan pada gambar 4 ditandai dengan energi elektron, ketika energi pada elektron bertambah, maka elektron akan bergerak ke posisi tertinggi pada diagram pita. Sebaliknya jika energi pada hole bertambah, maka hole akan bergerak ke bawah yaitu ke pita valensi (karena hole mempunyai muatan yang berbeda dengan elektron).

Bila celah terlarang (bandgap) sempit, elektron bebas mudah dibangkitkan oleh energi kecil. Bila lebar maka elektron bebas jarang dibangkitkan , seperti halnya isolator. Sifat-sifat semikonduktor pada temperatur 300 K dapat dilihat pada tabel 2. Dari tabel terbukti bahwa InSb dan semacamnya mempunyai konduktivitas yang besar pada temperatur kamar karena celah energinya kecil.^{[2][5]}

Tabel 2 Sifat-sifat Semikonduktor pada temperatur 300 K ^[2]

Semikonduktor	Konstanta Kisi (Å)	Energi Celah (eV)	Pita	Mobilitas (cm ² /V.s)		Konstanta Dielektrik
				μ_n	μ_p	
Unsur Ge	5.64	0.66	I	3900	1900	16.0
Si	5.43	1.12	I	1450	450	11.9
IV-VI SiC	3.08	2.99	I	400	50	10.0
III-V AlSb	6.13	1.58	I	200	420	14.4
GaAs	5.63	1.42	D	8500	400	13.1
GaP	5.45	2.26	I	110	75	11.1
GaSb	6.09	0.72	D	5000	850	15.7
InAs	6.05	0.36	D	33000	460	14.6
InP	5.86	1.35	D	4600	150	12.4
InSb	6.47	0.17	D	80000	1250	17.7
II-VI CdS	5.83	2.42	D	340	50	5.4
CdTe	6.48	1.56	D	1050	100	10.2
ZnO	4.58	3.35	D	200	180	9.0
ZnS	5.42	3.68	D	165	5	5.2
IV-IV PbS	5.93	0.41	I	600	700	17.0
PbTe	6.46	0.31	I	6000	4000	30.0

Ket : I = Indirect, D = Direct

II.4 Semikonduktor Intrinsik dan Semikonduktor Ekstrinsik

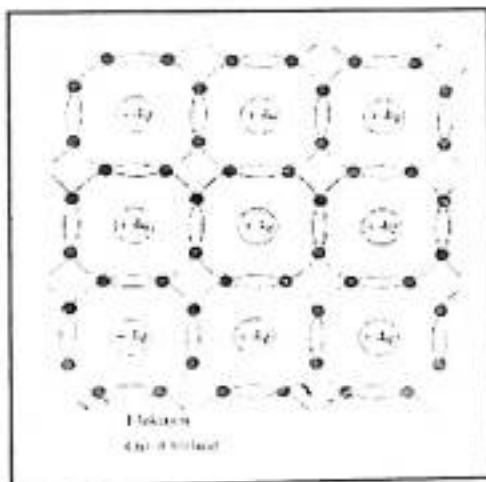
Dari penjelasan sebelumnya terdapat dua macam semikonduktor yaitu semikonduktor intrinsik dan semikonduktor ekstrinsik.

1. Semikonduktor Intrinsik

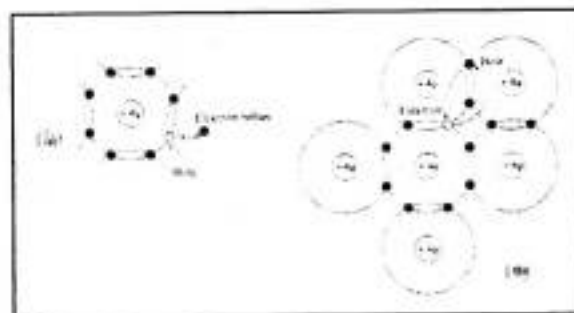
Bahan semikonduktor murni yang terdiri dari unsur silikon atau unsur germanium saja disebut *semikonduktor intrinsik*. Kristal semikonduktor silikon intrinsik terdiri dari atom silikon yang termasuk dalam golongan IV pada susunan berkala. Nomor atom silikon (Si) adalah empat belas, sehingga tiap atom Si mempunyai empat elektron valensi.



Gambar 5(a) menunjukkan kristal Si dalam dua dimensi. Tampak bahwa tiap atom Si terikat dengan empat atom silikon lain membentuk ikatan kovalen. Pada keadaan ini semua elektron terikat pada atom, sehingga walaupun diberi medan listrik, elektron tetap terikat kuat dalam ikatan kovalen, sehingga tidak ada muatan yang bergerak. Ini berarti tidak ada arus walaupun diberi beda potensial, atau bahan bersifat isolator.



Gambar 5 (a) Ikatan dalam atom Si



Gambar 5 (b) Generasi hole dan elektron
(c) Gerakan hole^[1]

Gambar 5(a) melukiskan keadaan pada suhu amat rendah yaitu mendekati 0°C . Gambar 5(b) menunjukkan pada suhu kamar banyak elektron valensi yang terlepas dari ikatan kovalen oleh karena terjadinya getaran atom. Elektron valensi yang terlepas menjadi elektron bebas karena *eksitasi termal*. Makin tinggi suhu maka makin banyak elektron bebas. Jika di dalam bahan diberi medan listrik,

yaitu dengan memberikan beda potensial antara kedua ujung kristal, elektron bebas akan bergerak menjadi aliran

atau arus listrik. Elektron bebas menimbulkan sebuah tempat tak di duduki, tempat ini yang disebut dengan *hole*.

Gambar 5(c) menunjukkan bahwa hole juga bergerak, hole mempunyai sifat sebagai zarah bermuatan positif. Eksitasi suatu elektron valensi menjadi elektron bebas menyebabkan atom silikon yang bersangkutan menjadi terionkan dan menjadi bermuatan positif, karena pengaruh medan listrik, ion silikon ini dapat menangkap elektron bebas dari atom lain. Perpindahan letak muatan positif ini akan merupakan aliran listrik. Elektron yang dibebaskan dari ikatan kovalen disebut *elektron intrinsik* sedang lubang (*hole*) yang terjadi oleh terbebasnya elektron intrinsik disebut *lubang intrinsik*.

Dalam semikonduktor intrinsik konduksi listrik disebabkan oleh gerak elektron intrinsik dan lubang intrinsik bersama-sama. Konsentrasi elektron dan lubang intrinsik bergantung pada bahan dan suhu. Energi yang diperlukan untuk membebaskan ikatan elektron disebut energi ionisasi sebesar energi gap. Besarnya 1,12 eV untuk Si dan 0,67 eV untuk Ge, sehingga atom Ge lebih mudah tereksitasi termik menjadi elektron bebas daripada elektron valensi atom Si. Ini berhubungan dengan adanya pita-pita energi untuk elektron di dalam kristal semikonduktor.

2. *Semikonduktor Ekstrinsik*

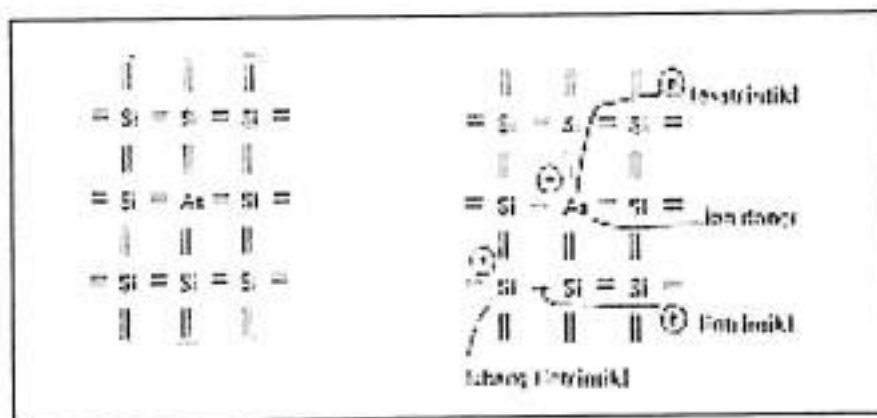
Semikonduktor yang digunakan untuk membuat dioda dan transistor adalah semikonduktor ekstrinsik, dibuat dari bahan semikonduktor intrinsik yang di doping dengan atom dari golongan III atau golongan V dalam susunan berkala.

Campuran bahan semikonduktor intrinsik dengan atom golongan V dalam susunan berkala mengandung lebih banyak elektron daripada hole (lubang), sehingga pembawa muatan bebasnya bermuatan negatif. Semikonduktor ekstrinsik yang di buat dengan bahan ini disebut *semikonduktor tipe-n*. Sebaliknya campuran bahan semikonduktor intrinsik dengan atom unsur golongan III dalam susunan berkala mengandung lebih banyak hole (lubang) daripada elektron. Akibatnya pembawa muatan bebas yang utama bermuatan positif. Semikonduktor ini disebut *semikonduktor tipe-p*.

a) *Semikonduktor tipe-n*

Semikonduktor tipe-*n* merupakan semikonduktor intrinsik yang di doping oleh unsur golongan V dalam susunan berkala misalnya atom silikon yang didoping oleh atom arsenic (As) yang mempunyai elektron valensi lima. Sehingga dalam ikatan kovalen dengan atom silikon di dalam kristal terdapat kelebihan satu atom valensi yang terikat sangat lemah dan mudah sekali terlepas, dan di sebut *elektron donor* atau *elektron ekstrinsik*, sedang atom As disebut *atom donor*. Pada suhu 50°K hampir semua atom donor terionkan, sedang atom silikon baru terionisasi oleh eksitasi termal pada suhu 450°K.

Ion donor yang ditinggalkan bermuatan positif, namun tak dapat menangkap elektron bebas seperti halnya atom silikon, karena daya ikatnya yang amat lemah. Ion donor ini berlaku sebagai muatan tak bebas. Pada suhu kamar ada berbagai pembawa muatan yaitu elektron dan hole intrinsik, elektron ekstrinsik dan ion donor yang tak bebas bergerak. Sehingga jumlah elektron bebas pada semikonduktor tipe-*n* jauh lebih besar daripada jumlah hole. Oleh karena itu elektron bebas dalam semikonduktor tipe-*n* disebut *pembawa muatan mayoritas*, dan hole disebut *pembawa muatan minoritas*.

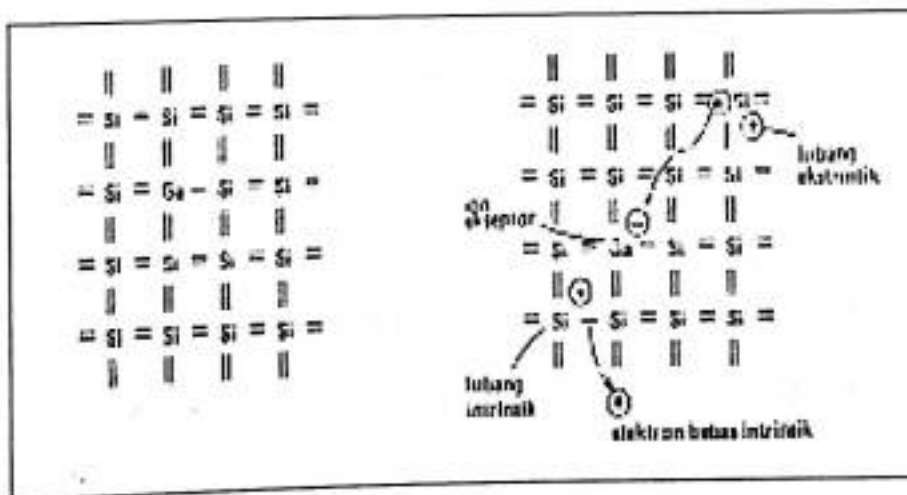


Gambar 6. Ikatan atom Silikon dengan Arsenic bervalensi 5^[6]

b) Semikonduktor tipe-*p*

Semikonduktor tipe-*p* merupakan semikonduktor intrinsik yang di doping oleh unsur golongan III dalam susunan berkala misalnya atom silikon yang di doping oleh atom Galium (Ga) yang mempunyai elektron valensi tiga. Akibatnya dalam membentuk ikatan kovalen dengan silikon di dalam kristal

atom Ga memerlukan satu elektron lagi untuk berpasangan dengan atom Si. Oleh sebab itu Ga mudah menangkap elektron sehingga disebut *atom akseptor*. jika ini terjadi atom akseptor menjadi kelebihan elektron dan bermuatan negatif. Dalam hal ini atom akseptor dikatakan terionkan. Ion akseptor ini mempunyai muatan tak bebas karena tak bergerak di bawah pengaruh medan listrik luar. Ion silikon yang elektronnya di tangkap oleh atom akseptor terbentuk menjadi hole, yang disebut hole ekstrinsik, selain itu di dalam semikonduktor tipe-p juga terjadi elektron bebas intrinsik dan hole intrinsik akibat eksitasi termal atom silikon. Sehingga dikatakan hole merupakan *pembawa muatan mayoritas* dan elektron merupakan *pembawa muatan minoritas*.¹⁴⁾¹⁶⁾



Gambar 7. Ikatan atom Silikon dengan Galium bervalensi 3¹⁴⁾

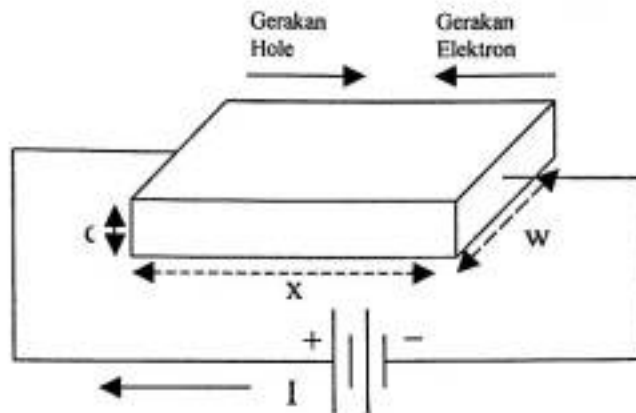
Tabel 3 Sifat atom-atom ketidakmurnian^[4]

Unsur pengotor	No. Valensi	No. Atom	Energi ionisasi (eV) untuk menimbulkan pembawa bebas		Fungsi	Tipe konduksi
			Ge	Si		
B	3	5	0,0104	0,045	Akseptor	p
Al	3	13	0,0102	0,057	Akseptor	p
Ga	3	31	0,0108	0,065	Akseptor	p
In	3	49	0,0112	0,16	Akseptor	p
P	5	15	0,0120	0,044	Donor	n
As	5	33	0,0127	0,049	Donor	n
Sb	5	51	0,0096	0,039	Donor	n

II.5 Konduktivitas dan Mobilitas Semikonduktor

Untuk mengetahui sifat konduktor dari bahan semikonduktor yang terpenting adalah mengetahui konduktivitas dan mobilitas dari pembawa muatan. Dalam semikonduktor intrinsik ada dua pembawa muatan yaitu elektron dan hole. Konsentrasi elektron intrinsik n_i dan hole p_i amat bergantung pada suhu dan jenis atom dalam kristal semikonduktor dan hubungan antara konsentrasi pembawa muatan bebas dengan sifat konduksi kristal semikonduktor dapat kita telusuri sbb:

Diketahui bahwa arus listrik I menyatakan jumlah muatan listrik yang mengalir melalui suatu penampang tiap satuan waktu. Gerak pembawa muatan bebas tidaklah lurus, tetapi terus berubah arah oleh adanya tumbukan antar atom dalam kristal.



Gambar 8. Pergerakan hole dan elektron dalam sampel semikonduktor^[9]

Misalkan antara kedua ujung kristal semikonduktor diberi beda potensial sehingga terjadi medan listrik dengan kuat medan E . Di bawah pengaruh medan ini elektron dan hole akan bergerak dalam arah yang berlawanan (gambar 8). Kecepatan rata-rata gerak pembawa muatan ini disebut *kecepatan drift* yang dinyatakan dengan v . misalkan kerapatan pembawa muatan bebas adalah n , yaitu tiap satuan volume terdapat n pembawa muatan. Dalam waktu Δt akan tersapu volume sebesar $A v \Delta t$, dengan A adalah luas penampang. Maka terdapat muatan sebesar $q n v \Delta t A$ menembus suatu penampang, maka arus yang melalui semikonduktor adalah

$$I = \frac{q n v \Delta t A}{\Delta t} = q n v A \quad (\text{II.1})$$

jika rapat arus J didefinisikan sebagai arus tiap satuan luas penampang, sehingga

$$J = n q v \quad (\text{II.2})$$

jika dialiri arus listrik, maka besar arus listrik disepanjang kristal semikonduktor akan sama. Ini berarti kecepatan rata-rata pembawa muatan yaitu v juga tetap besarnya.

Kecepatan muatan dalam benda padat sebanding dengan medan yang diberikan.

Dalam hal ini kecepatan drift sebanding dengan medan listrik E . Dapat dituliskan

$$v = \mu E \quad (\text{II.3})$$

Tetapan μ disebut *mobilitas pembawa muatan bebas*. Makin besar μ makin besar pula kecepatan drift, yang berarti makin besar arus yang mengalir. Jika persamaan II.3 kita gunakan pada persamaan II.2 akan diperoleh

$$J = nq\mu E \quad (\text{II.4})$$

atau $J = \sigma E \quad (\text{II.5a})$

$$\sigma = nq\mu, \quad (\text{II.5b})$$

dengan

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad \text{disebut } \textit{konduktivitas} \text{ dalam } 1/\textit{Ohm.m} \quad (\text{II.5c})$$

Untuk semikonduktor intrinsik, mobilitas elektron dan hole tidaklah sama, sehingga mobilitas elektron dituliskan μ_n dan mobilitas hole dituliskan μ_p . Keduanya mempunyai satuan $m^2/volt.detik$. dengan konsentrasi pembawa elektron dan hole masing-masing n dan p dalam semikonduktor intrinsik $n_i = p_i$. Maka rapat arus

J_n dan J_p dalam A/m^2 diberikan untuk masing-masing pembawa sebagai :

$$J_n = (-q)n\bar{v} = -qn\mu_n E \quad (II.6)$$

$$J_p = (+q)p\bar{v} = qp\mu_p E \quad (II.7)$$

bila dua macam pembawa berada bersama dalam benda padat, kita dapatkan:

$$J = J_n + J_p = q(\mu_n n + \mu_p p) E \quad (II.8)$$

konduktivitasnya menjadi :

$$\sigma = q(\mu_n n + \mu_p p) \quad (II.9)$$

Pada semikonduktor ekstrinsik, untuk semikonduktor tipe-*n* pada suhu kamar konsentrasi pembawa muatan intrinsik jauh lebih kecil daripada konsentrasi pembawa muatan ekstrinsik, dan pada suhu kamar seluruh atom donor telah terionisasi. Akibatnya $N_n \cong N_d$. Oleh karena itu konduktivitas semikonduktor jenis-*n* dapat dituliskan :

$$\sigma_n = q\mu_n N_d \quad (II.10)$$

untuk semikonduktor tipe-*p*, hole merupakan pembawa muatan mayoritas P_p . Dan pada suhu kamar atom akseptor terionisasi akibatnya $P_p \cong P_a$. Sehingga konduktivitas semikonduktor ekstrinsik tipe-*p* adalah

$$\sigma_p = q\mu_p P_a \quad (II.11)$$

dengan P_a adalah konsentrasi atom akseptor. Dan q merupakan muatan listrik yang besarnya $1,602 \times 10^{-19} \text{ C.}^{[1][4][6]}$

II.6 Medan Magnetik

Sumber magnet yang paling awal dikenal ialah magnet permanen. Satu bulan setelah Oersted mengumumkan penemuannya bahwa jarum kompas disimpangkan oleh arus listrik, *Jean Baptiste Biot* dan *Felix Savart* mengumumkan hasil-hasil pengukuran mereka tentang gaya pada magnet didekat kawat panjang yang membawa arus listrik dan menganalisis hasil ini terhadap besaran medan magnetik yang dihasilkan oleh elemen arus tersebut. *Marie Ampere* memperluas percobaan ini dan menunjukkan bahwa elemen arus juga mengalami gaya ketika berada dalam medan magnetik dan bahwa dua arus akan saling memberikan gaya.

Besaran yang menyatakan medan magnet disebut *induksi magnetik* dengan lambang **B**. Induksi magnet sering juga disebut rapat fluks magnetik, kuat medan magnetik, atau intensitas medan magnet. Induksi magnetik termasuk besaran vektor, yang memiliki besar dan arah.

Medan Magnet Akibat adanya simpal arus

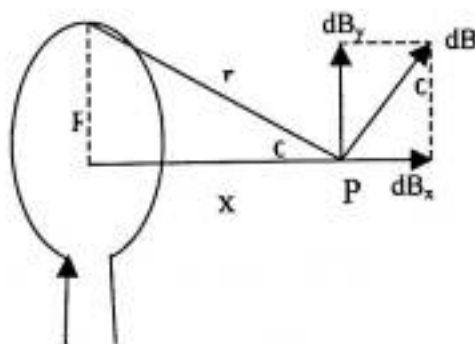
Besarnya induksi magnet di titik P karena pengaruh elemen arus $I dl$ dari sebuah simpal arus yang berjari-jari R . Besaran medan di pusat simpal akibat elemen ini diarahkan sepanjang sumbu simpalnya

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I dl}{R^2} \sin \theta \quad (\text{II.12})$$

persamaan di atas dikenal sebagai hukum *Biot-Savart*.

Dengan θ merupakan sudut antara $I dl$ dan \hat{r} adalah 90° , dengan mengintegral dl untuk simpal penuh memberikan panjang total $2\pi R$ yakni keliling simpalnya, sehingga medan magnet di pusat simpal adalah

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I 2\pi R}{R^2} = \frac{\mu_0 I}{2R} \quad (\text{II.13})$$



Jika terdapat suatu elemen arus $I dl$ dari sebuah simpal arus yang berjari-jari R , jarak titik P ke keliling simpal adalah r , sudut yang dibentuk oleh r dan sumbu simpal x adalah α , maka menurut persamaan II.12, induksi magnet di P oleh elemen arus sepanjang dl adalah

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I dl}{r^2} \sin \theta \quad (\text{II.14})$$

Karena arah dari vektor dB tegak lurus bidang yang melalui r dan dl , berarti $\theta=90^\circ$. Jadi persamaan tersebut dapat dituliskan

$$dB = \frac{\mu_0 I dl}{4\pi r^2} \quad (\text{II.15})$$

Vektor dB dapat diuraikan menjadi dua komponen yaitu, yaitu $dB_x = dB \sin \alpha$ dan $dB_y = dB \cos \alpha$. Komponen $dB \cos \alpha$ akan saling menghilangkan dari masing-masing elemen kawat, sehingga hanya komponen $dB \sin \alpha$ yang masih ada, dengan $r^2 = x^2 + R^2$.

$$dB_x = dB \sin \alpha = dB \left(\frac{R}{\sqrt{x^2 + R^2}} \right) = \frac{\mu_0 I dl}{4\pi x^2 + R^2} \left(\frac{R}{\sqrt{x^2 + R^2}} \right) \quad (\text{II.16})$$

Untuk mencari medan akibat keseluruhan simpal arus, maka integralkan dB_x untuk seluruh simpalnya.

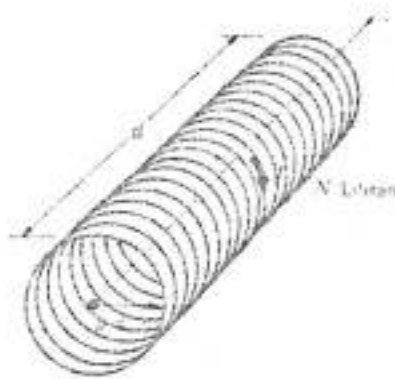
$$B_x = \oint dB_x = \oint \frac{\mu_0 IR}{4\pi (x^2 + R^2)^{3/2}} dl \quad (\text{II.17})$$

integral dl untuk seluruh simpal memberikan $2\pi R$. Dengan demikian

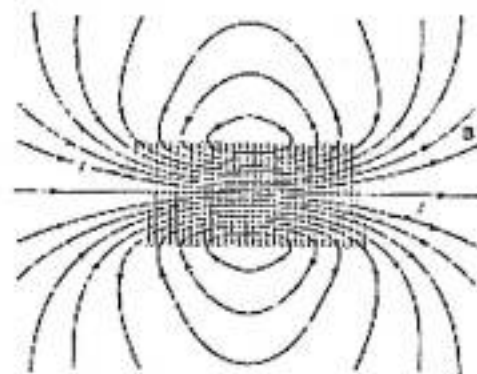
$$B_x = \frac{\mu_0 IR(2\pi R)}{4\pi (x^2 + R^2)^{3/2}} = \frac{\mu_0 2\pi R^2 I}{4\pi (x^2 + R^2)^{3/2}} \quad (\text{II.18})$$

Salah satu cara membuat medan magnet adalah dengan lilitan kumparan seperti pada solenoida. Solenoida berupa kawat yang digulung rapat yang dapat dianggap sebagai sederatan simpal arus melingkar yang ditempatkan berdampingan dan membawa arus yang sama. Solenoida digunakan untuk menghasilkan medan magnet kuat, seragam dalam daerah yang dikelilingi oleh simpalnya. Medan magnet solenoida pada dasarnya adalah sederatan N simpal arus identik yang ditempatkan berdampingan.

Gambar 9 menunjukkan garis-garis medan magnetik untuk solenoida panjang, yang digulung rapat. Di dalam solenoidnya, garis-garis medan ini hampir sejajar dengan sumbunya dan berjarak rapat dan seragam, menandakan adanya medan magnetik yang kuat dan seragam. Di luar solenoidnya, garis-garis kurang rapat. Garis-garis ini memencar dari satu ujung dan mengumpul pada ujung lain.



Gambar 9 (a) Solenoida dengan N lilitan dengan panjang d ^[9]



(b) Arah medan magnet dalam solenoida^[7]

Arah medan magnet pada solenoida dapat dilihat pada gambar 9 (b), penentuan arah medan magnet dengan menggunakan aturan tangan kanan apabila kumparan dipegang sedemikian rupa sehingga ibu jari menunjukkan arah medan magnet dan empat jari lainnya menunjukkan arah arus. Kuat medan magnet dalam sumbu solenoida dapat dihitung dengan meninjau solenoida dengan panjang L yang terdiri dari N lilitan kawat yang dialiri arus I , jumlah lilitan persatuan panjang menjadi $n = N/L$, maka terdapat $n \, dx$ lilitan kawat dalam elemen ini dengan setiap elemen lilitan membawa arus I . Elemen ini ekuivalen dengan simpul tunggal yang membawa arus $di = nI \, dx$.

Medan magnetik di titik x pada sumbu nya akibat simpal di titik asal yang membawa arus $nI dx$ ini diberikan oleh persamaan II.18 dengan I diganti $nI dx$:

$$dB_x = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2\pi nI R^2 dx}{(x^2 + R^2)^{3/2}} \quad (\text{II.19})$$

Untuk induksi magnet di pusat solenoida

$$B = \mu_0 nI \quad (\text{II.20})$$

Jika titik asalnya berada di salah satu ujung solenoida, Dengan demikian B di suatu titik di dekat salah satu ujung solenoida panjang adalah kira-kira setengah besarnya di titik-titik di dalam solenoida yang jauh dari ujungnya. Dapat dituliskan

$$B = \frac{1}{2} \mu_0 nI \quad (\text{II.21})$$

Bila titik pengamatan di luar simpal dengan jarak x , maka besar medan magnet pada titik tersebut adalah

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2\pi N I R^2}{(x^2 + R^2)^{3/2}}$$

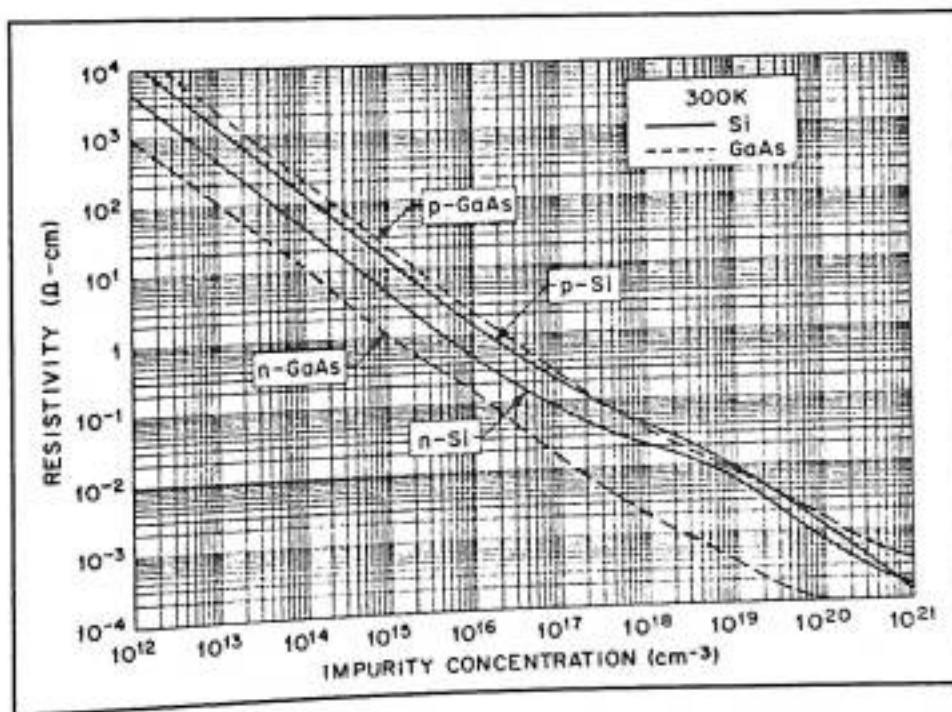
$$B = \frac{\mu_0}{2} \frac{N I R^2}{(x^2 + R^2)^{3/2}} \quad (\text{II.22})$$

Dengan nilai $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m/A} = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$ merupakan permeabilitas ruang hampa.

Satuan SI medan magnetik adalah tesla (T) atau wb/m^2 . Satuan yang lazim digunakan ialah gauss (G), yang dihubungkan dengan tesla oleh $1 T = 10^4 G$. [1][3][7]

II.7 Metode Efek Hall

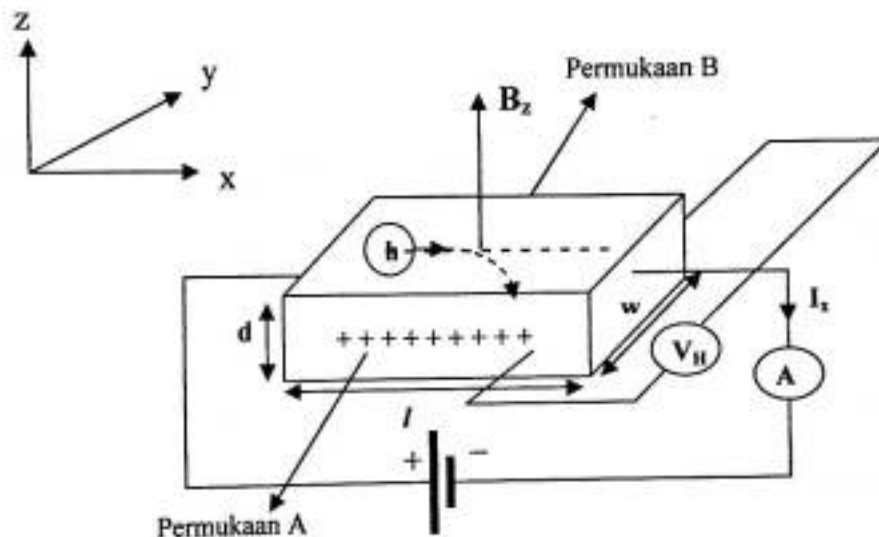
Konsentrasi pembawa dalam semikonduktor dapat berbeda dari konsentrasi impuritas, karena kerapatan impuritas yang diionisasi bergantung pada suhu dan tingkat energi impuritas. Untuk menentukan konsentrasi pembawa secara langsung metode yang paling umum digunakan adalah metode *efek Hall*. Pengukuran Hall adalah salah satu metode yang meyakinkan untuk menunjukkan keberadaan hole sebagai pembawa muatan, karena pengukuran ini dapat menentukan tipe pembawa muatan.



Gambar 10. Diagram Resistivitas vs Konsentrasi impuritas untuk Si dan GaAs pada suhu kamar.^[5]

Jika sebuah lempengan penghantar (konduktor atau semikonduktor) yang membawa arus, bila ditempatkan dalam medan magnet melintang, medan listrik akan terbentuk

mengakibatkan munculnya beda potensial antara kedua sisi penghantar tersebut. Gejala ini yang disebut *efek Hall* dan medan listrik yang terbentuk dinamakan *medan Hall*, sedang beda potensial yang muncul antara kedua sisi penghantar disebut sebagai *potensial Hall*.



Gambar 11. Skema Efek Hall^[9]

Gambar 10 menunjukkan prinsip pengukuran konsentrasi hole dalam semikonduktor tipe-*p*. Misalkan sebuah sampel semikonduktor ekstrinsik tipe-*p* berbentuk lempengan segi empat, ditempatkan di dalam medan magnet luar (\vec{B}_z), kemudian pada kedua sisi bahan diberi medan listrik (\vec{E}_x) dengan arah seperti pada gambar di atas, yaitu tegak lurus dengan arah medan magnet luar. Akibat medan listrik luar (dari catu daya) yang ditempatkan pada sampel membangkitkan pembawa muatan mayoritas (hole) pada sampel dan mengalir dengan arah dan kecepatan (\vec{v}).

Hole dalam semikonduktor dipercepat oleh medan listrik eksternal, sedangkan pada arah z diberi medan magnet. Gerakan dari partikel bermuatan dalam medan magnet diberikan sebagai :

$$\begin{aligned}\vec{F} &= q(\vec{v}_x \vec{B}) \\ \vec{F} &= q(\vec{v}_x \hat{i}_x \vec{B}_z \hat{k}) \\ \vec{F} &= -\hat{j}(qv_x B_z)\end{aligned}\tag{II.23}$$

dengan \vec{F} adalah vektor gaya yang bekerja pada partikel yang di sebut gaya Lorentz;

\vec{v} adalah kecepatan drift partikel bermuatan dan \vec{B} adalah besar medan magnet.

Dari persamaan (II.23) terlihat bahwa gaya ini mengarah kearah negatif sb y, ini berarti hole ditolak oleh gaya lorentz ke sisi permukaan A. Bila hanya terdapat gaya lorentz saja, maka hole akan dikonsentrasikan secara tak terhingga pada permukaan A. Karena hole didistribusikan pada satu sisi pada permukaan A, maka timbul medan listrik pada arah sumbu y yaitu dari permukaan A ke permukaan B. Keadaan seimbang dicapai bila tercapai keseimbangan antara medan listrik dengan gaya Lorentz, yang akan menimbulkan beda potensial antara permukaan A dan permukaan B yang di sebut *tegangan Hall* yang sebanding dengan konsentrasi pembawa (dalam hal ini konsentrasi hole).

Bila E_y adalah medan listrik dan dalam keadaan gaya-gaya seimbang diperoleh ;

$$\begin{aligned}F_H + F_L &= 0 \\ qE_y - qv_x B_z &= 0\end{aligned}\tag{II.24}$$

Bila E_y adalah medan listrik dan dalam keadaan gaya-gaya seimbang diperoleh :

$$\begin{aligned} F_H + F_L &= 0 \\ qE_y - qv_x B_z &= 0 \end{aligned} \quad (\text{II.24})$$

sehingga medan Hall diperoleh :

$$E_y = v_x B_z \quad (\text{II.25})$$

Tegangan Hall diberikan sebagai :

$$V_H = lE_y \quad (\text{II.26})$$

bila p adalah konsentrasi hole, karena arus I adalah :

$$I = qpv_x dl \quad (\text{II.27})$$

sedangkan konstanta Hall didefinisikan sebagai :

$$R_H = \frac{1}{qp} \quad (\text{II.29})$$

persamaan II.25, II.26, dan II.27 dihubungkan menjadi :

$$V_H = \frac{B_z}{qd} \cdot \frac{I}{p} = \frac{IB_z}{d} R_H \quad (\text{II.30})$$

atau

$$R_H = \frac{V_H d}{IB_z} \quad (\text{II.31})$$

dengan mengetahui I_x, B_z, V_H dan d (tebal plat), maka R_H dapat ditentukan. Dan konsentrasi hole dapat dihitung.

Hasil yang sama dapat diperoleh untuk semikonduktor tipe-n, kecuali konstanta hall yang bernilai negatif :

$$R_H = -\frac{1}{qn} \quad (II.32)$$

Dengan mengukur koefisien Hall, bila konduktivitas disebabkan oleh salah satu jenis pembawa ,maka konduktivitasnya dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan II.5b bila dihubungkan dengan persamaan II.20 maka mobilitas dapat dirumuskan sbb:

$$\mu_H = \sigma |R_H| \quad (II.33)$$

mobilitas yang ditentukan dengan cara seperti ini disebut mobilitas Hall. Dengan perbandingan antara mobilitas Hall dan mobilitas drift yang diperoleh secara teoritis adalah 1.18, berarti mobilitas Hall sedikit lebih besar daripada mobilitas drift.^{[1][4]}

BAB III

METODOLOGI

III.1 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

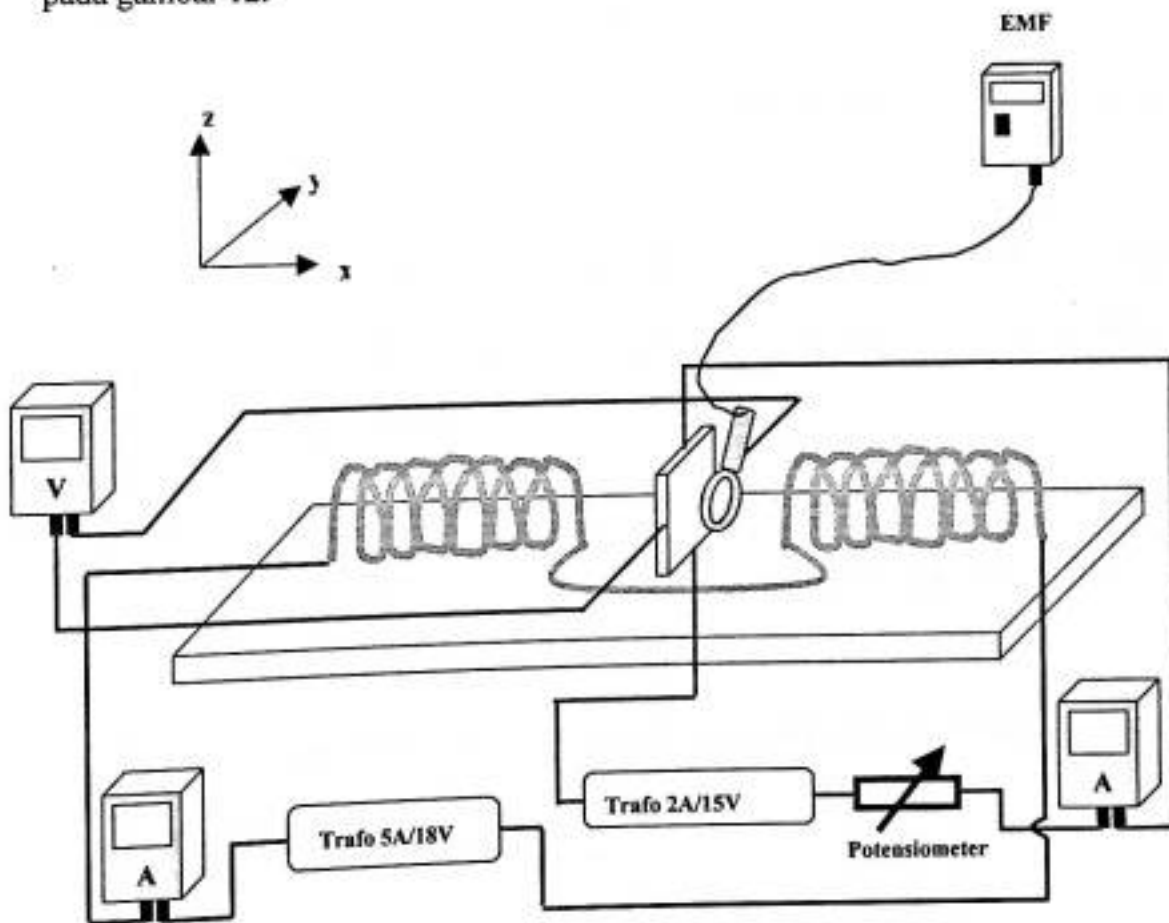
1. Transformator 5A/18V	1 buah
2. Transformator 2A/ 15V	1 buah
3. Multimeter Digital	1 buah
4. Potensiometer 20 K Ω	1 buah
5. Kumparan (solenoida)	2 buah
6. Mikrometer sekrup	1 buah
7. Kabel Penghubung	10 buah
8. Jangka Sorong	1 buah
9. Mistar	1 buah
10. Bahan semikonduktor	3 Sampel

III.2 Prosedur Kerja

1. Pembuatan Rangkaian Pengukuran dengan Metode Efek Hall

Pembuatan sistem rangkaian pengukuran kerapatan fluks magnetik dengan metode efek Hall terlebih dahulu dengan pembuatan kumparan. Kerapatan fluks magnetik diukur dari kumparan yang berbentuk solenoida, yaitu terbuat dari

kawat yang dililitkan pada inti besi. Jenis kawat yang digunakan adalah tembaga tunggal. Sampel yang akan digunakan berasal dari bahan semikonduktor yang ditempatkan diantara sumber medan magnet. Sistem pengukuran ini dilengkapi dengan amperemeter dan voltmeter berfungsi sebagai pengukur arus dan tegangan, serta dua buah transformator yaitu transformator 5A/18V yang dihubungkan pada kumparan dan transformator 2A/15V yang dihubungkan pada sampel semikonduktor. Untuk mengontrol arus yang masuk ke sampel maka pada rangkaian diberi potensiometer. Skema pembuatan rangkaian dapat dilihat seperti pada gambar 12.



Gambar 12. Skema Pengukuran dengan metode Efek Hall

2. Pengukuran Kerapatan Fluks Magnetik

Besarnya medan magnet atau kerapatan fluks magnetik yang dihasilkan oleh kumparan solenoida yang mengenai sampel diukur dengan menggunakan alat pendeteksi medan magnet digital yaitu *Elektromagnetic Field Tester (EMF tester)* yang diletakkan pada tempat sampel yaitu titik pertengahan antara kedua kumparan tersebut. Pengukuran kerapatan fluks magnetik ini dilakukan dengan jarak yang bervariasi dari solenoida ke sampel.

3. Pengukuran Tegangan dan Arus Listrik

Pengukuran tegangan dilakukan pada suhu kamar (300 K) dengan ketentuan sebagai berikut :

- a. Pengukuran tegangan sebagai fungsi dari arus yaitu dengan besar arus bervariasi yang diatur pada potensiometer, dan pada rapat fluks magnetik konstan (jarak konstan).
- b. Pengukuran tegangan sebagai fungsi dari rapat fluks magnetik yaitu dengan rapat fluks magnetik yang bervariasi dengan memvariasikan jarak dari sampel ke kumparan, pada arus konstan.

Posisi sampel tegak lurus antara kedua kumparan solenoida tersebut. Tegangan yang terukur merupakan tegangan Hall sampel semikonduktor.

4. Perhitungan Kerapatan Fluks Magnetik

Kerapatan fluks magnetik atau biasa disebut dengan besar induksi magnet atau kuat medan magnet dapat dihitung dengan menggunakan persamaan II.22.

Nilai kerapatan fluks magnetik yang diukur secara langsung dengan menggunakan Electromagnetic Field tester (EMF tester) kemudian akan dibandingkan dengan nilai kerapatan fluks magnetik yang diperoleh dari hasil perhitungan.

5. Penentuan Konstanta Hall, serta Jenis dan Tipe Semikonduktor

Nilai kerapatan fluks magnetik secara perhitungan akan digunakan untuk menentukan konstanta Hall sampel dengan menggunakan persamaan II.31.

tanda dari konstanta Hall tersebut kemudian akan menentukan jenis dan tipe pembawa muatan (pembawa muatan mayoritas) dalam sampel semikonduktor.

6. Penentuan Konsentrasi dan Mobilitas Pembawa Muatan

Dengan mengetahui jenis dan tipe pembawa muatan, maka konsentrasi pembawa muatan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan II.29.

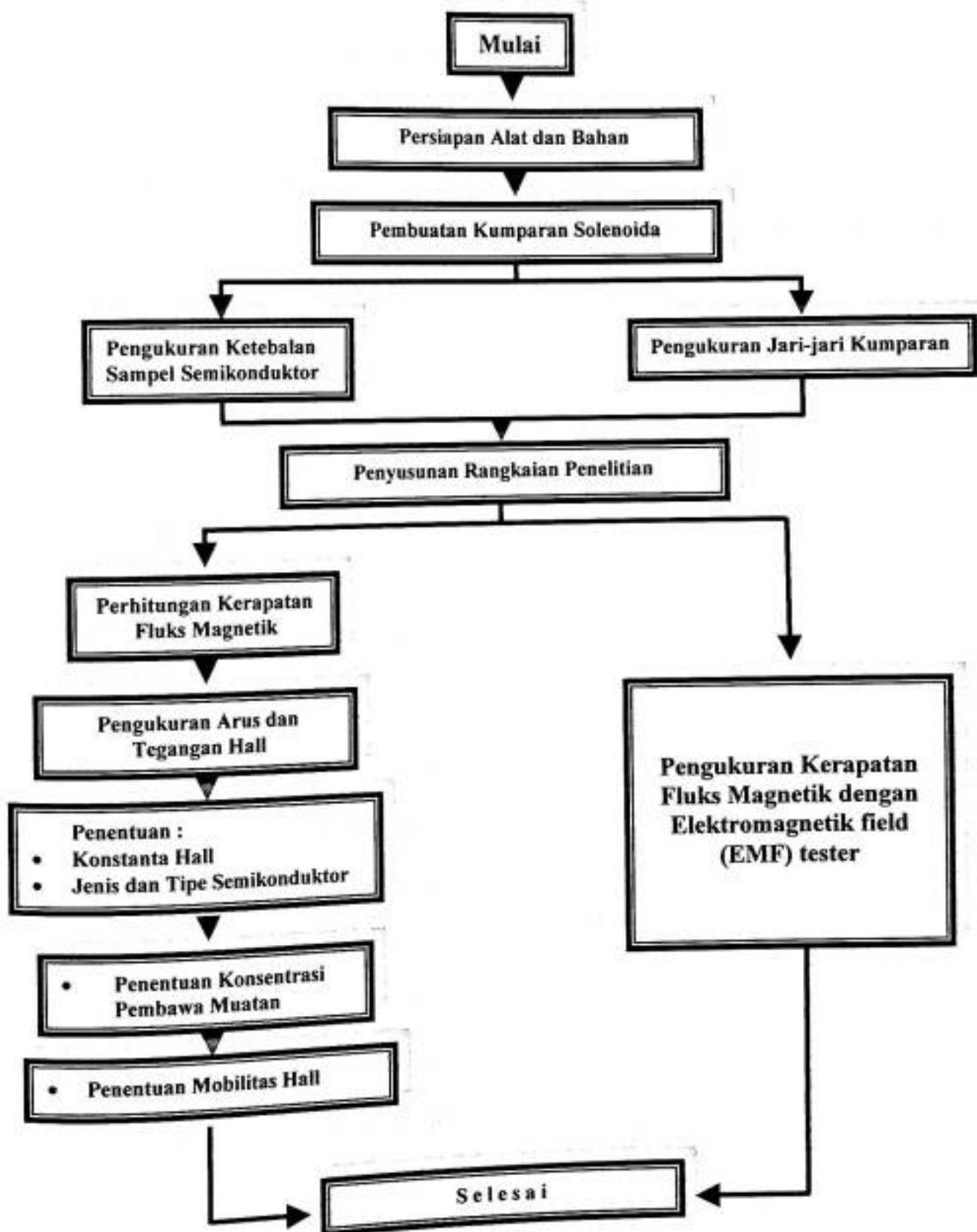
Konduktivitas sampel dihitung dengan menggunakan :

$$\sigma_0 = \frac{l}{R_0 \cdot A} \quad (\text{III.2})$$

dengan l adalah panjang sampel, A adalah luas permukaan sampel, dan R_0 adalah resistansi sampel di luar medan magnet.

Nilai konduktivitas yang diperoleh akan digunakan untuk menentukan mobilitas Hall pembawa muatan dengan menggunakan persamaan II.21.

III.3 Bagan Alir Penelitian



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Ukuran Sampel Semikonduktor

Sampel semikonduktor yang digunakan terdiri atas 3 sampel yaitu sampel 1 dan 2 merupakan semikonduktor polikristal sedang sampel 3 merupakan semikonduktor monokristal.

Hasil pengukuran sampel semikonduktor

a. Sampel 1

Panjang : 7.5×10^{-3} m

Lebar : $7,5 \times 10^{-3}$ m

Tebal : $0,58 \times 10^{-3}$ m

b. Sampel 2

Panjang : 12×10^{-3} m

Lebar : 6×10^{-3} m

Tebal : $0,7 \times 10^{-3}$ m

c. Sampel 3

Panjang : 1×10^{-2} m

Lebar : 1×10^{-2} m

Tebal : $0,3 \times 10^{-3}$ m

Pengukuran panjang dan lebar sampel dilakukan dengan menggunakan jangka sorong, sedang tebal sampel diukur dengan menggunakan mikrometer sekrup. Pengukuran berlangsung pada suhu kamar 27°C (300 K).

IV.2 Spesifikasi Kumaran

Spesifikasi kumaran yang dibuat yaitu :

- a. Jenis kawat : Tembaga tunggal
- b. Diameter kawat : $0.8 \times 10^{-3}\text{ m}$
- c. Jumlah lilitan : 500 lilitan
- d. Panjang kumaran : $60 \times 10^{-2}\text{ m}$
- e. Arus maksimum : 1,5 A
- f. Jari-jari kumaran : $6,86 \times 10^{-3}\text{ m}$

IV.3 Analisis Data

Pengukuran tegangan dan arus listrik pada sampel semikonduktor dilakukan dengan menghubungkan rangkaian pengukuran efek Hall seperti pada gambar 12, sedang pengukuran kerapatan fluks magnetik dilakukan dengan menggunakan alat ukur EMF tester 827 yang diletakkan diantara kumaran, tempat sampel diletakkan.

Pengukuran tegangan dilakukan dengan dua cara yaitu Pertama, tegangan sebagai fungsi dari arus yaitu besar arus bervariasi yang diatur pada potensiometer, pada kerapatan fluks magnetik konstan (jarak konstan yaitu pada jarak 14 cm dan 18 cm). Kedua, tegangan sebagai fungsi kerapatan fluks magnetik yaitu dengan besar

kerapatan fluks magnetik yang bervariasi dengan cara memvariasikan jarak dari sampel ke kumparan, pada arus konstan.

Dari pengamatan pengukuran tegangan, maka dapat diidentifikasi jenis dan tipe semikonduktor. Hasil pengukuran tegangan dan arus listrik kemudian akan menentukan besar kerapatan fluks magnetik secara perhitungan dengan menggunakan rumus pada persamaan (II.22) dan konstanta Hall pada persamaan (II.31). Hasil kerapatan fluks magnetik secara perhitungan kemudian akan dibandingkan dengan besar pengukuran kerapatan fluks magnetik dengan alat ukur.

Tanda dan nilai konstanta Hall tersebut akan menentukan jenis dan tipe pembawa muatan dan konsentrasi pembawa muatan mayoritas dengan menggunakan persamaan (II.29) serta mobilitas Hall pada persamaan (II.21), setelah mengetahui resistansi sampel. Data pengamatan sampel dapat dilihat pada lembar lampiran.

Hasil pengukuran yang diperoleh akan di plot ke dalam grafik. Penyajian grafik ini menggunakan metode regresi, dengan persamaan :

$$Y^* = a + bX$$

(IV.1)

dengan : Y^* = Subyek dalam variabel dependen yang dipredikisikan

a = Harga Y bila $X=0$ (harga konstan)

b = Angka arah atau koefisien regresi, yang menunjukkan angka peningkatan atau penurunan variabel dependen yang di didasarkn pada variabel independen. Bila b (+) maka naik, dan bila (-) maka terjadi penurunan.

X = Subyek pada variabel independen yang mempunyai nilai tertentu.

Misalkan data $\{X, Y\}$ untuk $i = 1$ hingga n , $Y^* = a + bX$, adalah nilai yang diperoleh pada garis regresi untuk data X_i , simpangan rata-rata kuadrat disimbolkan R^2 , dengan rumus :

$$R^2 = \sum_{i=1}^n \{Y_i - Y_i^*\}^2 \quad (\text{IV.2})$$

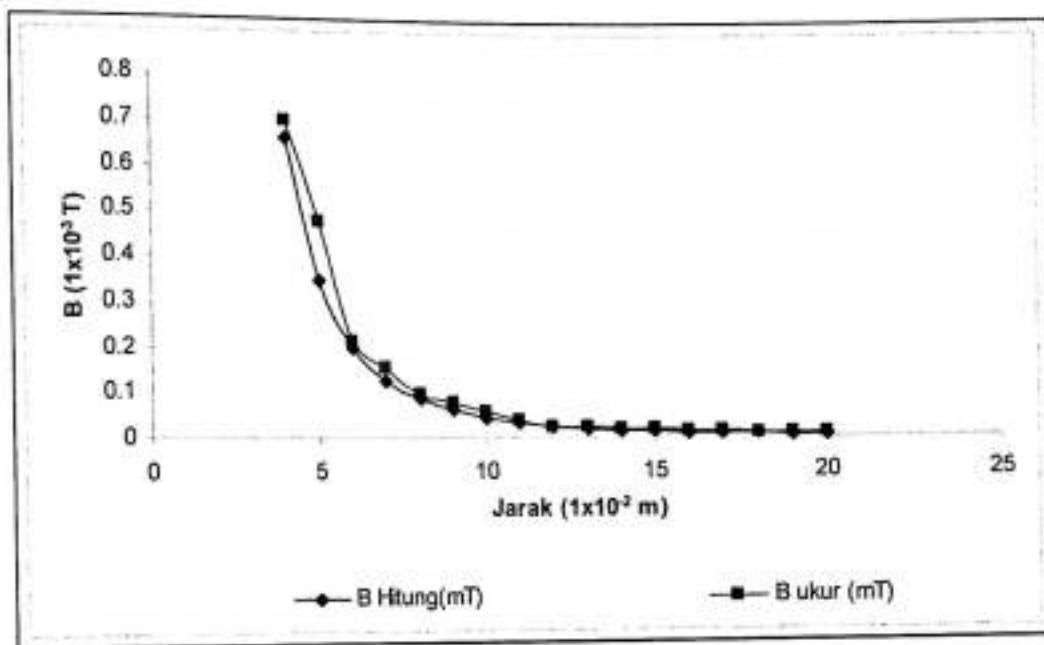
$$R^2 = \sum_{i=1}^n \{Y_i - (a + bX_i)\}^2$$

$$a = \frac{(\sum Y_i)(\sum X_i^2) - (\sum X_i)(\sum X_i Y_i)}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad (\text{IV.3})$$

$$b = \frac{n(\sum X_i Y_i) - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad (\text{IV.4})$$

IV.4 Hasil Pengukuran Kerapatan Fluks Magnetik

Data hasil pengukuran kerapatan fluks magnetik dengan menggunakan alat EMF tester kemudian dibandingkan dengan kerapatan fluks magnetik secara teori yaitu dengan menggunakan persamaan (II.22). Perbandingan dapat dilihat dalam bentuk grafik dengan metode regresi. Grafik hubungan antara jarak dan kerapatan fluks magnetik (B) diperlihatkan pada grafik IV.1.



Grafik IV.1. Hubungan antara Jarak vs Kerapatan Fluks Magnetik (B). Dengan memperhatikan perbandingan B ukur dan B hitung.

Grafik IV.1 menunjukkan hubungan antara Jarak vs Kerapatan fluks magnetik (B). Semakin besar jarak ke kumparan maka kerapatan fluks magnetik akan semakin kecil. Grafik ini memperlihatkan perbandingan antara kerapatan fluks magnetik secara pengukuran dan perhitungan pada jarak yang bervariasi (4 cm - 20 cm). Dari pengamatan grafik terlihat bahwa nilai kerapatan fluks magnetik secara pengukuran mendekati nilai kerapatan fluks magnetik secara teori, hanya secara pengukuran nilai kerapatan fluks magnetik lebih besar dibanding secara perhitungan, hal ini disebabkan penggunaan alat ukur elektromagnetik yang sangat peka terhadap medan magnet sekelilingnya.

IV.5 Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus Listrik dalam Penentuan Karakterisasi Sampel Semikonduktor

Sampel Semikonduktor Polikristal

Semikonduktor polikristal merupakan semikonduktor yang mempunyai lebih dari satu orientasi kristal, sehingga terdapat banyak batas butir kristal. Orientasi (111) dan (000) sebagai *primary flat*, dan ditambahkan orientasi yang lain dengan istilah *secondary flat* yang orientasinya berupa (100), (110), (001) dan (011).

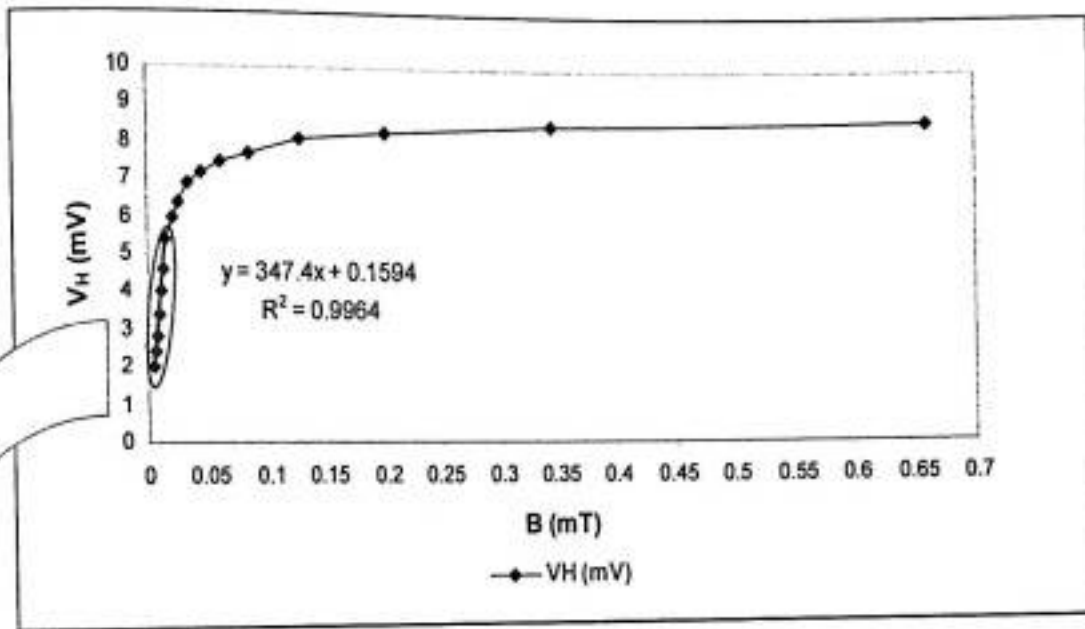
a. Sampel 1

i. Pengukuran tegangan sebagai fungsi dari kerapatan fluks magnetik

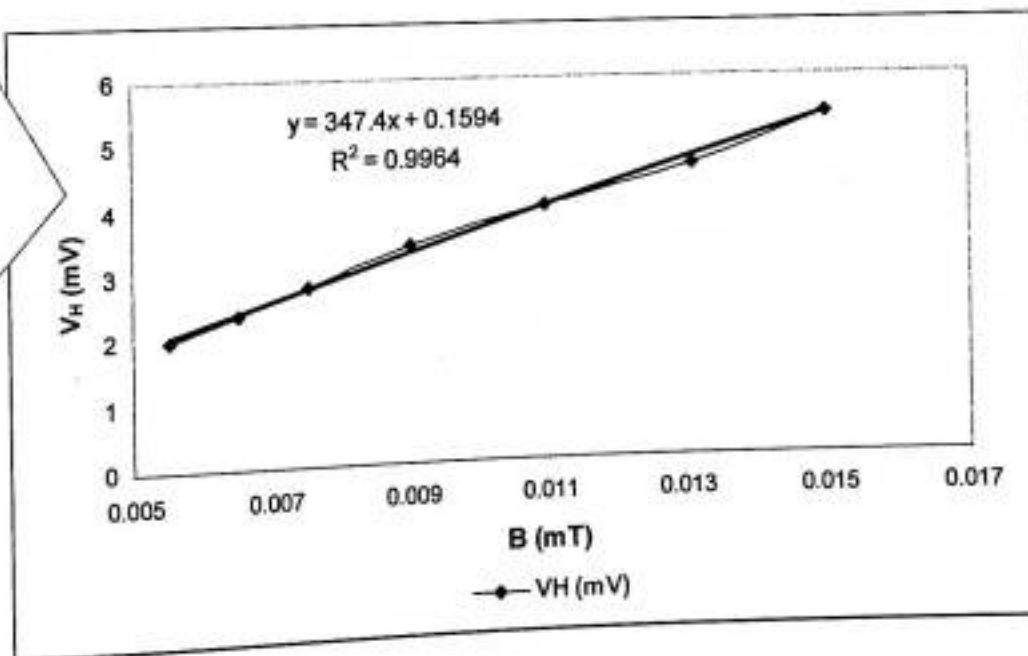
Dari pengamatan pengukuran tegangan Hall sampel 1 merupakan jenis semikonduktor ekstrinsik tipe P.

Grafik IV.2 (i) dan IV.3 (i) dibawah menunjukkan hubungan antara tegangan Hall vs Kerapatan fluks magnetik. Dari grafik terlihat bahwa semakin besar kerapatan fluks magnetik yang mengenai sampel maka semakin besar pula tegangan Hallnya. Hubungan linier antara B dan V_H terjadi pada tujuh data terakhir yaitu pada jarak 14 cm – 20 cm.

Dari kedua grafik di bawah terlihat bahwa besar arus juga mempengaruhi nilai tegangan Hall sampel, dimana semakin besar arus maka tegangan Hall juga besar.

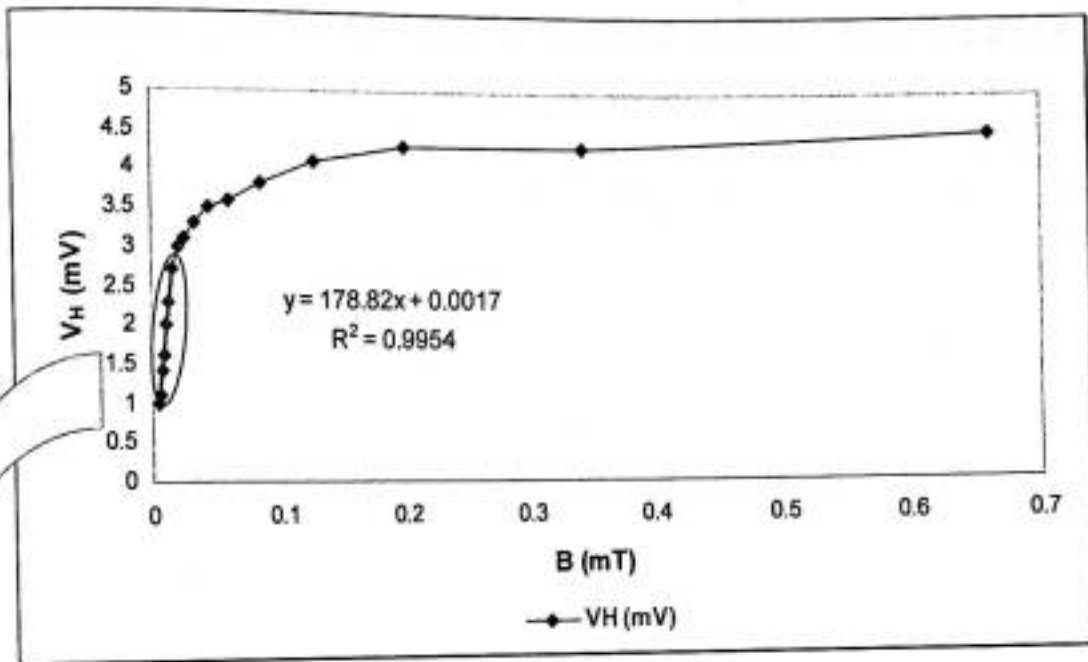


(i)

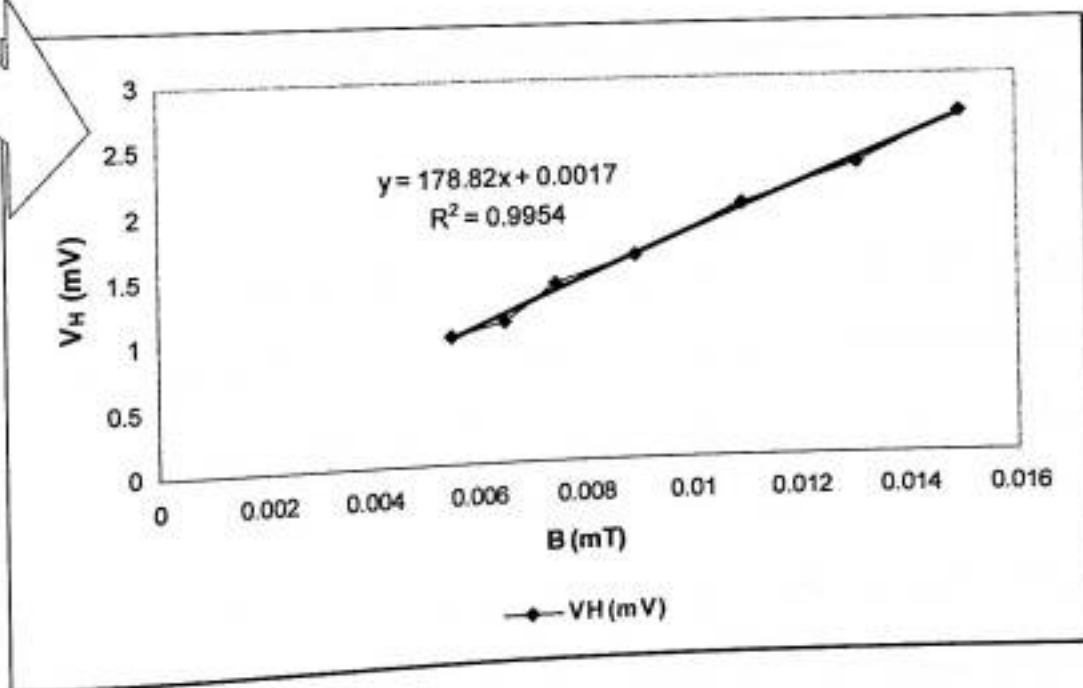


(ii)

Grafik IV.2 Hubungan antara kerapatan fluks magnetik vs tegangan Hall pada sampel 1, dengan arus (I) = 20 mA



(i)



(ii)

Grafik IV.3 Hubungan antara kerapatan fluks magnetik vs tegangan Hall pada sampel 1, dengan arus (I) = 10 mA

Grafik IV.2 (ii) dan IV.3(ii) diatas menunjukkan hubungan linier antara tegangan Hall dan kerapatan fluks magnetik B , yang digunakan dengan metode regresi dengan persamaan IV.1. dengan memasukkan data B pada X dan data V_H pada Y kedalam persamaan IV.2, IV.3, dan IV.4 maka untuk grafik IV.2 diperoleh persamaan regresi $Y^* = 347,4 X - 0,1595$ dengan kemiringan grafik $b = 347,4 VT^{-1}$. Perumusan konstanta Hall menjadi :

$$R_H = \frac{V_H}{B} \cdot \frac{d}{I} = b \cdot \frac{d}{I} \quad (IV.5)$$

dengan tebal sampel 1 $d = 0,58 \text{ mm}$ dan $I = 20 \text{ mA}$, Sehingga diperoleh konstanta Hall Sampel 1 $R_H = 10,0746 \text{ m}^3/\text{As}$. Konsentrasi pembawa muatan dalam hal ini konsentrasi hole (p) dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$p = \frac{1}{q \cdot R_H} \quad (IV.6)$$

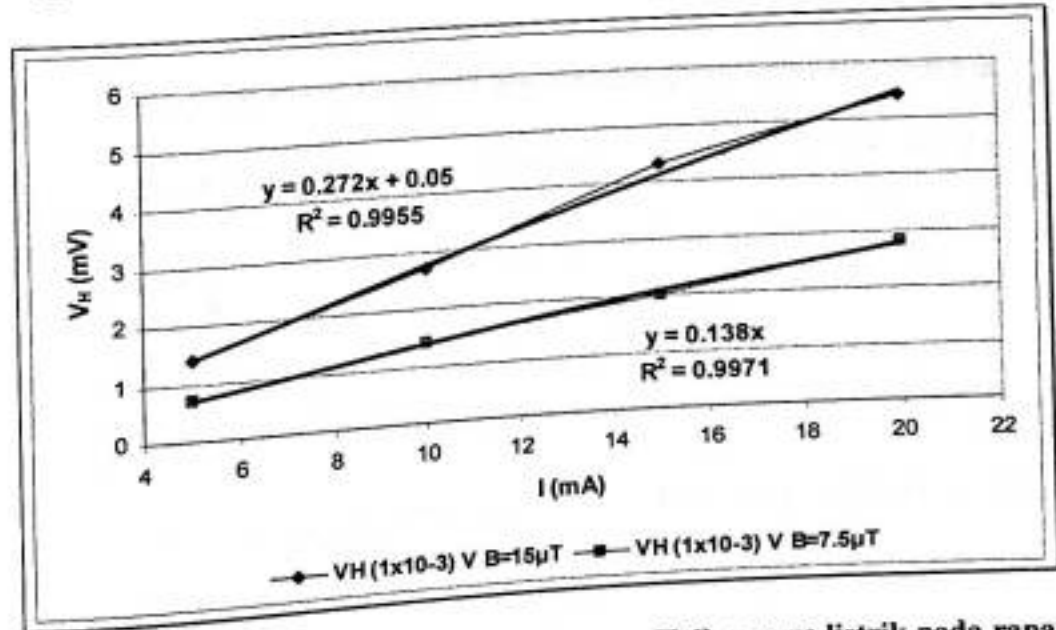
dengan besar muatan dasar $q = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As}$, diperoleh $p = 6,19598 \times 10^{17} \text{ m}^{-3}$.

Konduktivitas pada suhu kamar dihitung dari panjang sampel l , luas permukaan sampel A , dan resistansi R_o . Dengan menggunakan persamaan III.2, dimana $l = 7,5 \text{ mm}$, $A = 56,25 \times 10^{-5} \text{ m}^2$, $R_o = 18 \text{ K}\Omega$ sehingga konduktivitas sampel $\sigma_o = 7,407 \times 10^3 \text{ }\Omega^{-1}\text{m}^{-1}$. Mobilitas Hall μ_H pembawa muatan dapat ditentukan dengan memasukkan nilai R_H dan σ_o pada persamaan II.21 maka mobilitas Hall $\mu_H = 0,0745 \text{ m}^2/\text{Vs}$.

Grafik IV.3 menggunakan sampel yang sama, yang berbeda hanyalah arus masukan ke sampel yaitu $I = 10 \text{ mA}$ mempunyai persamaan regresi linier $Y^* = 178,82 X - 0.0017$ dengan kemiringan grafik $b = 178,82 \text{ VT}^{-1}$. Dengan menggunakan perumusan yang sama di atas diperoleh nilai konstanta Hall $R_H = 10,37156 \text{ m}^3/\text{As}$, konsentrasi pembawa muatan $p = 6,01857 \times 10^{17} \text{ m}^{-3}$, konduktivitas $\sigma_o = 7,407 \times 10^3 \text{ } \Omega^{-1}\text{m}^{-1}$, dan mobilitas Hall $\mu_H = 0.07682 \text{ m}^2/\text{Vs}$. Karena menggunakan sampel yang sama, nilai karakterisasi pada grafik IV.2 dan IV.3 sangat mendekati. Hasil data pengukuran dapat dilihat pada lampiran I, tabel IV.1 dan IV.2.

ii. Pengukuran tegangan sebagai fungsi dari arus

Yaitu dengan memvariasikan arus yang masuk ke sampel, pada rapat fluks magnetik konstan yaitu $B = 15 \mu\text{T}$ pada jarak 14 cm dan $B = 7,5 \mu\text{T}$ pada jarak 18 cm



Grafik IV.4. Grafik hubungan antara tegangan Hall vs arus listrik pada rapat fluks magneti konstan yaitu pada $B = 15 \mu\text{T}$ dan $B = 7,5 \mu\text{T}$.

Grafik IV.4 menunjukkan hubungan antara tegangan Hall vs arus listrik pada rapat fluks magnetik konstan yaitu $B = 15 \mu T$ pada jarak 14 cm dan $B = 7,5 \mu T$ pada jarak 18 cm . Hubungan linier terjadi antara B , I , dan V_H , yaitu apabila rapat fluks magnetik B dan Arus I besar, maka tegangan Hall akan meningkat.

Pada $B = 15 \mu T$ persamaan regresi liniernya $Y^* = 0,272 X + 0,05$ dengan kemiringan grafik $b = 0,272 \text{ VT}^{-1}$, perumusan konstanta Hall menjadi :

$$R_H = \frac{V_H}{I} \cdot \frac{d}{B} = b \cdot \frac{d}{B} \quad (\text{IV.7})$$

dengan menggunakan sampel yang sama maka nilai konstanta Hall $R_H = 10,51733 \text{ m}^3/\text{As}$. Dengan menggunakan persamaan IV.6, diperoleh konsentrasi hole $p = 5,93515 \times 10^{17} \text{ m}^{-3}$. Konduktivitas $\sigma_o = 7,407 \Omega^{-1}\text{m}^{-1}$, dan mobilitas Hall pembawa muatan $\mu_H = 0,07908 \text{ m}^2/\text{Vs}$.

Pada $B = 7,5 \mu T$ dengan persamaan regresi linier $Y^* = 0,1429 X + 0,033$ maka kemiringan grafik $b = 0,1429 \text{ VT}^{-1}$ dengan menggunakan perumusan yang sama di atas maka diperoleh $R_H = 10,672 \text{ m}^3/\text{As}$, konsentrasi hole $p = 5,84913 \times 10^{17} \text{ m}^{-3}$. Konduktivitas $\sigma_o = 0,012345679 \Omega^{-1}\text{m}^{-1}$, dan mobilitas Hall pembawa muatan $\mu_H = 0,079048 \text{ m}^2/\text{Vs}$.

Dari hasil penentuan nilai karakterisasi sampel 1 mulai dari grafik IV.2, IV.3 dan IV.4 mempunyai nilai yang sangat mendekati. Data pada Grafik IV.3 dapat dilihat pada lampiran I, tabel IV.3.

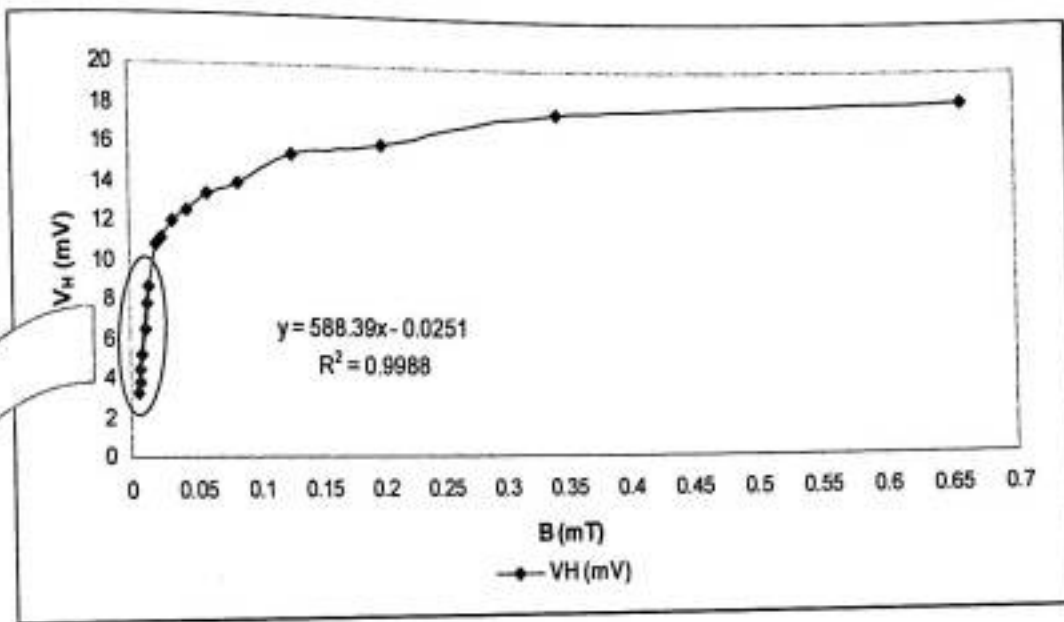
b. Sampel 2

i. Pengukuran tegangan sebagai fungsi dari kerapatan fluks magnetik

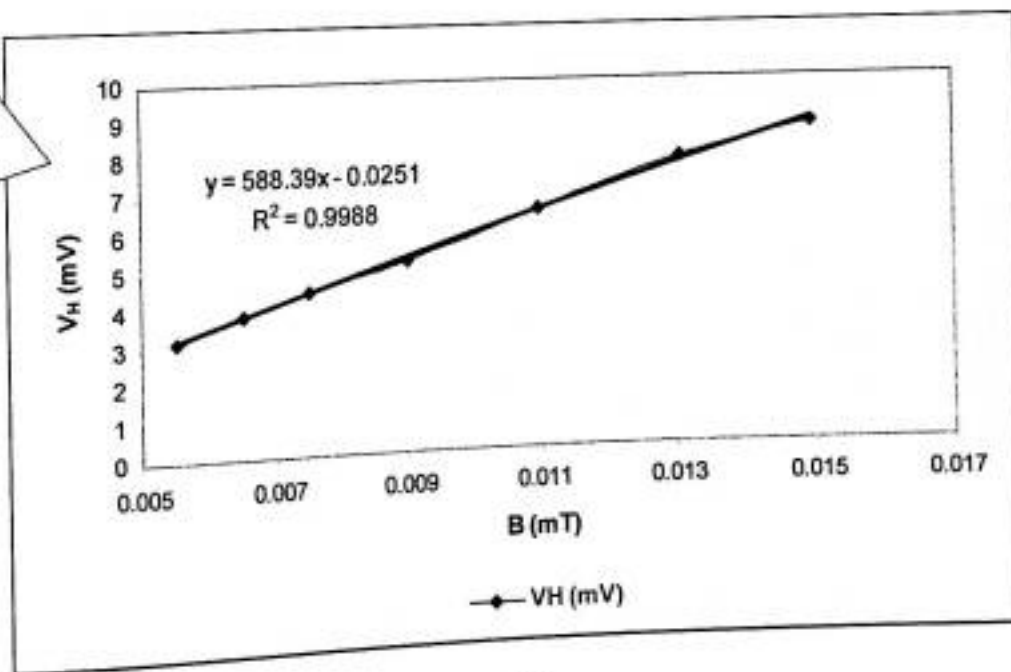
Sampel 1 dan sampel 2 sama-sama merupakan semikonduktor polikristal, perbedaannya pada orientasi kristal, yaitu pada batas butir kristal. Dengan sampel 1 mempunyai batas butir kristal yang lebih padat dibanding dengan sampel 2.

Dari pengamatan pengukuran arus dan tegangan Hall sampel 2 merupakan jenis semikonduktor ekstrinsik dengan tipe p, artinya mempunyai hole sebagai pembawa muatan mayoritas.

Grafik IV.5 (i) dan IV.6 menunjukkan hubungan antara tegangan Hall vs Rapat fluks magnetik, terlihat bahwa semakin besar rapat fluks magnetik (B) maka tegangan Hall (V_H) juga semakin besar. Karena adanya hubungan linier antara B dan V_H yang ditunjukkan pada persamaan (II.30), maka pada grafik hanya terdapat beberapa data saja yang linier. Sama halnya dengan sampel 1 hubungan linier antara B dan V_H terjadi pada tujuh data terakhir yaitu pada jarak $14\text{ cm}-20\text{ cm}$ (pada tabel).

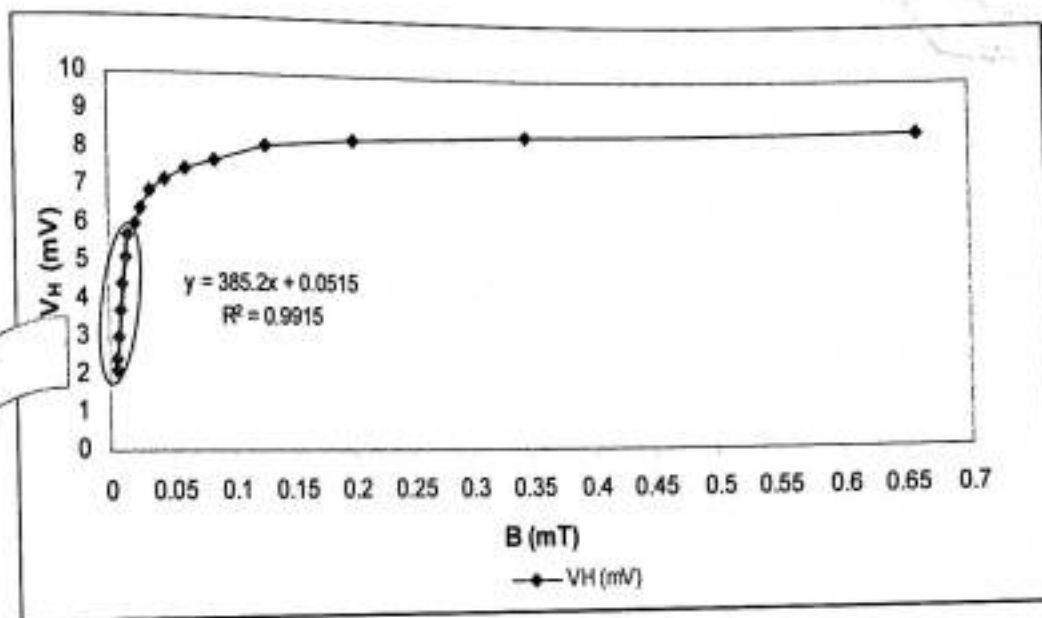


(i)

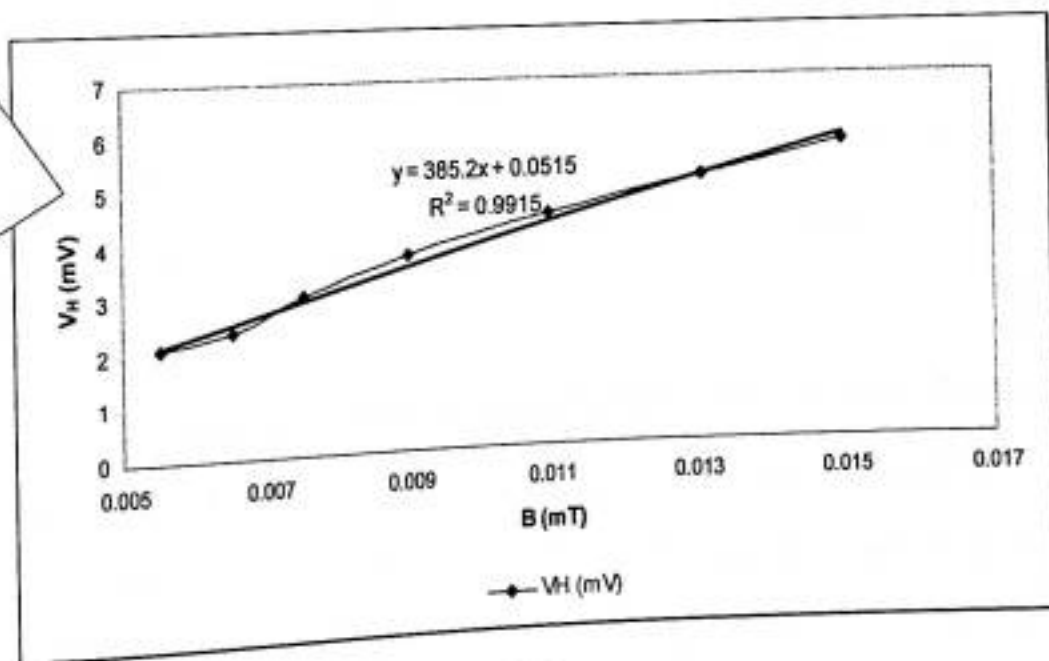


(ii)

Grafik IV.5 Hubungan antara Kerapatan Fluks Magnetik (B) vs Tegangan Hall (V_H) pada sampel 2, dengan arus (I) = 30 mA.



(i)



(ii)

Grafik IV.6 Hubungan antara kerapatan fluks magnetik vs Tegangan Hall (V_H) pada sampel 2, dengan arus (I) = 20 mA

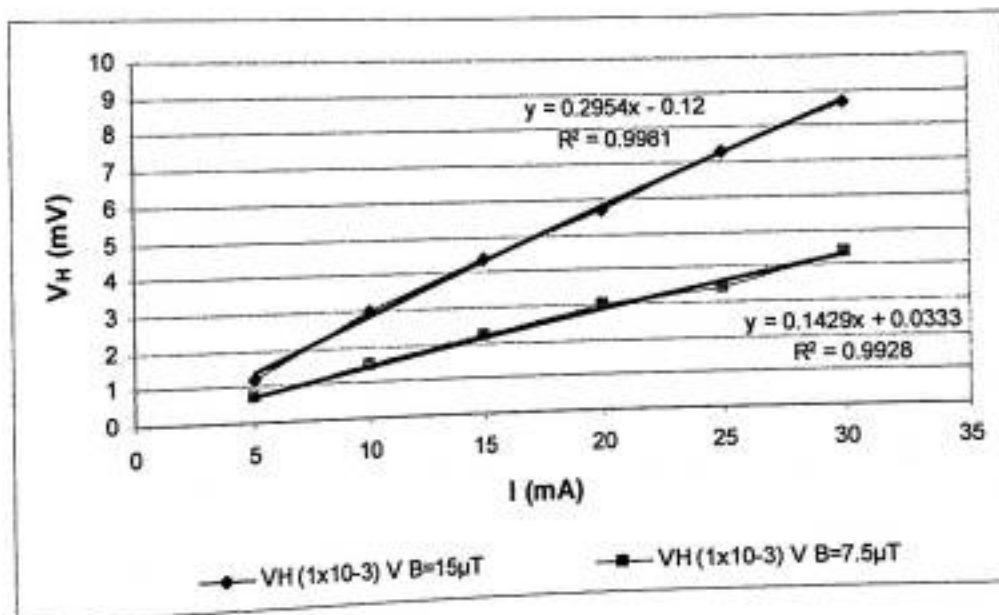
Grafik IV.5 (ii) dan IV.6 (ii) diatas menunjukkan hubungan linier antara tegangan Hall dan rapat fluks magnetik, yang diperlihatkan dalam metode regresi yaitu dengan memasukkan nilai B pada X dan V_H pada Y pada persamaan IV.1, IV.2, dan IV.3, sehingga diperoleh persamaan regresi $Y^* = 588,39 X - 0,0251$, kemiringan grafik $b = 588,39 VT^{-1}$ pada grafik IV.5. Konstanta Hall sampel 2 ditentukan dengan menggunakan persamaan IV.5, dengan tebal yaitu $d = 0,7 \text{ mm}$ dan $I = 30 \text{ mA}$ sehingga $R_H = 13,53297 \text{ m}^2/As$. Konsentrasi hole (p) diperoleh dengan menggunakan persamaan IV.6, yaitu $p = 1,2275 \times 10^{17} \text{ m}^{-3}$. Konduktivitas (σ_0) dihitung dengan menggunakan persamaan III.2, dengan panjang $l = 0,012 \text{ m}$, luas permukaan $A = 7,5 \times 10^{-5} \text{ m}^2$, dan resistansi sampel $R_o = 13,5 \text{ K}\Omega$, sehingga diperoleh $\sigma_0 = 0,012345679 \times 10^3 \Omega^{-1}m^{-1}$. penentuan mobilitas Hall μ_H pembawa muatan dihitung dengan menggunakan persamaan II.21, diperoleh $\mu_H = 0,16707 \text{ m}^2/Vs$.

Untuk grafik IV.6 mempunyai persamaan regresi $Y^* = 385,2 X + 0,0515$ dengan kemiringan grafik $b = 385,2 VT^{-1}$. Karena menggunakan sampel yang sama dengan perbedaan hanya pada masukan arus pada sampel yaitu $I = 10 \text{ mA}$ penentuan karakterisasi sama dengan diatas, sehingga diperoleh konstanta Hall $R_H = 13,482 \text{ m}^2/As$, Konsentrasi pembawa muatan $p = 1,123211 \times 10^{17} \text{ m}^{-3}$, Konduktivitas sampel $\sigma_0 = 0,012345679 \times 10^3 \Omega^{-1}m^{-1}$, dan Mobilitas Hall pembawa muatan $\mu_H = 0,1664 \text{ m}^2/Vs$.

Karena menggunakan sampel yang sama, nilai karakterisasi pada grafik IV.5 dan IV.6 hampir mendekati. Data pengukuran dapat dilihat pada lampiran II, tabel IV.4 dan IV.5.

ii. Pengukuran tegangan sebagai fungsi dari arus

Tegangan yang terukur pada rapat fluks magnetik konstan yaitu $B = 15 \mu T$ pada jarak 14 cm dan $B = 7,5 \mu T$ pada jarak 18 cm , dengan arus yang berubah-ubah.



Grafik IV.7. Grafik hubungan antara Tegangan Hall vs Arus listrik dengan rapat fluks magneti konstan yaitu pada $B = 15 \mu T$ dan $B = 7,5 \mu T$.

Grafik IV.7 menunjukkan hubungan antara Tegangan Hall vs Arus listrik, pada rapat fluks magnetik konstan $B = 15 \mu T$ dan $B = 7,5 \mu T$. Dengan hubungan semakin besar arus listrik yang diberikan maka tegangan Hall juga akan meningkat. Penyajian grafik menggunakan metode regresi, dengan memasukkan nilai I pada X dan V_H pada Y kedalam persamaan IV.1, IV.2, dan IV.3 maka diperoleh persamaan regresi linier $Y^* = 0,295 X - 0,12$ pada rapat fluks magnetik $B = 15 \mu T$, sehingga

kemiringan grafik $b = 0,295 VT^{-1}$. dengan menggunakan persamaan IV.7, diperoleh konstanta Hall sampel $R_H = 13,78533 m^3/As$, konsentrasi hole diperoleh dengan menggunakan persamaan IV.6 yaitu sebesar $p = 4,5281 \times 10^{17} m^{-3}$, konduktivitas $\sigma_0 = 0,012345679 \times 10^3 \Omega^{-1}m^{-1}$, dan mobilitas Hall $\mu_H = 0,1702 m^2/Vs$, masing-masing diperoleh dengan menggunakan persamaan III.2 dan II.21.

Pada $B = 7,5 \mu T$, dengan persamaan regresi $Y^* = 0,1429 X + 0.033$, sehingga kemiringan grafik $b = 0,1429 VT^{-1}$. Dengan menggunakan perumusan yang sama di atas maka diperoleh $R_H = 13,33733 m^3/As$, Konsentrasi pembawa muatan $p = 4,6803 \times 10^{17} m^{-3}$, Konduktivitas $\sigma_0 = 0,012345679 \times 10^3 \Omega^{-1}m^{-1}$, dan mobilitas Hall pembawa muatan $\mu_H = 0,1647 m^2/Vs$.

Dari hasil karakterisasi sampel 2 yang diperoleh berdasarkan pada data grafik IV.5, IV.6, dan IV.7, mempunyai nilai yang sangat mendekati. Data pada grafik IV.7 dapat dilihat pada lampiran II, tabel 6.

Sampel semikonduktor monokristal

Semikonduktor monokristal merupakan semikonduktor yang hanya mempunyai satu orientasi kristal yaitu orientasi (111) atau (000) saja. karena tidak terdapat batas kristal sehingga terlihat seperti cermin.

c. Sampel 3

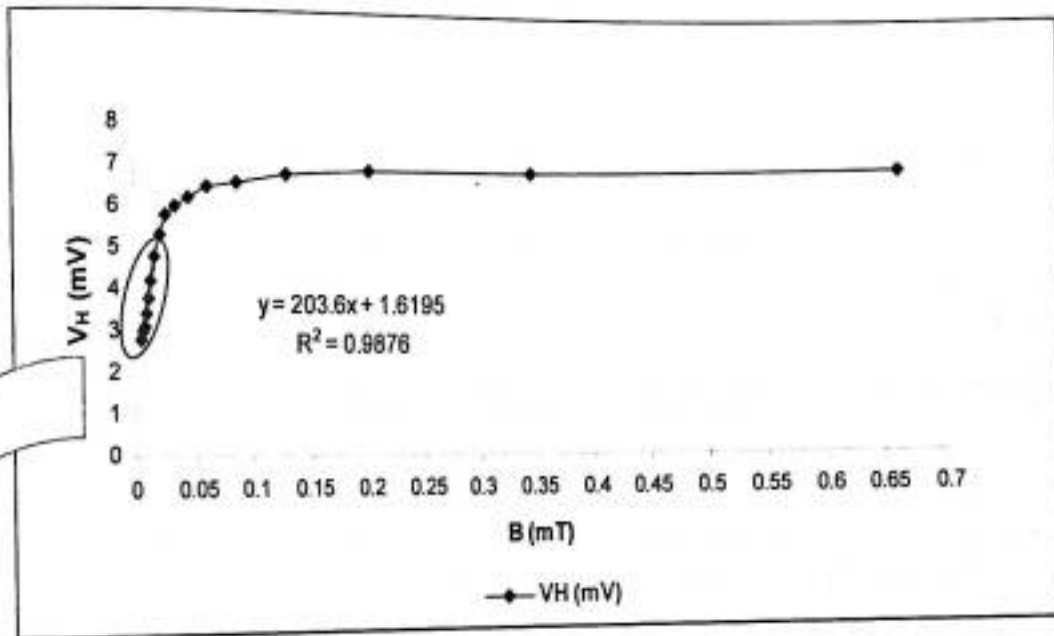
i. Pengukuran tegangan sebagai fungsi dari rapat fluks magnetik

Sampel 3 merupakan sampel semikonduktor monokristal, dari hasil pengamatan pengukuran tegangan Hall dan arus listrik sampel ini termasuk kedalam jenis semikonduktor ekstrinsik tipe *p* yaitu dengan hole sebagai pembawa muatan mayoritas.

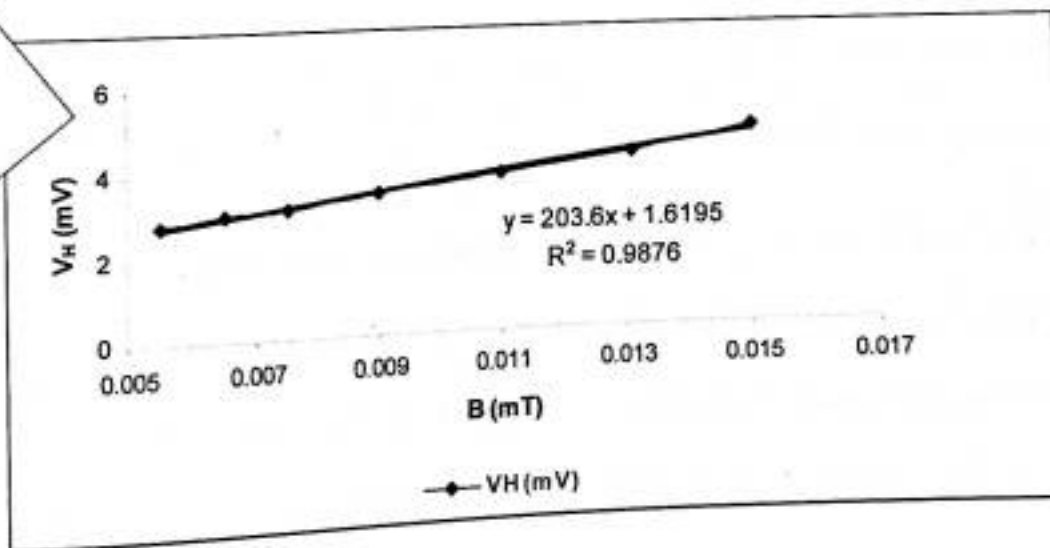
Grafik IV.8 (i) di bawah menunjukkan hubungan antara Tegangan Hall vs Rapat fluks magnetik yaitu semakin besar rapat fluks magnetik maka tegangan Hall akan semakin besar pula. Karena adanya hubungan linier antara B dan V_H berdasarkan persamaan II.30, maka hanya terdapat tujuh data terakhir yang linier. Hubungan ini secara jelas digambarkan pada grafik IV.8 (ii).

Grafik IV.8 (ii) menunjukkan hubungan linier antara B dan V_H pada tujuh data terakhir. Penyajian grafik dengan menggunakan metode regresi, dari grafik diperoleh persamaan regresi linier $Y^* = 203,6X + 1,6195$, dengan kemiringan grafik $b = 203,6 VT^{-1}$. Konstanta Hall sampel dihitung dengan menggunakan persamaan IV.5, dengan tebal sampel $d = 0,3 \text{ mm}$ dan $I = 1 \mu A$, maka konstanta Hall $R_H = 6,1 \cdot 10^4 \text{ m}^3/As$, konsentrasi pembawa muatan dengan persamaan IV.6 diperoleh $p = 1,0233 \times 10^{14} \text{ m}^{-3}$. konduktivitas ditentukan menggunakan

persamaan III.3, dengan $l = 10 \text{ mm}$, $A = 100 \text{ mm}^2$, $R_0 = 14 \text{ M}\Omega$ sehingga $\sigma_0 = 7,143 \times 10^{-6} \text{ }\Omega^{-1}\text{m}^{-1}$. Mobilitas pembawa muatan $\mu_H = 0,436 \text{ m}^2/\text{Vs}$, yang ditentukan dengan persamaan II.21. Untuk sampel 3 pengambilan data untuk arus bervariasi tidak dapat dilakukan karena resistansi sampel yang sangat besar sehingga masukan arus pada sampel menjadi sangat kecil dan keterbatasan alat ukur. Data hasil pengamatan sampel 3 dapat dilihat pada lampiran III, tabel IV.7.



(i)



(ii)

Grafik IV.8 Hubungan antara kerapatan fluks magnetik vs tegangan Hall pada sampel 3, dengan arus (I) = 1 μ A

IV.6 Analisa Hasil Data Pengukuran

Berikut merupakan hasil perhitungan dari data pengukuran tegangan Hall dan arus listrik sebagai karakterisasi dari ketiga sampel semikonduktor.

Tabel I. Karakterisasi pembawa muatan pada jarak bervariasi (14 cm – 20 cm), yaitu pada B variasi dan I konstan

Sampel semikonduktor	R_H (m^3/As)	P (m^{-3})	σ_o ($\Omega^{-1}m^{-1}$)	μ_H (m^2/Vs)
I	10,074	$6,19598 \times 10^{17}$	0,007407	0,0745
II	13,53297	$1,2275 \times 10^{17}$	0,012345679	0,16707
III	$6,1 \times 10^4$	$1,0233 \times 10^{14}$	$7,143 \times 10^{-6}$	0,436

Tabel I menunjukkan nilai karakterisasi pembawa muatan dari ketiga sampel semikonduktor. Hal yang sangat mempengaruhi nilai karakterisasi sampel tersebut yaitu konsentrasi pembawa muatan mayoritas. Semakin besar konsentrasi pembawa muatan mayoritas, konstanta Hall akan semakin kecil yang menyebabkan kecilnya mobilitas Hall.

Tabel II. Karakterisasi pembawa muatan pada $B = 15 \mu\text{T}$ (jarak 14 cm)

Sampel	I (A)	V_H (mV)	R_H (m^3/As)	P (m^{-3})	σ_o ($\Omega^{-1}\text{m}^{-1}$)	μ_H (m^2/Vs)
I	20×10^{-3}	5,4	10,44	$5,97912 \times 10^{17}$	0,007407	0,07733
II	30×10^{-3}	8,7	13,533	$4,6126 \times 10^{17}$	0,012345679	0,1671
III	1×10^{-6}	4,8	$9,6 \times 10^4$	$6,5023 \times 10^{14}$	$7,143 \times 10^{-6}$	0,686

Tabel III. Karakterisasi pembawa muatan pada $B = 7.5 \mu\text{T}$ (jarak 18 cm)

Sampel	I (A)	V_H (mV)	R_H (m^3/As)	P (m^{-3})	σ_o ($\Omega^{-1}\text{m}^{-1}$)	μ_H (m^2/Vs)
I	20×10^{-3}	2,8	10,82657	$5,76563 \times 10^{17}$	0,007407	0,082
II	30×10^{-3}	4,4	13,68897	$4,56 \times 10^{17}$	0,012345679	0,169
III	1×10^{-6}	3,1	$12,4 \times 10^4$	$5,034 \times 10^{13}$	$7,143 \times 10^{-6}$	0,886

Dari tabel II dan III terlihat adanya perbedaan nilai karakterisasi yang begitu kecil pada tiap sampel, dengan pemberian rapat fluks magnet yang kecil menyebabkan peningkatan mobilitas Hall pada pembawa muatan. Hal ini sesuai dengan perumusan hubungan antara mobilitas Hall dan rapat fluks magnetik yang berbanding terbalik.

Hal yang mempengaruhi sehingga hasil penelitian yang diperoleh tidak cukup tepat dan akurat adalah pembacaan alat ukur berupa multimeter digital yang kurang peka dengan nilai yang cenderung tidak konstan dan penggunaan Elektromagnetik Field tester (EMF tester) yang sangat peka terhadap medan magnet sekelilingnya.

BAB V

PENUTUP

V.1 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Metode efek Hall dapat digunakan untuk menentukan nilai kerapatan fluks magnetik. Semakin jauh jarak antara kumparan maka kerapatan fluks magnetik akan semakin kecil.
2. Sampel semikonduktor I dan II merupakan semikonduktor polikristal, sedang sampel III merupakan semikonduktor monokristal. Nilai konstanta Hall sampel semikonduktor yang diperoleh bergantung pada konsentrasi pembawa muatan. Semakin besar konsentrasi pembawa muatan pada sampel maka konstanta Hallnya akan semakin kecil.
Jenis dan tipe dari hasil pengamatan pengukuran ketiganya merupakan jenis semikonduktor ekstrinsik tipe p artinya mempunyai hole sebagai pembawa muatan mayoritas.
3. Mobilitas Hall bergantung pada konsentrasi pembawa muatan yaitu semakin besar konsentrasi pembawa muatan pada sampel, maka mobilitas Hallnya akan semakin kecil.

V.2 S A R A N

1. Untuk penelitian selanjutnya menggunakan sampel semikonduktor monokristal yang mempunyai resistansi yang kecil, agar data tegangan Hall sebagai fungsi dari arus listrik dapat diperoleh.
2. Menentukan tegangan Hall sebagai fungsi dari suhu. Dengan mengetahui konduktivitas sampel, maka energi gap sampel semikonduktor tersebut dapat diketahui

DAFTAR PUSTAKA

- [1.] Asrul. Firawati, 2004, *Penentuan Kerapatan Fluks Magnetik dengan Metode Efek Hall*, Universitas Hasanuddin, Makassar
- [2.] Chattopadhyay.D dan Rakshit P.C, 1989, *Dasar Elektronika*, Universitas Indonesia, Jakarta.
- [3.] Hayt William H. JR dan The How Liang, 1997, *Elektromagnetika Teknologi*, PT Gelora Aksara Patama, Erlangga, Jakarta
- [4.] Rio S. Reka, Ir dan Dr. Masamori Iida, 1982, *Fisika dan Teknologi Semikonduktor*, PT Pradiya Paramita, Jakarta
- [5.] Sze Z.M dan Hill Murray, 1985, *Semiconductor Devices Physics and Technology*, New Jersey
- [6.] Sutrisno, 1985, *Elektronika Teori Dasar dan Penerapannya Jilid I*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- [7.] Tipler, 1996, *Fisika Untuk Sains dan Teknik Jilid 2*, PT Gelora Aksara Pratama, Erlangga, Jakarta
- [8.] PHYWE, University Laboratory Experiments PHYSICS, Amerika Serikat