

# Menentukan Energi Gap Semikonduktor Silikon Melalui Pengukuran Resistansi Bahan pada Suhu Beragam

JORENA

Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Sriwijaya, Sumatera Selatan, Indonesia

**INTISARI:** Telah dilakukan penentuan energi gap dengan cara mengukur resistansi  $R$  bahan semikonduktor pada suhu beragam. Resistivitas dan konduktivitas semikonduktor dipengaruhi oleh suhu; semakin tinggi suhu, resistivitas semakin kecil sedangkan konduktivitas semakin besar. Grafik  $\ln \sigma$  versus  $1/T$  adalah kurva linear dengan kemiringan  $b = -5893,9$  yang merupakan nilai  $-E_g/(2k_B)$ . Karena itu diperoleh nilai  $-E_g$  sebesar 1,01 eV. Nilai ini tidak jauh dari nilai energi gap secara teori untuk bahan semikonduktor intrinsik, yaitu 1,11 eV.

**KATA KUNCI:** semikonduktor, energi gap, konduktivitas

**ABSTRACT:** the determination of the gap energy has been done by measuring the resistance  $R$  of semiconductor material in varied temperature. The resistivity and conductivity are affected by temperature. The resistivity will decrease and on the other hand the conductivity will rise by increasing temperature. The graph of  $\ln \sigma$  versus  $1/T$  will be linear with slope  $b = -5893,9$ . It is equal to  $-E_g/(2k_B)$  so can be obtained  $-E_g = 1,01$  eV. This result is similar to the theoretical result from the semiconductor material theory, *i.e.*  $-E_g = 1,11$  eV.

**KEYWORDS:** semiconductor, gap energy, conductivity

E-MAIL: jorena\_bangun@yahoo.com

Januari 2009

## 1 PENDAHULUAN

Semikonduktor merupakan bahan dasar pembuatan komponen aktif elektronika seperti dioda, transistor, dan IC. Semikonduktor juga merupakan bahan yang memiliki kehantaran di antara konduktor dan isolator ( $10^{-8} - 10^3 (\Omega\text{m})^{-1}$ ). Silikon dan germanium, yang termasuk kelompok IV dalam sistem periodik, merupakan semikonduktor yang paling banyak digunakan sebagai bahan dasar komponen elektronika, karena keduanya banyak tersedia di alam<sup>[1]</sup>. Di samping kedua bahan itu, juga digunakan bahan semikonduktor paduan, di antaranya silikon-karbon, indium-fosfat, serta berbagai senyawa lainnya.

Pada umumnya, bahan semikonduktor peka terhadap suhu, karena itu suhu kerja alat sangat perlu diperhatikan.

Pembawa muatan mayoritas di dalam semikonduktor tipe- $p$  dan tipe- $n$ , berturut-turut, adalah lubang (*hole*) dan elektron. Sesungguhnya pembawa muatan di dalam semikonduktor tipe- $p$  bukan hanya lubang saja tetapi juga sejumlah kecil elektron. Sebaliknya, di dalam semikonduktor tipe- $n$  juga terdapat sejumlah kecil lubang sebagai pembawa muatan. Pembawa muatan yang berjumlah besar dinamakan pem-

bawa muatan mayoritas dan yang berjumlah kecil dinamakan pembawa muatan minoritas karena konsentrasi lubang dan elektron sama besar<sup>[2]</sup>. Semikonduktor yang demikian itu dinamakan semikonduktor intrinsik dan konsentrasi pembawa muatannya dinamakan konsentrasi intrinsik.

Selanjutnya hanya akan di pelajari gejala hantaran (konduksi) listrik di dalam semikonduktor intrinsik yang berasal dari elektron pada pita konduksi dan lubang pada pita valensi.

## 2 KEGAYUTAN KONDUKTIVITAS PADA SUHU

Di dalam semikonduktor intrinsik konsentrasi elektron pada pita energi konduksi ( $n$ ) sama dengan konsentrasi lubang pada pita energi valensi ( $p$ ) sehingga<sup>[3]</sup>

$$n_i = p_i = 2 \left( \frac{2\pi k_B T}{h^2} \right)^{3/2} (m_e^* m_h^*)^{3/4} e^{-E_g/(2k_B T)}, \quad (1)$$

dengan indeks  $i$  menyatakan "intrinsik",  $h$  adalah tetapan Planck,  $m_e^*$  dan  $m_h^*$  berturut-turut adalah massa efektif elektron dan lubang serta  $E_g$  adalah celah energi.

Konduktivitas listrik ( $\sigma$ ) semikonduktor intrinsik berkaitan dengan mobilitas elektron ( $\mu_e$ ) dan mobilitas lubang ( $\mu_h$ ) yang ungkapannya dapat dinyatakan sebagai

$$\sigma = e(n\mu_e + p\mu_h) = en_i(\mu_e + \mu_h). \quad (2)$$

Pers.(2) menunjukkan bahwa konduktivitas bergantung pada konsentrasi pembawa muatan instrinsik.

Selanjutnya, karena konsentrasi instrinsik dipengaruhi oleh suhu maka  $\sigma$  dapat dinyatakan dalam persamaan

$$\sigma = 2e(\mu_e + \mu_h) \left( \frac{2\pi k_B T}{h^2} \right)^{3/2} (\mu_e^* \mu_h^*)^{3/4} e^{-E_g/(2k_B T)}. \quad (3)$$

Walaupun mobilitas lubang dan elektron sendiri bergantung pada suhu namun ketergantungan konduktivitas pada suhu didominasi oleh faktor eksponensial  $\exp(-E_g/(2k_B T))$  sehingga<sup>[3]</sup>

$$\sigma = \sigma_0 e^{-E_g/(2k_B T)}, \quad (4)$$

dengan  $\sigma_0$  adalah tetapan kesebandingan. Pengambilan nilai logaritma alamiah kedua ruas pers.(4) memberikan

$$\ln \sigma = \ln \sigma_0 - \left( \frac{E_g}{2k_B} \right) \frac{1}{T}, \quad (5)$$

yang berarti bahwa pengukuran konduktivitas pada berbagai suhu akan menghasilkan grafik  $\ln \sigma$  versus  $1/T$ . Lebar celah energi  $E_g$  dapat ditentukan dari kemiringan (*slope*) grafik tersebut.

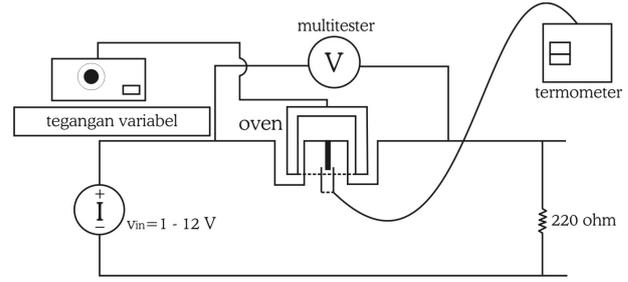
Setiap bahan semikonduktor mempunyai energi gap yang berbeda-beda hingga pada suhu kamar. Silikon mempunyai energi gap 1,1 eV dan germanium mempunyai energi gap 0,7 eV. Secara umum energi gap bahan semikonduktor berkisar antara 0,2 eV sampai 2,5 eV.

### 3 PENGUKURAN RESISTANSI PADA SUHU BERAGAM

Konduktivitas semikonduktor dapat ditentukan pada tiap suhu  $T$  dengan cara mengukur besarnya hambatan  $R$  suatu cuplikan bahan semikonduktor. Bila  $I$  adalah arus yang mengalir melalui batang semikonduktor dengan luas penampang  $A$  dan panjang  $L$  yang terpasang pada tegangan  $V$  dengan  $R = V/I$  maka

$$\sigma = \frac{L}{RA} = \frac{IL}{VA}. \quad (6)$$

Cuplikan bahan semikonduktor, sumber arus AC, voltmeter, dan ammeter dirangkai menurut Gambar 1 (di dalam eksperimen ini digunakan arus AC untuk memperkecil pengaruh *rectifying contact*)<sup>[4]</sup>.



GAMBAR 1: Rangkaian pengukuran resistansi untuk berbagai suhu<sup>[5]</sup>

Tegangan masukan  $V_{in}$  dipasang 1,5 volt, panjang cuplikan semikonduktor  $1,5 \times 10^{-2}$  m dengan luas penampang  $3,6 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>. Pengamatan suhu dimulai pada suhu jauh di bawah suhu kamar dengan cara menyelupkan cuplikan ke dalam campuran air dan es. Suhu cuplikan dapat dinaikkan dengan cara mengangkat dari bejana pendingin dan bila telah mencapai suhu kamar dapat mulai menggunakan alat pemanas. Pengamatan dilakukan untuk interval suhu sekurangnya 5°C. Untuk setiap interval suhu yang sudah ditetapkan akan dibaca tegangan  $V$  (terbaca pada voltmeter) dan kuat arus  $I$  (terbaca pada ammeter) yang mengalir melalui cuplikan bahan semikonduktor, sehingga resistansi dapat dihitung dengan menggunakan rumus  $R = V/I$ . Konduktivitas semikonduktor dapat ditentukan pada tiap suhu  $T$  dengan mengetahui besarnya hambatan  $R$ <sup>[4]</sup>.

Dari Table 1 diperlihatkan bahwa semakin tinggi suhu, resistansi  $R$  semakin kecil.

### 4 MENENTUKAN KONDUKTIVITAS DAN ENERGI GAP

Konduktivitas listrik semikonduktor dapat dihitung dengan menggunakan pers.(6) untuk setiap suhu  $T$  dengan  $A = 3,6 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup> dan panjang  $L = 1,5 \times 10^{-2}$ .

Dari Table 2 diperoleh grafik  $\ln \sigma$  versus  $1/T$  sesuai dengan pers.(5); garis lurus  $y = a + bx$  dengan  $\ln \sigma$  sebagai  $y$ ,  $\ln \sigma_0 = a$ ,  $-E_g/(2k_B) = b$ , dan  $1/T = x$ .

Gambar 2 menunjukkan grafik persamaan linier, dengan  $\ln \sigma$  turun secara linier terhadap  $1/T$ . Dari grafik itu diperoleh persamaan linier  $y = -5893,9x + 12,29$  dengan koefisien korelasi 0,9967. Kemiringan  $b = -5893,9$  yang merupakan nilai  $-E_g/(2k_B)$ , sehingga diperoleh nilai energi gap  $E_g$  sebesar 1,01 eV.

Energi gap untuk silikon intrinsik secara teori 1,11 eV, sementara dari hasil penelitian diperoleh energi gap 1,01 eV. Hal itu dapat terjadi karena beberapa faktor antara lain pembacaan skala pada arus listrik, tegangan, dan termometer.

TABEL 1: Perhitungan harga resistansi  $R$  bahan semikonduktor dan  $1/T$ <sup>[5]</sup>

$T$ (°C)	$T$ (°K)	$R$ Sampel ( $\Omega$ )
0	273	676818,181800
5	278	403719,346000
10	283	327594,235000
15	288	215264,317200
20	293	157866,449500
25	298	112739,403500
30	303	82361,677340
35	308	62446,043170
40	313	45933,786080
45	318	36934,582050
50	323	29387,895460
55	328	22208,416470
60	333	16404,109590
65	338	12597,372130
70	343	9967,072441
75	348	7217,968559
80	353	5461,710141
85	358	4385,558754
90	363	3104,165541
95	368	2365,578198
100	373	1952,491309

TABEL 2: Nilai  $\sigma$  yang dihitung dengan pers.(6)

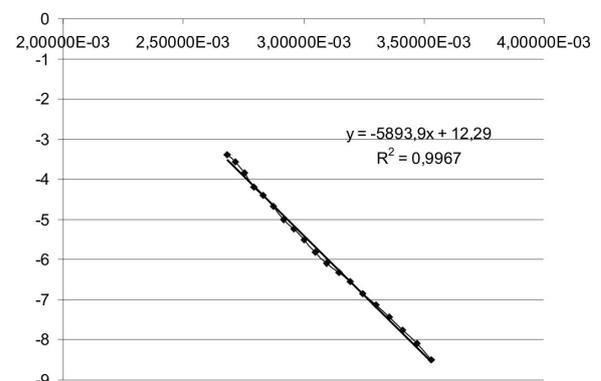
$\sigma$ ( $\Omega\text{m}$ ) <sup>-1</sup>	$\ln \sigma$	$1/T$ ( $\times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ )
9,85001E-05	-11,99804166	3,663
0,000165131	-11,48135887	3,597
0,000203504	-11,27241468	3,533
0,000309697	-10,85250558	3,472
0,000422298	-10,54238834	3,413
0,000591334	-10,20571791	3,355
0,000809438	-9,891759167	3,301
0,001067588	-9,614941795	3,247
0,001451365	-9,307839848	3,195
0,001804993	-9,089787217	3,145
0,002268508	-8,861221778	3,096
0,003001865	-8,581110239	3,049
0,004064022	-8,278170776	3,003
0,005292109	-8,014127144	2,958
0,006688691	-7,779925783	2,915
0,009236209	-7,457212396	2,873
0,012206189	-7,178400851	2,833
0,015201408	-6,958955793	2,793
0,021476518	-6,613383681	2,755
0,028181975	-6,341661313	2,717
0,034144411	-6,149744917	2,681

5 SIMPULAN

Dengan cara mengukur resistansi dan konduktivitas dapat diketahui energi gap bahan semikonduktor. Resistansi  $R$  dan konduktivitas  $\sigma$  bahan semikonduktor dipengaruhi oleh suhu. Semakin tinggi suhu, resistivitas semakin kecil dan konduktivitas semakin besar. Grafik  $\ln \sigma$  versus  $1/T$  merupakan kurva linear dengan kemiringan  $b = -5893,9$  yang merupakan nilai  $-E_g/(2k_B)$ . Pada percobaan ini diperoleh nilai energi gap  $E_g$  sebesar 1,01 eV. Nilai ini tidak jauh dari nilai energi gap secara teori untuk bahan semikonduktor intrinsik, yaitu 1,11 eV.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Greiner, R.A., 1961, *Semiconductor Devices and Applications*, McGraw-Hill book Co., inc., New york  
 [2] Omar, M.A., 1974, *Elementary solid State Physics Principles and Application*, Lowel Tecnological Institute  
 [3] Kittel, C., 1986, *Introduction to solid state physics*, edisi 6, John Wiley & Sons, new york  
 [4] Sze, S.M., 1985, *Physics of semiconductor devices*, Second ed., John Wiley and Sons  
 [5] Jorena, 2000, Penentuan energi gap bahan semikonduktor silikon, *Laporan Penelitian*, Proyek Penelitian Dana Rutin UNSRI



GAMBAR 2: Grafik  $\ln \sigma$  versus  $1/T$