

BAB - X SIFAT KEMAGNETAN BAHAN

Tujuan:

- ◆ Menghitung momen dipol dan suseptibilitas magnet untuk logam diamagnetik.
- ◆ Mengklasifikasikan logam paramagnetik.

A. MOMEN DIPOL DAN SUSEPTIBILITAS MAGNET

Kemagnetan tidak dapat dipisahkan dari mekanika kuantum, lebih tepatnya sistem klasik dalam setimbang termal dapat menunjukkan tidak adanya momen magnet pada saat di medan magnet.

Momen dipol magnet pada sebuah atom bebas berasal dari 3 sumber utama, yaitu:

1. Spin Elektron (dari elektron yang disubstitusi)
 2. Orbital elektron
 3. Perubahan momen magnet orbit yang diinduksi oleh medan magnet luar.
- sumber 1) dan 2) memberikan pengaruh terhadap kontribusi paramagnetik untuk pemagnetisasian, dan sumber ketiga memberikan kontribusi diamagnetik.

Magnetisasi (M) didefinisikan sebagai momen dipol magnet (μ) per satuan volume (V) dan secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$M = \frac{\mu}{V} \dots\dots\dots 1)$$

Untuk Superkonduktor medan magnet yang berkontribusinya adalah:

$$B = B_0 + 4\pi M = 0 \text{ atau } \frac{M}{B_a} = -\frac{1}{4\pi} \text{ (cgs)} \dots\dots\dots 2)$$

$$B = B_0 + \mu_0 M = 0 \text{ atau } \frac{M}{B_a} = -\frac{1}{\mu} \text{ (SI)} \dots\dots\dots 3)$$

Sehingga magnetisasinya adalah:

$$M = -\frac{B}{4\pi} \text{ (cgs)} \dots\dots\dots 4)$$

Bila susceptibilitas medan magnet (daya tembus medan magnet) per satuan volume didefinisikan sebagai (χ), maka secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\chi = \frac{M}{B} = \frac{\mu}{VB} \text{ (cgs) 5)}$$

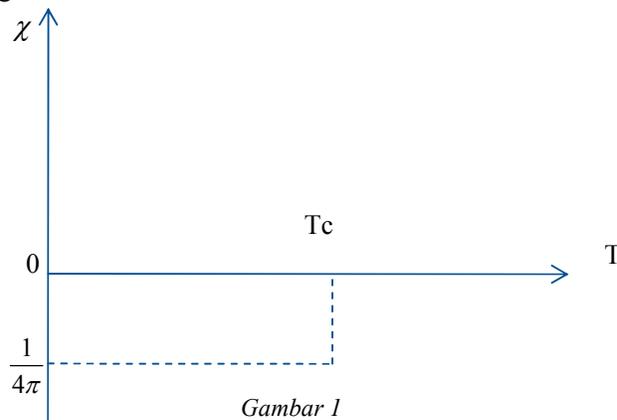
$$\chi = \mu_0 \frac{M}{B} = \mu_0 \frac{\mu}{VB} \text{ (mks) 6)}$$

dimana B adalah intensitas medan magnet makroskopik. Pada kedua sistem tersebut χ tidak berdimensi. Kita kadang-kadang menggunakan $\frac{M}{B}$ untuk menyatakan susceptibilitas tanpa menspesifikasikan sistem satuan. Biasanya susceptibilitas didefinisikan dengan satuan massa atau mol dari suatu zat. Dan untuk susceptibilias molar didefinisikan χ_M ; momen magnetik per gram ditulis σ .

Untuk Superkonduktor, susceptibilitasnya adalah:

$$\chi = -\frac{M}{B} = -\frac{B/4\pi}{B} = -\frac{1}{4\pi} \text{ (cgs) 7)}$$

Grafik susceptibilitas terhadap suhu untuk superkonduktor, dapat dilihat sebagai berikut:



Dimana T_c adalah suhu kritis dari suatu superkonduktor.

Pengelompokkan zat magnetik berdasarkan susceptibilitasnya, adalah:

1. Zat dengan susceptibilitas bernilai negatif disebut diamagnetik ($\chi < 0$).
2. Zat dengan susceptibilitas positif disebut paramagnetik ($\chi > 0$).

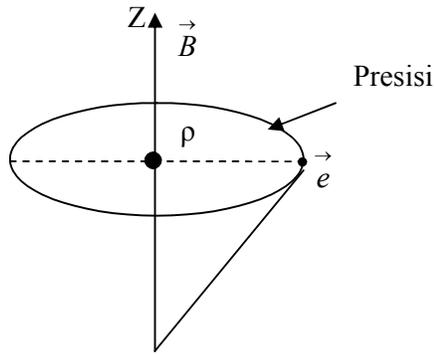
B. Persamaan Langevin Diamagnetik

Pada elektromagnetik, kita telah mengenal Hukum lenz : *Saat fluks magnetik pada rangkaian listrik berubah, arus imbas induksi akan muncul dalam arah sedemikian rupa sehingga arah tersebut menentang perubahan yang menghasilkannya.* Pada superkonduktor atau pada orbit elektron dalam atom, arus induksi sepanjang medannya ada. Medan magnet arus induksi berlawanan arah dengan medan magnet luar dan momen medan magnet yang dihubungkan dengan arus adalah momen diamagnetik. Pada logam normal ada kontribusi diamagnetik dari konduksi elektron dan diamagnetisnya tidak dirusak oleh benturan elektron.

Perlakuan diamagnetik atom dan ion adalah dengan menggunakan **Teorema Larmor**, yaitu : *Dalam sebuah medan magnet, gerak elektron di sekitar inti adalah sama dengan gerak tanpa medan magnet, kecuali untuk superposisi dari sebuah presisi elektron dengan frekuensi sudut :*

$$\left. \begin{aligned} \omega &= \frac{eB}{2mc} \text{ (cgs)} \\ \omega &= \frac{eB}{2m} \text{ (mks)} \end{aligned} \right\}$$

Frekuensi Larmor untuk gerak presisi



Gambar 2

Bila arus listrik akibat gerak presisi dari Z buah elektron adalah ekivalen dengan arus listrik (I). Dimana dalam satuan SI, arus adalah:

$$\begin{aligned} I &= (\text{muatan}) \times (\text{frekuensi}) \\ &= (-Ze) \left(\frac{\omega}{2\pi} \right) \\ &= (-Ze) \left(\frac{1}{2\pi} \frac{eB}{2m} \right) \dots\dots\dots 8) \end{aligned}$$

muatan elektron

Momen magnet (μ) pada rangkaian tertutup adalah:

$$\begin{aligned} \mu &= (\text{arus}) \times (\text{luas rangkaian tertutup}) \dots\dots\dots 9) \\ &= I \times A \end{aligned}$$

dimana luas loop yang berjari-jari ρ adalah $\pi\rho^2$. Sehingga persamaan momen magnetiknya adalah:

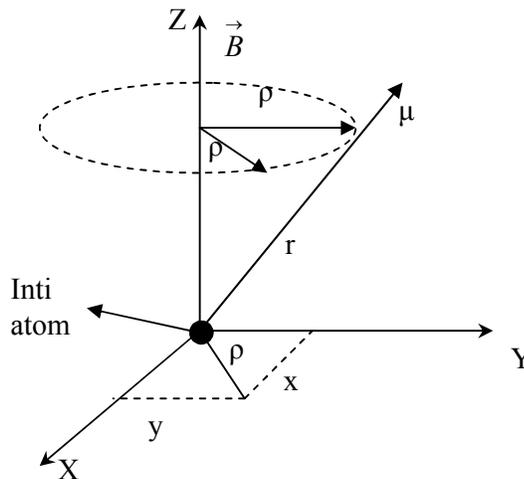
$$\mu = I \times A$$

$$\mu = (-Ze) \left(\frac{1}{2\pi} \frac{eB}{2m} \right) \pi\rho^2$$

$$\mu = -Ze^2 \frac{B}{4m} \langle \rho^2 \rangle \quad (\text{SI}) \quad \dots\dots\dots 10)$$

Untuk cgs adalah:

$$\mu = -Ze^2 \frac{B}{4mc^2} \langle \rho^2 \rangle \quad \dots\dots\dots 11)$$



Gambar 3

Dimana:

$$\langle \rho^2 \rangle = \langle x^2 \rangle + \langle y^2 \rangle \quad \dots\dots\dots 12)$$

$$\begin{aligned} \langle r^2 \rangle &= \langle \rho^2 \rangle + \langle z^2 \rangle \\ &= \langle x^2 \rangle + \langle y^2 \rangle + \langle z^2 \rangle \quad \dots\dots\dots 13) \end{aligned}$$

Untuk distribusi elektron yang simetris bola, $\langle x^2 \rangle = \langle y^2 \rangle = \langle z^2 \rangle$ sehingga:

$$\left. \begin{aligned} \langle r^2 \rangle &= 3\langle x^2 \rangle \\ \langle \rho^2 \rangle &= 2\langle x^2 \rangle \end{aligned} \right\} \frac{\langle r^2 \rangle}{\langle \rho^2 \rangle} = \frac{3}{2}$$

Sehingga $\langle r^2 \rangle = \frac{3}{2} \langle \rho^2 \rangle$ 14)

atau $\langle \rho^2 \rangle = \frac{2}{3} \langle r^2 \rangle$ 15)

Dari persamaan di atas, maka:

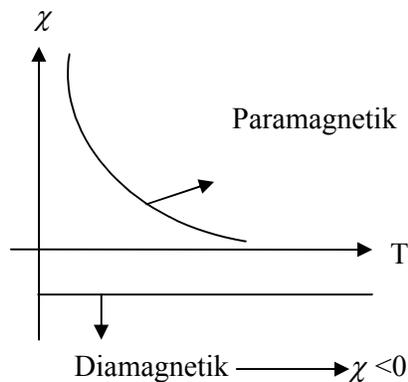
$$\begin{aligned} \mu &= -Ze^2 \frac{B}{4m} \langle \rho^2 \rangle \\ &= -Ze^2 \frac{B}{4m} \frac{2}{3} \langle r^2 \rangle \\ &= -Ze^2 \frac{B}{6m} \langle r^2 \rangle \quad (\text{mks}) \quad \dots\dots\dots 16) \end{aligned}$$

Suseptibilitas per satuan volume untuk N = jumlah atom per satuan volume dan M= jumlah momen dipol per volume adalah:

$$\begin{aligned} \chi &= \frac{M}{B} \\ &= \frac{N\mu}{B} \\ &= \frac{N}{B} - Ze^2 \frac{B}{6m} \langle r^2 \rangle \\ &= -\frac{ZNe^2}{6m} \langle r^2 \rangle \quad \dots\dots\dots 17) \end{aligned}$$

Persamaan Langevin untuk diamagnetisme

Bila diplot ke grafik hubungan χ (suseptibilitas) dengan T (suhu) diperoleh grafik seperti dibawah ini :

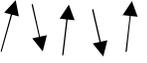
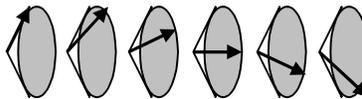


Gambar 4

C. KLASIFIKASI LOGAM PARAMAGNETIK

Logam Paramagnetik adalah logam yang memiliki suseptibilitasnya bernilai positif ($\chi > 0$).

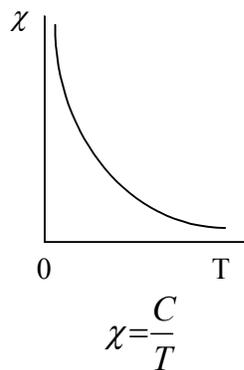
Adapun klasifikasi logam paramagnetik berdasarkan spin elektronnya adalah:

1. Ferromagnetik 
2. Anti Ferromagnetik 
3. Ferrimagnetik 
4. Canted Anti Ferromagnetik 
5. Helical Spin 

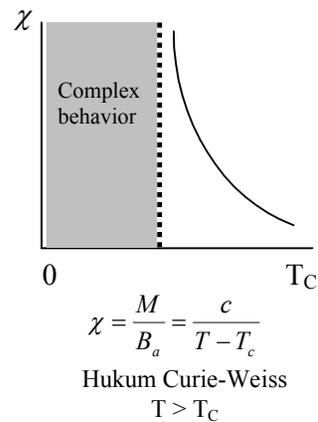
Sebuah ferromagnetik memiliki momen magnetik yang spontan, meski berada didaerah yang tidak terdapat medan magnetik. **Temperatur Curie (T_C)** adalah temperatur yang membedakan magnetisasi spontan, ini memisahkan paramagnetik pada daerah $T > T_C$ dan ferromagnetik pada daerah $T < T_C$.

Suseptibilitas paramagnetik ditentukan oleh hukum Curie $\chi = \frac{C}{T}$, dimana C adalah konstanta Curie.

Paramagnetik



Ferromagnetik



Gambar 5

Suseptibilitas untuk bahan ferromagnetik, adalah:

$$\chi = \frac{M}{B_a} = \frac{c}{T - T_c} \dots\dots\dots 18)$$

Keterangan:

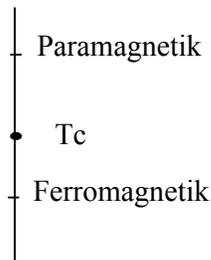
c = Konstanta Curie

T_c = Suhu Curie; “suhu yang memisahkan antara Ferromagnetik dengan non Ferromagnetik”.

Suseptibilitas memiliki kesingularan pada $T = T_c$, Pada temperatur ini (dan dibawahnya) terdapat magnetisasi spontan, karena jika χ infinit kita akan dapatkan finit M untuk B_a sama dengan nol. Dari persamaan di atas, kita dapatkan **hukum Curie-Weiss.**

$$\chi = \frac{C}{(T - T_c)} \text{ (CGS) } \dots\dots\dots 19)$$

dengan $T_c = C \cdot \chi$



Gambar 6

KETERANGAN GRAFIK:

- ◆ Sebuah bahan yang paramagnetik bisa berlaku sebagai ferromagnetik bila suhunya diturunkan sampai dengan suhu tertentu \implies “Suhu Curie”.
- ◆ Suatu bahan yang paramagnetik bisa berlaku sebagai anti ferromagnetik bila suhunya dinaikkan sampai dengan suhu tertentu \implies “Suhu Weiss”.