

# HIPOTESIS MONOPOL MAGNETIK

**Tugiyono Aminoto**

Email: tgy.aminoto@gmail.com

*Prodi Pendidikan Fisika, FKIP Universitas Jambi, Kampus Mendalo, Muaro Jambi, 36361, Indonesia*

## Abstrak

Telah dilakukan kajian/telaah mengenai hipotesis keberadaan monopol magnet. Adanya monopol listrik (muatan elementer) sebagai sumber listrik mengundang pertanyaan bagaimana halnya dengan magnet kemagnetan? Apakah magnet juga memiliki sumber magnet berupa monopol magnet? Kesimetrian antara kelistrikan dan kemagnetan (dalam persamaan Maxwell) akan menjadi semakin sempurna bila monopol magnet memang ada sepertihalnya monopol listrik. Terdapat sejumlah argumen yang secara ilmiah-teoritis mengisyaratkan eksistensi sumber muatan magnet yang terkuantisasi dan besarnya merupakan kelipatan muatan monopol magnetik. Besar muatan monopol magnet secara teoritis semata-mata hanya ditentukan oleh nilai tetapan-tetapan alam yaitu:  $q_m = h/\mu e$ .

**Kata Kunci:** Monopol magnet, Simetri, Persamaan Maxwell

## I. Pendahuluan

Pembahasan tentang sifat-sifat (peninjauan sumber medan) dan medan magnet saat ini hanya terbatas pada dipole magnet dan medan magnet yang timbul akibat muatan listrik yang bergerak relative terhadap kerangka acuan. Hal ini karena memang secara eksperimen belum ditemukan sumber medan magnet lain semisal monopol magnetik.

Sesuai kenyataan eksperimen bahwa sebuah batang magnet yang

terdiri dua kutub magnet/ dipole magnet (utara dan selatan) jika dipotong kecil-kecil sekalipun tetap mempunyai dua kutub. Hal ini sangat berbeda dengan sumber medan listrik dimana antara dipole listriknya dapat dipisahkan menjadi monopol listrik. Sifat sumber medan magnet yang selalu terdiri dua kutub ini jika disbanding dengan sumber medan listrik menimbulkan pertanyaan besar mengapa monopol listrik ada tetapi monopol magnetic tidak ada? Apakah keduanya (antara kelistrikan dan

kemagnetan) merupakan dua fenomena yang terpisah ataukah terdapat hubungan sebab-akibat?

Perkembangan terkini dalam bidang kelistrikan-kemagnetan diperoleh bahwa antara kelistrikan dan kemagnetan keduanya adalah bukan gejala yang saling bebas/terpisah. Kelistrikan dan kemagnetan saling terkait dalam satu kesatuan yang dinyatakan dalam persamaan Maxwell (yang merupakan hukum yang mendasari gejala listrik dan magnet). Satu hal yang mengundang pertanyaan adalah mengapa dalam persamaan Maxwell dinyatakan bahwa sumber muatan magnet (monopol magnetik) tidak ada (secara empirik).

Adanya monopol listrik (muatan elementer) sebagai sumber listrik menjadi dasar munculnya pertanyaan bagaimana halnya dengan magnet/kemagnetan? Apakah magnet juga memiliki sumber magnet berupa monopol magnet? Kesimetrian antara kelistrikan dan kemagnetan akan menjadi semakin sempurna bila monopol magnet memang ada

sepertihalnya monopol listrik (Song, 1996).

Hipotesis monopol magnetik pertama kali dikemukakan oleh fisikawan Dirac dalam teori partikel elementer dan dalam teori unifikasi GUT's (Grand Unified Theories) yang mengharuskan adanya monopol magnetik

Dengan keberadaan hipotesis monopol magnetik, hukum dasar fisika elektromagnetik dalam bentuk 4 persamaan Maxwell perlu dimodifikasi atau disesuaikan. Kenyataan tidak adanya monopol magnetik yang secara implisit termuat dalam persamaan Maxwell III yaitu:  $\text{div } \mathbf{B} = 0$  dan persamaan lainnya yang terkait. Jika keberadaan monopol magnet sebagai sumber medan magnet ada maka persamaan Maxwell tersebut haruslah direvisi sehingga kesimetrian "listrik magnet" terakomodasikan. Dengan kata lain persamaan Maxwell yang telah diverifikasi kebenarannya oleh teori relativitas (persamaan Maxwell ternyata bersifat kovarian terhadap transformasi koordinat Lorentz) harus mengalami koreksi dan modifikasi.

Kehadiran monopol magnetik akan membawa konsekuensi yang sangat mendasar sebab hukum dasar listrik-magnet dalam bentuk persamaan Maxwell haruslah mengalami revisi. Akibatnya konsep-konsep yang berdasarkan persamaan Maxwell juga harus mengalami perubahan agar bersifat konsisten.

Oleh karena itu dalam makalah ini akan dikaji bagaimana persamaan Maxwell termodifikasi secara konsisten dengan eksistensi monopol magnetik dan bagaimana sifat kuantisasi keunsuran muatan magnet tersebut.

## II. Tinjauan Pustaka

Dalam teori partikel elementer Dirac menyatakan bahwa solusi persamaan Schrodinger yang menyangkut fluks magnetik yaitu sebuah elektron yang bergerak dalam medan magnet akan memiliki multi fungsi gelombang kecuali muatan listrik dan muatan sumber medan magnet bersifat terkuantisasi (Vanderlinde, 1993). Dari sifat terkuantisasi tersebut memungkinkan munculnya keberadaan monopol

magnetik yang menyatakan muatan/keunsuran terkecil sebuah muatan magnet, seperti halnya muatan listrik yang terkuntisasi dengan muatan terkecil (monopol listrik) sebesar  $q_e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .

Perubahan atau modifikasi persamaan Maxwell didasarkan pada asas/prinsip simetri yang memandang bahwa bentuk perumusan matematis vektor medan listrik dan medan magnet selalu cenderung analog. Kebenaran dan konsistensi persamaan Maxwell termodifikasi ditinjau melalui verifikasinya dengan hukum kekekalan sumber muatan.

Persoalan menyangkut monopol magnet terus diselidiki keberadaannya. Penyelidikan tersebut meliputi dua hal yaitu teori dan eksperimennya. Dari segi teori telah dikaji oleh fisikawan Dirac dan teori unifikasi GUT's. Penyelidikan secara eksperimen yang menyangkut deteksi monopol magnetik adalah dengan menggunakan detektor superkonduktor (Portis, 1962).

Menurut Schmitz (2006) dugaan adanya monopol magnet adalah dari tinjauan/telaah oleh Dirac

tahun 1931 terhadap kesimetrian persamaan Maxwell. Dikatakannya juga bahwa ide tersebut juga muncul dalam teori “non abelian” dan hal ini merupakan gagasan yang belum ada bukti eksperimentalnya.

### III. Pembahasan

#### a. Kuantisasi Muatan Magnet

Berdasarkan adanya kuantisasi muatan magnet dalam teori partikel elementer dan GUTs, sebuah pendekatan yang berbeda dengan Dirac akan dibahas dalam makalah ini. Pendekatan tersebut merupakan tinjauan teoritis yang akan menunjukkan analisis secara kuantitatif tentang sifat kuantisasi muatan magnet hipotesis.

Akan ditunjukkan bahwa sebuah monopol magnetik yang berada disekitar muatan listrik akan berinteraksi menghasilkan sebuah medan elektromagnetik statis dengan momentum sudut tidak nol dan sekaligus besarnya muatan monopol magnetik dapat ditentukan.

Analog dengan perumusan gaya interaksi antar muatan (hukum Coulomb), gaya interaksi antar massa (hukum Newton) yaitu “ gaya

interaksi sebanding dengan perkalian dua muatan (atau massa) dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antar muatan”. Pada batang magnet (dipole magnet) dan juga pada monopol magnetic berlaku:

$$\vec{F} = K_m \frac{q_{m1} q_{m2}}{r^3} \hat{r} \quad (1)$$

$$K_m = tetapan = \mu_0 / 4\pi$$

Definisi medan magnet menjadi

$$B = K_m \frac{q_m}{r^3} \hat{r} \quad (2)$$

Dari teori energetika medan elektromagnetik (Muslim, 1996) dinyatakan bahwa kerapatan momentum linear medan adalah

$$\vec{p} = \epsilon_0 (\vec{B} \times \vec{E})$$

$$\vec{P} = \int \vec{p} dv = \int \epsilon_0 (\vec{E} \times \vec{B}) d^3 r \quad (3)$$

Persamaan ini dimaksudkan untuk memperjelas tinjauan sistem muatan berikut (Vanderlinde, 1996)

Sebuah monopol magnetik  $q_m$  dititik asal dan sebuah muatan listrik  $q_e$  pada posisisi  $r = a \hat{k}$ . Rapat muatan listrik dapat ditulis dalam fungsi delta

$$\rho_e = \delta(\vec{r} - a\hat{k}) \quad \text{dari definisi dirac}$$

momentum sudut dan substitusi persamaan (3) diperoleh kerapatan momentum sudut medan:

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{P} \quad (4)$$

Substitusi pers (3)

$$\vec{L} = \vec{r} \times \int \epsilon_0 (\vec{E} \times \vec{B}) d^3 r \quad (5)$$

Dengan identitas vektor :

$$\vec{A} \times (\vec{B} \times \vec{C}) = \vec{B}(\vec{A} \cdot \vec{C}) - (\vec{A} \cdot \vec{B})\vec{C}$$

Persamaan (5) menjadi :

$$\vec{L} = \vec{r} \times \int \epsilon_0 (\vec{r} \cdot \vec{B}) \vec{E} - (\vec{r} \cdot \vec{E}) \vec{B} d^3 r \quad (6)$$

Substitusi pers (2)

$$\vec{L} = \frac{q_m}{4\pi C^2} \int \left( \frac{\vec{E}}{r} - \frac{\vec{r}}{r^3} (\vec{E} \cdot \vec{r}) \right) d^3 r \quad (7)$$

Untuk penyederhanaan integrasi

diambil komponen  $L_z$

$$\begin{aligned} L_k &= \frac{q_m}{4\pi C^2} \int \left( \frac{E_k}{r} - \frac{x_k}{r^3} (E_i x_i) \right) d^3 r \\ &= \frac{q_m}{4\pi C^2} \int E_i \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \frac{x_k}{r} \right) d^3 r \end{aligned} \quad (8)$$

Pengubahan integral menjadi

$$E_i \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \frac{x_k}{r} \right) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( E_i x_k \frac{1}{r} \right) - \frac{x_k \partial E}{r \partial x_i} \quad (9)$$

Selanjutnya dapat diperoleh:

$$\vec{L} = \frac{q_m}{4\pi C^2} \int \frac{\partial}{\partial x_i} \left( E_i x_k \frac{1}{r} \right) d^3 r - \frac{q_m}{4\pi C^2} \int \frac{x_k}{r} (\nabla \cdot \vec{E}) d^3 r \quad (10)$$

Substitusi persamaan Maxwell 1 :

$$\nabla \cdot \vec{E} = \rho_e / \epsilon_0$$

Dan definisi sudut ruang :

$$E_i ds_i = \frac{e}{4\pi \epsilon_0} \frac{ds_i}{r^2} = \frac{e}{4\pi \epsilon_0} d\Omega$$

Diperoleh

$$\vec{L} = \frac{q_m}{4\pi C^2} \int \frac{x_k}{r} d^3 r - \frac{q_m}{4\pi C^2} \int \frac{x_k}{r} \frac{\rho_e}{\epsilon_0} d^3 r \quad (11)$$

Suku integrasi 1 menghasilkan nol

dan pada suku integrasi II disubstitusikan persamaan :

$$\rho_e = \delta(\vec{r} - a\hat{k}) \text{ diperoleh}$$

$$\vec{L} = \frac{q_m}{4\pi C^2} \int \frac{x_k}{r} \frac{\delta(\vec{r} - a\hat{k})}{\epsilon_0} d^3 r$$

$$\int f(x) \delta(x - c) dx = f(x)$$

Maka diperoleh

$$L_z = -\frac{q_m}{4\pi \epsilon_0 C^2}$$

Berdasarkan konsep mekanika

momentum kuantum untuk kuantisasi

sudut L yang diperbolehkan, dalam

hal ini hanya terdapat  $L_z$  karena  $L_x =$

$L_y = 0$  akibat independensinya

terhadap vektor posisi  $r = a \hat{k}$  adalah  $\hbar/2$  sehingga :

$$L = L_z = -\frac{q_m}{4\pi\epsilon_0 c^2} = \hbar/2$$

sehingga

$$q_m = 2\pi\epsilon_0 c^2 \hbar / e = h / (\mu_0 e)$$

Jadi muatan monopol magnetik dapat diperoleh sebesar

$$q_m = 3,291909 \cdot 10^{-9} \text{ A.m}$$

### b. Modifikasi persamaan Maxwell

Persamaan Maxwell tanpa ada monopol magnet adalah sebagai berikut :

1.  $\nabla \cdot \vec{E} = \rho_e / \epsilon_0$
2.  $\nabla \times \vec{B} = \mu \vec{J}_e + C^2 \partial \vec{E} / \partial t$
3.  $\nabla \cdot \vec{B} = 0$
4.  $\nabla \times \vec{E} = -\partial \vec{B} / \partial t$

Keberadaan muatan magnet/monopol magnetik membawa konsekuensi bahwa persamaan Maxwell di atas harus mengalami modifikasi sedemikian rupa sehingga sumber muatan magnet muncul eksplisit seperti halnya sumber muatan listrik dalam persamaan Maxwell.

Analog dengan medan listrik yaitu bahwa persamaan Maxwell I adalah hukum gauss dalam bentuk

integral yang dapat diperoleh dari hukum coulomb, makapersamaan Maxwell 3 termodifikasi dapat diperoleh dari persamaan (2) yang merupakan “ Hukum Culoumb” untuk magnet, sehingga dengan adanya  $q_m$  yang mempunyai rapat  $\rho_m$   $\nabla \cdot \vec{B} = 0$  menjadi:

$$\nabla \cdot \vec{B} = \mu_0 \rho_m \quad (12)$$

Itulah hasil modifikasi yang diperoleh dengan prinsip analogi, bukti matematis tidak dilakukan karena memang hasilnya akan sama dengan proses penurunan hukum gauss untuk listrik.

Persamaan Maxwell 4 (tanpa sumber) dimodifikasi dengan prinsip yang sama, yaitu harus muncul suku rapat arus magnetic seperti halnya persamaan Maxwell II. Dipostulatkan bentuk termodifikasinya sebagai :

$$\nabla \times \vec{E} = -\mu_0 \vec{J}_m - \partial \vec{B} / \partial t \quad (13)$$

Untuk menguji kebenarannya dilakukan verifikasi kesesuaiannya dengan hukum kekekalan muatan :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \vec{J} = 0$$

Jika konsisten maka muatan magnetic juga harus kekal dan dapat dibawa

kebetuk hukum kekekalan muatan tersebut. Untuk membuktikannya, persamaan (13) dikenai operasi divergensi :

$$\nabla \cdot (\nabla \times \vec{E}) = \nabla \cdot (-\mu_0 \vec{J}_m - \partial \vec{B} / \partial t)$$

Ruas kiri = 0 karena sifat vector : divergensi dari rotasi sembarang vektor sama dengan nol.

$$\text{Ruas kanan} = -\mu_0 \vec{J}_m - \partial \vec{B} / \partial t$$

Substitusi persamaan (12)

$$\nabla \cdot \vec{B} = \mu_0 \rho_m$$

maka diperoleh :

$$0 = -\mu_0 \vec{J}_m - \partial(\mu_0 \rho_m) / \partial t$$

yang dapat diubah menjadi :

$$\frac{\partial \rho_m}{\partial t} + \nabla \cdot \vec{J}_m = 0$$

Jadi terbukti konsisten dan memenuhi hukum kekekalan muatan

Walaupun secara eksperimental saat ini belum ada konfirmasi lebih dalam yang dapat digali mengenai keberadaan muatan magnet, namun perburuan monopol magnetic tetap merupakan persoalan menarik bagi para fisakawan. Perjalanan sejarah ilmu pengetahuan membuktikan bahwa segala yang “nyata dan

spektakuler” saat ini berawal dari “mimpi dan mustahil” dimasa lalu.

#### IV. Kesimpulan

Dari kajian di atas dapatlah disimpulkan beberapa hal penting sebagai berikut :

1. Terdapat sejumlah argumen yang secara ilmiah teoritis mengisyaratkan eksistensi sumber muatan magnet yang terkuantisasi dan besarnya merupakan kelipatan muatan monopol magnetik.

2. Besar muatan monopol secara teoritis semata-mata hanya ditentukan oleh nilai tetapan-tetapan alam yaitu

$$q_m = \frac{h}{\mu_0 e} = 3,291909 \cdot 10^{-9} A.m$$

3. Dengan keberadaan monopol magnetik persamaan Maxwell menjadi persamaan yang simetri sesuai dengan asas simetri.

#### Daftar pustaka

Muslim, 1996. Penelusuran Hukum-Hukum Dasar. FMIPA-UGM Yogyakarta.

Portis, A. M. 1926. Electromagnetic fields : source and media, John Wiley & Son, New York.

Song, J. 1996. Theory of Magnetic Monopoles and Electric-Magnetic Duality: A Prelude to S-Duality, J. Undergrad. Sci. 3: 47-55 (Summer 1996).

Schmitz, R. 1996. Magnetic Monopoles. Seminar on Theoretical Particle Physics, University of Bonn.

Vanderlinde, J. 1993. Classical Electromagnetik Theory, John Wiley & Son, New York.

