

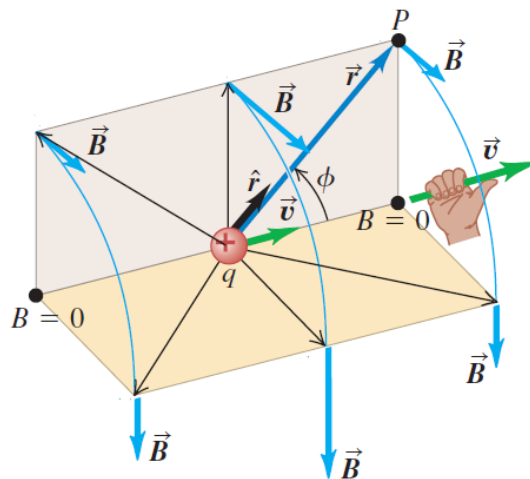
8 SUMBER MEDAN MAGNETIK

Setelah mempelajari bab ini, Anda akan memahami:

- Cara menghitung medan magnetik dan menentukan arah medan magnetik yang dihasilkan oleh muatan tunggal yang bergerak, elemen konduktor yang mengangkut arus listrik dan kawat konduktor berarus listrik yang berbentuk lurus, lingkaran, solenoida dan toroida.
- Mengapa dua buah kawat lurus mengangkut arus listrik searah tarik menarik dan yang berlawanan arah tolak menolak.
- Apa kaitan hukum Ampere dengan medan magnetik dan cara menggunakannya untuk menghitung medan magnetik distribusi arus yang simetris.

8.1 Medan Magnetik Muatan Titik yang Bergerak

Sumber medan magnetik yang pertama adalah muatan titik yang bergerak. Arah medan magnetik yang dihasilkan ditentukan dengan aturan tangan kanan, yakni ibu jari menunjukkan arah gerak muatan titik dan jari-jari lainnya menunjukkan arah medan magnetik.



Gambar 8.1. Medan magnetik yang dihasilkan muatan bergerak

Sedangkan besar medan magnetik yang dihasilkan di sebuah titik P dihitung dengan persamaan:

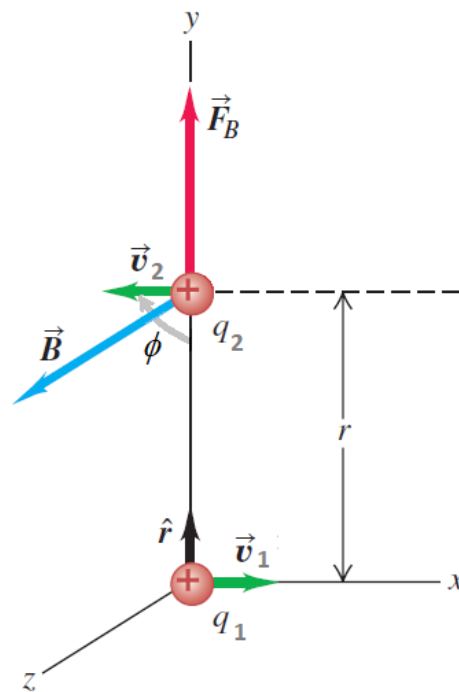
$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{|q| v \sin \phi_B}{r^2} \quad (8.1)$$

Keterangan:

- B adalah medan magnetik dengan satuan tesla (T)
- $\mu_0/4\pi$ adalah konstanta yang besarnya 10^{-7} T.m/A
- $|q|$ adalah harga mutlak muatan q
- v adalah besar kecepatan gerak muatan
- ϕ adalah sudut antara vektor v dan vektor r
- r adalah jarak antara muatan q dan titik P

Contoh soal 1

Dua buah proton bergerak sejajar sumbu- x dengan arah berlawanan pada kecepatan yang sama yakni $4,5 \times 10^6$ m/s. Ketika jarak antara keduanya 0,4 m seperti yang diperlihatkan dalam gambar, hitunglah besar dan arah gaya magnetik yang dikerahkan oleh proton yang di bawah pada proton yang di atas.



Solusi

Diketahui: $q_1 = q_2 = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ $v_1 = v_2 = 4,5 \times 10^6 \text{ m/s}$
 $\phi = 90^\circ$ $r = 0,4 \text{ m}$

Ditanya:

Besar dan arah gaya magnetik yang dihasilkan oleh q_1 pada q_2

Jawab:

Pertama, hitunglah medan magnetik yang dihasilkan oleh q_1 pada titik dimana q_2 berada. Muatan q_1 menghasilkan medan magnetik B dengan arah sumbu z positif.

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{|q_1| v_1 \sin \phi}{r^2}$$
$$= (10^{-7}) \frac{(1,6 \times 10^{-19})(4,5 \times 10^6)(1)}{(0,4)^2} = 4,5 \times 10^{-19} \text{ T}$$

Kemudian hitung gaya magnetik F_B yang dikerahkan oleh medan magnetik B ini pada muatan q_2 dengan persamaan $F_B = q_2 v_2 B \sin \phi_2$. Sudut ϕ_2 antara vektor medan magnetik B dan vektor kecepatan v_2 adalah 90° , sehingga:

$$F_B = q_2 v_2 B \sin \phi_2$$
$$= (1,6 \times 10^{-19})(4,5 \times 10^6)(4,5 \times 10^{-19})(\sin 90^\circ)$$
$$= 32,4 \times 10^{-32} \text{ N}$$

Sedangkan arah F_B ditentukan dengan aturan tangan kanan menghasilkan arah ke atas atau searah sumbu y positif.

8.2 Medan Magnet Segmen Arus

Sumber medan magnetik yang kedua adalah segmen konduktor yang mengangkut arus listrik. Arah medan magnetik yang dihasilkan ditentukan dengan aturan tangan kanan, yakni ibu jari menunjukkan arah arus listrik dan jari-jari lainnya menunjukkan arah medan magnetic seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 8.2.

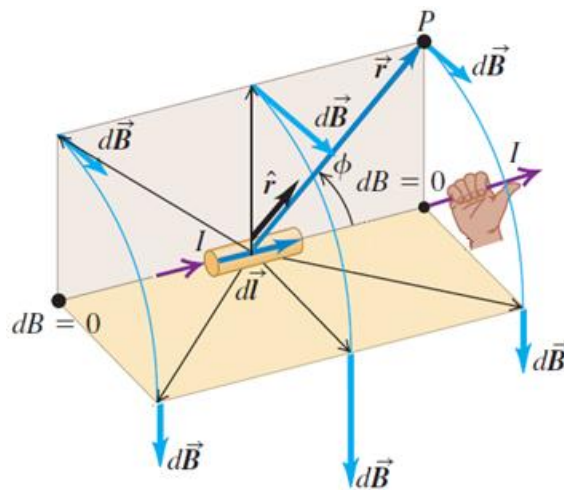
Medan magnetik dB yang dihasilkan oleh sebuah segmen dl dari sebuah konduktor pengangkut arus I adalah:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I dl \sin \phi}{r^2} \tag{8.2}$$

Keterangan:

- $\mu_0/4\pi$ adalah konstanta yang besarnya 10^{-7} T.m/A
- I adalah besar arus listrik
- dl adalah panjang segmen
- ϕ adalah sudut antara arus I dan vektor r
- r adalah jarak antara segmen konduktor dl dan titik P

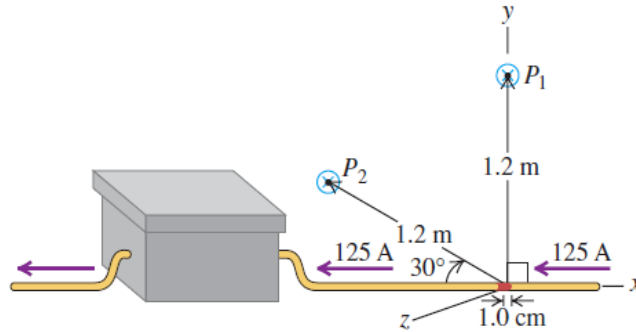
Persamaan di atas disebut Hukum Biot - Savart. Medan yang diciptakan oleh sebuah konduktor pengangkut arus yang panjangnya berhingga adalah integral dari pernyataan ini pada panjangnya konduktor tersebut.



Gambar 8.2. Medan magnetik yang dihasilkan segmen konduktor

Contoh soal 2.

Seutas kawat tembaga mengangkut sebuah arus tunak (*steady*) 125 A ke sebuah tangki penyepuh listrik. Hitunglah medan magnetik yang dihasilkan sebuah segmen kawat sepanjang 1,0 cm dari kawat ini di sebuah titik yang jaraknya 1,2 m dari segmen tersebut, jika titik tersebut adalah a) Titik P_1 yang tegak lurus kawat; b) Titik P_2 yang membentuk sudut 30° dengan kawat seperti pada gambar.



Penyelesaian.

Diketahui: $I = 125 \text{ A}$ $dl = 1,0 \times 10^{-2} \text{ m}$

$r_1 = 1,2 \text{ m}, \phi_1 = 90^\circ$ $r_2 = 1,2 \text{ m}, \phi_2 = 30^\circ$

Ditanya: Besar dan arah medan magnetik B di titik P_1 dan P_2 .

Jawab:

Di titik P_1 ,

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I dl \sin \phi}{r^2}$$

$$= \frac{(10^{-7} \text{ T/mA})(125 \text{ A})(1,0 \times 10^{-2} \text{ m})(\sin 90^\circ)}{(1,2 \text{ m})^2}$$

$$= 8,7 \times 10^{-8} \text{ T}$$

Di titik P_2 ,

$$B = \frac{(10^{-7} \text{ T/mA})(125 \text{ A})(1,0 \times 10^{-2} \text{ m})(\sin 30^\circ)}{(1,2 \text{ m})^2}$$

$$= 4,3 \times 10^{-8} \text{ T}$$

Medan magnetik ini sangat kecil dibandingkan medan magnetik di permukaan bumi 10^{-4} T .

8.3 Medan Magnet Konduktor Berarus

Selain muatan titik yang bergerak dan segmen arus, sumber medan magnetik lainnya adalah arus listrik pada konduktor yang berbentuk:

1. Konduktor Lurus Panjang

Medan magnetik yang dihasilkan oleh konduktor lurus panjang yang mengangkut arus I , pada jarak x dari konduktor tersebut mempunyai besar,

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I dl \sin \phi}{r^2}$$

$$dl = dy \text{ dan } r^2 = x^2 + y^2$$

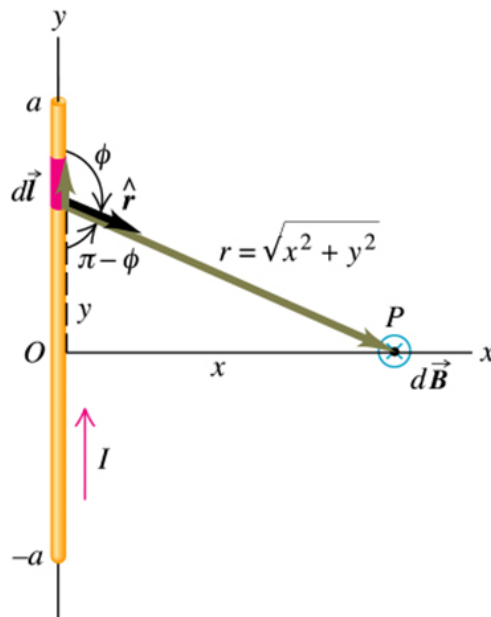
$$\sin \phi = \sin (\pi - \phi) = \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}}$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_{-a}^a \frac{x dy}{(x^2 + y^2)^{3/2}}$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{2a}{x\sqrt{x^2 + a^2}}$$

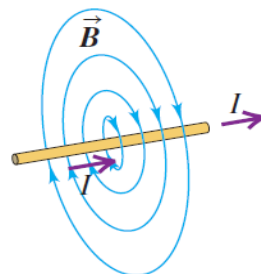
$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi x}$$

(8.3)



Gambar 8.3. Medan magnetik konduktor lurus panjang

Garis-garis medan magnetik yang dihasilkan adalah lingkaran-lingkaran yang sesumbu dengan kawat itu, dengan arah yang diberikan oleh kaidah tangan kanan.



Gambar 8.4. Garis medan magnetik konduktor lurus panjang

Contoh soal 3.

Sebuah konduktor lurus panjang mengangkut arus sebesar 100 A. Pada jarak berapakah dari sumbu konduktor tersebut medan magnetik yang ditimbulkan oleh arus tersebut memiliki nilai sebesar $0,5 \times 10^{-4}$ T?

Penyelesaian.

Diketahui: $I = 100$ A $B = 0,5 \times 10^{-4}$ T

Ditanya: $x = ?$

Jawab:

$$\begin{aligned} x &= \frac{\mu_0 I}{2\pi B} = \frac{(4\pi \times 10^{-7})(100)}{(2\pi)(0,5 \times 10^{-4})} \\ &= 0,4 \text{ m} \end{aligned}$$

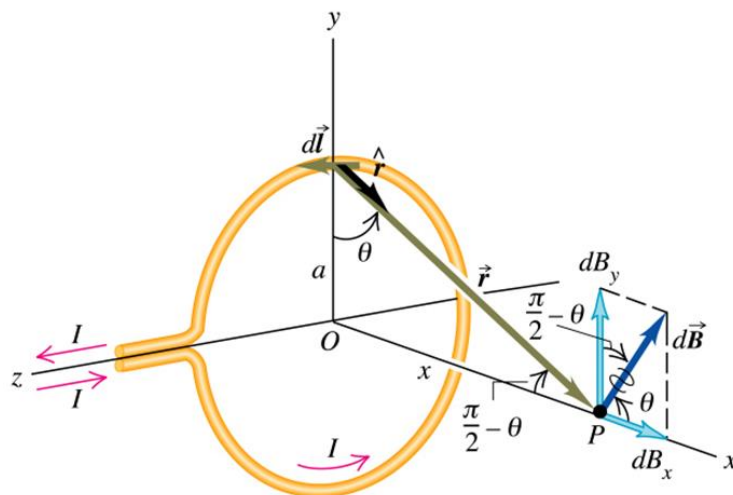
2. Konduktor Simalp Lingkaran

Medan magnetik yang dihasilkan oleh sebuah simpal konduktor lingkaran dengan jari-jari a mengangkut arus I , pada jarak x dari pusat lingkaran sepanjang sumbunya mempunyai besar,

$$B = \frac{\mu_0 I a^2}{2(x^2 + a^2)^{3/2}}$$

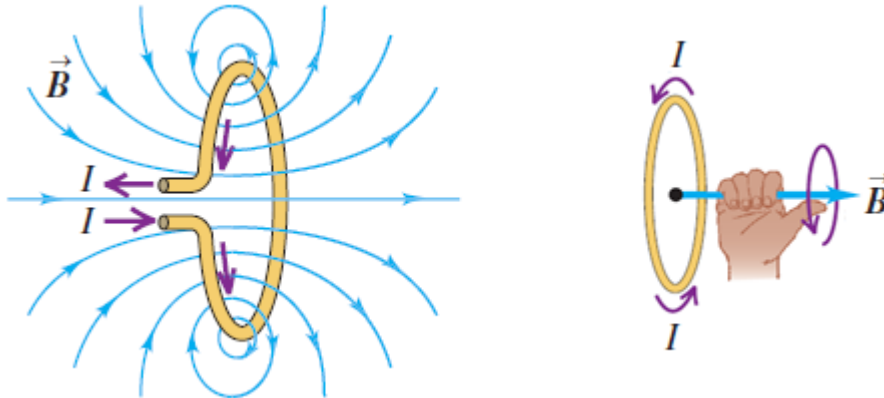
 (8.4)

Untuk N simpal pernyataan ini dikalikan dengan N . Di pusat simpal $x = 0$.



Gambar 8.5. Medan magnetik konduktor simpal lingkaran

Garis-garis medan magnetik yang dihasilkan adalah garis lurus sejajar dengan sumbu x positif, dengan arah yang diberikan oleh kaidah tangan kanan.



Gambar 8.6. Garis medan magnetik konduktor simpul lingkaran.

3. Konduktor Silinder Panjang

Medan magnetik yang dihasilkan oleh sebuah konduktor silinder panjang dengan jari-jari R , yang mengangkut arus I , pada jarak r dari sumbunya mempunyai besar sbb:

Di dalam konduktor, $r < R$

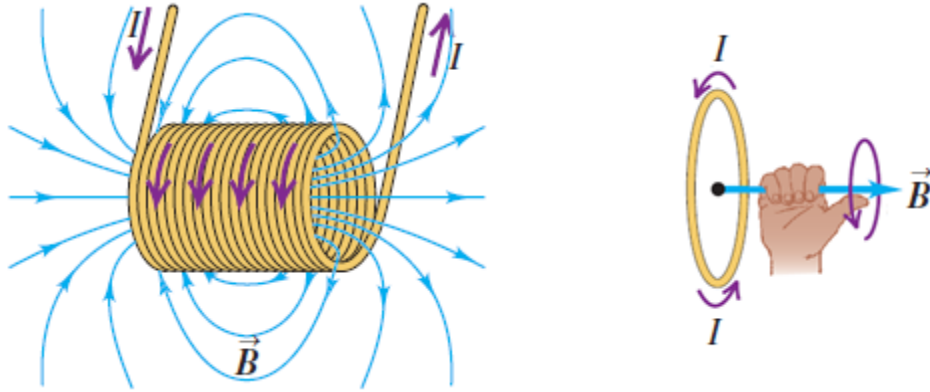
$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \frac{r}{R^2} \quad (8.5)$$

Di luar konduktor, $r > R$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \frac{R^2}{r} \quad (8.6)$$

4. Konduktor Solenoida Panjang

Medan magnetik yang dihasilkan oleh sebuah simpul konduktor solenoida panjang dengan jari-jari a , yang mengangkut arus I , pada jarak x dari sumbunya mempunyai besar,



Gambar 8.7. Garis medan magnetik dan kaidah tangan kanan

5. Konduktor Solenoida Toroida

Medan magnetik yang dihasilkan oleh sebuah simpal konduktor solenoida panjang dengan jari-jari a , yang mengangkut arus I , pada jarak x dari pusatnya mempunyai besar,

8.4 Hukum Ampere

8.5 Kesimpulan

1. Jika sebuah muatan q bergerak dengan kecepatan v , maka pada jarak r dari muatan tersebut akan menghasilkan medan magnetik B , yang besarnya adalah:

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{|q| v \sin \phi}{r^2}$$

dimana ϕ adalah sudut antara v dan r . Arah medan B ditentukan dengan aturan tangan kanan.

2. Medan magnetik dB yang diciptakan oleh suatu segmen dl dari suatu konduktor pengangkut arus I adalah

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I dl \sin \phi}{r^2}$$

3. Medan magnetik B pada jarak r dari kawat lurus panjang yang dialiri arus listrik I besarnya adalah:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

dimana garis medan magnetik berbentuk lingkaran yang koaksial dengan kawat. Arah medan B ditentukan dengan aturan tangan kanan.

4. Dua konduktor lurus dengan panjang L yang dialiri arus listrik I dan I' terpisah pada jarak r mengalami gaya tarik menarik jika arah arusnya searah:

$$F = \frac{\mu_0 I I' L}{2\pi r}$$

5. Medan magnetik yang dihasilkan oleh sebuah simpal konduktor lingkaran dengan jari-jari a , yang mengangkut arus I , di suatu jarak x sepanjang sumbu dari pusat lingkaran, mempunyai besar:

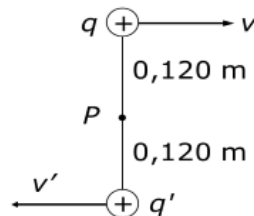
$$B = \frac{\mu_0 I a^2}{2(x^2 + a^2)^{3/2}} \qquad B = \frac{\mu_0 I}{2a}$$

Hukum Ampere menyatakan bahwa integral garis dari B mengelilingi sebarang lintasan tertutup sama dengan μ_0 dikali arus netto yang melalui luas yang dicakup oleh lintasan tersebut.

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \oint B_{\parallel} dl = B \oint dl = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} (2\pi r) = \mu_0 I$$

8.6 Soal Latihan

- 1 Muatan titik $q = +8,00 \mu\text{C}$ dan $q' = +3,00 \mu\text{C}$ bergerak seperti yang diperlihatkan dalam gambar. Berapakah besar dan arah medan magnet total yang dihasilkan kedua muatan itu di titik P ? Diketahui $v = 4,5 \times 10^6 \text{ m/s}$ dan $v' = 9,0 \times 10^6 \text{ m/s}$.



- 2 Muatan titik $q = +8,00 \mu\text{C}$ dan $q' = +5,00 \mu\text{C}$ bergerak seperti diperlihatkan pada gambar dengan laju $v = 9,0 \times 10^4 \text{ m/s}$ dan $v' = 6,5 \times 10^4 \text{ m/s}$. Berapakah besar dan arah medan magnet total yang dihasilkan kedua muatan itu di titik asal?

