

ELEKTROMAGNETIKA



GRAHA ILMU

ELEKTROMAGNETIKA

WIYANTO

ELEKTROMAGNETIKA

Oleh : Wiyanto

Edisi Pertama
Cetakan Pertama, 2007

Hak Cipta © 2007 pada penulis,
Hak Cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun, secara elektronik maupun mekanis, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman lainnya, tanpa izin tertulis dari penerbit.



GRAHA ILMU

Candi Gebang Permai Blok R/6
Yogyakarta 55511
Telp. : 0274-4462135; 0274-882262
Fax. : 0274-4462136
E-mail : info@grahailmu.co.id

Wiyanto

ELEKTROMAGNETIKA/Wiyanto
- Edisi Pertama - Yogyakarta; Graha Ilmu, 2007
viii + 146 hlm, 1 Jil. : 26 cm.

ISBN: 978-979-756-

1. Teknik

I. Judul

KATA PENGANTAR

Pada awalnya masalah kelistrikan dan kemagnetan dibahas secara terpisah; medan listrik dihasilkan oleh muatan listrik (hukum Gauss) dan medan magnet dihasilkan oleh arus listrik (hukum Ampere). Setelah Michael Faraday (1791–1867), ahli fisika dan kimia berkebangsaan Inggris, berhasil mengungkap gejala induksi elektromagnetik, masalah kelistrikan dan kemagnetan mulai dibahas secara terkait. Medan listrik tidak hanya dihasilkan oleh muatan listrik melainkan juga dapat dihasilkan oleh perubahan medan magnet. Temuan Faraday tersebut membangkitkan James Clerk Maxwell (1831 –1879), ahli matematika dan fisika teori berkebangsaan Skotlandia, untuk mengajukan hipotesis bahwa perubahan medan listrik juga dapat menghasilkan medan magnet. Dengan hipotesisnya tersebut dan dengan memanfaatkan hukum-hukum tentang kelistrikan dan kemagnetan yang telah ditemukan sebelumnya, Maxwell berhasil meramalkan gejala gelombang elektromagnetik. Akhirnya, ramalan Maxwell teruji secara empiris oleh hasil percobaan Heinrich Rudolf Hertz (1857 -1894), ahli fisika berkebangsaan Jerman, sehingga untuk menghargainya kemudian beberapa persamaan yang menyatakan hukum utama kelistrikan dan kemagnetan disebut dengan persamaan Maxwell.

Buku Elektromagnetika ini disusun dengan struktur seperti proses perkembangannya dahulu, yaitu dari elektrostatika sampai persamaan Maxwell dengan urutan: elektrostatika, medan listrik di dalam bahan, magnetostatika, medan magnet di dalam bahan, elektrodinamika, dan persamaan Maxwell. Untuk sekadar mengingatkan pembaca, buku ini diawali dengan bab satu yang membahas tentang analisis vektor yang banyak digunakan dalam mempelajari materi utama buku ini.

Simbol-simbol fisika yang digunakan dalam buku ini ditulis sesuai konvensi ilmiah yang biasa digunakan secara internasional. Sebagai contoh, simbol vektor digunakan huruf tebal (*bold*), misalnya **d**, **s**, **v**, **a**, **A**, **B**, dan **C**, dan besarnya dinyatakan dengan huruf miring (*italic*), misalnya *d*, *s*, *v*, *a*, *A*, *B*, dan

C. Vektor satuan disimbolkan dengan huruf bertopi, contoh \hat{i} , \hat{j} , \hat{k} , dan \hat{n} . Simbol satuan dinyatakan dengan huruf *regular* dan antar simbol dipisahkan dengan titik, contoh satuan permitivitas listrik adalah $C^2/(N.m^2)$.

Atas penerbitan buku ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada semua pihak yang telah berperan dalam proses penyelesaiannya. Semoga buku ini dapat memberikan manfaat. Penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari para pembaca untuk perbaikan buku ini.

Penulis

Wiyanto

DAFTAR ISI

| | |
|--|------------|
| KATA PENGANTAR | v |
| DAFTAR ISI | vii |
| BAB 1 ANALISIS VEKTOR | 1 |
| 1.1 Aljabar Vektor | 1 |
| 1.2 Turunan Vektor | 6 |
| 1.3 Integral Vektor | 10 |
| 1.4 Koordinat Curvilinear | 15 |
| 1.5 Fungsi Delta Dirac | 19 |
| Rangkuman | 22 |
| Soal-soal | 22 |
| BAB 2 ELEKTROSTATIKA | 25 |
| 2.1 Hukum Coulomb | 25 |
| 2.2 Garis Medan dan Hukum Gauss | 34 |
| 2.3 Potensial Listrik | 42 |
| 2.4 Ekspansi Multipole | 46 |
| 2.5 Energi Elektrostatika | 50 |
| 2.6 Konduktor dan Kapasitor | 53 |
| Soal-soal | 56 |
| BAB 3 MEDAN LISTRIK DI DALAM BAHAN | 61 |
| 3.1 Polarisasi | 61 |
| 3.2 Medan Listrik dari Bahan Terpolarisasi | 64 |
| 3.3 Hukum Gauss dalam Bahan Dielektrik | 67 |
| 3.4 Bahan Dielektrik Linear | 68 |
| 3.5 Energi di dalam Sistem Dielektrik | 70 |
| Soal-soal | 72 |

| | | |
|--------------|--|------------|
| BAB 4 | MAGNETOSTATIKA | 75 |
| | 4.1 Gaya Magnet dan Gaya Lorentz | 75 |
| | 4.2 Arus Listrik | 79 |
| | 4.3 Hukum Biot-Savart | 82 |
| | 4.4 Divergensi dan Curl | 88 |
| | 4.5 Potensial Vektor Magnet | 94 |
| | Soal-soal | 98 |
| BAB 5 | MEDAN MAGNET DIDALAM BAHAN | 101 |
| | 5.1 Magnetisasi | 101 |
| | 5.2 Efek Medan Magnet pada Dipole Magnet | 102 |
| | 5.3 Efek Medan Magnet pada Orbit Atom | 104 |
| | 5.4 Medan dari Benda yang Termagnetisasi | 105 |
| | 5.5 Medan H | 107 |
| | 5.6 Bahan Paramagnetik dan Diamagnetik Linear | 110 |
| | 5.7 Feromagnetik | 111 |
| | Soal-soal | 114 |
| BAB 6 | ELEKTRODINAMIKA | 117 |
| | 6.1 Hukum Ohm | 117 |
| | 6.2 Gaya Gerak Listrik (Ggl) | 121 |
| | 6.3 Aturan Flux | 121 |
| | 6.4 Hukum Faraday | 123 |
| | 6.5 Induktansi | 126 |
| | 6.6 Energi Medan Magnetik | 128 |
| | Soal-soal | 130 |
| BAB 7 | PERSAMAAN MAXWELL | 133 |
| | 7.1 Kelistrikan dan Kemagnetan Sebelum Maxwell | 133 |
| | 7.2 Koreksi Maxwell terhadap Hukum Ampere | 134 |
| | 7.3 Persamaan Gelombang EM | 136 |
| | 7.4 Energi di dalam Medan EM | 138 |
| | Soal-soal | 142 |
| | DAFTAR PUSTAKA | 143 |
| | TENTANG PENULIS | 145 |

BAB 1

ANALISIS VEKTOR

Pada bab ini dibahas tentang vektor yang meliputi: aljabar vektor, turunan vektor, dan integral vektor. Besaran vektor memiliki besar (atau nilai) dan arah. Contoh besaran vektor adalah: perpindahan, permukaan, kecepatan, percepatan, dan lain-lain. Pada buku ini simbol vektor digunakan huruf tebal (*bold*), misalnya \mathbf{d} , \mathbf{s} , \mathbf{v} , \mathbf{a} , \mathbf{A} , \mathbf{B} , dan \mathbf{C} , dan besarnya dinyatakan dengan huruf miring (*italic*), misalnya d , s , v , a , A , B , dan C , atau dalam bentuk $|\mathbf{d}|$, $|\mathbf{s}|$, $|\mathbf{v}|$, $|\mathbf{a}|$, $|\mathbf{A}|$, $|\mathbf{B}|$, dan $|\mathbf{C}|$. Dalam bentuk diagram sebuah vektor dinyatakan dengan garis beranak panah, panjang garis menyatakan besar vektor dan anak panahnya menunjukkan arah vektor. Tanda minus, misalnya $-\mathbf{A}$, menyatakan vektor yang besarnya sama dengan vektor \mathbf{A} tetapi arahnya berlawanan. Vektor ditentukan oleh besar dan arahnya tetapi tidak ditentukan oleh lokasinya. Sebagai contoh, perpindahan 5 km ke arah utara dari Semarang dinyatakan dengan sebuah vektor yang sama dengan perpindahan 5 km ke arah utara dari Jakarta. Selain vektor, pada bab ini juga dibahas tentang koordinat curvilinear dan fungsi delta Dirac.

1.1 ALJABAR VEKTOR

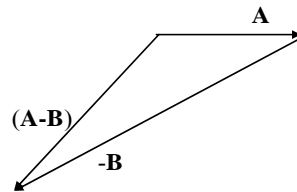
Penjumlahan dan Pengurangan Vektor

Penjumlahan dua vektor \mathbf{A} dan \mathbf{B} bersifat komutatif, yaitu $\mathbf{A}+\mathbf{B} = \mathbf{B}+\mathbf{A}$. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 1.1.



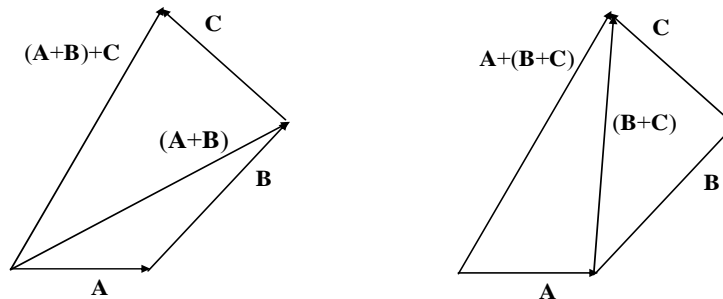
Gambar 1.1

Untuk pengurangan berlaku $A-B = A+(-B)$, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2

Penjumlahan tiga vektor A , B , dan C bersifat asosiatif, yaitu $(A+B)+C=A+(B+C)$. Gambar 1.3 menunjukkan sifat tersebut.



Gambar 1.3

Perkalian Vektor

Perkalian sebuah vektor A dengan skalar positif a menghasilkan sebuah vektor yang searah dengan arah A dan besarnya sama dengan hasil perkalian besar vektor A dengan skalar a . Jika skalar a itu negatif maka arah vektor hasil perkaliannya berlawanan dengan arah A . Misal $a=2,5$, maka vektor hasil perkalian a dengan A adalah vektor P yang besarnya $2,5A$ dan arahnya sama dengan arah A (Gambar 1.4).