Matakuliah : Fisika Dasar II

Topik Pembahasan : Kelistrikan & Magnetisme

* Muatan Listrik
* Distribusi Muatan Kontinyu
* Potensial Listrik
* Kapasitansi, Dielektrik, & Energi Elektrostatik
* Arus Listrik
* Rangkaian Arus Searah
* Medan Magnetik
* Sumber Medan Magnetik
* Induksi Magnetik
* Rangkaian Arus Bolak-Balik

Silabus : ” Fisika untuk Sains & Teknik” Edisi Ketiga Jilid 2 TIPLER Penerbit Erlangga.

Aturan Penilaian

Tugas : 20

Quis : 10

UTS : 35

UAS : 35

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Aturan Perkuliahan

* Absensi/kehadiran minimal 80% dari jumlah pertemuan.
* Teloransi Keterlambatan 0 menit.

**KELISTRIKAN & MAGNETISME**

1. **Muatan Listrik**

Muatan dari proton e, sedangkan muatan dari electron –e dimana e disebut satuan dasar muatan. Dalam Sistem SI, satuan muatan adalah coulomb, yang didefinisikan dalam bentuk arus listrik, Ampere. Coulomb (c) : Jumlah muatan yang mengalir melalui suatu penampang kawat dalam waktu satu detik bila besarnya arus dalam kawat adalah satu Ampere. Satuan dasar dari muatan listrik e dihubungkan dengan Coulomb melalui.

**e= 1,6 x C**

muatan sekitar 10 nC (1 nC = C) sampai 0,1 = (1 )

“Hukum Coulomb” : Gaya yang dilakukan oleh satu muatan titik pada muatan titik lainnya bekerja sepanjang garis yang menghubungkan kedua muatan tersebut.

|  |  |
| --- | --- |
| 1. Muatan sejenis tolak-menolak | 1. Muatan yang tak sejenis tarik-menarik   F = Gaya (N)  q = muatan (C)  r = jarak (m)  K =  q = N.e ; N = jumlah muatan |

Contoh : Dua muatan titik masing-masing sebesar 0,05 dipisahkan pada jarak 10 cm. carilah (a) besar gaya yang dilakukan oleh satu muatan pada muatan lainnya dan (b) jumlah satuan muatan dasar pada masing-masing muatan.

1. Dari hukum Coulomb, besarnya gaya adalah
2. Jumlah electron yang diperlukan untuk manghasilkan muatan sebesar 0,05 C diperoleh dari:

q = N.e ; e= 1,6 x C

Muatan dengan ukuran seperti ini tidak menunjukan muatan yang terkuantisasi (diskrit). Satu juta electron dapat ditambah/dikurangkan dari muatan ini tanpa terdeteksi oleh peralatan biasa.

Contoh : Hitung perbandingan gaya listrik terhadap gaya gravitasi yang dilakukan satu proton pada proton yang lain.

Karena setiap proton mempunyai muatan +e, gaya listriknya adalah tolak-menolak dan besarnya :

Gaya gravitasi yang diberikan oleh hukum grvitasi Newton adalah tarik-menarik dan mempunyai harga :

Dimana mp adalah massa proton. Perbandingan antara kedua gaya ini tidak bergantung pada jarak pisah r.

Dengan memasukan harga K = , e= 1,6 x C, dan mp = 1,67. Maka akan diperoleh :

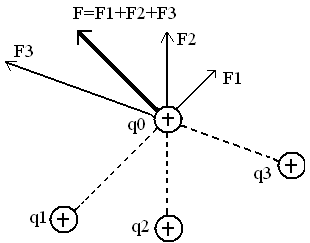
1. Tiga muatan titik terletak pada sumbu x; q1=25 nC yang terletak pada titik asal, q2=-10nC berada pada x=2m, dan q0=20nC berada pada x=3,5m. cari gaya total pada q0 akibat q1 dan q2?
2. Muatan q1=+25nC berada pada titik asal, muatan q2=-15nC pada sumbu x=2m dan muatan q0=+20nC pada x=2m, y=2m seperti tampak pada gambar dibawah ini. Carilah gaya pada q0?

**Medan Listrik**

Medan listrik merupakan suatu vektor dan madan listrik memenuhi prinsip super posisi. Menurut sistem satuan SI, satuan medan listrik adalah Newton/Coulomb (N/C).

Tabel 1. Besar beberapa medan listrik yang ada di alam

|  |  |
| --- | --- |
|  | **E (N/C)** |
| Di dalam kabel rumah  Di dalam gelombang radio  Di atmosfer  Di matahari  Di bawah suatu awan mendung  Di bawah suatu ledakan petir  Di dalam tabung sinar-X  Pada elektron di dalam atom hydrogen  Pada permukaan inti uranium |  |



Medan E pada suatu titik didefinisikan sebagai gaya total pada suatu muatan uji positif q0 dibagi dengan q0.

Gaya yang dilakukan pada muatan uji q0 pada setiap titik berhubungan dengan medan listrik dititik tersebut yaitu:

Contoh : jika suatu muatan uji dari 5 nC diletakan pada suatu titik, muatan mengalami gaya sebesar 2xN pada arah sumbu x. berapakah besar medan listrik E pada titik tersebut?

Jawab :

Latihan : Berapa gaya pada sebuah electron yang terletak pada suatu titik pada contoh soal yang ada diatas dimana medan listriknya adalah E = (4xN/C)i. (jawabannya: **(-6,4xN)i**)

Medan lstrik akibat suatu muatan titik qi yang posisinya di ri dapat dihitung dengan hokum coulomb. Jika kita letakan muatan uji q0 yang kecil dan positif pada suatu titik p yang berjarak ri0, gaya pada muatan tersebut adalah:

Dimana r^i0 adalah vektor satuan yang mempunyai arah dari qi ke q0. Medan istrik pada titik p akibat muatan qi adalah:

Dimana r^i0 adalah jarak dari muatan ke titik p yang disebut titik medan, dan r^i0 adalah vektor satuan yang mempunyai arah dari muatan ke titik p. selnjutnya kita akan mengacu pada persamaan ini, yang sesuai dengan hokum coulomb, sebagai hukum coulomb untuk medan listrik akibat satu muatan titik. Medan listrik total akibat adanya distribusi muatan-muatan titik diperoleh dengan cara menjumlahkan medan-medan akibat tiap-tiap muatan secara terpisah.

**Garis-garis Medan Listrik**

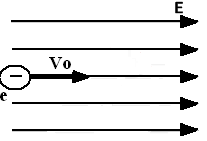
|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 1. Garis-garis medan listrik dari suatu muatan positif. Jika muatannya negatif tanda panahnya terbalik. | 1. Garis-garis medan listrik yang diakibatkan oleh dua muatan titik positif. Tanda panah akan terbalik jika kedua muatan negatif. | 1. Garis-garis medan listrik suatu dipol. |

**Gerak muatan-muatan titik di dalam medan listrik.**

Ketika suatu partikel dengan muatan q diletakan di dalam medan listrik E, muatan ini mengalami suatu gaya qE. Seperti yang pernah kita lihat, bahwa gravitasi yang bekerja pada suatu partikel biasanya diabaikan dibandingkan gaya-gaya listrik. Jika gaya-gaya listrik hanya merupakan gaya-gaya yang penting yang bekerja pada partikel, partikel akan mempunyai percepatan.

; m = massa partikel

Contoh : sebuah elektron ditembakan memasuki medan listrik homogen E = (1000 N/C)I dengan kecepatan awal Vo = (2xm/s)i pada arah medan listrik. Berapa jauh elektron akan bergerak sebelum elektron berhenti?

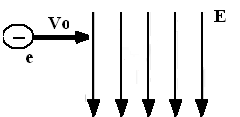


Jawab : karena muatan elektron adalah negatif, maka gaya –eE yang bekerja padanya b**e**rlawanan arah dengan medan. Dengan demikian kita mempunyai percepatan konstan yang arahnya berlawanan arah dengan arah kecepatan awal dan kita akan mencari jarak yang ditempuh partikel terhadap arah semula. Kita dapat menggunakan persamaan percepatan tetap yang menghubungkan jarak dengan kecepatan.

Dengan menggunakan Xo=0, V=o, Vo=2xm/s, dan a=-eE/m maka diperoleh

X = = =

Contoh : sebuah elektron ditembakan ke dalam medan listrik homogen E = (-2000 N/C)j dengan kecepatan awal Vo = (m/s)I tegak lurus medan seperti yang ditunjukan pada gambar dibawah ini. (a) bandingkan gaya gravitasi yang bekerja pada elektron dengan gaya listrik yang bekerja padanya. (b) seberapa jauh elektron dibelokan setelah menempuh jarak 1 cm pada arah sumbu X?



Jawab : (a) gaya listrik pada elektron adalah –eE dan gaya gravitasi yang bekerja padanya adalah mg. karena medan listrik mengarah ke bawah, gaya listrik pada elektron yang negatif mengarah ke atas, gaya gravitasi tentunya ke bawah. Perbandigan besarna kedua gaya adalah.

Seperti biasanya terjadi, gaya listrik jauh lebih besar dibandingkan gaya gravitasi. Jadi gaya gravitasi secara keseluruhan diabaikan.

1. Waktu yang diperlukan untuk menempuh jarak 1 cm pada arah sumbu X.

Dalam waktu ini, elektron dibelokan keatas berlawanan arah dari medan dengan jarak sebesar yang diberikan dengan:

Dengan memasukan harga-harga yang telah diketahui dari e, m, E, dan t diperoleh: y = 1,76x

**Dipol Listrik di dalam Medan Listrik**

Momen dipol suatu atom atau molekul nonpolar di dalam medan listrik luar disebut momen dipol induksi.

|  |  |
| --- | --- |
|  | Molekul nonpolar di dalam medan listrik tidak homogen dari satu muatan titik positif. Momen dipol listrik induksi p sejajar dengan medan dari muatan titik tersebut. Karena muatan titik letaknya lebih dekat terhadap pusat muatan negatif dibandingkan pusat muatan positifnya, akan ada gaya total tarik-menarik antara dipol dan muatan titik. |
| Gambar di atas memperlihatkan suatu molekul nonpolar yang berada di dalam medan listrik dari suatu muatan titik positif q. momen dipol induksi sejajar dengan E pada arah radial dari muatan titik tersebut. Medan pada muatan negatif lebih kuat sebab letaknya lebih dekat kepada muatan titik, jadi gaya total pada dipol ditarik menuju muatan titik. Jika titik muatan tersebut adalah negatif, dipol induksi akan mempunyai arah yang berlawanan dari arah semula, dan dipol sekali lagi akan ditarik oleh muatan titik tersebut. | |
|  | Suatu dipol berada di dalam medan listrik homogen mengalami gaya sama dan berlawanan arah yang cenderung akan memutar dipol sedemikian rupa sehingga momen dipolnya searah dengan medan listriknya.  Gambar disamping memperlihatkan gaya-gaya yang dilakukan pada dipol yang mempunyai momen **P=q.L** di dalam medan listrik homogen E. kita peroleh torka (momen) yang dihasilkan oleh dua buah gaya yang |
| berlawanan arah yang disebut **kopel,** adalah sama disetiap titik di dalam ruang. Dari gambar, kita lihat bahwa torka pada muatan negatif mempunyai harga :  **F1.L. sinӨ = q.E.L sinӨ = p.E. sinӨ.**  Arah dari torka menuju keatas sedemikian rupa sehingga torka ini memutar momen dipol ke arah medan listrik E. torka ini dapat ditulis dengan lebih baik sebagai perkalian silang dari momen dipol **p** dengan medan listrik **E**: | |

**; P=q.L**

Jika dipol berputar melalui sudut **dӨ**, medan listrik akan melakukan kerja:

**d= - dӨ = -pE sinӨ dӨ**

tanda minus muncul akibat torka yang cenderung menurunkan q, dengan membuat kerja ini sama dengan penurunan energi potensial, akan kita peroleh :

**du= -d= +pE sinӨ dӨ**

dengan integrasi (mengintegrasikan), kita peroleh :

**U = -pE cosӨ + Uo**

Biasanya kita pilih energi potensial menjadi nol pada saat dipol tegak lurus dengan medan listrik, yaitu ketika **Ө=90** kemudian Uo=0 dan energi potensial menjadi :

**U = -pE cosӨ = -pE**

Contoh : Suatu dipol dengan momen sebesar 0,02 e.nm berada dalam medan listrik homogen yang besarnya 3xN/C serta membentuk sudut 20 terhadap arah medan listrik. Carilah :

1. Besarnya torka pada dipol
2. Energi potensial dari sistem

26 Maret 2014

Jawab :

1. Ө = (0,02)(m)( 3xN/C)(sin 20)

= 3,28 N.m

1. U = -pE = -pE cosӨ = -(0,02)(m)( 3xN/C)(cos 20)

= -9,02xJ

1. **Distribusi Muatan Kontinyu**

**Perhitungan Medan Listrik Berdasarkan hukum Coulomb.**

|  |  |
| --- | --- |
|  | Sebuah elemen muatan dq yang menghasilkan medan dE di titik p. medan di p akibat muatan total ini dapat diperoleh dengan melakukan integrasi terhadap seluruh distribusi muatan.  Sebuah elemen muatan dq=p.dv yang sedemikian kecil sehingga dapat dianggap sebagai muatan titik. Medan listrik dE di titik medan p yang diakibatkan oleh elemen muatan ini dinyatakan oleh hukum coulomb : |



Dengan r merupakan jarak dari elemen muatan tersebut dengan titik medan p, dan r^ sebagai vektor satuan yang menunjukan arah dari elemen ke titik medan. Medan total di p dapat diperoleh dengan mengintegralkan pernyataan ini terhadap distribusi muatan keseluruhan, yang kita anggap menempati sebagian volume V:

Dimana dq =p.dv. jika muatan ini terdistribusi pada suatu permukaaan, maka kita gunakan dq = kemudian integralkan terhadap permukaannya. Jika muatannya terdistribusi pada garis, maka kita gunakan dq=.dL kemudian integralkan terhadap garisnya.

**Hukum Gauss**

Jumlah total dari garis yang meninggalkan sembarang permukaan yang melingkupi muatan tersebut akan berbanding lurus dengan muatan total yang dilingkupi oleh permukaan itu.

Kuantitas matematis yang menunjukkan jumlah garis gaya medan yang melewati permukaan ini disebut **fluks listrik.**

|  |  |
| --- | --- |
|  | Garis-garis gaya medan listrik dari sebuah medan yang melintasi luas A yang letaknya tegak lurus medan disebut **fluks listrik.**  **Fluks listrik (ф)** yang melewati permukaan luas A yang tegak lurus medan ini didefinisikan sebagai perkalian medan E dan luasan A  **Ф= EA ; satuan ф=(N./C)** |
|  | Garis medan listrik dari suatu medan listrik yang seragam yang tegak lurus terhadap luasan **A1** tapi membentuk sudut **Ө** dengan vektor satuanyang merupakan normal dari luasan **A2**. Apabila **E** tidak tegak lurus terhadap luasan tersebut maka fluksnya adalah En, A, dimana **En = E.cosӨ** adalah komponen E yang tegak lurus terhadap luasan tersebut. Fluks yang melewati A2 ini sama dengan fluks yang melewati A1. |

Permukaan luasan A2 tidak tegak lurus terhadap medan listrik E. jumlah garis menyeberang luasan A2 sama dengan jumlah yang menyeberangi luasan A1. Luasan-luasan ini memiliki hubungan:

**A2 cos Ө = A1**

Dengan Ө sudut antara E dengan vektor satuan yang tegak lurus permukaan A2, seperti yang diperlihatkan gambar tersebut. Fluks Yang melintasi permukaan yang tidak tegak lurus terhadap E adalah

**Ф= E..A = E.A.cos Ө = En.A ;** dengan **En = E.** adalah komponen dari vektor medan listrik yang tidak tegak lurus, atau normal, terhadap permukaan tersebut.

**Persamaan Hukum Gauss**

**Фnet =**

Dalam keabsahannya bergantung pada kenyataan bahwa medan listrik akibat suatu muatan titik tunggal berbanding terbalik dengan kuadrat jarak dari muatan itu. Besaran medan listrik inilah yang memungkinkan kita memperolah jumlah garis medan listrik yang pasti dari suatu muatan dan membuat densitas garisnya sebanding dengan kekuatan medannya.

Biasanya kita menulis konstanta coulomb K dalam bentuk konstanta lain , yang disebut **permitivitas ruang bebas.**

Dengan menggunakan notasi ini, hukum coulomb dituliskan sebagai

Dan dalam hukum gauss

**Фnet =**

Nilai dalam satuan SI adalah

1. **Potensial Listrik**

Beda potensial Vb-Va didefinisikan sebagai negatif dari kerja persatuan muatan yang dilakukan oleh medan listrik ketika muatan uji bergerak dari titik a ke b.

Untuk perpindahan tak hingga ditulis menjadi

Karena hanya beda potensial listrik sajalah yang dipandang penting, kita dapat menganggap potensial nol di semua titik yang kita inginkan. Potensial pada suatu titik adalah energi potensial muatan dibagi dengan muatan:

**V= potensial U= energi potensial = muatan**

Satuan potensial dan beda potensial adalah volt (V) : 1 V = 1 J/V. dalam hubungan satuan ini, satuan untuk medan listrik dapat dinyatakan 1 N/C = 1 V/m.

**1eV=**

Potensial pada jarak r dari muatan q dipusat diberikan oleh :

Dimana **Vo** adalah potensial pada jarak tak hingga dari muatan. Ketika potensial dipilih menjadi nol pada jarak tak hinngga, potensial akibat muatan titik adalah

Untuk sistem muatan titik, potensial diberikan oleh

Dimana jumlah diambil untuk semua muatan dariadalah jarak dari muatan i ke titik p dimana potensial dicari.

Energi potensial elektrostatik sistem muatan titik adalah kerja yang dibutuhkan untuk membawa muatan-muatan dari jarak tak hingga ke posisi terakhir.

Untuk distribusi muatan kontinyu, potensial didapatkan dengan integrasi pada distribusi muatan:

Pernyataan ini digunakan hanya jika distribusi muatan kontinyu dalam volume berhingga sehingga potensial dapat dipilih nol pada jarak tak hingga.

Medan listrik mengarah ke arah pengurangan terbesar dari potensial. Komponen **E** dalam arah perpindahan dl dihubungkan terhadap potensial akibat.

Vektor yang menunjuk dalam arah perubahan fungsi potensial terbesar dan mempunyai jumlah sama dengan turunan fungsi terhadap jarak dalam arah tersebut adalah gradien fungsi. Medan listrik **E** adalah negatif gradien potensial **V**. dalam notasi vektor, gradien ditulis sehingga

Untuk distribusi muatan simetri bola, potensial hanya berubah terhadap **r**, dan medan listrik dihubungkan dengan potensial akibat.

Dalam kordinat rektangular , medan listrik dihubungkan dengan potensial akibat

Contoh : (a) berapakah potensial listrik pada jarak r= dari proton? (ini adalah jarak rata-rata proton dan elektron dalam atom hidrogen). (b) berapakah energi potensial elektron dan proton pada pemisahan ini?

Jawab :

1. Muatan proton adalah q =
2. Muatan elektron adalah –e = -. dalam elektron volt, energi potensial elektron dan proton yang terpisah dengan jarak r= adalah

U = qV = -e (27,2V) = -27,2 eV

Dalam satuan SI, energi potensialnya adalah

U = qV = (-) (27,2V) = -4,35x j

02 April 2014

Contoh : cincin jari-jari 4 cm membawa muatan serba sama 8nC. Pertikel kecil denga massa m = 6mg = dan muatan qo = 5nC diletakan pada X = 3 cm dan dilepaskan. Tentukan kecepatan muatan ketika ia berjarak jauh dari cincin.

Jawab : Energi potensial muatan qo pada X= 3cm adalah

U = V =

Saat partikel bergerak sepanjang sumbu X menjauh dari cincin, energi potensialnya berkuarng dan energi kinetiknya bertambah, ketika partikel sangat jauh dari cincin, energi potensialnya nol dan energi kinetiknya adalah . maka kecepatannya adalah

1. **Kapasitansi, Dielektrik, & Energi Elektrostatik**

**Kapasitor** adalah piranti untuk menyimpan muatan dan energi. Yang terdiri dari 2 konduktor, yang berdekatan namun terpisah satu sama lain, yang membawa muatan yang sama besar namun berlawanan**. Kapasitansi** adalah rasio antara besar muatan Q pada masing-masing konduktor dengan beda potensial V diantara konduktor-konduktor tersebut

C : kapasitansi

Q : besar muatan pada tiap keping

V : perbedaan potensial

|  |  |
| --- | --- |
|  | “suatu kapasitor terdiri dari 2 keping konduktor sejajar yang terpisah. Ketika konduktor-konduktor dihubungkan pada ujung-ujung suatu baterai, baterai memindahkan muatan dari satu konduktor ke konduktor lainnya sampai perbedaan potensial antara ujung-ujung konduktor sama dengan perbedaan potensial antara ujung-ujung baterai. Jumlah muatan yang dipindahkan sebanding dengan perbedaan potensial.” |

Kapasitansi suatu kapasitor keping paralel berbanding lurus dengan luas keping dan berbanding terbalik terhadap jarak pemisah:

Kapasitansi sebuah kapasitor silindris dinyatakan oleh

Dimana L : panjang kapasitor

a dan b masing-masing : jari-jari dalam dan luar konduktor.

Suatu bahan non-konduktor dinamakan dielektrik. Apabila dielektrik disisipkan diantara keping-keping kapasitor, molekul-molekul di dalam dielektrik ini akan terpolarisasi dan medan listrik didalamnya akan melemah. Jika medan tanpa dielektrik adalah **Eo** maka dielektrik medannya adalah

Dimana V adalah perbedaan potensial dengan dielektrik dan Vo = Eos adalah perbadaan potensial awal tanpa dielektrik. Kapasitansi baru adalah

Dimana Co= Q/Vo adalah kapasitansi awal. Kapasitansi dari suatu kapasitor keping sejajar yang berisi dielektrik dengan konstanta adalah

Energi elektristatik yang tersimpan di dalam suatu kapasitor bermuatan Q, beda potensial V, dan kapasitansi C adalah

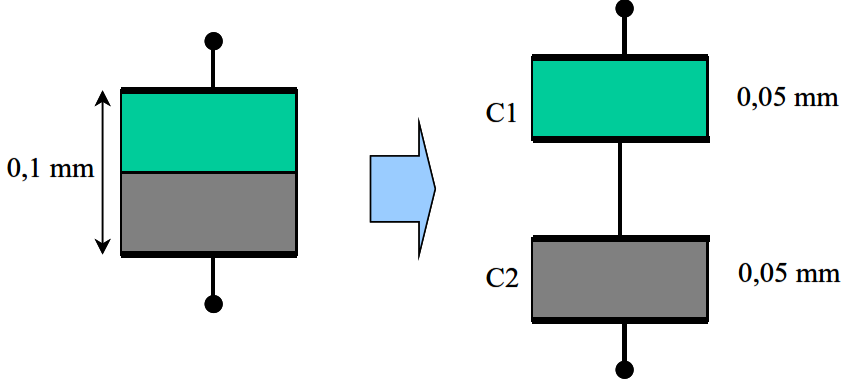
Energi ini dianggap tersimpan di dalam medan listrik diantara keping-keping kapasitor. Energi per volume satuan didalam medan listrik E dinyatakan oleh

Apabila dua buah kapasitor atau lebih dihubungkan secara **paralel,** kapasitansi ekivalen kombinasinya adalah jumlah kapasitansi tunggal:

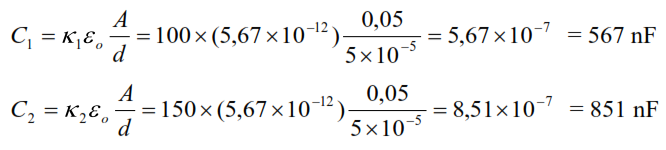
Apabila dua buah kapasitor atau lebih dihubungkan secara **seri**, kapasitansi ekivalen kombinasinya adalah jumlah kapasitansi tunggal:

**Latihan Soal :**

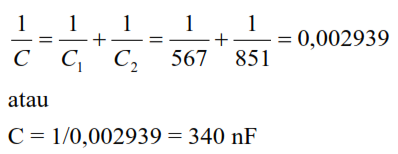
1. Tiga buah kapasitor dengan kapasitansi sama, masing-masing 1 mF. Tulislah semua susunan yang masing-masing susunan tersebut. mungkin bagi tiga kapasitor tersebut dan hitung kapasitansi pengganti
2. Bahan dengan konstanta dielektrik κ = 50 ditempatkan di antara dua pelat logam sejajar yang terpisah sejauh 0,1 mm. Luas masing-masing pelat adalah 5 cm2. Tentukan kapasitansi kapasitor yang dihasilkan. Dan berapa kapasitansi jika bahan dielektrik dikeluarkan dari posisi antara dua pelat?
3. Dua pelat sejajar dengan luas penampang masing-masing 0,05 m2 dipisahkan sejauh 0,1 mm. Di antara dua pelat diselipkan dua bahan dielektrik dengan ketebalan sama masing-masing dengan konstanta dielektrik κ1 = 100 dan κ2 = 150. Tentukan kapasitansi yang dihasilkan.



Pertama kali kita hitung C1 dan C2 kemudian menghitung kapasitansi total.



Karena C1 dan C2 disusun secara seri maka kapasitansi total memenuhi



1. Suatu kapasitor keping sejajar berbentuk bujursangkar dengan sisi 1 cm dan jarak pemisah 1mm
2. Hitung kapasitansinya
3. Jika kapasitor ini dimuati sampai 12 V, berapa banyak muatan yang dipindahkan dari satu keping ke keping yang lain.
4. Suatu kabel koaksial terdiri dari kabel berjari-jari 0,5 mm dan lapisan konduktor terluar dengan jari-jari 1,5 mm. tentukan kapasitansi persatuan panjang.
5. Pada rangkaian ini, kapasitor 2uF dan 3uF terhubung secara paralel dan kombinasi paralel ini terhubung secara seri dengan kapasitor 4uF. Berapakah kapasitansi ekivalen kapasitor paralel, seri, dan ekivalen keduanya?



1. **Arus Listrik**

**Arus listrik** adalah laju aliran muatan yang melalui suatu luasan penampang melintang. Berdasarkan konversi (perubahan), arahnya dianggap sama dengan arah aliran muatan positif. Dalam kawat penghantar, arus listrik merupakan hasil aliran lambat elektron-elektron bermuatan negatif yang dipercepat oleh medan listrik dalam kawat dan kemudian segera bertumbukan dengan atom-atom konduktor. Biasanya kecepatan drift elektron-elektron dalam kawat memiliki orde 0,01 mm/s.

Resistansi suatu segmen kawat didefinisikan sebagai perbandingan antara tegangan jatuh pada segmen dan arus. Dalam material ohmik, yang meliputi banyak material, resistansi tidak bergantung pada arus suatu hasil eksperimental yang dikenal sebagai **hukum ohm.** Untuk semua material, beda potensial, arus, dan resistansi dihubungkan oleh

Resistansi suatu kawat sebanding dengan panjangnya dan berbanding terbalik dengan luas penampang lintangnya.

Dimanaadalah resistivitas material, yang bergantung pada temperatur. Kebalikan dari resistivitas disebut konduktivitas

Daya yang diberikan ke suatu segmen rangkaian sama dengan hasil kali arus dan tegangan jatuh pada segmen

Alat yang memberikan energi ke suatu rangkaian disebut sumber ggl. Daya yang diberikan oleh sumber ggl adalah hasil kali arus

Daya yang didisipasikan dalam resistor diberikan

Resistansi ekivalen sekumpulan resistor yang diseri sama dengan penjumlahan resistansi-resistansinya

Untuk sekumpulan resistor yang disusun paralel, resistansi ekivalen sama dengan penjumlahan dari kebalikan resistansi masing-masing

Dalam model mikroskopik dari konduksi listrik, elektron-elektron bebas dalam sebuah logan dipercepat oleh medan listrik tetapi dengan cepat kehilangan energi tambahan dalam tumbukan-tubukannya denga ion-ion kisi logam. Kecepatan driftnya sebanding dengan medan listrik. Resistivitas dihubungkan dengan laju rata-rata Vav dan dengan lintasan bebas rata-rata **λ** (jarak rata-rata yang ditempuh antar tumbukan)

me : massa elektron

τ : waktu rata-rata tumbukan

V : laju rata-rata

ne : jumlah elektron persatuan volume

**Latihan Soal :**

1. Resistansi kawat tembaga membawa arus 1 A sepanjang 1 m adalah dari hukum ohm, tegangan jatuh pada kawat 1 m ini adalah
2. Resistor 12 ohm membawa arus 3 A. berapa daya yang didisipasi dalam resistor ini
3. Dari rangkaian dibawah ini, carilah:
4. Resistansi ekivalensi
5. Arus total
6. Arus pada masing-masing resistor
7. Daya yang didisipasi oleh masing-masing resistor



1. **Rangkaian Arus Searah**

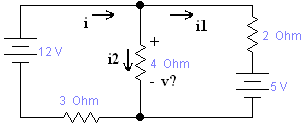
Hukum Kirchhoff

1. Pada setiap rangkain tertutup, jumlah aljabar dari beda potensialnya harus sama dengan nol.
2. Pada setiap titik percabangan jumlah arus yang masuk melalui titik tersebut sama dengan jumlah arus yang keluar dari titik tersebut.

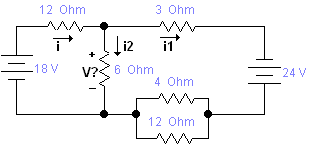
|  |  |
| --- | --- |
|  | Gambar disamping merupakan ilustrasi dari hukum kirchhoff tentang titik percabangan. Arus **I1**, yang mengalir melalui titik **A** sama dengan jumlah **I2+I3** yang mengalir keluar titik **A** |

Contoh :

1. Tentukan arus dalam setiap bagian rangkaian seperti tampak pada gambar dan tentukan pula energi yang didisipasikan dalam resistor?



1. Tentukan arus pada setiap bagian rangkaian?



1. **Medan Magnetik**

Apabila muatan **q** bergerak dengan kecepatan **V** dalam medan magnetik **B**, muatan itu mengalami gaya

Gaya pada elemen arus diberikan oleh

Satuan SI medan magnetik ialah **Tesla** (T). Satuan yang lazim digunakan ialah **Gauss** (G), yang dihubungkan dengan Tesla oleh

**Gerak Muatan Titik dalam Medan Magnetik**

|  |  |
| --- | --- |
|  | Partikel yang bermassa m dan muatan q yang bergerak dengan kecepatan V dalam bidang tegak lurus terhadap medan magnetik bergerak dalam orbit lingkaran dengan jari-jari r diberikan oleh:  Priode dan frekuensi gerak melingkar ini tidak bergantung pada jari-jari orbitnya atau kecepatan partikelnya. Priode, yang disebut periode siklotron, diberikan oleh: |

Frekuensi, yang disebut frekuensi siklotron, diberikan oleh:

Pemilih kecepatan menghasilkan medan listrik dan magnetik silang sedemikian rupa sehingga gaya listrik dan gaya magnetik seimbang untuk partikel yang kecepatannya diberikan oleh:

Simpal arus dalam medan magnetik seragam berprilaku sebagai dipol megnetik dengan momen magnetik m yang diberikan oleh:

Dengan **N** merupakan jumlah lilitan, **A** merupakan luas penampang simpal, **I** merupakan arus, dan merupakan vektor satuan yang tegak lurus terhadap bidang simpal dalam arah yang diberikan oleh kaidah tangan kanan. Apabila suatu dipol magnetik berada dalam medan magnetik, dipol itu mengalami momen gaya (torsi) yang diberikan oleh:

Yang cenderung menyebariskan momen magnetik simpal arus dengan medan luar. Gaya total pada simpal arus dalam suatu medan magnetik seragam adalah nol.

Magnet batang juga mengalami momen gaya dalam medan magnetik. Momen gaya yang diukur secara percobaan dapat digunakan untuk menentukan momen magnetik magnet batang dari **τ = m x B**

Kekuatan kutub magnet batang qm dapat didefinisikan dengan menulis gaya yang dikerahan pada kutub sebagai **F = qm.B.** kutub magnet utara memiliki kekuatan kutub positif dan kutub selatan memiliki kekuatan kutub negatif. Dinyatakan dalam besar kekuatan kutub, momen magnetik magnet batang ialah **m = |qm|** l, l merupakan vektor dari kutub selatan ke kutub utara. Apabila lempeng konduksi yang sedang menyalurkan arus ditempatkan dalam medan magnetik, gaya magnetik pada pembawa muatannya menyebabkan pemisahan muatan yang disebut **Efek Hall.** Efek ini menghasilkan tegangan , yang disebut tegangan hall yang diberikan oleh:

Vd = kecepatan drift

B = medan magnetik

W = lebar lempengan

t = tebal lempengan

q = muatan

V = tegangan hall

Pengukuran pada temperatur yang sangat rendah memperlihatkan bahwa tahanan hall

itu terkuantitasi dan hanya dapat memiliki nilai yang diberikan oleh:

Rk memiliki nilai Rk =

Contoh : Medan magnetik bumi memiliki besar 0,6 G dan diarahkan kebawah dan utara, yang membuat sudut kira-kira 70⁰ dengan garis mendatar. (Besar dan arah medan magnetik bumi berubah-ubah dari satu tempat ke tempat lain. Data ini kira-kira benar untuk Amerika Serikat bagian tengah). Proton yang bermuatan q = sedang bergerak secara mendatar ke arah utara dengan kecepatan v = m/s. Hitunglah gaya magnetik pada proton tersebut.

|  |  |
| --- | --- |
|  | Arah medan magnet B dan kecepatan proton V. sudut diantara keduanya ialah = 70. Gaya magnetik sejajar dengan V x B yang mengarah kebarat untuk proton yang bergerak ke utara. Besar gaya magnetik tersebut ialah  =(1,6xC)((0,6T)(0,94)  =9,02 x N |

Disarankan untuk mengerjakan Bcoscontoh ini dengan menggunakan vektor satuan. Kita memilih arah X dan Y masing-masing ke timur dan utara, dan arah Z ke atas seperti pada gambar. Maka vektor kecepatannya berada dalam arah Y, dan medan magnetik bumi memiliki komponen Bx=0, By=Bcos70=(0,6T)(0,342)=2,05T, B2=-Bsin70= (0,6T)(0,94)= -5,64T. vektor medan magnetik dengan demikian diberikan oleh:

**2,05T)j-(5,64T)k**

Dan gaya magnetik pada proton ialah

**= =(1,6xC)((2,05T)j-(5,64T)k)**

Karena jxj=0 dan jxk=I, kita peroleh

**= =(1,6xC)((-5,64T)k) =( -9,02 N )i**

Contoh : simpal melingkar dengan jari-jari 2 cm memiliki 10 lilitan kawat dan menyalurkan arus 3A. sumbu simpal ini membuat sudut 30⁰ dengan medan magnet 8000 G. carilah momen gaya pada simpal ini.

Jawab :

Besar momen gaya pada simpal ialah

3,77A.m²

Dengan demikian momen gayanya adalah

= (3,77A.m²)(0,8T)(sin 30⁰) = 1,51N.m

\*\*dimana kita telah menggunakan 8000 G = 0,8 T dan 1T = 1N/A.m

1. **Sumber Medan Magnetik**

Medan magnetik yang dijasilkan oleh muatan titik **q** yang bergerak dengan kecepatan **V** disuatu titik sejarak **r** diberikan oleh

Medan magnetik **dB** pada jarak **r** dari elemen arus **I** dl adalah

Medan magnetik pada sumbu simpal arus diberikan oleh

Dengan i merupakan vektor satuan disepanjang sumbu simpal tersebut pada jarak yang sangat jauh dari simpal tersebut, medannya berupa medan dipol :

Dengan m = momen dipol simpal yang besarnya adalah perkalian antara arus dan luasan simpal

Didalam suatu solenoid dan jauh dari ujungnya, medan magnetik akan seragam dan memiliki besaran

Medan magnetik dari suatu segmen kawat lurus, yang menyalurkan arus ialah

**Ө2)**

R: jarak tegak lurus terhadap kawat dan 1 dan merupakan sudut yang diperpanjang kebawah dititik medan hingga ujung-ujung kawat.

Jika kawatnya sangat panjang, atau titik medannya sangat dekat dengan kawat tersebut, maka medan magnetiknya mendekati

Medan magnetik didalam toroid yang digulung rapat diberikan oleh

dengan r merupakan jarak dari pusat toroid.

1. **Induksi Magnetik**

Ggl dan arus yang disebabkan oleh medan magnetik yang berubah disebut ggl induksi dan arus induksi proses itu sendiri diacu sebagai induksi magnetik.

**Fluks Magnetik (фm)**

Didefinisikan sebagai perkalian medan magnetik B dengan luasan A yang dibatasi oleh rangkaiannya:

**Фm = B.A**

|  |  |
| --- | --- |
|  | Satuan **Фm** = Weber (Wb) dengan 1 Wb = 1 Tm.  Untuk kumparan yang terdiri atas N lilitan, fluks yang melalui kumparan tersebut ialah N kali fluks yang melalui lilitan tunggal.  **Фm = N.B.A cosӨ** |

Umumnya, untuk kumparan dengan N lilitan, fluks megnetik yang melalui kumparan, dimana B tidak perlu konstan diseluruh luasannya, fluksnya adalah

**Фm =**

Contoh : Medan magnetik seragam yang besarnya 2000G membentuk sudut 30⁰ dengan sumbu kumparan melingkar yang terdiri atas 300 lilitan dan jari-jari 4 cm. carilah fluks magnetik yang melalui kumparan ini

Jawab : , besar madan magnetik dalam satuan SI sama dengan 0,2T. luas kumparan ialah

= (3,14)(0,04m)² = 0,00502 m²

Fluks yang melalui kumparan ini dengan demikian sama dengan

Фm = N.B.A cosӨ =(300)(0,2 T)( 0,00502 m²)(0,866) = 0,26 wb

Contoh : Carilah fluks magnetik yang melalui suatu solenoida yang panjangnya 40 cm, berjari-jari 2,5 cm, memiliki 600 lilitan dan memberikan arus 7,5A

Jawab : Medan magnetik di dalam solenoida diberikan oleh persamaan

B = μο.n.I = (4.m/A)(600 lilitan/0,40m)(7,5A) = 1,41

Karena medan magnetik pada dasarnya konstan diseluruh luas penampang kumparan, fluks magnetik sama dengan :

Фm = N.B.A = (600)( 1,41)( 1,66

**GGL Induksi dan Hukum Faraday**

Apabila fluks magnetik yang melalui suatu rangkaian berubah, akan ada ggl yang diinduksi pada rangkaian yang diberikan oleh **Hukum Faraday**

“ tanda (-) negatif berkenaan dengan arah ggl induksinya”

**E(2) =**

**“Hal ini menunjukan bahwa Hukum Faraday menyiratkan bahwa medan magnetik yang berubah akan menghasilkan medan listrik.”**

Contoh : Kumparan dengan 80 lilitan memiliki jari-jari 5,0 cm dan tahanan 30 ohm. Pada laju berapakah medan magnetik yang tegak lurus harus berubah untuk menghasilkan arus sebesar 4,0A dalam kumparan tersebut?.

Jawab : GGl dalam kumparannya harus sama dengan tegangan jatuh pada tahanannya:

Karena bidang kumparan tegak lurus terhadap medannya, fluksnya sama dengan

menurut Hukum Faraday, besar ggl induksi sama dengan laju perubahan fluks ini dengan demikian:

1. **Rangkaian Arus Bolak-Balik**

|  |  |
| --- | --- |
|  | Pada gambar disamping, tanda plus (+) dan minus (-) memperlihatkan sisi potensial yang lebih tinggi dan sisi potensial yang lebih rendah dari suatu sumber ggl untuk arah arus yang diambil. Tanda plus dan minus juga ditempatkan pada tahanan untuk memperlihatkan arah beda tegangan untuk arus yang diambil. |

Perhatikan bahwa titik tempat arus memasuki tahanan berada pada potensial yang lebih tinggi daripada tempat arus keluar. Beda tegangan pada tahanan VR doberikan oleh:

Jika merupakan ggl yang diberikan oleh generator, dengan menggunakan kaidah simpal kirchhoff untuk rangkaian ini akan memberikan

Jika generator membangkitkan suatu ggl yang diberikan oleh

Kita peroleh

Arus dalam tahanan ialah

Nilai I maks terjadi apabila **cos**  bernilai maksimum **1**, ynag dalam hai ini:

Dengan demikian kita dapat menulis bahwa

Daya yang didisipasikan dalam tahanan bervariasi terhadap waktu. Nilai sesaatnya adalah

|  |  |
| --- | --- |
|  | Gambar disamping menunjukan daya sebagai fungsi waktu. Daya ini berubah dari nol hingga nilai maksimumnya **I²maks.R** seperti yang ditunjukan. Kita biasanya berminat pada daya rata-rata dalam satu periode **(t=T=2/)** ialah |

Dengan mensubstitusikan **,** maka diperoleh

Integral dalam pernyataan ini dapat diperoleh dari tabel, integral ini memiliki nilai . Daya rata-rata yang dihantarkan ketahanan selama satu periode sama dengan energi ini dibagi oleh T:

Nilai **cos²** selama satu periode atau lebih ialah ½ dapat dilihat dari kesamaan :

**cos² +sin²=1.**

Grafik **sin²** tampak sama dengan grafik **cos²** kecuali hanya bergeser 90⁰. Keduanya memiliki nilai rata-rata yang sama selama 1 periode atau lebih dan karena jumlahnya sama dengan 1, nilai rata-rata masing-masing harus ½.daya rata-rata tang terdidisipasi dalam tahanan ialah

**Nilai rms (nilai akar rata-rata kuadrat) (rms-root-mean-square)**

Sebagian besar ammeter dan voltmeter didesain untuk mengukur rms arus dan tagangan dan bukan nilai maksimum atau puncaknya. Nilai rms arus **Irms** didefinisikan oleh:

Nilai rata-rata **I²** ialah

Disini kita menggunakan **(cos²)rat=1/2**. Dengan mensubstitusikan **1/2.I²maks** untuk **(I²)rat** dalam persamaan berikut:

Nilai rms sembarang besaran yang beragam secara sinusoidal sama dengan nilai maks besaran tersebut dibagi dengan

Dengan mensubstitusikan **I²rms** untuk **1/2.I²maks** dalam persamaan :

**Prat= (I²R)rat=1/2.I²maks**

Kita peroleh untuk daya rata-rata yang didisipasikan dalam tahanan :

**Prat= I²rms.R**

Daya rata-rata yang diberikan oleh generator sama dengan daya rata-rata yang didisipasikan dalam tahanan

**.**

Dengan menggunakan dan

Arusrms berhubungan dengan ggl rms dengan cara sama seperti arus maksimum dihubungkan dengan ggl maksimum. Dapat dilihat dengan membagi setiap sisi dengan dan menggunakan dan

Contoh : Tahanan 12 ohm dihubungkan pada GGL sinusoida yang memiliki nilai puncak 48Volt. Carilah:

|  |  |
| --- | --- |
|  | * 1. Arus rms   2. Daya rata-rata   3. Daya maksimum |