PERPUSTAKAAN IKIP PADANG
KOLEKSI BIDANG ILMU
TIDAK DIPINJAMKAN
KHUSUS UNTUK DIBACA DI DALAM PERPUSTAKAAN

DASAR–DASAR
LISTRIK STATIS

MILIK UPT PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG

PERPUSTAKAAN IKIP PADANG
TELAH TERDAFTAR

JUDUL :
PENGARANG :
JENIS :
No DAFTAR : 442 LHD 188
TANGGAL :

KEPALA,

Oleh

Drs. Mahrizal

JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN
ILMU PENGETAHUAN ALAM
IKIP PADANG
1988

KATA PENGANTAR

Buku ini ditulis guna memenuhi kebutuhan buku- buku pelajaran untuk mata kuliah Listrik Magnet di Jurusan Pendidikan Fisika FPMIPA-IKIP Padang.

Dalam buku ini akan dibahas aspek-aspek tenteng listrik statis yaitu hukum Coulomb, medan listrik, hukum Gauss, potensial listrik dan kapasitansi serta dielektrik.

Penulis merasa bahwa masih banyak kekurangan dalam buku ini dan adalah harapan penulis untuk mendapat lebih banyak petunjuk dari pembaca demi penyempurnaan buku ini.

Akhirnya penulis mengucapkan terima kasih kepada semua yang telah banyak berjasa dalam penyelesaian buku ini.

Padang, Januari 1988

Penulis

28-1-88
Hadi
K 1
417/HD/88-d, (2)
530.14107 Mah d,

DAFTAR ISI

Halaman

[illegible] i

DAFTAR ISI ii

BAB I [illegible] 1

BAB II HUKUM COULOMB 4

2.1 [illegible] 4

2.2 Konduktor dan Isolator 5

2.3 Hukum Coulomb 7

BAB III [illegible] 12

3.1 [illegible] 12

3.2 [illegible] 13

3.3 [illegible] 14

BAB IV HUKUM GAUSS 20

4.1 Garis Gaya 20

4.2 Hukum Gauss 22

4.3 Penerapan/Penerapan Hukum Gauss 24

BAB V [illegible] 30

5.1 Energi Potensial Listrik 30

5.2 Potensial Listrik 33

5.3 [illegible] 35

BAB VI [illegible] 46

6.1 [illegible] 46

6.2 [illegible] 47

6.3 [illegible] 49

6.4 [illegible] 51

6.5 Dielektrik 52
6.6 Energi Dalam Medan Listrik 55
SOAL-SOAL LATIHAN 58
JAWABAN SOAL-SOAL LATIHAN 60
KEPUSTAKAAN 61

MILIK UPT PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG

BAB I

P E N D A H U L U A N

Sebuah benda digosok dengan benda lain dan kemudian benda ini dapat menarik benda-benda yang ringan disekitarnya seperti potongan-potongan kertas. Gejala ini disebut gejala kelistrikan. Gaya tarik yang dimiliki benda ini disebut gaya listrik.

Misalnya kaca digosok dengan kain sutera, kaca ini dapat menarik potongan-potongan kertas yang kecil. Jadi gaya ini berbeda dengan gaya grafitasi atau gaya magnet. Gaya grafitasi adalah gaya tarik menarik antara dua atau lebih partikel materi dan gaya magnet adalah gaya yang dikerjakan oleh batang magnet atau arus listrik terhadap muatan listrik yang bergerak, terhadap batang magnet atau terhadap arus lain disekitarnya. Kedua gaya yang disebut terakhir ini dihasilkan tanpa melalui proses penggosokan. Tetapi gaya listrik, gaya grafitasi dan gaya magnet mempunyai persamaan juga yaitu antara benda-benda yang melakukan dapat tidak bersentuhan sama sekali . Jadi berbeda dengan gaya pegas atau gaya lainnya yang memerlukan kontak atau hubungan antara benda-benda yang melakukan atau mengerjakan gaya.

Gejala kelistrikan ini pertama kali diamati oleh seorang ahli fisika Yunani, Thales Miletus pada tahun 600 S.M. Thales menemukan bahwa jika batu ambar digosok, batu ambar mempunyai sifat menarik benda-benda kecil didekatnya misalnya sehelai benang. Tetapi Thales belum dapat menjelaskan gejala ini secara ilmiah. Batu ambar dalam bahasa Yunani disebut elektron yang dari mana kata listrik berasal.

Dalam abad ke XVI Dr.William Gilbert dari Inggeris kemudian melakukan penyelidikan lebih lanjut.Gilbert menemukan bahwa ada benda-benda yang mempunyai sifat se -

perti batu ambar yang kemudian disebutnya elektrik dan ada pula yang tidak mempunyai sifat tersebut meskipun sudah digosok. Benda ini disebutnya non elektrik . Benda elektrik misalnya gelas, sutera, wol, sedang benda non elektrik misalnya logam. Benda elektrik ini sekarang dikenal dengan nama isolator dan benda non elektrik ini disebut konduktor.

Kemudian Du Fay menunjukkan adanya dua macam gejala kelistrikan. Selain gaya tarik menarik antara dua atau lebih isolator, juga ditemukan adanya gaya tolak - menolak antara dua atau lebih isolator. Benda yang menunjukkan gejala-gejala kelistrikan ini disebut mempunyai muatan listrik. Ditemukan bahwa jika dua benda yang sama diberi muatan dengan cara yang sama, kedua benda ini akan saling tolak menolak. Tetapi bila benda ini didekatkan dengan benda lain yang diberi muatan dengan cara yang berbeda, maka kedua benda akan saling tarik menarik. Sebatang kaca digosok dengan sutera. Dua bola kecil yang ringan kemudian disinggungkan dengan batang kaca. Ternyata kedua bola yang mendapat muatan dari batang kaca itu akan saling tolak menolak. Demikian juga dua buah bola yang disinggungkan dengan karet keras yang dogosok dengan bulu juga akan saling tolak menolak. Tetapi bila salah satu dari bola yang disebut pertama didekatkan dengan salah satu dari dua bola yang disebut terakhir kedua bola akan saling tarik menarik.

Dengan demikian ada dua macam muatan listrik. Benyamin Franklin dari Ameraka Serikat menyarankan tanda positif dan negatif untuk kedua jenis muatan ini. Muatan kaca yang digosok dengan sutera adalah muatan positif , sedangkan muatan karet yang digosok dengan bulu disebut muatan negatif. Dua atau lebih muatan positif akan tolak menolak, demikian juga dua atau lebih muatan negatif akan tolak menclak. Tetapi antara muatan positif

dan negatif akan saling tarik menarik. Jadi muatan-muatan yang sama akan tolak menolak, sedangkan muatan-muatan yang berbeda akan tarik menarik.

BAB II

HUKUM COULOMB

2.1. Struktur Materi.

Apakah yang terjadi bila kaca digosok dengan sutera dan bila karet keras digosok dengan bulu?. Kaca dan sutera yang pada mulanya tidak bermuatan, tetapi setelah mengalami peristiwa penggosokan kedua benda akan memiliki muatan yang berbeda, demikian juga untuk karet keras dan bulu. Sutera ternyata mempunyai muatan yang sama dengan muatan karet keras, sedangkan muatan kaca sama dengan muatan bulu. Proses penggosokan ini menyatakan bahwa muatan-muatan listrik tidak dapat dihasilkan atau dibuat, tetapi dapat dihasilkan melalui proses pemindahan sesuatu dari satu benda ke benda yang lain, sehingga satu benda kelebihan sesuatu dan benda yang lain kekurangan sesuatu itu.

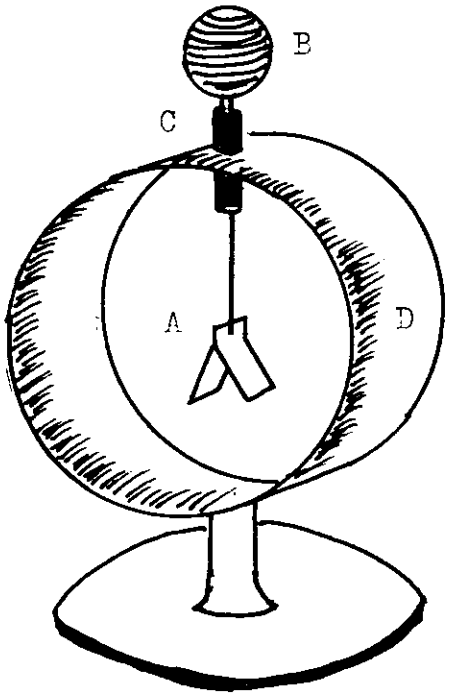
Sesuatu yang belum diketahui itu, pada akhir abad ke 19 ditemukan berupa partikel dasar yang mempunyai muatan elementer - e , yang disebut elektron. Elektron pertama kali ditemukan dalam tahun 1897 oleh J.J.Thomson. Percobaan-percobaan oleh J.J. Thomson berhasil menentukan perbandingan antara muatan dan massa dari sinar katoda yang tidak lain adalah berkas elektron. Elektron bermuatan listrik negatif dan besarnya muatan ini didapatkan oleh seorang sarjana Fisika Robert A.Millikan (1869-1953) pada tahun 1909 - 1913. Dari percobaan-percobaan nya Millikan mendapatkan bahwa muatan listrik suatu benda hanya mungkin mempunyai harga bilangan bulat dikalikan suatu muatan elementer e dan tidak pernah ada muatan listrik yang diukur mempunyai harga bilangan pecahan dikalikan e. Karena itu e disebut dengan muatan listrik elementer dan gejala ini disebut kuantisasi muatan.

Penemuan elektron oleh J.J.Thomson melahirkan model atom yang disebut model atom Thomson.
Thomson mengusulkan model atom yang terdiri atas suatu bola yang relatif besar dari muatan positif dan elektron - elektron didalamnya. Model atom Thomson ini kemudian diperbaiki oleh Ernest Rutherford setelah melakukan percobaan penghamburan partikel alpha oleh suatu lembaran logam yang tipis, pada tahun 1910 - 1911. Menurut Rutherford atom terdiri atas suatu inti kecil yang masif, yang dikelilingi oleh elektron-elektron .
Elektron-elektron berputar mengelilingi inti yang bermuatan positif. Model nuklier oleh Rutherford ini kemudian disempurnakan lagi oleh Niels Bohr dalam tahun 1913

Inti atom terdiri atas proton-proton yang bermuatan positif dan netron-netron yang tidak bermuatan. Muatan proton sama besar dengan muatan elektron tetapi bertanda positif yaitu +e. Pada atom yang netral jumlah elektron yang mengelilingi inti sama banyak dengan jumlah proton yang terdapat dalam inti. Bila jumlah elektron lebih banyak maka atom bermuatan negatif dan bila atom kekurangan elektron atom akan bermuatan positif. Jadi proses pengosokan suatu benda dengan benda lain untuk memperoleh muatan listrik tidak lain adalah proses pemindahan elektron dari satu benda ke benda lain sehingga satu benda kelebihan elektron sedangkan benda yang lain kekurangan elektron.

2.2. Kondektor dan Isolator.

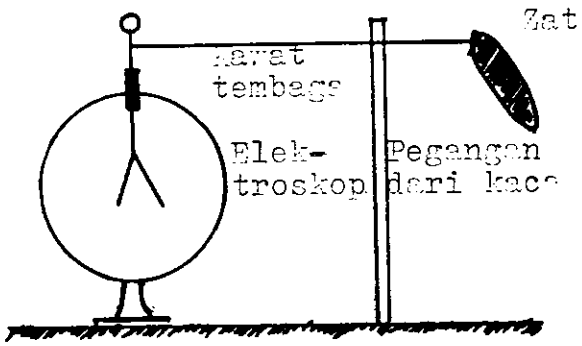
Untuk mengetahui apakah suatu benda bermuatan atau tidak, dapat digunakan suatu bola ringan yang bermuatan. Bila bola itu ditarik atau ditolak, maka berarti benda itu bermuatan dan dapat diketahui jenis muatan benda, bila muatan bola diketahui terlebih dahulu. Tetapi alat yang lebih peka untuk mengetahui apakah suatu benda bermuatan adalah suatu elektro kop seperti pada gambar 2.1



Gambar 2.1. Elektroskop daun.

Elektroskop daun terdiri atas dua lembaran tipis emas perada atau aluminium sebagai daun elektron A. Lembaran atau daun ini dihubungkan ke ujung batang logam B sebagai tombol elektroskop, melalui penyangga C yang terbuat dari karet, terhadap bo - tol D. Bila benda bermuatan disinggungkan pada tombol elektroskop maka daun daun akan mendapat muatan yang sama atau akan tolak menolak. Kedua daun akan membentuk sudut satu sama lain. Makin besar muatan benda maka akan semakin besar pula sudut yang terbentuk.

Dengan menggunakan elektroskop dapat diketahui sifat penghantaran berbagai zat. Zat yang akan ditentukan sifat penghantarannya itu dihubungkan dengan elektroskop seperti pada gambar 2.2. Kemudian pada ujung yang lain disinggungkan dengan benda bermuatan. Jika daun elektros - kop mekar atau membentuk sudut berarti terjadi pemindahan muatan sepanjang benda. Jika daun elektroskop tidak mekar berarti tidak terjadi pemindahan muatan listrik dari benda bermuatan sepanjang zat atau benda tersebut. Zat yang mudah memindahkan muatan listrik disebut konduktor.



Gambar 2.2. Konduktor dan isolator.

MILIK UPT PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG

Zat yang tidak mudah atau tidak menghantarkan muatan disebut isolator. Contoh konduktor ialah segala jenis logam. Contoh isolator adalah kaca, karet, mika dan lain-lain.

2.3. Hukum Coulomb.

Besarnya gaya tarik menarik dengan tolak menolak antara benda-benda bermuatan diselidiki pertama kali oleh Charles Augustin Coulomb (1736 - 1804) pada tahun 1784 dengan menggunakan neraca forsi yang sangat peka. Neraca forsi ini kemudian digunakan pula oleh Cavendish untuk mengukur gaya-gaya grafitasi. Coulomb menemukan bahwa besarnya gaya tarik menarik atau tolak menolak antara dua muatan titik, yaitu benda bermuatan yang ukurannya kecil dibandingkan dengan jarak antara kedua benda bermuatan, adalah berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara kedua benda bermuatan dan berbanding langsung dengan hasil perkalian besar kedua muatan. Jika besar kedua muatan masing-masing adalah q dan q', jarak antara kedua muatan adalah r, maka besarnya gaya tolak menolak atau tarik menarik, F, antara kedua muatan adalah :

$$F = K \frac{qq'}{r^2} \qquad (2-1)$$

K adalah konstanta pembanding yang harganya tergantung kepada sistem satuan yang digunakan. Persamaan (2 - 1) adalah persamaan untuk hukum Coulomb yang menyatakan : Gaya tarik menarik atau tolak menolak antara dua muatan titik berbanding langsung dengan hasil kali muatan-muatan dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara kedua muatan.

Dalam sistem satuan cgs gaya F dinyatakan dalam dyne, jarak dalam centimeter (cm), sedangkan satuan muatan dipilih sedemikian rupa sehingga konstanta pembanding k sama dengan satu. Dengan cara ini, dimana k = 1,

didefiniskan satuan muatan dalam sistem satuan cgs,yaitu statcoulom. Satu statcoulom adalah besarnya muatan yang memberikan gaya tolak menolak atau tarik menarik sebe - sar 1 dyne pada muatan lain yang sama besarnya,apabila ke dua muatan berjarak satu centimeter. Dengan demikian dalam sistem cgs, hukum Coulomb dapat ditulis :

$$F = \frac{qq'}{r^2} \qquad (2-2)$$

Dalam sistem MKS, gaya dinyatakan dalam newton, jarak dalam meter dan muatan dalam coulomb. Satuan coulomb tidak didefinisikan dari hukum coulomb seperti pada sistem satuan cgs, tetapi dijabarkan dari satuan arus yaitu ampere. Satu coulomb didefinisikan sebagai besar muatan yang dalam satu detik melewati suatu penampang konduktor dimana didalamnya mengalir arus tetap sebesar satu ampere. Sedangkan satu ampere didefinisikan sebagai arus tetap yang terdapat dalam dua penghantar lurus yang paralel panjang tidak berhingga, berjarak satu meter dalam ruang hampa , menyebabkan masing-masing penghantar mengalami gaya sebesar 2×10^{-7} newton per meter.

Berdasarkan definisi diatas maka besarnya satu coulomb adalah $2,9979 \times 10^9$ statcoulomb atau hampir 3×10^9 statcoulomb. Harga k dalam sistem satuan MKS dapat ditentukan dari persamaan : $F = K \frac{qq'}{r^2}$

Karena 1 dyne = 10^{-5} newton dan 1 statcoulomb = $\frac{1}{3} \times 10^{-9}$ coulomb, dan 1 cm = 10^{-2} meter, maka :

$$10^{-5} \text{ newton} = k \frac{\frac{1}{3} \times 10^{-9} \text{ coulomb} \times \frac{1}{3} \times 10^{-9} \text{ coulomb}}{(10^{-2})^2 \text{ meter}^2}$$

$$k = \frac{10^{-5} \times 10^{-4} \text{ newton meter}^2}{1/9 \times 10^{-18} \text{ coulomb}^2}$$

$$= 9 \times 10^9 \frac{\text{newton meter}^2}{\text{coulomb}^2}$$

Konstanta K seringkali diganti dengan konstanta ϵo yang disebut permitivitas listrik dalam ruang hampa dengan satu atu hubungan :

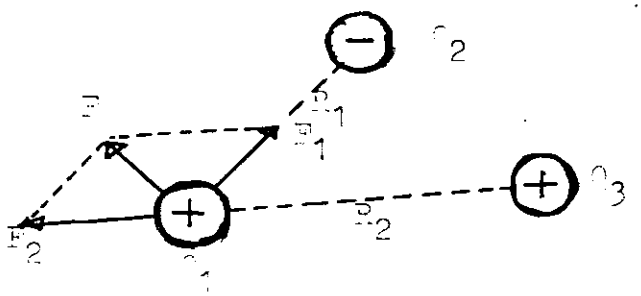
$$K = \frac{1}{4\pi \epsilon o}$$

Besarnya $\epsilon o = \frac{1}{4\pi K} = 8{,}85 \times 10^{-12} \quad \frac{\text{coulomb}^2}{\text{newton meter}^2}$

Dengan demikian hukum coulomb dalam sistem MKS adalah :

$$F = \frac{1}{4\pi \epsilon o} \frac{qq'}{r^2} \qquad (2-3)$$

Bila muatan-muatan titik lebih dari dua buah maka besarnya gaya yang dialami oleh masing-masing muatan adalah merupakan gaya perpaduan atau penjumlahan vektor gaya, seperti pada gambar 2.3



Gambar 2.3. Gaya oleh beberapa muatan.

Gaya yang dialami oleh muatan Q_1 merupakan perpaduan gaya F_1 dan F_2. Gaya F_1 antara Q_1 dan Q_2 yang jarak kedua muatan R_1 , adalah :

$$F_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{R_1^2}$$

Gaya F_2, antara Q_1 dan Q_3 yang jarak kedua muatan R_2 ,adalah :

$$F_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_3}{R_2^2}$$

Jadi gaya yang dialami oleh Q_1 adalah penjumlahan vektor gaya F_1 dan F_2 , yaitu gaya F .

Secara umum dapat dinyatakan bahwa gaya yang dialami oleh muatan q yang disebabkan oleh muatan $Q_1, Q_2, Q_3 \ldots Q_n$

yang jaraknya masing-masing dari q' adalah r_1, r_2, r_3 ..... r_u

adalah : $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_o} \frac{q'q'}{r_1^2} + \frac{1}{4\pi\epsilon_o} \frac{q'q'}{r_2^2} + \frac{1}{4\pi\epsilon_o} \frac{q'q_3}{r_3^2} + \ldots\ldots\ldots$

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_o} \frac{q'q_u}{r_3^2} \qquad (2-4)$$

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_o} q' \left(\frac{q_1}{r_1^2} + \frac{q_2}{r_2^2} + \frac{q_3}{r_3^2} + \ldots \frac{q_u}{r_u^2} \right) \qquad (2-5)$$

Atau secara umum dapat ditulis :

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_o} \sum \frac{q}{r^2} \qquad (2-6)$$

Bila muatan-muatan berada dalam medium maka persamaan (2 - 6) dapat ditulis : $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_o} q' \sum \frac{q}{r^2}$ (2 - 7)

ϵ adalah permitivitas listrik dari medium.

Perbandingan ϵ dan ϵ_o disebut permitivitas relatif ϵ_r

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_o} \qquad (2-8)$$

Permitivitas relatif disebut juga konstan dielektrik.

Karena coulomb merupakan satuan yang amat besar, maka dalam berbagai keperluan sering digunakan satuan mikro coulomb. Satu uC = 10^{-6}C. Besarnya muatan elementer dari elektron menurut berbagai penguku$_r$an adalah :

$= 1{,}601864 \times 10^{-19}$ coulomb

$= 4{,}80223 \times 10^{-10}$ stat coulomb.

Jadi satu coulomb adalah :

$$N = \frac{1 \text{ coulomb}}{1{,}601864 \times 10^{-19} \text{ coulomb}}$$

$= 6 \times 10^{18}$ buah elektron.

Artinya muatan sebesar satu coulomb adalah muatan yang dibawa oleh 6×10^{18} buah elektron dan satu stat coulomb adalah muatan yang dibawa oleh $2{,}08 \times 10^{9}$ elektron.

Contoh 2.1.

Berapakah gaya yang dialami oleh masing - masing muatan yang besarnya - 50 uC dan +25 uC , bila kedua muatan

terpisah dalam ruang hampa udara pada jarak 50 cm.

Jawab :

Gaya yang dialami oleh masing-masing muatan adalah :

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q\,q^1}{R^2}$$

$$= 9 \times 10^9 \quad \frac{50 \times 10^{-6}\text{C} \times 25 \times 10^{-6}\text{C}}{(0{,}5\ \text{m})^2}$$

$$= 45 \text{ newton.}$$

Contoh 2.2

Sebuah muatan A yang besarnya 250 stat coulomb ditempatkan pada garis hubung diantara muatan B yang besarnya 50 statcoulomb dan muatan C yang besarnya -300 statcoulomb. Muatan A terletak 5 cm dari B dan 10 cm dari C. Berapakah gaya yang dialami oleh muatan A.

Jawab :

Gaya pada muatan A oleh muatan B

$$F_1 = 1 \frac{\text{dyne.cm}^2}{\text{StC}} \frac{250\ \text{5+C} \times 50\ \text{5+C}}{(5\ \text{cm})^2} = 500 \text{ dyne ke arah C}$$

Gaya pada muatan A oleh muatan C

$$F_2 = 1 \frac{\text{dyne cm}^2}{\text{StC}} \frac{250\ \text{5+C} \times 300\ \text{5tC}}{(10\ \text{cm})^2} = 750 \text{ dyne ke arah C}$$

Karena kedua gaya searah, maka gaya total yang berkerja pada muatan A.

$F = F_1 + F_2 = 500$ dyne + 750 dyne = 1250 dyne kearah C.

BAB III

MEDAN LISTRIK

3.1. Kuat Medan Listrik.

Bila suatu muatan listrik Q_1 ditempatkan pada suatu titik dalam ruangan, maka muatan ini akan mempengaruhi atau mengerjakan gaya terhadap muatan-muatan lain yang ada didalam ruangan tersebut. Dikatakan bahwa ruangan disekitar muatan Q_1 sekarang merupakan medan listrik. Besarnya gaya yang dialami oleh muatan-muatan itu dapat ditentukan sebagai berikut. Misalnya ditempatkan muatan lain Q_2 di ruangan tersebut pada jarak R dari Q_1.
Muatan Q_2 akan mengalami gaya sebesar :

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0 R^2} \qquad (3\text{-}1)$$

atau secara vektor dapat ditulis :

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0 R^2} \qquad (3\text{-}2)$$

= vektor satuan dalam arah R
Persamaan (2 - 1) atau (2 - 2) adalah hukum coulomb.

Gaya yang dialami oleh satu satuan muatan positif di suatu titik di dalam medan listrik disebut kuat medan listrik **E** dititik itu. Dengan demikian kuat medan listrik pada titik Q_2 ditempatkan adalah :

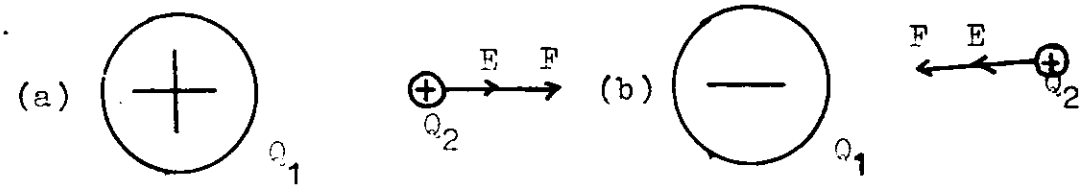
$$E = \frac{1}{Q_2} = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 R^2} \qquad (3 - 3)$$

Jadi kuat medan listrik merupakan besaran vektor (medan-vektor)dan besarnya tidak bergantung pada Q_2, tetapi hanya bergantung pada Q_1 (muatan sumber) jarak titik dengan Q_1 (R) dan permitivitas listrik o dan . Secara

vektor kuat medan listrik dapat ditulis :

$$E = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 R^2} \qquad (3-4)$$

Arah medan listrik searah dengan arah gaya yang dialami oleh muatan positif dititik tersebut seperti dapat dilihat pada gambar 3.1 (a) dan (b).



Gambar 3.1 (a) Arah F dan E bila Q_1 muatan positif(b) Arah F dan E bila Q_1 muatan negatif.

3.2. Medan listrik oleh Muatan Titik.

Medan oleh suatu muatan tunggal Q diberikan oleh persamaan :

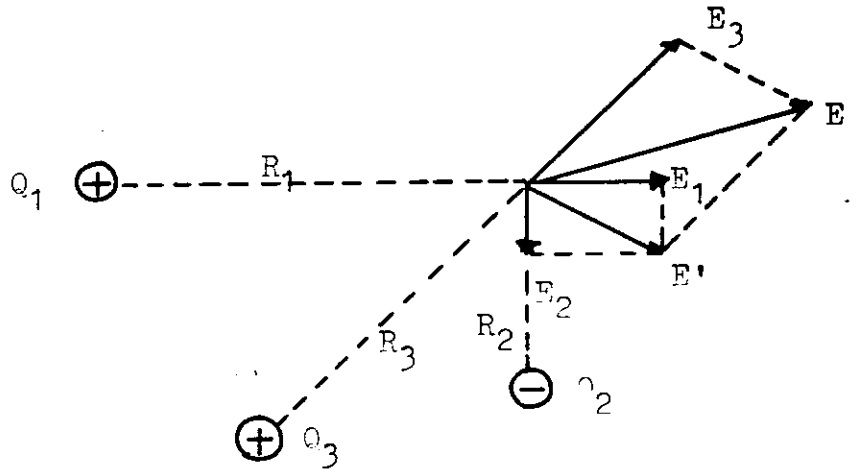
$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R^2} \qquad \text{(kordinat bola)} \qquad (3-5)$$

Bila muatan yang menimbulkan medan adalah beberapa muatan titik maka kuat medan pada suatu titik dalam medan listrik adalah jumlah vektor dari masing-masing kuat medan yang ditimbulkan oleh masing-masing muatan dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{R^2} \qquad (3-6)$$

seperti dapat dilihat pada gambar 3.2.

MILIK UPT PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG



Gambar 3.2 : Kuat Medan Listrik di titik P

3.3. Medan listrik oleh distribusi muatan kontinu.

Bila muatan yang menimbulkan medan listrik berupa distribusi muatan yang kontinu, maka setiap muatan di - ferensial Q membangkitkan medan listrik sebesar :

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_o R^2} \qquad (3-7)$$

pada suatu titik yang jaraknya R dari muatan Q. Medan listrik total pada titik tersebut diperoleh dengan integ rasi :

$$= \frac{Q}{4\pi\epsilon_o R^2} \qquad (3-8)$$

Biasanya dalam hal ini didefinisikan suatu rapat muatan:

(1) Rapat muatan garis λ $\frac{Q}{L}$, $Q = \lambda L$

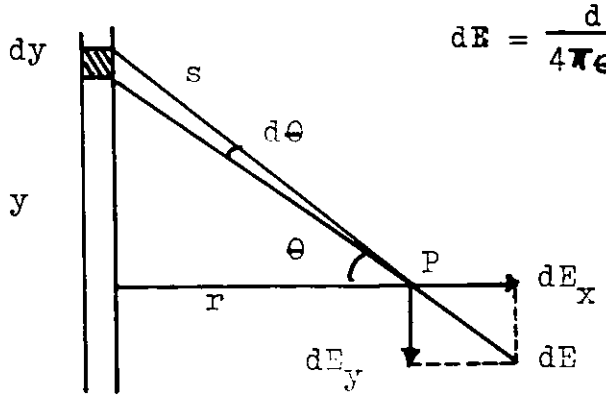
(2) Rapat muatan permukaan $\sigma = \frac{Q}{S}$, $Q = \sigma dS$

(3) Rapat muatan volume $\rho = \frac{Q}{dv}$, $Q = \rho dv$

3.3.1. Medan listrik oleh muatan garis.

Kalau muatan tersebar secara serba sama pada suatu garis lurus yang panjangnya tak berhingga, maka se - tiap muatan diferensial dQ sepanjang garis menghasilkan diferensial muatan listrik dE disuatu titik P yang jaraknya R dari dQ, seperti pada gambar 3.3, sebesar :

$$dE = \frac{dQ}{4\pi\epsilon_0 R^2} \qquad (3-9)$$



Gambar 3.3 : Medan oleh muatan garis .

Bila dinyatakan dalam rapat muatan garis, maka kuat medan listrik pada titik P adalah :

$$E = \frac{\lambda dl}{4\pi\epsilon_0 R^2} \qquad (3-10)$$

Karena de= dy dan R = S, maka persamaan (3-10) dapat ditulis :

$$E = \frac{\lambda\, dy}{4\pi\epsilon_0 S^2} \qquad (3-11)$$

dE dapat diuraikan atas komponen :

$$dE_x = dE \cos Q$$

$$dE_y = dE \sin 0$$

Komponen dE_y saling menghapuskan, karena simetris sehingga :

$$E = r\ dE_x = dE \cos 0 \qquad (3-12)$$

Bila E dinyatakan dalam variabel 0, maka :

$$Y = r\,tg0 \qquad dy = r \sec^2 0 d0$$

$$S = r \sec 0$$

sehingga :

$$dE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\lambda r \sec^2 0 d0}{r^2 \sec^2 0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \lambda\, d0 \qquad (3-13)$$

dan :

$$E = F_x \qquad dE\cos0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{}{r} \cos 0\, d0 \qquad (3-14)$$

dengan batas integrasi :

$$Y = +\infty\ ,\ 0 = \pi/2$$

$$Y = -\infty\ ,\ 0 = -\pi/2$$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_o}\frac{\lambda}{r}\sin\theta\Big|_{-\pi/2}^{\pi/2} = \frac{1}{2\pi\epsilon_o}\frac{\lambda}{r} \quad (3\text{-}15)$$

3.3.2. Medan listrik oleh muatan permukaan.

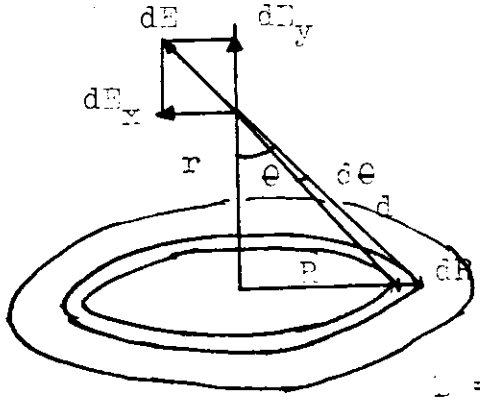
Bila muatan tersebar pada suatu permukaan atau suatu lapisan tipis tertentu, setiap diferensial dθ di permukaan tersebut menghasilkan medan listrik diferensial dE pada suatu titik P yang jaraknya R dari dQ sebesar :

$$dE = \frac{\sigma dQ}{4\pi\epsilon_o R^2} \quad (3\text{-}16)$$

Kalau rapat muatan permukaan $\sigma = \frac{dQ}{dS}$, maka medan listrik total dititik P adalah :

$$E = \int \frac{dS}{4\pi\epsilon_o R^2} \quad (3-17)$$

Untuk menghitung kuat medan listrik oleh distribusi muatan serbasama dengan rapat muatan permukaan pada suatu bidang datar luas tak berhingga, bidang dibagi-bagi menjadi cincin tak berhingga, bidang dibagi-bagi menjadi cincin-cincin kecil dengan jari-jari R dan lebar dR, seperti pada gambar 3.4. Luas cincin yang kecil ini adalah :



Gambar 3.4 : Permukaan bermuatan.

$$dS = d(\pi R^2)\ 2\pi R dR$$

Muatan dQ pada cincin adalah :

$$dQ = \sigma\, dS = 2\pi\sigma R dR$$

KomponendE_x = dEsin θ sa - lin$_g$ menghapuskan,sehingga:

$$E = \int dE\cos\theta = \frac{2\pi R dR\cos\theta}{4\pi\epsilon_o d^2} = \frac{\sigma}{2\epsilon_o}\frac{R d\theta\cos\theta}{d^2} \quad (3\text{-}18)$$

Bila O diambil sebagai variabel maka :

$R = \ldots\theta$, $dR = \ldots \sec^2\theta\, d\theta$ $d = \ldots \sec\theta$

PERPUSTAKAAN IKIP PADANG
KOLEKSI BIDANG ILMU
TIDAK DIPINJAMKAN
KHUSUS UNTUK DIPAKAI DALAM PERPUSTAKAAN

530.14107
Mah
d4
17

Karena itu: $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_o} \int \sin\theta \, d\theta$ (3 -19)

Batas integrasi untuk $R = 0$ $\theta = 0$ dan untuk :

$R = +\infty$, $\theta = \pi/2$

Persamaan (3 - 19) dapat ditulis :

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_o} \int_0^{\pi/2} \sin\theta \; \theta$$

$$= \frac{\sigma}{2\epsilon_o} \Big| - \cos\theta \Big|_0^{\pi/2}$$

$$= \frac{\sigma}{2\epsilon_o} \qquad (3 - 20)$$

Kuat medan yang ditimbulkan oleh bidang atau permukaan yang bermuatan tidak bergantung pada jarak dan bidang. Jadi medan listrik bersifat serbasama dan tegak lurus pada bidang. Pada sisi yang berlawanan juga ditimbulkan medan listrik dengan sifat medan yang sama.

3.3.3. Medan listrik oleh muatan ruang.

Bila muatan tersebar dalam suatu volume tertentu , maka setiap muatan diferensial dQ , akan menimbulkan medan listrik diferensial dE, sebesar :

$$dE = \frac{dQ}{4\pi\epsilon_o R^2} \qquad (3 - 21)$$

pada titik P yang jaraknya R.dari dQ. Bila $dQ = \rho dv$, maka medan listrik dititik P adalah :

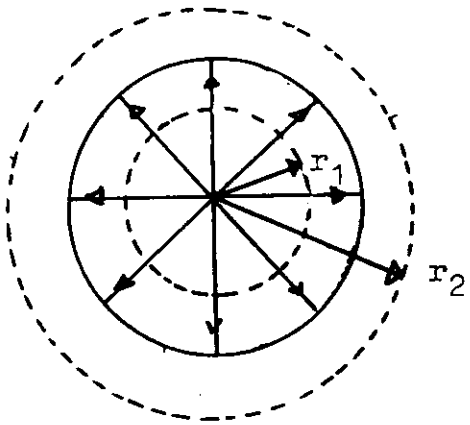
$$dE = \frac{\rho \, dv}{4\pi \epsilon_o R^2} \qquad (3 - 22)$$

Misalnya muatan tersebar secara serbasama didalam bola yang berjari-jari a, dengan rapat muatan ρ. Volume bola adalah :

$$v = \frac{4}{3} \pi a^3$$

Karena simetri garis-garis gaya adalah dalam arah radial seperti pada gambar 3.5 ,alaman berikut.

MILIK UPT PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG



Gambar 3.5. Bola bermuatan.

Kuat medan listrik didalam , dan diluar bola adalah :

(1) Kuat medan didalam bola $r \leq a$

$dQ = \rho dv$

$= \rho \frac{4}{3}\pi r^3$

$$E = \int \frac{\rho dv}{4\pi\epsilon_o r^2}$$

$$= \frac{\frac{4}{3}\pi r^3}{4\pi\epsilon_o r^2}$$

$$= \frac{\rho r}{3\epsilon_o} \qquad (3,23)$$

(2) Kuat muatan listrik diluar bola $r \geq a$

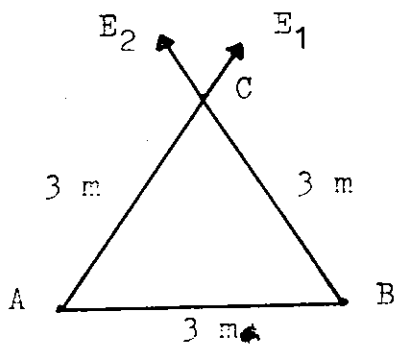
$dQ = \rho dv = \rho \frac{4}{3}\pi a^3$

$$E = \frac{\rho dv}{4\pi\epsilon_o r^2} = \frac{\rho \frac{4}{3}\pi a^3}{4\pi\epsilon_o r^2} = \frac{\rho a^3}{3\epsilon_o r^2} \qquad (3\text{-}24)$$

Contoh 3.1.

Dua muatan yang sama masing-masing besarnya 5 uC ditempatkan pada titik A dan B dari segitiga sama sisi ABC dengan panjang sisi 3 m. Hitunglah kuat medan pada titik C

Jawab :



$$E_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_o} \frac{Q_1}{r^2}$$

$$= 9x10^9 \frac{5x10^{-6}}{9} = 5.10^3 \text{ N/C}$$

$$E_2 = 9x10^9 \frac{5x110^{-6}}{9} = 5.10^3 \text{ N/C}$$

$$= \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2\cos\theta} =$$

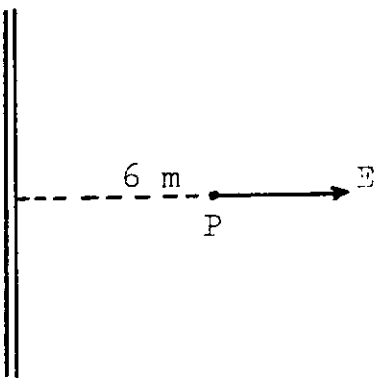
$5.10^3\sqrt{3}$ N/C = N/C

$= 8,66.10^3$ N/C

Contoh 3.2.

Hitunglah kuat medan pada jarak 6m dari suatu muatan garis serba sama panjang tak berhingga dengan rapat muatan garis 4 ^{uC} / m.

Jawab :



Kuat medan pada titik P yang jaraknya 6 m dari muatan garis.

$$E = \frac{1}{2\pi\epsilon_o} \frac{\lambda}{r}$$

$$= 2 \times 9 \times 10^{9} \frac{4 \times 10^{-6}}{6}$$

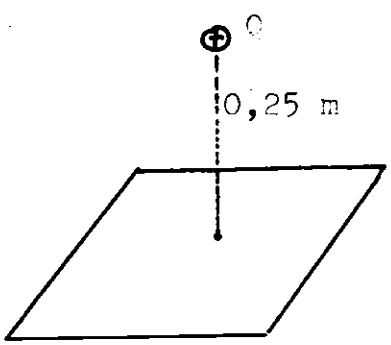
$$= 12 \times 10^{3}$$

$$= 1{,}2 \times 10^{4} \quad N / C$$

Contoh 3.3.

Hitunglah gaya yang dialami oleh muatan 3 u C bila berada pada jarak 0,25 m dari suatu permukaan yang bermuatan dengan rapat muatan permukaan $3{,}54 \times 10^{-4}$ C/m^2

Jawab :



Kuat medan diatas permukaan :

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_o} = \frac{3{,}54 \times 10^{-4}}{2 \times 8{,}85 \times 10^{-12}} = 2 \times 10^{7} \ N/C$$

Gaya yang dialami oleh muatan :

$$F = QE = 3 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^{7}$$

$$= 60 \text{ newton.}$$

BAB IV

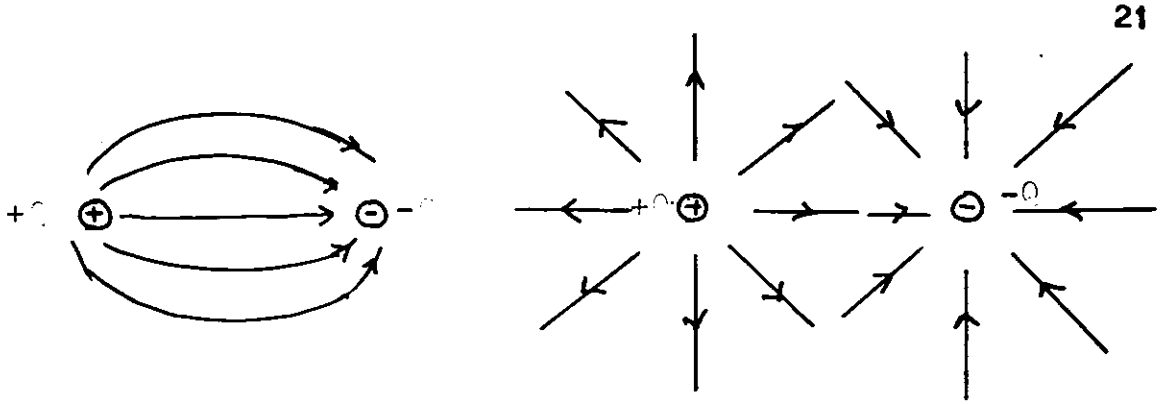
HUKUM GAUSS

4.1. Garis gaya.

Medan listrik dapat digambarkan dengan garis-garis gaya. Garis gaya dalam medan listrik adalah suatu garis yang dapat dibayangkan sedemikian hingga arahnya atau garis singgung pada garis gaya, pada setiap titik adalah arah medan pada titik tersebut. Pengertian tentang garis gaya ini mula-mula dikemukakan oleh Michael Faraday(1791-1867) untuk menjelaskan tentang pengaruh medium , atau isolator terhadap gaya listrik antara muatan-muatan (gaya coulomb). Menurut Faraday, bila garis gaya ini menggerut maka benda-benda bermuatan akan tarik menarik , dan jika garis gaya itu cenderung untuk meregang maka benda-benda akan saling tolak menolak. Tiap-tiap garis gaya berasal dari muatan positif dan berakhir pada suatu muatan negatif. Jika muatan negatif tidak ada, maka garis gaya berakhir dijauh tak berhingga. Demikian juga garis gaya dapat berasal dari jauh tak berhingga dan berakhir pada suatu muatan negatif. Garis gaya tidak mungkin berpotongan pada suatu titik, jika pada titik itu tidak ada muatan, karena pada satu titik hanya ada satu arah medan. Jumlah garis gaya disebut fluks listrik Ψ . Satu coulomb positif menimbulkan fluks listrik sebesar satu coulomb pula, atau ditulis :

$$\Psi = Q \quad \text{atau} \quad d\Psi = dQ \qquad (4-1)$$

seperti yang dinyatakan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 : Fluks listrik

Selain untuk menentukan arah medan listrik, garis gaya juga digunakan untuk melukiskan kuat medan listrik. Tempat-tempat yang kuat medannya besar garis-garis gaya nya digambarkan rapat sedangkan tempat-tempat yang kuat medannya kecil, garis gayanya digambarkan jarang.

Jika sejumlah fluks $d\Psi$ melalui elemen luas dS pada suatu titik P, di mana dS normal terhadap vektor satuan a, yang searah dengan garis-garis fluks, maka rapat fluks listrik D, dititik P adalah :

$$D = \frac{d\Psi}{dS} \qquad (4-2)$$

Jadi rapat fluks listrik D adalah medan vektor yang mengambil arah dari garis-garis fluks seperti pada gambar 4.2.

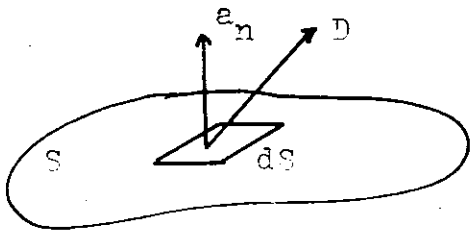
Gambar 4.2 : Rapat fluks listrik

Besar dan arah D dapat berubah dari satu titik ketitik lainnya pada S dan umumnya D tidak normal terhadap

permukaan. Jika pada elemen permukaan dS, D membuat sudut θ dengan normal maka diferensial fluks yang melalui dS adalah :

$$d\Psi = D \; dS \cos\theta$$
$$d\Psi = D \; dS a_n$$
$$d\Psi = D_n \, dS \qquad (4-3)$$

Arah dari vektor satuan itu selalu dipilih keluar dari S, sehingga $d\Psi$ adalah jumlah fluks yang melalui dari dalam ke luar S, seperti pada gambar 4.3.



Gambar 4.3. D membuat sudut O dengan dS

4.2. Hukum Gauss.

Jika di dalam suatu permukaan tertutup S terdapat suatu distribusi muatan ruang dengan kerapatan muatan , maka fluks netto yang menembus permukaan tertutup S dapat mengukur muatan total yang ada di dalam permukaan itu, karena menurut definisi setiap coulomb muatan sama dengan satu coulomb fluks. Jadi jika didalam permukaan tertutup S ada muatan Q, maka fluks yang keluar dari S adalah Ψ , karena :

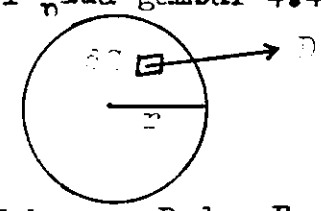
$$\Psi = Q$$

Dengan mengintegrasi $d\Psi$ melalui permukaan tertutup S, diperoleh :

$$\Psi = \int d\Psi = \oint D_n \, dS = Q \qquad (4-4)$$

Persamaan (4 - 4) adalah hukum Gauss yang menyatakan

bahwa fluks total yang keluar dari suatu permukaan tertutup adalah sama dengan jumlah muatan didalam permukaan itu. Hukum Gauss dapat digunakan untuk menghitung muatan listrik Q, rapat fluks D atau kuat medan E yang ditimbulkan oleh muatan listrik Q. Hubungan antara rapat fluks D dan kuat medan E juga dapat ditentukan dengan hukum Gaus. Misalnya suatu muatan titik positif Q menimbulkan medan listrik E disekitarnya. Rapat fluks D pada jarak dari muatan tersebut dapat ditentukan dengan membuat permukaan bola yang jari-jarinya r dengan berpusat pada Q. Permukaan ini disebut juga dengan permukaan Gauss. Karena simetri D mempunyai besar yang sama dan arahnya selalu normal disetiap titik permukaan bola itu seperti pada gambar 4.4.



Gambar 4.4. Hubungan D dan E

Dari hukum Gauss diperoleh :

$$Q = \int D.dS = D \int dS = D.\ 4\pi r^2$$

$$D = \frac{Q}{4\pi r^2} = \frac{Q}{4\pi} r^2 a_r \qquad (4-5)$$

Kuat medan listrik pada permukaan bola ini adalah :

$$E = \frac{Q}{4\pi \epsilon_0 r^2} \qquad (4-6)$$

Dari persamaan (4.5) dan(4.6) didapatkan :

$$D = \epsilon_0 E \qquad (4-7)$$

Bila Q berada dalam medium isotropik dengan permitivitas ϵ maka persamaan (4-7) menjadi :

$$D = \epsilon E \qquad (4-8)$$

Harga E bergantung pada permitivitas ε, sedangkan D tidak. Karena itu bila terdapat lebih dari satu medium dielektrik adalah lebih baik menghitung D terlebih dahulu baru kemudian menghitung E.

4.3. Penggunaan/penerapan Hukum Gauss.

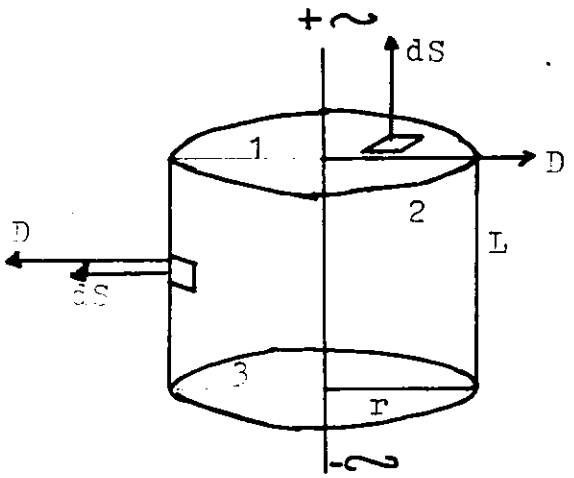
Hukum Gauss dapat digunakan untuk menghitung D, atau E dari suatu konfigurasi muatan yang mempunyai tarat simetri yang tinggi. Untuk itu diperlukan suatu permukaan Gauss khusus yang memenuhi kondisi-kondisi :

(1) Permukaan itu tertutup
(2) D bersifat normal atau tangensial pada setiap titik permukaan itu
(3) D mempunyai besar yang sama pada setiap titik di - mana D normal terhadap permukaan itu.

Selain itu metoda permukaan Gauss dapat juga digunakan untuk konfigurasi - konfigurasi muatan lainnya dimana secara cepat metoda ini dapat menaksir harga D atau E di tempat-tempat yang sangat dekat atau sangat jauh dari muatan-muatan itu. Berikut ini diberikan beberapa penerapan hukum Gauss.

4.3.1. Medan listrik oleh muatan garis.

Suatu muatan garis yang panjang dengan kerapatan serbasama λ menimbulkan medan listrik disekitarnya. Untuk menentukan D dan E, muatan garis dibuat sebagai sumber dari suatu koordinat silindris. Karena simetri D dan E hanya mempunyai komponen r yang besarnya hanya bergantung pada r. Karena itu permukaan Gauss khusus untuk menghitung D dan E adalah berupa suatu silinder lingkaran yang tegak dan tertutup seperti pada gambar 4.5.



Gambar 4.5. D oleh muatan garis

Dengan menggunakan hukum Gauss :

$$Q = \int_1 D.ds + \int_2 D.dS + \int_3 D.dS \qquad (4-9)$$

Integral melalui permukaan 1 dan 3 hasilnya nol karena D tegak lurus dS. Pada permukaan 2, D dan dS searah dan D tetap besarnya. Karena itu :

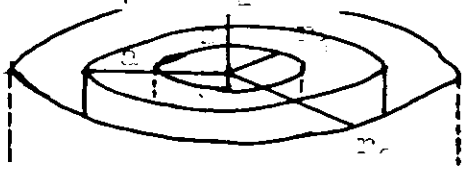
$$Q = D \int dS = D\,(2\pi r L)$$

$$Q = \lambda L$$

$$D = \frac{\lambda}{2\pi r} \qquad \text{dan} \qquad (4-10)$$

$$E = \frac{\lambda}{2\pi \epsilon_0 r} \qquad (4-11)$$

Suatu muatan garis serbasama dengan kerapatan panjang tak berhingga terletak sepanjang sumbu z dan suatu silinder panjang tak berhingga berporos pada sumbu z dan jari-jari a mempunyai rapat muatan λ untuk menetapkan D dan E disemua tempat dapat digunakan permukaan Gauss khusus A dan B berupa silinder masing-masing dengan jari-jari r_1 dan r_2, seperti pada gambar 4.6.



Gambar 4.6. D oleh muatan dan silinder bermuatan.

D pada jarak r_1 ($r_1 < a$) adalah :

$$D = \frac{\lambda}{2\pi r_1} \qquad (4-12)$$

D pada jarak r_2 ($r_2 > a$)

$$Q = \int D.\,dS$$

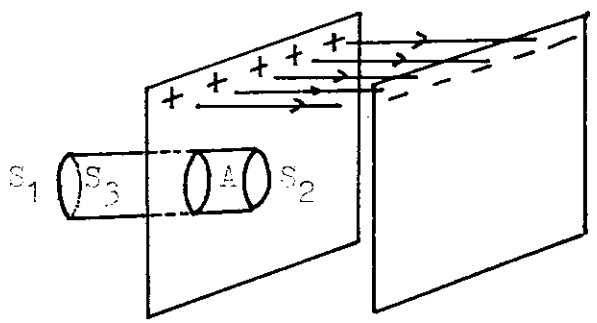
$$(\lambda + 4\pi\lambda') = D\,(2\pi r)L$$

$$D = \frac{\lambda + 4\pi\lambda'}{2\pi r} \qquad (4-13)$$

4.3.2. Medan listrik diantara dua pelat bermuatan.

Dua pelat diberi muatan yang sama besar dengan tanda yang berlawanan. Pelat positif mempunyai kerapatan $+\sigma$ dan pelat negatif $-\sigma$. Muatan_muatan akan tersebar pada permukaan dalam pelat dan semua fluks yang berasal dari muatan positif pada pelat positif akan berakhir pada muatan negatif di pelat negatif. Efek-efek sisi diabaikan, berarti semua fluks normal terhadap pelat-pelat.

Untuk menentukan D dan E dalam ruang diantara kedua pelat digunakan permukaan Gauss khusus berupa silinder pada salah satu pelat, misalnya pada pelat positif seperti pada gambar 4.7.



Gambar 4.7. D oleh dua pelat bermuatan

Ada tiga permukaan pada silinder yaitu permukaan kiri S_1, kanan S_2 dan selubung silinder S_3,

$$Q = \int_1 D.dS + \int_2 D.dS + \int_3 D.dS \qquad (4-14)$$

Tidak ada fluks pada S_1 , karena itu $\int_1 D.dS = 0$

Fluks sejajar dengan S_3 , karena itu $\int_3 D.dS = 0$

Fluks tegak lurus pada S_2 yang luasnya A.

$$Q = \int_{S2} D.dS \qquad \int_A = D \int dS = D.A$$

$$D = s \qquad (4-15)$$

dan

$$E = \frac{s}{\qquad} \qquad (4-16)$$

Arah D dan E adalah tegak lurus S_2 atau dari pelat positif ke pelat negatif.

4.3.3. Medan listrik oleh bola bermuatan serba sama.

Suatu bola yang bermuatan serbasama mempunyai kerapatan ρ dan jari-jari a. Untuk menentukan D dan E didalam dan diluar bola dapat digunakan permukaan Gauss khusus berupa bola masing-masing dengan jari-jari $r_1 (r_1 < a)$ dan $r_2 (r_2 > a)$ seperti pada gambar 4.8

$$Q = \int D.\, dS.$$

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho = D\,(4\pi r^2)$$

$$D = \frac{\rho r}{3} \qquad (4-17)$$

$$E = \frac{\rho r}{3\epsilon_0} \qquad (4-18)$$

Medan D diluar bola adalah :

$$\frac{4}{3}\pi a^3 \rho = D\,(4\pi r^2)$$

$$D = \frac{\rho a^3}{3r^2} \qquad (4-19)$$

$$E = \frac{\rho a^3}{3\epsilon_0 r^2} \qquad (4-20)$$

MILIK UPT PERPUSTAKAAN
UNP PADANG

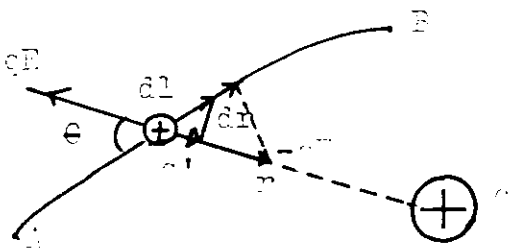
BAB V

POTENSIAL LISTRIK

5.1. Energi potensial listrik.

Dua muatan titik listrik positif q dan q^1 yang berjarak r satu sama lain akan saling tolak menolak. Besarnya gaya tolak menolak itu dapat ditentukan dengan hukum coulomb. Untuk mendekatkan kedua muatan itu harus dilakukan usaha oleh gaya luar. Usaha yang dilakukan untuk mendekatkan kedua muatan itu berubah menjadi energi potensial sistem bila muatan bergerak tanpa percepatan dan gesekan. Usaha itu dapat diperoleh kembali bila muatan-muatan itu dibiarkan memisah. Hal yang sama juga berlaku untuk sistem dua muatan negatif dan muatan positif dan negatif. Usaha harus dilakukan untuk menjauhkan muatan positif dan muatan negatif. Usaha itu dapat diperoleh kembali bila muatan-muatan itu dibiarkan saling mendekati . Usaha itu diperlukan untuk melawan gaya oleh medan listrik yang ditimbulkan oleh muatan-muatan tersebut.

Sebuah muatan titik positif yang kecil q' berjarak r dari muatan titik positif q. Medan yang ditimbulkan oleh q adalah E. Untuk menggerakkan q^1 sejauh dl tanpa percepatan dan gesekan dibutuhkan gaya F seperti F = -qE seperti pada gambar 5.1.



Gambar 5.1

5.1. Perpindahan muatan q^1 dalam medan listrik

Usaha yang dilakukan untuk memindahkan q^1 sejauh dl adalah :

$$dW = F \cos \theta \, dl$$
$$= - qE \cos \theta \, dl \qquad (5-1)$$

θ adalah sudut antara E dan dl . Persamaan (5-1) dapat ditulis :

$$d w = -q \, E dl \cos \theta \qquad (5-2)$$

Tetapi :

$$dl \cos \theta = dr$$

$$E = \frac{1}{4\pi \epsilon o} \frac{c}{r^2}$$

Sehingga persamaan (4 - 2) menjadi :

$$dW = \frac{- qq^1}{4\pi \epsilon o} \frac{dr}{r^2} \qquad (5-3)$$

Usaha yang diperlukan untuk memindahkan q^1 dari titik a ke titik b dalam medan listrik adalah :

$$W_{a \rightarrow b} = \frac{qq^1}{4\pi \epsilon o} \int_{r_A}^{r_B} \frac{dr}{r^2}$$

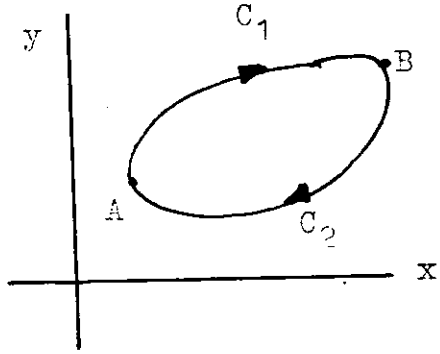
$$= \frac{qq^1}{4\pi \epsilon o} \left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right)$$

$$= \frac{qq'}{4\pi \epsilon o r_B} - \frac{qq^1}{4\pi \epsilon_o r_A} \qquad (5-4)$$

Jadi usaha yang dilakukan hanya tergantung pada jarak awal (r_A) dan jarak akhir (r_B) dari muatan q dan tidak tergantung pada bentuk lintasan q^1. Dengan demikian bentuk apapun lintasan yang dipilih hasilnya akan sama saja. Usaha yang dilakukan itu akan dapat diperoleh kembali bila muatan itu bergerak bebas dari titik B ke titik A. Medan gaya listrik yang bersifat semacam ini disebut dengan medan gaya konsenvatif. Dapat juga dinyatakan bahwa usaha yang dilakukan oleh medan gaya listrik pada muatan yang bergerak dalam lintasan tertutup sama dengan nol , atau secara matematik dapat ditulis :

$$F(r) . dr = 0 \qquad (5-5)$$

Jadi misalnya muatan q^1 digerakkan dari titik A ke titik B melalui jalan C_1 dengan energi awal Eo, seperti pada gambar 5.2



Gambar 5.2. Usaha oleh gaya konservatif sepanjang C_1 dan C_2 adalah nol.

Usaha yang dilakukan adalah :

$$W_1 = \int_{C_1} F(r) . dr$$

Dibawah pengaruh medan gaya konservatif F (r) muatan q^1 bergerak dari titik B ke titik A. Usaha yang dilakukan adalah :

$$W_2 = \int_{C_2} F(r) . dr$$

Kedua persamaan di atas menjadi :

$$W = \int_C F . dr = \int_{C_1} F . dr + \int_{C_2} F . dr = 0. \qquad (5 - 6)$$

Bila W_1 negatif, berarti energi diambil dari benda oleh medan gaya F (r). Energi yang diambil ini menjadi tambahan energi simpanan dalam medan. Tambahan energi simpanan ini adalah positif yang berupa tambahan energi potensial dan dinyatakan sebagai ΔU . Dengan demikian :

$$\Delta U = -\int_A^B F(r) . dr = U_B - U_A \qquad (5 - 7)$$

Persamaan (5 - 7) dapat juga diartikan sebagai usaha yang dilakukan untuk melawan gaya medan F(r), supaya muatan dapat berpindah dari titik A ke titik B seperti pa

da persamaan (5 - 4).

Perubahan energi potensial U berarti juga beda energi-potensial di B (U_B) dengan energi potensial di A(U_A) Dengan demikian dari persamaan (5 - 4) diperoleh :

$$U_A = \frac{qq'}{4\pi\epsilon_o r_A} \qquad (5-8)$$

$$U_B = \frac{qq'}{4\pi\epsilon_o r_B} \qquad (5-9)$$

Persamaan (5 - 8) dan (5 - 9) menyatakan energi potensial muatan q' didalam medan listrik yang ditimbulkan oleh muatan sumber q, bila q' terletak pada jarak A dan B dari q. Secara umum kedua persamaan itu dapat ditulis :

$$U = \frac{1}{4\pi\epsilon_o}\frac{qq'}{r} \qquad (5-10)$$

Bila W_1 negatif, W_2 haruslah positif, dengan harga yang sama dengan W_1. Ini berarti energi yang diambil dari muatan waktu bergerak dari A ke B, seluruhnya dikembalikan kepada muatan waktu muatan bergerak dari B ke A, sehingga sampai di A muatan akan mempunyai energi awal yang dimilikinya yaitu E_o. Jelaslah bahwa energi yang diambil kedua konservatif tidaklah hilang tetapi menjadi energi simpanan. Konservatif berarti bersifat mempertahankan agar tak hilang.

Bila titik A terletak pada jauh tak berhingga ( ) maka :

$$U_A = 0$$

Usaha yang diperlukan untuk membawa muatan dari jauh tak berhingga ke titik B adalah :

$$W_{\infty \to B} = -q' \int_{\infty}^{B} \mathbf{E}\, dl \cos\theta = -q' \int_{\infty}^{B} \mathbf{E}_o \cdot dl$$

$$= U_B - 0 = U_B \qquad (5-11)$$

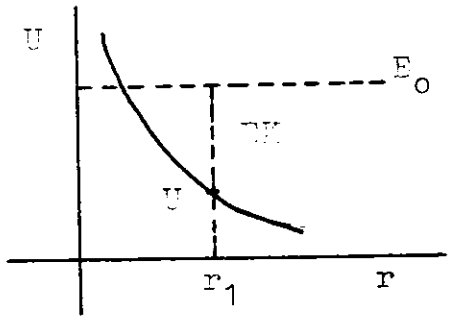
Dari persamaan (4 -11) diperoleh bahwa besarnya energi potensial suatu muatan pada suatu titik didalam medan listrik adalah besarnya usaha yang dilakukan untuk memindahkan muatan tersebut dari tempat jauh tak ber - hingga ke titik tersebut.

Jika medan listrik ditimbulkan oleh sejumlah muatan titik yang masing-masing adalah q_1, q_2, q_3, ...q_n maka energi potensial muatan q' adalah :

$$= \frac{q'}{4\pi\epsilon_o}\left(\frac{q_1}{r_1}+\frac{q_2}{r_2}+\frac{q_3}{r_3}+ \ldots \frac{q_n}{r_n}\right)$$

$$= \frac{q'}{4\pi\epsilon_o} \quad \frac{q}{r} \quad \text{(penjumlahan aljabar)} \quad (5\text{-}12)$$

Hubungan antara energi kinetik dan energi potensial suatu muatan dapat dilihat pada kurva energi potensial seperti pada gambar 5.3



Gambar 5.3. Kurva energi potensial

Energi muatan terdiri atas energi potensial dan energi kinetik. Pada jarak tak berhingga , U = 0. Berarti energi awal E_o = EK. Pada posisi $r = r_1$. Sebagian energi total E telah disimpan didalam medan berupa energi potensial U . Sisanya E_o - U merupakan energi kinetik EK. Tetapi pada setiap saat dan posisi selalu ber -

laku Hukum Kekekalan Energi.

$$E = U + EK = U + (Eo - U) = Eo \qquad (5-13)$$

Satuan untuk energi potensial listrik adalah Joule.

5.2. Potensial Listrik.

Perbandingan energi potensial suatu muatan yang terdapat di suatu titik dalam medan listrik dengan besar muatan itu sendiri, atau energi potensial per satuan muatan disebut potensial listrik (V) dititik itu. Bila energi potensial muatan q' dalam suatu medan listrik adalah U maka potensial listrik dititik itu adalah :

$$V = \frac{U}{q'} \qquad (5-14)$$

Dari persamaan (4 - 8) dan (4 - 9) diperoleh bahwa potensial pada titik A dan titik B adalah :

$$V_A = \frac{U_A}{q'} = \frac{q}{4\pi\epsilon_o r_A} \qquad (5-15)$$

$$V_B = \frac{U_B}{q'} \quad \frac{q}{4\pi\epsilon_o r_B} \qquad (5-16)$$

Jadi potensial suatu titik dalam medan listrik yang ditimbulkan oleh muatan q jika jarak titik adalah r dari q adalah :

$$V = \frac{q}{4\pi\epsilon_o r} \qquad (5-17)$$

Jika medan listrik ditimbulkan oleh sejumlah muatan listrik q_1 , q_2 , q_3 ..... q_n , maka potensial suatu titik yang jaraknya dari muatan-muatan itu masing-masing adalah : r_1 , r_2 , r_3 , ... r_n , adalah :

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon} \left(\frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} + \frac{q_3}{r_3} + ... \frac{q_n}{r_n} \right.$$

=

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_o} \sum \frac{q}{r} \quad \text{(penjumlahan aljabar)} \quad (5\text{-}18)$$

Sama dengan persamaan (4-11), maka potensial disuatu titik didalam medan listrik ialah usaha persatuan muatan yang dilakukan apabila suatu muatan dipindahkan dari tempat yang tak berhingga ke titik tersebut.

Satuan untuk potensial listrik adalah volt 1 volt= 1 youle / coulomb. Dari persamaan (4-7) :

$$U = -\int_A^B F \cdot dr = U_B - U_A$$

yang menyatakan beda energi potensial, dapat didefinisikan beda potensial listrik antara titik A dan titik B sebagai :

$$V = V_B - V_A = -\int_A^B \frac{F(r)}{q'} \cdot dr = -\int_A^B E(r) \cdot dr$$

$$V_{BA} = \int_A^B E(r) \cdot dr$$

secara umum dapat ditulis :

$$V = Vr - Vr_o = -\int E(r) \cdot dr \qquad (5\text{-}19)$$

Bila yang menimbulkan medan listrik adalah suatu muatan titik q, maka beda potensial antara titik B dan titik A adalah :

$$V_{BA} = V_B - V_A = \frac{q}{4\pi\epsilon_o r_B} - \frac{q}{4\pi\epsilon_o r_A} \qquad (5\text{-}20)$$

Diperlukan usaha untuk memindahkan suatu muatan positif dari titik yang berpotensial lebih rendah ke titik yang berpotensial lebih tinggi dan muatan positif akan bergerak bebas dari titik yang berpotensial lebih tinggi ketitik yang berpotensial lebih rendah.

MILIK UPT PERPUSTAKAAN
UNP PADANG

5.3. Potensial dari suatu Distribusi Muatan.

Apabila muatan tersebar pada suatu permukaan atau volume yang terbatas masing-masing dengan kerapatan σ (c/m^2) dan $\rho (c/m^3)$ maka potensial listrik pada suatu titik di dalam dan di luar - nya dapat ditentukan.

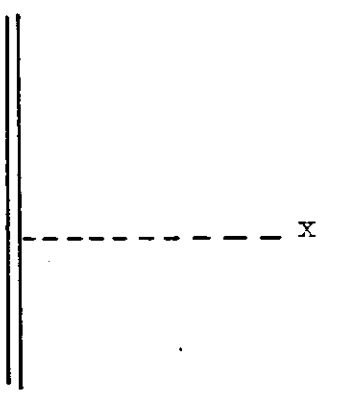
5.3.1. Potensial suatu Pelat Bermuatan.

Suatu pelat tipis bermuatan dengan rapat muatan serbasama + . Kuatan medan di luar pelat adalah :

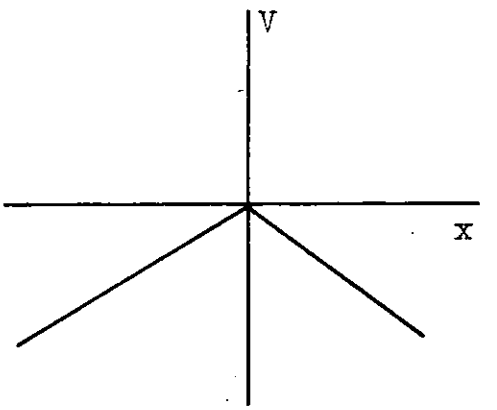
$$E = \sigma / 2\epsilon_0$$

Potensial listrik pada jarak X dari pelat dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan :

$$V(X) - V(X_o) = -\int_{X_o}^{X} E \, dr \qquad (5\ 21)$$



Gambar.5.4 .Pelat tipis bermuatan.



Gambar 5.5 Grafik potensial listrik.

Bila $X_o = 0$, seperti pada gambar 5.4 maka persamaan (4-21) menjadi :

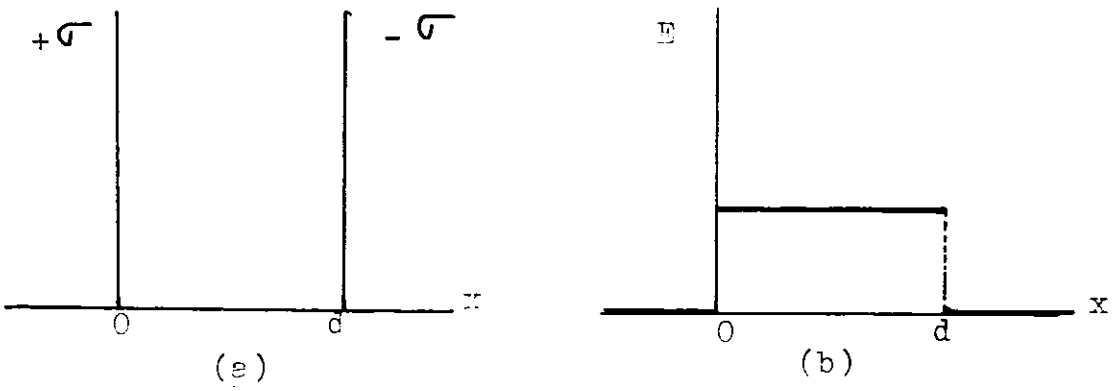
$$V(X) = -\int_{0}^{x} E_o \, dr$$

$$= -\int_{0}^{x} \frac{\sigma}{2\epsilon_o} dx = -\frac{\sigma}{2\epsilon_o} x \qquad (5\text{-}22)$$

Grafik potensial ini dapat dilihat pada gambar 5.5

5.3.2. Potensial dua pelat sejajar bermuatan.

Dua pelat sejajar yang terpisah pada jarak d mempunyai kerapatan muatan persatuan luas $+\sigma$ dan $-\sigma$ seperti pada gambar 5.6 (a).



Gambar 5.6 (a). Pelat sejajar bermuatan (b) grafik - kuat medan listrik fungsi dari x.

Kuat medan listrik pada dua pelat sejajar ini merupakan fungsi dari x, seperti pada gambar 5.6 (b).

(1) Untuk $x < 0$, $E = 0$

(2) Untuk $0 \leq x \leq d$, $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$

(3) Untuk $x > d$, $E = 0$

Seperti pada medan listrik, potensial juga merupakan fungsi dari x. Untuk $x = 0$, potensialnya adalah Vo. Potensial pada titik - titik lain terhadap Vo adalah :

(1) Untuk $x < 0$, $E = 0$

$$V_x - V_o = -\int_o^x E.dr = 0$$

$$V_x = V_o \qquad (5-23)$$

Jadi potensial titik-titik $x < 0$, sama dengan potensial pada $x = 0$, yaitu V_o

(2) Untuk $0 \leq x \leq d$, $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$

$$V_x - V_o = -\int_o^x E.\,dr =$$

$$= - E \cdot x = - \frac{\sigma}{\epsilon_o} x$$

$$V_x = V_o - \frac{\sigma}{\epsilon_o} x \qquad (5-24)$$

Untuk $x = d$,

$$V_d = V_o - \frac{\sigma}{\epsilon_o} d \qquad (5-25)$$

Jadi potensial diantara pelat berkurang dengan bertambah nya x, sedangkan pada $x = d$ harganya tetap.

(3) Untuk $x > d$

$$V_x - V_o = -\int_o^x E \cdot dr = - \left(\int_o^d E \cdot dr + \int_d^x E \cdot dr \right)$$

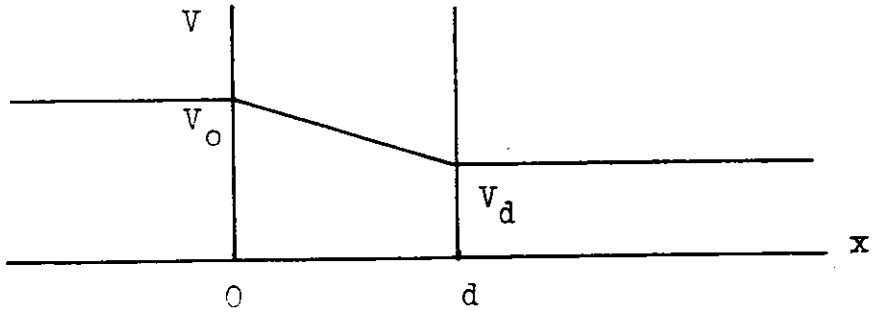
$$= - \left(\int_o^d \frac{\sigma}{\epsilon_o} dx + \int_d^x (0) \cdot dx \right)$$

$$= - \frac{\sigma}{\epsilon_o} d$$

$$V_x = V_o - \frac{\sigma}{\epsilon_o} d \qquad (5-26)$$

Jadi potensial pada $x > d$, sama dengan potensial pada $x = d$ yaitu V_d

Grafik potensial untuk (1), (2) dan (3) dapat dilihat pada gambar 5.7



Gambar 5.7. Grafik potensial untuk dua pelat sejajar.

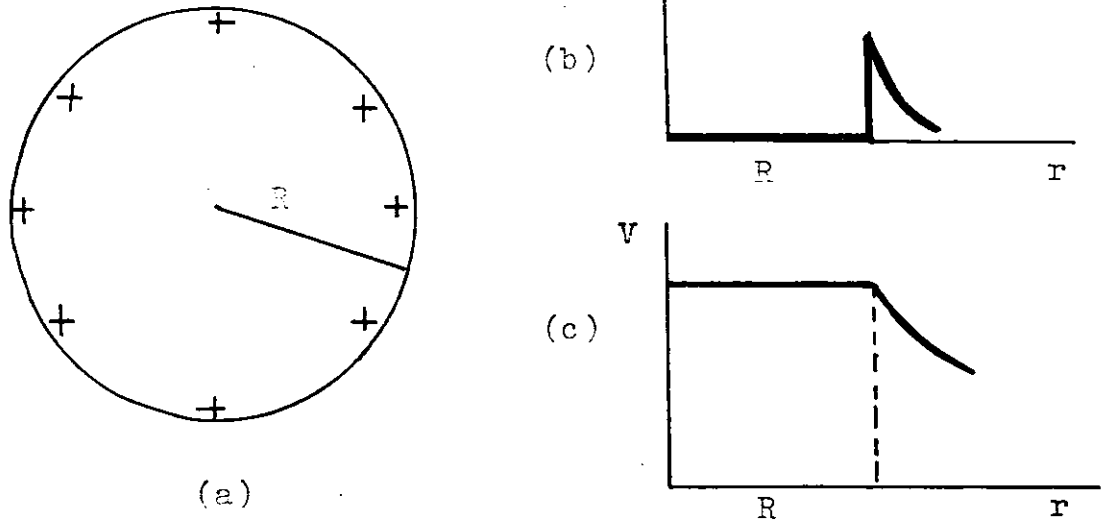
5.3.3. Potensial Bola Bermuatan.

Sebuah bola konduktor dengan jari-jari R diberi muatan listrik sebesar Q. Muatan tersebar rata dipermukaan bola. Untuk menghitung potensial pada tiap - tiap titik dalam dan di luar bola, harus diketahui dahulu kuat medan listrik. Kuat medan listrik merupakan fungsi dari r , seperti pada gambar 5.8 (b).

(1) Untuk $r < R$ (dalam bola) , $E = 0$

(2) Untuk $r \geq R$ (dipermukaan dan di luar bola) ,

$$E = \frac{1}{4\pi \epsilon_o} \frac{Q}{r^2}$$



Gambar 5.8 (a). Bola logam bermuatan (b) Grafik kuat medan listrik (c) grafik potensial.

Karena kuat medan listrik pada bola bermuatan seperti kuat medan oleh muatan titik, maka titik acuan dapat di - ambil $r = \infty$. Disini $V_{r=\infty} = 0$.

Potensial pada bola konduktur bermuatan ini adalah:

(1) Untuk $r \geq R$, $E = \frac{1}{4\pi \epsilon_o} \frac{Q}{r^2}$

$$V_r - V\ (r_o = \infty) = -\int_{r_o}^{r} E.dr = \frac{1}{4\pi\epsilon_o}\int_{\infty}^{r} \frac{Q}{r^2}\ d$$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_o}\ \frac{Q}{r}$$

$$V_r = \frac{1}{4\pi\epsilon_o}\ \frac{Q}{r} \qquad (5-27)$$

Untuk titik di permukaan bola, v = R, maka potensial nya adalah :

$$V_R = \frac{1}{4\pi\epsilon_o}\ \frac{Q}{R} \qquad (5-28)$$

(2) Untuk $r < R$, $E = 0$

Sebagai titik acuan dapat diambil $r = R$

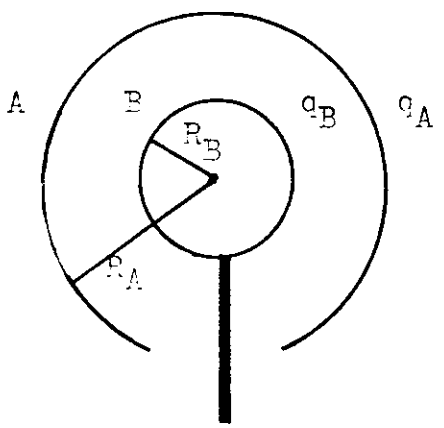
$$V_r - V_R = -\int_{R}^{r} E.\ dr = -\int_{R}^{r} 0.dr = 0$$

$$V_r = V_R \qquad (5-29)$$

Jadi potensial didalam bola konduktur bermuatan = potensial dipermukaan bola.

5.3.4. Potensial dua bola kunduktur sepusat bermuatan.

Dua bola konduktor A dan B dipsang sepusat.Bola A dengan jari-jari R_A diberi muatan q_A dan bola B dengan jari-jari R_B diberi muatan q_B . Jari-jari bola A lebih besar dari jari-jari bola B seperti pada gambar 5.9.



Gambar 5.9. Dua bola konduktor sepusat bermuatan listrik.

Potensial pada titik-titik didalam dan di luar kedua bola ini adalah merupakan penjumlahan dari potensial masing - masing bola.

(1) Untuk $r < R_B$

$$V_r = \frac{1}{4\pi\epsilon_o}\left(\frac{q_A}{R_B} + \frac{q_B}{R_B}\right) \qquad (5-30)$$

(2) Pada dinding bola B.

$$V_{RB} = \frac{1}{4\pi\epsilon_o}\left(\frac{q_A}{R_A} + \frac{q_B}{R_B}\right) \qquad (5-31)$$

(3) Untuk $R_B < r < R_A$

$$V_r = \frac{1}{4\pi\epsilon_o}\left(\frac{q_A}{R_A} + \frac{q_B}{R}\right) \qquad (5-32)$$

(4) Pada dinding bola A

$$V_{RA} = \frac{1}{4\pi\epsilon_o}\left(\frac{q_A}{R_A} + \frac{q_B}{R_A}\right) \qquad (5-33)$$

(5) Untuk $r > R_A$

$$V_r = \frac{1}{4\pi\epsilon_o}\left(\frac{q_A + q_B}{r}\right) \qquad (5-34)$$

Beda potensial antara bola B dengan bola A adalah :

$$V_B - V_A = \frac{1}{4\pi\epsilon_o}\left(\frac{q_A}{R_A} + \frac{q_B}{R_B}\right) - \frac{1}{4\pi\epsilon_o}\left(\frac{q_A}{R_A} + \frac{q_B}{R_A}\right)$$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_o}\, q\left(\frac{1}{R_B} - \frac{1}{R_A}\right) \qquad (5-35)$$

Karena $R_A > R_B$ maka $V_B - V_A > 0$, atau $V_B > V_A$. Ini berarti bahwa potensial pada bola dalam B selalu lebih besar dari potensial bola dalam B, berapa pun besarnya muatan bola luar A. Dengan demikian bila bola B dihubungkan dengan kawat konduktor ke bola A, muatan akan mengalir ke bola A dari bola B. Bila B terus menerus diisi muatan, bola A akan terus mendapat tambahan muatan, se-

PERPUSTAKAAN ... PADANG
KOLEKSI BIDANG ILMU
TIDAK DIPINJAMKAN
KHUSUS UNTUK DIPAKAI DALAM PERPUSTAKAAN.

hingga muatan bola A dapat menjadi besar sekali. Akibatnya kuat medan listrik disekitar bola A menjadi sangat besar. Bila harga kuat medan listrik lebih besar dari kekuatan dielektrik atau kuat medan listrik maksimum yang masih dapat ditahan oleh udara, udara akan mengalami ionisasi. Artinya udara kehilangan sifat isolatornya, dan menjadi penghantar. Dari bola A akan timbul loncatan listrik. Kekuatan dielektrik untuk udara adalah 3×10^6 newton/coulomb.

5.3.5. Potensial oleh muatan ruang.

Apabila muatan tersebar dalam suatu volume yang terbatas dengan rapat muatan ρ (C/m^3), maka potensial pada suatu titik diluar volume, oleh suatu muatan, diferensial d Q dalam volume adalah :

$$dV = \frac{dQ}{4\pi\epsilon_o R} \qquad (5 - 36)$$

Potensial pada titik itu adalah :

$$V = \int \frac{dQ}{4\pi\epsilon_o R} \qquad (5 - 37)$$

Karena $dQ = \rho\, dv$

maka persamaan (4 - 37) menjadi :

$$V = \frac{\rho\, dv}{4\pi\epsilon_o R} \qquad (5 - 38)$$

R adalah jarak dari dQ ke titik yang akan dihitung potensialnya.

5.4. Gradien Potensial.

Dari persamaan (5 - 2) yaitu :

$dW = - q'E\, dr$, di peroleh :

$$\frac{dW}{q'} = - E\, dr, \qquad dV = - E\, dr$$

$$\frac{dV}{dr} = - E \qquad E = - \frac{dV}{dr} \qquad (5 - 39)$$

Tetapi kuat medan E adalah vektor, sedangkan potensial V, adalah besaran skalar. Karena itu diferensial terhadap V haruslah menggunakan operator diferensial vektor yang disebut f gradien dan dinyatakan dengan V. Dalam sistem - koordinat kartesian V berbentuk :

$$= i\frac{d}{j_x} + y\frac{d}{jy} + k_d\frac{d}{dz} \qquad (5 - 40)$$

gradien potensial adalah :

$$V(x,y,z) = i\frac{d}{x} V(x,y,z) + j_d\frac{d}{dy} v(x,y,z) + d\frac{d}{z} V(x,y,z) \qquad (5-41)$$

Dengan demikian persamaan (5 -39) dapat ditulis :

$$\underset{(r)}{E} = -\nabla V(r) \qquad (5-42)$$

Atau kuat medan listrik E (r) adalah negatif gradian potensial listrik V (r).

Dalam koordinat kartesian, komponen-komponen kuat medan listrik adalah :

$$E(x) = i \frac{d}{dx} V(x,y,z) \qquad (5-43)$$

$$E(y) = j \frac{d}{dy} V(x,y,z) \qquad (5-44)$$

$$E(z) = k \frac{d}{dz} V(x,y,z) \qquad (5 -45)$$

Contoh 5.1.

Potensial pada suatu jarak tertentu dari suatu muatan - listrik ialah 600 volt dan kuat medan listrik ialah 200 N/C.

(a) Berapak jarak titik itu ke muatan titik

(b) Berapakah besar muatan itu

Jawab :

(a) Untuk muatan titik berlaku :

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r}$$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2}$$

$$V = E.r \qquad r = \frac{V}{E} = \frac{600 \text{ volt}}{200 \text{ N/C}} = 3 \text{ m}$$

Jadi jarak titik itu ke muatan titik adalah 3 m.

(b) $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r} = 9.10^9 \frac{Q}{3} = 3.10^9 Q$

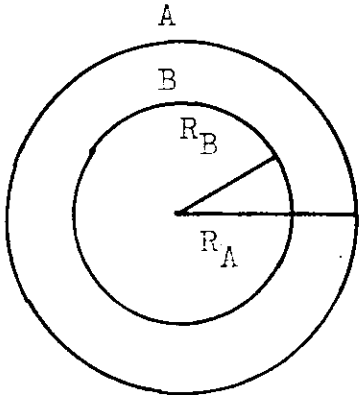
$$Q = \frac{V}{3.10^9} = \frac{600}{3.10^9} = 2.10^{-7} \text{ coulomb.}$$

Contoh 5.2.

Dua bola konduktor sepusat yang berongga A dan B masing-masing mempunyai jari-jari 4 cm dan 2 cm. Bola A mempunyai muatan 20 x 10^{-9} coulomb dan bola B bermuatan $12x10^{-9}$ coulomb. Hitunglah potensial pada jarak-jarak yang berikut dari pusat :

(a) 1 cm
(b) 2 cm
(c) 3 cm.
(d) 4 cm
(e) 5 cm

Jawab :



(a) $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q_A}{R_A} + \frac{q_B}{R_B} \right)$

$$= 9.10^9 \frac{20x10^{-9}}{4x10^{-2}} + \frac{12x10^{-9}}{2x10^{-2}}$$

$$= 9.10^9 (5x10^{-7} + 6x10^{-7})$$

$$= 9900 \text{ volt.}$$

(b) $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q_A}{R_A} + \frac{q_B}{R_B} \right)$

$$= 9900 \text{ volt.}$$

(c) $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_o} \left(\frac{q_A}{R_A} + \frac{q_B}{r} \right)$

$= 9 \times 10^9 \left(\frac{20 \times 10^{-9}}{4 \times 10^{-2}} + \frac{12 \times 10^{-9}}{3 \times 10^{-2}} \right)$

$= 9 \times 10^9 \left(5 \times 10^{-7} + 4 \times 10^{-7} \right)$

$= 8100$ volt.

(d) $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_o} \left(\frac{q_A}{R_A} + \frac{q_B}{R_A} \right)$

$= 9 \times 10^9 \left(\frac{20 \times 10^{-9}}{4 \times 10^{-2}} + \frac{12 \times 10^{-9}}{4 \times 10^{-2}} \right)$

$= 9 \times 10^9 \left(5 \times 10^{-7} + 4\,3 \times 10^{-7} \right)$

$= 7200$ volt.

(e) $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_o} \left(\frac{q_A}{r} + \frac{q_B}{r} \right)$

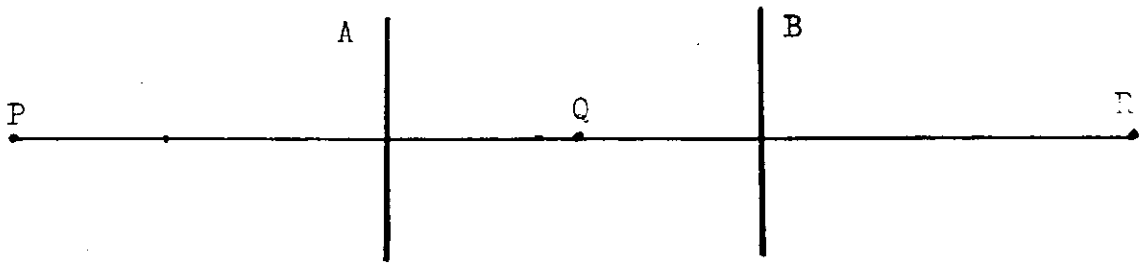
$= 9 \times 10^9 \left(\frac{20 \times 10^{-9}}{5 \times 10^{-2}} + \frac{12 \times 10^{-9}}{5 \times 10^{-2}} \right)$

$= 9 \times 10^9 \left(4 \times 10^{-7} + 2{,}4\ 10^{-7} \right)$

$= 5760$ volt.

Contoh 5.3.

Dua pelat sejajar A dan B terpisahkan oleh jarak 5 cm. Pelat A mempunyai potensial 20 volt dan berat medan diantara kedua pelat 40 N/C.



Hitunglah potensial pada titik-titik :

(a) P yang jaraknya 5 cm dari A
(b) Q yang jaraknya 2,5 cm dari A
(c) Pelat B
(d) R yang jaraknya 5 cm dari B
(e) Beda potensial antara kedua pelat.

Jawab :

(a) $V_P = V_A = 20$ volt

(b) $V_Q = V_A - E.X = 20 - 40\ (\ 0{,}025)$
$= 20 - 1 = 19$ volt.

(c) $V_B - V_A - E.d = 20 - 40(0{,}05) = 20 - 2$
$= 18$ volt

(d) $V_R = V_B = 18$ volt.

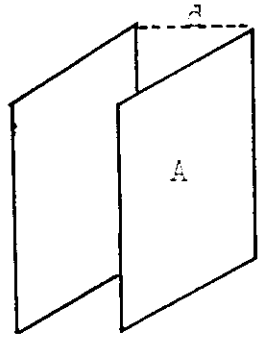
(e) $V_{AB} = V_A - V_B = 20$ volt $- 18$ volt $= 2$ volt.

—

BAB VI
KAPASITANSI DAN DIELEKTRIK

6. Kapasitansi.

Dua pelat sejajar yang masing-masing luasnya A dan B berjarak d satu sama lain, seperti pada gambar 6.1. diberi muatan yang sama besarnya pada kedua pelat tetapi berlawanan tandanya yaitu + Q dan - Q dengan sebuah sumber gaya gerak listrik.



Gambar 6.1. Kapasitansi dua pelat sejajar.

Muatan dalam pelat-pelat mencapai suatu harga maksimum Q setelah potensial kedua pelat adalah V. Diantara kedua pelat timbul medan listrik sebesar :

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_o}$$

$\sigma = \frac{Q}{A}$ adalah rapat muatan permukaan.

Beda potensial antara kedua pelat adalah :

$$V = Ed.$$

$$V = \frac{\sigma}{\epsilon_o} d = \epsilon_o \frac{Qd}{A} = \epsilon_o \frac{d}{A} Q$$

$$Q = \epsilon_o \frac{A}{d} V \qquad (6-1)$$

Karena ϵ_o, A dan d besarnya tetap, maka persamaan (6-1) dapat ditulis :

$$Q = C V \qquad (6-2)$$

dimana :

$$C = \epsilon_o \frac{A}{d} \qquad (6-3)$$

Dari persamaan (6 - 2) diperoleh kesimpulan :

(1) Muatan maksimum Q pada pelat sebanding dengan beda potensial V antara kedua pelat.

(2) Besar muatan maksimum Q yang dapat disimpan dalam pelat pada suatu harga potensial V tertentu, tergantung pada tetapan C. Makin besar harga C, akan semakin besar pula muatan maksimum yang dapat disimpan dalam kedua pelat.

Dari persamaan (6-3) diperoleh bahwa tetapan C hanya bergantung pada jenis medium diantara kedua pelat, dan bentuk sistem, dalam hal ini adalah luas kedua pelat dan jarak kedua pelat.

Jadi tetapan C menyatakan kapasitas sistem untuk menyimpan muatan listrik, atau juga menyimpan medan listrik. Tetapan C ini disebut kapasitansi. Sistem yang dapat menyimpan muatan atau medan listrik disebut sistem kapasitif. Sistem kapasitif yang mempunyai harga kapasitansi tertentu disebut kapasitor.

Satuan kapasitansi adalah coulomb/volt, atau farad. 1 coulomb/volt disebut 1 farad. Karena farad merupakan satuan kapasitansi yang terlalu besar, satuan yang sering digunakan adalah milifarad (1 mF = 10^{-3} F)mikrofarad (1 uF = 10^{-6} F), nanofarad (1 nF = 10^{-9}F) dan pikofarad (1 pF = 10^{-12} F).

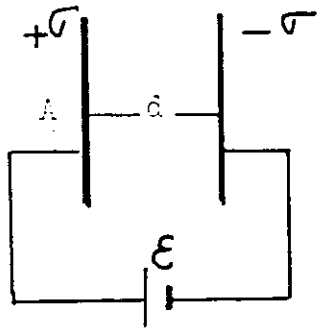
6.2. Kapasitor.

Setiap dua benda penghantar yang terpisah oleh ruang bebas atau oleh isolator mempunyai kapasitansi antara kedua benda itu. Kedua benda disebut kapasitor. Kapasitor merupakan komponen yang penting dalam rangkaian-rangkaian listrik. Kapasitansi suatu kapasitor dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (6-2) :

$$C = \frac{Q}{V} \qquad (6-4)$$

6.2.1. Kapasitor Pelat Sejajar.

Kapasitor ini terdiri atas dua pelat yang sejajar dengan luas masing-masing adalah A dan jarak keduanya d, seperti pada gambar 6.2. Jika diantara kedua pelat terdapat udara maka kuat medan listrik diantara kedua pelat adalah:



Gambar 6.2. Kapasitor pelat sejajar.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} \qquad (6\text{-}5)$$

$+\sigma$ adalah rapat muatan permukaan pada salah satu pelat (pelat positif) dan $-\sigma$ adalah rapat muatan pada pelat negatif. Beda potensial V

$$V = E_d = \frac{d}{\varepsilon_0} \qquad (6\text{-}6)$$

Muatan pada salah satu pelat adalah :

$$q = \sigma A \qquad (6\text{-}7)$$

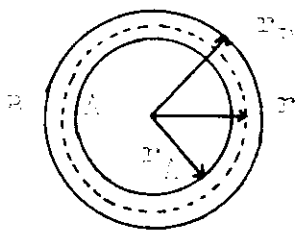
Karena kapasitansi kapasitor adalah :

$$C = \frac{q}{V} = \frac{A}{\frac{\sigma d}{\varepsilon_0}} = \varepsilon_0 \frac{A}{d} \qquad (6\text{-}8)$$

Kapasitor pelat sejajar ini banyak digunakan dalam rangkaian-rangkaian listrik.

6.2.2. Kapasitor Bola Konsentris.

Kapasitor ini terdiri dari dua bola konduktor yang konsentris, masing-masing jari-jarinya adalah r_A dan r_B ($r_B > r_A$) seperti pada gambar 6.3. Muatan masing-masing bola adalah tg dan -q. Kuat medan listrik diantara kedua bola adalah :



Gambar 6.3. Kapasitor bola konsentris.

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q}{r^2} \qquad (6\text{-}9)$$

Beda potensial antara kedua permukaan bola adalah :

$$V = -\int_{r_B}^{r_A} E_r \, dr = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left| \frac{1}{r} \right|_{r_B}^{r_A}$$

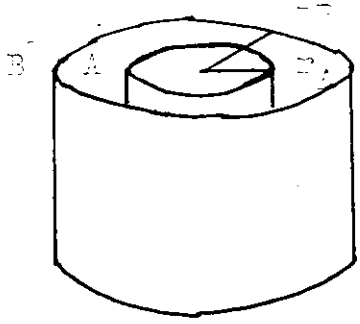
$$= \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right) \qquad (6-10)$$

Kapasitansi dari kapasitor bola konsentris ini adalah :

$$C = \frac{q}{V} = 4\pi\epsilon_0 \frac{r_A \, r_B}{r_B - r_A} \qquad (6-11)$$

6.2.3. Kapasitansi silinder Koaxial.

Dua silinder koaxial A dan B dengan jari-jari masing-masing adalah r_A dan r_B ($r_B > r_A$) mempunyai muatan persatuan panjang λ seperti pada gambar 6.4. Kuat medan diantara kedua silinder adalah:



Gambar 6.4. Dua silinder koaxial.

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r} \qquad (6-12)$$

Beda potensial antara kedua silinder adalah :

$$V_A - V_B = -\int_{r_B}^{r_A} E \cdot dr$$

$$= -\int_{r_B}^{r_A} \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$$

$$= \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r_B}{r_A} \qquad (6-13)$$

Kapasitansi persatuan panjang dari silinder koaxial adalah :

$$\frac{C}{l} = \frac{\lambda}{V_A - V_B} = \frac{\lambda}{\frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r_B}{r_A}} = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{r_B}{r_A}} \qquad (6-14)$$

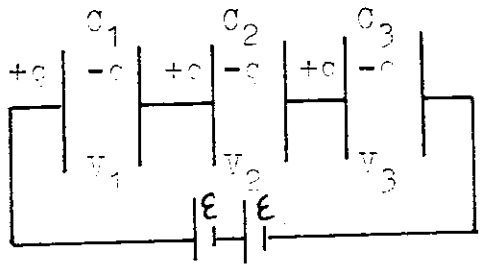
6.3. Rangkaian kapasitor.

Kapasitor banyak digunakan dalam rangkaian-rangkaian listrik. Kapasitor-kapasitor itu dihubungkan dengan ber

bagai cara, tetapi hubungan yang lebih umum adalah hubungan seri dan hubungan paralel.

6.3.1. Kapasitor hubungan Seri.

Beberapa kapasitor yang belum bermuatan dihubungkan secara seri, kemudian dihubungkan dengan suatu sumber tegangan seperti pada gambar 6.5. Pada pelat yang dihubungkan dengan kutub positif sumber akan timbul muatan sebesar q. Akibatnya pada pelat lain akan terinduksi muatan sebesar -q. Muatan -q ini juga akan menginduksi pelat kapasitor berikutnya sehingga timbul pula muatan sebesar q.



Gambar 6.5. Kapasitor dihubungkan seri.

Demikian seterusnya, sehingga setiap kapasitor bermuatan sama sebesar q dan muatan total rangkaian juga q. Beda potensial pada masing-masing kapasitor adalah :

$$V_1 = {}^{q}/_{C_1} \quad V_2 = {}^{q}/_{C_2} \quad V_3 = {}^{q}/_{C_3} \ \ldots\ldots \ V_u = {}^{q}/_{C_u}$$

Beda potensial pada kedua ujung rangkaian adalah :

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \ldots\ldots V_u$$

$$= \frac{q}{C_1} = \frac{q}{C_2} + \frac{q}{C_3} + \frac{q}{C_u} = \frac{q}{C} \qquad (6 - 15)$$

C adalah kapasitansi gabungan dari rangkaian dan q adalah muatan total rangkaian kapasitor.

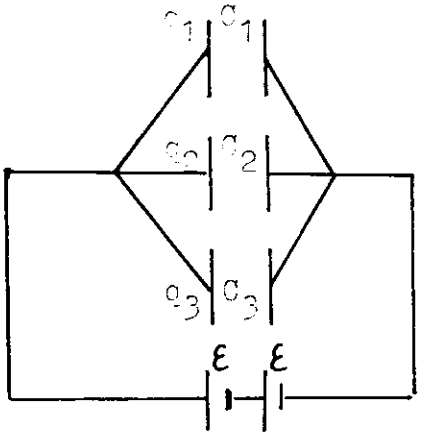
Dari persamaan (6 - 15) diperoleh hubungan C dengan kapasitansi masing-masing kapasitor adalah..

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \ldots \frac{1}{C_u} \qquad (6 - 16)$$

MILIK UNIT PERPUSTAKAAN

6.3.2. Kapasitor hubungan paralel.

Beberapa kapasitor yang dihubungkan paralel seperti pada gambar 6.6, mempunyai beda potensial V yang sama pada masing-masing kapasitor. Muatan pada masing-masing kapasitor adalah :



Gambar 6.6. Kapasitor dihubungkan paralel

$$q_1 = C_1V_1 \quad q_2 = C_2V$$

$$q_3 = C_3V \ldots\ldots q_u = C_u V$$

Muatan total rangkaian adalah :

$$q = q_1 + q_2 + q_3 \ldots\ldots q_u$$

$$= C_1V + C_2V + C_3V + \ldots CuV$$

$$= CV. \qquad (6\text{-}17)$$

C=adalah kapasitansi gabungan kapasitor dan
V=adalah beda potensial rangkaian
Dari persamaan (6-17) diperoleh bahwa :

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \ldots\ldots Cu \qquad (6\text{-}18)$$

6.4. Energi dalam kapasitor.

Memuati suatu kapasitor berarti memindahkan muatan dari pelat yang tegangannya lebih rendah ke pelat yang tegangannya lebih tinggi. Karena itu memuati suatu kapasitor membutuhkan usaha. Pada saat muatan pelat adalah q, perbedaan tegangan antara pelat adalah :

$$V = q/C \qquad (6\text{-}19)$$

Usaha dW yang diperlukan untuk memberi muatan selanjutnya sebesar dQ adalah :

$$dW = Vdq \qquad (6\text{-}20)$$

Usaha total adalah :

$$W = \int dW = \frac{1}{C} \int_0^Q q\, dq$$

$$= \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} \qquad (6\text{-}21)$$

Karena $Q = CV$ dan $C = \frac{Q}{V}$, maka persamaan (6-21) dapat ditulis :

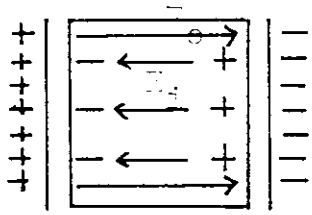
$$W = \tfrac{1}{2}\frac{Q^2}{C} = \tfrac{1}{2} CV^2 = \tfrac{1}{2} QV \qquad (6\text{-}22)$$

6.5. Dielektrik.

Seringkali diperlukan hanya kapasitansi yang besar dari suatu kapasitas yang ukurannya kecil. Untuk keperluan tersebut, maka ruang diantara kedua pelat diisi dengan bahan isolator atau dielektrik.

6.5.1. Permitivitas listrik.

Ruang antara kedua pelat kapasitor diisi dengan suatu bahan dielektrik, kemudian kapasitor dihubungkan dengan suatu sumber tegangan seperti pada gambar 6.7. Kuat medan listrik diantara kedua pelat bila tidak ada dielektrik adalah :



Gambar 6.7. Kapasitor berisi dielektrik.

$$E_o = \frac{\sigma}{\epsilon_o} \qquad (6\text{-}23)$$

Karena pengaruh dari medan listrik ini maka timbul muatan induksi pada permukaan dielektrik. Timbulnya muatan induksi ini disebabkan karena pusat muatan positif dan negatif dari molekul dielektrik diregangkan atau dipolarisasikan oleh gaya coulomb. Muatan induksi ini menimbulkan medan induksi yang arahnya berlawanan dengan medan oleh muatan pada pelat. Bila rapat muatan induksi adalah σ_i, maka kuat medan induksi :

$$E_i = \frac{\sigma_i}{\epsilon_o} \qquad (6\text{-}24)$$

Medan listrik dalam dielektrik adalah superposisi kedua medan :

$$E = E_o - E_i = \frac{\sigma}{\epsilon_o} - \frac{\sigma_i}{\epsilon_o} \qquad (6\text{-}25)$$

Rapat muatan induksi σ_i bergantung pada kuat medan listrik dalam dielektrik E, dengan hubungan :

$$\sigma_i = \quad Xe\ E \qquad (6\text{-}26)$$

Tetapan X_e disebut suseptibilitas listrik. Persamaan (6-25) dapat ditulis :

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_o} - \frac{\sigma_i}{\epsilon_o} = \frac{\sigma}{\epsilon_o} - \frac{Xe}{\epsilon_o} E$$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_o (1 + \frac{X_e}{\epsilon_o})} = \frac{\sigma}{K_e \epsilon_o} \qquad (6\text{-}27)$$

Tetapan $K_e = 1 + \frac{X_e}{\epsilon_o}$ disebut tetapan dielektrik . Besaran $K_e \epsilon_o = \epsilon$ disebut permitivitas listrik ϵ sehingga persamaan (6-27) menjadi :

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \qquad (6\text{-}28)$$

6.5.2. Kapasitor dielektrik.

Suatu kapasitor diisi dengan bahan dielektrik dengan permitivitas listrik ϵ . Kapasitansinya adalah :

$$C = \frac{q}{V}$$

Karena $q = \sigma A$, $\sigma = \epsilon E = \epsilon \frac{V}{d}$ maka :

$$q = \sigma A = \epsilon \frac{A}{d} V \qquad (6\text{-}29)$$

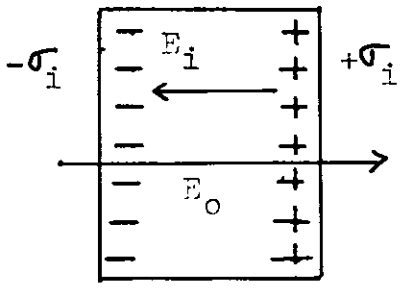
Kapasitansi kapasitor adalah :

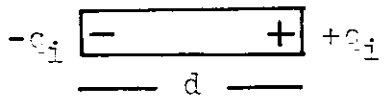
$$C = \frac{q}{V} = \epsilon \frac{A}{d} = K_e \epsilon_o \frac{A}{d} = K_e C_o \qquad (6\text{-}30)$$

Jadi kapasitansi kapasitor dielektrik adalah K_e kali kapasitor tanpa dielektrik. Harga K_e selalu besar dari satu, misalnya air $K_e = 81$, gelas $K_e = 10$, muka $K_e = 6$.

6.5.3. Polarisasi listrik.

Jika suatu bahan dielektrik ditempatkan dalam suatu medan listrik E , maka pada permukaan dielektrik tim-





Gambar 6.8.(a) Muatan induksi (b).Di pol listrik muatan induksi.

bul muatan induksi q_i dengan rapat muatan induksi σ_i seperti pada gambar 6.8 (a). Muatan induksi ini membentuk dipol listrik seperti pada gambar 6.8 (b). Momen dipol total listrik adalah :

$$P_{total} = q_i\, d = \sigma_i\, Ad = \sigma_i\, V \qquad (6-31)$$

V adalah volume dielektrik.

Momen dipol total persatuan volume disebut polarisasi listrik P,

$$P = \frac{P_{total}}{V} = \sigma_i \qquad (6-32)$$

Karena $\sigma_i = x_e E$, maka persamaan (6-32) dapat ditulis :

$$P = x_e E \qquad (6-33)$$

E adalah kuat medan total dalam dielektrik.

6.9.4. Perpindahan listrik.

Kuat medan total dalam dielektrika adalah :

$$E = E_o - E_i = \frac{\sigma - \sigma_i}{\epsilon_o} = \frac{\sigma - P}{\epsilon_o} \qquad (6-34)$$

Persamaan (6-34) dapat ditulis :

$$\sigma = \epsilon_o E + P \qquad (6-35)$$

Besaran $\epsilon_o E + P$ disebut perpindahan listrik D

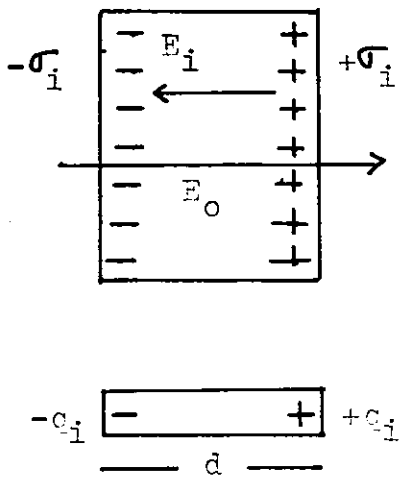
$$D = \epsilon_o E + P \qquad (6-36)$$

Karena $P = x_e E$ maka persamaan (6-36) menjadi :

$$D = \epsilon_o E + x_e E$$
$$= \epsilon_o \left(1 + \frac{xe}{\epsilon_o} \right) E$$
$$= K\epsilon_o E$$
$$= \epsilon E \qquad (6-37)$$

Bila tidak ada dielektrik, P = 0, maka persamaan (6-37) menjadi :

$$D = \epsilon_o E \qquad (6-38)$$



Gambar 6.8.(a) Muatan induksi (b).Di pol listrik muatan induksi.

bul muatan induksi q_i dengan rapat muatan induksi σ i seperti pada gambar 6.8 (a). Muatan induksi ini membentuk dipol listrik seperti pada gambar 6.8 (b). Momen dipol total listrik adalah :

$$P_{total} = q_i\, d$$
$$= \sigma_i\, Ad = \sigma i\, V \qquad (6-31)$$

V adalah volume dielektrik.

Momen dipol total persatuan volume disebut polarisasi listrik P,

$$P = \frac{P_{total}}{V} = \sigma_i \qquad (6-32)$$

Karena $\sigma i = x_e E$, maka persamaan (6-32) dapat ditulis :

$$P = x_e E \qquad (6-33)$$

E adalah kuat medan total dalam dielektrik.

6.9.4. Perpindahan listrik.

Kuat medan total dalam dielektrika adalah :

$$E = E_o - E_i = \frac{\sigma - \sigma_i}{\epsilon_o} = \frac{\sigma - P}{\epsilon_o} \qquad (6-34)$$

Persamaan (6-34) dapat ditulis :

$$\sigma = \epsilon_o E + P \qquad (6-35)$$

Besaran $\epsilon_o E + P$ disebut perpindahan listrik D

$$D = \epsilon_o E + P \qquad (6-36)$$

Karena $P = x_e E$ maka persamaan (6-36) menjadi :

$$D = \epsilon_o E + x_e E$$
$$= \epsilon_o \left(1 + \frac{xe}{\epsilon_o} \right) E$$
$$= k\epsilon_o E$$
$$= \epsilon E \qquad (6-37)$$

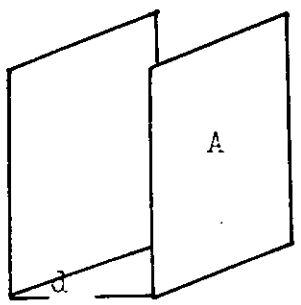
Bila tidak ada dielektrik, P = 0, maka persamaan (6-37) menjadi :

$$D = \epsilon_o E \qquad (6-38)$$

Harga D hanya bergantung pada rapat muatan pada pelat, sedangkan E dan P bergantung pada jenis dielektrik.

6.6. Energi dalam Medan Listrik.

Suatu kapasitor pelat sejajar dengan luas pelat A dan jarak kedua pelat d, yang bermuatan Q membentuk medan listrik diantara kedua pelat seperti pada gambar 6.9. Untuk mengisi kapasitor ini sampai penuh atau Q diperlukan usaha. Usaha ini disimpan dalam kapasitor dalam bentuk energi potensial. Energi yang tersimpan dalam kapasitor sama dengan usaha yang diperlukan untuk membentuk medan listrik didalamnya, karena medan listrik merupakan medan konsenvatif.



Gambar 6.9. Energi dalam medan listrik.

Energi yang tersimpan dalam kapasitor adalah :

$$U = \tfrac{1}{2} CV^2 \qquad (6-39)$$

Untuk kapasitor dielektrik :

$$C = \epsilon \frac{A}{d} \qquad (6-40)$$

Persamaan (6 -39) dapat ditulis :

$$U = \tfrac{1}{2} \epsilon \frac{A}{d} V^2 = \tfrac{1}{2} \epsilon (Ad) \left(\frac{V}{d}\right)^2$$

$$= \tfrac{1}{2} \epsilon E^2 V \qquad (6-41)$$

V = Ad adalah volume kapasitor.

Energi persatuan volume dalam kapasitor adalah :

$$u = \frac{U}{V} = \tfrac{1}{2} \epsilon E^2 \qquad (6-42)$$

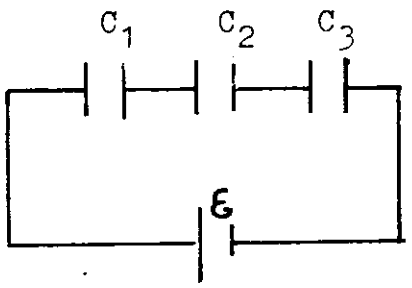
Persamaan (6-42) menyatakan energi persatuan volume yang tersimpan dalam medan listrik. Jika tidak ada dielektrik, maka persamaan (6-42) menjadi :

$$V = \tfrac{1}{2} \epsilon_0 E^2 \qquad (6-43)$$

Contoh 6.1

Tiga kapasitor dengan masing-masing kapasitansi 2 uF, 3 uF dan 4 uF dihubungkan seri dengan beda potensial 1300 volt. Hitunglah potensial pada masing-masing kapasitor !

Jawab :



Kapasitansi gabungan pada hubungan seri :

$$\frac{1}{C_1} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

$$= \frac{1}{2.10^{-6}} + \frac{1}{3.10^{-6}} + \frac{1}{4x10^{-6}}$$

$$= \frac{6}{12.10^{-6}} + \frac{4}{12.10^{-6}} + \frac{3}{12x10^{-6}}$$

$$= \frac{13}{12.10^{-6}}$$

$$C = \frac{12 \times 10^{-6}}{13}$$

Muatan total kapasitor. $Q = CV = \frac{12 \times 10^{-6}}{13} \times 1300$

$$= 12 \times 10^{-4}\ C$$

Muatan pada masing-masing kapasitor $Q = 12 \times 10^{-4} C$. Potensial pada masing-masing kapasitor :

$$V_1 = \frac{Q}{C_1} = \frac{12 \times 10^{-4} C}{2 \times 10^{-6} F} = 600 \text{ volt.}$$

$$V_2 = \frac{Q}{C_2} = \frac{12 \times 10^{-4} C}{3 \times 10^{-6} F} = 400 \text{ volt}$$

$$V_3 = \frac{Q}{C_3} = \frac{12 \times 10^{-4} C}{4 \times 10^{-6} F} = 300 \text{ volt.}$$

Contoh 6.2.

Suatu kapasitor pelat sejajar dengan luas pelat $25x10^{-4} m^2$ dan jarak pelat 0,2 cm, berisi dielektrik dengan tetapan di-elektrik 4. Kapasitor dihubungkan dengan beda potensial 300 volt. Hitunglah :

(1) Kapasitansi kapasitor.

(2) Muatan kapasitor.

Jawab :

(1) Kapasitansi kapasitor :

$$C = K_e \epsilon_o \frac{A}{d}$$

$$= 4 \times 8.85 \times 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2} \quad \frac{25 \times 10^{-4} m^2}{(0,2 / 10^{-2} m^2}$$

$$= 4,425 \times 10^{-4} F$$

(2) Muatan kapasitor :

$$Q = CV = 4,425 \times 10^{-4} F_x \text{ 300 volt}$$

$$= 1,3275 \times 10^{-8} C$$

---oOo---

SOAL-SOAL LATIHAN

1. Dua bola kecil yang massanya 300 mg masing-masingnya, dan mempunyai muatan yang sama digantungkan dari titik yang sama dengan sehelai benang yang panjangnya 100 cm. Bila jarak kedua bola adalah 15 cm karena gaya elektristatis, hitunglah muatan masing-masing bola.

2. Dua muatan terpisah sejauh 36 cm. Muatan pertama besarnya ± 125uC dan muatan kedua ± 500 uC. Tentukanlah letak suatu titik pada garis hubung kedua muatan, dimana resultan gaya yang bekerja pada suatu muatan positif adalah nol (0).

3. Sebuah muatan −0,050 uC ditempatkan di dalam medan listrik dengan kuat medan 9 x 10 newton/coulomb, yang arahnya horizontal ke kanan. Tentukan besar dan arah gaya yang bekerja pada muatan.

4. Titik-titik A, B dan C adalah titik-titik sudut dari segitiga sama sisi dengan panjang sisi 10 cm. Pada titik A ditempatkan muatan 0,1 uC. Hitunglah kuat medan pada titik yang terletak pada pertengahan BC.

5. Muatan A sebesar 400 uC terletak 12 m dari muatan B sebesar − 100 uC. Berapakah kuat medan pada titik C yang jaraknya 5 m dari B dan 13 m dari A.

6. Dua muatan masing-masing besarnya 125 stat coulomb dan 150 stat coulomb diubah jaraknya dari 75 cm menjadi 25 cm. Hitunglah usaha yang dilakukan.

7. Hitunglah energi potensial dari suatu sistem yang terdiri dari 4 buah muatan yang sama sebesar 0,0125 uC yang ditempatkan pada titik-titik sudut suatu bujur sangkar.

8. Suatu kapasitor pelat sejajar diisi dielektrik yang mempunyai tetapan dielektrik 5 dan kekuatan dielektrik 2 x10^5 volt/cm. Kapasitor ini harus mempunyai kapasitansi 0,15u F dan tahan tegangan maksimum 6000 volt. Berapakah luasnya

minimum luasnya pelat-pelat kapasitor ?

9. Jika kapasitor diisi dengan suatu dielektrik kuat medan listrik adalah $1,2 \times 10^5$ volt/m, tetapi bila tidak ada dielektrik, kuat medan listrik pada kapasitor adalah 2×10^5 volt/m Berapakah rapat muatan induksi pada permukaan dielektrik.

10. Tiga buah kapasitor dengan kapasitansi masing-masing adalah 2 uF , 3 uF dan 6 u F dimuati dengan sumber tegangan 60 volt. Hitunglah energi kapasitor jika kapasitor itu dihubungkan :

(a) paralel

(b) seri

—

JAWABAN SOAL-SOAL LATIHAN

1. 0,0235 mikro coulomb
2. 12 cm dari muatan pertama
3. $4,5 \times 10^{-3}$ newton kearah kiri
4. $1,2 \times 10^{5}$ newton / coulomb
5. $3,42 \times 10^{4}$ newton / coulomb
6. 5×10^{-5} joule
7. $7,64 \times 10^{-6}$ joule
8. $1,7\ m^2$
9. $7,08 \times 10^{-7}\ C / m^2$
10. (a) 0,020 joule
    (b) 0,0018 joule

K E P U S T A K A A N

Corson, Dale R, dan Lorrain, Paul, Introduction to Elektromagnetic Fields And Waves, W.H Freeman And Company, San Francisco and London, 1962.

Sears, F.W dan Zemarsky, M.W, Fisika untuk Universitas II Listrik Magnet, saduran bebas oleh Dr.Soemitro , Penerbit Binatjipta, Bandung, 1971.

Sutrisno dan Tan Ik Gie, Fisika Dasar : Listrik Magnet dan Termofisika, Penerbit ITB, Bandung, 1979.