

MATA KULIAH : FISIKA DASAR II
KODE MK : EL-122
Dosen : Dr. Budi Mulyanti, MSi

Pertemuan ke-3

CAKUPAN MATERI

1. HUKUM GAUSS
2. ENERGI DAN POTENSIAL LISTRIK

SUMBER-SUMBER:

1. Frederick Bueche & David L. Wallach, Technical Physics, 1994, New York, John Wiley & Sons, Inc
2. Tipler, Fisika Untuk sains dan Teknik (terjemah oleh Bambang Soegijono), Jakarta, Penerbit Erlangga, 1991
3. Gancoli Douglas C, Fisika 2 (terjemah), 2001, Penerbit Erlangga, Edisi 5.
4. Sears & Zemansky, Fisika Untuk Universitas 3 (Optika & Fisika Modern), 1991, Jakarta-New York, Yayasan Dana Buku Indonesia
5. Frederick J. Bueche, Seri Buku Schaum Fisika, 1989, Jakarta, Penerbit Erlangga
6. Halliday & Resnick, Fisika 2, 1990, Jakarta, Penerbit Erlangga
7. Sutrisno, Seri Fisika Dasar (Fisika Modern), 1989, Bandung, Penerbit ITB

1.6 HUKUM GAUSS

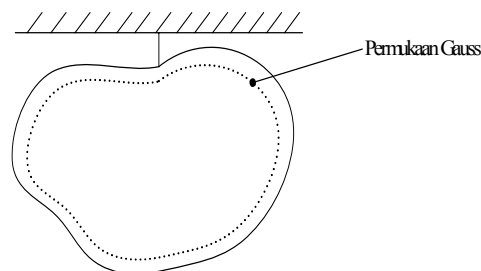
- ❖ Hukum Gauss dapat menghubungkan antara flux medan listrik dengan muatan netto q .

$$\text{Yaitu } \varepsilon_0 \Phi_E = q$$

$$\text{Atau: } \varepsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = q$$

- ❖ Flux listrik total yang menembus suatu permukaan tertutup sebanding dengan muatan total yang dilingkupi oleh permukaan tertutup tersebut.
- ❖ Hukum Gauss dapat digunakan untuk menghitung intensitas medan listrik jika distribusi muatannya simetris. Sebaliknya jika \vec{E} diketahui untuk setiap titik pada permukaan tertutup, maka dapat dihitung muatan yang ada didalam permukaan tersebut.

Contoh penerapan Hukum Gauss pada penghantar/konduktor terisolasi



Gambar : Penghantar terisolasi

Menurut hukum Gauss sebuah muatan berlebih (*excess charge*) yang ditempatkan pada sebuah penghantar terisolasi akan selalu berada pada permukaan sebelah luar.

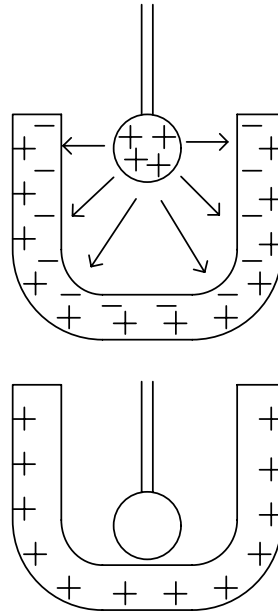
Alasannya: Bila muatan berlebih ditempatkan di sembarang tempat dalam penghantar, maka muatan tersebut akan menimbulkan medan listrik didalam penghantar. Medan ini menyebabkan elektron bergerak sehingga menyebabkan adanya arus intrnal. Arus ini menyebabkan medan listrik internal berkurang menjadi nol, dan arus pun akan berhenti. Keadaan tersebut disebut kesetimbangan elektrostatik.

Pada kesetimbangan elektrostatik ini \vec{E} nol di mana-mana, termasuk di titik-titik permukaan Gauss karena permukaan Gauss ini terletak di dalam perighantar, artinya fluk listrik untuk permuaan Gauss harus nol. Jadi menurut hukum Gauss pada kesetimbangan elektrostatik, tidak ada muatan netto di dalam permukaan atau muatan

berlebih q pasti berada di luar permukaan Gauss, yaitu pada permukaan penghantar sebelah luar.

Bukti Experimental Hukum Gauss

Proses berpindahnya muatan dari suatu konduktor ke konduktor lain dengan cara dalam. Diselidiki oleh Faraday, ini disebut Eksperimen ember es Faraday karena sebagai penghantar di gunakan ember logam tempat menyimpan es.



Gambar : Bukti ekperimental hukum Gauss

Suatu bola bermuatan (+) dengan tangkai dari bahan isolator dimasukkan ke dalam ember tapi tidak menyentuhnya. Semula ember tidak bermuatan karena banyaknya muatan negatif sama dengan muatan positif. Karena pengaruh gaya tarik dan gaya tolak maka muatan (-) ke sisi dalam dan muatan (+) ke sisi luar. Jika kemudian bola disentuh, maka semua muatan di dalam bola berpindah menjadikan bagian luar ember bermuatan positif.

1.7 ENERGI DAN POTENSIAL

Energi Untuk Menggerakkan Muatan Titik

Misalkan muatan $+Q$ akan dipindahkan sejauh $d\vec{L}$ dalam medan listrik \vec{E} .

Gaya pada Q oleh medan \vec{E} adalah :

$$\vec{F}_E = Q\vec{E}$$

Gaya luar yang harus dilakukan untuk melawan gaya oleh medan \vec{E} .

$$\vec{F}_E = -Q\vec{E} \text{ (sama besar dan berlawanan arah)}$$

Maka kerja untuk menggerakkan Q sejauh $d\vec{L}$:

$$dW = -Q\vec{E} \cdot d\vec{L} \rightarrow \text{kerja luar yang harus dilakukan}$$

Atau kerja yang dilakukan untuk memindahkan muatan + Q ke tempat yang jaraknya berhingga adalah:

$$\begin{aligned} W &= \int_{awal}^{akhir} dW = -Q \int_{awal}^{akhir} \vec{E} \cdot d\vec{L} \\ &= -Q\vec{E} \cdot \Delta\vec{L} \end{aligned}$$

Beda potensial V adalah kerja untuk memindahkan satu satuan muatan positif, sehingga:

$$V = - \int_{awal}^{akhir} \vec{E} \cdot d\vec{L}$$

Sehingga untuk memindahkan satu satuan muatan positif dari titik B ke A;

$$V_{AB} = - \int_{B}^A \vec{E} \cdot d\vec{L}$$

$$V_{AB} = V_A - V_B \text{ adalah beda potensial antara titik A dan B}$$

Dimana V_A = potensial di titik A

V_B = potensial di titik B

Jika $V_{AB} > 0$ artinya energi diperlukan oleh gaya luar untuk membawa muatan positif dari B ke A. Hal ini disebabkan karena muatan yang sejenis selalu tolak menolak.

Kita dapat menentukan potensial di suatu titik, asalkan ada titik referensi di mana potensialnya dipilih sama dengan nol yaitu titik ∞ .

□ Beda potensial V_{AB} adalah kerja untuk memindahkan satu satuan muatan positif dari B ke A

□ Definisi: $V_{AB} = - \int_B^A \vec{E} \cdot d\vec{l}$ tanda negatif ini karena kerja tersebut dilakukan oleh gaya

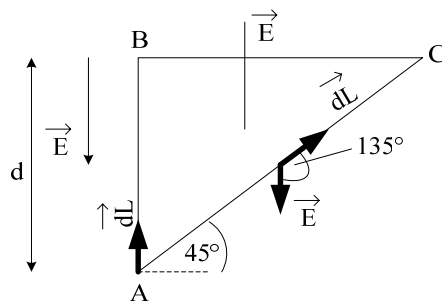
luar yang arahnya berlawanan dengan gaya elektrostatis yang selalu searah dengan \vec{E}

□ Beda potensial $V_{AB} = V_A - V_B$

□ Jika beda potensial $V_{AB} > 0$, artinya diperlukan energi oleh gaya luar untuk membawa muatan positif dari B ke A.

- Kita dapat menentukan potensial di suatu titik, asalkan ada titik referensi dimana potensialnya dipilih = 0 yaitu di titik ~
- Permukaan equipotensial adalah permukaan yang merupakan tempat kedudukan titik-titik yang memiliki potensial yang sama.
- Permukaan equipotensial diperoleh jika r konstan. Dengan kata lain permukaan tersebut berupa lingkaran-lingkaran konsentris.
- Untuk memindahkan muatan pada permukaan ini tentu saja tidak diperlukan usaha.

Contoh:



Gambar. Sebuah muatan uji Q_0 digerakkan sepanjang lintasan ACB atau AB.

Untuk menghitung beda potensial diantara A dan B, dapat digunakan 2 lintasan:

- a. Dengan menggunakan lintasan AB (dari A ke B)

$$V_{BA} = -\int_{A|}^{B|} \vec{E} \cdot d\vec{L} = \int_{B|}^{A|} \vec{E} \cdot d\vec{L} = \int_{B|}^{A|} EdL \cos \pi = -E \int_{B|}^{A|} dL = (-E)(-d) = Ed$$

- b. Dengan menggunakan lintasan ACB:

- dari A ke C,

$$V_{CA} = -\int_{A|}^{C|} \vec{E} \cdot d\vec{L} = \int_{C|}^{A|} \vec{E} \cdot d\vec{L} = \int_{C|}^{A|} EdL \cos 135^\circ = \left(-\frac{1}{2}\sqrt{2}\right) E \int_{B|}^{A|} dL$$

$$= \left(-\frac{1}{2}\sqrt{2}\right) E(-d\sqrt{2}) = Ed$$

- dari C ke B

$$V_{BC} = -\int_{C|}^{B|} \vec{E} \cdot d\vec{L} = \int_{B|}^{C|} \vec{E} \cdot d\vec{L} = \int_{C|}^{A|} EdL \cos 90^\circ = 0$$

$$\text{Sehingga } V_{BA} = V_{CA} + V_{BC} = Ed$$

Kesimpulannya: untuk menghitung beda potensial, tidak bergantung lintasan yang digunakan.

Potensial Oleh Sebuah Muatan Titik

Intensitas listrik oleh muatan titik diketahui $E = k \frac{Q}{r^2}$.

Untuk menentukan beda potensial harus diambil suatu titik referensi dimana $V_B=0$ yaitu $r_B \sim$, dimana $r_B \equiv$ jarak titik B terhadap muatan titik.

Jika pada jarak r_A dari muatan titik, potensialnya adalah V_A , maka beda potensial antara titik A dan B:

$$V_{AB} = V_A - V_B = -\int_B^A k \frac{Q}{r^2} dr = kQ \int_A^B \frac{1}{r^2} dr = kQ \left[-\frac{1}{r} \right] = kQ \left[\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right]$$

karena pada $r_B = \sim$, $V_B = 0$,

sehingga $V_A = k \frac{Q}{r_A}$

atau secara umum: $V = k \frac{Q}{r}$

Dari rumus tersebut maka dapat disimpulkan jika muatan sumber positif, maka V berharga + dan jika muatan sumber negatif maka V berharga negatif pula.

Kesimpulan :

- Potensial yang ditimbulkan oleh sebuah muatan titik adalah usaha yang diperlukan untuk membawa satu satuan muatan positif dari \sim ke titik yang dicari potensialnya. Usaha tersebut tidak bergantung lintasan yang diambil antara kedua titik tersebut.
- Medan potensial yang ditimbulkan oleh sejumlah muatan titik merupakan jumlah dari medan potensial masing-masing muatan tersebut.

MENGHITUNG E DARI V

- Jika \vec{E} diketahui pada tiap-tiap titik di dalam ruang, maka dapat dilukiskan garis-garis gaya Permukaan equipotensial, yaitu permukaan yang tegak lurus terhadap garis-garis gaya tersebut dapat diperoleh. Permukaan equipotensial ini dapat menjelaskan sifat potensial V.
- Sebaliknya jika V diketahui sebagai fungsi dari posisi, maka dapat digambarkan permukaan equipotensial, sehingga garis-garis gaya pun dapat digambarkan yaitu

garis-garis yang tegak lurus permukaan potensial tersebut. Garis-garis gaya ini dapat menjelaskan sifat \vec{E}

- Dari hubungan:

$$V = -\int \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

$$\text{Maka: } \frac{dV}{dl} = -E \cos \theta$$

$$\text{Harga } \frac{dV}{dl} \text{ maksimum yaitu } \frac{dV}{dl} = E \text{ jika } \theta = \pi$$

$$\text{Atau: } \vec{E} = -\frac{dV}{dl} \hat{q}_N$$

dimana \hat{q}_N = vektor satuan normal terhadap permukaan equipotensial, yang arahnya menuju ke potensial yang lebih besar

Secara skalar

$$E = -\frac{dV}{dl}$$

Elektron-Volt

- 1 elektron-volt didefinisikan sebagai perubahan energi potensial yang disebabkan oleh elektron yang bergerak dari suatu titik B ke titik A dengan beda potensial $V_{AB} = 1$ volt.
- $\Delta E_p = qV_{AB}$ karena muatan 1 elektron = $1,6 \times 10^{-19} \text{C}$, maka : $\Delta E_p = 1,6 \times 10^{-19} \text{ CV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ joule} = 1 \text{ eV}$
- Jadi elektron-volt adalah satuan energi.

SOAL-SOAL:

1. Pada suatu jarak tertentu, potensial sebuah muatan titik adalah 600 V dan medan listriknya sebesar 200 NC^{-1} .
 - a) Berapa jarak ke muatan titik tersebut?
 - b) Berapa besar muatan tersebut?
2. Sebuah muatan yang besarnya $2,5 \times 10^{-8} \text{ C}$ ditempatkan dalam suatu medan listrik homogen yang arahnya ke atas dengan intensitas sebesar $5 \times 10^4 \text{ NC}^{-1}$. Jika muatan tersebut terletak pada titik A (3,4), maka:
 - a) Hitung usaha yang diperlukan untuk memindahkan muatan ke titik B (3,8)
 - b) Berapa beda potensial antara titik A dan titik B tersebut?

3. Sebuah partikel dengan muatan $13 \times 10^{-9} \text{C}$ berada dalam medan listrik homogen yang mengarah ke kiri. Jika usaha gaya listrik untuk memindahkan muatan sejauh 5 cm ke kanan diketahui $6 \times 10^{-6} \text{J}$, maka berapakah intensitas medan listrik tersebut?

4. Berapa besar kerja yang diperlukan untuk memindahkan muatan $-8,6 \mu\text{C}$ dari ground ke titik yang potensialnya $+75 \text{V}$?

$$\text{Jawab: } W = \Delta E_p = q(V_f - V_0) = -8,7 \times 10^{-6} \times 75 = -6,5 \times 10^{-4} \text{ J} \rightarrow$$

Usaha yang diperlukan negatif, artinya usaha tersebut dilakukan oleh medan listrik.

5. Berapa besar energi kinetik yang diperoleh sebuah elektron (dalam J dan eV) ketika jatuh melalui beda potensial 21000V pada tabung gambar TV?

$$\text{Jawab: } \Delta E_K = -\Delta E_p = -q(V_f - V_0) = -(-1,6 \times 10^{-19}) (2,1 \times 10^4) = 3,4 \times 10^{-15} \text{ J} = 21 \text{ eV}$$

6. Seberapa kuat medan listrik antara dua pelat sejajar yang jaraknya 5,2 mm jika beda potensial di antaranya adalah 220V ?

$$\text{Jawab: } E = \frac{V}{r} = \frac{220}{5,2 \times 10^{-3}} = 42,3 \text{ kV/m}$$

7. Berapa beda potensial yang diperlukan untuk memberikan EK sebesar $65,0 \text{ keV}$ inti Helium ($Q=2e$)?

Jawab:

Beda potensial diperlukan \rightarrow artinya ΔE_p berharga positif, sehingga ΔE_K berharga negatif $\rightarrow E_K = 65 \text{ keV} = 65 \times 10^3 \text{ eV} = 65 \times 10^3 \times 1,6 \times 10^{-19} = 1,04 \times 10^{-14} \text{ J}$

$$\Delta E_K = -E_K = -1,04 \times 10^{-14} \text{ J}$$

$$\Delta E_K = -E_p = -q(V_f - V_0)$$

$$-1,04 \times 10^{-14} = -(-2 \times 1,6 \times 10^{-19}) \Delta V$$

$$\rightarrow \Delta V = -\frac{1,04 \times 10^{-14}}{3,2 \times 10^{-19}} = -32,5 \text{ kV}$$

8. Berapa potensial listrik pada jarak 15,0 cm dari muatan $4,0 \mu\text{C}$?

$$\text{Jawab: } \rightarrow V = 2,4 \times 10^5 \text{ V}$$

9. Sebuah muatan $+30,0 \mu\text{C}$ diletakkan 32 cm dari muatan $+30,0 \mu\text{C}$ yang sama. Berapa besar kerja yang diperlukan untuk memindahkan muatan uji $+0,50 \mu\text{C}$ dari titik yang berada di tengah-tengah antara kedua muatan tersebut sampai titik yang lebih dekat 10 cm ke arah salah satu muatan?

Jawab:

Potensial di titik asal

(di tengah-tengah antara muatan $+30,0 \mu\text{C}$ dan muatan $+30,0 \mu\text{C}$)

$$\rightarrow V_0 = \frac{2kq}{r} = \frac{2(9 \times 10^9)(3,0 \times 10^{-5})}{16 \times 10^{-2}} = 3,37 \times 10^6 \text{ V}$$

Potensial di titik akhir, berjarak 10 cm dari tengah-tengah, sehingga 6 cm dari satu muatan dan 26 cm dari muatan lainnya

$$\rightarrow V_0 = \frac{(9 \times 10^9)(3,0 \times 10^{-5})}{10^{-2}} \left[\frac{1}{6} - \frac{1}{26} \right] = 5,53 \times 10^6 \text{ V}$$

$$\text{Sehingga } W = \Delta E_p = q(V_f - V_0) = 0,5 \times 10^{-6} \times (5,53 - 3,37) \times 10^6 = 1,08 \text{ J}$$

10. Berapa besar tegangan yang harus digunakan untuk mempercepat sebuah proton (radius $\rightarrow r = 1,2 \times 10^{-15} \text{ m}$) sampai memiliki cukup energy untuk menembus inti silikon? Inti silikon memiliki muatan $+14e$ dan radiusnya $\rightarrow r = 3,6 \times 10^{-15} \text{ m}$. Anggap potensial untuk muatan-muatan titik.

11. Berapa besar kerja yang diperlukan untuk memindahkan muatan $-8,6 \mu\text{C}$ dari ground ke titik yang potensialnya $+75 \text{ V}$?

$$\text{Jawab: } W = \Delta E_p = q(V_f - V_0) = -8,7 \times 10^{-6} \times 75 = -6,5 \times 10^{-4} \text{ J} \rightarrow$$

Usaha yang diperlukan negatif, artinya usaha tersebut dilakukan oleh medan listrik.

12. Berapa besar energi kinetik yang diperoleh sebuah elektron (dalam J dan eV) ketika jatuh melalui beda potensial 21000V pada tabung gambar TV?

$$\text{Jawab: } \Delta E_K = -\Delta E_p = -q(V_f - V_0) = -(-1,6 \times 10^{-19})(2,1 \times 10^4) = 3,4 \times 10^{-15} \text{ J} = 21 \text{ eV}$$

13. Seberapa kuat medan listrik antara dua pelat sejajar yang jaraknya 5,2 mm jika beda potensial di antaranya adalah 220V?

$$\text{Jawab: } E = \frac{V}{r} = \frac{220}{5,2 \times 10^{-3}} = 42,3 \text{ kV/m}$$

14. Berapa beda potensial yang diperlukan untuk memberikan EK sebesar 65,0 keV inti Helium ($Q=2e$)?

Jawab:

Beda potensial diperlukan \rightarrow artinya ΔE_p berharga positif, sehingga ΔE_K berharga negatif $\rightarrow E_K = 65 \text{ keV} = 65 \times 10^3 \text{ eV} = 65 \times 10^3 \times 1,6 \times 10^{-19} = 1,04 \times 10^{-14} \text{ J}$

$$\Delta E_K = -E_K = -1,04 \times 10^{-14} \text{ J}$$

$$\Delta E_K = -E_p = -q(V_f - V_0)$$

$$-1,04 \times 10^{-14} = -(2 \times 1,6 \times 10^{-19}) \Delta V$$

$$\rightarrow \Delta V = -\frac{1,04 \times 10^{-14}}{3,2 \times 10^{-19}} = -32,5 kV$$

15. Berapa potensial listrik pada jarak 15,0 cm dari muatan 4,0 μC ?

Jawab: $\rightarrow V = 2,4 \times 10^5 V$

16. Sebuah muatan +30,0 μC diletakkan 32 cm dari muatan +30,0 μC yang sama. Berapa besar kerja yang diperlukan untuk memindahkan muatan uji +0,50 μC dari titik yang berada di tengah-tengah antara kedua muatan tersebut sampai titik yang lebih dekat 10 cm ke arah salah satu muatan?

Jawab:

Potensial di titik asal

(di tengah-tengah antara muatan +30,0 μC dan muatan +30,0 μC)

$$\rightarrow V_0 = \frac{2kq}{r} = \frac{2(9 \times 10^9)(3,0 \times 10^{-5})}{16 \times 10^{-2}} = 3,37 \times 10^6 V$$

Potensial di titik akhir, berjarak 10 cm dari tengah-tengah, sehingga 6 cm dari satu muatan dan 26 cm dari muatan lainnya

$$\rightarrow V_0 = \frac{(9 \times 10^9)(3,0 \times 10^{-5})}{10^{-2}} \left[\frac{1}{6} - \frac{1}{26} \right] = 5,53 \times 10^6 V$$

$$\text{Sehingga } W = \Delta E_p = q(V_f - V_0) = 0,5 \times 10^{-6} \times (5,53 - 3,37) \times 10^6 = 1,08 J$$

17. Berapa besar tegangan yang harus digunakan untuk mempercepat sebuah proton (radius $\rightarrow r = 1,2 \times 10^{-15} m$) sampai memiliki cukup energi untuk menembus inti silikon? Inti silikon memiliki muatan +14e dan radiusnya $\rightarrow r = 3,6 \times 10^{-15} m$. Anggap potensial untuk muatan-muatan titik.