



**UNIVERSITAS BUANA PERJUANGAN
KARAWANG**

Teknik Industri

**FISIKA DASAR 2
PERTEMUAN 2
MATERI :
POTENSIAL LISTRIK**

SILABI FISIKA DASAR 2

- Muatan dan Medan Listrik
- **Potensial Listrik**
- Kapasitor dan Dielektrik
- Arus dan Resistansi
- Medan Magnet
- Induksi dan Induktansi
- Magnetisme bahan
- Optika Geometri
- Optika Fisis

POTENSIAL LISTRIK

- Energi Potensial

➤ Dari teorema kerja-energi didapatkan bahwa perubahan energi potensial sama dengan kerja yang harus dilakukan melawan medan gaya untuk memindahkan benda dari A ke B. Secara matematis dapat ditulis

$$\Delta U = -W_{AB} = -\int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{r}$$

Satuan Potensial Listrik

- Karena potensial listrik adalah energi potensial elektrostatik per satuan muatan, maka satuan SI untuk beda potensial adalah joule per coulomb atau volt (V).

$$1 \text{ V} = 1 \text{ J/C}$$

- Karena diukur dalam volt maka beda potensial terkadang disebut voltase atau tegangan.
- Jika diperhatikan dari persamaan beda potensial yang merupakan integral dari medan listrik E terhadap perubahan jarak $d\ell$, maka dimensi E dapat juga disebut:

$$1 \text{ N/C} = 1 \text{ V/m}$$

- Oleh karenanya maka Beda Potensial (V) = Medan Listrik (E) x Jarak (L) \rightarrow Satuan $V = (\text{V/m}) \cdot (\text{m})$

- Secara umum energi potensial medan listrik oleh muatan sumber q yang dimiliki oleh muatan uji q_0 pada jarak r dari q adalah

$$U = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_0}{r}$$

- **Potensial listrik** didefinisikan sebagai energi potensial per satuan muatan.

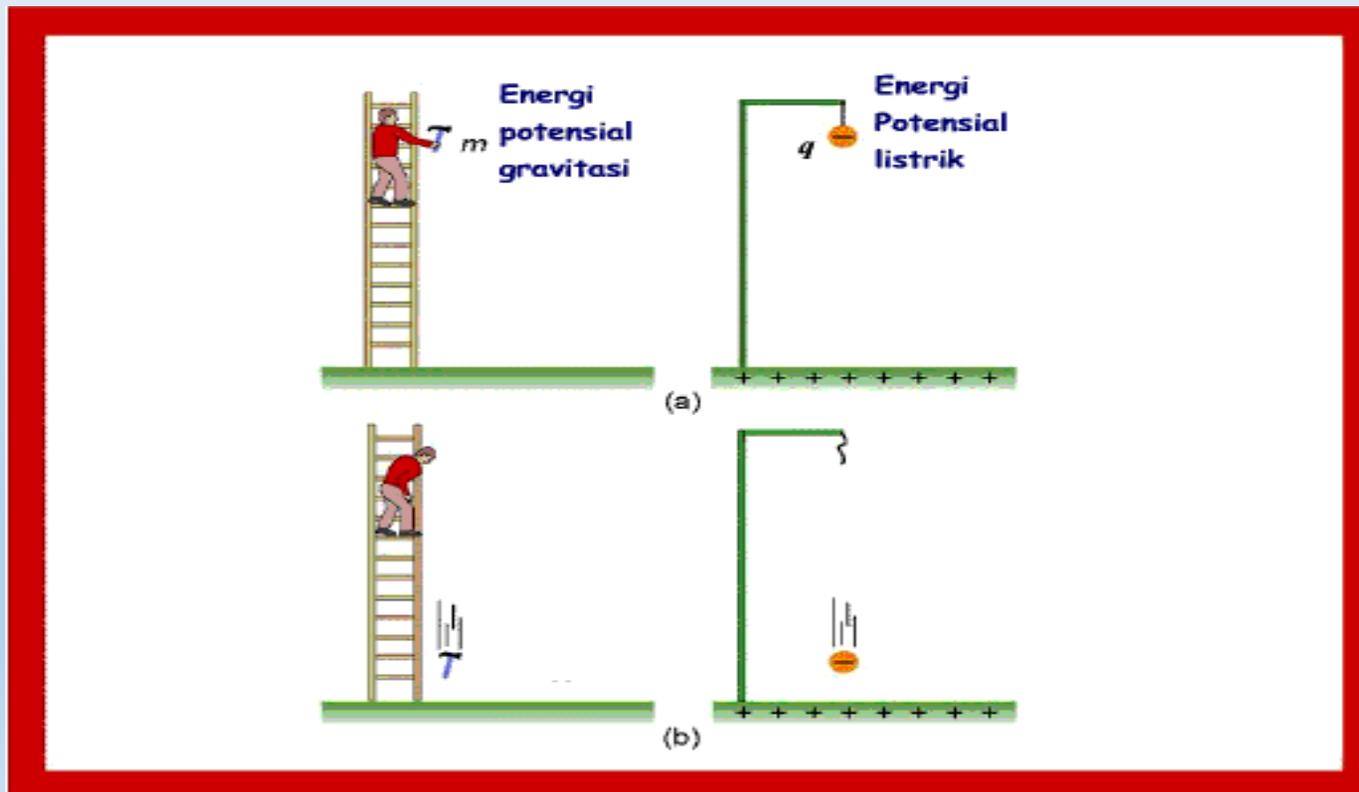
Beda Potensial Listrik

- Beda Potensial $V_b - V_a$ adalah negatif dari kerja per satuan muatan yang dilakukan oleh medan listrik pada muatan uji positif jika muatan pindah dari titik a ke titik b .

$$dV = \frac{dU}{q_0} = -E \cdot dl$$

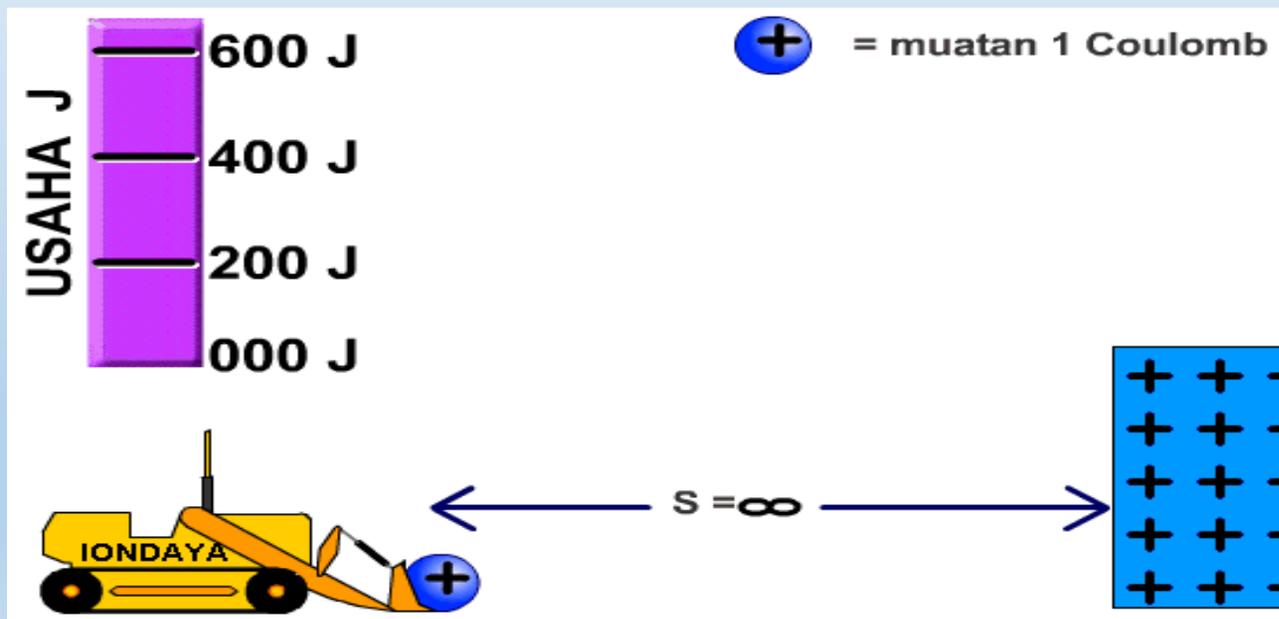
$$\Delta V = V_b - V_a = \frac{dU}{q_0} = -\int_a^b E \cdot dl$$

Sama seperti setiap massa yang berada di medan gravitasi mempunyai energi potensial gravitasi, maka setiap benda bermuatan listrik yang berada di dalam medan listrik juga memiliki energi potensial listrik.

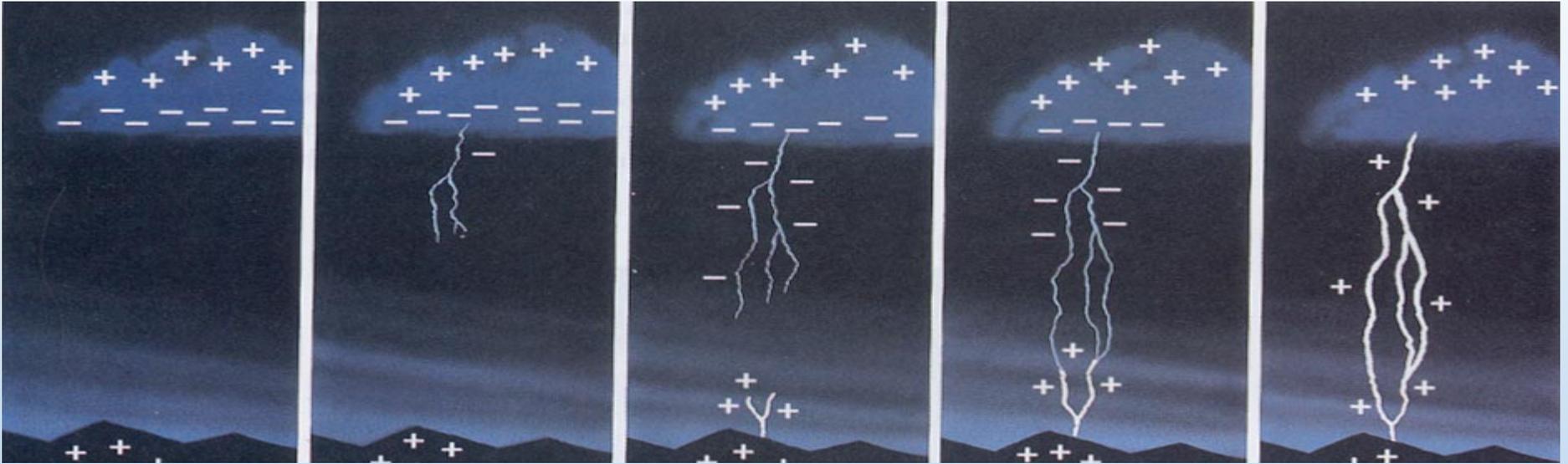


Potensial listrik sebuah muatan adalah besarnya energi potensial listrik dibagi dengan besarnya muatan benda tersebut.

$$V = \frac{W}{q} \text{ satuan } \textit{volt}$$







Gerakan awan di udara menyebabkan awan bermuatan listrik. Awan yang berdekatan dengan bumi (bola muatan raksasa) akan menimbulkan induksi listrik. Akibatnya akan terjadi loncatan muatan listrik yang sangat besar yang menimbulkan bunga api. Loncatan bunga api inilah yang disebut dengan petir. Petir yang sampai ke bumi disebut kilat.

Medan Listrik oleh Distribusi Muatan Kontinu

Jika distribusi muatan tersebut adalah **kontinu**, maka medan yang ditimbulkannya di setiap titik **P** dapat dihitung dengan membagi elemen2 yang sangat kecil dq . **Medan** $d\vec{E}(\vec{r})$ yang ditimbulkan oleh setiap elemen akan dihitung, dengan memperlakukan elemen2 tsb sebagai muatan titik. $d\vec{E}(\vec{r})$ diberikan oleh

$$d\vec{E}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2} \hat{r}$$

Dimana **r** adalah jarak dari elemen muatan dq ke titik **P**. **medan resultan** kemudian dicari dari prinsip superposisi dengan menjumlahkan kontribusi2 medan yang ditimbulkan oleh semua elemen

$$\vec{E}(\vec{r}) = \int d\vec{E}(\vec{r})$$

Bila ada **N** buah muatan titik sebagai sumber, dengan muatan sumber **qi** ada pada vektor \vec{r}_i' , **medan resultan** pada vektor posisi \vec{r} adalah

$$\vec{E}(\vec{r}) = \sum_{i=1}^N \vec{E}_i(\vec{r}) = \sum_{i=1}^N \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_i(\vec{r} - \vec{r}_i')}{|\vec{r} - \vec{r}_i'|^3}$$

Perhatikan, jumlahan pada persamaan di atas adalah *jumlahan vektor*.

Medan Listrik oleh Distribusi Muatan Kontinu

Jika distribusi muatan tersebut adalah **kontinu**, maka medan yang ditimbulkannya di setiap titik **P** dapat dihitung dengan membagi elemen2 yang sangat kecil dq . Medan $d\vec{E}(\vec{r})$ yang ditimbulkan oleh setiap elemen akan dihitung, dengan memperlakukan elemen2 tsb sebagai muatan titik. diberikan oleh

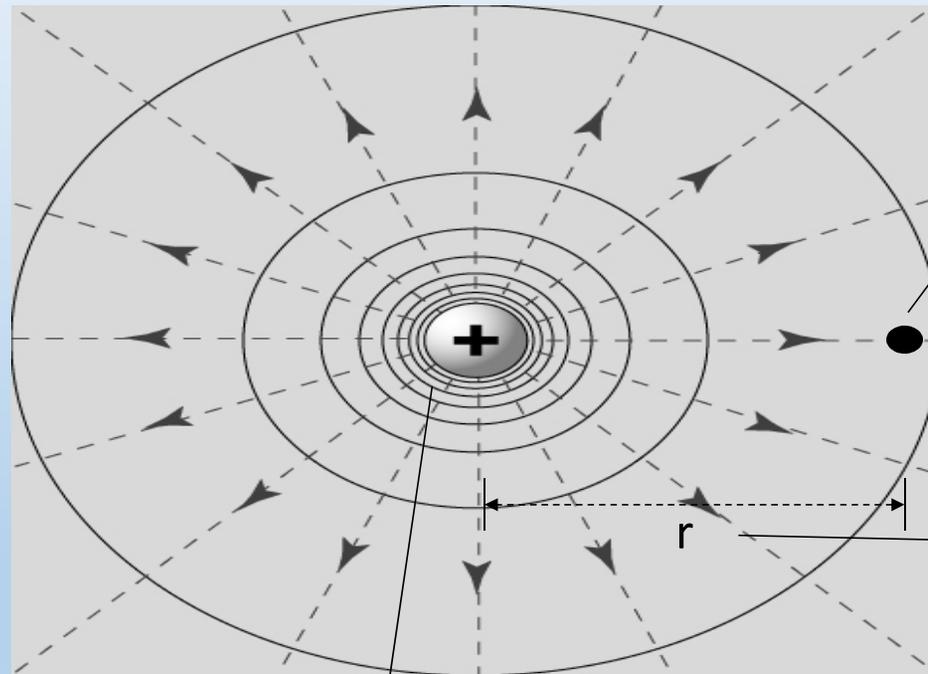
$$d\vec{E}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2} \hat{r}$$

Dimana **r** adalah jarak dari elemen muatan dq ke titik **P**. Medan resultan kemudian dicari dari prinsip superposisi dengan menjumlahkan kontribusi2 medan yang ditimbulkan oleh semua elemen muatan, atau

$$\vec{E}(\vec{r}) = \int d\vec{E}(\vec{r})$$

Potensial Listrik Pada sebuah Titik di Sekitar Muatan Listrik

$$V = k_e \frac{q}{r}$$

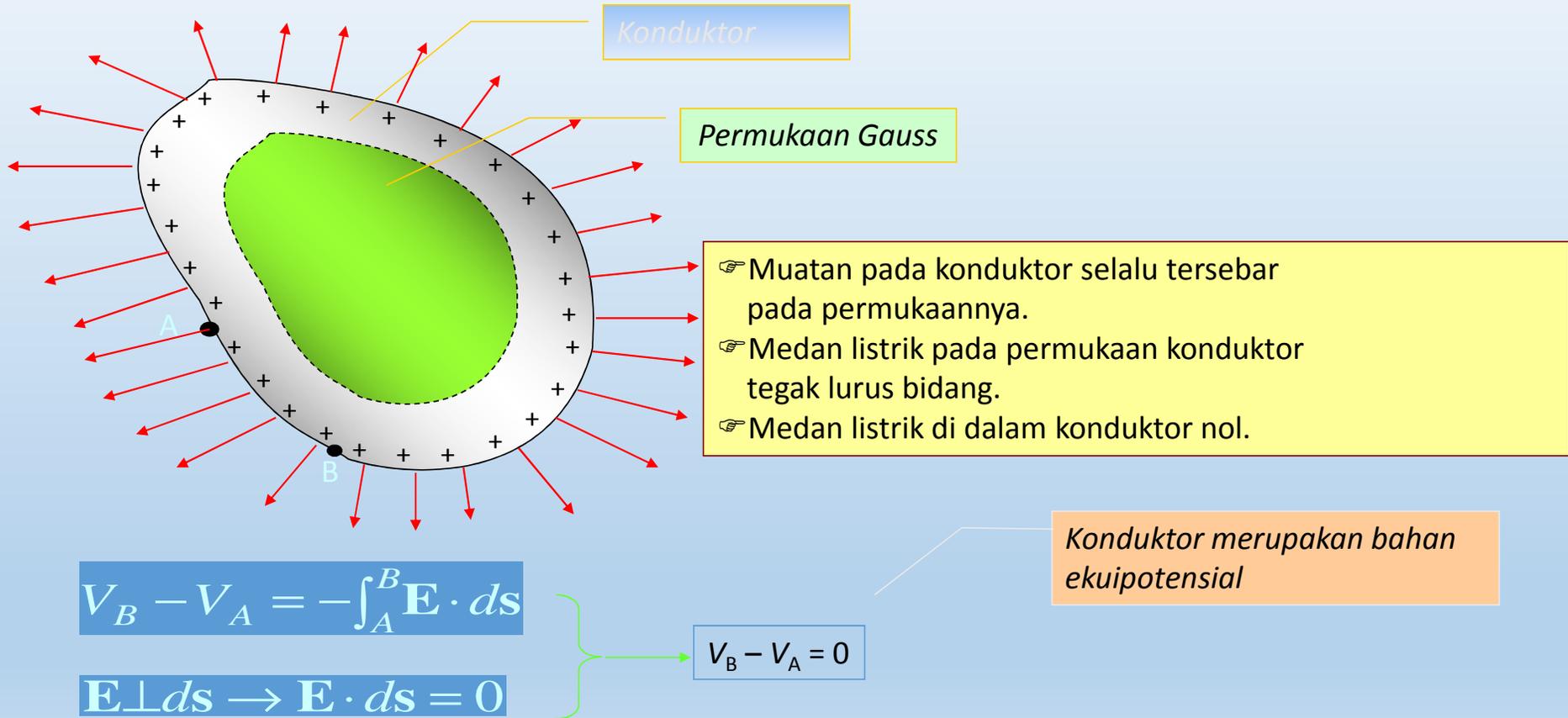


Titik ukur potensial listrik

Jarak titik terhadap muatan,
q

Muatan, q

POTENSIAL KONDUKTOR BERMUATAN



Konduktor

Permukaan Gauss

- ☞ Muatan pada konduktor selalu tersebar pada permukaannya.
- ☞ Medan listrik pada permukaan konduktor tegak lurus bidang.
- ☞ Medan listrik di dalam konduktor nol.

Konduktor merupakan bahan ekuipotensial

$$V_B - V_A = -\int_A^B \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}$$

$$\mathbf{E} \perp d\mathbf{s} \rightarrow \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = 0$$

$$V_B - V_A = 0$$

Contoh Soal :

- Medan Listrik menunjuk pada arah x positif dan mempunyai besar konstan $10 \text{ N/C} = 10\text{V/m}$. Tentukan potensial sebagai fungsi x , anggap bahwa $V=0$ pada $x=0$.

Jawab :

- Vektor medan listrik $E=(10 \text{ N/C})i=(10 \text{ V/m})i$, dan untuk perubahan panjang dl :

$$dV = -E \cdot dl = -(10 \text{ V/m})i \cdot (dx i + dy j + dz k)$$

$$dV = (10 \text{ V/m}) dx$$

- Dengan integrasi dari titik x_1 ke x_2 maka didapatkan beda potensial $V(x_2) - V(x_1)$:

$$V(x_2) - V(x_1) = \int_{x_1}^{x_2} dV = \int_{x_1}^{x_2} -(10 \text{ V/m}) dx$$

$$V(x_2) - V(x_1) = -(10 \text{ V/m})(x_2 - x_1) = (10 \text{ V/m})(x_1 - x_2)$$

Jawab Lanjutan...

- Karena $V=0$ di $x=0$, maka $V(x_1)=0$ untuk $x_1=0$.

$$V(x_2) - 0 = (10 \text{ V/m})(0 - x_2) \quad \text{atau}$$

$$V(x_2) = -(10 \text{ V/m})x_2 \quad \text{atau} \quad V(x_2) = -(10 \text{ V/m})x$$

- Jadi potensial nol pada $x = 0$ dan berkurang 10 V/m dalam arah x .

Potensial Oleh Sistem Muatan Titik

- Menghitung potensial dapat dilakukan dengan medan listrik.

$$E = \frac{kq}{r^2} \hat{r} ; dl = dr \hat{r} ; dU = -q_0 E \cdot dl$$

- Maka potensial listrik menjadi:

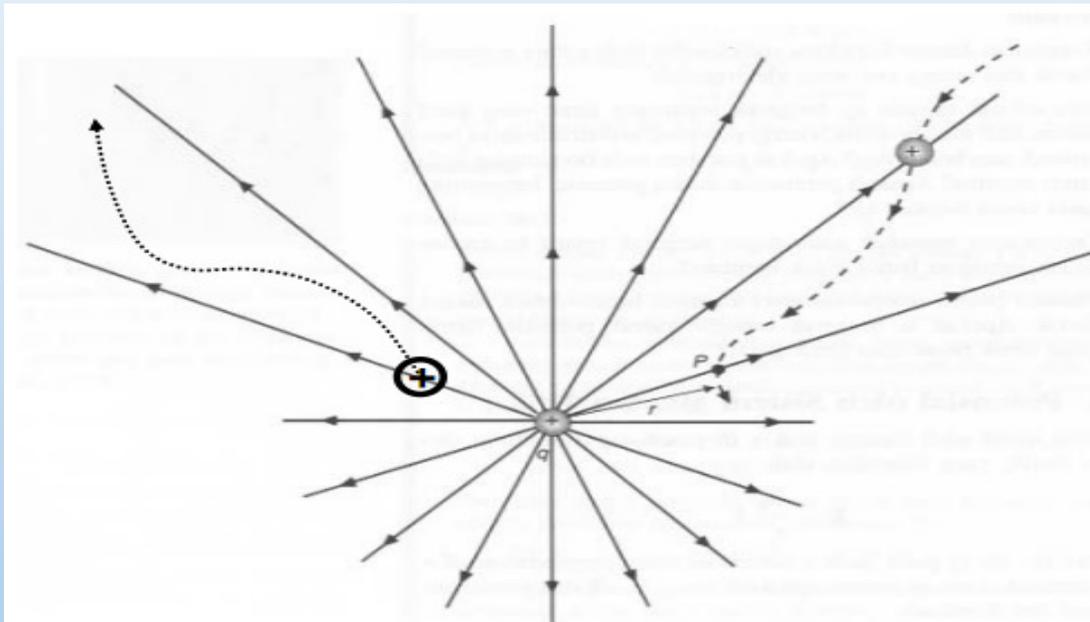
$$dV = -E \cdot dl = -\frac{kq}{r^2} \hat{r} \cdot dr \hat{r} = -\frac{kq}{r^2} dr$$

- Dengan mengintegrasikan dV, maka:

$$V = + \frac{kq}{r} + V_0 ; V = \frac{kq}{r} ; V = 0 \quad \text{Pada } r = \infty$$

$$V = \sum_i \frac{kq_i}{r_{i0}}$$

Kerja pada Medan Listrik

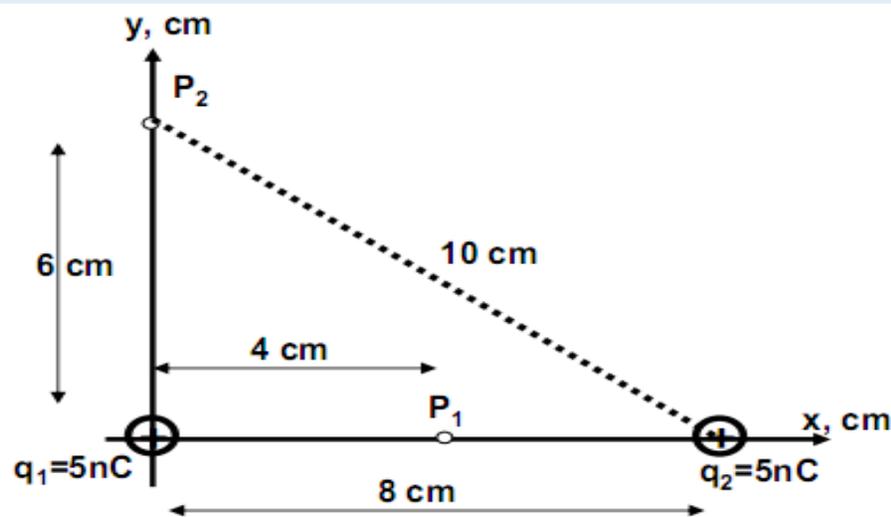


- Jika muatan uji q_0 dilepaskan dari suatu titik pada jarak r dari muatan q yang terletak pada pusat, muatan uji akan dipercepat keluar dalam arah medan listrik.

$$U = \frac{kqq_0}{r} = q_0V$$

$$W = \int_r^\infty q_0 E \cdot dl = q_0 \int_r^\infty E_r \cdot dr = \int_r^\infty \frac{kq}{r^2} dr = \frac{kqq_0}{r}$$

Contoh Soal :



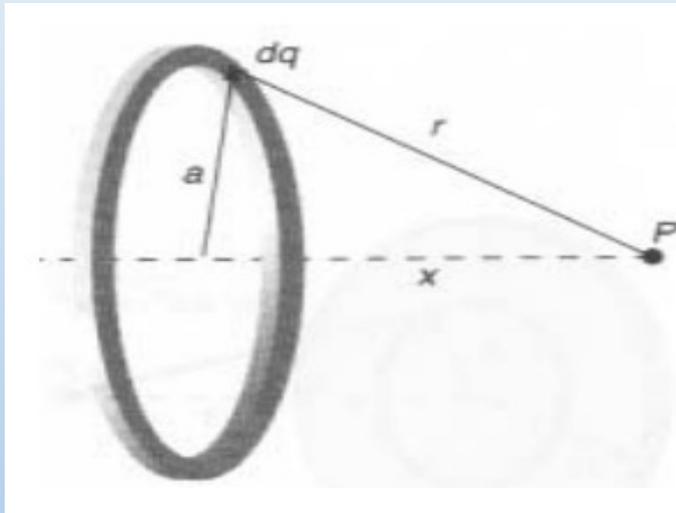
Dua muatan titik positif sama besarnya $+ 5 \text{ nC}$ pada sumbu-x. Satu di pusat dan yang lain pada $x = 8 \text{ cm}$ seperti ditunjukkan pada gambar. Tentukan potensial di (a). Titik P_1 pada sumbu-x di $x=4 \text{ cm}$ dan (b). Titik P_2 pada sumbu-y di $y = 6 \text{ cm}$.

Jawab :

$$\text{(a). } V = \sum_i \frac{kq_i}{r_{i0}} = \frac{kq_1}{r_{10}} + \frac{kq_2}{r_{20}} = 2 \times \frac{(9 \times 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2)(5 \times 10^{-9} \text{ C})}{0,04\text{m}}$$
$$V = 2250V$$

$$\text{(b). } V = \sum_i \frac{kq_i}{r_{i0}} = \frac{kq_1}{r_{10}} + \frac{kq_2}{r_{20}}$$
$$V = \frac{(9 \times 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2)(5 \times 10^{-9} \text{ C})}{0,06\text{m}} + \frac{(9 \times 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2)(5 \times 10^{-9} \text{ C})}{0,10\text{m}}$$
$$V = 749V + 450V = 1200V$$

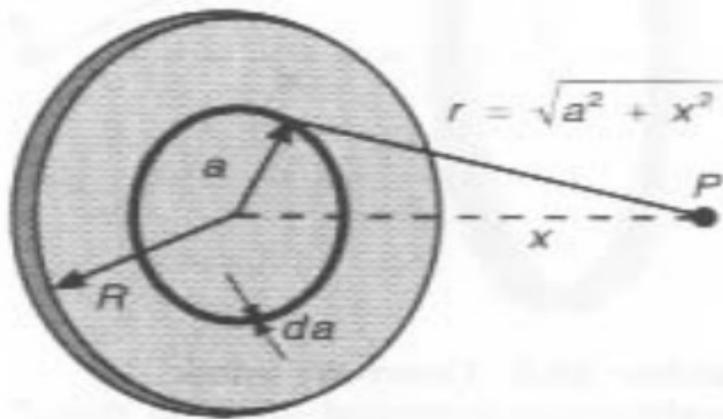
Potensial pada Sumbu Cincin Bermuatan



$$V = \int \frac{k dq}{r} = \int \frac{k dq}{\sqrt{x^2 + a^2}}$$

$$V = \frac{k}{\sqrt{x^2 + a^2}} \int dq = \frac{kQ}{\sqrt{x^2 + a^2}}$$

Potensial pada Sumbu Cakram Bermuatan



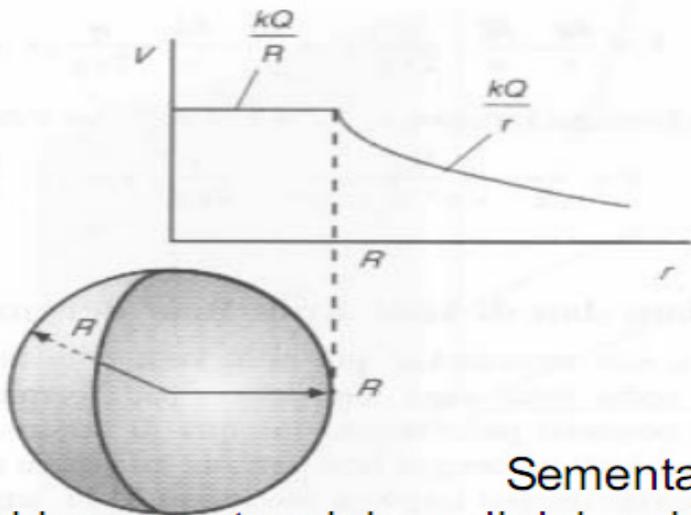
$$dV = \frac{k dq}{(x^2 + a^2)^{3/2}} = \frac{k 2\pi\sigma da}{(x^2 + a^2)^{3/2}}$$

$$V = \int_0^R \frac{k 2\pi\sigma da}{(x^2 + a^2)^{3/2}} = k\sigma\pi \int_0^R (x^2 + a^2)^{-3/2} 2a da$$

$$V = k\sigma\pi \frac{(x^2 + a^2)^{-1/2}}{-1/2} \Big|_{a=0}^{a=R}$$

$$V = 2\pi k\sigma \left[(x^2 + R^2)^{1/2} - x \right]$$

Potensial di dalam & di Luar Kulit Bola bermuatan



$$E = \frac{kQ}{r^2} \hat{r} ; dl = dr \hat{r}$$

$$dV = -E \cdot dl = -\frac{kQ}{r^2} \hat{r} \cdot dr \hat{r} = -\frac{kQ}{r^2} dr$$

$$V = \frac{kQ}{r} + V_0 \implies V = \frac{kQ}{r} \quad r > R$$

Sementara medan listrik di dalam bola adalah nol, sehingga potensialnya di dalam bola haruslah konstan. Potensial di kulit bola adalah

$$V = \frac{kQ}{R}$$

$$\text{maka } V = \begin{cases} \frac{kQ}{R} & r \leq R \\ \frac{kQ}{r} & r > R \end{cases}$$

Medan Listrik dan Potensial

- Perubahan potensial jika dilihat dari medan listrik

$$dV = -E \cdot dl = -E_l dl$$

- Oleh karenanya medan listrik dapat dilihat sebagai:

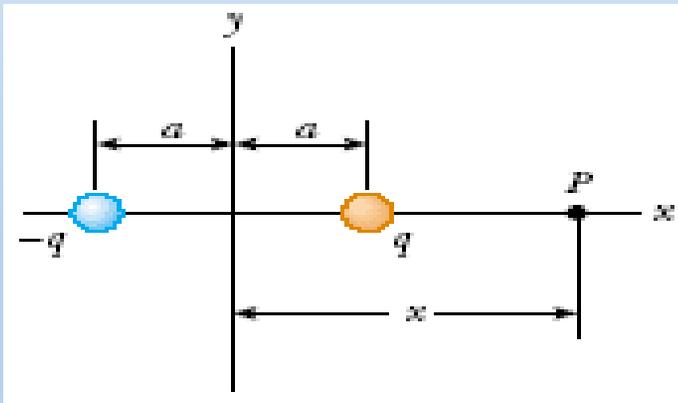
$$E_l = -\frac{dV}{dl} \text{ atau } E = -\nabla V$$

$$E = -\nabla V = -\left(\frac{\partial V}{\partial x} i + \frac{\partial V}{\partial y} j + \frac{\partial V}{\partial z} k \right)$$

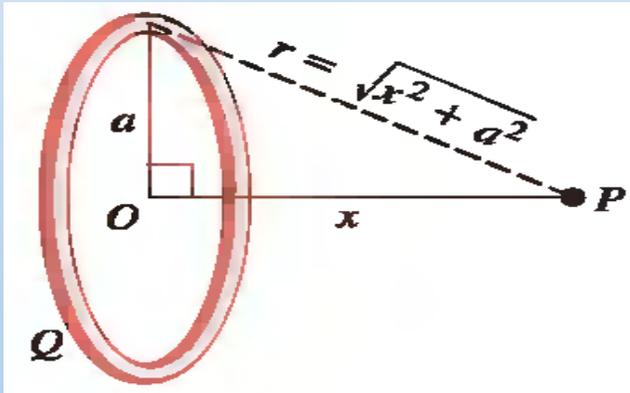
TUGAS

1. Muatan titik $q_1 = 1 \mu\text{C}$ terletak pada titik asal, muatan titik $q_2 = -4 \mu\text{C}$ terletak 4 meter sepanjang sumbu $+x$ dan muatan titik $q_3 = 3 \mu\text{C}$ terletak 3 meter sepanjang sumbu $+y$. hitung energi potensial total dari sistem tiga buah partikel bermuatan tersebut !

2. Sebuah dipole terdiri dari dua buah muatan yang sama besar tetapi berlawanan tandat terpisah sejauh $2a$ seperti pada gambar dibawah ini. Dipole terletak pada sepanjang sumbu x dan pusatnya pada titik asal kordinat. Hitunglah : a). Potensial listrik di titik P; b). V dan E_x pada titik P diantara dua muatan tersebut



3. Muatan listrik terdistribusi secara merata pada cincin dengan jari-jari a , muatan total Q . hitunglah potensial listrik dan medan listrik di titik P pada sepanjang sumbu cincin sejauh x dari pusat cincin.



■ GRADIEN POTENSIAL

Dari sub bab sebelumnya kita menghitung potensial listrik bila diketahui intensitas medan listriknya. Proses sebaliknya juga dapat dilakukan, kita menghitung intensitas medan listrik bila potensialnya diketahui, yaitu dengan persamaan :

$$E = -\text{grad } V = -\nabla V$$

Contoh Soal 4.5 :

Diketahui medan potensial :

$$V = \frac{60 \sin \theta}{r^2}$$

Tentukan kerapatan muatan volume ρ_v di titik P(3, 60°, 25°)

Jawab :

Kerapatan muatan volume dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan Maxwell pertama $\rho_v = \nabla \cdot \mathbf{D}$ sedangkan \mathbf{D} baru dapat dihitung bila E diketahui, yaitu dari persamaan $\mathbf{D} = \epsilon_0 \mathbf{E}$. Jadi yang mula-mula harus dilakukan adalah gradien potensial.

$$\nabla V = \frac{\partial V}{\partial r} a_r + \frac{1}{r} \frac{\partial V}{\partial \theta} a_\theta + \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial V}{\partial \phi} a_\phi$$

$$E = -\nabla V = \frac{120 \sin \theta}{r^3} a_r - \frac{60 \cos \theta}{r^3} a_\theta + 0$$

$$D = \epsilon_0 E = \frac{120 \epsilon_0 \sin \theta}{r^3} a_r - \frac{60 \epsilon_0 \cos \theta}{r^3} a_\theta$$

$$\begin{aligned} \rho_v = \nabla \cdot D &= \frac{1}{r^2} \frac{\partial (r^2 D_r)}{\partial r} + \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial (D_\theta \sin \theta)}{\partial \theta} + \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial (D_\phi)}{\partial \phi} \\ &= \frac{-120 \epsilon_0 \sin \theta}{r^4} - \frac{60 \epsilon_0 \cos 2\theta}{r^4 \sin \theta} + 0 \end{aligned}$$

Pada titik P : $r = 3$ $\theta = 60^\circ$ $\phi = 25^\circ$

$$\begin{aligned} \rho_v &= \frac{-120 (8,854 \times 10^{-12}) \sin 60^\circ}{3^4} - \frac{60 (8,854 \times 10^{-12}) \cos 120^\circ}{3^4 \sin 60^\circ} \\ &= -7,573 \text{ pC} / \text{m}^3 \end{aligned}$$

■ RAPAT ENERGI LISTRIK

Rapat energi listrik persatuan volume adalah :

$$\frac{dW}{dv} = \frac{1}{2} \vec{D} \cdot \vec{E}$$

sehingga energi listrik yang tersimpan di dalam medan listrik dapat dihitung dari :

$$\begin{aligned} W_E &= \frac{1}{2} \iiint_v D \cdot E \, dv \\ &= \frac{1}{2} \epsilon_o \iiint_v E \cdot E \, dv \\ &= \frac{1}{2} \epsilon_o \iiint_v |E|^2 \, dv \end{aligned}$$

Contoh Soal 4.6 :

Diketahui sebuah medan potensial $V = 50 \text{ xyz V}$. Hitung energi yang tersimpan dalam kubus $0 < x, y, z < 2$.

Jawab :

$$E = -\nabla V = -50 (yz \mathbf{a}_x + xz \mathbf{a}_y + xy \mathbf{a}_z)$$

$$|E|^2 = 2500 (y^2 z^2 + x^2 z^2 + x^2 y^2)$$

$$W_E = 1250 \epsilon_0 \int_{x=0}^2 \int_{y=0}^2 \int_{z=0}^2 (y^2 z^2 + x^2 z^2 + x^2 y^2) dx dy dz$$

Karena simetris, maka integral volumenya cukup dihitung untuk satu suku saja, yaitu :

$$\begin{aligned} W_E &= 3(1250)(8,854 \times 10^{-12}) \int_{x=0}^2 \int_{y=0}^2 \int_{z=0}^2 y^2 z^2 dx dy dz \\ &= 33,203 \times 10^{-9} (x|_0^2) \left(\frac{1}{3} y^3 \Big|_0^2\right) \left(\frac{1}{3} z^3 \Big|_0^2\right) \\ &= 3,689 \times 10^{-9} (2 - 0)(2^3 - 0)(2^3 - 0) = 0,472 \mu\text{J} \end{aligned}$$

Karena simetris, maka integral volumenya cukup dihitung untuk satu suku saja, yaitu :

$$\begin{aligned}W_E &= 3(1250)(8,854 \times 10^{-12}) \int_{x=0}^2 \int_{y=0}^2 \int_{z=0}^2 y^2 z^2 \, dx dy dz \\&= 33,203 \times 10^{-9} (x|_0^2) \left(\frac{1}{3} y^3 \Big|_0^2\right) \left(\frac{1}{3} z^3 \Big|_0^2\right) \\&= 3,689 \times 10^{-9} (2 - 0)(2^3 - 0)(2^3 - 0) = 0,472 \, \mu\text{J}\end{aligned}$$

Thanks And See You