

Potensial Listrik

Fisika Dasar II

TIP, TP, UGM 2009

Ikhsan Setiawan, M.Si.

ikhsan_s@ugm.ac.id

<http://setiawan.synthasite.com>



Potensial Listrik

- **Beda potensial dan potensial listrik**
- **Beda potensial dalam medan listrik homogen**
- **Potensial listrik dan energi potensial dari muatan-muatan titik**
- **Hubungan potensial listrik dan medan listrik**
- **Potensial listrik dari distribusi muatan kontinyu**
- **Aplikasi elektrostatik**

Beda Potensial dan Potensial Listrik

- Anggap sebuah muatan uji q_0 berada di dalam medan listrik $\mathbf{E}$, maka muatan tersebut mengalami gaya listrik $\mathbf{F} = q_0\mathbf{E}$ (gaya bersifat konservatif).
- Jika muatan q_0 mengalami pergeseran sejauh $d\mathbf{s}$, maka usaha (kerja) yang dilakukan oleh gaya listrik $\mathbf{F}$ pada q_0 adalah $W = \mathbf{F} \cdot d\mathbf{s} = q_0\mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}$.
- Perubahan energi potensial : $dU = -W = -q_0\mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}$.
- Untuk pergeseran dari titik A ke titik B, perubahan energi potensialnya adalah: $\Delta U = U_B - U_A$

$$\Delta U = -q_0 \int_A^B \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}$$

Nilai integral ini tidak bergantung pada lintasan yang ditempuh, melainkan hanya pada titik awal dan titik akhir.

Beda Potensial dan Potensial Listrik (Lanjutan)

- Potensial listrik (V) di tempat q_0 berada didefinisikan sebagai energi potensial (U) dibagi q_0 :

$$V = \frac{U}{q_0}$$

- Beda potensial listrik antara titik A dan titik B:

$$\Delta V = V_B - V_A$$

$$\Delta V \equiv \frac{\Delta U}{q_0} = - \int_A^B \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}$$

- Usaha yang dilakukan oleh gaya luar (bukan gaya listrik) untuk memindahkan muatan q dengan kecepatan tetap di dalam medan listrik adalah

$$W = q \Delta V$$

Beda Potensial dan Potensial Listrik (Lanjutan)

- Satuan (beda) potensial listrik: volt (V),

$$1 \text{ V} \equiv 1 \frac{\text{J}}{\text{C}}$$

- Satuan medan listrik: $1 \frac{\text{N}}{\text{C}} = 1 \frac{\text{V}}{\text{m}}$

Interpretasi: medan listrik merupakan ukuran laju perubahan potensial listrik terhadap posisi.

- Jika elektron ($e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$) bergerak melalui beda potensial 1 V, maka perubahan energi potensialnya adalah

$$(1,6 \times 10^{-19} \text{ C}) \cdot (1 \text{ V}) = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Satuan energi eV: $1 \text{ eV} = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C} \cdot \text{V} = 1.60 \times 10^{-19} \text{ J}$

Beda Potensial di dalam Medan Listrik Homogen

- Tinjau titik A dan titik B di dalam medan listrik homogen $\mathbf{E}$. Kedua titik terpisah oleh jarak $|\mathbf{s}| = d$, dengan vektor $\mathbf{s}$ searah dengan $\mathbf{E}$.
- Beda potensial antara A dan B:

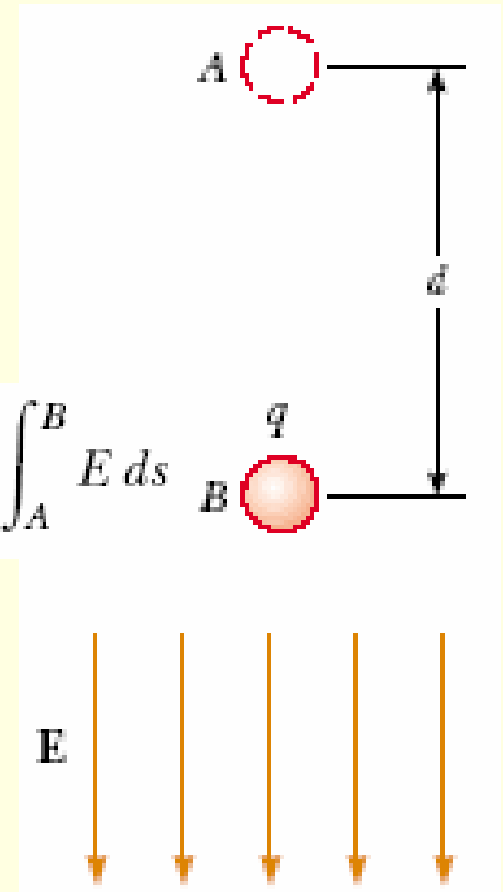
$$V_B - V_A = \Delta V = - \int_A^B \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = - \int_A^B (E \cos 0^\circ) ds = - \int_A^B E ds$$

Karena E homogen (konstan), maka

$$\Delta V = -E \int_A^B ds = -Ed$$

Tanda negatif berarti $V_B < V_A$.

Arah medan $\mathbf{E}$ selalu menunjuk ke arah potensial yang lebih kecil.

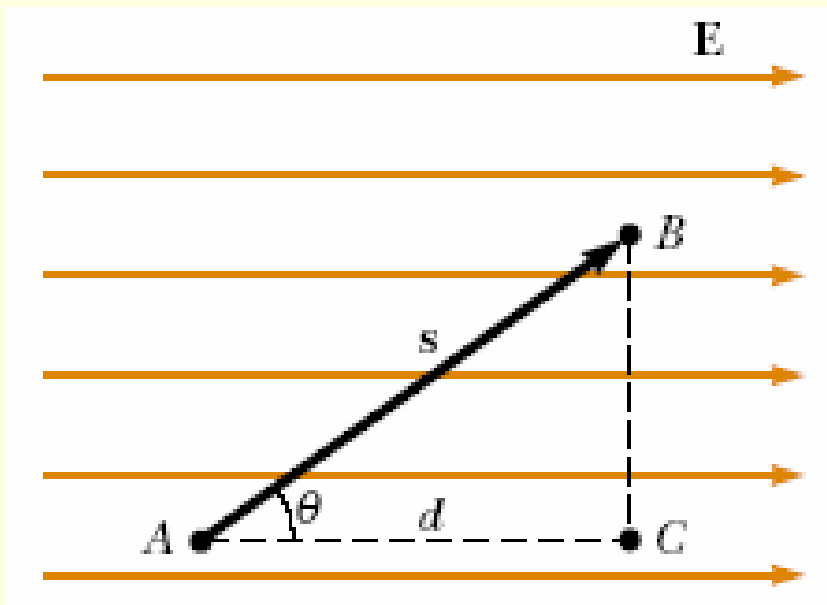


Beda Potensial di dalam Medan Listrik Homogen (lanjutan)

- Jika pergeseran $\mathbf{s}$ tidak searah dengan $\mathbf{E}$, maka

$$\Delta V = - \int_A^B \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = - \mathbf{E} \cdot \int_A^B d\mathbf{s} = - \mathbf{E} \cdot \mathbf{s}$$

$\Rightarrow$ Titik-titik pada suatu bidang yang $\perp \mathbf{E}$ memiliki potensial listrik yang sama besar (bidang ekipotensial).



Pada gambar di samping:

$$\Delta V_{AB} = \Delta V_{AC}$$

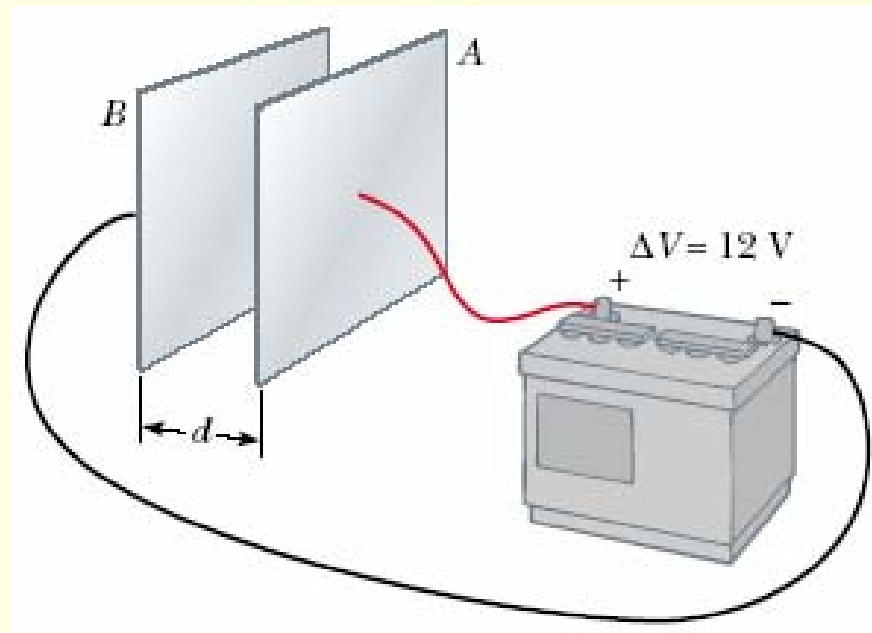
yaitu

$$V_C - V_A = V_B - V_A$$

$$\text{atau} \quad V_B = V_C$$

Contoh 1

- Terminal-terminal sebuah battere (aki) 12 V masing-masing dihubungkan dengan plat-plat konduktor sejajar (lihat gambar) yang terpisah oleh jarak $d = 0,30$ cm. Anggap medan listrik yang muncul di antara plat adalah homogen. Hitunglah besar medan listrik tersebut.



Potensial Listrik Muatan-Muatan Titik

- Potensial listrik di titik sejauh r dari sebuah muatan titik q adalah

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

- Jika terdapat banyak muatan titik q_i ($i = 1, 2, 3, \dots$), maka potensial listrik total di suatu titik sejauh r_i dari masing-masing muatan q_i adalah jumlahan potensial listrik dari masing-masing muatan, yaitu:

$$V = k_e \sum_i \frac{q_i}{r_i}$$

Ingat: Potensial listrik merupakan besaran skalar.

Energi Potensial Listrik Sistem Muatan Titik

- Energi potensial (energi konfigurasi) sistem 2 muatan titik q_1 dan q_2 yang terpisah sejauh r_{12} adalah

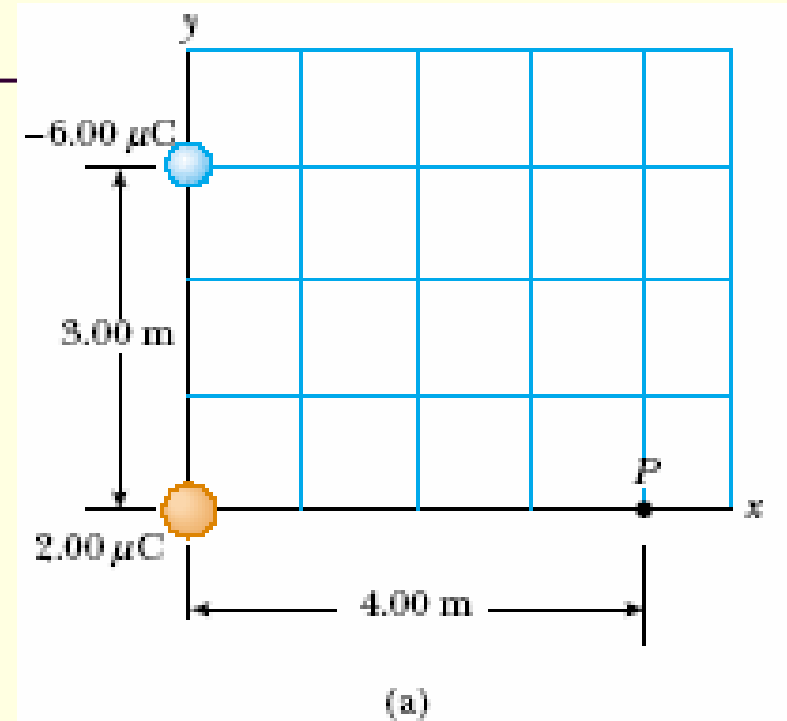
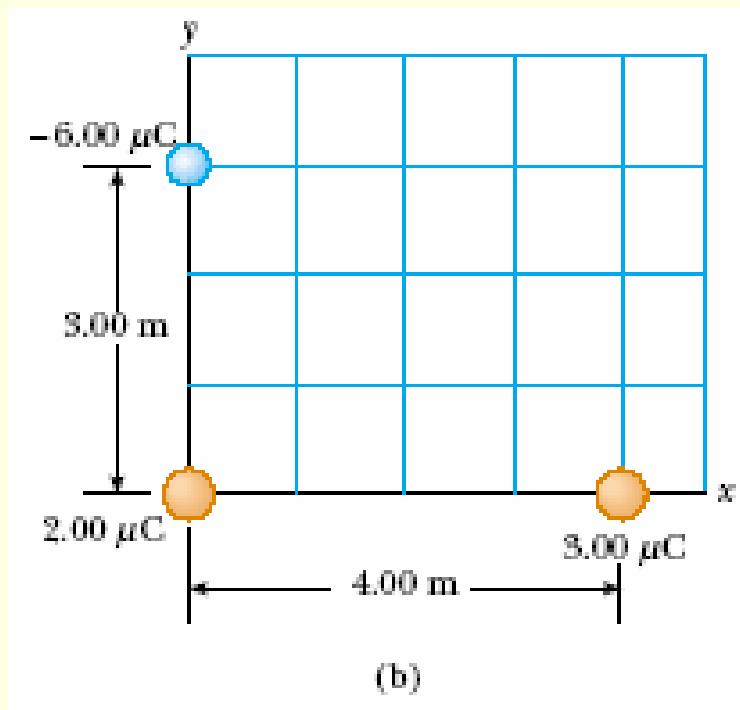
$$U = k_e \frac{q_1 q_2}{r_{12}}$$

- Jika terdapat lebih dari 2 muatan titik, maka energi potensial total sistem ini adalah jumlahan energi potensial dari masing-masing pasangan muatan. Sebagai contoh, untuk sistem 3 buah muatan titik:

$$U = k_e \left(\frac{q_1 q_2}{r_{12}} + \frac{q_1 q_3}{r_{13}} + \frac{q_2 q_3}{r_{23}} \right)$$

Contoh 2

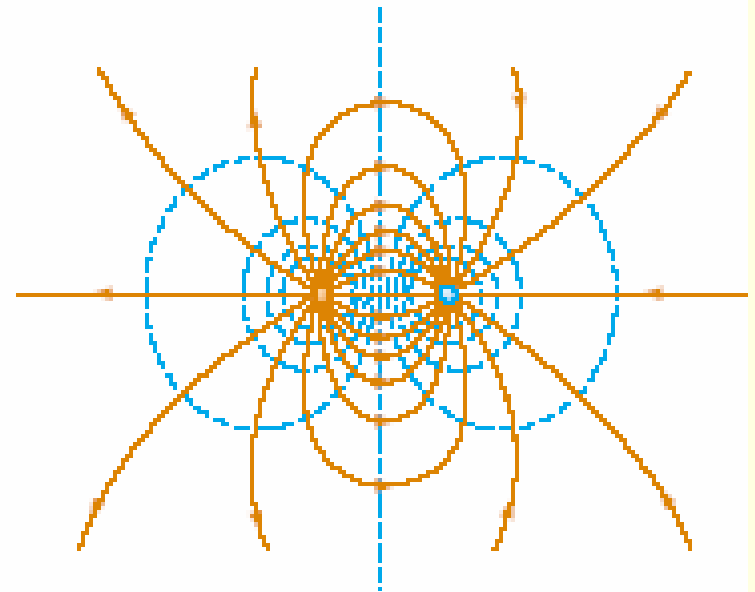
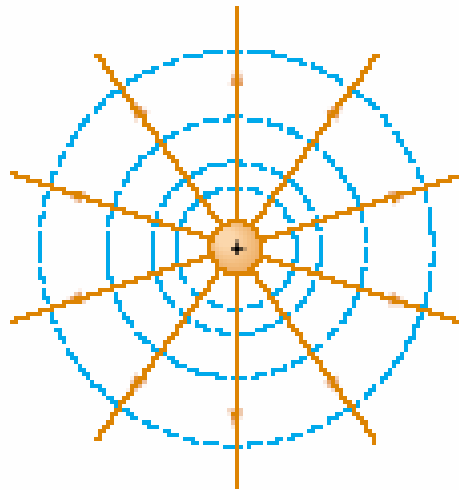
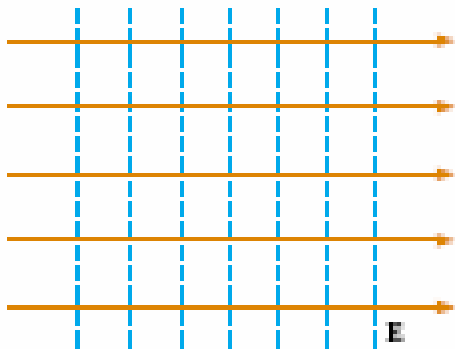
1. Untuk gambar (a) hitunglah potensial listrik di titik P.
2. Hitunglah perubahan energi potensial sistem gambar (a) bila muatan $3 \mu\text{C}$ di bawa dari tak hingga ke titik P (gambar (b))



3. Hitunglah energi potensial sistem muatan seperti pada gambar (b)

Hubungan Medan Listrik dan Potensial Listrik

- Beda potensial listrik antara dua titik yang terpisah sejauh ds di dalam medan listrik $\mathbf{E}$ adalah $dV = -\mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}$
- Jika $d\mathbf{s}$ merupakan pergeseran di bidang ekipotensial, maka $dV = -\mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = 0$;
 $\Rightarrow$ Bidang ekipotensial $\perp$ garis medan $\mathbf{E}$.



Hubungan Medan Listrik dari Potensial Listrik (lanjutan)

- Jika medan listrik memiliki simetri bola (seperti pada gambar (b) di atas), maka

$$E_r = -\frac{dV}{dr}$$

dengan r adalah jarak dari pusat distribusi muatan.

Contoh: Potensial listrik sebuah muatan titik q adalah

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

maka medan listriknya adalah

$$E_r = -\frac{dV}{dr} = k_e \frac{q}{r^2}$$

Hubungan Medan Listrik dari Potensial Listrik (lanjutan)

- Secara umum, dalam sistem koordinat Cartesian:

$$E_x = -\frac{\partial V}{\partial x} \quad E_y = -\frac{\partial V}{\partial y} \quad E_z = -\frac{\partial V}{\partial z}$$

- Sebagai contoh, jika $V = 3x^2y + y^2 + yz$,
maka:

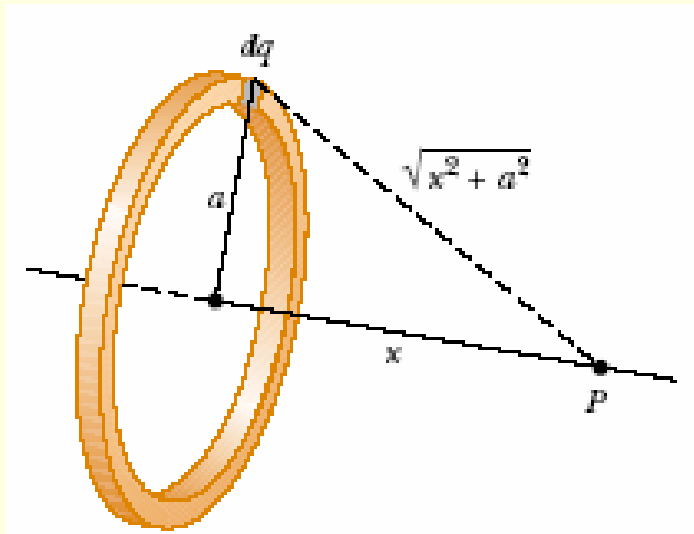
$$\frac{\partial V}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} (3x^2y + y^2 + yz) = \frac{\partial}{\partial x} (3x^2y)$$

$$= 3y \frac{d}{dx} (x^2) = 6xy$$

dst.....

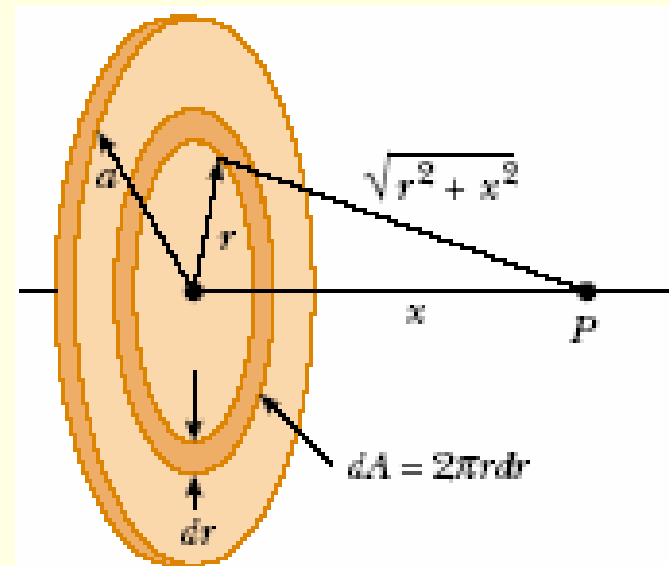
Potensial Listrik dari Distribusi Muatan Kontinyu

Potensial di sumbu cincin bermuatan homogen



$$V = \frac{k_e}{\sqrt{x^2 + a^2}} \int dq = \frac{k_e Q}{\sqrt{x^2 + a^2}}$$

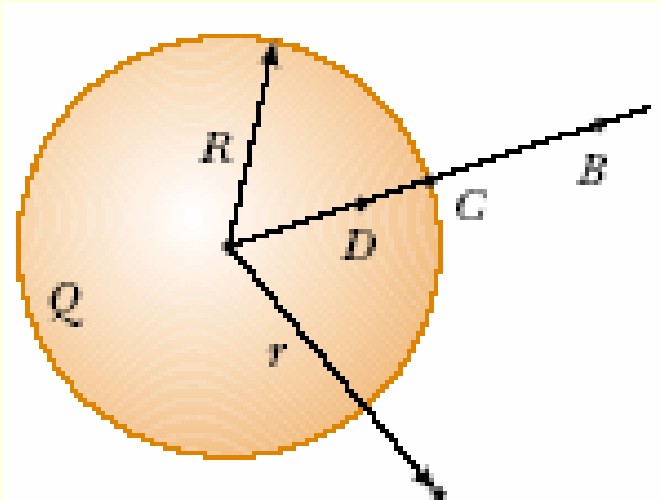
Potensial di sumbu cakram bermuatan homogen



$$V = 2\pi k_e \sigma [(x^2 + a^2)^{1/2} - x]$$

Potensial Listrik dari Distribusi Muatan Kontinu (lanjutan)

Potensial dari Bola Bermuatan Homogen

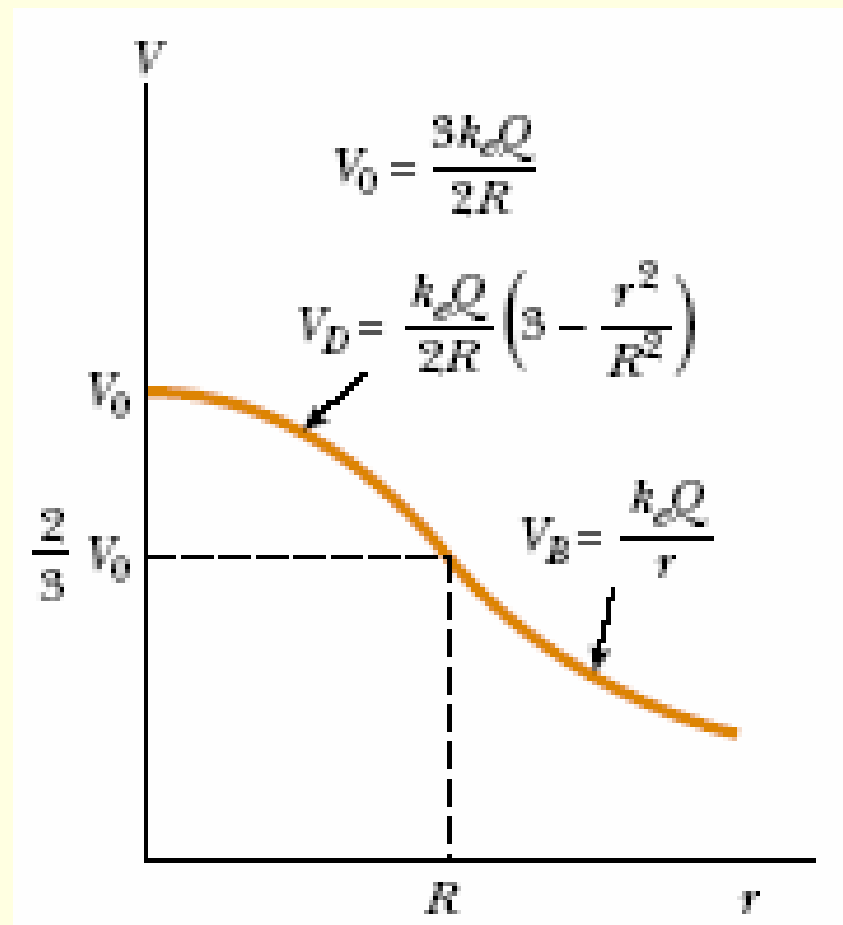


Di luar bola:

$$V_B = k_e \frac{Q}{r}$$

Di dalam bola:

$$V_D = \frac{k_e Q}{2R} \left(3 - \frac{r^2}{R^2} \right)$$



Contoh Aplikasi

1. Electrostatic Precipitator

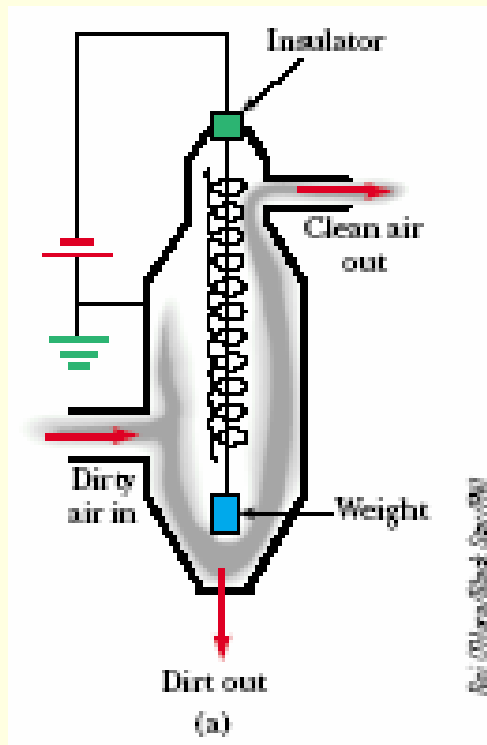
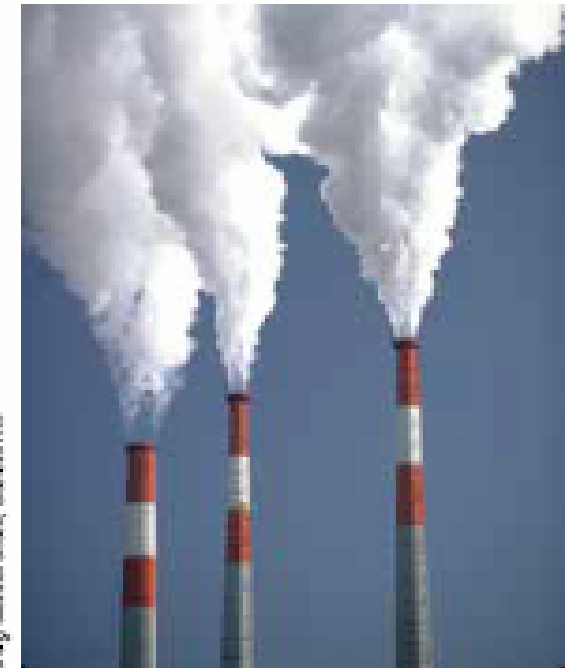


Diagram skematik
Electrostatic Precipitator



Electrostatic
Precipitator ON



Electrostatic
Precipitator OFF

Contoh Aplikasi

2. Xerography dan Laser Printers

