

**LISTRIK STATIS (3)**  
*Potensial Listrik*

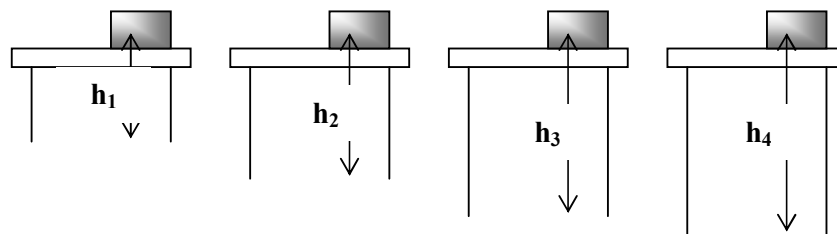
**BAB 1**  
Fisika Dasar II

## 1. PENDAHULUAN

Dalam pembahasan terdahulu kita telah menganalisis gejala kelistrikan melalui dua besaran fisis yaitu dengan interaksi gaya elektrostatik (gaya Coulomb)  $F$  dan melalui medan listrik  $E$ , di mana kedua besaran fisis tersebut merupakan besaran vektor. Dalam perhitungan matematik, pelibatan besaran vektor seringkali memiliki tingkat kerumitan tertentu dibanding perhitungan matematik yang melibatkan besaran skalar. Sebuah besaran fisis skalar adalah cara lain untuk menganalisis listrik statis secara lebih mudah. Besaran skalar ini disebut potensial listrik (atau tegangan)  $V$ .

Untuk memahami arti fisis dari potensial listrik ini, pandanglah sebuah muatan positif di sekitar muatan negatif seperti gambar 3.1 di samping. Seperti kita ketahui muatan positif memiliki "kecenderungan" bergerak ke arah negatif tanpa "didorong" dengan gaya luar sekalipun, tentu secara intuisi kita bisa mengatakan ada energi tertentu yang berasal dari muatan negatif yang membuat muatan positif tertarik atau "jatuh" padanya. Energi ini disebut energi potensial listrik.

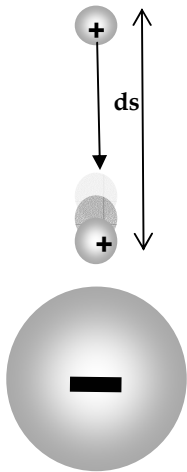
Ketika membahas mekanika, khususnya pada saat kita membahas hukum "Konservasi Energi Mekanik", kita mengenal suatu bentuk energi yang disebut energi potensial gravitasi. Besarnya energi ini amat tergantung dari titik acuan di mana kita mengukur sebuah ketinggian ( $h$ ) benda ( $EP = m g h$ )



GB 3.2 Analogi Energi Potensial Gravitasi Pada Potensial Listrik

Dari gambar 3.2 kita bisa menghitung bahwa energi pada ketinggian  $h_4$  lebih besar dari yang lain karena  $h_4$  lebih tinggi dari  $h_3$ ,  $h_2$  dan  $h_1$  meskipun dengan benda dan meja yang sama. Dengan demikian besaran fisis yang mempengaruhi besarnya energi potensial ini hanyalah titik acuannya.

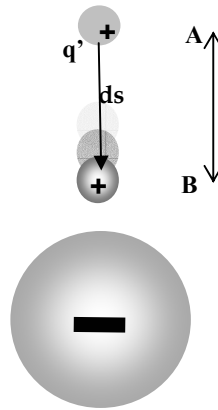
Secara alamiah "bumi" dianggap sebagai titik acuan / titik nol untuk menghitung energi potensial gravitasi. Semakin jauh jaraknya dari permukaan tanah, maka energi potensialnya semakin besar.



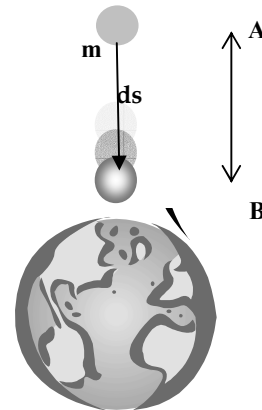
Gb 3.1 Muatan positif bergerak sejauh  $ds$  ke arah negatif karena adanya energi potensial listrik

## 2. ENERGI POTENSIAL LISTRIK dan POTENSIAL LISTRIK

Energi potensial listrik didefinisikan sebagai “usaha (kerja) yang diperlukan untuk memindahkan muatan  $q'$  dari A ke B”. Untuk memahami makna dari energi potensial listrik dan potensial listrik secara fisis, kita analogikan kembali terhadap energi potensial gravitasi.



Gb 3.3a Untuk Berpindah Dari A ke B Sebuah Muatan Listrik Dalam Medan Listrik E (dari muatan  $q$ ) Memerlukan sejumlah Usaha yang berasal dari medan listrik muatan negatif



Gb 3.3b Untuk jatuh dari posisi A yg memiliki potensial lebih besar ke posisi B, sebuah benda bermassa  $m$  memerlukan sejumlah usaha yang berasal dari medan gravitasi

Nilai energi potensial di B jelas lebih kecil dari energi potensial di A karena jaraknya pada muatan sumber (-) lebih dekat. Sebuah benda yang jatuh dari ketinggian tertentu (posisi A) ke posisi B menuju bumi pada gambar 3.3b di atas. Energi potensial di B jelas lebih rendah dari A karena ketinggian B lebih rendah dari A. Demikian pula halnya analoginya dalam energi potensial listrik, di mana muatan negatif dianggap sebagai bumi dan muatan positif sebagai benda yang jatuh (atau sebaliknya). Muatan positif  $q'$  “jatuh” dari energi potensial lebih tinggi di A ke energi potensial lebih rendah di B. Sehingga dengan demikian telah terjadi pengurangan energi potensial akibat usaha yang dilakukan pada muatan positif untuk berpindah. Pada persamaan (1) tanda negatif menunjukkan pengurangan energi potensial tersebut.

Dari definisi usaha :

$$W = \int_{rA}^{rB} \mathbf{F} ds$$

karena  $F = q'E$  :

$$W = -\int_{r_A}^{r_B} q'E ds = -q' \int_{r_A}^{r_B} E ds$$

atau dalam bentuk lebih mudah :

$$\begin{aligned} W &= -q'E \cdot r \Big|_{r_A}^{r_B} \\ W &= -q'k \frac{q}{r^2} r \Big|_{r_A}^{r_B} \\ &= -q' \left( k \frac{q}{r_B} - k \frac{q}{r_A} \right) \end{aligned}$$

Dengan mendefinisikan  $k \frac{q}{r}$  sebagai potensial listrik, maka :

$$W = -q'(V_B - V_A) \quad (1)$$

dengan

$W$  = Energi potensial listrik

$q$  = muatan listrik

$V_B$  = potensial listrik di titik B

$V_A$  = potensial listrik di titik A

Satuan dari potensial dalam SI adalah J/C atau Volt, 1 Volt.

Dari persamaan (1) kita bisa menginterpretasikan makna dari potensial listrik  $V$  hubungannya dengan energi potensial  $W$ , bahwa :

*"1 Volt adalah bahwa dibutuhkan energi 1 Joule untuk memindahkan muatan sebesar 1 C dari satu titik ke titik yang lain".*

### 3. POTENSIAL DARI SUATU MUATAN TITIK

#### 3.1 Potensial Listrik dari Muatan Titik dan Hubungannya dengan Medan Listrik

Potensial di suatu titik, misalnya titik A (yang biasanya disebut potensial mutlak) adalah selisih atau beda potensial antara potensial di titik tersebut dengan sebuah titik yang amat jauh sehingga potensialnya bernilai nol, sehingga kita bisa dapatkan sebuah harga yang paling mendekati harga potensial "sebenarnya" :

$$\begin{aligned} V_A &= k \frac{q}{r_A} - k \frac{q}{r_\infty} \\ &\approx k \frac{q}{r_A} \end{aligned} \quad (2)$$

Titik acuan dengan jarak sangat jauh ini dipilih sebagai acuan umum karena memiliki potensial mendekati nol, sebagaimana analoginya di dalam potensial gravitasi kita pilih permukaan bumi sebagai acuan umum karena potensialnya nol.

Contoh :

Beda potensial antara dua kutub baterai mobil adalah sekitar 12 V. Berapa energi yang diberikan pada sebuah elektron ( $q_e = -1.602 \times 10^{-19} \text{C}$ ) Selama bergerak dari kutub positif ke kutub negatif ?

Jawab :

$$W = q \cdot \Delta V = (-1,602 \times 10^{-19})(-12 \text{V}) = 1,9 \times 10^{-18} \text{ J}$$

Contoh :

Sebuah elektron dengan muatan  $-1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$  dan massa  $9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$  semula dalam keadaan diam, sebuah beda potensial sebesar 30 kV kemudian bekerja padanya sehingga elektron bergerak. Hitunglah kecepatan elektron (dengan mengabaikan efek relativitas)

Jawab :

Karena terdapat beda potensial maka akan timbul energi sebesar  $qV$  yang kemudian terkonversi menjadi energi kinetik sehingga :

$$qV = \frac{1}{2} mv^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2qV}{m}} = \sqrt{\frac{2(1,6 \times 10^{-19})(3 \times 10^4)}{9,11 \times 10^{-31}}} \approx 1.03 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Untuk muatan titik karena potensial listrik dapat dihitung melalui persamaan (2) di atas :

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

sedangkan medan listrik dari muatan titik adalah :

$$E = k \frac{q}{r^2}$$

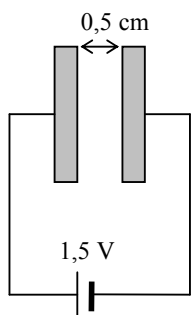
maka diperoleh hubungan antara potensial listrik dengan medan listrik :

$$\boxed{V = E \cdot r} \quad (3)$$

contoh :

dua buah pelat logam terhubung dengan sebuah beda potensial baterai 1,5 V. Jika jarak antar pelat 0,5 cm, berapakah medan yang terjadi di antara kedua pelat tersebut

Jawab :



dari persamaan (3) :

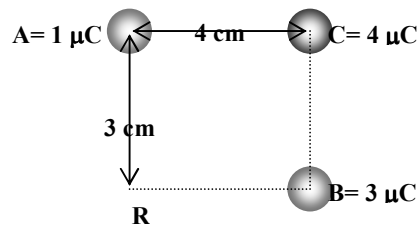
$$E = \frac{V}{r} = \frac{1,5}{5 \times 10^{-3}} = 300 \text{ V/m} = 300 \text{ N/C}$$

arah daari medam listrik ini adalah dari pelat kiri ke pelat kanan

### 3.2. Prinsip Superposisi pada Potensial Listrik

Perlu diingat bahwa potensial listrik  $V$  ini merupakan besaran skalar dan bukan vektor seperti halnya medan listrik dan gaya Coulomb sehingga untuk menjumlahkan potensial listrik cukup dijumlah secara skalar.

Contoh :



Hitunglah potensial di titik R :

Jawab :

$$V_A = k \frac{Q_A}{r_A} = 9 \times 10^9 \frac{10^{-6}}{3 \times 10^{-2}} = 3 \times 10^5 \text{ Nm/C}$$

$$V_B = k \frac{Q_B}{r_B} = 9 \times 10^9 \frac{3 \times 10^{-6}}{4 \times 10^{-2}} = 6,75 \times 10^5 \text{ Nm/C}$$

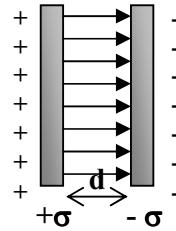
$$V_C = k \frac{Q_C}{r_C} = 9 \times 10^9 \frac{4 \times 10^{-6}}{5 \times 10^{-2}} = 7,2 \times 10^5 \text{ Nm/C}$$

sehingga potensial listrik total di R :

$$V_R = (3 + 6,75 + 7,2) \times 10^5 \text{ Nm/C} = 16,95 \text{ Nm/C}$$

### 3.3. Konsep Potensial Listrik Dalam Kapasitor

Kapasitor pada prinsipnya komponen elektronika yang terdiri dari dua buah konduktor (dalam hal ini berbentuk pelat) yang berlawanan muatan, masing-masing memiliki luas permukaan  $A$ , dan mempunyai muatan persatuan luas  $\sigma$ . konduktor yang dipisahkan oleh sebuah zat yang bersifat isolator atau dielektrik sejauh  $d$



Gb 3.4 Kapasitor Pelat Terdiri Dari Dua Pelat Konduktor yang Berlawanan Muatan. Diantara kedua konduktor terdapat bahan dielektrik

Maka karena berbentuk pelat, sehingga jumlah medan di antara kedua pelat adalah :

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{Q}{A \cdot \epsilon_0} \quad (4)$$

Maka beda potensial antara kedua pelat adalah :

$$V_{ab} = V_a - V_b = E \cdot d = \frac{Qd}{\epsilon_0 \cdot A} \quad (5)$$

Ukuran Kapasitor biasanya dinyatakan dalam kapasitansi. Secara fisis kapasitansi  $C$  adalah seberapa banyak sebuah kapasitor dapat menampung/diisi oleh muatan. Dalam hal ini :

$$C = \frac{Q}{V_{AB}} = \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (6)$$

Satuan kapasitor dalam SI adalah Farad.

Pembahasan kapasitor ini akan lebih terperinci pada bab khusus nanti.

## 5. POTENSIAL LISTRIK DARI MUATAN KONTINU

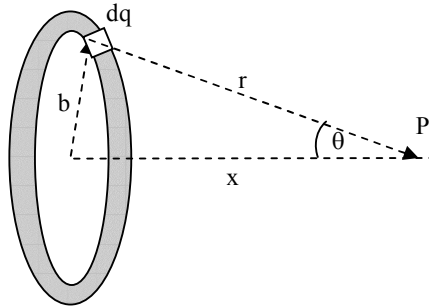
Dalam pembahasan di atas, kita telah memperoleh perumusan potensial listrik untuk muatan titik. Kasus yang lebih umum adalah jika muatan tidak lagi merupakan muatan titik, namun muatan kontinu. Muatan kontinu berarti muatan yang memiliki luas atau volume dan mempunyai kerapatan muatan tertentu yang biasanya diasumsikan merata (seragam).

Untuk sebuah muatan kontinu, potensial listrik sejauh  $r$  dihitng melalui persamaan :

$$V = k \int \frac{dq}{r} \quad (7)$$

Penggunaan persamaan (7) akan kita terapkan pada beberapa muatan kontinu berikut.

### 5.1 Potensial Dari Cincin Bermuatan



Gb 3.5 Potensial dari sebuah cincin bermuatan

Pandanglah sebuah cincin bermuatan dengan jari-jari  $b$  seperti gambar. Jika kita hitung besarnya potensial pada titik  $P$  sejauh  $x$  dari pusat lingkaran cincin atau sejauh  $r$  dari sebuah elemen muatan  $dq$ , maka dengan menggunakan persamaan (7) di atas :

$$V = k \int \frac{dq}{r}$$

jika kita nyatakan  $r$  dalam variabel  $b$  dan  $x$  maka :

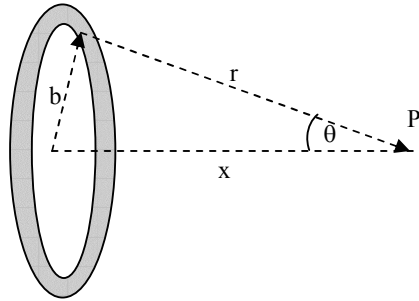
$$V = k \int \frac{dq}{\sqrt{b^2 + x^2}} = \frac{k}{\sqrt{b^2 + x^2}} \int dq$$

$$\boxed{V = \frac{kq}{\sqrt{b^2 + x^2}}} \quad (8)$$



Contoh :

Hitunglah potensial listrik dari sebuah cincin bermuatan dengan jari-jari 10 cm dengan muatan  $15 \mu\text{C}$  pada jarak 50 cm tegak lurus dari pusat cincin



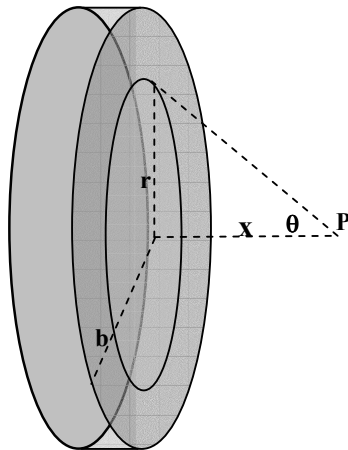
Jawab :

Dari persamaan (8) :

$$V = \frac{kq}{\sqrt{b^2 + x^2}} = \frac{(9 \times 10^9)(15 \times 10^{-6})}{\sqrt{(10^{-1})^2 + (5 \times 10^{-1})^2}}$$

$$= \frac{1,35 \times 10^5}{\sqrt{2,6 \times 10^{-1}}} \approx 2,65 \times 10^5 \text{ volt}$$

### 5.2 Potensial Dari Cakram Bermuatan



Gb 3.6 Potensial listrik sejauh x dari sumber muatan berbentuk cakram berjari-jari b

Sekarang kita hitung kasus lain, yaitu potensial listrik pada titik P sejauh x dari pusat benda berbentuk cakram dengan jari-jari b seperti pada gambar :

Kasus ini dapat dipandang sebagai penjumlahan dari muatan-muatan berbentuk cincin sebagaimana telah kita hitung di atas. Cincin-cincin ini jari-jarinya membesar mulai dari  $r = 0$  hingga  $r = b$  sehingga akhirnya membentuk cakram. Untuk itu kita tuliskan persamaan (8) dengan cincin

berjari-jari r bermuatan  $dQ$  sebagai berikut :

$$dV = k \frac{dq}{(r^2 + x^2)^{1/2}}$$

dengan  $dq = \text{rapat muatan} \times \text{luas cincin} = \rho(2\pi r \cdot dr)$

Medan akibat cincin ini kita integralkan dari  $r=0$  hingga  $r=b$ , sehingga :

$$V = k \int_0^b \frac{\rho 2\pi r dr}{(r^2 + x^2)^{1/2}} = k\rho\pi \int_0^b \frac{2r dr}{(r^2 + x^2)^{1/2}}$$

sekali lagi, ini tinggal persoalan kalkulus. Kita lakukan teknik substitusi variabel, di mana :

$$u = r^2 + x^2 \text{ dan } du = 2r dr$$

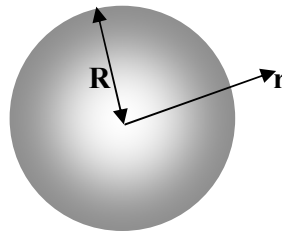
$$E = k\rho\pi \int_0^b \frac{du}{u^{1/2}} = 2k\rho\pi \sqrt{r^2 + x^2} \Big|_0^b$$

$$E = 2k\rho\pi(\sqrt{b^2 + x^2} - x) \quad (9)$$

### 5.3 Potensial Dari Bola Kosong Bermuatan

#### a. Potensial Listrik Sejauh r dimana $r \geq R$

Kasus ketiga kita hitung potensial listrik dari sebuah bola berrongga (kopong) bermuatan  $q$  dengan jari-jari  $R$  sejauh  $r$  dari pusat bola di mana  $r \geq R$ .



Gb 3.7 Bola Berrongga Bermuatan

Dalam bab sebelumnya kita telah menghitung medan listrik dari bola kosong bermuatan sejauh  $r$  yang hasilnya adalah :

$$E = \frac{kq}{r^2} \hat{r}$$

dari hubungan antara potensial  $V$  dengan medan listrik  $E$  seperti persamaan (3) dalam bentuk diferensial berikut :

$$dV = -E \cdot dr$$

sehingga :

$$V = -kq \int \frac{1}{r^2} \hat{r} dr = -kq \int \frac{1}{r^2} dr = \frac{kq}{r} + C$$

dengan  $C$  adalah konstanta yang kita ambil bernilai nol, yaitu pada  $r$  yang sangat jauh sehingga diperoleh potensial listrik sejauh  $r$  adalah :

$$V = k \frac{q}{r} \quad (10)$$

**b. Potensial Listrik Sejauh r dimana  $r < R$**

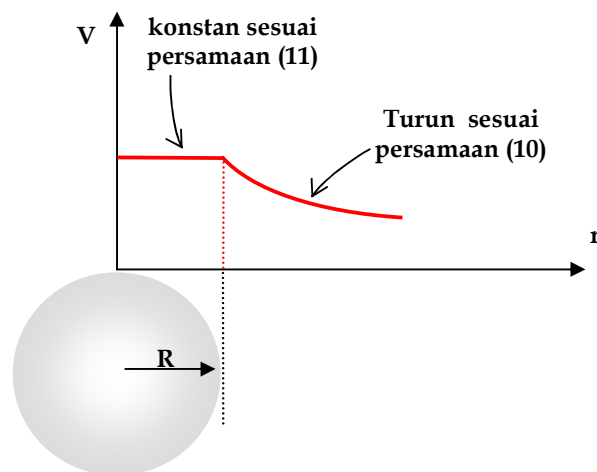
Untuk medan di dalam bola kosong telah kita hitung bahwa medan listriknya adalah nol, dengan demikian maka potensial listrik di dalam bola kosong adalah tetap, karena :

$$E = \frac{dV}{dr} = 0, \rightarrow V = \text{tetap}$$

yaitu :

$$V = k \frac{q}{R} \quad (11)$$

Jika kita ilustrasikan potensial listrik di dalam dan diluar bola kosong bermuatan maka diperoleh :

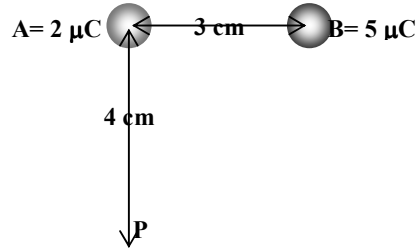


Gb 3.8 Perubahan  $V$  pada Bola Berrongga Bermuatan

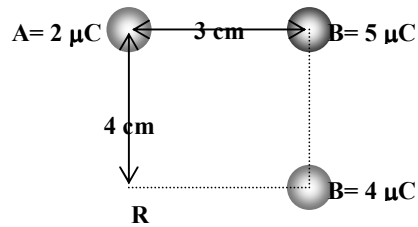
# SOAL-SOAL

## POTENSIAL dan ENERGI POTENSIAL

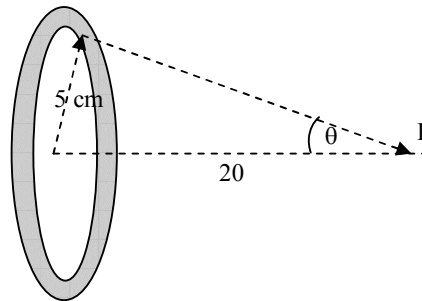
1. Hitunglah potensial di titik P :



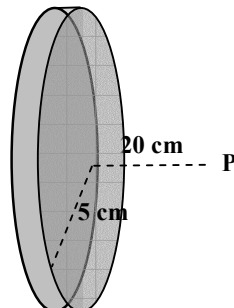
2. Hitunglah potensial di titik R :



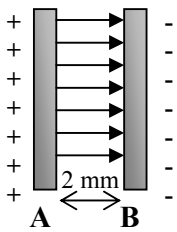
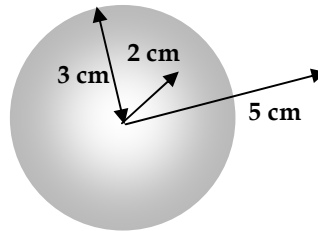
3. Hitunglah potensial listrik dari sebuah cincin bermuatan dengan jari-jari 5 cm dengan kandungan muatan  $10 \mu\text{C}$  pada jarak 20 cm tegak lurus dari pusat cincin



4. Hitunglah potensial listrik dari benda bermuatan  $25 \mu\text{C}$  berbentuk cakram dengan jari-jari 5 cm, sejauh 20 cm dari pusat cincin.



5. Hitunglah potensial listrik dari sebuah bola berrongga (kosong) bermuatan  $30 \mu\text{C}$  dengan jari-jari  $3 \text{ cm}$  sejauh :
- $2 \text{ cm}$  dari pusat bola
  - $5 \text{ cm}$  dari pusat bola



6. Pada gambar di samping beda potensial antar pelat adalah  $40 \text{ V}$ .
- Manakah yang memiliki potensial lebih tinggi ?
  - Berapakah usaha yang diperlukan untuk membawa suatu muatan  $+3\text{C}$  dari B ke A dan dari A ke B
  - Bila jarak antar pelat  $2 \text{ mm}$ , berapakah besarnya medan antar pelat ?
7. Kapasitor keping terdiri dari dua keping sejajar, masing-masing luasnya  $2 \text{ mm}^2$ , berjarak  $0,4 \text{ mm}$  dalam udara.
- Berapakah kapasitansinya ?
  - Jika kapasitor dihubungkan dengan sumber  $500 \text{ V}$ , berapakah muatan yang terhimpun di dalamnya
  - Berapa energi di dalamnya
  - Berapa medan listrik diantara pelat