

1 Kapasitor Lempeng Sejajar

Pada bab sebelumnya, telah dibahas medan listrik di sekitar lempeng-yang-sangat-luas yang bermuatan,

$$\vec{E} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \hat{n}, \quad (1)$$

dengan $\sigma = q/A$ adalah rapat muatan per satuan luas lempeng dan \hat{n} adalah vektor normal permukaan lempeng. Terlihat bahwa medan listrik tersebut tidak bergantung pada jarak titik pengukuran medan terhadap lempeng, artinya pada jarak berapapun dari lempeng, besar medan listrik bernilai sama. Selain itu, medan listrik juga bersifat seragam dan sejajar terhadap arah permukaan lempengan. Kedua benar hanya jika luas lempeng bermuatan sangat besar dibanding jarak pengukuran medan.¹

Jika ada lempeng bermuatan yang disusun bersebelahan secara sejajar, maka medan listrik di seluruh ruang akan merupakan hasil dari penjumlahan medan akibat masing-masing lempeng. Pada gambar (1), diberikan ilustrasi untuk dua lempeng sejajar dengan muatan yang sama besar namun berlawanan tanda. Sistem tersebut membentuk sistem *kapasitor* lempeng-sejajar. Medan listrik hanya terdapat di daerah antara dua lempeng, sementara medan di bagian lain bernilai nol.

Kuat medan listrik di daerah antara dua lempeng akan bernilai

$$E = 2 \cdot \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}, \quad (2)$$

dengan arah dari lempeng positif menuju lempeng negatif. Jika jarak antara kedua lempeng adalah d , maka beda potensial antarlempeng adalah

$$\Delta V = - \int E \, dr = Ed = \frac{qd}{\epsilon_0 A}, \quad (3)$$

dengan A adalah luas masing-masing lempeng. Terlihat bahwa beda potensial kedua lempeng sebanding dengan muatan yang tersimpan pada lempeng. Atau secara ekuivalen dapat dikatakan bahwa besar muatan yang tersimpan pada lempeng sebanding dengan beda potensial yang diberikan kepada kedua lempeng. Selanjutnya, didefinisikan *kapasitas kapasitor* (atau disebut juga *kapasitansi*) sebagai besar muatan yang tersimpan dalam kapasitor untuk tiap satuan beda potensial yang diberikan,

$$C \equiv \frac{q}{\Delta V}. \quad (4)$$

¹Berikut adalah ilustrasi untuk menggambarkan permukaan yang sangat luas. Misalkan ada dua nelayan yang menaiki perahunya masing-masing di tengah laut. Kedua nelayan ini terpisah sejauh beberapa kilometer dan tidak dapat saling berkomunikasi. Karena kedua nelayan tidak dapat melihat daratan, maka keduanya akan mengatakan lautan tempat mereka berada sangat luas dan masing-masing dapat mengklaim berada di *tengah* laut. Jika kemudian salah satu nelayan dijemput menggunakan helikopter oleh orang lain sehingga naik meninggalkan perahunya, ia akan dapat melihat daratan dari angkasa dan akan mengatakan lautan itu ternyata tidak seluas yang dibayangkannya saat masih berada di perahu. Jadi sebuah permukaan kecil pun akan terlihat luas jika dilihat dari titik yang sangat dekat dengan permukaan tersebut, contohnya permukaan papan tulis yang dilihat oleh seekor semut yang menempel padanya.

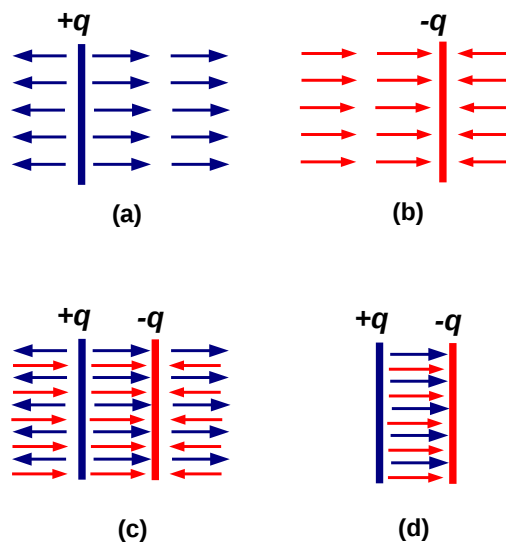


Figure 1 (a) Sebuah lempeng yang sangat luas bermuatan positif menghasilkan medan listrik yang sejajar dengan arah permukaan lempeng dan menjauhi lempeng. (b) Sebuah lempeng yang sangat luas bermuatan negatif menghasilkan medan listrik yang sejajar dengan arah permukaan lempeng dan menuju lempeng. (c) Lempeng bermuatan positif dan negatif didekatkan dan saling sejajar, membentuk *kapasitor lempeng sejajar*. Medan listrik akibat masing-masing lempeng pada daerah tengah (antara dua lempeng) searah, sedangkan pada daerah lain saling berlawanan arah. (d) Medan total pada sistem kapasitor lempeng sejajar hanya terdapat pada daerah di antara dua lempeng.

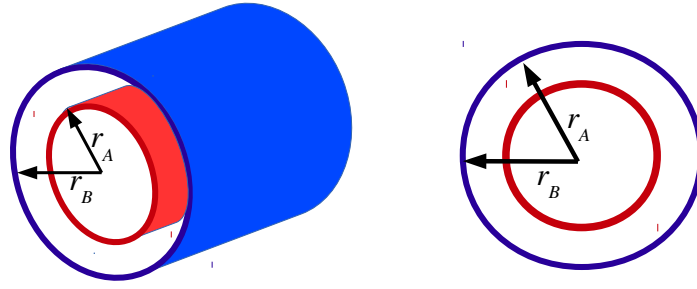


Figure 2 Kapasitor tabung.

Satuan untuk kapasitansi adalah *Farad*, diambil dari nama fisikawan Faraday. Untuk kapasitor lempeng sejajar, diperoleh nilai

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d}. \quad (5)$$

Terlihat bahwa kapasitansi akan meningkat jika luas lempeng diperbesar atau jarak antarlempeng diperkecil.

Soal 1 (seberapa besarkah satu Farad itu?). Jika kita ingin membuat kapasitor dengan kapasitansi 1 F menggunakan dua lempeng logam yang terpisah sejauh 0,1 mm, berapakah luas lempeng yang diperlukan?

2 Kapasitor sebagai Penyimpan Muatan

Jika salah satu lempeng kapasitor dihubungkan dengan kutub positif baterai dan lempeng yang lain dihubungkan dengan kutub negatif, maka kedua lempeng kapasitor tersebut akan bermuatan dengan besar muatan yang sama namun berlawanan tanda. Muatan pada kedua lempeng masih akan tetap berada pada lempeng meskipun baterai dilepas. Sehingga kapasitor berperan sebagai alat untuk menyimpan muatan. Jika kemudian masing-masing lempeng kapasitor dihubungkan dengan dua kaki lampu membentuk rangkaian tertutup, maka elektron pada lempeng negatif akan bergerak menuju lempeng positif dengan melewati lampu. Saat elektron melewati lampu, maka lampu akan menyala.

3 Kapasitor Tabung

Dua buah tabung yang disusun sesumbu (*koaksial*) dapat juga berperan sebagai kapasitor. Misal terdapat dua tabung masing-masing dengan jejari r_A dan r_B disusun sesumbu. Kemudian kedua tabung diberi muatan yang sama besar namun berlawanan tanda (misal tabung merah diberi muatan $-q$ dan tabung biru diberi muatan $+q$), maka menurut hukum Gauss medan listrik sistem ini hanya akan ada di daerah antara dua tabung ($r_A < r < r_B$), sedangkan medan pada daerah lain nol.

Medan di sebuah titik yang berjarak r dari pusat tabung pada daerah tersebut akan bernilai

$$E = \frac{q/l}{2\pi\epsilon_0} \frac{1}{r}, \quad (6)$$

dengan l adalah panjang tabung. Maka, beda potensial kedua tabung tersebut adalah

$$\Delta V = - \int_{r_A}^{r_B} E dr = \frac{q/l}{2\pi\epsilon_0} \ln \left(\frac{r_B}{r_A} \right). \quad (7)$$

Sehingga, kapasitas kapasitor tabung tersebut adalah

$$C = \frac{q}{\Delta V} = \frac{2\pi\epsilon_0 l}{\ln \left(\frac{r_B}{r_A} \right)}. \quad (8)$$

Jika jarak antara kedua kulit tabung semakin dekat, $r_A \rightarrow r_B$, maka nilai penyebut dari persamaan di atas akan menuju nol, sehingga nilai kapasitansi C akan menuju takhingga. Ini sesuai dengan kapasitas kapasitor lempeng pada bagian sebelumnya.

4 Kapasitor Bola

Dua bola konsentrik dapat juga berperan sebagai kapasitor saat tiap bola diberi muatan yang sama besar namun berlawanan tanda. Dari hukum Gauss, diperoleh medan listrik pada daerah antarpelat adalah

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \hat{r}, \quad (9)$$

sedangkan medan pada daerah lain bernilai nol. Jika jejari bola dalam adalah r dan bola luar $r + d$, maka beda potensial antara kedua bola adalah

$$\Delta V = - \int_{r+d}^r \vec{E} \cdot d\vec{r} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r+d} \right) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{d}{r(r+d)}. \quad (10)$$

Sehingga, kapasitansi kapasitor bola adalah

$$C = \frac{q}{\Delta V} = 4\pi\epsilon_0 \frac{r(r+d)}{d}. \quad (11)$$

Terlihat bahwa jika jarak antarpermukaan bola semakin dekat (nilai d mengecil) maka kapasitansi semakin besar. Demikian juga ketika jejari bola (r) membesar, maka permukaan kapasitor semakin luas dan kapasitansinya membesar. Hal ini bersesuaian dengan kapasitansi kapasitor lempeng sejajar.

5 Kapasitor dengan Dielektrik

Di dalam bahan *dielektrik* (isolator) muatan negatif dan positif tersebar merata di seluruh bagian bahan. Jika bahan dalam keadaan netral, tiap-tiap muatan membentuk pasangan dwikutub (dipol) positif-negatif dengan arah kutub yang acak. Saat bahan dielektrik (isolator)

disisipkan ke dalam ruang di antara kedua lempeng kapasitor, maka tiap-tiap dwikutub akan sehingga arah polarisasinya berlawanan dengan arah medan akibat lempeng kapasitor. Bagian dielektrik yang dekat dengan lempeng positif kapasitor akan bermuatan negatif dan bagian lain yang dekat dengan lempeng negatif akan bermuatan positif. Sehingga, muncul medan listrik di dalam bahan dielektrik yang arahnya berlawanan dengan medan listrik lempeng kapasitor. Besar medan listrik dalam bahan tersebut (disimbolkan dengan \vec{E}_1) akan sebanding dengan medan listrik kapasitor (\vec{E}_0). Dapat dituliskan

$$\vec{E}_1 = -\chi\vec{E}_0, \quad (12)$$

dengan χ suatu konstanta dengan nilai $0 \leq \chi < 1$. Medan ini dapat dipandang sebagai *medan imbas* (induksi) saat bahan dielektrik berada pada daerah yang dipengaruhi medan listrik luar sebesar E_0 . Akibat kehadiran medan listrik dalam bahan dielektrik, maka medan listrik total dalam kapasitor akan menjadi

$$\vec{E}_{\text{total}} = \vec{E}_0 + \vec{E}_1 = (1 - \chi)\vec{E}_0, \quad (13)$$

dan beda potensial antarlempeng kapasitor menjadi

$$\Delta V = - \int \vec{E}_{\text{total}} \cdot d\vec{r} = (1 - \chi) E_0 d, \quad (14)$$

dengan d jarak antarlempeng kapasitor. Sehingga, diperoleh kapasitas kapasitor sebesar

$$C = \frac{q}{\Delta V} = \frac{1}{1 - \chi} \frac{\varepsilon_0 A}{d}. \quad (15)$$

Dengan menuliskan kembali konstanta $\frac{1}{1-\chi}$ sebagai κ (rentang nilai κ : karena $0 \leq \chi < 1$ maka $1 \leq \kappa < \infty$) dan $C_0 = \frac{\varepsilon_0 A}{d}$ sebagai kapasitas kapasitor tanpa dielektrik, persamaan terakhir dapat ditulis menjadi

$$C = \kappa C_0. \quad (16)$$

Terlihat bahwa kapasitansi kapasitor akan berubah menjadi κ kali lipat dibanding tanpa dielektrik.

Konstanta κ disebut sebagai konstanta dielektrik. Beberapa buku menuliskan κ sebagai ε_r yaitu *permitivitas relatif* suatu bahan jika dibandingkan dengan permitivitas vakum atau udara ε_0 . Selanjutnya, permitivitas bahan dituliskan sebagai $\varepsilon = \kappa\varepsilon_0$ atau $\varepsilon = \varepsilon_r\varepsilon_0$.