

A. HUKUM COULOMB

Charles Augustin de Coulomb (1736-1806) mengkaji gaya interaksi partikel-partikel bermuatan secara rinci pada tahun 1784. Dia menggunakan sebuah neraca torsi. Neraca torsi adalah neraca yang dapat mengukur gaya yang sangat kecil. Neraca ini juga dirancang oleh Coulomb sendiri tahun 1777. Percobaan serupa dilakukan oleh Henry Cavendish tahun 1798 untuk membuktikan hukum gravitasi Newton. { **Abdullah Mikrajjudin, Fisika Dasar II (Institut Teknologi Bandung, 2017), hlm.04.** }.

Menurut Coulomb, muatan listrik saling menghasilkan gaya yang menyerupai gaya yang dilakukan oleh massa. Dua buah muatan listrik saling mengerjakan gaya yang besarnya berbanding lurus dengan perkalian dua muatan dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak keduanya. Dengan demikian, bentuk persamaan gaya untuk muatan listrik persis sama dengan persamaan gaya untuk massa. Namun, yang berbeda adalah pada gaya gravitasi hanya ada satu jenis massa, yaitu massa positif. Sedangkan muatan listrik terdapat dua jenis, yaitu muatan positif dan muatan negatif. Akibatnya, gaya gravitasi hanya memiliki satu jenis gaya, yaitu gaya tarik. { **Abdullah Mikrajjudin, Fisika Dasar II (Institut Teknologi Bandung, 2017), hlm.02.** }

Untuk muatan-muatan titik (*point charges*), yakni benda bermuatan yang sangat kecil dibanding dengan jarak r di antara muatan-muatan itu. Coulomb mendapati bahwa gaya listrik itu sebanding dengan $1/r^2$. Yakni, bila jarak r menjadi dua kali lipat, maka gaya itu berkurang menjadi $\frac{1}{4}$ nilainya semula namun bila jarak itu menjadi setengahnya maka gaya itu bertambah menjadi empat kali nilainya semula.

{ **Freedman & Young, Fisika University Edisi Kesepuluh Jilid 2 (Jakarta: Erlangga, 2003), hlm. 89.** }.

Gaya Coulomb adalah gaya yang paling dominan di alam semesta yang secara langsung menentukan bentuk dan wujud benda. Gaya antar elektron dan proton membentuk atom merupakan gaya Coulomb. Gaya antar atom

membentuk molekul adalah gaya Coulomb. Gaya antar molekul membentuk material besar, atau gaya antar atom-atom membentuk kristal-kristal besar juga gaya Coulomb. Bentuk tubuh kita, bentuk tumbuh-tumbuhan dan hewan seperti yang tampak saat ini juga dipengaruhi oleh gaya Coulomb antar atom atau molekul penyusunnya. Gaya Coulomb menyebabkan elektron-elektron mengalir dalam konduktor sehingga muncul arus atau listrik. Kemampuan kita mengontrol arus atau tegangan listrik memungkinkan kita menciptakan teknologi.

{ Abdullah Mikrajjudin, Fisika Dasar II (Institut Teknologi Bandung, 2017), hlm.07. }

Coloumb mendapati bahwa gaya-gaya yang dikerahkan oleh kedua muatan titik q_1 dan q_2 pada satu sama lain adalah sebanding dengan setiap muatan dan karena itu maka akan sebanding dengan hasil kali q_1q_2 dari kedua muatan itu. Dengan demikian, Coloumb memperkenalkan Hukum Coloumb (*Coloumb's law*) : “Besarnya gaya listrik di antara dua muatan titik berbanding langsung dengan hasil kali muatan-muatan itu dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak di antara muatan-muatan itu”. Dalam suku-suku matematika, besarnya F dari gaya yang dikerahkan oleh masing-masing dari kedua muatan q_1 dan q_2 (yang berjarak r) terhadap satu sama lain dapat dinyatakan sebagai berikut

$$F = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2},$$

Dimana k adalah sebuah konstanta kesebandingan yang nilai numeriknya bergantung pada sistem satuan yang digunakan. Garis-garis tegak nilai absolut karena muatan q_1 dan q_2 dapat positif atau negatif sedangkan besarnya gaya F selalu positif. Kesebandingan gaya listrik dengan $1/r^2$ telah dibuktikan dengan ketelitian yang besar. Tidak ada alasan untuk mencurigai bahwa eksponen itu adalah sesuatu yang berbeda dari tepat angka 2. Jadi bentuk persamaannya sama seperti bentuk hukum gravitasi. Tetapi interaksi listrik dan interaksi gravitasi adalah dua golongan fenomena yang berbeda.

Nilai konstanta kesebandingan k dalam hukum Coloumb bergantung pada sistem satuan yang digunakan. Dalam kajian mengenai listrik dan kemagnetan menggunakan satuan SI secara eksklusif. Satuan SI dari muatan

listrik dinamakan satu coulomb (1C). Persamaan dalam satuan SI konstanta adalah

$$k = 8,9877551787 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2 = 8,988 \times 10^9 \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$$

{ Freedman & Young, Fisika University Edisi Kesepuluh Jilid 2 (Jakarta: Erlangga, 2003), hlm. 89. }.

Muatan 1 coulomb sebenarnya muatan yang sangat besar. Sebagai ilustrasi muatan 1 elektron hanya $1,602 \cdot 10^{-19}$ C. Jadi, muatan 1 coulomb disumbang oleh $1/(1,602 \cdot 10^{-19}) = 6,24 \cdot 10^{18}$ buah elektron. Massa atomik emas adalah 197. Dengan demikian, emas 1 g mengandung 0,0051 mol atom yang setara dengan $0,0051 \cdot N_A = 0,0051 \cdot (6,02 \cdot 10^{23}) = 3,07 \cdot 10^{21}$ atom, dengan N_A adalah bilangan Avogadro. Satu atom emas mengandung 79 elektron dan 79 proton. Jadi satu 1 gram emas mengandung $79 \cdot (3,07 \cdot 10^{21}) \cdot (1,602 \cdot 10^{-19}) = 4,6 \cdot 10^4$ C muatan negative dan $4,6 \cdot 10^4$ C muatan positif. Dengan cara perhitungan yang sama maka kita dapatkan 1 gram air mengandung $5,4 \cdot 10^4$ C muatan negatif dan $5,4 \cdot 10^4$ C muatan positif. { Abdullah Mikrajjudin, Fisika Dasar II (Institut Teknologi Bandung, 2017), hlm.07-08. }

Pada prinsipnya kita dapat mengukur gaya listrik F di antara dua muatan q yang sama pada jarak terukur r dan kita dapat menggunakan hukum Coulomb untuk menentukan muatan itu. Dalam SI kita biasanya menuliskan konstanta k sebagai $1/4\pi\epsilon_0$, dimana ϵ_0 (“epsilon nol”) adalah sebuah konstanta lain.

Sekarang kita akan meningkatkan pembahasan untuk menentukan gaya listrik sejumlah muatan. Gaya yang dialami sebuah muatan akibat pengaruh sejumlah muatan lain sama dengan jumlah secara vector gaya yang dihasilkan masing-masing muatan lain tersebut. Dari sini menjadi jelas di sini bahwa penggunaan notasi vector sangat bermanfaat dalam mencari gaya total tersebut. Misalkan kita memiliki muatan q_1, q_2, q_3 , dan q_4 . Kita ingin mencari berapa gaya total yang dialami muatan q_4 . Misalkan koordinat posisi muatan q_1 adalah r_1 , koordinat posisi muatan q_2 adalah r_2 , koordinat posisi muatan q_3 adalah r_3 , dan koordinat posisi muatan q_4 adalah r_4 . Kita akan

mencari gaya total yang dialami muatan q_4 . Gaya yang dilakukan muatan q_1 , q_2 , dan q_3 pada muatan q_4 masing-masing adalah

$$F_4 = F_{41} + F_{42} + F_{43}$$

{ Abdullah Mikrajjudin, Fisika Dasar II (Institut Teknologi Bandung, 2017), hlm.07-08. }

Hukum Coulomb hanya menggambarkan interaksi dari dua muatan titik. Eksperimen memperlihatkan bahwa bila dua muatan mengerahkan gaya secara serempak pada sebuah muatan ketiga, maka gaya total yang beraksi pada muatan itu adalah jumlah vektor dari gaya-gaya yang dikerahkan oleh kedua muatan secara individu. Sifat penting ini dinamakan prinsip superposisi gaya-gaya (*principle of superposition of forces*), berlaku untuk sebarang muatan. { Freedman & Young, Fisika University Edisi Kesepuluh Jilid 2 (Jakarta: Erlangga, 2003), hlm. 90. }.

Singkat kata, hukum Coulomb seharusnya digunakan hanya untuk muatan-muatan titik dalam ruang hampa. Jika materi berada dalam ruang di antara muatan-muatan itu, gaya netto yang beraksi pada setiap muatan diubah karena muatan-muatan induksi dalam molekul bahan yang menyelangi muatan-muatan tersebut. { Freedman & Young, Fisika University Edisi Kesepuluh Jilid 2 (Jakarta: Erlangga, 2003), hlm. 91. }.