

Muatan Listrik dan Hukum Coulomb

Drs. Suyoso, M.Si.



PENDAHULUAN

Kebutuhan listrik dalam kehidupan sehari-hari, baik di bidang industri, komunikasi, transportasi, dan untuk rumah tangga sangat penting. Hal itu disebabkan sebagian besar dari peralatan industri, komunikasi, transportasi dijalankan dengan listrik termasuk peralatan elektronik dalam rumah tangga. Listrik yang digunakan untuk menjalankan peralatan tersebut merupakan listrik mengalir.

Pada Modul 1 ini Anda diajak mempelajari kelistrikan dengan muatan tak mengalir. Dalam modul ini Anda akan mempelajari sejarah gejala listrik statis, muatan elementer, percobaan milikan, induksi muatan dan hukum Coulomb. Materi ini merupakan dasar untuk mempelajari tentang kelistrikan lebih lanjut baik kelistrikan tak mengalir maupun listrik mengalir.

Pemahaman dan penguasaan terhadap materi yang disajikan ini akan sangat bermanfaat bagi Anda dalam mempersiapkan dan menyelenggarakan pengajaran. Selain itu dapat memantapkan pemahaman Anda tentang gejala kelistrikan statis.

Setelah mempelajari modul ini Anda diharapkan dapat menerapkan konsep muatan listrik dan hukum coulomb pada peristiwa timbulnya muatan listrik dan interaksi antarmuatan listrik.

Sebagai penjabaran dari tujuan di atas, setelah mempelajari modul ini Anda diharapkan dapat:

1. menjelaskan sejarah gejala listrik statis;
2. menjelaskan pengertian muatan elementer;
3. menjelaskan prinsip percobaan milikan,
4. menunjukkan proses pemberian muatan secara induksi;
5. menjelaskan interaksi antarmuatan listrik berdasarkan hukum Coulomb;
6. menentukan besar gaya interaksi antarmuatan listrik.

KEGIATAN BELAJAR 1

Gejala Listrik Statis

A. SEJARAH GEJALA MUATAN LISTRIK

Seorang guru fisika sering melakukan demonstrasi di depan kelas untuk menunjukkan gejala muatan listrik. Dia menggosok-gosokan penggaris plastik atau batang ebonit dengan bont (kulit berbulu) misalnya kulit kucing atau rambut kepala yang tidak berminyak. Setelah digosok-gosokan beberapa saat, bila penggaris atau batang ebonit dimasukkan dalam mangkok berisi potongan kertas kecil-kecil maka kertas tersebut sebagian akan menempel pada penggaris. Lazimnya dikatakan bahwa akibat gosokan tadi, batang/penggaris tersebut mengalami **keadaan elektrik**, menjadi elektrik atau bermuatan listrik.

Gejala seperti di atas ternyata telah diketahui oleh ahli pikir Yunani kuno 600 sebelum Masehi, yaitu **Tahles**. Dia menyebut gejala *batu ambar* yang dalam bahasa Yunani disebut *elektron* yang bila digosok dengan bulu dapat menarik benda-benda ringan. Pada tahun 1001, **Plinius** menyebut juga sifat batu ambar yang dapat menarik benda-benda ringan.

Munculnya gejala tersebut menarik perhatian **Dr. William Gilbert** (1540-1603) untuk melakukan percobaan tentang listrik gosokan pada bermacam-macam zat selain batu ambar. Hasil percobaannya menyatakan bahwa untuk belerang, lilin dan gelas mempunyai sifat seperti batu ambar dan dinamakan zat listrik. Sedangkan untuk logam dia gagal menunjukkan sifatnya yang menyamai sifat batu ambar. Kegagalannya ternyata disebabkan ia tidak mengisolasi logam tersebut. Zat yang tidak memiliki sifat seperti batu ambar disebut zat nonelektrik.

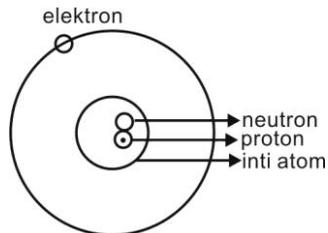
Berdasarkan eksperimen yang dilakukan, **Du Fay** (1698-1739) pada tahun 1737 menyimpulkan bahwa ada dua jenis sifat kelistrikan, yaitu listrik senama tolak-menolak dan listrik tidak senama tarik-menarik. Untuk membedakan dengan jelas antara kedua sifat listrik itu maka Benyamin Franklin (1706-1790) pada 1747 memberi nama kedua jenis listrik tersebut *listrik positif* dan *listrik negatif*.

Du Fay dalam eksperimennya ternyata hanya berhasil mengetahui adanya gaya tolak/gaya tarik antara kedua jenis listrik tersebut. Sedangkan besarnya gaya tolak/gaya tarik kedua listrik tersebut tidak dijelaskan oleh Du

Fay. Untuk mengetahui besarnya gaya tolak/gaya tarik tersebut **Coulomb** (1736-1806), pada tahun 1785 telah melakukan pengukuran dengan menggunakan neraca puntiran. Hasil pengukurannya Coulomb menemukan bahwa *besarnya gaya tolak atau gaya tarikan antara dua muatan berbanding langsung dengan hasil kali muatan-muatannya dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antar keduanya*. Hukum Coulomb ini akan dibicarakan lebih rinci di bagian lain dalam modul ini.

B. LISTRIK DAN MATERI

Materi dan listrik mempunyai hubungan sangat erat, sebab listrik merupakan sifat yang tertaut pada butir-butir materi. Hal ini dapat dilihat dalam susunan atom. Atom merupakan bagian paling kecil dari zat yang terdiri dari inti atom dan elektron yang mengelilinginya. Sedangkan inti atom terdiri dari proton dan neutron. Dalam struktur atom tersebut elektron yang mengelilingi inti bermuatan negatif, proton bermuatan positif dan neutron tidak bermuatan. Oleh karena itu inti atom merupakan bagian atom yang bermuatan positif. Gambar 1.1 di bawah ini merupakan model atom Hidrogen sebagai visualisasi uraian di atas.



Gambar 1.1.
Atom Hidrogen

Elektron bermuatan negatif dan proton bermuatan positif merupakan sifat kelistrikan dalam suatu materi. Ditinjau dari sifat kelistrikannya maka antara atom satu dengan atom lainnya dapat melakukan interaksi elektromagnet. Secara materi antara dua atom dapat melakukan interaksi gravitasi, hal ini disebabkan atom memiliki massa. Inti yang berada dalam atom tersebut menyebabkan adanya interaksi kuat (inti) antara dua atom. Di samping ketiga interaksi tersebut di atas maka antara dua atom dapat

melakukan interaksi beta (lemah). Sifat kelistrikan dalam atom tersebut dapat digunakan untuk menjelaskan suatu atom bermuatan listrik atau netral.

C. LISTRIK GOSOK

Pada umumnya suatu materi/atom adalah netral, artinya jumlah proton (muatan positif) sama dengan jumlah elektron (muatan negatif). Jika suatu materi/atom memiliki jumlah proton dan elektron tidak sama maka materi/atom tersebut dikatakan bermuatan listrik. Suatu atom yang memiliki jumlah proton lebih banyak dari jumlah elektron dikatakan kelebihan proton. Atom yang kelebihan proton disebut **atom bermuatan positif**, sebaliknya bila dalam suatu atom kelebihan elektron (jumlah elektron lebih banyak dari proton) maka atom tersebut **bermuatan negatif**.

Elektron dalam suatu materi mempunyai sifat mudah berpindah dari atom satu ke atom lain. Dengan menggunakan sifat tersebut maka suatu benda netral dapat dibuat bermuatan listrik. Untuk membuat benda netral menjadi bermuatan listrik dengan cara menggosok benda satu dengan benda lain. Bila dua benda saling digosokkan maka elektron dari salah satu benda akan berpindah ke benda lain sehingga benda yang satu kekurangan elektron dan benda lain kelebihan elektron. Pemberian muatan dengan cara menggosok ini disebut listrik gosok.

Dua benda yang saling digosokkan tidak selalu menghasilkan listrik gosok, oleh karena itu dari hasil eksperimen telah disusun deretan zat-zat yang dapat menghasilkan listrik gosok. Deretan zat-zat tersebut disebut deret **tribolistrik**. Deretan zat-zat tersebut disusun secara urut dari atas ke bawah sebagai berikut,

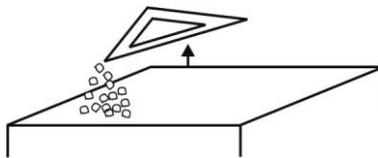
- Bulu kelinci
- Gelas
- Mika
- Wol
- Bulu kucing
- Sutera
- Kapas
- Kayu
- Ambar
- Damar
- Logam (Cu, Ni, Ag, dan lain-lain)

Belerang
Logam (Pt, An)
Seluloid

Daftar 1.1 Deret Tribolistrik (Yohanes, 1978)

Zat-zat dalam susunan deret tribolistrik tersebut telah dibuat sedemikian rupa sehingga suatu zat dalam deret akan memperoleh muatan negatif bila digosok dengan sembarang zat di atasnya. Sebaliknya bila zat tersebut digosok dengan sembarang zat yang berada di bawahnya maka akan bermuatan positif. Sebagai contoh, mika digosok dengan gelas maka akan bermuatan negatif, sebaliknya apabila mika digosok dengan wol maka mika akan bermuatan positif. Hal itu disebabkan menurut kaidah Coehn bahwa antara dua zat yang tetapan dielektriknya berbeda saling digosokkan (dikontakkan) maka zat yang dielektrikunya lebih besar akan memperoleh muatan positif.

Untuk kepentingan demonstrasi tentang benda bermuatan listrik dengan cara digosok, mungkin sukar untuk mendapatkan benda-benda yang ada pada deret tribolistrik tersebut. Secara sederhana untuk kepentingan demonstrasi dapat digunakan benda di sekitar yang mudah didapat, misalnya penggaris plastik digosok dengan sapu tangan atau rambut kepala yang kering (*tidak berminyak*) dapat menarik potongan kertas kecil-kecil.



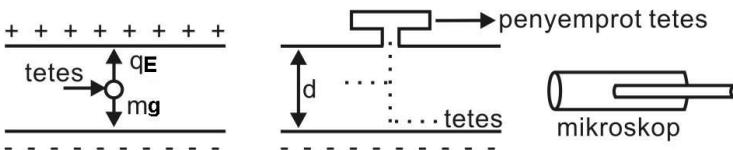
Gambar 1.2
Penggaris Plastik Menarik Potongan Kertas Kecil

D. MUATAN ELEMENTER

Sebuah elektron mempunyai kuantum muatan elementer atau muatan keunsuran. Apakah muatan elementer itu? Berapakah besar muatan elementer tersebut? Untuk mengetahui jawaban dari kedua pertanyaan tersebut dapat disimak uraian berikut ini.

Pada percobaan dengan materi termasuk percobaan Millikan belum pernah ditemukan suatu muatan yang lebih kecil dari muatan elektron atau proton. Oleh karena itu, muatan ini dianggap sebagai “atom” listrik, yaitu muatan yang tidak dapat dibagi-bagi lagi dan dinamakan muatan keunsuran atau muatan elementer dan diberi simbol e .

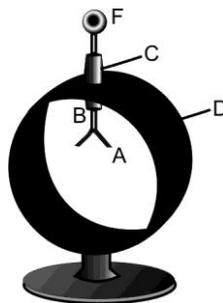
Pengukuran besarnya muatan elementer e secara langsung telah dilakukan oleh **Millikan** antara tahun 1909-1913. Prinsip percobaan Millikan adalah penyemprotan tetes-tetes minyak ke dalam ruang antara dua lempeng kondensator horisontal yang terpisah sejauh d . Kedua lempeng tersebut diberi potensial V sehingga ruang di antara lempeng terdapat medan listrik $\mathbf{E} = V/d$ (pengertian \mathbf{E} dan V akan diuraikan pada Modul 2 dan Modul 3). Tetes-tetes minyak yang disemprotkan ke dalam ruang tersebut diamati dengan mikroskop dalam sorotan sinar cahaya melintang sehingga terlihat butir-butir debu beterbangan. Tetes-tetes minyak itu dapat memperoleh muatan akibat gesekan pada penyemprotan. Muatan tetes dapat ditentukan dengan dua pengamatan, yaitu (1) diamati kecepatan tetes jatuh bebas pada saat tidak ada beda potensial (V tidak terpasang), (2) dipasang medan listrik $\mathbf{E} = V/d$ dan diatur sedemikian sehingga tetes melayang-layang atau dipasang medan listrik \mathbf{E} dan diamati kecepatan tetes yang bergerak ke atas atau ke bawah. Dengan dua pengamatan tersebut dan memperhitungkan besaran-besaran yang berpengaruh dalam percobaan, yaitu gesekan Stokes, gaya berat tetes, gaya listrik pada tetes maka besarnya muatan elementer $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ coulomb. Perhitungan matematikanya tidak disajikan dalam modul ini karena besaran gaya listrik yang dikaitkan dengan medan listrik belum dibahas. Visualisasi secara sederhana dari percobaan Millikan dapat dicermati pada Gambar 1.3 di bawah ini.



Gambar 1.3
Percobaan Millikan 1

E. ELEKTROSKOP DAN INDUKSI MUATAN

Telah dijelaskan bahwa suatu benda dapat bermuatan listrik dengan cara benda tersebut digosok dengan benda lain sesuai dengan kaidah Coehn. Untuk membuktikan benda bermuatan listrik digunakan alat **elektroskop**. Elektroskop adalah alat yang digunakan untuk mengetahui suatu benda bermuatan atau netral. Elektroskop ada beberapa macam, namun dapat dilambangkan dengan Gambar 1.4 di bawah ini.



Gambar 1.4
Elektroskop Daun

Elektroskop seperti Gambar 1.4 di atas disebut elektroskop daun. Elektroskop daun terdiri dari dua lembaran tipis emas perada atau aluminium yang merupakan daun A. Daun A dihubungkan dengan logam B yang melewati penyangga C dari bahan karet. Daun A yang dihubungkan dengan logam B lewat penyangga C tersebut dilindungi kotak D yang transparan (*dapat dilihat dari luar*). Kotak D ini berfungsi melindungi sistem dari arus udara luar. Bagian elektroskop yang menonjol keluar dan berbentuk bola adalah tombol elektroskop F. Apabila tombol elektroskop F ini disentuh dengan suatu benda ternyata lembaran tipis A mengembang maka benda yang disentuhkan tadi dikatakan bermuatan listrik. Sebaliknya apabila daun A tidak mengembang (tidak ada reaksi) maka dikatakan benda tersebut tidak bermuatan atau netral. Peristiwa persentuhan benda dengan tombol elektroskop yang berakibat daun A mengembang tidak memandang benda itu bermuatan positif atau negatif. Pada dasarnya semua benda yang bermuatan listrik bila disentuhkan pada tombol F akan menyebabkan daun A mengembang. Hal ini menunjukkan bahwa elektroskop tidak dapat

mendeteksi jenis muatan dari benda yang disentuhkan, tetapi elektroskop hanya dapat mendeteksi benda itu bermuatan atau netral.

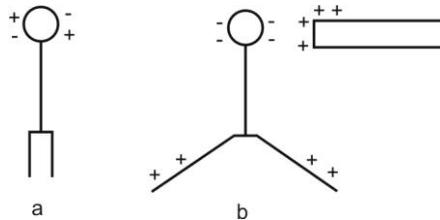
Elektroskop daun dapat diperoleh dengan mudah di pasaran, artinya dengan menyediakan dana alat tersebut dapat dipesan. Tetapi apabila tidak ada dana maka elektroskop daun dapat dibuat dengan menggunakan barang bekas yang ada di lingkungan sekitar. Misalnya, untuk daun A dapat digunakan kertas platina (kertas grenjeng), kemudian untuk logam B digunakan kawat kopling sepeda motor vespa. Dalam hal ini tidak perlu penyangga dan bola logam sebagai tombol elektroskop, sebab kawat kopling sudah dapat berfungsi sebagai tombol F. Sedangkan untuk kotak pelindung D dapat digunakan bahan apa saja yang penting transparan misalnya, bola lampu bekas yang dihilangkan isi bagian dalamnya, botol kecap, botol plastik minuman aqua dan lain-lain. Berdasarkan pengalaman alat elektroskop sederhana tersebut juga dapat digunakan untuk kegiatan demonstrasi dalam proses belajar-mengajar.

Peristiwa mengembangnya daun elektroskop saat tombol elektroskop disentuh oleh benda bermuatan listrik disebabkan oleh adanya induksi muatan. Apakah induksi muatan itu? Untuk menjawab pertanyaan tersebut harus didasarkan pada sifat-sifat muatan listrik.

Telah diuraikan di atas bahwa bila dua muatan senama didekatkan maka keduanya akan saling tolak-menolak, sebaliknya muatan tidak senama didekatkan akan tarik-menarik. Sifat tersebut akan diterapkan pada peristiwa mengembangnya daun elektroskop saat tombol disentuh benda bermuatan listrik.

Elektroskop pada awal sebelum disentuh oleh benda bermuatan dalam keadaan netral dan semua muatan berada pada permukaan tombol elektroskop. Keadaan tersebut ditunjukkan oleh posisi daun elektroskop yang sejajar. Bila tombol elektroskop disentuh oleh benda bermuatan (*misal bermuatan positif*) maka muatan-muatan negatif yang ada pada permukaan tombol elektroskop akan mengadakan interaksi tarik-menarik dengan benda yang bermuatan positif tersebut. Sebaliknya semua muatan positif yang berada di permukaan tombol elektroskop mengadakan interaksi tolak-menolak dengan benda yang disentuhkan tadi. Akibat dari interaksi tolak-menolak tersebut muatan-muatan positif pada permukaan tombol elektroskop menjauhi muatan benda dan berada pada kedua daun elektroskop. Jadi, kedua daun elektroskop terisi dengan muatan sejenis yaitu muatan positif sehingga kedua daun mengadakan interaksi tolak-menolak dan gejala tersebut

ditunjukkan oleh mengembangnya daun elektroskop. Peristiwa tersebut bila dicermati maka akan dapat diperoleh suatu gejala adanya pemisahan antara muatan positif dan muatan negatif yang ada di elektroskop. Untuk memperjelas timbulnya gejala pemisahan tersebut dapat dicermati pada Gambar 1.5. di bawah ini.



Gambar 1.5

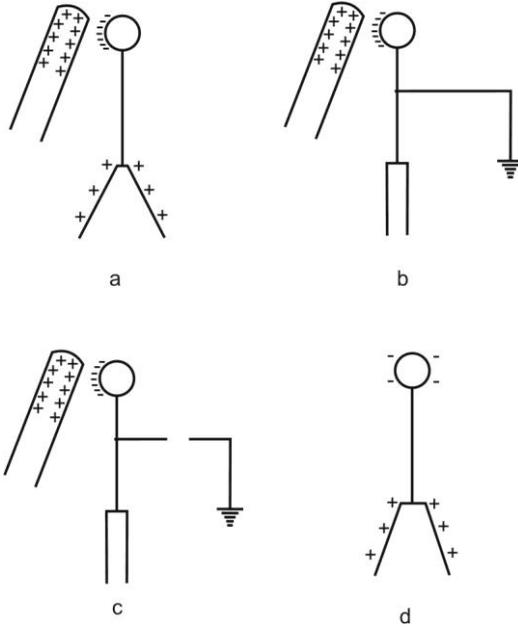
- a. Elektroskop dalam Keadaan Netral
 b. Elektroskop pada Saat Disentuh Benda Bermuatan Positif

Peristiwa pemisahan muatan positif dan muatan negatif pada benda netral disebut **induksi**.

F. PEMBERIAN MUATAN DENGAN CARA INDUKSI

Gejala induksi yang telah dijelaskan di atas dapat digunakan untuk memberikan muatan pada suatu logam netral, artinya logam tersebut menjadi bermuatan listrik. Untuk memudahkan, dalam pembahasan ini dapat ditinjau kembali gejala induksi pada elektroskop dengan memperhatikan Gambar 1.6. Pada saat elektroskop didekati oleh benda bermuatan listrik (misal muatan positif) maka dalam elektroskop akan terjadi pemisahan muatan (Gambar 1.6a.). Dalam posisi seperti Gambar 1.6.a. elektroskop dihubungkan tanah dengan cara menyentuhkan jari telunjuk pada elektroskop atau menghubungkannya dengan kawat (Gambar 1.6b.). Akibat dari hal tersebut muatan-muatan positif pada elektroskop akan mengalir ke tanah melalui jari, badan dan kaki atau melalui kawat. Hal ini berarti di dalam elektroskop tinggal berisi muatan negatif yang mengadakan interaksi tarik-menarik dengan muatan positif dari benda. Bila hubungan dengan tanah diputus yaitu jari ditarik atau kawat diputus maka posisi muatan dalam elektroskop seperti Gambar 1.6c. Kemudian, benda bermuatan positif yang didekatkan elektroskop ditarik atau dijauhkan maka muatan negatifnya akan mengisi

seluruh elektroskop (Gambar 1.6d). Elektroskop sekarang menjadi bermuatan negatif.

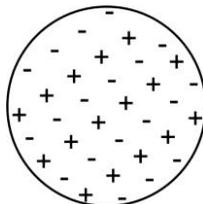


Gambar 1.6
Pemuatan dengan Induksi

Berdasarkan pemuatan pada elektroskop maka benda netral lainnya dapat juga diubah menjadi bermuatan.

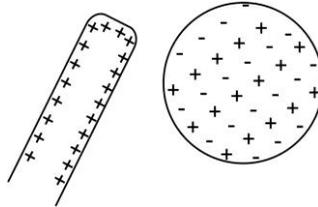
Contoh:

Dengan cara induksi buatlah benda berbentuk lingkaran/bola seperti di bawah bermuatan negatif dan jelaskan!

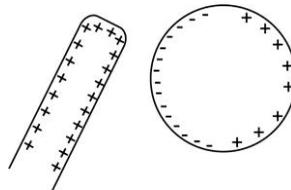


Penyelesaian:

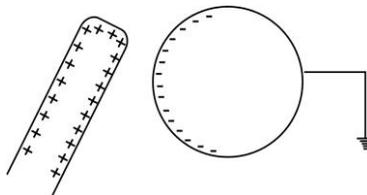
- a. Mula-mula bola netral didekati dengan benda bermuatan positif seperti gambar di bawah ini.



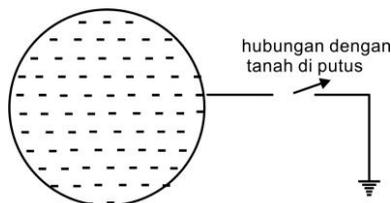
- b. Muatan positif dan negatif di dalam bola saling terpisah yang dapat digambarkan sebagai berikut.



- c. Bola dihubungkan dengan tanah.



- d. Benda bermuatan positif diambil/dijauhkan dari bola akibatnya muatan dalam bola merata pada permukaan sehingga bermuatan negatif.





LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

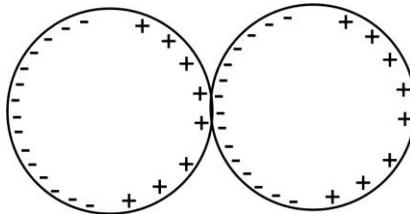
- 1) Siapakah penemu listrik itu?
- 2) Mengapa antara materi dan listrik ada hubungan erat? Jelaskan!
- 3) Apakah yang terjadi bila Cu digosok dengan kapas?
- 4) Apakah semua tetes minyak dalam percobaan Millikan diamati sehingga harga muatan elementer dapat dihitung?
- 5) Mengapa daun elektroskop dapat mengembang pada saat elektroskop didekati oleh benda bermuatan?
- 6) Jelaskan cara pemuatan pada dua buah bola netral yang bersinggungan?

Petunjuk Jawaban Latihan

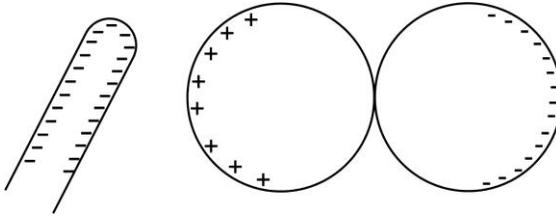
- 1) Sejarah gejala listrik dimulai pada 800 tahun sebelum Masehi oleh Thales dengan penemuan batu ambar. Selanjutnya hal serupa juga dilakukan oleh Plinius pada tahun 100. Antara tahun 1540-1603 Dr. William Gilbert melakukan percobaan listrik gosokan dan menyimpulkan adanya zat-zat yang sifat seperti batu ambar. Pada tahun 1737 Du Fay menyimpulkan bahwa ada dua jenis zat kelistrikan, yaitu zat listrik senama tolak-menolak dan zat listrik tidak senama tarik-menarik. Sedangkan Benjamin Franklin pada tahun 1747 memberi nama kedua jenis zat kelistrikan itu adalah listrik positif dan listrik negatif. Coulomb dalam percobaannya melakukan perhitungan besarnya interaksi tolak-menolak/tarik-menarik antara kedua jenis zat listrik yang ditemukan Du Fay.
Jika disimak lebih jauh maka antara penemuan yang satu dengan yang lain adalah saling melengkapi sehingga penemuan gejala listrik statis menjadi sempurna. Hal ini menunjukkan bahwa penemuan gejala listrik statis tidak hanya satu orang tetapi banyak orang.
- 2) Secara singkat dapat digunakan teori atom yang menyatakan bahwa setiap zat terdiri dari atom-atom. Atom terdiri dari inti atom bermuatan positif yang dikelilingi oleh elektron yang bermuatan negatif. Hal ini menunjukkan bahwa secara mikroskopis di dalam materi ada sifat

kelistrikan. Berdasarkan penjelasan tersebut nampak bahwa antara materi/zat dengan listrik ada hubungan erat.

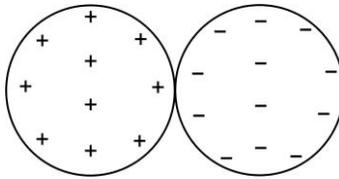
- 3) Gunakan aturan deret tribolistrik. Di dalam deret tribolistrik kapas berada pada urutan di atas Cu sehingga bila kapas digosokkan pada Cu maka akan memberikan muatan negatif.
- 4) Dalam percobaan Millikan pada saat tetes minyak disemprotkan maka akan berhamburan tetes-tetes minyak menyerupai partikel kecil yang berhamburan tidak teratur. Jika semua tetes minyak diamati perilakunya maka akan menimbulkan kesulitan bagi pengamat. Oleh karena itu, hanya dipilih satu tetes minyak bermuatan yang diupayakan bergerak melayang-layang dengan memberikan medan listrik dan diamati kecepatan bergerak ke atas atau ke bawah.
- 5) Dengan menggunakan sifat dari jenis muatan listrik, yaitu muatan senama tolak-menolak dan muatan tidak senama tarik-menarik. Hal itu juga terjadi pada saat elektroskop didekati oleh benda bermuatan. Misalnya benda yang didekatkan bermuatan positif maka muatan-muatan positif dalam elektroskop akan ditolak dan bergerak menjauh ke tempat yang sejauh-jauhnya dari benda bermuatan tersebut dan mengisi daun elektroskop. Daun elektroskop yang berisi muatan positif saling tolak sehingga kelihatan mengembang.
- 6) Langkah pertama menggambarkan dua bola netral yang bersinggungan dengan mengingat sifat-sifat muatan yang terjadi pada keduanya. Pada masing-masing bola akan terjadi pemisahan muatan.



Langkah kedua, benda bermuatan (misal muatan negatif) didekatkan pada salah satu bola tersebut. Muatan-muatan positif akan menempati tepi salah satu bola dan muatan-muatan negatif akan berada di bagian tepi bola yang lain.



Langkah ketiga, menjauhkan benda bermuatan dan selanjutnya memisahkan kedua bola. Masing-masing bola akan bermuatan listrik, bola yang satu bermuatan positif dan bola yang lain bermuatan negatif.



RANGKUMAN

Gejala listrik statik ditemukan pada awalnya oleh Thales yang mengamati batu ambar. Batu ambar tersebut dapat menarik benda-benda ringan di sekitarnya. Pengamatan Thales itu diperkuat oleh Plinius setelah kurang lebih 900 tahun dari kehidupan Thales. William Gilbert melakukan percobaan untuk mengetahui zat-zat lain yang mempunyai sifat seperti batu ambar. Hasil percobaannya menunjukkan bahwa belerang, lilin dan gelas mempunyai sifat seperti batu ambar. Du Fay berdasarkan hasil eksperimennya menyatakan bahwa ada dua sifat kelistrikan yaitu listrik senama melakukan interaksi tolak-menolak dan listrik tak senama saling tarik-menarik. Sedangkan Benjamin Franklin memberi nama kedua jenis listrik tersebut listrik positif dan listrik negatif. Besarnya interaksi tolak-menolak atau tarik-menarik antara kedua jenis kelistrikan itu dihitung oleh Coulomb.

Listrik dan materi mempunyai hubungan sangat erat karena secara mikroskopis di dalam materi terdapat unsur-unsur kelistrikan. Unsur-unsur kelistrikan tersebut terdapat dalam sistem atom yang merupakan bagian terkecil dari materi.

Untuk memperoleh gejala kelistrikan pada suatu benda dapat dilakukan dengan menggosok suatu benda dengan benda yang lain.

Benda-benda yang dapat menghasilkan sifat kelistrikan itu disusun dalam suatu deret yang disebut deret tribolistrik.

Muatan keunsuran adalah muatan yang tidak dapat dibagi-bagi dan disebut muatan elementer. Besarnya muatan elementer telah dihitung dengan berdasarkan percobaan Millikan, yaitu $e = 1,602 \cdot 10^{19}$ coulomb.

Elektroskop adalah alat yang digunakan untuk mendeteksi apakah suatu benda bermuatan listrik atau tidak bermuatan atau netral. Bila benda yang didekatkan pada elektroskop mempunyai muatan maka daun elektroskop akan mengembang. Sebaliknya bila bendanya tidak bermuatan atau netral maka daun elektroskop tidak mengembang.

Suatu benda netral dapat diubah menjadi bermuatan listrik dengan cara induksi. Induksi adalah pemisahan antara muatan positif dengan muatan negatif dalam suatu sistem.



TES FORMATIF 1

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Gejala listrik statis pada awalnya diketahui oleh
 - A. Plinius 1800 SM
 - B. Thales 800 SM dengan batu ambar.
 - C. William Gilbert dengan percobaan listrik gosoknya
 - D. Du Fay dengan penemuan interaksi antarjenis listrik

- 2) Coulomb termasuk sederetan tokoh dalam penemuan gejala listrik statis. Sumbangannya dalam hal ini adalah....
 - A. menunjukkan adanya interaksi antardua jenis listrik
 - B. menunjukkan beberapa zat yang mempunyai sifat seperti batu ambar
 - C. menunjukkan besarnya interaksi antardua jenis listrik.
 - D. membedakan kedua jenis sifat listrik

- 3) Hubungan antara listrik dan materi ditunjukkan oleh
 - A. atom-atom dalam materi yang bermuatan positif
 - B. atom-atom dalam materi yang bermuatan negatif
 - C. adanya interaksi gravitasi antar atom-atom
 - D. atom dalam materi yang terdiri dari inti atom bermuatan positif dan dikelilingi elektron bermuatan negatif.

- 4) Ditinjau dari sifat kelistrikannya maka antara dua atom akan mengadakan
 - A. interaksi elektromagnet.
 - B. interaksi gravitasi
 - C. interaksi kuat
 - D. interaksi lemah

- 5) Suatu benda netral dapat diubah menjadi bermuatan listrik dengan cara menggosok. Hal ini disebabkan
 - A. sifat proton dalam atom yang mudah berpindah ke atom lain
 - B. sifat elektron dalam atom yang mudah berpindah ke atom
 - C. terjadinya perpindahan atom-atom dari benda satu ke benda lain
 - D. neutron yang tidak bermuatan menjadi bermuatan

- 6) Bila Logam Pt digosok dengan kain sutera maka
 - A. logam akan bermuatan positif
 - B. sutera bermuatan negatif
 - C. logam Pt akan bermuatan negatif.
 - D. logam Pt tetap netral

- 7) Dalam percobaan Millikan cara pengamatan muatan yang akan dihitung besarnya adalah
 - A. diamati kecepatan tetes minyak jatuh bebas saat dipasang beda potensial
 - B. diamati kecepatan tetes yang bergerak ke atas atau ke bawah saat medan listrik tidak terpasang
 - C. diamati kecepatan tetes minyak jatuh bebas saat tidak dipasang beda potensial.
 - D. diamati tetes minyak yang tidak bergerak

- 8) Elektroskop adalah suatu alat yang berfungsi untuk
 - A. mendeteksi suatu benda bermuatan listrik positif
 - B. mendeteksi suatu benda bermuatan listrik negatif
 - C. mendeteksi bahwa mika bermuatan negatif
 - D. mendeteksi suatu benda bermuatan listrik.

- 9) Pada saat elektroskop didekati oleh benda bermuatan negatif maka
 - A. pada daun elektroskop terisi muatan positif
 - B. pada daun elektroskop terisi muatan negatif
 - C. pada tombol elektroskop akan terdapat muatan positif dan muatan negatif
 - D. elektroskop akan bermuatan positif

- 10) Suatu benda netral diubah menjadi bermuatan positif dengan cara
- A. menggosok benda itu dengan sutera
 - B. menggosok benda itu dengan logam Cu
 - C. induksi yaitu benda didekati dengan benda lain yang bermuatan positif.
 - D. induksi yaitu benda didekati dengan benda lain yang bermuatan negatif

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 1 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 1.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali
80 - 89% = baik
70 - 79% = cukup
< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 2. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 1, terutama bagian yang belum dikuasai.

KEGIATAN BELAJAR 2

Hukum Coulomb

☉ Dalam Kegiatan Belajar 1 telah dikemukakan bahwa Coulomb adalah orang yang menyelidiki tentang kuantitas gaya interaksi antara muatan-muatan listrik. Charles Agustin de Coulomb (1736-1804) dalam tahun 1784 melakukan penyelidikan tentang besarnya gaya interaksi antara dua muatan listrik. Ia menggunakan neraca torsi (neraca puntir) untuk mengukur kuantitas/besar gaya interaksi antarmuatan. Jenis Neraca torsi ini 13 tahun kemudian juga digunakan oleh Cavendish untuk mengukur gaya gravitasi.

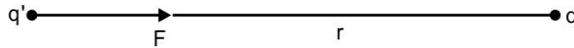
Coulomb berdasarkan penyelidikannya mendapatkan bahwa gaya tarik-menarik atau tolak-menolak antara “muatan-muatan titik”, yaitu benda-benda bermuatan yang ukurannya kecil dibandingkan dengan jarak r antara keduanya berbanding terbalik dengan kuadrat jarak tersebut. Gaya tersebut juga tergantung pada jumlah muatan dari tiap-tiap benda. Jumlah muatan dapat digambarkan dengan suatu pernyataan kelebihan jumlah elektron atau proton di dalam benda. Dalam praktek muatan suatu benda dinyatakan dalam satuan yang jauh lebih besar dari muatan satu elektron atau proton. Bila jumlah muatan pada tiap-tiap benda bermuatan dinyatakan dengan q dan q' dan jarak antara keduanya r maka pernyataan matematik dari gaya interaksi antara dua muatan tersebut adalah

$$F \sim \frac{qq'}{r^2} \quad (1.1)$$

atau

$$F = k \frac{qq'}{r^2} \quad (1.2)$$

dengan k adalah konstanta pembanding yang besarnya tergantung sistem satuan dari F , q , q' dan r . Persamaan (1.2) adalah pernyataan matematik yang dikenal dengan **Hukum Coulomb**, yaitu gaya tarik-menarik atau tolak-menolak antara dua muatan titik berbanding lurus dengan hasil kali muatan-muatan dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara muatan-muatan titik tersebut. Interaksi muatan-muatan tersebut dapat digambarkan seperti dalam Gambar 1.7.



Gambar 1.7
Gaya Coulomb atas q

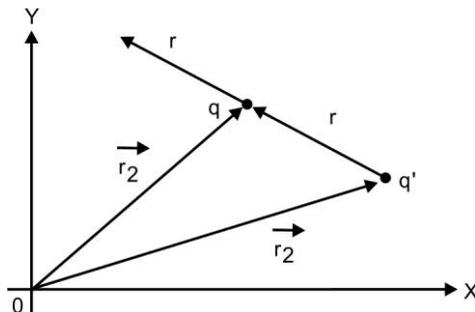
Besaran gaya merupakan besaran vektor, oleh karena itu persamaan (1.2) bila dinyatakan dengan vektor sebagai berikut.

$$F = k \frac{qq'}{r^2} \hat{r} \tag{1.3}$$

dalam hal ini $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8,9874 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$ dalam sistem MKS dan $k = 1$

dalam sistem CGS. ϵ_0 adalah permitivitas ruang hampa dan \hat{r} merupakan vektor satuan yang besarnya satu dan hanya berfungsi untuk menunjukkan arah. Dengan adanya faktor permitivitas ruang hampa ϵ_0 menunjukkan bahwa persamaan (1.3) sangat tepat digunakan untuk muatan-muatan yang berada dalam ruang hampa. Jika ruangan di antara muatan tersebut tidak hampa maka gaya netto yang bekerja pada masing-masing muatan berubah, sebab ada muatan-muatan yang diindusir dalam molekul-molekul dari medium. Di dalam prakteknya persamaan (1.3) dapat dipergunakan untuk muatan-muatan yang berada di medium udara, sebab pengaruh dari udara walaupun pada tekanan atmosfer akan merubah harga dari gaya tersebut tetapi sangat kecil, yaitu satu per dua ribu dari harga gaya pada ruang hampa.

Penjelasan dari persamaan (1.3) dapat dilihat pada Gambar 1.7 di bawah ini.



Gambar 1.8
Gambar Gaya Coulomb atas q dalam Sistem Koordinat

Muatan q berada pada vektor posisi r_1 dan q' berada pada vektor posisi r_2 dan r adalah vektor posisi q relatif terhadap q' dengan

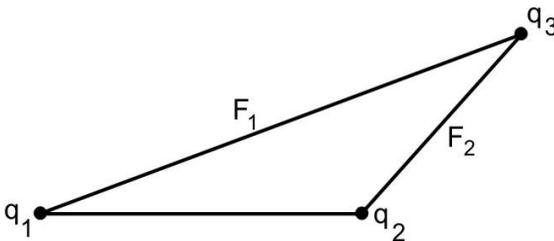
$$r = r_1 - r_2$$

sedang

$$\hat{r} = \frac{r}{|r|}$$

Berdasarkan Gambar 1.8 nampak bahwa arah gaya elektrostatis sepanjang garis penghubung antara kedua muatan tersebut.

Bila diperhatikan persamaan (1.2) dan persamaan (1.3) seolah-olah berbeda, tetapi pada dasarnya kedua persamaan itu sama. Persamaan (1.2) lebih banyak digunakan untuk menentukan gaya tarik atau gaya tolak antara dua muatan di mana dalam ruang itu hanya ada dua muatan saja. Hal ini berarti tidak ada permasalahan dalam menentukan arah gayanya. Bagaimana jika di dalam ruang terdapat tiga atau lebih muatan yang saling berinteraksi, bagaimana cara menentukan gaya elektrostatis yang dialami oleh sebuah muatan akibat pengaruh dua atau lebih muatan lain? Penyelesaian persoalan ini jika menggunakan persamaan (1.2) maka akan mengalami kesulitan dalam menentukan arah gaya totalnya. Oleh karena persamaan (1.3) akan lebih tepat untuk penyelesaian persoalan tersebut. Hal itu disebabkan gaya total merupakan jumlah vektor bukan jumlah skalar sehingga arah dari masing-masing gaya harus diketahui. Untuk lebih jelasnya dapat dibaca Gambar 1.9 di bawah.



Gambar 1.9
Gaya Elektrostatis pada q_3 oleh q_1 dan q_2

Gaya elektrostatis pada q_3 (Gambar 1.9) adalah

$$F = F_1 + F_2 \quad (1.4)$$

dengan

F_1 = gaya elektrostatik pada q_3 oleh q_1

F_2 = gaya elektrostatik pada q_3 oleh q_2

Berdasarkan uraian di atas maka yang perlu mendapatkan perhatian dalam menggunakan persamaan (1.2) atau (1.3) adalah:

1. persamaan tersebut hanya berlaku untuk muatan titik dan antardua muatan, artinya bila ada lebih dari dua muatan maka selama terjadi interaksi dua muatan, muatan lain tidak saling mengganggu;
2. persamaan tersebut dapat digunakan jika muatan berada dalam ruang hampa atau udara, sebab untuk medium lain harga permitivitasnya berbeda;
3. bila kedua muatan yang berinteraksi mempunyai jenis sama maka arah F adalah $+\hat{r}$, artinya terjadi interaksi tolak-menolak. Sebaliknya bila kedua muatan yang berinteraksi jenisnya tidak sama maka arah F adalah $-\hat{r}$, artinya terjadi interaksi tarik menarik.

Sehubungan dengan penerapan persamaan dari gaya elektrostatik maka akan dijelaskan konversi satuan yang akan digunakan dalam penyelesaian soal.

Menurut sistem satuan CGS

Satuan gaya (F) adalah *dyne*

Satuan muatan (q) adalah *statcoulomb* (stat C)

Satuan jarak (r) adalah *cm*

Satuan k adalah *dyne cm²/stat coulomb²* dan besarnya $k = 1$

Menurut sistem satuan MKS:

Satuan gaya (F) adalah *newton* (N)

Satuan muatan (q) adalah *coulomb* (C)

Satuan jarak (r) adalah *meter* (m)

Satuan k adalah *newton m²/coulomb²*

Hubungan antara sistem satuan tersebut

$$1 \text{ newton} = 10^5 \text{ dyne}$$

$$1 \text{ coulomb} = 2,99790 \times 10^9 \text{ stat coulomb}$$

$$= 3 \times 10^9 \text{ stat coulomb}$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \text{ atau } \epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8,85 \times 10^{-12} \frac{\text{coulomb}^2}{\text{newton meter}^2}$$

Untuk kebanyakan keperluan harga konstanta k digunakan pendekatan, yaitu $k = 9 \times 10^9 \text{ newton meter}^2/\text{coulomb}^2$. Pada umumnya sistem satuan yang digunakan sekarang adalah sistem satuan MKS atau sistem Internasional (SI).

Untuk lebih memperjelas pemahaman tentang hukum coulomb maka di bawah ini disajikan dua contoh soal.

Contoh 1.1

Dalam suatu ruang medium udara terdapat dua muatan titik, yaitu $q_1 = 10 \mu\text{C}$ dan $q_2 = 15 \mu\text{C}$. Jarak antara dua muatan tersebut 5 cm. Hitunglah gaya elektrostatik antara kedua muatan tersebut.

Penyelesaian:

$$\begin{aligned} \text{Diketahui } q_1 &= 10 \mu\text{C} = 10 \times 10^{-6} \text{ C} \\ q_2 &= 15 \mu\text{C} = 15 \times 10^{-6} \text{ C} \\ r &= 5 \text{ cm} = 5 \times 10^{-2} \text{ m} \\ k &= 9 \times 10^9 \text{ N meter}^2/\text{coulomb}^2 \end{aligned}$$

Ditanyakan $F = ?$

Jawab:

Karena dalam soal hanya ada dua muatan dan posisi muatan tidak diketahui maka untuk menentukan gaya coulomb/gaya elektrostatik digunakan persamaan (1.2)

$$\begin{aligned} F &= k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \\ &= 9 \times 10^9 \frac{10 \times 10^{-6} \cdot 15 \times 10^{-6}}{(5 \times 10^{-2})^2} \\ &= \frac{9 \times 10 \times 15 \times 10^{-3}}{25 \times 10^{-4}} \end{aligned}$$

$$F = 540 \text{ N}$$

Catatan:

Karena satuan-satuan sudah dikonversi ke SI maka dalam perhitungannya satuan dari masing-masing besaran yang diketahui tidak dituliskan. Satuan ditulis setelah diperoleh hasil akhirnya. Sedangkan arah gaya sepanjang garis penghubung antara dua muatan. itu, tetapi secara pasti arahnya menuju atau meninggalkan muatan-muatannya belum dapat ditunjukkan.

Contoh 1.2

Dua buah titik bermuatan masing-masing $q_1 = 10 \text{ C}$ berada di $A(3,0)$ dan $q_2 = -5 \text{ C}$ berada di $B(0,4)$. Tentukan gaya coulomb pada muatan q_2 yang disebabkan muatan q_1 . Posisi koordinat dinyatakan dalam meter.

Penyelesaian:

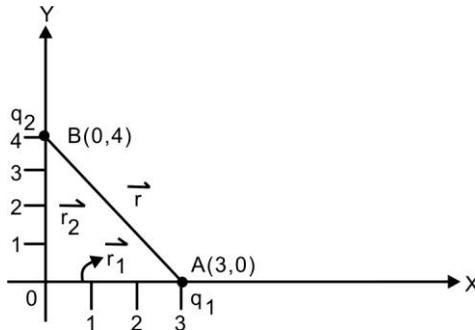
Diketahui : $q_1 = 10 \text{ C}$ di $A(3,0)$

$q_2 = -5 \text{ C}$ di $B(0,4)$

Ditanyakan : F di q_2

Jawab:

Untuk menjawab pertanyaan tersebut digunakan persamaan (1.3) dan ditentukan jarak antara kedua muatan berdasarkan koordinat masing-masing. Untuk mempermudah penyelesaian akan dibantu dengan gambar di bawah ini



Berdasarkan persamaan (1.3)

$$F = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \hat{r}$$

Dalam persoalan ini pertama kali akan ditentukan r , r^2 , dan \hat{r} . Berdasarkan gambar dapat diketahui;

Vektor posisi muatan q_1 adalah

$$r_1 = 3\hat{i}, \text{ dan}$$

Vektor posisi muatan q_2 adalah

$$r_2 = 4\hat{j},$$

Jarak antar keduanya dapat ditentukan, yaitu

$$\begin{aligned} r &= r_2 - r_1 \\ &= 4\hat{j} - 3\hat{i} \\ &= -3\hat{i} + 4\hat{j} \end{aligned}$$

Besarnya r adalah

$$|r| = \sqrt{9+16} = 5 \text{ m}$$

$$r^2 = r.r = r^2 = |r|^2 = 25 \text{ m}$$

Sedangkan vektor satuan arah gaya r dapat ditentukan sebagai berikut

$$\hat{r} = \frac{r}{|r|} = \frac{-3\hat{i} + 4\hat{j}}{5}$$

Dengan memasukkan harga q_1 , q_2 , k , r , r^2 dan \hat{r} ke dalam persamaan (1.3) maka diperoleh

$$\begin{aligned} F &= k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \hat{r} \\ &= 9 \times 10^9 \frac{(10) \cdot (-5)}{25} \frac{(-3\hat{i} + 4\hat{j})}{5} \\ &= 9 \times 10^9 \cdot (-2) \frac{(-3\hat{i} + 4\hat{j})}{5} \\ F &= 18 \times 10^9 \frac{(+3\hat{i} - 4\hat{j})}{5} \end{aligned}$$

sedangkan besarnya $F = |F|$ adalah

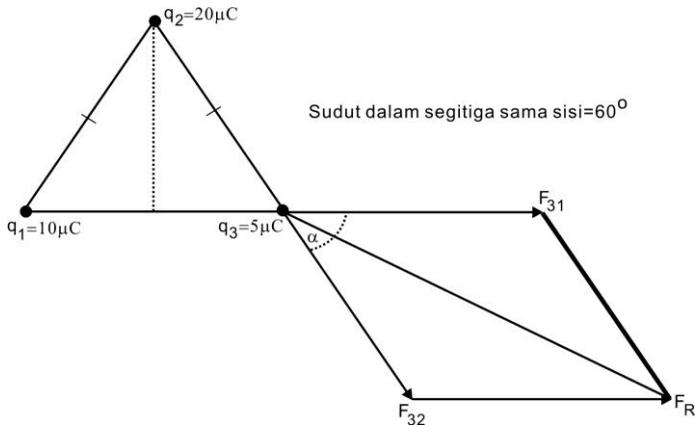
$$\begin{aligned}
 |F| &= \left| 18 \times 10^9 \frac{(+3\hat{i} - 4\hat{j})}{5} \right| \\
 &= 18 \times 10^9 \left| \frac{(+3\hat{i} - 4\hat{j})}{5} \right| \\
 &= 18 \times 10^9 \text{ N}
 \end{aligned}$$

dengan \hat{i} merupakan vektor satuan pada arah sumbu X dan \hat{j} merupakan vektor pada arah sumbu Y.

Dari perhitungan F dan $|F|$ dapat dinyatakan bahwa gaya coulomb pada q_2 akibat muatan q_1 besarnya $18 \times 10^9 \text{ N}$ dan arahnya $\frac{(+3\hat{i} - 4\hat{j})}{5}$. Bila arah q_1 tersebut digambarkan pada sistim koordinat titik B maka akan dapat diketahui bahwa arah gaya coulomb pada q_2 menuju ke arah q_1 .

Contoh 1.3

Tiga buah muatan masing-masing $10 \mu\text{C}$, $20 \mu\text{C}$, dan $5 \mu\text{C}$ terletak pada tiga titik sudut segitiga sama sisi yang sisinya 10 cm . Tentukan gaya coulomb pada muatan q_3 yang disebabkan oleh muatan q_1 dan q_2 seperti dalam gambar berikut.



$$F_R = \sqrt{(F_{31})^2 + (F_{32})^2 + 2(F_{31})(F_{32})\cos\alpha}$$

Kita hitung besar gaya F_{31} dan F_{32} sebagai berikut

$$F_{31} = k \frac{q_3 q_1}{(r_{31})} = 9 \cdot 10^9 \frac{5 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \cdot 10^{-6}}{(10^{-1})^2} = 45 \text{ N}$$

$$F_{32} = k \frac{q_3 q_2}{(r_{32})} = 9 \cdot 10^9 \frac{5 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \cdot 10^{-6}}{(10^{-1})^2} = 90 \text{ N}$$

$$F_R = \sqrt{(F_{31})^2 + (F_{32})^2 + 2(F_{31})(F_{32})\cos\alpha}$$

$$= \sqrt{45^2 + 90^2 + 2(45)(90) \cdot \left(\frac{1}{2}\right)} = 119 \text{ N}$$

Cara lain yang lebih umum adalah dengan menyatakan komponen-komponen vektornya, cara tersebut adalah sebagai berikut:

Kita pilih q_1 diletakkan pada titik asal koordinat atau q_1 pada $(0,0)$; q_2 pada posisi $(5, 5\sqrt{5})$ dan q_3 pada posisi $(10,0)$ dengan satuan koordinat dalam cm.

Dengan demikian, dapat kita tentukan

$$\vec{r}_{13} = 10\hat{i}, |\vec{r}_{13}| = 10 \text{ cm, sehingga } \hat{r}_{13} = \frac{\vec{r}_{13}}{r_{13}} = \frac{10\hat{i}}{10} = \hat{i}$$

$$\vec{r}_{23} = (x_3 - x_2)\hat{i} + (y_3 - y_2)\hat{j} = r\hat{i} - 5\sqrt{3}\hat{j}$$

$$|\vec{r}_{23}| = \sqrt{(+5)^2 + (-5\sqrt{3})^2} = 10 \text{ cm} = 10^{-1} \text{ m}$$

$$\hat{r}_{23} = \frac{\vec{r}_{23}}{r_{23}} = \frac{+5\hat{i} - 5\sqrt{3}\hat{j}}{10} = \frac{1}{2}\hat{i} - \frac{1}{2}\sqrt{3}\hat{j}$$

Selanjutnya kita tentukan gaya pada q_3 karena q_1

$$\begin{aligned}\vec{F}_{31} &= k \frac{q_3 q_1}{(r_{13})} \hat{r}_{13} \\ &= 9 \cdot 10^9 \frac{5 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \cdot 10^{-6}}{(10^{-1})^2} (\hat{i}) = 45 \hat{i} \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\vec{F}_{32} &= k \frac{q_3 q_1}{(r_{23})} \hat{r}_{23} \\ &= 9 \cdot 10^9 \frac{5 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \cdot 10^{-6}}{(10^{-1})^2} \left(\frac{1}{2} \hat{i} - \frac{1}{2} \sqrt{3} \hat{j} \right) = 45 \hat{i} \text{ N} \\ &= 90 \left(\frac{1}{2} \hat{i} - \frac{1}{2} \sqrt{3} \hat{j} \right) = 45 \hat{i} - 45 \sqrt{3} \hat{j}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\vec{F}_R &= \vec{F}_{31} - \vec{F}_{32} \\ &= 45 \hat{i} \text{ N} + (45 \hat{i} - 45 \sqrt{3} \hat{j}) \\ &= 90 \hat{i} - 45 \sqrt{3} \hat{j}\end{aligned}$$

$$\text{Besarnya gaya Resultan } F_R = \sqrt{90^2 + (-45\sqrt{3})^2} = 119 \text{ N}$$

Ternyata kedua cara tersebut menghasilkan besar gaya Resultan yang sama.

Telah dijelaskan pada kegiatan 1 bahwa di samping melakukan interaksi listrik maka kedua muatan juga melakukan interaksi gravitasi. Hal ini terjadi disebabkan muatan juga memiliki massa. Permasalahannya adalah apakah interaksi gravitasi tidak mempengaruhi adanya interaksi listrik tersebut. Untuk itu dapat diikuti penjelasan berikut ini.

Misal dua buah muatan mempunyai muatan sama yaitu q dan juga memiliki massa sama, yaitu m . Jika jarak antara kedua muatan itu r maka akan terjadi interaksi sebagai berikut.

1. interaksi listrik dengan gaya coulomb

$$F_c = \frac{kq^2}{r^2}$$

2. interaksi gravitasi dengan gaya

$$F_g = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Bila besarnya muatan $q = 1,6 \times 10^{-19}$ coulomb

massa $m = 1,673 \times 10^{-27}$ kg

tetapan gravitasi $\gamma = 6,67 \times 10^{-11}$ N m²/kg

tetapan coulomb $k = 9 \times 10^9$ N m²/C²

maka perbandingan antara gaya coulomb dan gaya gravitasi adalah

$$\begin{aligned} \frac{F_c}{F_g} &= \frac{k \frac{q^2}{r^2}}{\gamma \frac{m^2}{r^2}} = \frac{k q^2}{\gamma m^2} \\ &= \frac{9 \times 10^9 (1,6 \times 10^{-19})^2}{6,67 \times 10^{-11} (1,673 \times 10^{-27})^2} \\ &= \frac{9(1,6)^2 \times 10^{-29}}{6,67(1,673)^2 \times 10^{-43}} \\ &= \frac{9(1,6)^2}{6,67(1,673)^2} \times 10^{24} \end{aligned}$$

atau

$$F_c = \frac{9(1,6)^2}{6,67(1,673)^2} \times 10^{24} F_g$$

Hasil terakhir ini menunjukkan bahwa $F_c \gg \gg F_g$, hal ini berarti bahwa interaksi gravitasi tidak mempengaruhi selama terjadi interaksi listrik.



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Mengapa perhitungan gaya coulomb hanya dilakukan antardua muatan?
- 2) Buktikan bahwa harga k dalam persamaan hukum coulomb untuk sistem satuan CGS = 1.
- 3) Dua buah muatan berada pada sumbu X masing-masing besarnya $20 \mu\text{C}$ dan $25 \mu\text{C}$. Hitunglah gaya coulomb antar kedua muatan itu jika keduanya berjarak 10 cm.

- 4) Dua buah titik bermuatan masing-masing terletak pada titik A(2,0) dengan muatan $q_1 = 20 \text{ C}$ dan titik B(5,4) dengan muatan $q_2 = -10 \text{ C}$. Bila posisi titik koordinat dinyatakan dalam meter, hitunglah gaya coulomb yang dirasakan muatan q_1 !
- 5) Tiga buah muatan masing-masing $q_1 = -2 \text{ coulomb}$ di A(0,3), $q_2 = 1 \text{ coulomb}$ di B(1,4) dan $q_3 = 3 \text{ coulomb}$ di C(4,0). Hitunglah gaya coulomb yang dirasakan q_3 .

Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Untuk menjelaskan pertanyaan tersebut dapat berdasarkan persamaan (1.2) atau persamaan (1.3). Dari persamaan tersebut tampak hanya dua muatan yang saling interaksi sehingga apabila ada tiga muatan atau lebih maka gaya coulombnya dihitung antar pasangan muatan satu kemudian pasangan yang lainnya. Jika ketiga muatan itu dihitung berdasarkan persamaan (1.2) atau (1.3) artinya jika ketiga muatan dimasukkan dalam perhitungan maka faktor jarak r yang mengalami kesulitan untuk dihitung, karena r merupakan jarak antar dua muatan **bukan** jarak antar ketiga muatan.

- 2) Gunakan sistem International untuk satuan k , yaitu

$$\text{Nm}^2/\text{C}^2$$

Konversikan satuan di atas dengan mengingat

$$1 \text{ N} = 10^5 \text{ dyne}$$

$$1 \text{ m} = 10^2 \text{ cm}$$

$$1 \text{ C} = 3 \times 10^9 \text{ stat C}$$

Berdasarkan hasil konversi tersebut, nampak bahwa

$$k = 9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} = 1 \frac{\text{dyne cm}^2}{\text{stat C}^2}$$

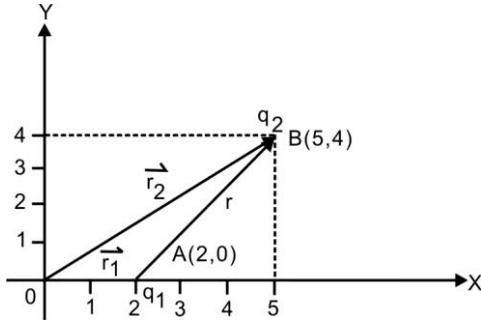
- 3) Karena posisi muatan tidak diketahui maka penyelesaiannya digunakan persamaan (1.2).

Dengan mengubah satuan jarak $10 \text{ cm} = 10^{-1} \text{ m}$, menggunakan

$$k = 9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \text{ maka berdasarkan persamaan (1.2) besarnya gaya coulomb antar kedua muatan } F = 45 \times 10 \text{ N.}$$

- 4) Karena posisi muatan diketahui maka lebih tepat menggunakan persamaan (1.3).

Berdasarkan persamaan (1.3) maka besaran yang dihitung adalah r, r^2, \hat{r} . Untuk memudahkan perhitungan dapat dibantu dengan gambar dari posisi masing-masing muatan dalam sistem koordinat (catatan : bila telah memahami konsep vektor posisi maka posisi muatan tidak perlu digambarkan).



Dari gambar di atas dapat ditentukan r_1 dan r_2 sehingga

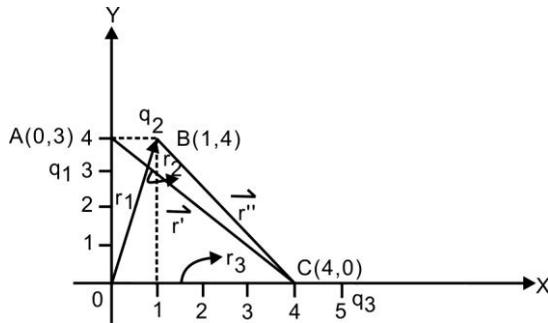
$$r = r_1 - r_2 = -3\hat{i} - 4\hat{j}, \quad |r| = \sqrt{9+16} = 5, \quad r^2 = 25 \quad \text{dan} \quad \hat{r} = \frac{-3\hat{i} - 4\hat{j}}{5}.$$

Dengan persamaan (1.3) maka gaya coulomb yang dirasakan oleh muatan q_1 di A adalah $F = 72 \times 10^9 \frac{(3\hat{i} + 4\hat{j})}{5}$ N. Jadi, besar gaya coulomb

yang dirasakan oleh $q_1 = 72 \times 10^9$ dan $\frac{(3\hat{i} + 4\hat{j})}{5}$ menunjukkan arah gaya

tersebut sepanjang garis penghubung antara q_1 dan q_2 menuju ke arah q_1 .

- 5) Sama dengan penyelesaian soal nomor 2 hanya pada soal nomor 3 ini dihitung dahulu gaya coulomb antara q_1 dengan q_3 (misal = F_1) dan gaya coulomb antara q_2 dengan q_3 (misal = F_2). Gaya coulomb yang dirasakan q_3 akibat q_1 dan q_2 adalah $F = F_1 + F_2$ (jumlah vektor). Untuk memudahkan penyelesaian maka digambar posisi masing muatan dalam sistem koordinat sebagai berikut



Misal posisi q_1 terhadap q_3 dinyatakan dengan r' dan posisi q_2 terhadap q_3 dinyatakan dengan r'' maka berdasarkan gambar di atas dapat dihitung besaran sebagai berikut

$$1. \quad r' = r_3 - r_1 = 4\hat{i} - 3\hat{j}$$

$$|r'| = \sqrt{16+9} = 5$$

$$\hat{r}' = \frac{4\hat{i} - 3\hat{j}}{5}$$

$$\text{sehingga } F_1 = -\frac{9 \cdot 10^9}{125} (24\hat{i} - 18\hat{j})$$

$$2. \quad r'' = r_3 - r_2 = 3\hat{i} - 4\hat{j}$$

$$|r''| = \sqrt{9+16} = 5$$

$$\hat{r}'' = \frac{3\hat{i} - 4\hat{j}}{5}$$

$$\text{sehingga } F_2 = -\frac{9 \cdot 10^9}{125} (9\hat{i} - 12\hat{j})$$

Dari Hasil perhitungan F_1 dan F_2 maka gaya dirasakan oleh q_3 adalah

$$F = F_1 + F_2$$

$$= \frac{9 \cdot 10^9}{125} (-16\hat{i} - 30\hat{j})$$



RANGKUMAN

Coulomb menyelidiki gaya tolak-menolak atau tarik-menarik antara dua muatan listrik yang berada dalam ruang homogen. Hasil penyelidikannya menyatakan bahwa gaya tolak-menolak atau tarik menarik antara dua muatan listrik berbanding lurus dengan hasil kali kedua muatan dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antar kedua muatan tersebut. Hukum coulomb tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan.

$$F = k \frac{qq'}{r^2} \text{ (bentuk skalar)}$$

atau

$$F = k \frac{qq'}{r^2} \hat{r} \text{ (bentuk vektor)}$$

Penggunaan persamaan tersebut hanya antar dua muatan.

Bila sebuah muatan melakukan interaksi listrik dengan beberapa muatan maka gaya coulomb yang dirasakan oleh muatan tersebut merupakan jumlah vektor dari gaya coulomb antar dua muatan satu dan gaya coulomb antar dua muatan yang lain.

Jumlah vektor dari gaya coulomb tersebut dapat dinyatakan dengan

$$F = F_1 + F_2 + \dots$$

Interaksi gravitasi yang terjadi antar dua muatan tidak mempengaruhi interaksi listrik, karena $F_c \gg F_g$. Oleh karena itu, pada saat interaksi listrik terjadi maka interaksi gravitasi tidak diperhitungkan.

1. ukuran (besar, sedang, kecil);
2. bentuk (pipih, bulat, lonjong, persegi empat, dan sebagainya);
3. warna;
4. densitas;
5. sifat permukaan;
6. daya lenting.



TES FORMATIF 2

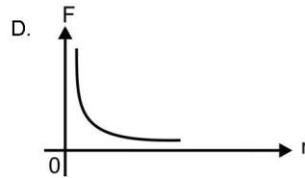
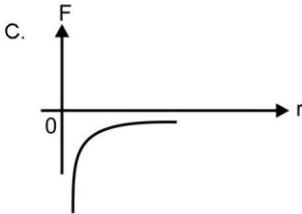
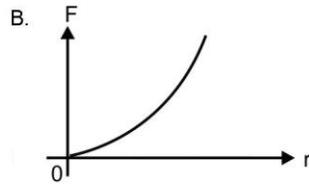
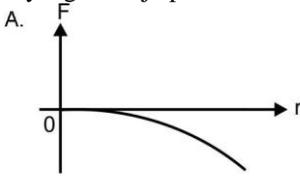
Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Dua muatan sejenis yang masing-masing besarnya satu coulomb dan terpisah sejauh 1 km di udara akan mengalami gaya sebesar
 - A. 9.000 N tolak-menolak
 - B. 9 N tarik menarik

- C. 4.500 N tarik menarik
D. 3.000 N tolak-menolak
- 2) Muatan $q_1 = + 2 \mu\text{C}$ berada pada jarak 0,3 m dari muatan $q_2 = +6 \mu\text{C}$. Muatan ketiga $q_3 = + 3\mu\text{C}$ berada di tengah-tengah antara q_1 dan q_2 . Gaya elektrostatis pada muatan ketiga adalah
- A. 3,6 N
B. 1,2 N
C. 4,8 N
D. 2,4 N
- 3) Di tengah-tengah antara dua titik A dan titik B yang masing-masing bermuatan +8 stat C dan +12 stat C terdapat titik C yang bermuatan -5 stat C. Gaya yang dialami titik C adalah 0,8 dyne maka jarak antara A dan B adalah
- A. 10 cm.
B. 1 meter
C. 10 meter
D. 1 cm
- 4) Dua muatan listrik tidak diketahui besarnya dan tandanya mengalami gaya elektrostatis sebesar 0,1 N bila berada pada jarak 5 cm di udara. Besarnya gaya bila kedua muatan tersebut berada pada jarak 10 cm adalah
- A. 25 N
B. 0,10 N
C. 0,025 N
D. 2,5 N
- 5) Bila muatan elektron q dan massanya m maka perbandingan antara gaya elektrostatis dan gaya gravitasi dari dua buah elektron yang keduanya berjarak r adalah
- A. sebanding dengan kuadrat m
B. sebanding dengan kuadrat q
C. sebanding dengan kuadrat r
D. sebanding dengan kuadrat q/m .

- 6) Dua bola bermuatan sejenis masing-masing massanya 0,24 gr dan digantung pada tali yang panjangnya 13 cm. Akhirnya kedua bola terpisah sejauh 10 cm. Bila percepatan gravitasi = 10 m/det^2 maka muatan bola masing-masing adalah
- $1/3 \times 10^{-7}$ coulomb.
 - $1/9 \times 10^{-8}$ coulomb
 - $1/9 \times 10^{-6}$ coulomb
 - $1/3 \times 10^{-9}$ coulomb
- 7) Gaya tolak-menolak antara dua muatan positif di udara yang terpisah sejauh 10 cm adalah 3 N. Berapakah gaya elektrostatik antara kedua muatan tersebut bila berada dalam medium selain udara yang mempunyai koefisien dielektrik $K = 3$ dan berjarak 20 cm satu sama lain.
Petunjuk: gunakan persamaan (1.2) dan besaran ϵ_0 dikalikan dengan K .
- 1/8 N
 - 1/4 N
 - 3/4 N
 - 4 N
- 8) Tiga buah muatan sejenis masing-masing 10 stat C diletakkan pada titik-titik sudut segitiga sama sisi yang panjang sisinya 10 cm. Gaya elektrostatik pada masing-masing muatan adalah
- 3 dyne
 - 3 newton
 - $\sqrt{3}$ newton
 - $\sqrt{3}$ dyne.
- 9) Empat buah benda yang bermuatan listrik. Jika benda A menolak benda B, A menarik C dan C menolak D sedangkan D bermuatan negatif maka
- muatan B positif dan muatan C positif
 - muatan B positif dan muatan C negatif
 - muatan B negatif dan muatan C negatif
 - muatan B negatif dan muatan C positif

10) Sebuah muatan negatif Q berada pada jarak r dari muatan positif q. Gaya F yang bekerja pada muatan negatif Q dapat dilukiskan sebagai



Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 2 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 2.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan modul selanjutnya. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 2, terutama bagian yang belum dikuasai.

Kunci Jawaban Tes Formatif

Tes Formatif 1

- 1) B. Cukup jelas.
- 2) C. Cukup jelas.
- 3) D. Cukup jelas.
- 4) A. Cukup jelas.
- 5) B. Cukup jelas.
- 6) C. Cukup jelas.
- 7) C. Cukup jelas.
- 8) D. Cukup jelas.
- 9) A. Cukup jelas.
- 10) C. Cukup jelas.

Tes Formatif 2

- 1) D. Gunakan persamaan (1.2).
- 2) C. Gunakan persamaan (1.4).
- 3) B. Gunakan persamaan (1.4).
- 4) C. Gunakan persamaan (1.2).
- 5) D. Gunakan $\frac{F_c}{F_g} = \frac{k q^2}{\gamma m^2}$.
- 6) A. Gunakan $F_g = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}$.
- 7) B. Gunakan persamaan (1.2).
- 8) D. Gunakan persamaan (1.4).
- 9) B. Cukup jelas.
- 10) C. Cukup jelas gunakan persamaan (1.2).

Daftar Pustaka

Alonso M. dan E. Finn. (1978). *Fundamental University Physics*. Jilid II. Singapore: Addison Wesley Publishing Company.

Johanes, H. (1978). *Listrik dan Magnet*. Jakarta: Balai Pustaka.

Sears dan Zemansky. (1963). *College Physics*. Massachusetts, USA: Addison Wesley Publishing Company Inc.

Sutrisno. (1986). *Seri Fisika Dasar Listrik Magnet dan Termofisika*. Bandung: ITB.

Schaum, Daniel. (1977). *College Physics*. New York: Mc Graw-Hill Book Company.