

# BBM 10

## LISTRIK STATIS

### PENDAHULUAN

Ketika kita memperhatikan proses terjadinya kilat dan petir pada saat turun hujan, mungkin kita tidak menyadari bahwa sesungguhnya pada saat itu terjadi ‘loncatan’ sejumlah muatan listrik statis, yakni elektron. Terjadinya loncatan muatan listrik dalam bentuk kilat dan petir ini membawa energi yang sangat besar sehingga sangat wajar apabila terjadinya kilat dan petir ini sangat ditakuti karena bangunan atau manusia yang terkena sambaran petir umumnya akan terbakar. Untuk melindungi dari bahaya terkena kilat dan petir, maka pada gedung-gedung yang tinggi umumnya dilengkapi dengan alat penangkal petir.

Sejak ditemukannya lampu listrik oleh Thomas A. Edison kira-kira seabad yang lalu, kini rasanya hampir setiap orang memiliki ketergantungan yang sangat besar terhadap listrik. Walaupun ada sejumlah bahaya yang ditimbulkan oleh listrik akan tetapi manfaatnya bagi kehidupan sungguh tiada terkira. Hampir semua peralatan di sekitar kita umumnya bergantung pada listrik, mulai dari lampu-lampu, televisi, lemari es, komputer, radio, hingga telepon seluler dan benda-benda lainnya mengandalkan energi listrik.

Pembelajaran mengenai kelistrikan itu sendiri dibagi kedalam dua bagian, yaitu listrik statis (*electrostatic*) yang mempelajari muatan listrik yang dalam keadaan diam, dan listrik dinamik (*electrodynamic*) yang mempelajari muatan listrik yang bergerak. Bahan Belajar Mandiri (BBM) ini merupakan BBM kesepuluh dari mata kuliah Konsep Dasar Fisika untuk SD yang hanya menjelaskan konsep listrik statis. Pembelajaran mengenai konsep listrik dinamis akan dibahas lebih lanjut pada BBM berikutnya.

Dalam BBM ini, akan disajikan dua kegiatan belajar, yaitu:

1. Kegiatan Belajar 1 : Muatan Listrik
2. Kegiatan Belajar 2 : Medan Listrik dan Potensial Listrik

Setelah mempelajari modul ini Anda diharapkan memiliki kompetensi menjelaskan konsep listrik statis, yakni mengenai muatan listrik dan medan listrik. Secara lebih khusus lagi, Anda diharapkan dapat:

1. Menunjukkan contoh-contoh benda bermuatan listrik.

2. Menjelaskan muatan listrik dan jenis-jenis muatan listrik.
3. Menjelaskan konsep gaya dan medan listrik dari suatu muatan listrik.
4. Menjelaskan karakteristik suatu kapasitor dan sifat kapasitansi.
5. Mengimplementasikan konsep-konsep listrik statis dalam pembelajaran IPA di sekolah dasar.

Pembelajaran mengenai kelistrikan, khususnya listrik statis di SD dipelajari di Kelas VI Semester 2 dengan Standar Kompetensi “Mempraktikkan pola penggunaan dan perpindahan energi” dan Kompetensi Dasar:

- Menyajikan informasi tentang perpindahan dan perubahan energi listrik.

Agar Anda memperoleh hasil yang maksimal dalam mempelajari BBM ini, ikuti petunjuk pembelajaran berikut ini.

1. Bacalah dengan cermat bagian Pendahuluan BBM ini, sampai Anda memahami betul apa, untuk apa, dan bagaimana mempelajari BBM ini.
2. Bacalah bagian demi bagian, temukan kata-kata kunci dan kata-kata yang Anda anggap baru. Carilah dan baca pengertian kata-kata tersebut dalam daftar kata-kata sulit dalam BBM ini atau dalam kamus yang ada.
3. Tangkaplah pengertian demi pengertian dari isi BBM ini melalui pemahaman sendiri, tukar pikiran dengan sesama mahasiswa, dan dosen Anda.
4. Mantapkan pemahanan Anda melalui diskusi dengan sesama teman mahasiswa.
5. Lakukan semua kegiatan yang diajarkan sesuai dengan petunjuk BBM. Karena di dalam pembelajaran BBM ini kita akan melakukan beberapa pengamatan percobaan.

# KEGIATAN BELAJAR 1

## MUATAN LISTRIK

Sesungguhnya fenomena elektrostatik merupakan pemandangan yang sering kita saksikan sehari-hari. Mungkin di antara Anda pernah mengalami peristiwa ketika menyetrika kain wool, begitu selesai disetrika maka kain wool tersebut menarik rambut-rambut di badan Anda saat kain tersebut didekatkan ke tubuh. Beberapa dari Anda mungkin pernah iseng menggosokkan penggaris plastik pada tangan Anda kemudian mendekatkannya ke rambut teman Anda hingga nampak beberapa helai rambut berdiri karenanya. Atau coba Anda lakukan dengan menggunakan balon, gosokkan ke rambut Anda kemudian tempelkanlah pada dinding, lihatlah apa yang terjadi? Balon akan menempel pada dinding. Dalam skala yang besar fenomena elektrostatik sering Anda lihat pada timbulnya petir akibat loncatan muatan listrik statis di ionosfer (Gambar 10.1). Beberapa contoh tersebut adalah salah satu dari sekian banyak fenomena elektrostatik yang sudah menjadi perhatian manusia sejak ribuan tahun lalu.



Gambar 10.1. Petir

Sumber: Microsoft Encarta Premium 2009

### A. Sejarah Penemuan Muatan Listrik

Listrik sudah ada sejak jagat raya ini ada. Bahkan saat kehidupan belum ada di planet bumi kita, lebih dari 4 milyar tahun lalu, ledakan petir sudah menghantarkan listrik menerangi langit. Dalam dua abad terakhir, para ilmuwan sedikit demi sedikit mulai rnengungkap misteri listrik. Kemajuan dalam pengungkapan ini berhubungan erat dengan kemajuan ilmu pengetahuan lain. Para

penemu telah mengubah energi listrik yang sebelumnya tak terkontrol menjadi sesuatu yang sangat bermanfaat bagi kita.

Sejak zaman Yunani kira-kira 2600 tahun yang lalu, *Thales of Miletus* telah memperhatikan fenomena sebuah benda fosil mirip kaca yang digosokkan dapat menarik benda-benda tertentu secara “ajaib”, seperti misalnya pakaian yang terbuat dari bulu binatang. Fenomena ini telah menjadi perhatian banyak kalangan sampai berabad-abad kemudian. Saat itu fosil tersebut dalam bahasa Yunani dinamai *elektron*, dalam bahasa Inggris ini dikenal sebagai batu ambar (amber) yang berasal dari bahasa Arab anbar. Kejadian alam ini belum dapat dijelaskan secara ilmiah kecuali menganggapnya sebagai sebuah “sihir” semata.

Pada tahun 1600-an, seorang dokter istana Inggris, William Gilbert meneliti “keajaiban” batu ambar tersebut secara ilmiah dan membedakannya dari fenomena kemagnetan. Gilbert menamai gejala batu ambar ini dan gejala apapun yang serupa dengan itu dengan nama *electricum* (dalam bahasa Yunani batu ambar disebut *electron*), tetapi dalam bahasa Indonesia disebut listrik, dan tidak disebut elektron. Sekarang istilah elektrik atau listrik dipakai untuk menamai semua gejala yang berhubungan dengan ion (elektron dan proton) serta peristiwa-peristiwa yang terkait dengannya.

Gejala kelistrikan statik baru dipelajari intensif pada tahun 1700-an oleh seorang Ilmuan Perancis bernama Charles Dufay. Ia berhasil menunjukkan adanya dua jenis gejala. Pertama bahwa gejala listrik ini dapat menimbulkan efek tarik-menarik pada benda tertentu dan yang kedua dapat menyebabkan tolak-menolak. Dalam perkembangan selanjutnya dari dua gejala ini disimpulkan terdapat dua jenis sumber listrik (yang kemudian disebut muatan listrik). Dufay menamakan gejala ini dengan istilah resinous (yang bersifat -) dan vitreous (yang bersifat +). Perkembangan selanjutnya adalah ditemukannya mesin pembangkit (generator) muatan listrik. Generator elektrostatik yang pertama kali dikembangkan oleh Francis Hauksbee (1666-1713) pada tahun 1710, mampu menghasilkan muatan listrik yang semakin besar. Selain dihantarkan, muatan listrik juga berinteraksi satu dengan lainnya. Charles Augustin de Coulomb (1736-1806) merupakan ilmuwan pertama yang mengukur bagaimana muatan listrik berinteraksi.

Seorang ilmuwan, sastrawan, politisi dan terutama salah seorang penggagas deklarasi kemerdekaan Amerika, Benjamin Franklin pada tahun 1752 kemudian menyatakan bahwa fenomena kilat dan batu ambar merupakan gejala yang sama dan menamakan (memberi tanda) kedua jenis listrik (muatan listrik) ini sebagai positif (+) dan negatif (-). Penamaan ini dipakai hingga saat ini dan amat membantu dalam menjelaskan gaya elektrostatik.

Pada masa awal eksperimen tentang listrik, para ilmuwan belum menemukan baterai untuk menyimpan listrik. Sebagai pengganti listrik itu, mereka membuat sendiri dengan menggosokkan dua benda tertentu. Alessandro Volta pada tahun 1800 membuat sketsa tumpukan volta berbentuk

U, yang merupakan baterai berukuran praktis pertama. Satuan potensial listrik yang merupakan kekuatan atau 'tegangan listrik' dari muatan yang mengalir dinamakan volt. Sirkuit rumah modern mempunyai 110 atau 220 volt dan jaringan tegangan tinggi yang mempunyai 500.000 volt atau lebih.

Robert A. Millikan (1869-1953) kemudian melakukan eksperimen yang bertujuan mencari harga muatan yang paling kecil yang bisa didapatkan. Percobaan Millikan dikenal sebagai percobaan tetes-minyak (oil-drop). Millikan mengamati bahwa hasil dari muatan listrik yang diperoleh selalu kelipatan dari  $1,602 \times 10^{-19}$  C. Dari "percobaan tetes minyak"-nya Millikan mendapatkan harga muatan terkecil sebesar  $1,6 \times 10^{-19}$  C. Harga muatan ini dimiliki oleh partikel terkecil elektron, sehingga bilangan tersebut disebut  $e$  (muatan elektron) atau  $e = -1,602 \times 10^{-19}$  C. Pada setiap benda terdapat sejumlah muatan positif (dalam inti atom) dan muatan negatif (sejumlah elektron yang mengelilingi inti atom) yang besarnya merupakan kelipatan dari  $1,602 \times 10^{-19}$  C ( $1e$ ,  $2e$ ,  $3e$ ,  $4e$ ,  $5e$ , dan seterusnya) atau dikenal dengan istilah kuantisasi elektron. Jika jumlah muatan positif lebih besar dari jumlah muatan negatif maka benda tersebut dinamakan bermuatan positif; jika sebaliknya maka benda bermuatan negatif. Sedangkan bila jumlah muatan positif sama dengan jumlah muatan negatif, benda tersebut tidak bermuatan atau netral.

Sepanjang pertengahan abad 19, para ilmuwan mencoba meningkatkan penggunaan muatan listrik itu, antara lain dengan mengembangkan mesin uap, yang ditemukan oleh James Watt (1736-1819), yang memicu revolusi industri, di mana satuan daya listrik menggunakan namanya, watt. Penemuan demi penemuan terus berlangsung. Salah satu yang terpenting adalah telegraf oleh Thomas Alva Edison, yang kemudian juga menemukan lampu pijar.

Selama bertahun-tahun mesin Wimhurst digunakan untuk membuat muatan listrik. Mesin ini bekerja dengan menggunakan induksi. Dengan memutar pegangan engkol, bagian logam pada cakram berputar dengan arah berlawanan, serta sisir logam yang menunjuk ke arah cakram tapi tidak menyentuhnya. Proses ini menggandakan muatan listrik yang menyimpang berulang-ulang. Muatan yang dihasilkan kemudian disimpan dalam guci Leyden. Mesin ini dulunya digunakan untuk membuat listrik statis, sebuah istilah yang digunakan hingga setidaknya tahun 1960-an.

Saat ini, sekitar empat abad sejak pemikiran mengenai listrik dimulai, pemanfaatan energi listrik telah menyentuh pada hampir semua sisi kehidupan manusia. Alat-alat elektronik, telekomunikasi, transportasi, yang semua digerakkan oleh listrik, menjadi tak terbayangkan jika seandainya listrik elektrostatik dan elektromagnetik tak pernah ditemukan. Kita tentu banyak berhutang pada ilmuwan-ilmuwan itu. Tapi kadang-kadang kita tak menyadari bagaimana kerja keras mereka telah menghasilkan sesuatu yang manfaatnya dirasakan berbagai lapisan masyarakat sepanjang zaman. Bahkan kita jarang menyadari manfaat listrik itu sendiri. Jarang memikirkan

bagaimana manfaat itu harus dikelola seefektif dan seefisien mungkin. Bahkan yang lebih tragis lagi kita sangat jarang menyadari kehadiran listrik, kecuali pada saat giliran padam atau bayar tagihan.

Bagaimana kita mengetahui bahwa muatan listrik yang berbeda dapat saling tarik menarik? Untuk lebih jelasnya dalam memahami konsep listrik statis ini, marilah kita ikuti Kegiatan Percobaan berikut.

## Kegiatan Percobaan

### Kegiatan 1

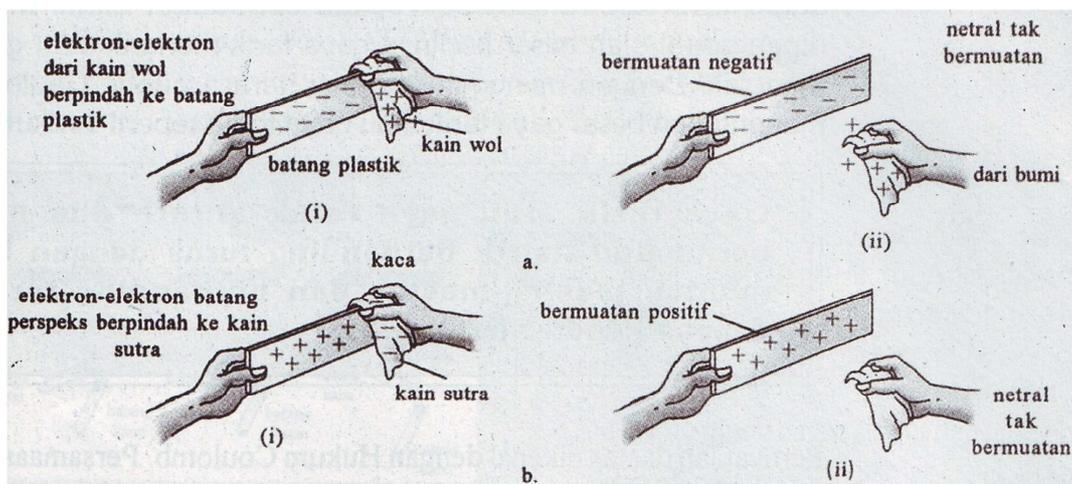
*Kegiatan ini bertujuan untuk menyelidiki benda-benda bermuatan listrik dan membuat benda-benda yang bermuatan listrik*

Alat dan bahan:

- Penggaris plastik
- Kaca atau batang kaca
- Kain wool
- Kain sutera
- Potongan kecil kertas

Langkah kerja:

1. Ambil sebuah penggaris plastik.
2. Gosok-gosokkan penggaris plastik itu pada kain wool. Kemudian dekatkan penggaris tersebut pada potongan-potongan kecil kertas. Apa yang terjadi? Perhatikan Gambar berikut.



3. Ulangi langkah di atas untuk kaca yang digosok-gosokkan pada kain sutera. Apa yang terjadi?
4. Apa yang dapat Anda simpulkan?

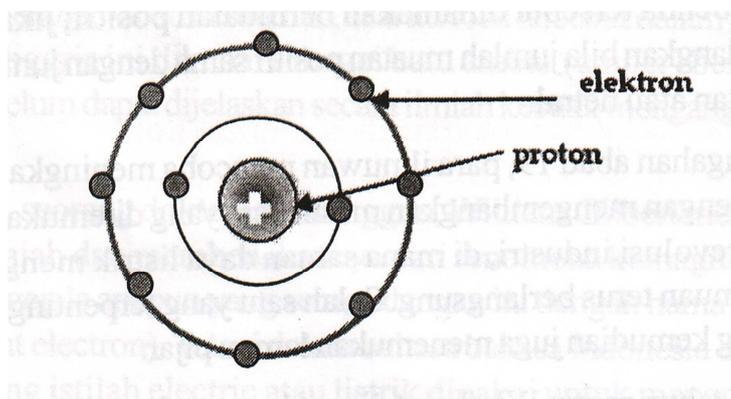
Setelah Anda mengikuti Kegiatan Percobaan tersebut, tentu Anda menjadi lebih memahami bagaimana sebuah benda memiliki muatan listrik, sehingga dapat menarik benda-benda lain. Anda juga kini dapat membuat sendiri benda-benda bermuatan listrik statik dengan cara menggosokkan benda itu pada bahan tertentu. Agar lebih memantapkan pemahaman Anda mengenai konsep listrik statis, marilah kita lanjutkan pembahasan kita secara lebih mendalam.

## B. Terjadinya Muatan Listrik

Sebagaimana kita ketahui bahwa benda-benda yang kita kenal di sekeliling kita pada umumnya benda non-konduktor yaitu benda bermuatan netral. Ini berarti bahwa jumlah muatan positif dan negatif di dalamnya sama. Dan karena setiap benda terdiri dari atom, maka dengan demikian jumlah muatan elektron akan sama dengan inti atom yang bermuatan positif. Lalu bagaimana suatu benda bisa bermuatan listrik?

Salah satu kegiatan percobaan untuk menunjukkan adanya muatan listrik ialah menggosok batang kaca dengan kain sutera sehingga batang kaca menjadi bermuatan negatif. Atau menggosok batang plastik dengan kain wol sehingga batang plastik menjadi bermuatan positif. Bagaimana menjelaskan dua jenis gosokan yang menghasilkan muatan yang berbeda. Untuk menjawab pertanyaan ini, Anda harus mengingat kembali teori atom Rutherford dalam ilmu kimia.

Menurut Rutherford atom pembentuk benda tersusun dari sejumlah proton bermuatan positif yang terkonsentrasi di inti dan sejumlah elektron bermuatan negatif menempati sejumlah kulit lintasan yang mengelilingi inti. Benda netral adalah benda yang pada setiap atomnya jumlah proton sama dengan jumlah elektron.

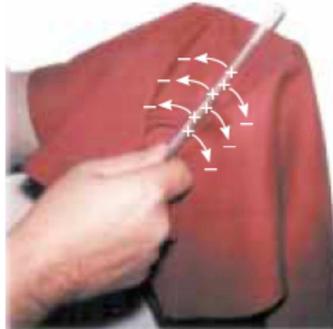


Gambar 10.2. Model Struktur Atom Rutherford

Pada saat suatu benda berinteraksi dengan benda yang lain maka hanya elektron-elektron yang berada pada posisi terluar yang terlibat dalam interaksi tersebut. Elektron-elektron terluar ini biasa disebut elektron valensi. Jika elektron terluar *lepas*, maka jumlah proton (bermuatan positif) lebih besar dari jumlah elektron sehingga atom menjadi bermuatan positif. Sebaliknya apabila ada

elektron yang masuk menempati kulit lintasan, maka jumlah elektron lebih banyak dari jumlah proton, akibatnya atom bermuatan negatif.

Ketika batang plastik digosok dengan kain wol, elektron-elektron kain wol lepas dan masuk ke batang plastik sehingga batang plastik kelebihan elektron. Dengan demikian, batang plastik menjadi bermuatan negatif. Ada pun pada saat batang kaca digosok dengan kain sutera, elektron-elektron dari batang kaca berpindah ke kain sutera dan menyebabkan batang kaca kekurangan elektron sehingga menjadi bermuatan positif (Gambar 10.3)



Gambar 10.3. Batang kaca yang digosok dengan kain sutera

Sumber: *Physics for Scientists and Engineers*

Meskipun terdapat dua jenis muatan (positif dan negatif), namun sesungguhnya kita tidak dapat membedakan benda yang mana yang bermuatan negatif atau positif. Dua jenis muatan ini tidaklah seperti jenis laki-laki dan perempuan yang mudah dibedakan dengan kasat mata. Namun, menurut tradisi, gelas/kaca yang digosok dengan kain sutera merupakan benda bermuatan positif, sedangkan jika digosok dengan kain wol maka akan bermuatan negatif. Dengan demikian benda apapun yang ditolak oleh kaca yang telah digosok oleh kain sutera, maka ia kita sebut bermuatan positif. Demikian juga benda apapun yang ditolak oleh kaca yang telah digosok oleh kain wol, maka ia kita sebut bermuatan negatif.

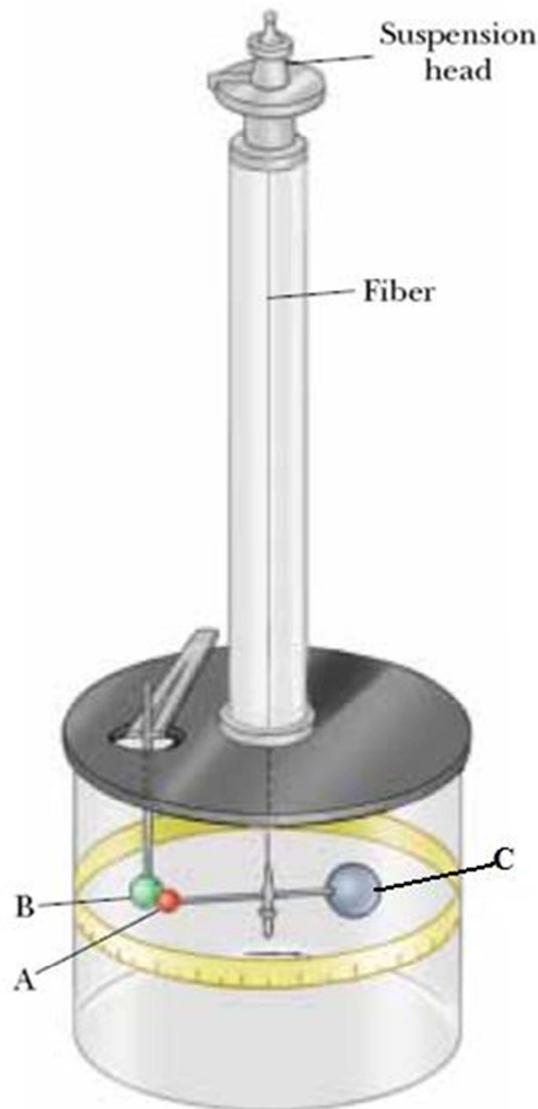
### C. Gaya Coulomb antara Dua buah Muatan

Sesuai dengan namanya, gaya Coulomb adalah jenis gaya di alam yang ditemukan oleh Charles Augustin de Coulomb, seorang ahli fisika bangsa Prancis. Gaya Coulomb sebenarnya merupakan salah satu contoh gaya alamiah. Hingga saat ini di alam ditemukan adanya empat gaya alamiah, yaitu:

- (1) Gaya gravitasi, bekerja pada semua partikel, antara lain berfungsi menjaga setiap benda langit berada pada orbitnya.
- (2) Gaya elektromagnetik, bekerja di antara partikel bermuatan, antara lain berfungsi mengikat atom-atom dan molekul-molekul dalam benda. Gaya Coulomb merupakan contoh gaya elektromagnetik.

- (3) Gaya lemah (*weak force*), terjadi pada peluruhan radio aktif.
- (4) Gaya kuat (*strong force*), berfungsi menjaga neutron-neutron dan proton-proton berada bersama-sama dalam sebuah inti atom.

Pada tahun 1768, melalui sebuah percobaan, Coulomb mendapatkan bahwa muatan-muatan sejenis akan menimbulkan efek tarik-menarik (atraktif) dan benda yang berlainan jenis akan saling menolak (repulsif). Gaya tarik/tolak ini berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antar benda/muatan dan sebanding dengan besarnya muatan benda tersebut.



Gambar 10.4. Struktur *Torsion Balance*

Sumber: *Physics for Scientists and Engineers*

Perangkat yang digunakan Coulomb disebut "*Torsion Balance*" yang digunakan untuk menentukan hubungan gaya elektrostatis dengan jarak dan besarnya muatan. *Torsion Balance* terdiri dari dua bola bermuatan A dan B. Bola A dapat berputar dan memuntir benang serat (*fiber*) bola B merupakan bola yang tidak bisa bergerak. Bola C yang terhubung langsung dengan bola A

merupakan pengimbang bola A. Gaya elektrostatis timbul ketika bola bermuatan B seperti pada Gambar 10.4 mendekati bola bermuatan A. Jika muatannya sejenis muncul gaya elektrostatis sehingga batang A-C berputar. Besarnya gaya elektrostatis sebanding dengan putaran dari pasangan bola A-C. Putaran ini, melalui serat (fiber) ringan dan puntirannya terukur melalui semacam busur.

Ketika besarnya muatan B diperbesar dengan diberi muatan tambahan atau diperkecil dengan cara mengalirkan muatannya ke tanah, Coulomb mengamati bahwa (dengan melihat skala pada busur), puntiran menjadi besar ketika muatan ditambah dan menjadi kecil ketika muatan dikurangi. Hal ini menunjukkan bahwa gaya elektrostatis sebanding dengan besar masing-masing muatan. Selanjutnya ketika Coulomb mengatur jarak antar muatan A dan B, mengamati bahwa puntiran menjadi besar ketika jaraknya dekat dan menjadi kecil ketika jaraknya lebih jauh dan menyimpulkan bahwa gaya elektrostatis ini berbanding terbalik dengan kuadrat jarak. Dari percobaan Coulomb dapatlah disimpulkan bahwa gaya elektrostatis sebanding dengan masing-masing muatan dan berbanding terbalik dengan kuadrat jaraknya.

Percobaan Coulomb di atas sebenarnya menyelidiki gaya tarik menarik atau tolak menolak antara dua “muatan titik” atau partikel bermuatan yaitu gaya antar benda bermuatan yang ukurannya jauh lebih kecil dibandingkan dengan jarak antara keduanya. Masalah yang diselidiki oleh Coulomb adalah masalah gaya interaksi elektrostatis. Sehingga gaya Coulomb sering disebut **gaya elektrostatis**. Dari hasil penyelidikannya ia mengemukakan Hukum Coulomb bahwa besar gaya antara dua muatan listrik  $q_1$  dan  $q_2$  yang terpisah dengan jarak  $r$ , sebanding dengan besar muatan yang berinteraksi serta sebanding dengan kuadrat jarak antara kedua muatan. Secara matematis dapat ditulis:

$$F \sim \frac{1}{r^2} \text{ dimana } (r = \text{jarak antar muatan})$$

$$F \sim q_1 \text{ dimana } (q_1 = \text{muatan pertama})$$

$$F \sim q_2 \text{ dimana } (q_2 = \text{muatan kedua})$$

Untuk membuat rumusan ini menjadi eksak, artinya mengubah tanda sebanding ( $\sim$ ) dengan tanda  $=$ , maka diperlukan sebuah konstanta, katakanlah  $k$  sehingga besar gaya antara kedua muatan titik tersebut adalah :

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

Dalam satuan SI tetapan  $k$  dituliskan dalam tetapan lain yaitu  $\epsilon_0$  untuk menyederhanakan rumus-rumus turunan yang banyak digunakan; yaitu:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

sehingga rumus Hukum Coulomb dapat dinyatakan:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1q_2|}{r^2}$$

$F$  = besar gaya Coulomb (N)

$q_1$  dan  $q_2$  = muatan listrik yang berinteraksi (coulomb, C)

$r$  = jarak antara muatan

$\epsilon_0$  = permitivitas dalam ruang vakum =  $8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}$

$k$  =  $9 \times 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2}$

Bila medium muatan bukan ruang vakum atau udara maka gaya Coulomb antara muatan  $q_1$  dan  $q_2$  berkurang ( $F_{\text{bahan}} < F_{\text{udara}}$ ). Jika medium (bahan) memiliki permitivitas relatif  $\epsilon_r$ , maka tetapan  $\epsilon_0$  pada rumus hukum Coulomb harus diganti dengan permitivitas bahan yang dirumuskan:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{|q_1q_2|}{r^2} \quad \text{untuk } \epsilon = \epsilon_r \cdot \epsilon_0$$

Dalam vakum  $\epsilon_r = 1$  dan dalam udara  $\epsilon_r = 1,0006$ .

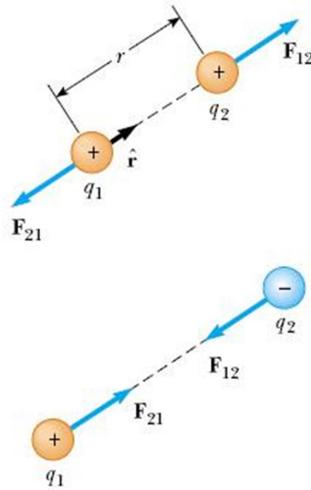
Dari kedua rumus (persamaan) tersebut dengan mudah Anda akan mendapat hubungan:

$$F_{\text{bahan}} = \frac{1}{\epsilon_r} \times F_{\text{vakum}}$$

Beberapa catatan penting tentang persamaan Hukum Coulomb adalah bahwa persamaan tersebut:

1. Hanya berlaku untuk muatan titik (artinya dimensi volume tidak diperhatikan).
2. Nilai konstanta  $9 \times 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2}$  hanya berlaku untuk muatan dalam vakum atau udara, untuk medium lain harganya akan berbeda.
3. Bila  $q$  dan  $q'$  bertanda sama maka  $F$  akan bertanda positif. Tanda  $F$  positif menunjukkan bahwa kedua muatan tolak menolak. Sebaliknya tanda negatif menunjukkan gaya yang saling menarik
4. Gaya elektrostatis  $F$  merupakan besaran vektor, sehingga operasi padanya harus memenuhi ketentuan operasi pada besaran vektor. Artinya jika terdapat beberapa muatan, maka gaya total yang dialami satu muatan merupakan resultan dari superposisi gaya-gaya oleh muatanmuatan lain.

Berikut adalah gambar interaksi antara dua muatan sejenis (baik sama-sama positif maupun sama-sama negatif) dan dua muatan berlainan.



Gambar 10.5. Vektor gaya Coulomb

Sumber: *Physics for Scientists and Engineers*

Arah gaya pada masing-masing muatan selalu sepanjang garis yang menghubungkan kedua muatan tersebut. Jika kedua muatan tersebut sejenis maka muatan tersebut saling tolak menolak dimana  $q_1$  ditolak oleh  $q_2$  dengan gaya  $F_{12}$  seperti pada gambar begitu pula  $q_2$  ditolak oleh  $q_1$  dengan gaya  $F_{21}$ . Jika kedua muatan tersebut berlainan jenis maka muatan-muatan tersebut akan tarik menarik. Muatan  $q_1$  ditarik oleh  $q_2$  dengan gaya  $F_{12}$ , begitu pula  $q_2$  ditarik oleh  $q_1$  dengan gaya  $F_{21}$ .

Dalam menggambar vektor gaya Coulomb perlu diperhatikan tiga hal berikut:

- Muatan sejenis tolak menolak, arah vektor gaya bertolak belakang;
- Muatan tak sejenis tarik-menarik, arah vektor gaya saling mendekati
- Vektor gaya Coulomb  $F$  terletak pada garis hubung kedua muatan.

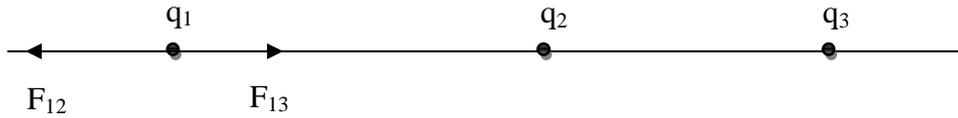
### Contoh Soal 1:

Tiga buah muatan titik  $q_1$ ,  $q_2$  dan  $q_3$  yang masing-masing bermuatan  $2 \times 10^{-6} \text{ C}$  (positif),  $3 \times 10^{-6} \text{ C}$  (positif) dan  $5 \times 10^{-6} \text{ C}$  (negatif) terletak pada sebuah garis lurus seperti pada gambar di bawah. Jarak antara  $q_1$  dan  $q_2$  adalah  $\ell_1 = 3 \text{ m}$  dan jarak antara  $q_2$  dan  $q_3$  adalah  $\ell_2 = 2 \text{ m}$ . Tentukanlah gaya elektrostatis yang dialami oleh muatan  $q_1$ ?

### Penyelesaian :



$q_1$  mengalami gaya tolak dari  $q_2$  karena muatannya sejenis, disamping  $q_1$  itu mengalami gaya tarik dari  $q_3$  karena muatannya berlawanan jenis. Arah gaya yang dialami oleh  $q_1$  tersebut adalah sebagai berikut:



Besar gaya-gaya Coulomb adalah sebagai berikut.

$$F_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{l_1^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \times 2 \cdot 10^{-6} \times 3 \cdot 10^{-6}}{3^2} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

$$F_{13} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_3}{(l_1 + l_2)^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \times 2 \cdot 10^{-6} \times 5 \cdot 10^{-6}}{(5)^2} = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

Resultan gaya dialami oleh  $q_1$  besarnya  $(6 - 3,6) \times 10^{-3} \text{ N} = 2,4 \times 10^{-3} \text{ N}$ , arahnya searah dengan  $\vec{F}_{12}$  (ke kiri).

## LATIHAN

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

1. Tiga buah muatan titik  $q_1$ ,  $q_2$  dan  $q_3$  yang masing-masing bermuatan  $4 \times 10^{-6} \text{ C}$  (positif),  $3 \times 10^{-6} \text{ C}$  (negatif) dan  $5 \times 10^{-6} \text{ C}$  (positif) berada pada sebuah garis lurus dan jarak antara  $q_1$  dan  $q_2$  adalah  $l_1 = 3 \text{ m}$  dan jarak antara  $q_1$  dan  $q_3$  adalah  $l_2 = 4 \text{ m}$  dimana  $q_1$  terletak di tengah-tengah diantara  $q_2$  dan  $q_3$ . Tentukanlah gaya elektrostatis yang dialami oleh muatan  $q_1$ ?

## RANGKUMAN

Tinjauan mengenai konsep kelistrikan dilandasi dari pembicaraan mengenai listrik statik. Sesuai dengan namanya, listrik statik merupakan kajian mengenai kelistrikan yang mempelajari muatan listrik yang dalam keadaan diam.

Telah lama orang memperhatikan fenomena sebuah benda yang dapat menarik benda-benda tertentu. “Keajaiban” yang semula dianggap sebagai sihir ini kemudian terbukti bahwa ada suatu kejadian fisis yang berkaitan dengan adanya gejala kelistrikan.

Gejala kelistrikan statik baru dipelajari secara intensif oleh Dufay (pada tahun 1700-an) dimana ia berhasil menunjukkan ada dua jenis gejala, yaitu gejala listrik dapat menimbulkan efek tarik-menarik pada benda tertentu dan gejala listrik dapat menimbulkan efek tolak-menolak. Pada perkembangan selanjutnya didefinisikan bahwa ada dua jenis muatan listrik: muatan positif dan muatan negatif.

Charles Augustin de Coulomb menemukan bahwa muatan-muatan sejenis akan menimbulkan efek tolak-menolak sedangkan muatan-muatan tidak sejenis akan menimbulkan efek

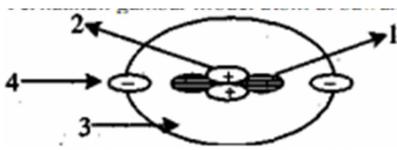
tarik-menarik. Gaya tarik atau gaya tolak ini berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara benda/muatan dan sebanding dengan besarnya muatan benda tersebut.

### TES FORMATIF 1

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

1. Kajian mengenai kelistrikan yang mempelajari muatan listrik yang dalam keadaan diam dinamakan ...
  - A. Electronic
  - B. Electrostatic
  - C. Electromagnetic
  - D. Electrodynamic
2. Ilmuwan pertama yang mengukur bagaimana muatan listrik berinteraksi adalah ...
  - A. Charles Dufay
  - B. William Gilbert
  - C. Benyamin Franklin
  - D. Charles Augustin de Coulomb
3. Percobaan Millikan yang dikenal dengan percobaan tetes-minyak bertujuan untuk ...
  - A. menemukan nilai muatan terkecil
  - B. mengukur interaksi muatan listrik
  - C. menentukan muatan listrik positif dan negatif
  - D. membuat muatan listrik
4. Cara paling sederhana untuk memperoleh muatan positif adalah dengan cara ...
  - A. Menggosok kaca dengan kain beludru
  - B. Menggosok besi dengan kain wool
  - C. Menggosok batang karet dengan kain sutera
  - D. Menggosok kaca dengan kain sutera
5. Elektroskop merupakan suatu alat yang digunakan untuk menentukan ...
  - A. potensial listrik
  - B. jenis bahan listrik
  - C. jenis muatan listrik
  - D. arah medan listrik
6. Gaya Coulomb merupakan salah satu contoh gaya alamiah yang termasuk dalam ...
  - A. Gaya gravitasi
  - B. Gaya elektromagnetik
  - C. Gaya lemah
  - D. Gaya kuat

7. Untuk mengetahui besar gaya elektrostatis, Coulomb menggunakan sebuah perangkat *Torsion Balance*. Pernyataan yang tidak tepat terkait dengan besar gaya elektrostatis yang dialami oleh bola bermuatan dalam perangkat tersebut adalah ...
- Gaya elektrostatis sebanding dengan bola bermuatan yang diam
  - Gaya elektrostatis sebanding dengan bola bermuatan yang dapat berputar
  - Gaya elektrostatis berbanding terbalik dengan jarak antara kedua bola bermuatan
  - Gaya elektrostatis sebanding dengan kebalikan kuadrat jarak antara kedua bola bermuatan.
8. Besarnya gaya tarik-menarik atau gaya tolak menolak antara dua muatan listrik dapat dicari dengan persamaan ...
- $F = q \cdot R$
  - $F = \frac{q^2}{r^2}$
  - $F = k \frac{q_1 q_2}{r}$
  - $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$
9. Dua buah benda masing-masing bermuatan listrik  $+4 \times 10^{-9}$  coulomb dan  $+9 \times 10^{-9}$  coulomb, terpisah sejauh 2cm. Apabila  $k = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$ , maka gaya tolak menolak kedua benda itu adalah ...
- $8,1 \times 10^{-6} \text{ N}$
  - $8,1 \times 10^{-5} \text{ N}$
  - $8,1 \times 10^{-4} \text{ N}$
  - $8,1 \times 10^{-3} \text{ N}$
10. Perhatikan gambar model atom di bawah ini!



Yang disebut proton ditunjukkan oleh nomor ...

- 1
- 2
- 3
- 4

## BALIKAN DAN TINDAK LANJUT

Cocokkan hasil jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 1 yang terdapat di bagian akhir bahan belajar mandiri ini. Hitunglah jawaban Anda yang benar, kemudian gunakan rumus di bawah ini 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 Anda mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda telah berhasil menyelesaikan bahan belajar mandiri Kegiatan Belajar 1 ini. **Bagus!** Akan tetapi apabila tingkat penguasaan Anda masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi Kegiatan Belajar 1, terutama bagian yang belum Anda kuasai.

## KEGIATAN BELAJAR 2

# MEDAN LISTRIK DAN POTENSIAL LISTRIK

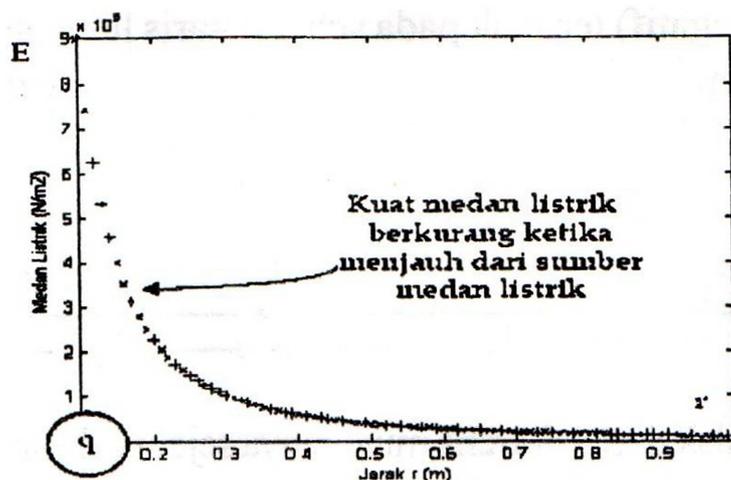
Pada Kegiatan Belajar sebelumnya kita telah mempelajari muatan listrik yang dimiliki suatu benda serta sifat-sifat muatan listrik dan gaya listrik. Selain meninjau gejala kelistrikan dari muatan-muatan listrik yang dimiliki suatu benda, ada cara lain untuk mendeskripsikan gejala kelistrikan, yaitu dengan konsep medan listrik. Pada Kegiatan Belajar berikut ini akan dibahas mengenai konsep medan listrik dan potensial listrik.

### A. Kuat Medan Listrik

Medan listrik merupakan salah satu besaran listrik yang memiliki kaitan dengan interaksi Coulomb. Medan listrik merupakan suatu besaran fisis yang memiliki nilai pada setiap titik dalam ruang. Konsep medan memungkinkan kita memandang sebuah muatan listrik  $q$  sebagai sumber yang memancarkan pengaruh listrik ke segala arah. Pengaruh listrik ini dinamakan medan (field). Medan listrik ini akan mempengaruhi muatan listrik lain  $q'$  (muatan uji) yang berada di sekitarnya, berupa tarikan atau tolakan, bergantung dari jenis muatannya. Dengan kata lain muatan  $q'$  akan mengalami gaya Coulomb. Medan listrik adalah daerah di sekitar muatan di mana pengaruh listrik masih berpengaruh pada muatan lain. Kuat medan listrik di suatu titik sejauh  $r$  dari muatan  $q$  adalah :

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

Dari persamaan ini kita perhatikan bahwa makin jauh dari muatan listrik, medan listrik makin kecil secara kuadratik, perhatikan Gambar 10.6 berikut.



Gambar 10.6. Penurunan Kuat Medan Listrik terhadap jarak dari Sumbernya

Dari persamaan di atas bisa kita dapatkan hubungan antara gaya Coulomb  $F$  dengan medan listrik  $E$ :

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq'}{r^2} = q \left( \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q'}{r^2} \right)$$
$$F = q \cdot E \rightarrow E = \frac{F}{q}$$

$r$  = jarak titik terhadap muatan sumber ( $q$ ), satuan m

$q$  = muatan sumber, satuan C

$q'$  = muatan uji (muatan yang berada dalam medan listrik muatan  $q$ ), satuan C

$E$  = besar kuat medan listrik, satuan N/C

Dengan demikian kuat medan listrik dari suatu dapat juga didefinisikan sebagai hasil bagi gaya Coulomb yang bekerja pada muatan uji dengan besar muatan uji tersebut. Selanjutnya, satuan untuk besaran-besaran  $F$ ,  $k$ ,  $\pi$ ,  $\epsilon_0$ , dan  $q$  sudah diketahui pada pembahasan tentang gaya Coulomb. Sedangkan satuan untuk kuat medan listrik berdasarkan persamaan di atas dapat dinyatakan dalam N/C (Newton/Coulomb).

### **Contoh Soal 2:**

Hitunglah medan listrik pada radius 1 cm, 2 cm dan 3 cm dari sebuah muatan titik dengan besar muatan  $4 \mu\text{C}$ ?

### **Penyelesaian:**

Diketahui:  $q = 4 \mu\text{C} = 4 \times 10^{-6} \text{ C}$

$$r_1 = 10^{-2} \text{ m}$$

$$r_2 = 2 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$r_3 = 3 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$k = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}$$

Dengan menggunakan persamaan di atas maka kita peroleh kuat medan listrik pada masing-masing titik sebagai berikut:

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

$$E_1 = 9 \cdot 10^9 \frac{4 \cdot 10^{-6}}{(10^{-2})^2} = 3,6 \times 10^8 \text{ N/C}$$

$$E_2 = 9 \cdot 10^9 \frac{4 \cdot 10^{-6}}{(2 \cdot 10^{-2})^2} = 0,9 \times 10^8 \text{ N/C}$$

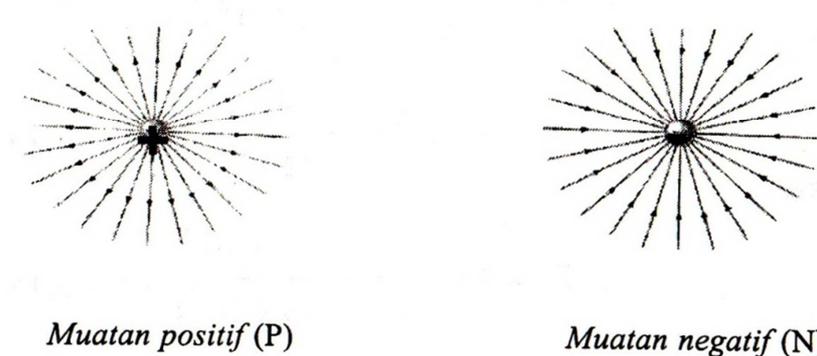
$$E_1 = 9 \cdot 10^9 \frac{4 \cdot 10^{-6}}{(3 \cdot 10^{-2})^2} = 0,4 \times 10^8 \text{ N/C}$$

Kuat medan listrik termasuk besaran vektor. Oleh sebab itu kuat medan listrik di suatu titik akibat adanya beberapa muatan sumber merupakan jumlah vektor (resultan) dari vektor-vektor kuat medan listrik yang dihasilkan oleh masing-masing muatan sumber. Misalnya, jika terdapat tiga buah muatan listrik dalam suatu ruang, maka kuat medan listrik pada suatu titik P (sebut saja  $E_p$ ) dalam ruang tersebut secara matematis dapat ditulis:

$$E_p = E_1 + E_2 + E_3$$

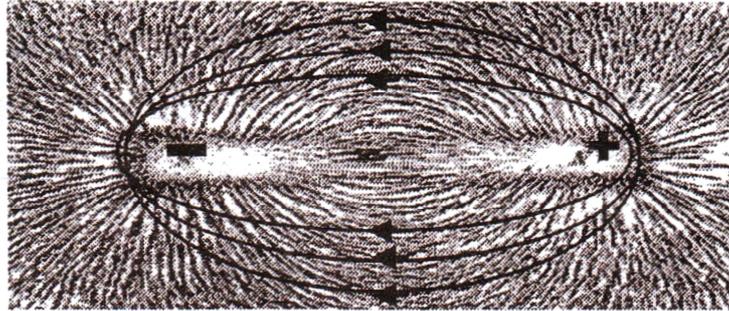
## B. Arah Medan Listrik

Arah gaya Coulomb yang bekerja pada muatan uji  $q_2$  yang ditempatkan pada medan medan listrik dari muatan sumber  $q$  bergantung pada jenis masing-masing muatan. Para ahli fisika sepakat bahwa arah medan listrik pada suatu tempat sebagai arah gaya yang dihasilkan terhadap muatan positif.



Gambar 10.7. Arah Medan Listrik di Sekitar Muatan Positif dan Muatan Negatif

Muatan penghasil medan listrik biasa disebut muatan sumber. Berdasarkan definisi yaitu arah medan listrik adalah arah gaya terhadap benda bermuatan positif, maka arah medan listrik dari muatan positif adalah radial keluar menjauhi (meninggalkan) muatan sumber positif (P). Sedangkan arah medan listrik dari muatan negatif adalah radial ke dalam mendekati (masuk) menuju muatan sumber negatif (N) seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Sedangkan gambar 6 adalah foto garis-garis gaya medan listrik dari muatan positif akan memasuki muatan negatif yang berada di dekatnya.



Gambar 10.8. Garis gaya medan listrik muatan positif dan muatan negatif

Dengan mencermati sifat-sifat dari garis gaya medan listrik maka kita akan mendapatkan tiga karakteristik garis-garis gaya medan tersebut sebagai berikut.

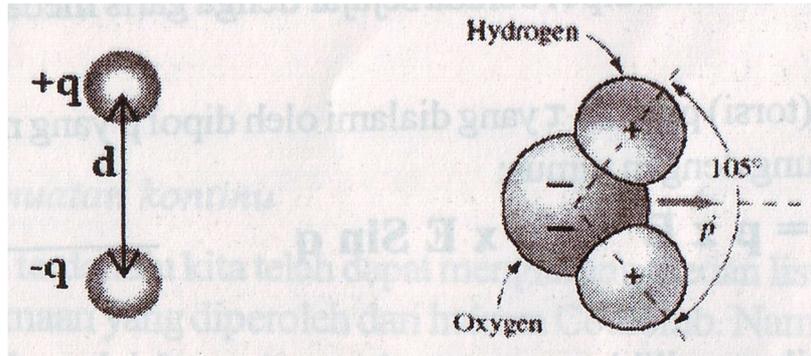
- (1) Garis gaya medan listrik tidak pernah berpotongan satu dengan yang lainnya.
- (2) Garis-garis gaya medan listrik selalu mengarah radial ke luar menjauhi muatan positif dan radial ke dalam menuju muatan negatif.
- (3) Tempat dimana garis-garis gaya medan listrik rapat menunjukkan medan listrik yang kuat; sebaliknya tempat dimana garis-garis gaya medan listrik merenggang menunjukkan medan listrik yang lemah.

Selain hal di atas, penting untuk diperhatikan bahwa setiap muatan listrik selalu menghasilkan garis gaya listrik yang senantiasa menuju kepada muatan yang lebih negatif. Oleh karenanya kuat medan listrik di alam senantiasa memberi pengaruh kepad muatan-muatan lainnya termasuk terhadap muatan listrik yang ada dalam tubuh kita. Jika kekuatan medan listrik (dan juga kuat medan elektromagnet) melebihi ambang batas dapat membahayakan kesehatan manusia. Rekomendasi Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) tahun 1987 menyebutkan bahwa kuat medan listrik di bawah  $10^4$  V/m atau  $10^4$  N/C tidak membahayakan manusia. Sebagai contoh, medan listrik di sekitar rangkaian listrik 120V AC tidak membahayakan karena kekuatannya hanya  $10^{-2}$  N/C; demikian juga medan elektromagnetik permukaan bumi yang hanya  $10^2$  N/C. Tetapi tabung gambar televisi ( $10^5$  N/C) sudah berada di luar ambang batas aman, dan sangat mungkin memberi dampak negatif terhadap jaringan tubuh kita.

### C. Dipol Listrik

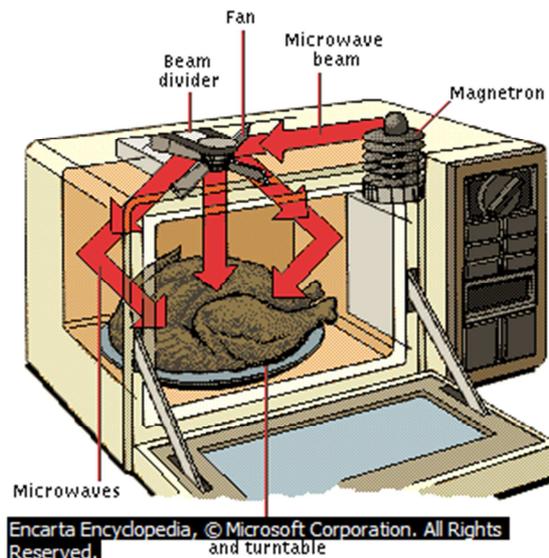
Dalam pembahasan tentang Hukum Coulomb, kita mengetahui bahwa gaya antara dua muatan selalu tidak sama dengan nol walaupun jumlah muatan keduanya mungkin sama dengan nol. Untuk dua buah muatan berlawanan “diposisikan” sejauh  $d$  seperti pada gambar

maka terbentuk sebuah sistem sumber listrik statis yang disebut dipol listrik (Yunani : *dyo* = dua, *polos* = sumbu/pasak). Pada dipol listrik, meskipun secara total besar muatannya nol [karena  $q + (-q) = 0$ ], namun sistem dipol masih memiliki medan listrik di sekitarnya. Di alam dipol listrik ditemukan dalam molekul H<sub>2</sub>O di mana hidrogen memiliki muatan positif, sedangkan oksigen bermuatan negatif.



Gambar 10.9. Dipol Listrik

Dalam medan listrik dipol yang dibentuk oleh molekul H<sub>2</sub>O bergerak menyesuaikan diri dengan medan yang mempengaruhinya, dan jika medan ini dibuat bolak-balik, maka molekul H<sub>2</sub>O ikut berosilasi bolak-balik sehingga menaikkan temperaturnya. Teknik inilah yang dimanfaatkan oleh Percy Lebaron Spencer secara tidak sengaja dalam “menemukan” pemanggang microwave pertama kali pada tahun 1946-an. *Microwave Oven* pertama kali ditemukan Percy Spencer secara tak sengaja ketika “peanut bar” nya meleleh dalam saku ketika berdiri di depan agnetron dalam radar tempat ia bekerja di US Navy.



Gambar 10.10. Microwave Oven

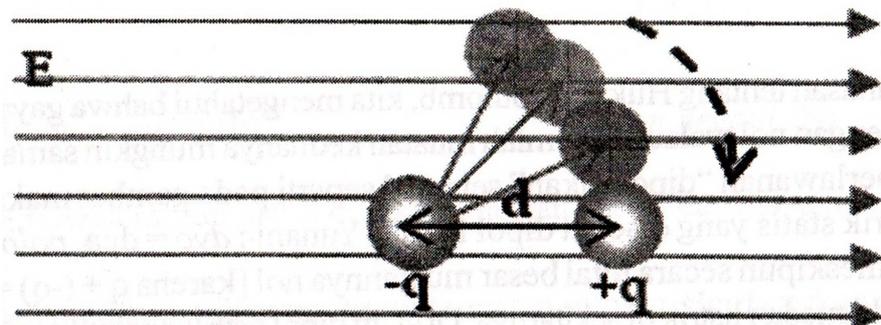
Sumber: Microsoft Encarta Premium 2009

Dalam pemanggang microwave, medan listrik dengan frekuensi 2,45 GHz (atau dengan panjang gelombang 12.2 cm) di dalamnya dibuat bolak-balik sehingga membuat molekul H<sub>2</sub>O yang ada di dalam makanan bergerak bolak-balik juga, akibat gerak bolak-balik ini makanan yang dipanggang menjadi panas dan dalam waktu yang cukup dapat mematangkan makanan.

Nilai dipol listrik ini dapat diketahui dengan mengukur sebuah besaran bernama momen dipol  $p$  yang didefinisikan sebagai perkalian muatan  $q$  dengan jarak antar muatannya ( $d$ ) :

$$p = qd$$

Jika dalam medan magnet  $E$  diletakkan sebuah dipol, maka dipol ini akan mengalami momen putar hingga sejajar dengan medan listrik yang mempengaruhinya seperti nampak pada gambar berikut.



Gambar 10.11. Muatan dipol berada sejajar dengan garis medan listrik

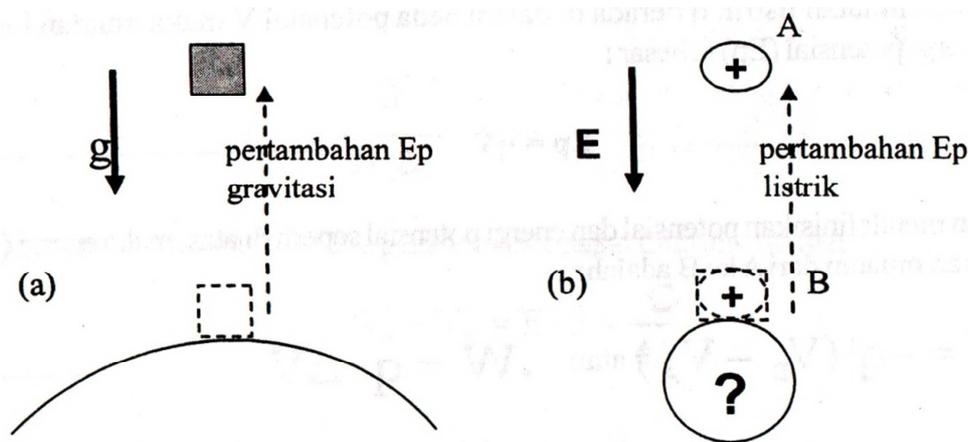
## 5. Energi Potensial dan Potensial Listrik

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 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. 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.

Gaya gravitasi bumi menarik suatu benda menuju ke permukaan bumi. Baik gaya gravitasi bumi ( $F$ ) maupun kuat medan gravitasi (percepatan gravitasi  $g$ ) bearah vertikal ke bawah. Jia sebuah benda diangkat yang terjadi adalah melawan gaya gravitasi, itu berarti kita melakukan usaha pada benda dan sebagai akibatnya energi potensial ( $E_p$ ) gravitasi benda bertambah. (Gambar 10.12a)



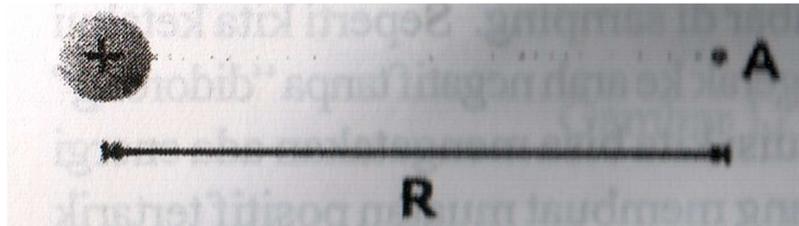
Gambar 10.12. Analogi Energi Potensial Gravitasi dan Energi Potensial Listrik

Konsep energi juga berguna dalam kelistrikan. Gaya listrik  $F$  yang dikerjakan pada suatu muatan uji positif oleh suatu muatan sumber negatif adalah mengarah ke muatan negatif. Untuk menggerakkan muatan uji menjauhi muatan negatif, kita harus melakukan usaha pada muatan uji. Sebagai akibatnya energi potensial listrik muatan uji bertambah. (Gambar 13.b). Dalam analogi muatan listrik dengan benda di permukaan bumi, 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. Atau perubahan energi potensial dapat diketahui dari usaha yang dilakukan.

a. *Potensial listrik di suatu titik dari sebuah muatan*

Dalam konsep medan listrik dibedakan antara pengertian *potensial listrik* ( $V$ ) dengan *energi potensial listrik* ( $E_p$ ). Perhatikan ilustrasi berikut.

Sebuah muatan sumber menimbulkan medan listrik pada setiap titik dalam ruang sferis di sekitarnya. Misalnya di titik A yang berjarak  $R$  dari muatan.



**Potensial listrik ( $V$ )** di titik A karena muatan  $q$  ditetapkan sebagai:

$$V = k q/R \text{ atau } V = E R$$

Potensial di suatu titik, misalnya titik A tersebut di atas (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”. 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.

Jika suatu muatan listrik  $q$  berada di dalam beda potensial  $V$  maka muatan listrik tersebut memiliki energi potensial ( $E_p$ ) sebesar :

$$E_p = qV$$

Dengan mendefinisikan potensial dan energi potensial seperti di atas, maka energi (usaha) untuk memindahkan muatan dari A ke B adalah:

$$W = -q'(V_B - V_A)$$

atau

$$W = q \cdot \Delta V$$

dengan:

$W$  = Energi potensial listrik (J)

$q$  = muatan listrik (C)

$V_B$  = potensial listrik di titik B (volt)

$V_A$  = potensial listrik di titik A (volt)

$\Delta V$  = beda potensial antara A dan B (volt)

Satuan dari potensial dalam SI adalah J/C atau Volt. Dari persamaan (1) kita bisa menginterpretasikan makna dari potensial listrik  $V$  hubungannya dengan energi potensial  $W$ , bahwa “pada perbedaan potensial 1 Volt dibutuhkan energi 1 Joule untuk memindahkan muatan sebesar 1C dari satu titik ke titik yang lain”.

### Contoh Soal 3:

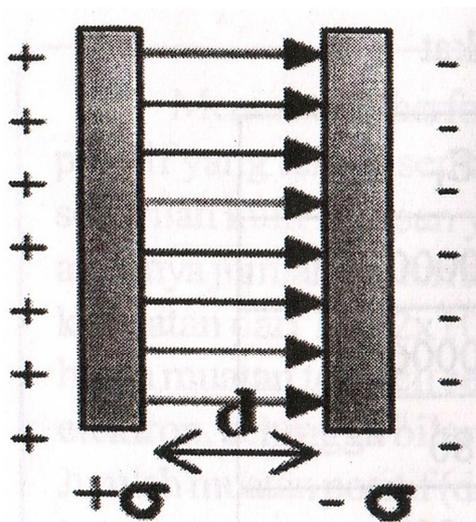
Beda potensial antara dua kutub baterai mobil adalah sekitar 12 V. Berapa energi yang diberikan pada sebuah elektron ( $q_e = -1.602 \times 10^{-19} \text{C}$ ) Selama bergerak dari kutub positif ke kutub negatif ?

**Penyelesaian:**  $W = q \cdot \Delta V = 1,9 \times 10^{-18} \text{C}$

Coba Anda periksa jawaban di atas!

### b. 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, serta dipisahkan sejauh  $d$  oleh sebuah zat yang bersifat isolator atau dielektrik.



Kapasitor sebagai komponen elektronik digunakan untuk menyimpan muatan listrik. Jumlah kuat medan diantara dua pelat ( $E$ ) yang diisi muatan  $Q$  dengan kerapatan  $\sigma$  adalah dari suatu kapasitor adalah:

$$E = \frac{Q}{A\epsilon_0} \text{ atau } E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

Sedangkan beda potensial antara kedua pelat tersebut dapat dihitung dengan:

$$V_{ab} = V_a - V_b = E \cdot d = \frac{Q \cdot d}{\epsilon_0 \cdot A}$$

Ukuran kapasitor biasanya dinyatakan dalam kapasitansi. Secara fisis kapasitansi  $C$  adalah seberapa banyak sebuah kapasitor dapat menampung/diisi oleh muatan. Keterhubungan antara kapasitansi dan besaran lain dalam kapasitor adalah :

$$C = \frac{Q}{V_{AB}} = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

Satuan kapasitansi dalam SI adalah Farad (F), mikrofarad ( $\mu\text{F}$ ) dan pikofarad (pF); dimana  $1 \text{ F} = 10^6 \mu\text{F} = 10^{12} \text{ pF}$  ].  $1 \text{ Farad} = 1 \text{ coulomb/volt}$ .

Dari persamaan di atas dapat kita pahami bahwa kapasitas suatu kapasitor keping sejajar adalah:

- (a) sebanding dengan luas keping
- (b) berbanding terbalik dengan jarak pisah antara kedua keping
- (c) sebanding dengan permitivitas bahan penyekat (bahan dielektrik)

Kualitas dan kekhususan suatu kapasitor turut ditentukan oleh bahan dielektrik atau harga permitivitas. Pada tabel di bawah ini dicantumkan harga permitivitas relatif beberapa bahan. Permitivitas relatif adalah perbandingan antara kapasitas dalam bahan penyekat dengan kapasistas dalam vakum (udara).

Tabel 1: Permittivitas Relatif Bahan Penyekat

Nama Bahan	$\epsilon_r$
Vakum	1,0000
Udara (20 C, 1 atm)	1,0006
Air (H <sub>2</sub> O)	80
Minyak transformator	2,22
Silika campuran	3,78
Mika	7,00

Beberapa penggunaan kapasitor dalam berbagai rangkaian listrik, antara lain adalah:

- (a) untuk memilih frekuensi pada radio penerima
- (b) sebagai filter dalam catu daya (*power supply*)
- (c) untuk menghilangkan bunga api pada sistem pengapian mobil
- (d) sebagai penyimpan energi dalam rangkaian penyalu elektronik

Kapasitor juga terdiri dari berbagai bentuk, ukuran, dan jenis disesuaikan dengan penggunaannya dalam praktik. Misalnya, *kapasitor kertas*, *kapasitor elektrolit*, dan *kapasitor variabel*.

#### Contoh Soal 4:

Sebuah kapasitor dengan kapasitansi 0,5  $\mu\text{F}$  dimuati oleh baterai 24 volt. Berapa muatan yang tersimpan dalam kapasitor itu?

$$\text{Kapasitas } C = 0,5 \mu\text{F} = 0,5 \times 10^{-6} \text{ F} = 5 \times 10^{-7} \text{ F}$$

$$\text{Beda potensial } V = 24 \text{ volt.}$$

$$q = C \times V = 5 \times 10^{-7} \text{ F} \times 24 \text{ volt} = 12 \times 10^{-6} \text{ coulomb.}$$

#### LATIHAN

1. Dua buah muatan masing-masing  $q_1 = +20 \times 10^{-8} \text{ C}$  dan  $q_2 = -5 \times 10^{-8} \text{ C}$  terpisah sejauh 10 cm. Bila tepat diantara kedua muatan tersebut terdapat titik P yang berjarak 4 cm dari muatan  $q_1$ , berapakah resultan medan listrik di titik P yang ditimbulkan oleh kedua muatan tersebut?
2. Berapakah kapasitas yang dimiliki sebuah kapasitor yang memiliki luas permukaan 2  $\text{cm}^2$  dan jarak antara dua kepingnya 0,5 cm?

## RANGKUMAN

Cara lain dalam menjelaskan gejala kelistrikan adalah dengan konsep medan listrik. Medan listrik adalah daerah di sekitar muatan dimana pengaruh listrik masih berpengaruh pada muatan lain. Kuat medan listrik dapat pula didefinisikan sebagai hasil bagi gaya Coulomb yang bekerja pada muatan uji dengan besar muatan uji tersebut. Kuat medan listrik termasuk besaran vektor. Oleh karena itu kuat medan listrik di suatu titik akibat adanya beberapa muatan sumber merupakan jumlah vektor (resultan) dari vektor-vektor kuat medan listrik yang dihasilkan oleh masing-masing muatan sumber.

Konsep energi juga berguna dalam kelistrikan. Gaya listrik  $F$  yang dikerjakan pada suatu muatan uji positif oleh suatu muatan sumber negatif adalah mengarah ke muatan negatif. Dalam analogi muatan listrik dengan benda di permukaan bumi, muatan negatif dianggap sebagai bumi dan muatan positif sebagai benda yang jatuh (atau sebaliknya). Muatan positif  $q$  “jatuh” dari energi potensial lebih tinggi ke energi potensial lebih rendah. Seiring dengan demikian akibat usaha yang dilakukan pada muatan positif untuk berpindah maka telah terjadi pengurangan energi potensial.

Dalam konsep medan listrik dibedakan antara pengertian *potensial listrik* ( $V$ ) dengan *energi potensial listrik* ( $E_p$ ). Sebuah muatan sumber menimbulkan medan listrik pada setiap titik dalam ruangan sferis di sekitarnya.

Kapasitor pada prinsipnya merupakan komponen elektronika yang terdiri dari dua buah konduktor (dalam hal ini berbentuk pelat) yang berlawanan muatan, digunakan untuk menyimpan muatan listrik. Kapasitas suatu kapasitor sejajar adalah: sebanding dengan luas keping, berbanding terbalik dengan jarak pisah antara kedua keping, dan sebanding dengan permitivitas bahan penyekat (dielektrik).

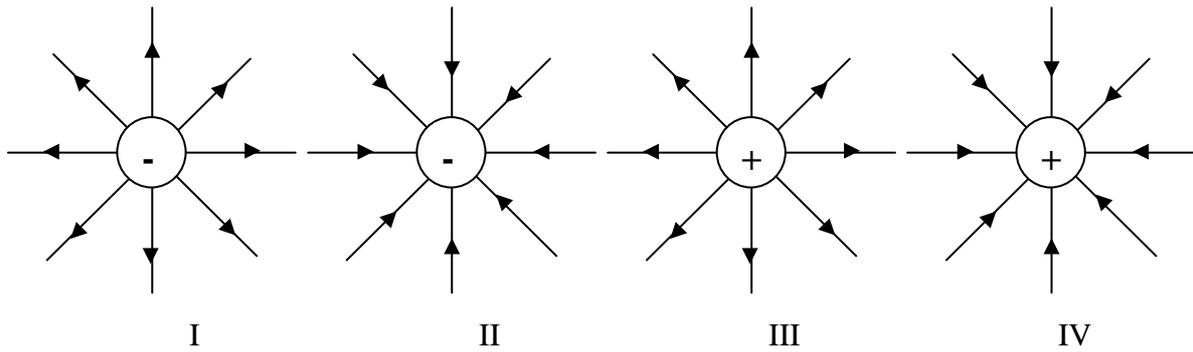
## TES FORMATIF 2

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

1. Medan listrik merupakan salah satu besaran listrik yang memiliki kaitan dengan interaksi Coulomb. Sebuah muatan listrik dikatakan tidak berada dalam medan listrik apabila ...
  - A. muatan tersebut dapat tertarik oleh muatan lain di sekitarnya
  - B. muatan tersebut dapat terpenyal oleh muatan lain di sekitarnya
  - C. muatan tersebut mendapatkan gaya listrik dari sekumpulan muatan lain di sekitarnya
  - D. muatan tersebut tidak dipengaruhi gaya Coulomb

2. Pernyataan yang sesuai dengan besar kecilnya medan listrik yang dialami pada suatu titik oleh sebuah muatan pada jarak tertentu adalah ...
- A. Semakin besar muatannya dan semakin besar jaraknya maka medan listriknya semakin besar
  - B. Semakin kecil muatannya dan semakin kecil jaraknya maka medan listriknya semakin kecil
  - C. Semakin besar muatannya dan semakin kecil jaraknya maka medan listriknya semakin besar
  - D. Semakin kecil muatannya dan semakin besar jaraknya maka medan listriknya semakin besar
3. Sebuah muatan  $q$  memiliki besar muatan listrik  $4 \times 10^{-6}$  C. Berapakah besar medan listrik pada jarak 2 cm dari muatan tersebut?
- A.  $4 \times 10^7$  N/C
  - B.  $9 \times 10^7$  N/C
  - C.  $40 \times 10^7$  N/C
  - D.  $90 \times 10^7$  N/C
4. Garis-garis medan listrik memiliki karakteristik yang hampir mirip dengan garis-garis medan magnet atau yang lebih dikenal dengan garis gaya magnet. Karakteristik yang tidak sesuai untuk garis-garis medan listrik adalah ...
- A. Garis gaya medan listrik keluar menjauhi muatan positif
  - B. Garis gaya medan listrik tidak pernah berpotongan satu dengan yang lainnya
  - C. Garis gaya medan listrik mengarah radial ke dalam menuju muatan negatif
  - D. Semakin renggangnya garis gaya medan listrik menunjukkan bahwa pada daerah itu medan listriknya semakin kuat

5. Perhatikan Gambar berikut.



Pola garis medan listrik yang tepat adalah ...

- A. I dan II  
 B. I dan III  
 C. II dan III  
 D. III dan IV
6. Persamaan (rumus) yang menunjukkan hubungan antara medan listrik dan gaya Coulomb adalah ...
- A.  $E = F \cdot q$   
 B.  $E = F \cdot q^2$   
 C.  $E = \frac{F}{q}$   
 D.  $E = \frac{q}{F}$
7. Untuk memindahkan muatan listrik 2 coulomb dari A ke B diperlukan energi 6 joule. Perbedaan potensial antara A dan B adalah ...
- A. 3 volt  
 B. 4 volt  
 C. 12 volt  
 D. 18 volt
8. Berapakah energi potensial listrik yang diperlukan untuk memindahkan muatan listrik sebesar 5 C dari titik A ke titik B apabila potensial listriknya 2 volt?
- A. 5 J  
 B. 10 J  
 C. 15 J  
 D. 20 J

9. Alasan yang paling sesuai terkait dengan definisi dari energi potensial adalah ...
- A. Adanya gaya tarik antara muatan yang tidak sejenis
  - B. Adanya gaya tolak antara muatan yang sejenis
  - C. Adanya arus yang mengalir pada rangkaian
  - D. Diperlukan energi untuk memindahkan muatan listrik
10. Kapasitor digunakan untuk menyimpan muatan listrik. Kapasitas suatu kapasitor dipengaruhi oleh besaran-besaran berikut, kecuali ...
- A. Luas permukaan masing-masing keping
  - B. Jarak pisah antara masing-masing keping
  - C. Bahan penyusun masing-masing keping
  - D. Permittivitas bahan penyekat antara kedua keping

## BALIKAN DAN TINDAK LANJUT

Cocokkan hasil jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 2 yang terdapat di bagian akhir bahan belajar mandiri ini. Hitunglah jawaban Anda yang benar, kemudian gunakan rumus di bawah ini 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 Anda mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda telah berhasil menyelesaikan bahan belajar mandiri Kegiatan Belajar 2 ini. **Bagus!** Akan tetapi apabila tingkat penguasaan Anda masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi Kegiatan Belajar 2, terutama bagian yang belum Anda kuasai.

# KUNCI JAWABAN TES FORMATIF

## *Tes Formatif 1*

1. B
2. D
3. A
4. D
5. C
6. B
7. C
8. D
9. C
10. B

## *Tes Formatif 2*

1. D
2. C
3. B
4. D
5. C
6. C
7. A
8. B
9. D
10. C

# GLOSARIUM

Elektroskop	: suatu alat yang dapat digunakan untuk mendeteksi adanya muatan listrik atau medan listrik.
Medan	: suatu besaran dalam fisika yang memiliki nilai pada setiap titik dalam ruang.
Medan listrik	: besaran listrik yang memiliki nilai pada setiap titik dalam ruang, dan dapat dinyatakan dalam gaya persatuan muatan.
Potensial listrik	: suatu usaha yang diperlukan tiap satuan muatan terhadap gaya yang ditimbulkan oleh medan listrik, bila suatu muatan dipindahkan dari suatu titik ke titik tertentu.
Proton	: muatan positif pada atom; inti atom.
Elektron	: muatan negatif pada atom; elektron mengelilingi proton.
Gaya Coulomb	: gaya tarik/tolak listrik yang ditimbulkan oleh muatan-muatan listrik.
Kapasitor	: komponen elektronika yang berfungsi menyimpan muatan listrik; terdiri dari dua buah konduktor yang berlawanan muatan.

## DAFTAR PUSTAKA

Halliday, D., Resnick, R. (1997). *Physics* , terjemahan: Patur Silaban dan Erwin Sucipto.  
Jakarta: Erlangga.

Microsoft Encarta Premium 2009

Muslim, dkk. (2006). *Konsep Dasar Fisika*. Bandung. UPI Press

Pratiwi, P.R. dkk. (2008). *CTL Ilmu Pengetahuan Alam SMP Kelas IX*. Jakarta: Depdiknas.

Rositawaty, S & Aris Muharam. (2008). *Senangnya Belajar IPA Kelas 6*. Jakarta: Pusat  
Perbukuan Depdiknas.

Sulistiyanto, H & Edy Wiyono. (2008). *Ilmu Pengetahuan Alam untuk SD/MI Kelas 6*.  
Jakarta: Pusat Perbukuan Depdiknas.

Tim SEQIP. (2003). *Buku IPA Guru Kelas 6* Jakarta: Dirjen Dikdasmen Depdiknas

Tipler, P.A. (1998). *Fisika untuk Sains dan Teknik*. Jakarta: Erlangga.