

Listrik Statis dan Dinamis

DAFTAR ISI

A. Pendahuluan.....	iii
1. Deskripsi Singkat	iii
2. Relevansi.....	iv
3. Petunjuk Belajar.....	iv
B. Inti.....	1
1. Capaian Pembelajaran.....	1
2. Sub Capaian Pembelajaran.....	1
3. Uraian Materi	1
Konsep Listrik Statis.....	2
Muatan Listrik.....	2
Aktivitas 3.1 Menyelidiki Gejala Listrik Statis	2
Hukum Coulomb.....	5
Aktivitas 3.2 Bagaimana Interaksi Dua Benda Bermuatan terhadap Jaraknya?	6
Medan Listrik.....	10
Kelistrikan pada Sel Saraf.....	13
Aktivitas 3.3 Identifikasi Bagian Sel Saraf.....	16
Hantaran Listrik	16
Aktivitas 3.4 Mengidentifikasi Jenis Bahan Isolator dan Konduktor	17
Konduktor listrik.....	18
Isolator listrik.....	19
Semikonduktor listrik	19
Aktivitas 3.5 Percobaan Besar Hambatan Listrik pada Kawat Konduktor	24
Hewan-hewan Penghasil Listrik	26
Ikan Belalai Gajah	26
Ikan Pari Elektrik	27
Hiu Kepala Martil	28
Echidnas.....	28
Belut Listrik	29
Lele Elektrik	29
Konsep Listrik Dinamis	30
Arus Listrik	31
Aktivitas 3.6 Menyalakan Lampu dengan Baterai.....	31
Aktivitas 3.7 Baterai Buah.....	32
Rangkaian Listrik.....	37

Aktivitas 3.8 Rangkaian Lampu secara Seri dan Paralel.....	37
Aktivitas 3.9 Rangkaian Baterai secara Seri dan Paralel.....	38
Aktivitas 3.10 Mengetahui Hubungan antara Kuat Arus, Hambatan, dan Tegangan Listrik pada Suatu Rangkaian Listrik (Hukum Ohm).....	40
Rangkaian Hambatan Listrik Seri	43
Rangkaian Hambatan Listrik Paralel.....	44
Sumber Arus Listrik.....	45
Sumber-Sumber Energi Listrik	46
Energi Matahari.....	46
Energi Angin (Kincir Angin)	47
Energi Air (Hydropower).....	48
Bioenergi.....	49
Transmisi Energi Listrik.....	50
Upaya Penghematan Energi Listrik.....	51
Pencegahan Bahaya Penggunaan Listrik dalam Kehidupan.....	54
Tugas Terstruktur/Latihan.....	55

Listrik Statis dan Dinamis

A. Pendahuluan

1. Deskripsi Singkat

Modul *Hybrid Learning* listrik magnet ini merupakan Modul yang berorientasi pada implementasi Kurikulum 2013. Modul ini dirancang untuk memperkuat kompetensi mahasiswa calon guru IPA dari sisi pengetahuan, keterampilan, dan sikap secara utuh. Proses pencapaiannya dirancang melalui pembelajaran hybrid dengan didukung berbagai jenis media terkait yang menunjang sebagai suatu kesatuan yang saling mendukung pencapaian kompetensi tersebut. Sebagai transisi menuju ke pendidikan menengah, pemisahan mata pelajaran masih belum dilakukan sepenuhnya bagi peserta didik SMP/ MTs. Materi-materi dari bidang-bidang ilmu Fisika, Kimia, Biologi masih perlu disajikan sebagai suatu kesatuan dalam mata pelajaran IPA (Ilmu Pengetahuan Alam). Hal ini dimaksudkan untuk memberikan wawasan yang utuh bagi peserta didik SMP/MTs tentang prinsip-prinsip dasar yang mengatur alam semesta beserta segenap isinya. Oleh karenanya, pengetahuan dan kemampuan guru menguasai materi esensial IPA yang terkoneksi dan terintegrasi secara utuh diperlukan adanya.

Modul ini menjabarkan usaha minimal yang harus dilakukan mahasiswa untuk mencapai kompetensi yang diharapkan. Mahasiswa didorong untuk mencari sumber belajar lain yang tersedia dan terbentang luas di sekitarnya. Peran aktif mahasiswa sangat penting untuk meningkatkan dan menyesuaikan daya serap mereka dengan ketersediaan kegiatan pada Modul ini. Mahasiswa dapat memperkayanya dengan kreasi dalam bentuk kegiatan-kegiatan lain yang sesuai dan relevan yang bersumber dari lingkungan sosial dan alam.

2. Relevansi

Modul Modul IPA ini disusun dengan pemikiran di atas. Bidang ilmu Fisika, Kimia, dan Biologi dipakai sebagai landasan (platform) pembahasan bidang listrik statis dan dinamis yang akan disajikan. Makhluk hidup digunakan sebagai objek untuk menjelaskan prinsip-prinsip dasar yang mengatur alam seperti objek alam dan interaksinya, energi dan keseimbangannya, dan lain-lain. Melalui pembahasan menggunakan bermacam bidang ilmu dalam rumpun ilmu pengetahuan alam, pemahaman utuh tentang alam yang dihuninya beserta benda-benda alam yang dijumpai di sekitarnya dapat dikuasai oleh Mahasiswa calon guru IPA

Sebagai salah satu rumpun ilmu yang berperan penting dalam mempersiapkan dan membekali siswa sebagai insan yang akan hidup di era abad 21, maka penyusunan modul ini juga berkaitan erat dengan pengembangan kemampuan-kemampuan abad 21. Selain itu pula, proses mengukur kemajuan pendidikan suatu negara serta pemahaman peserta didik suatu negara terhadap IPA dibandingkan secara rutin sebagaimana dilakukan melalui TIMSS (*The Trends in International Mathematics and Science Study*) dan PISA (*Program for International Student Assessment*). Melalui penilaian internasional seperti ini kita dapat mengetahui kualitas pembelajaran IPA dibandingkan dengan negara lain.

3. Petunjuk Belajar

Sebelum Anda menggunakan modul ini, Anda perlu membaca bagian petunjuk ini. Mengapa diperlukan? Ibarat Anda sedang berlibur di tempat wisata, Anda tentunya ingin memanfaatkan fasilitas yang ada di tempat wisata tersebut bukan? Tentunya, agar tujuan tersebut tercapai Anda akan membaca peta di mana fasilitas itu berada. Begitu juga dengan modul ini. Jika Anda ingin memperoleh manfaat yang maksimal dari modul ini tentu merupakan tindakan yang bijak jika Anda benar-benar memerhatikan dan memahami bagian petunjuk penggunaan modul ini. Selamat mempelajari!

Fitur **mari kita selesaikan** ini berisi tugas atau permasalahan yang perlu untuk dicari jawabannya atau untuk mencari pengetahuan tambahan terkait materi yang dipelajari. Fitur **mari kita lakukan** ini berisi suatu kegiatan praktikum masalah yang berkaitan dengan konsep yang perlu untuk dipecahkan melalui kelompok. Fitur ini dapat melatih Anda dalam mengungkapkan pendapat atau berkomunikasi dan memecahkan masalah.

Selamat belajar, semoga berhasil!

B. Inti

1. Capaian Pembelajaran

Mampu menguasai teori dan aplikasi materi pelajaran IPA yang mencakup: (1) inkuiri IPA, keterpaduan konsep dan proses dalam IPA (2) kelistrikan dan kemagnetan dalam kehidupan sehari-hari

2. Sub Capaian Pembelajaran

Mampu menganalisis rangkaian listrik seri dan paralel, kemagnetan, aplikasi induksi elektromagnetik, serta gejala kelistrikan dan kemagnetan pada makhluk hidup.

3. Uraian Materi

Betapa luar biasa anugerah Tuhan yang memberikan rahmat dan hidayah pada manusia berupa pikiran. Dengan pikiran, manusia dapat terus melakukan inovasi yang dapat menunjang kesejahteraan kehidupan manusia, salah satunya adalah listrik

Coba amati lingkungan sekitarmu, apakah sudah ada listrik? Jika ada, digunakan untuk apa sajakah listrik tersebut? Pada sebagian daerah, listrik sudah menjadi penunjang utama kehidupan. Listrik digunakan untuk menyalakan lampu, televisi, mengisi baterai telepon genggam, dan bahkan untuk menanak nasi. Listrik yang mengalir pada kabel atau sebuah rangkaian yang digunakan untuk berbagai peralatan elektronik tersebut akan dipelajari lebih lanjut pada pembahasan listrik dinamis atau bagian kedua dari bab ini. Bagian pertama pada bab ini akan membahas tentang konsep listrik statis, yaitu sifat kelistrikan yang dimiliki benda.

Konsep Listrik Statis

Muatan Listrik

Masih ingatkah Anda tentang partikel penyusun atom yang telah Anda pelajari? Atom tersusun atas partikel subatom yaitu proton (bermuatan positif), neutron (tidak bermuatan), dan elektron (bermuatan negatif). Listrik sangat erat kaitannya dengan elektron dan proton. Karena neutron tidak bermuatan, maka neutron tidak memainkan peran dalam listrik. Bagaimana interaksi masing-masing muatan pada suatu bahan? Kejadian apa sajakah dalam kehidupan sehari-hari yang menggambarkan adanya gejala interaksi antara muatan listrik? Agar lebih memahami gejala kelistrikan yang biasa kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari, ayo lakukan aktivitas berikut.

Mari Kita Lakukan

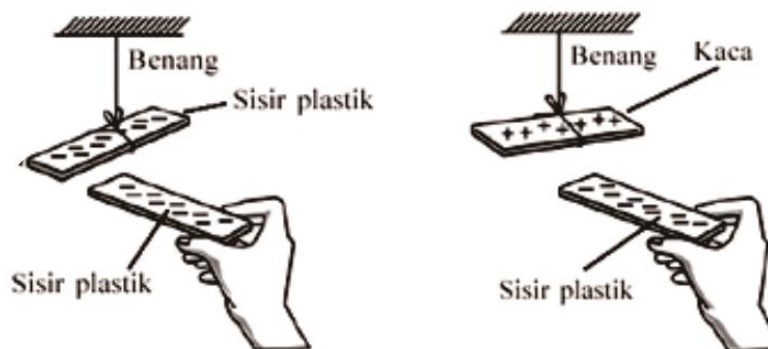
Aktivitas 3.1 Menyelidiki Gejala Listrik Statis

Apa yang Anda perlukan?

1. 2 buah sisir plastik,
2. 2 buah batang kaca atau gelas kaca,
3. 2 tali/benang sepanjang 30 cm,
4. 2 buah statif, dan rambut kering.

Apa yang harus Anda lakukan?

1. Gantungkan dua sisir plastik pada dua statif dengan menggunakan tali. Atur jarak kedua sisir kurang lebih 5 cm.



Gambar 3.1 Dua Sisir Bermuatan yang digantung

Sumber: <http://www.kompy.info>

2. Gosokkan dua sisir plastik tersebut ke rambut kering, kemudian biarkan kedua sisir tersebut tergantung bebas. Amati dan catat peristiwa yang terjadi pada kedua sisir.
3. Lakukan langkah 1 dan 2 dengan menggunakan batang kaca.
4. Gantungkan satu sisir plastik dan satu kaca masing-masing pada statif. Gosokkan sisir dan batang kaca pada rambut kering, kemudian biarkan sisir dan batang kaca tergantung bebas. Amati dan catat peristiwa yang terjadi pada sisir dan batang kaca.

Perhatian

Saat melakukan percobaan dengan menggunakan batang kaca, pastikan pinggirannya tidak tajam sehingga tidak melukai tangan Anda. Anda dapat mengganti batang kaca dengan gelas kaca agar aman.

Apa yang perlu Anda diskusikan?

1. Bandingkan hasil pengamatan kegiatan 1-2 terhadap kegiatan 3. Mengapa hal tersebut terjadi?
2. Bandingkan hasil pengamatan kegiatan 4 dengan hasil kegiatan nomor 1. Jelaskan!

Apa yang dapat Anda simpulkan?

Buatlah kesimpulan tentang muatan yang ada pada sisir plastik dan batang kaca setelah digosok!

Setelah Anda melakukan dan mendiskusikan kegiatan “Mari Lakukan pada Aktivitas 1”, dapatkah Anda menjelaskan mengapa hal tersebut terjadi? Hal ini berkaitan dengan adanya elektron. Masih ingatkah Anda tentang elektron? Seperti yang telah dijelaskan pada Bab sebelumnya, elektron adalah partikel penyusun atom yang bermuatan negatif yang mengelilingi inti atom (nukleus). Atom yang kelebihan elektron akan menjadi bermuatan negatif dan disebut sebagai ion negatif, contohnya Cl^- , $(\text{OH})^-$, dan O_2^- . Atom yang kekurangan elektron akan menjadi

bermuatan positif dan disebut sebagai ion positif, contohnya H^+ , Na^+ , dan Mg_2^+ .

Jika benda bermuatan listrik positif didekatkan dengan benda bermuatan listrik negatif maka akan saling tarik menarik. Sebaliknya, jika benda bermuatan listrik positif didekatkan dengan benda bermuatan listrik positif, atau benda bermuatan listrik negatif didekatkan dengan benda bermuatan listrik negatif akan saling tolak menolak. Interaksi kedua muatan tersebut merupakan **gejala sederhana listrik statis**.

Pada umumnya jumlah elektron dan proton pada atom-atom sebuah benda adalah sama, sehingga atom-atom pada benda tersebut tidak bermuatan listrik atau netral. Jika benda tersebut netral, dapatkah sebuah benda diubah menjadi bermuatan listrik? Bagaimana caranya? Salah satu cara untuk mengubah benda menjadi bermuatan listrik adalah dengan menggosokkan benda seperti pada kegiatan “Mari Kita Lakukan pada Aktivitas 1”. Sisir plastik yang digosokkan pada rambut kering akan bermuatan negatif karena sisir mengalami kelebihan elektron (elektron dari rambut berpindah ke sisir plastik) dan kaca yang digosokkan pada rambut kering akan bermuatan positif karena kaca mengalami kekurangan elektron (elektron dari kaca berpindah ke rambut yang kering).

Mari Kita Cari Tahu

Perhatikan Tabel 3.1! Tabel 3.1 menunjukkan urutan deret benda yang akan menjadi bermuatan negatif bila digosok dengan sembarang benda di urutan atasnya dan akan bermuatan positif bila digosok dengan benda di urutan bawahnya. Misalnya jika gelas digosokkan secara searah pada wol, maka gelas tersebut akan menjadi bermuatan listrik positif dan wol akan menjadi bermuatan listrik negatif. Deret semacam ini dinamakan **deret tribolistrik**.

Tabel 3.1 Deret Tribolistrik

No	Nama Benda	No	Nama Benda
1	Bulu kelinci (kecenderungan positif terbesar)	8	Kayu
2	Gelas (kaca)	9	Batu ambar
3	Mika (plastik)	10	Damar
4	Wol	11	Logam (Cu, Ni, Ag)

5	Bulu kucing	12	Belerang
6	Sutera	13	Logam (Pt, Au)
7	Kapas	14	Solenoid (kecenderungan negatif terbesar)

Mari Kita Cari Tahu

Bagaimana cara mengetahui jenis muatan listrik pada benda? Salah satu caranya adalah dengan menggunakan elektroskop. Perhatikan Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Elektroskop Sederhana

Sumber: Dokumen Kemdikbud, <http://kelas-fisika.com>

Elektroskop memiliki 3 bagian utama, yaitu kepala elektroskop yang terbuat dari logam, penghantar atau konduktor yang menghubungkan kepala elektroskop dengan daun elektroskop, dan daun elektroskop yang terbuat dari lempeng emas atau aluminium. Daun elektroskop akan mekar apabila kepala elektroskop diberi muatan dengan cara mendekatkan benda bermuatan ke kepala elektroskop. Sekarang, buatlah elektroskop dengan menggunakan alat dan bahan sederhana, dan diskusikan dengan teman kelompokmu, bagaimana cara kerja elektroskop?

Hukum Coulomb

Masih ingatkah Anda, bahwa muatan listrik dapat saling menarik dan dapat saling menolak? Bagaimana hubungan antara gaya tolak-menolak atau gaya tarik-

menarik dua benda bermuatan listrik terhadap jarak keduanya? Ilmuwan Perancis, **Charles Augustin Coulomb** (1736 – 1806), menyelidiki hubungan gaya tolak-menolak atau gaya tarik-menarik dua benda bermuatan listrik terhadap besar muatan listrik dan jaraknya menggunakan alat neraca puntir Coulomb seperti pada Gambar 3.3 Pada materi ini Anda tidak perlu melakukan penyelidikan tersebut dengan menggunakan neraca puntir, cukup lakukan Aktivitas 2 berikut.



Gambar 3.3 Set Percobaan Coulomb
Sumber : Zitzewitz, 2005.

Mari Kita Lakukan

Aktivitas 3.2 Bagaimana Interaksi Dua Benda Bermuatan terhadap Jaraknya?

Apa yang Anda perlukan?

1. 1 buah penggaris,
2. 2 buah statif,
3. 2 buah balon yang sudah ditiup,
4. benang, dan
5. kain wol (dapat diganti dengan rambut yang kering).

Apa yang harus Anda lakukan?

1. Agar kedua menjadi bermuatan listrik, gosokkan kedua balon tersebut pada kain

wol atau rambut yang kering selama 30 detik

2. Gantung kedua balon dengan menggunakan tali sepanjang 50 cm pada masing-masing statif yang diletakkan secara berjauhan (± 30 cm), seperti pada gambar berikut. Amati interaksi yang terjadi.



Gambar 3.4 Set Percobaan
Sumber : Dokumen Kemdikbud.

3. Ulangi langkah pertama dan kedua, namun buat variasi lamanya waktu untuk menggosok balon, misalnya dengan menggosokkan balon ke kain wol atau rambut yang kering selama 60 detik.
4. Ulangi langkah pertama hingga ketiga, namun dengan memisahkan statif sedikit lebih dekat, misalnya 20 cm.

Tabel 3.2 Data Pengamatan Kuat Interaksi Kedua Balon terhadap Lamanya Waktu Menggosok dan Jarak Kedua Muatan

No	Lamanya Waktu Menggosok Balon dengan Kain Wol atau Rambut yang Kering	Jarak Kedua Statif	Kuat Interaksi Kedua Balon
1	30 detik	a) 30 cm	
		b) 20 cm	
2	60 detik	a) 30 cm	
		b) 20 cm	

Apa yang perlu Anda diskusikan?

1. Bagaimana pengaruh interaksi kedua balon terhadap variasi jarak kedua statif? Apakah jarak mempengaruhi besarnya gaya tolak-menolak atau gaya tarik-menarik kedua balon? (Bandingkan hasil pengamatan nomor 1a dengan 1b atau nomor 2a dengan 2b)
2. Bagaimana pengaruh interaksi kedua balon terhadap lamanya waktu menggosok? Apakah besar muatan mempengaruhi besarnya gaya tolak-menolak atau gaya tarik-menarik kedua balon? (Bandingkan hasil pengamatan

nomor 1a dengan 2a atau nomor 1b dengan 2b)

Apa yang dapat Anda simpulkan?

Bagaimana hubungan antara gaya Coulomb dengan jarak dan besar masing-masing muatan?

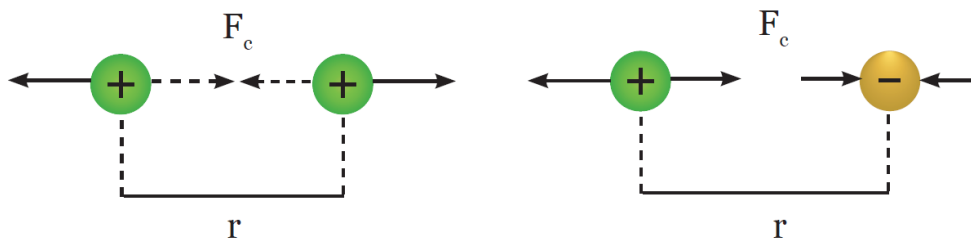
Berdasarkan percobaan dengan menggunakan neraca puntir, Coulomb menyimpulkan bahwa besar gaya listrik antara dua benda bermuatan adalah:

Berbanding terbalik dengan kuadrat jarak kedua muatan atau

$$F \sim \frac{1}{r^2}$$

Berbanding lurus dengan perkalian besar kedua muatan partikel atau

$$F \sim q_1 \cdot q_2$$



(a) Tolak-menolak, (b) Tarik-menarik

Gambar 3.5 Gaya Coulomb pada Muatan Listrik

Sumber: Dokumen Kemdikbud

Secara matematis, rumusan Gaya Coulomb (F_c) dapat dituliskan sebagai berikut.

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

Keterangan:

F_c = gaya Coulomb (newton)

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

r = jarak antara dua muatan (meter)

q_1 = besar muatan listrik pertama (coulomb)

q_2 = besar muatan listrik kedua (coulomb)

Mari Kita Pahami

Contoh Soal

1. Dua buah muatan listrik positif yang ada di dalam membran sel saraf masing-masing sebesar q dan $2q$ terletak pada jarak 2 cm. Hitung berapakah gaya coulomb yang dialami kedua muatan tersebut jika $q = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$!

Diketahui:

Muatan 1 (q_1) = $+q = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$
Muatan 2 (q_2) = $+2q = 3,2 \times 10^{-19} \text{ C}$
Jarak kedua muatan (r) = 2 cm = $2 \times 10^{-2} \text{ m}$
Konstanta = $9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$

Ditanya: gaya coulomb kedua muatan.

Jawab

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

$$F_c = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2 \cdot \frac{1,6 \times 10^{-19} \text{ C} \cdot 3,2 \times 10^{-19} \text{ C}}{(2 \times 10^{-2} \text{ m})^2}$$

$$F_c = 11,52 \times 10^{-25} \text{ N}$$

Jadi besar gaya coulomb yang dialami muatan positif q dan $2q$ yang terpisah pada jarak 2 cm adalah $11,52 \times 10^{-25} \text{ N}$

2. Jika besar gaya coulomb antara dua muatan identik A dan B adalah 1,6 N, serta kedua muatan tersebut terpisah pada jarak 3 cm, berapakah besar masing-masing muatan A dan B?

Diketahui:

Gaya coulomb kedua muatan = 1,6 N

Jarak kedua muatan = 3 cm = 0,03 m

Ditanya: besar masing-masing muatan A dan B

Jawab:

Muatan A dan B identik, sehingga $q_A = q_B = q$

$$F_c = k \cdot \frac{q_A \cdot q_B}{r^2}$$

$$1,6 \text{ N} = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2 \cdot \frac{q^2}{(0,03 \text{ m})^2}$$

$$q^2 = \frac{1,6 \text{ N} \times (0,03 \text{ m})^2}{9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2}$$

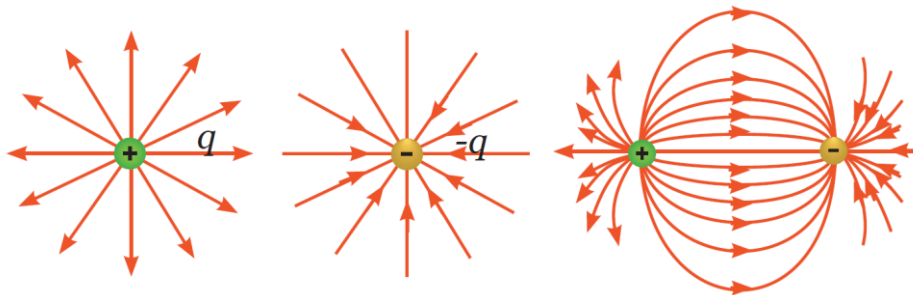
$$q = \sqrt{\frac{1,6 \text{ N} \times (0,03 \text{ m})^2}{9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2}} = \sqrt{16 \times 10^{-14} \text{ C}} = 4 \times 10^{-7} \text{ C} = 0,4 \mu\text{C}$$

Jadi besar masing-masing muatan identik A dan B adalah $0,4 \mu\text{C}$

Medan Listrik

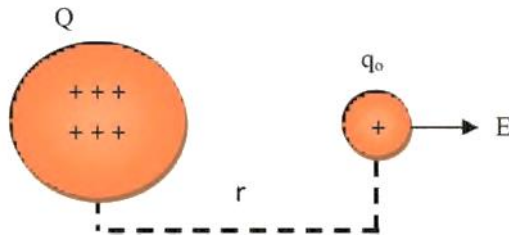
Tahukah Anda mengapa benda-benda yang berada di permukaan Bumi selalu ditarik menuju pusat bumi? Seluruh benda yang ada di permukaan bumi atau sekitarnya akan ditarik menuju pusat Bumi karena memiliki massa yang jauh lebih kecil dari pada massa bumi. Hal serupa ternyata juga terjadi pada muatan-muatan listrik. Muatan- muatan listrik memiliki medan listrik sehingga dapat mempengaruhi muatan lain yang berada tidak jauh darinya. Medan listrik dapat didefinisikan sebagai daerah di sekitar muatan yang masih kuat menimbulkan gaya listrik terhadap muatan lain.

Medan listrik digambarkan oleh serangkaian garis gaya listrik yang arahnya keluar atau masuk ke dalam muatan. Arah garis gaya listrik ke dalam digunakan untuk menunjukkan muatan negatif dan arah garis medan listrik ke luar digunakan untuk menunjukkan muatan positif.



Gambar 3.6 Garis Medan Listrik Dua Muatan
 Sumber: Serway, 2004.

Selain melalui gambar, medan listrik suatu muatan dapat ditentukan besarnya dengan cara menghitung. Bagaimana cara menghitung besar kuat medan listrik? Agar dapat memahami cara menghitung besarnya medan listrik (E) perhatikan Gambar 3.7 dan penjelasan berikut.



Gambar 3.7 Muatan Q didekati Muatan Tes q_0
 Sumber: Dokumen Kemdikbud

Agar mengetahui besar kuat medan listrik muatan Q , sebuah muatan uji positif (q_0) yang muatannya jauh lebih kecil diletakkan di dekat muatan tersebut dengan jarak r . Berdasarkan hukum Coulomb, muatan q_0 tersebut akan mendapatkan gaya tolak dari muatan Q sebesar,

$$F_c = k \cdot \frac{Q \cdot q_0}{r^2}$$

karena kuat medan listrik (E) didefinisikan sebagai efek yang dihasilkan akibat keberadaan muatan listrik Q . Karena muatan (q_0) ditempatkan sejauh (r), kondisi tersebut akan dihasilkan gaya coulomb (F_c) pada satuan muatan uji (q_0). Besarnya kuat medan listrik yang dialami oleh muatan uji tersebut didefinisikan secara matematis sebagai :

$$F_c = q_0 \cdot E$$

$$F_c = k \cdot \frac{Q \cdot q_0}{r^2} = q_0 \cdot k \frac{Q}{r^2}$$

Sehingga dapat disimpulkan bahwa besar kuat medan listrik yang dirasakan oleh muatan uji q_0 pada suatu titik yang berjarak r dari muatan Q adalah:

$$E_o = k \frac{Q}{r^2}$$

Keterangan,

E_o = medan listrik (N/C)

F = gaya coulomb (Newton)

q = besar muatan listrik (Coulomb)

Coba pikirkan, untuk mengetahui besar medan listrik suatu muatan, mengapa muatan uji yang digunakan harus jauh lebih kecil?

Mari Kita Pahami

Contoh Soal

1. Gaya Coulomb yang dialami kedua muatan A dan B adalah sebesar 4×10^{-4} N. Jika besar muatan A sebesar 4×10^{-6} C dan muatan uji B sebesar 4×10^{-12} C, berapakah besar kuat medan listrik yang dirasakan muatan uji B oleh muatan A tersebut?

Diketahui:

Besar gaya Coulomb = 4×10^{-4} N

Besar muatan A = 4×10^{-6} C

Besar muatan B = 4×10^{-12} C

Ditanyakan:

besar kuat medan listrik yang dirasakan muatan uji B oleh muatan A (E_A)

Jawab:

$$E_A = \frac{F_c}{q_B}$$

$$E_A = \frac{4 \times 10^{-4} \text{ N}}{4 \times 10^{-12} \text{ C}} = 10^8 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

Jadi, besar kuat medan listrik yang ditimbulkan oleh muatan A adalah 10^8 N/C .

2. Medan listrik yang dirasakan oleh muatan uji A terhadap muatan B sebesar

80 N/C. Jika jarak kedua muatan tersebut adalah 3 cm, berapakah besar muatan B?

Diketahui:

Medan listrik = 80 N/C

Jarak kedua muatan = 3 cm = 0,03 m

Ditanyakan: besar muatan B

Jawab:

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

$$80 \text{ N/C} = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2 \frac{Q}{(0,03 \text{ m})^2}$$

$$Q = \frac{80 \frac{\text{N}}{\text{C}} \cdot (0,03 \text{ m})^2}{9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2}$$

$$Q = 8 \times 10^{-12} \text{ C}$$

Mari Kita selesaikan

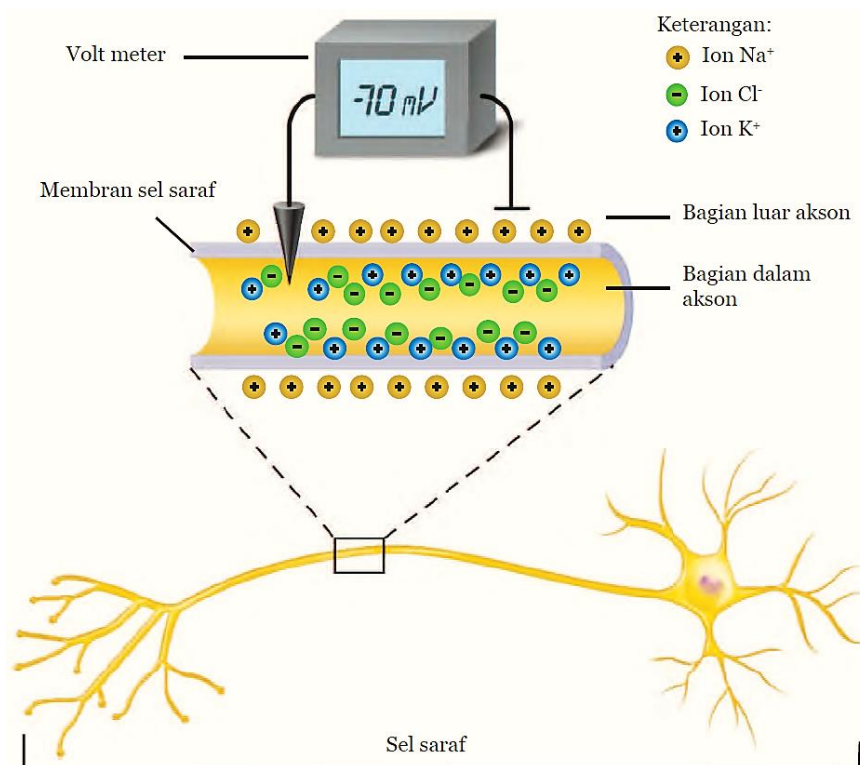
1. Gaya Coulomb yang dialami kedua muatan A dan B adalah sebesar $3 \times 10^{-4} \text{ N}$. Jika besar muatan A dan B masing-masing sebesar $2 \times 10^{-6} \text{ C}$ dan $1,5 \times 10^{-6} \text{ C}$, berapakah besar kuat medan listrik yang dirasakan muatan A oleh muatan B?
2. Pada percobaan dua buah balon bermuatan yang didekatkan, gaya tolak menolak kedua balon akan semakin besar jika posisi kedua balon tersebut semakin didekatkan. Dapatkah Anda menunjukkan sketsa (gambar) peristiwanya?

Kelistrikan pada Sel Saraf

Selain pada kabel, ternyata tubuh kita juga dialiri oleh arus listrik, khususnya pada syaraf yaitu dengan adanya impuls listrik. Bidang yang khusus mempelajari tentang aliran impuls listrik pada tubuh manusia disebut **biolistrik**. Tegangan pada tubuh berbeda dengan yang kita bayangkan seperti listrik rumah tangga. Kelistrikan pada tubuh hanya berkaitan dengan komposisi ion yang terdapat dalam tubuh, bukan listrik yang mengalir seperti pada kabel listrik di rumah-rumah.

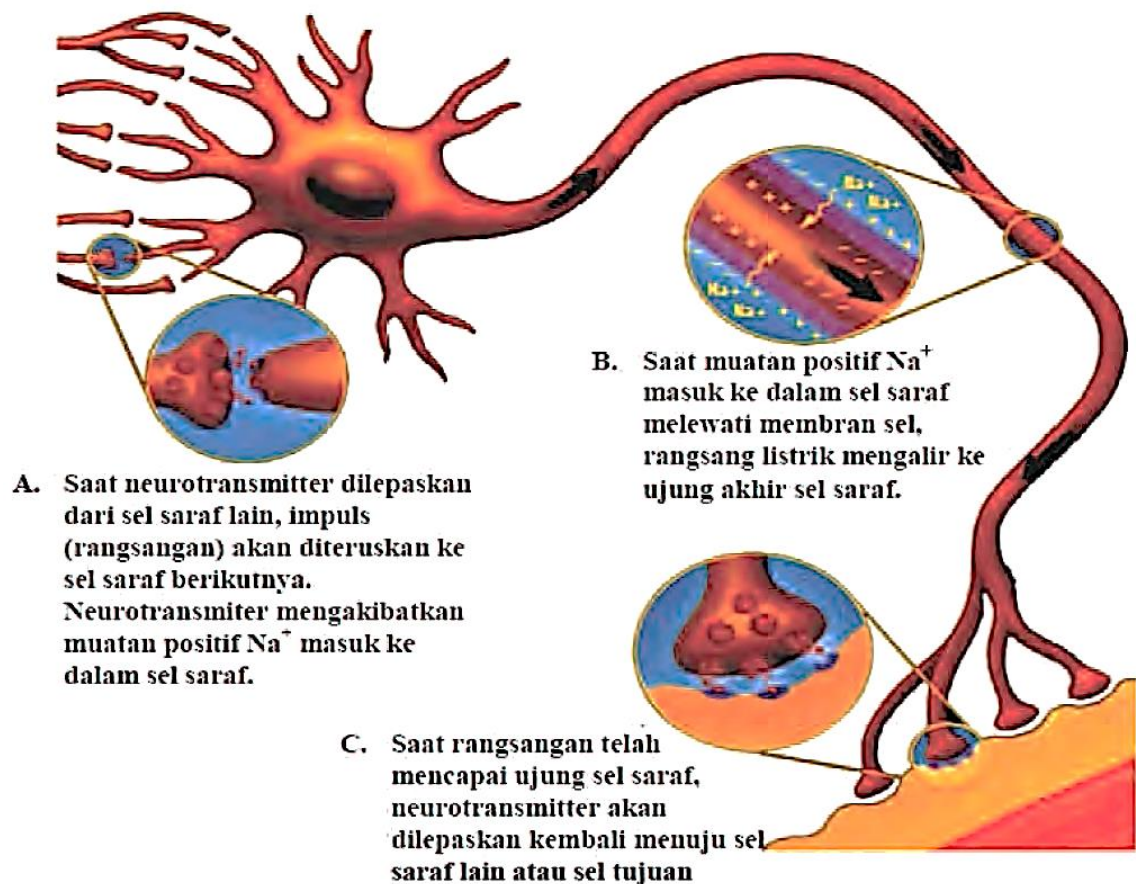
Tahukah Anda, bagaimana cara sel saraf menghantarkan impuls listrik?

Bagaimana keadaan sel saraf saat tidak menghantarkan listrik? Muatan yang ada di luar dan di dalam sel saraf tidak dapat saling tarik menarik dengan sendirinya karena ada pemisah berupa membran sel saraf (perhatikan Gambar 3.8). Tarik menarik antar muatan akan terjadi jika ada rangsangan dari neurotransmitter. Masih ingatkah Anda apa itu neurotransmitter? Coba buka kembali tentang Partikel Penyusun Benda dan Makhluk Hidup untuk mengingat kembali.



Gambar 3.8 Ilustrasi Muatan Listrik pada Sel Saraf Tidak Bermyelin
Sumber: Dokumen Kemdikbud

Saat sel saraf tidak menghantarkan impuls, muatan positif Na^+ melingkupi bagian luar membran sel. Pada kondisi demikian, membran sel saraf bagian luar bermuatan listrik positif dan membran sel bagian dalam bermuatan listrik negatif (Cl^-). Lebih jelasnya, perhatikan Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Impuls Listrik pada Saraf Manusia
 Sumber: Biggs, 2008: 638.

Setiap manusia memiliki sistem saraf yang dapat mengontrol gerak otot. Sistem saraf terdiri atas sel-sel saraf berfungsi untuk menerima, mengolah, dan mengirim rangsangan yang diterima panca indera. Rangsangan ini disebut impuls. Setiap sel saraf terdiri atas 3 bagian, yaitu badan sel saraf, dendrit, dan akson atau neurit. Selain ketiga bagian tersebut, pada sel saraf juga terdapat bagian tambahan berupa selubung myelin. Myelin sebetulnya bukan bagian sel saraf, tetapi terdiri dari sel pembentuk myelin yang berfungsi menyelubungi akson. Berdasarkan keberadaan myelin, terdapat dua macam neuron, yaitu neuron yang berselubung myelin dan neuron yang tidak berselubung myelin. Agar dapat mengetahui sel saraf lebih lanjut mari lakukan kegiatan berikut.

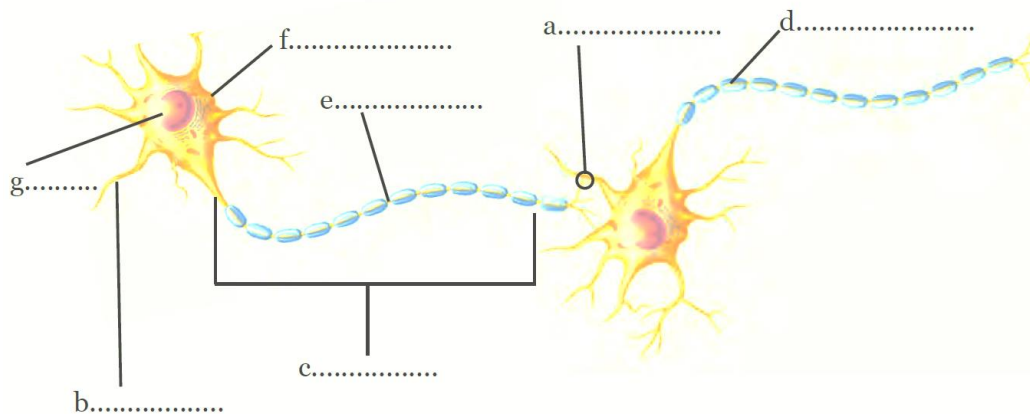
Mari Kita Lakukan

Aktivitas 3.3 Identifikasi Bagian Sel Saraf

Bacalah dengan teliti Tabel 3.3 Bagian Sel Saraf, kemudian tunjukkan bagian-bagian sel saraf pada Gambar 3.10.

Tabel 3.3 Bagian Sel Saraf

No.	Bagian sel saraf	Deskripsi	Fungsi
1	Dendrit	Penonjolan badan sel yang bercabang-cabang dan berbentuk seperti cabang pohon	Menerima impuls dari sel lain dan meneruskannya ke badan sel
2	Badan sel	Di dalamnya terdapat inti sel yang dikelilingi oleh sitoplasma. Sitoplasma mengandung organela sel seperti mitokondria, ribosom, badan golgi dan retikulum endoplasma khusus milik sel saraf yang disebut badan nissl.	Meneruskan impuls dari dendrit ke akson
3	Akson/ Neurit	Penonjolan badan sel berbentuk panjang dan silindris. Setiap satu sel saraf hanya memiliki satu akson. Ujung akhir akson disebut dengan terminal akson. Terminal ini memiliki beberapa percabangan dan berbonggol. Pada bonggol inilah akan dilepaskan neurotransmitter dan disebut sebagai bonggol sinaptik.	Meneruskan impuls dari badan sel saraf ke sel saraf lain atau ke sel otot atau ke sel kelenjar. Pada bonggol sinaptik terjadi proses sinapsis, yaitu komunikasi antara sel saraf satu dengan yang lain atau sel saraf dengan sel otot dan sel kelenjar menggunakan neurotransmitter.
4	Myelin	Selubung lemak berlapis- lapis, dihasilkan oleh sel Schwann. Lapisan lemak myelin sulit ditembus oleh ion-ion yang keluar dan masuk membran sel saraf pada bagian akson.	Mempercepat impuls saraf dengan membantu terjadinya loncatan muatan
5	Nodus ranvier	Daerah akson terbuka yang tidak diselubungi myelin	Tempat terjadinya tarik- menarik muatan listrik di membran sel saraf.



Gambar 3.10 Neuron Bermyelin
Sumber: Campbell dkk., 2008.

Hantaran Listrik

Sering kita mendengar bahwa listrik dapat mengalir pada kabel. Apa yang

mengalir dan bahan apa yang dapat mengalirkan listrik? Pernyataan bahwa listrik mengalir sebenarnya berkaitan dengan muatan yang berpindah, sebab perpindahan elektron pada bahan akan menghasilkan arus listrik yang arahnya berlawanan dengan arah perpindahan elektron tersebut. Bahan-bahan apakah yang dapat menghantarkan listrik dengan baik dan yang tidak dapat menghantarkan listrik? Agar mengetahui jawabannya, “Mari Kita Lakukan” kegiatan berikut.

Mari Kita Lakukan

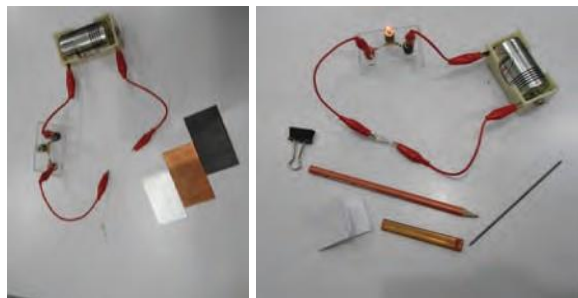
Aktivitas 3.4 Mengidentifikasi Jenis Bahan Isolator dan Konduktor

Apa yang Anda perlukan?

1. 1 buah baterai,
2. 3 buah kabel,
3. 1 bola lampu kecil,
4. 5 buah karet,
5. 1 buah kunci,
6. 1 buah pensil,
7. 30 cm kawat besi,
8. 30 cm kawat timah,
9. penghapus, dan
10. Aluminium foil.

Apa yang harus Anda lakukan?

1. Susunlah alat dan bahan seperti Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Rangkaian Listrik Percobaan Konduktor dan Isolator
Sumber: Dokumen Kemdikbud

2. Sambungkan bahan yang digunakan dengan menggunakan kabel yang

dilengkapi penjepit buaya.

3. Amati nyala lampu yang terjadi. Catat hasil pengamatan Anda dalam bentuk Tabel 3.4.

Apa yang perlu Anda diskusikan?

1. Apakah semua bahan dapat menghantarkan arus listrik?
2. Kelompokkan mana bahan yang termasuk konduktor dan isolator listrik!

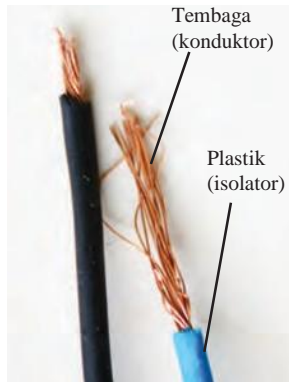
Apa yang dapat Anda simpulkan?

3. Berdasarkan kegiatan yang telah Anda lakukan, apa yang dapat Anda simpulkan?

Sering kita melihat orang menggunakan kabel untuk menghantarkan listrik dari suatu ujung kabel ke ujung lainnya. Mengapa menggunakan kabel? Kabel biasanya terdiri dari bahan tembaga atau perak di bagian dalamnya dan dilapisi bahan plastik atau karet di bagian luarnya. Mengapa demikian? Hal ini berkaitan dengan kemampuan bahan untuk menghantarkan listrik. Setiap bahan memiliki daya hantar listrik yang berbeda-beda. Tembaga dan perak merupakan bahan yang paling baik untuk menghantarkan listrik, sedangkan plastik dan karet merupakan bahan yang tidak dapat menghantarkan listrik. Apakah Anda sudah memahami mengapa logam perak atau tembaga pada kabel dilapisi plastik atau karet? Jika masih belum mengerti, pelajari materi berikut dengan teliti dan penuh semangat.

Konduktor listrik

Mengapa kabel digunakan untuk mengalirkan arus listrik dari sumber listrik ke peralatan elektronik? (Gambar 3.12) Agar arus listrik dapat disalurkan dengan baik, maka dibutuhkan bahan yang mampu menghantarkan arus listrik dengan baik pula. Pada bahan ini, elektron dapat mengalir dengan mudah. Bahan-bahan yang dapat digunakan untuk menghantarkan listrik disebut dengan konduktor listrik.



Gambar 3.12 Kabel Listrik dari Tembaga dengan Pelapis Plastik
Sumber: Dokumen Kemdikbud

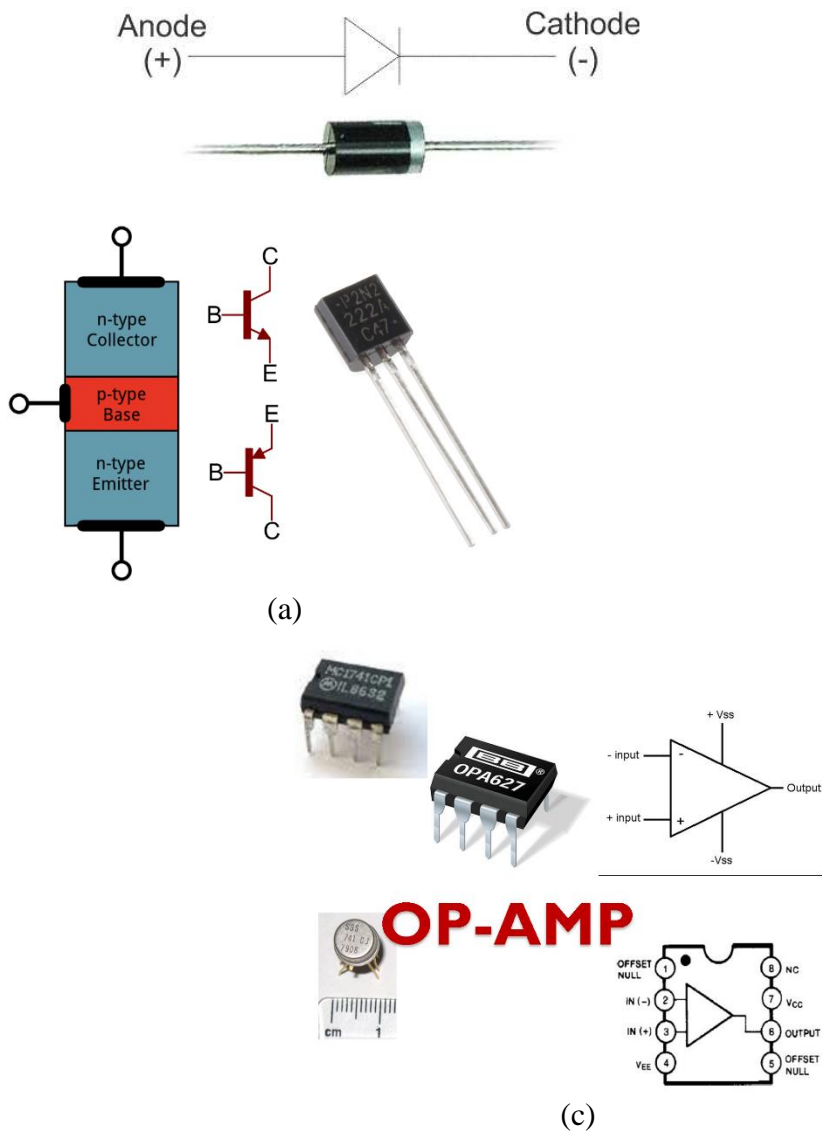
Contoh dari konduktor listrik adalah tembaga, perak, dan emas. Meskipun perak dan emas merupakan konduktor yang sangat baik, tetapi karena harganya yang sangat mahal, kabel rumah tangga biasanya menggunakan bahan dari tembaga.

Isolator listrik

Mengapa kabel listrik perlu dilapisi dengan plastik atau karet? Pemberian plastik atau karet sebagai pelapis kabel bertujuan agar kabel lebih aman digunakan. Sifat plastik dan karet yang sangat buruk dalam menghantarkan arus listrik membuat kedua bahan tersebut masuk ke dalam kelompok bahan isolator. Bahan isolator adalah bahan yang sangat buruk untuk menghantarkan listrik karena di dalam bahan ini elektron sulit mengalir.

Semikonduktor listrik

Bahan-bahan yang berada pada suhu rendah bersifat sebagai isolator, sementara pada suhu tinggi bersifat sebagai konduktor disebut bahan semikonduktor listrik. Contoh bahan semikonduktor listrik adalah karbon, silikon, dan germanium. Pada bidang elektronika, karbon biasa digunakan untuk membuat transistor yang kemudian dirangkai menjadi IC seperti pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Beberapa Jenis Semikonduktor: (a) Diode, (b) Transistor, dan (c) IC

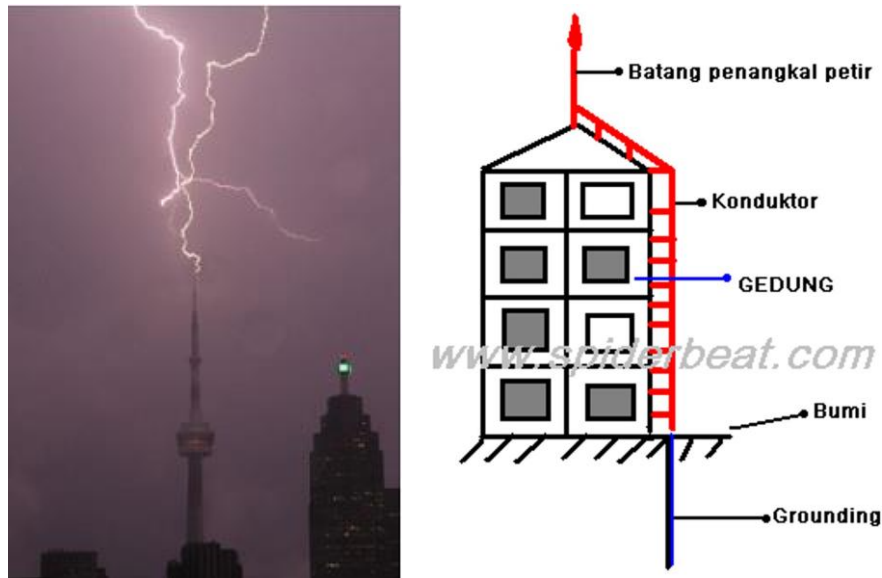
Sumber: <https://www.electrical4u.com>

Mari Kita Cari Tahu

Petir dapat menimbulkan korban karena membawa energi yang sangat besar. Petir cenderung akan menyambar benda-benda yang tinggi seperti pohon, tiang bendera, dan bangunan-bangunan yang tinggi. Oleh sebab itu, pada konstruksi bangunan-bangunan tersebut selalu diberi penangkal petir yang dipasang di atap. Tahukah Anda bagaimana sistem kerja penangkal petir?

Penangkal petir dibuat runcing dari bahan konduktor (logam)

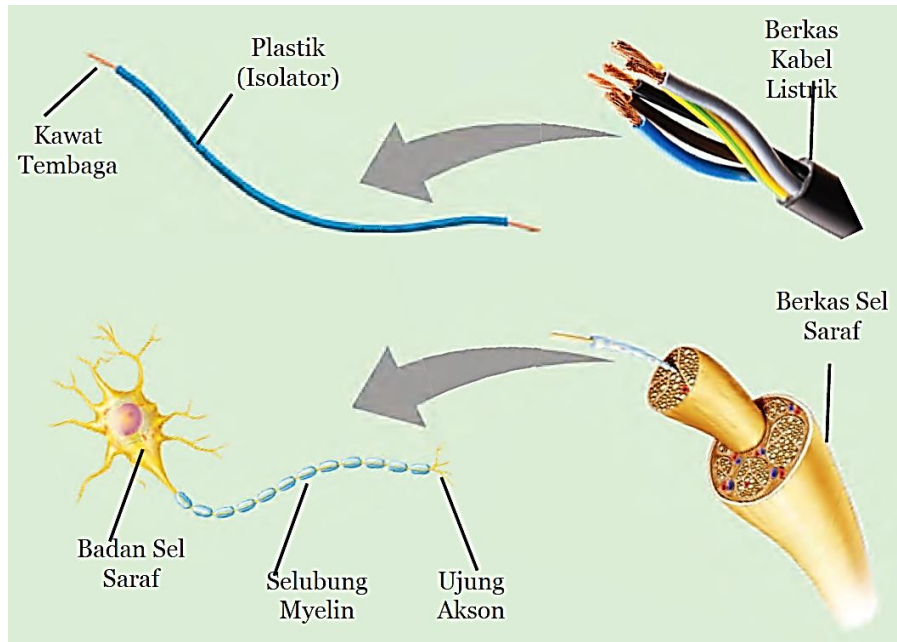
dipasang di atas sebuah bangunan atau gedung yang dihubungkan dengan kabel sampai ke tanah, kemudian kabel tersebut ditanam di dalam tanah dengan tujuan agar arus petir yang sangat besar dapat segera dinetralkan ke dalam tanah (*grounding*). Masih ingatkah Anda bagaimana sifat konduktor? Jika masih ingat, coba jelaskan alasan penggunaan bahan konduktor untuk membuat penangkal petir!



Gambar 3.14 Penangkal Petir
Sumber: khedanta.wordpress.com

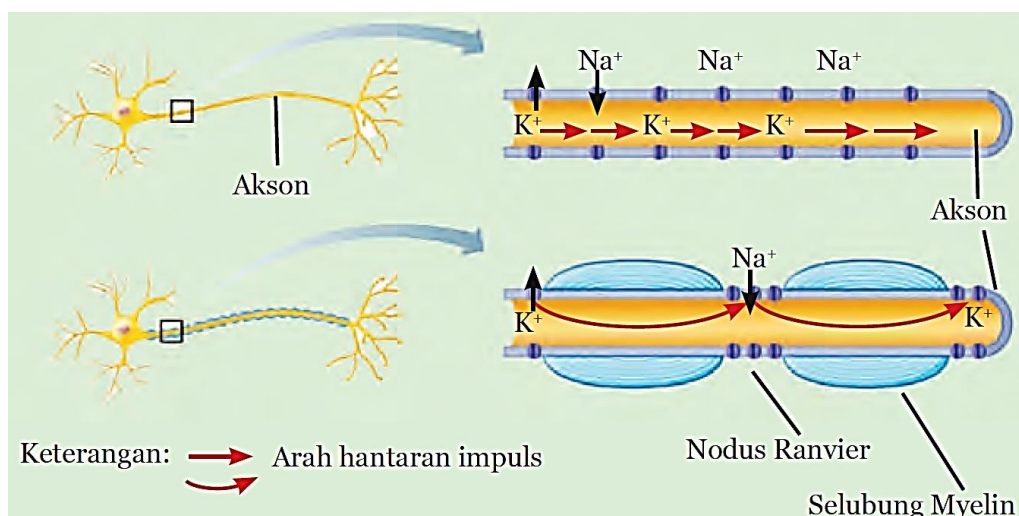
Mari Kita Pahami

Sel saraf sering diibaratkan seperti kabel listrik karena memiliki bentuk dan mekanisme kerja yang hampir sama. Coba perhatikan Gambar 3.15. Setiap sel saraf hanya memiliki satu akson yang mendukung terjadinya perambatan atau hantaran arus listrik. Selain akson, penghantar listrik lain di dalam tubuh makhluk hidup selain akson adalah cairan tubuh. Cairan tubuh dapat berupa darah, cairan jaringan dan sitosol dalam sitoplasma sel. Pada sel saraf juga terdapat isolator listrik, yaitu selubung myelin pada akson



Gambar 3.15 Berkas Sel Saraf dan Kabel Listrik
 Sumber: Dokumen Kemdikbud

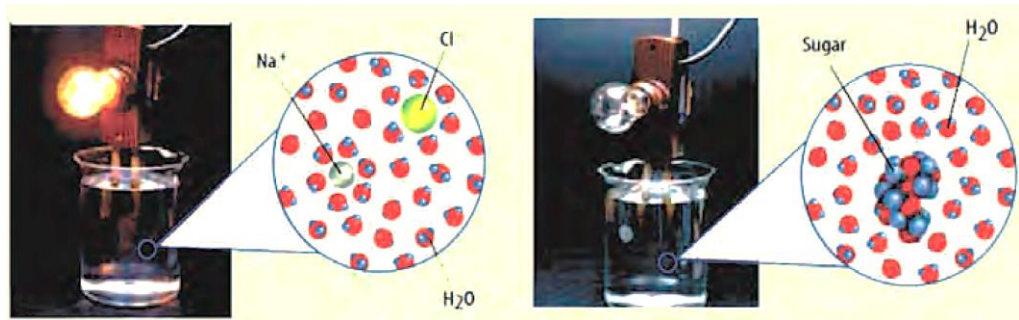
Pada akson tidak berselubung myelin, sehingga hantaran arus listrik dapat terjadi sepanjang akson. Pada akson berselubung myelin, beda potensial terjadi di daerah akson yang tidak diselubungi myelin atau di daerah yang disebut **nodus ranvier**. Tarik menarik muatan listrik terjadi di nodus ranvier satu dan seterusnya. Dengan demikian, selain myelin berfungsi sebagai pelindung akson juga dapat mempercepat terjadinya loncatan muatan listrik pada saraf.



Gambar 3.16 Pergerakan Impuls pada Akson Bermielin dan Tidak Bermielin
 Sumber: Dokumen Kemdikbud

Tahukah Anda?

Tidak hanya benda padat seperti tembaga dan perak, zat cair pun ada yang dapat menghantarkan arus listrik dan ada juga yang tidak dapat menghantarkan arus listrik, contohnya larutan garam dan larutan gula. Larutan garam merupakan salah satu jenis elektrolit karena dapat menghantarkan arus listrik, sedangkan larutan gula disebut sebagai non elektrolit karena tidak dapat menghantarkan arus listrik.



Gambar 3.17 Larutan Garam dan Larutan Gula
Sumber: Biggs, 2008: 642.

Cobalah lakukan kegiatan menyalakan bola lampu dengan membuat larutan garam dan larutan gula terlebih dahulu. Anda dapat menggunakan alat dan bahan sederhana seperti kabel yang dilengkapi penjepit buaya dan lampu LED atau amperemeter untuk mendeteksi ada tidaknya arus listrik yang mengalir. Bandingkan hasilnya antara lampu yang menggunakan larutan garam dan larutan gula. Selanjutnya buatlah laporannya!

Setiap bahan memiliki kemampuan untuk menghantarkan listrik yang berbeda-beda tergantung nilai hambatan jenisnya. Semakin kecil hambatan jenis suatu bahan, maka akan semakin baik kemampuan bahan tersebut untuk menghantarkan listrik. Tabel 3.4 menyajikan beberapa nilai hambatan jenis bahan. *Berdasarkan Tabel 3.4, coba pikirkan bahan apakah yang paling baik digunakan sebagai konduktor listrik atau kabel? Mengapa?*

Tabel 3.4 Hambatan Jenis Bahan

Sumber: Serway dkk., 2004

Bahan	Hambatan Jenis pada Suhu 20 °C (Ωm)
Konduktor	
Alumunium	$2,82 \times 10^{-8}$

Bahan	Hambatan Jenis pada Suhu 20 °C (Ωm)
Tembaga	$1,72 \times 10^{-8}$
Emas	$2,44 \times 10^{-8}$
Besi	$9,71 \times 10^{-8}$
Konstantan	49×10^{-8}
Nikrom	100×10^{-8}
Platina	$10,6 \times 10^{-8}$
Perak	$1,59 \times 10^{-8}$
Tungsen	$5,65 \times 10^{-8}$
Semikonduktor	
Karbon (grafit)	$3,5 \times 10^{-5}$
Germanium (murni)	5×10^{-4}
Silikon (murni)	$6,4 \times 10^2$
Isolator	
Kaca	$10^{10}-10^{14}$
Kuarsa	$7,5 \times 10^{17}$

Tahukah Anda bagaimana cara menghitung besarnya hambatan listrik dalam sel saraf? Agar dapat menghitung besarnya hambatan listrik dalam sel saraf, kita dapat mengibaratkan sel saraf sebagai kabel listrik. Coba pahami materi berikut!

Mari Kita Lakukan

Aktivitas 3.5 Percobaan Besar Hambatan Listrik pada Kawat Konduktor

Pada aktifitas ini Anda akan menyelidiki pengaruh panjang, luas penampang, dan hambatan jenis kawat penghantar terhadap besar hambatannya.

Apa yang Anda perlukan?

1. 5 buah kawat penghantar dengan rincian sebagai berikut

No	Jenis Kawat	Panjang Kawat (cm)	Diameter Kawat (mm)
A	Kawat tembaga atau kabel dengan konduktor tembaga	30	0,5
B		30	1
C		40	0,5
D		40	1

E	Kawat nikelin atau kabel dengan konduktor mikron	30	0,5
---	--	----	-----

- 1 buah ohmmeter (multimeter).

Apa yang harus Anda lakukan?

1. Hubungkan kawat A dengan multimeter, kemudian ukur hambatan pada rangkaian tersebut dengan menggunakan ohmmeter.
2. Ulangi percobaan di atas untuk mengukur kawat penghantar B, C, D, dan E. Catat hasil pengamatan kalian pada tabel berikut

No	Jenis Kawat	Hambatan Jenis Kawat (Ω m)	Panjang Kawat (m)	Diameter Kawat (mm)	Luas Penampang Kawat (mm^2)	Besar Hambatan yang Terukur oleh Ohmmeter (Ω)
A	Tembaga		0,30	0,5		
B			0,30	1		
C			0,40	0,5		
D			0,40	1		
E	Nikelin		0,30	0,5		

Apa yang Anda diskusikan?

1. Buatlah grafik hubungan antara besar hambatan listrik dengan panjang kawat! Letakkan data panjang kawat pada sumbu x dan data besar hambatan listrik pada sumbu y. (gunakan data A, B, C, dan D).
2. Amati pada grafik, bagaimana hubungan antara besar hambatan listrik dengan panjang kawat!
3. Buatlah grafik hubungan antara besar hambatan listrik dengan luas penampang kawat! Letakkan data luas penampang kawat pada sumbu x dan data besar hambatan listrik pada sumbu y (gunakan data A, B, C, dan D).
4. Amati pada grafik, bagaimana hubungan antara besar hambatan listrik dengan luas penampang kawat!
5. Berdasarkan jawaban nomor 2 dan 4, bagaimanakah hubungan antara panjang, dan luas penampang kawat penghantar dengan besar hambatannya?

Apa yang dapat Anda simpulkan?

Berdasarkan hasil kegiatan dan diskusi, buatlah kesimpulan!

Besar hambatan setiap jenis kawat yang panjangnya satu satuan panjang per satu satuan luas penampang disebut hambatan jenis (ρ). Besar hambatan jenis berbeda-beda untuk setiap jenis kawat (lihat Tabel 3.4). Berdasarkan pengamatan hambatan jenis pada Aktivitas 5, maka besar hambatan kawat (R) yang panjangnya (L) dan luas penampangnya (A) adalah:

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A}$$

Dengan:

R = hambatan kawat (Ω)

ρ = hambatan jenis kawat ($\Omega \text{ m}$)

L = panjang kawat (m)

A = luas penampang kawat (m^2)

Mari Kita selesaikan

Coba hitung berapakah besar hambatan listrik sel saraf jika diketahui diameter akson adalah $5 \times 10^{-6} \text{ m}$, hambatan jenis sel saraf $6,37 \times 10^{-9} \Omega \text{ m}$, dan panjang sel saraf $20 \times 10^{-6} \text{ m}$?

Hewan-hewan Penghasil Listrik

Seperti manusia, hewan menghasilkan listrik sebagai impuls rangsang dalam tubuhnya untuk menanggapi rangsangan, bergerak, berburu mangsa, melawan predator, atau bahkan navigasi. Meskipun pada umumnya arus listrik yang dihasilkan sangat lemah, namun ada beberapa hewan yang dianugerahi keistimewaan oleh Tuhan Yang Maha Esa sehingga mampu menghasilkan arus listrik yang sangat kuat. Hewan apa sajakah yang mampu menghasilkan arus listrik yang kuat? Bacalah informasi berikut dengan teliti.

Ikan Belalai Gajah

Ikan belalai gajah memiliki mulut yang panjang menyerupai bentuk belalai gajah. Ikan ini dilengkapi dengan organ khusus, yang disusun oleh ribuan sel *electroplax*, pada bagian ekor yang mampu menghasilkan listrik statis bertegangan

tinggi.



Gambar 3.18 Ikan Belalai Gajah
Sumber: <http://zafact.blogspot.co.id>

Sel *electroplax* merupakan sel yang menghasilkan muatan negatif pada bagian dalam dan muatan positif pada bagian luar saat ikan belalai gajah dalam keadaan beristirahat. Arus listrik akan muncul pada saat otot ikan berkontraksi, pada saat itu pula ikan mampu mendeteksi keberadaan predator dan mangsa.

Ikan Pari Elektrik

Ikan pari elektrik mampu mengendalikan tegangan listrik yang ada pada tubuhnya. Kedua sisi kepala ikan pari elektrik mampu menghasilkan listrik hingga sebesar 220 volt. Besar tegangan ini sama seperti besar tegangan listrik yang ada di rumah.



Gambar 3.19 Ikan Pari Elektrik
Sumber: <http://yanuarasmara.blogspot.co.id>

Hiu Kepala Martil



Gambar 3.20 Hiu Kepala Martil
Sumber: apakabardunia.com

Hiu kepala martil memiliki ratusan ribu elektroreseptor atau sel penerima rangsang listrik. Hiu kepala martil mampu menerima sinyal listrik hingga setengah milyar volt. Hiu kepala martil biasa menggunakan kemampuan mendeteksi sinyal listrik untuk mengetahui letak mangsa di bawah pasir, menghindari keberadaan predator, dan untuk mendeteksi arus laut yang bergerak sesuai medan magnet bumi.

Echidnas



Gambar 3.21 Echidnas
Sumber: apakabardunia.com

Echidnas memiliki moncong memanjang yang berfungsi sebagai pengirim sinyal-sinyal listrik untuk menemukan serangga (mangsa). Elektroreseptor

Echidnas terus menerus dibasahi agar lebih mudah untuk menghantarkan listrik. Hal inilah yang menyebabkan kebanyakan hewan yang memiliki sistem elektroreseptor berasal dari perairan.

Belut Listrik



Gambar 3.22 Belut Listrik
Sumber: trubus.id

Penelitian menunjukkan bahwa belut listrik dapat menghasilkan kejutan tanpa lelah selama satu jam. Besarnya jumlah energi listrik yang dihasilkan tersebut diyakini dapat membunuh manusia dewasa.

Lele Elektrik

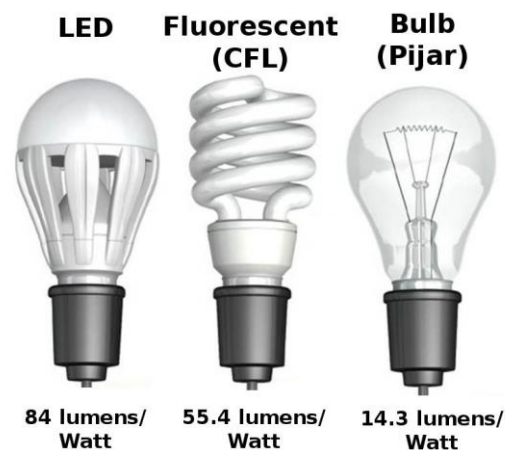


Gambar 3.23 Lele Elektrik
Sumber: apakabardunia.com

Lele air tawar yang berasal dari perairan tropis di Afrika ini memiliki kemampuan untuk menghasilkan listrik hingga sebesar 350 volt. Besarnya energi yang dihasilkan lele elektrik sama seperti energi listrik yang diperlukan untuk menyalakan komputer selama 45 menit.

Konsep Listrik Dinamis

Jika kita perhatikan lampu atau peralatan elektronik lain yang menggunakan listrik, semua alat tersebut membutuhkan kabel sebagai penghubung aliran arus listrik. Dari manakah aliran arus listrik tersebut berasal? Apakah makhluk hidup dapat menghasilkan arus listrik sehingga dapat digunakan untuk menyalakan lampu?



Gambar 3.24 Lampu
Sumber: visicomled.com

Secara umum, aliran arus listrik bersumber dari pembangkit listrik. Pernahkah Anda berpikir bagaimana cara membuat atau menemukan sumber arus listrik? Ternyata, selain dihasilkan oleh pembangkit listrik seperti generator, arus listrik juga dapat dihasilkan oleh baterai, aki (accu), dan buah-buahan terutama buah-buahan yang mengandung asam, misalnya jeruk. Mengapa jeruk dapat menjadi sumber arus listrik? Bagaimana dengan buah-buahan atau tumbuhan lainnya? Agar mengetahui jawabannya, pelajari materi berikut dengan penuh semangat.

Arus Listrik

Perhatikan lampu listrik di rumahmu. Ketika Anda menyalakan lampu tentunya Anda akan menekan sakelar yang terpasang di dinding. Jika satu sakelar ditekan maka lampu akan menyala tetapi mungkin lampu di ruangan lain tidak ikut menyala, atau ketika Anda menekan sakelar ternyata semua lampu di beberapa ruangan akan menyala bersamaan. Mengapa dapat terjadi demikian? Pernahkah Anda memikirkannya? Sekarang, lakukan kegiatan berikut untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan tadi.

Mari Kita Lakukan

Aktivitas 3.6 Menyalakan Lampu dengan Baterai

Apa yang Anda perlukan?

1. Kabel (minimal 2 buah),
2. 1 buah baterai, dan
3. 1 buah bola lampu.

Apa yang harus Anda lakukan?

1. Buatlah rangkaian untuk menyalakan lampu.
2. Gambarkan diagram yang dapat menyalakan lampu dan diagram yang tidak dapat menyalakan lampu.

Perhatian

Berhati-hatilah saat membuat rangkaian karena baterai akan menimbulkan efek panas saat dihubungkan dengan menggunakan kabel.

Apa yang perlu Anda diskusikan?

1. Bagaimanakah cara untuk mengetahui adanya arus listrik yang mengalir dalam kabel?
2. Rangkaian listrik yang bagaimanakah yang dapat menyalakan lampu? Rangkaian listrik yang bagaimanakah yang tidak dapat menyalakan lampu?

Apa yang dapat Anda simpulkan?

Apa yang dapat Anda simpulkan dari kegiatan ini?

Mari Kita Lakukan

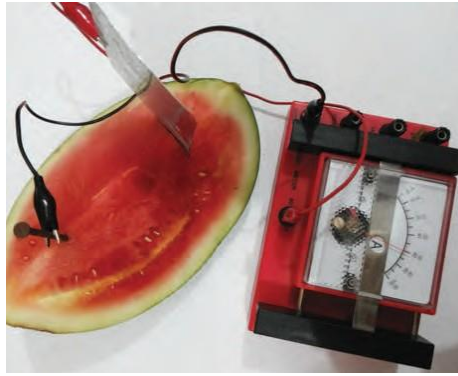
Aktivitas 3.7 Baterai Buah

Apa yang Anda perlukan?

1. 1 lempeng seng,
2. 1 lempeng besi/paku besi,
3. 1 penjepit buaya warna hitam dan 1 warna merah,
4. 1 gunting,
5. 1 pisau,
6. 1 LED 3 mA,
7. 1 amperemeter,
8. 1 sakelar,
9. 1 buah semangka, dan
10. 1 buah jeruk.

Apa yang harus Anda lakukan?

1. Tancapkan lempeng seng dan paku besi pada semangka. Lihat Gambar 3.24. Perhatikan sambungan kutub positif dengan kutub negatif baterai pada amperemeter agar arus yang terukur tidak bernilai negatif.
2. Hubungkan lempeng, lampu, sakelar, dan amperemeter dengan menggunakan kabel penjepit buaya.
3. Aturilah amperemeter dengan batas ukur arus paling kecil, kemudian nyalakan sakelar (on).
4. Bacalah kuat arus yang ditimbulkan oleh buah dan amati nyala lampu.
5. Ulangi langkah 1-4 dengan menggunakan buah lainnya dengan menggunakan variasi jumlah sebanyak 3, 4, 5, 6, dst, disusun secara seri maupun paralel. Lakukan kegiatan ini secara bertahap sampai lampu menyala.
6. Catat hasil pengamatan Anda dalam bentuk tabel.



Gambar 3.25 Rangkaian Percobaan Baterai Buah
Sumber: Dokumen Kemdikbud

Apa yang Anda diskusikan?

1. Bandingkan hasil pengamatan besarnya kuat arus dengan jumlah buah yang digunakan. Bagaimanakah hubungan besarnya kuat arus dengan jumlah buah?
2. Bandingkan hasil pengamatan nyala lampu dengan jumlah buah yang digunakan. Bagaimanakah hubungan nyala lampu dengan jumlah buah?
3. Mengapa buah dapat digunakan untuk menyalakan lampu?
4. Apa fungsi pemberian lempeng seng dan paku besi pada percobaan baterai buah ini?

Apa yang Anda simpulkan?

Berdasarkan hasil percobaan Anda, buatlah kesimpulan!

Catatan: untuk kegiatan ini Anda cobalah gunakan buah-buahan yang ada di sekitar Anda dan bandingkan hasilnya.



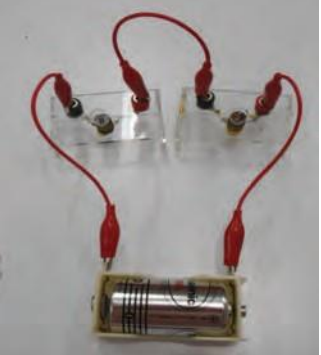
Kegiatan yang Anda lakukan pada Ayo Lakukan Aktivitas 6 dan 7 merupakan kegiatan membuat rangkaian sederhana. Buah dapat berperan sebagai baterai karena adanya penggunaan lempeng seng dan lempeng besi yang berfungsi untuk menimbulkan beda potensial dalam buah. Lempeng seng berfungsi sebagai kutub negatif dan lempeng besi berfungsi sebagai kutub positif. Adanya beda potensial dalam buah inilah yang kemudian mendorong elektron-elektron untuk bergerak hingga memicu aliran listrik dalam rangkaian.

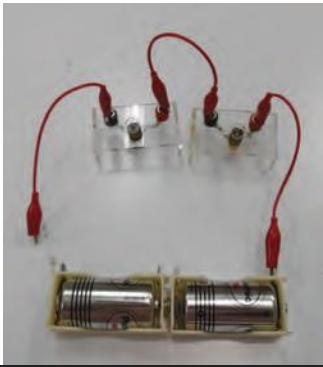
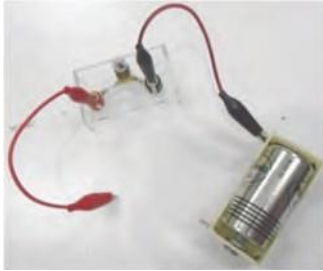
Jika Anda perhatikan sambungan dari baterai, lampu dan kabel, atau sambungan dari semangka atau jeruk, lampu, dan kabel, ternyata sambungan

tersebut terhubung satu sama lain sehingga rangkaian tersebut merupakan rangkaian tertutup. Dengan demikian, sebuah rangkaian listrik yang tertutup akan menghasilkan nyala lampu. Bagaimana jika rangkaianannya tidak terhubung satu sama lain? Disebut apakah rangkaian tersebut? Coba lakukan dan pikirkan kegiatan berikut.

Mari Kita selesaikan

Manakah pada gambar berikut ini yang merupakan jenis rangkaian listrik tertutup dan jenis rangkaian listrik terbuka? Jelaskan dan berikan alasan Anda.

No.	Gambar	Jenis Rangkaian	Penjelasan/ Alasan
1			
2			
3			

No.	Gambar	Jenis Rangkaian	Penjelasan/ Alasan
4			
5			

Apa yang perlu Anda diskusikan?

Jelaskan apa perbedaan dari rangkaian listrik tertutup dan terbuka?

Ketika Anda menghubungkan lampu dan sumber listrik dengan menggunakan kabel artinya Anda telah membuat sebuah rangkaian listrik. Pada rangkaian listrik tertutup (saklar tertutup atau posisi on), arus listrik akan mengalir dan lampu menyala. Bagaimanakah arah arus listrik tersebut? Berapakah besar arus listrik yang mengalir? Agar memahami arah aliran arus listrik dan mengetahui besar arus listrik yang mengalir dalam suatu rangkaian, baca penjelasan berikut dengan seksama.

Arus listrik mengalir karena pada ujung-ujung rangkaian ada perbedaan potensial listrik yang diberikan oleh baterai sebagai sumber tegangan seperti yang telah dijelaskan pada percobaan baterai buah. Ujung kawat penghantar yang memiliki banyak elektron (terhubung dengan kutub negatif baterai) dapat dikatakan memiliki potensial listrik yang rendah, sedangkan ujung kawat penghantar lainnya yang memiliki sedikit elektron (terhubung dengan kutub positif baterai) dapat dikatakan memiliki potensial listrik yang tinggi. Arus listrik mengalir dari potensial

tinggi ke potensial rendah, sedangkan arah aliran elektron adalah sebaliknya yaitu dari potensial rendah ke potensial tinggi atau dengan kata lain dari kutub negatif ke kutub positif.

Pada rangkaian listrik tertutup, besar arus listrik yang mengalir pada rangkaian dapat ditentukan dengan menghitung besar muatan listrik yang mengalir pada rangkaian setiap detiknya. Hal ini dikarenakan besar arus listrik yang mengalir dalam suatu rangkaian tertutup sebanding dengan besarnya muatan listrik yang mengalir pada setiap detik, atau secara matematis besar arus listrik ditulis sebagai berikut.

$$i = \frac{q}{t}$$

Keterangan:

I = arus listrik (ampere)

q = muatan listrik (coulomb)

t = waktu (detik)

Pada rangkaian listrik tertutup, pembawa muatan listrik adalah elektron sehingga besarnya muatan ditentukan oleh jumlah elektron, yaitu;

$$i = \frac{Ne}{t}$$

Keterangan

I = Arus listrik (Ampere)

N = jumlah muatan listrik

e = muatan elektron (Coulomb)

t = waktu (detik)

Mari Kita Pahami

Contoh Soal

Arus listrik sebesar 5 mA mengalir pada sel saraf selama 0,1 detik. Berapakah besar muatan dan jumlah elektron yang berpindah pada sel saraf tersebut?

Diketahui:

$$A = 5 \text{ mA} = 0,005 \text{ A}$$

$$t = 0,1 \text{ s}$$

$$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

Ditanyakan: besar muatan dan jumlah elektron yang berpindah pada sel saraf

Jawab:

Besar muatan listrik,

$$i = \frac{q}{t}$$

$$q = i \times t = 0,005 \text{ A} \times 0,1 \text{ s} = 5 \times 10^{-4} \text{ C}$$

Banyaknya elektron yang mengalir pada sel saraf,

$$q = Ne$$

$$N = \frac{q}{e} = \frac{5 \times 10^{-4} \text{ C}}{1,6 \times 10^{-19} \text{ C}} = 3,125 \times 10^{15} \text{ elektron}$$

Rangkaian Listrik

Tahukah Anda mengapa ada sebuah sakelar yang dapat digunakan untuk menyalakan beberapa lampu sekaligus, tetapi ada juga sebuah sakelar yang hanya dapat digunakan untuk menyalakan sebuah lampu saja? Apa yang menyebabkan hal ini terjadi? Menyala atau tidak menyala lampu listrik terkait dengan rangkaian listrik. Agar dapat menjawab permasalahan tersebut, lakukan kegiatan berikut dengan hati-hati.

Mari Kita Lakukan

Aktivitas 3.8 Rangkaian Lampu secara Seri dan Paralel

Apa yang Anda perlukan?

1. 6 kabel dengan penjepit buaya,
2. 1 baterai, dan
3. 2 lampu bohlam.

Apa yang harus Anda lakukan?

1. Buatlah rangkaian listrik dengan susunan satu baterai sehingga dua lampu menyala terang. Gambarkan rangkaian yang Anda peroleh! Jika salah satu lampu dilepas, bagaimana dengan keadaan lampu yang lain? Disebut apakah

- rangkaian yang Anda peroleh tersebut?
2. Buatlah rangkaian listrik dengan susunan satu baterai sehingga dua lampu menyala redup. Gambarkan rangkaian yang Anda peroleh! Jika salah satu lampu dilepas, bagaimana dengan keadaan lampu yang lain? Disebut apakah rangkaian yang Anda peroleh tersebut?
 3. Jika rangkaian lampu secara seri dan paralel digabung menjadi satu rangkaian, apa yang terjadi? Jelaskan!

Apa yang dapat Anda simpulkan?

Apa yang dapat Anda simpulkan dari percobaan ini?

Mari Kita Lakukan

Aktivitas 3.9 Rangkaian Baterai secara Seri dan Paralel

Apa yang Anda perlukan?

1. 1 lampu bohlam 12 watt,
2. 6 kabel dengan penjepit buaya, dan
3. 3 baterai dan dudukkannya.

Apa yang harus Anda lakukan?

1. Buatlah rangkaian listrik dengan susunan satu baterai sehingga lampu menyala! Gambarkan rangkaian yang Anda peroleh!
2. Buatlah rangkaian listrik dengan susunan dua baterai sehingga lampu menyala! Lakukan susunan baterai dengan berbagai cara dan perhatikan nyala lampu. Gambarkan rangkaian yang Anda peroleh!
3. Buatlah rangkaian listrik dengan susunan tiga baterai sehingga lampu menyala. Lakukan susunan baterai dengan berbagai cara dan perhatikan nyala lampu. Gambarkan rangkaian yang Anda peroleh!

Apa yang harus Anda diskusikan?

1. Bandingkan hasil pengamatan pada langkah 1, 2, dan 3! Bagaimanakah susunan baterai yang digunakan dan nyala lampu yang terjadi!
2. Jika dibandingkan dengan Aktivitas 8 pada rangkaian lampu, disebut apakah

rangkaian baterai yang Anda temukan?

Apa yang dapat Anda simpulkan?

Buatlah kesimpulan tentang susunan baterai yang Anda temukan!

Berdasarkan Aktivitas 8 dan 9, apa yang Anda simpulkan tentang rangkaian seri dan paralel? Jika dilihat dari gambar rangkaiannya, seharusnya Anda sudah dapat menentukan mana yang rangkaian seri dan mana yang rangkaian paralel, baik untuk lampu maupun baterai.

Pada rangkaian listrik yang tidak memiliki percabangan kabel, rangkaian tersebut disebut **rangkaian seri**. Ketiadaan percabangan kabel pada rangkaian listrik seri mengakibatkan aliran listrik akan terputus jika salah satu ujung kabel terputus, sehingga arus tidak ada yang mengalir di dalam rangkaian dan seluruh lampu akan mati. Pada rangkaian listrik yang memiliki percabangan kabel, rangkaian tersebut disebut **rangkaian paralel**. Jika salah satu ujung kabel terputus, maka arus listrik akan tetap mengalir pada kabel lainnya yang masih terhubung dan beberapa lampu lainnya akan tetap menyala.

Sekarang, perhatikan lampu-lampu yang dipasang di rumah Anda. Dapatkah Anda menentukan rangkaian apakah yang digunakan? Sekarang Anda sudah dapat menjelaskan mengapa jika kita menekan satu sakelar di salah satu kamar, maka lampu-lampu yang ada di kamar lainnya tidak ikut terpengaruh.

Mari Kita Lakukan

Aktivitas 3.10 Mengetahui Hubungan antara Kuat Arus, Hambatan, dan Tegangan Listrik pada Suatu Rangkaian Listrik (Hukum Ohm)

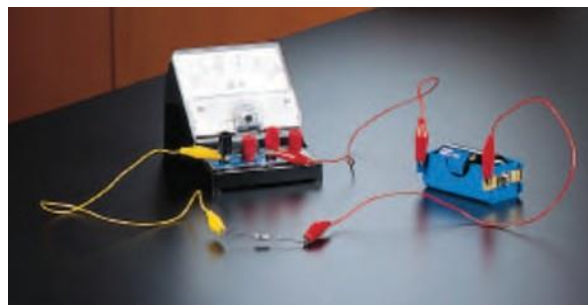
Apa yang Anda perlukan?

1. 4 buah baterai besar dengan masing-masing tegangan 1,5 volt dan dudukan baterai,
2. 4 buah resistor dengan masing-masing besar hambatan 10 k Ω , 20 k Ω , 30 k Ω , dan 40 k Ω ,
3. 1 buah amperemeter dengan batas ukur 500 μ A, dan
4. 5 buah penjepit buaya.

Apa yang Anda lakukan?

Menyelidiki hubungan besar arus listrik terhadap variasi besar hambatan pada resistor

1. Letakkan sebuah baterai pada dudukan baterai.
2. Buat rangkaian seri untuk baterai, resistor 10 k Ω , dan amperemeter dengan menggunakan penjepit buaya seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 3.26 Rangkaian Percobaan
Sumber: Dokumen Kemdikbud.

3. Catat besar hambatan resistor dan besar kuat arus listrik yang mengalir pada rangkaian dengan melihat hasil pengukuran amperemeter pada Tabel 3.5.
4. Ulangi langkah 2 dan 3 untuk variasi resistor dengan hambatan 20 k Ω , 30 k Ω , dan 40 k Ω .

Tabel 3.5 Data Pengamatan Besar Hambatan dan Kuat Arus Listrik terhadap Tegangan

Tegangan (V)	Hambatan (k Ω)	Kuat arus listrik (μ A)
--------------	------------------------	------------------------------

1,5		
1,5		
1,5		
1,5		

Menyelidiki hubungan besar arus listrik terhadap variasi besar tegangan listrik

1. Susun rangkaian listrik tertutup seperti pada petunjuk kerja A langkah nomor 1 dan 2.
2. Catat besar tegangan baterai dan besar kuat arus listrik yang mengalir pada rangkaian dengan melihat hasil pengukuran amperemeter pada Tabel 3.6.
3. Tambahkan sebuah baterai pada dudukan baterai (2 baterai disusun secara seri), kemudian catat kembali besar tegangan baterai dan besar kuat arus listrik yang mengalir pada rangkaian dengan melihat hasil pengukuran amperemeter pada Tabel 3.6.
4. Tambahkan sebuah baterai pada dudukan baterai (3 baterai disusun secara seri), kemudian catat kembali besar tegangan baterai dan besar kuat arus listrik yang mengalir pada rangkaian dengan melihat hasil pengukuran amperemeter pada Tabel 3.6.
5. Tambahkan sebuah baterai pada dudukan baterai (4 baterai disusun secara seri), kemudian catat kembali besar tegangan baterai dan besar kuat arus listrik yang mengalir pada rangkaian dengan melihat hasil pengukuran amperemeter pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Data Pengamatan Tegangan dan Kuat Arus Listrik terhadap Hambatan

Tegangan (V)	Hambatan (k Ω)	Kuat arus listrik (μ A)
	10	
	10	
	10	
	10	

Apa yang Anda analisis?

1. Berdasarkan data pada Tabel 3.5, buatlah grafik hubungan antara kuat arus dengan besar hambatan listrik. Besar hambatan listrik pada sumbu x dan besar

arus listrik pada sumbu y.

2. Berdasarkan data pada Tabel 3.6, buatlah grafik hubungan antara kuat arus dengan besar tegangan listrik. Besar tegangan listrik pada sumbu x dan besar arus listrik pada sumbu y.
3. Selain besar hambatan, berdasarkan percobaan A faktor apakah yang mempengaruhi besar arus listrik yang mengalir dalam suatu rangkaian? Bagaimana caranya agar arus listrik yang mengalir dalam rangkaian tersebut dapat diperbesar?
4. Selain banyaknya jumlah baterai yang digunakan, berdasarkan percobaan B faktor apakah yang mempengaruhi besar arus listrik yang mengalir dalam suatu rangkaian? Bagaimana caranya agar arus listrik yang mengalir dalam rangkaian tersebut dapat diperbesar?

Apa yang Anda diskusikan?

1. Perhatikan grafik nomor 1 yang telah kalian buat, jelaskan bagaimana hubungan antara besar hambatan dengan kuat arus listrik yang mengalir dalam suatu rangkaian?
2. Perhatikan grafik nomor 2 yang telah kalian buat, jelaskan bagaimana hubungan antara besar tegangan dengan kuat arus listrik yang mengalir dalam suatu rangkaian?
3. Besar kuat arus 1 A, adalah kuat arus yang mengalir pada suatu penghantar yang memiliki hambatan sebesar 1Ω pada saat diberi tegangan sebesar 1 V. Berdasarkan pengertian tersebut, berapakah besar kuat arus (I) pada suatu penghantar yang besar hambatannya (R) jika diberi tegangan sebesar (V)? Tuliskan bentuk persamaannya! Persamaan itulah yang disebut Hukum Ohm.
4. Coba jelaskan apa yang akan terjadi jika sebuah alat listrik yang mula-mula dipasang pada rangkaian listrik dengan tegangan 220 V, kemudian dipasang pada rangkaian listrik dengan tegangan 110 V?
5. Mengapa lampu dengan tegangan 110 V tidak boleh dipasang pada rangkaian listrik dengan tegangan 220 V?
6. Sebuah rangkaian listrik yang menggunakan baterai sebagai sumber arus dengan besar tegangan 1,5 volt memiliki hambatan sebesar $0,3 \Omega$. Hitunglah

berapa besar kuat arus listrik yang mengalir dalam rangkaian tersebut!

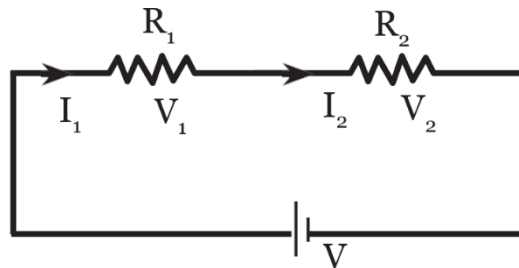
Apa yang dapat Anda simpulkan?

Berdasarkan analisis, buatlah kesimpulan tentang hubungan antara kuat arus, hambatan, dan tegangan listrik pada suatu rangkaian listrik.

Pada suatu rangkaian listrik, hambatan listrik juga dapat dipasang secara seri dan paralel seperti pada lampu dan baterai (Ingat hasil percobaan pada Aktivitas 8 dan 9). Pola pemasangan hambatan listrik ini ternyata juga mempengaruhi besar arus listrik yang mengalir pada suatu rangkaian listrik. Tahukah Anda mengapa? Perhatikan penjelasan berikut!

Rangkaian Hambatan Listrik Seri

Pada rangkaian seri kuat arusnya bernilai sama tetapi tegangannya berbeda-beda, sehingga



Gambar 3.27 Rangkaian Seri Hambatan Listrik
Sumber: Dokumen Kemdikbud

$$I_1 = I_2 = I_{seri}$$

$$V_1 \neq V_2 \neq V_{seri} \text{ tetapi } V_{seri} = V_1 + V_2$$

karena

$$V_{seri} = I_{seri} \cdot R_{seri}$$

maka

$$I_{seri} \cdot R_{seri} = I_1 \cdot R_1 + I_2 \cdot R_2$$

Karena

$$I_1 = I_2 = I_{seri}$$

Maka

$$I_{seri} \cdot R_{seri} = I_{seri} \cdot V_1 + I_{seri} \cdot V_2 = I_{seri} \cdot (R_1 + R_2)$$

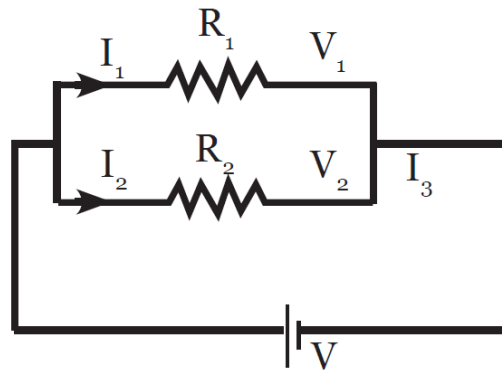
kita peroleh

$$R_s = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

n = untuk kasus n resistor

Rangkaian Hambatan Listrik Paralel

Pada rangkaian paralel, tegangan listrik bernilai sama tetapi besar kuat arusnya berbeda, sehingga



Gambar 3.28 Rangkaian Paralel Hambatan Listrik
Sumber: Dokumen Kemdikbud

$$V_1 = V_2 = V_{paralel}$$

$$I_1 \neq I_2 \neq I_{paralel} \text{ tetapi } I_{paralel} = I_1 + I_2$$

karena

$$V_{paralel} = I_{paralel} \cdot R_{paralel}$$

$$\frac{V_{paralel}}{R_{paralel}} = I_{paralel}$$

maka

$$I_{paralel} = I_1 + I_2$$

Karena

$$V_1 = V_2 = V_{paralel}$$

Maka

$$\frac{V_{paralel}}{R_{paralel}} = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} = \frac{V_{paralel}}{R_1} + \frac{V_{paralel}}{R_2} = V_{paralel} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

kita peroleh

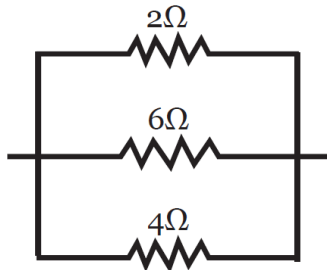
$$\frac{1}{R_{paralel}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

$n = \text{untuk kasus } n \text{ resistor}$

Mari Kita selesaikan

Hitunglah besar hambatan pengganti beberapa rangkaian hambatan berikut!

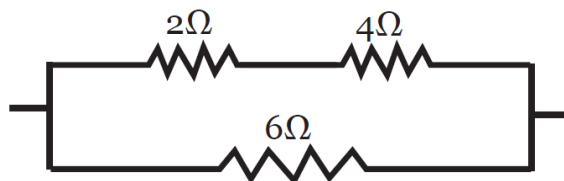
- a. Rangkaian hambatan 1



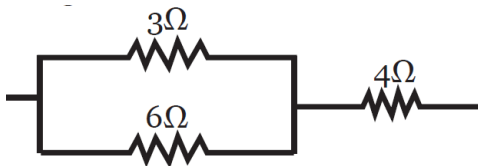
- b. Rangkaian hambatan 2



- c. Rangkaian hambatan 3



- d. Rangkaian hambatan 4



Sumber Arus Listrik

Listrik adalah energi, sehingga sesuai dengan hukum kekekalan energi untuk menghasilkan energi listrik perlu adanya alat yang dapat mengubah energi lain menjadi energi listrik. Secara umum, sumber arus listrik terdiri dari dua jenis, yaitu sumber arus searah (DC) dan sumber arus bolak-balik (AC). Agar lebih memahami, perhatikan Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Jenis Sumber Arus Listrik

Jenis Sumber Arus Listrik	Sumber Arus	Proses Perubahan Energi
DC (<i>direct current</i>)	Elemen volta	Kimia → listrik
	Elemen kering (baterai)	Kimia → listrik
	Akumulator (ACCU)	Kimia → listrik
	Solar sel	Kalor → listrik
	Dinamo DC	Gerak → listrik
AC (<i>alternating current</i>)	Dinamo AC	Gerak → listrik
	Generator	Gerak → listrik

Elemen volta, baterai, dan akumulator adalah sumber arus DC yang dihasilkan dari reaksi kimia, sehingga disebut juga sebagai **elektrokimia**. Berdasarkan dapat atau tidaknya diisi ulang, sumber arus listrik dibedakan menjadi elemen primer dan elemen sekunder. **Elemen primer** adalah sebutan bagi sumber arus listrik yang tidak dapat diisi ulang ketika energinya habis, contohnya seperti baterai kering dan elemen volta. **Elemen sekunder** adalah sebutan bagi sumber arus listrik yang dapat diisi ulang ketika energinya habis, contohnya seperti akumulator dan baterai Li-ion yang digunakan pada telepon genggam atau kamera.

Sumber-Sumber Energi Listrik

Tahukah Anda, dari mana asal energi listrik yang biasa kita gunakan dalam kehidupan sehari-hari? Apa hanya dari minyak bumi dan batubara saja? Mengingat keterbatasan energi tambang, kini listrik tidak hanya dihasilkan dari minyak bumi atau batu bara, tetapi juga dari energi **matahari, angin, air, dan bioenergi**. Sumber-sumber energi tersebut merupakan energi alternatif karena ketersediaannya di alam yang dianggap sangat melimpah atau tidak akan pernah habis jika digunakan. Agar mengetahui berbagai sumber energi alternatif tersebut, bacalah uraian berikut dengan seksama.

Energi Matahari

Energi matahari adalah sumber energi terbesar dan paling besar ketersediaannya. Melalui penggunaan panel surya, energi matahari dapat diubah menjadi energi listrik. Tetapi saat cuaca mendung, energi listrik yang diperoleh

tidak dapat dihasilkan secara maksimal. Sehingga, energi yang diperoleh saat matahari bersinar terang akan disimpan dalam baterai agar dapat digunakan saat cuaca mendung atau bahkan malam hari.



Gambar 3.29 Panel Sel Surya
Sumber: freedigitalphotos.net

Penggunaan energi surya di Indonesia diterapkan dalam dua macam teknologi, yaitu teknologi energi surya termal dan energi surya fotovoltaik. Energi surya termal digunakan untuk memasak (kompor surya), mengeringkan hasil pertanian dan memanaskan air. Energi surya fotovoltaik digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik, pompa air, televisi, telekomunikasi, dan lemari pendingin di Puskesmas dengan kapasitas total ± 6 MW.

Energi Angin (Kincir Angin)

Kincir angin adalah salah satu contoh sumber energi listrik alternatif. Energi gerak, yang dihasilkan oleh gerakan angin terhadap kincir, diubah oleh generator menjadi energi listrik. Berbeda dengan batu bara, gas, dan minyak bumi, kincir angin tidak menyebabkan polusi bagi lingkungan, sehingga kincir angin dipercaya ramah terhadap lingkungan. Oleh sebab itu, pada tahun 1930, pemerintah Amerika mulai menggunakan kincir angin sebagai sumber energi listrik utamanya. Di daerah California, saat ini sudah ada 13.000 kincir angin yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik hingga 1,5 – 4 juta kWh setiap tahunnya, ini berarti setiap kincir angin digunakan untuk menyuplai kebutuhan listrik 150 hingga 400 rumah. Namun, ketika tidak ada angin yang berhembus maka tidak akan ada energi listrik yang dihasilkan, sehingga masih diperlukan sejumlah batubara, gas, atau minyak bumi untuk memenuhi energi listrik pada saat tersebut.



Gambar 3.30 Sumber Energi Angin
Sumber: Dokumen kemdikbud

Berdasarkan penelitian pada tahun 1980, ternyata penggunaan kincir angin menimbulkan permasalahan bagi lingkungan, khususnya pada penurunan populasi burung. Baling-baling kincir angin yang tinggi dan berukuran sangat besar telah menyita habitat burung sehingga timbul persaingan antara burung dan kincir.

Tidak kalah dengan California, Indonesia telah membangun beberapa unit kincir angin dengan kapasitas masing-masing 80 KW di Yogyakarta dan menargetkan pembuatan Pembangkit Listrik Tenaga Baru (PLTB) yang mampu menghasilkan 250 MW pada tahun 2025.

Energi Air (Hydropower)

Air yang mengalir dari hulu ke hilir, khususnya pada sungai-sungai yang deras, dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik. Arus air sungai tersebut dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin yang terhubung pada generator sehingga energi listrik dapat dihasilkan.



Gambar 3.31 PLTA Karangates yang Memanfaatkan Aliran Sungai Brantas
Sumber: Dokumen Kemdikbud

Banyaknya jumlah sungai dan danau air tawar membuat Indonesia membangun banyak Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) di seluruh wilayahnya. Potensi tenaga air di seluruh Indonesia diperkirakan sebesar 75.684 MW, tetapi yang dimanfaatkan masih 100 MW dengan jumlah pabrik sekitar 800. Salah satu contoh PLTA yaitu PLTA Karangates yang ada di Kabupaten Malang.

Bioenergi

Bioenergi adalah energi yang diperoleh dari biomassa. Biomassa merupakan bahan organik yang berasal dari makhluk hidup, baik dari tumbuhan maupun hewan. Limbah dari budidaya pertanian, perkebunan, kehutanan, peternakan, maupun perikanan juga dapat digunakan sebagai sumber bioenergi. Energi yang diperoleh dari biomassa ini dapat diubah menjadi energi listrik dengan cara mengolah biomassa menjadi bahan bakar nabati, misalnya etanol atau biodiesel. Bahan bakar nabati ini selanjutnya dapat digunakan sebagai bahan bakar generator atau diesel untuk menghasilkan listrik.



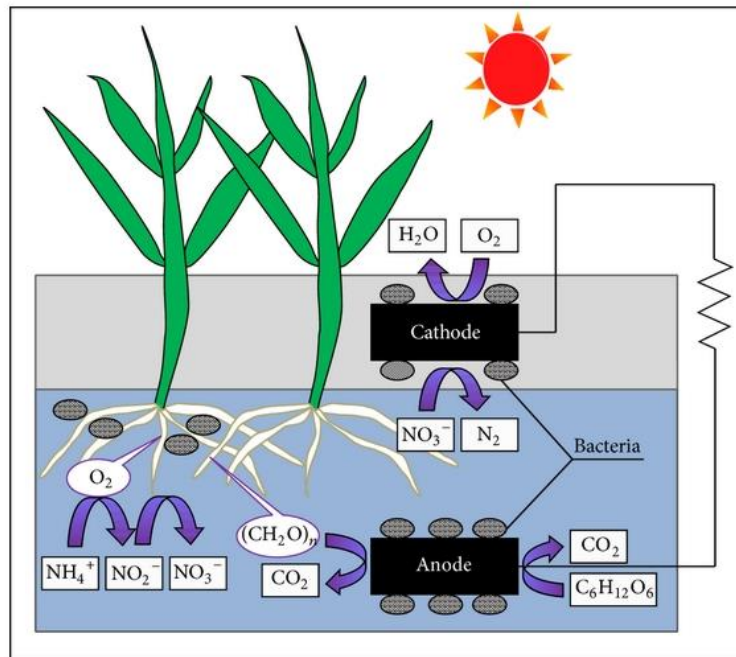
Gambar 3.32 Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa Mesto
Sumber: www.goodnewsfinlad.com

Mari Kita Cari Tahu

Tahukah Anda?

Pernahkah Anda berpikir bahwa tanaman dapat menghasilkan arus listrik? Sumber listrik baru telah dikembangkan oleh Marjolein Helder dari Universitas Wageningen Belanda. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa pada saat tumbuh, tanaman memperoleh listrik dari interaksi antara

akar tanaman dengan bakteri tanah.

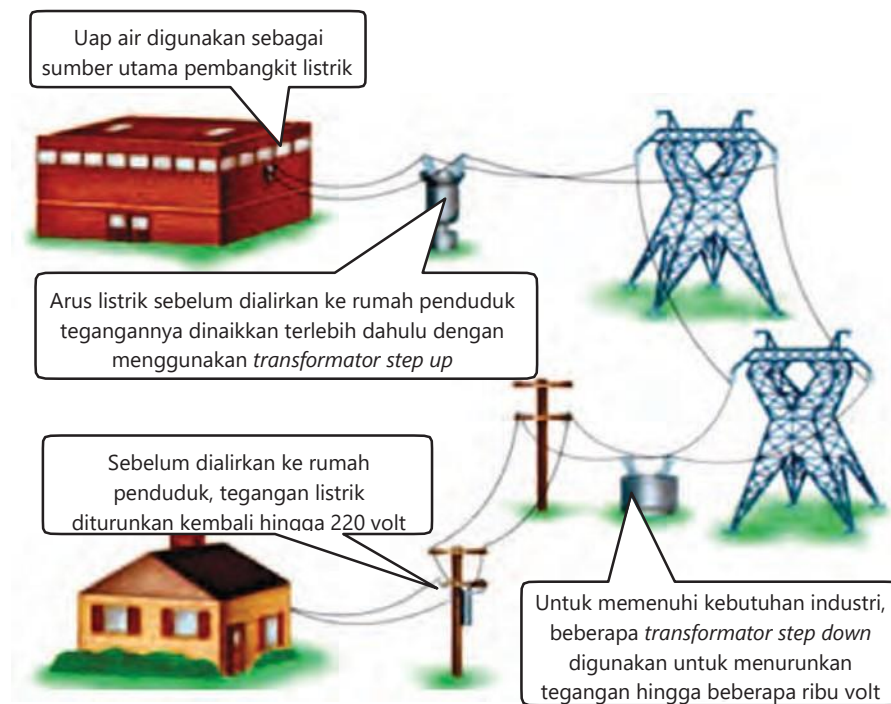


Gambar 3.33 Tumbuhan sebagai Sumber Energi Listrik
Sumber: <http://hwc2015.nvo.or.id>

Akar tanaman tersebut mampu mengeluarkan cairan dan gas hingga 70% ke tanah. Selanjutnya bakteri yang ada di sekitar akar mengurai bahan organik sehingga membentuk sumber energi listrik baru. Saat menguji penelitiannya, Helder meletakkan sebuah elektrode dekat bakteri untuk menyerap elektron dan hasilnya menunjukkan ada arus listrik yang mengalir di antara elektrode tersebut. Mikroba pada tanaman mikrobial dapat menghasilkan arus 0,4 watt per meter persegi dari tanaman hidup. Ke depan energi listrik dari tanaman ini akan dikembangkan hingga dapat memproduksi sebanyak 3,2 watt meter persegi. Ini artinya akar dalam wilayah 100 meter persegi dapat memenuhi kebutuhan listrik sebuah rumah dengan pemakaian 2.800 kWh per tahun.

Transmisi Energi Listrik

Tahukah Anda bagaimana energi listrik dapat disalurkan ke rumah-rumah dengan efektif dan efisien? Perhatikan gambar 3.34 berikut!



Gambar 3.34 Transmisi Energi Listrik Jarak Jauh
 Sumber: Biggs, dkk., 2008

Transmisi listrik jarak jauh dilakukan dengan menaikkan tegangan listrik. Jika tegangan listrik untuk transmisi jarak jauh rendah, maka arus listriknya akan menjadi besar sehingga diperlukan kabel listrik yang besar dan banyak energi yang terbuang menjadi kalor saat listrik disalurkan dari PLN ke rumah-rumah. Namun, dengan tegangan yang tinggi, maka arus listrik akan menjadi kecil sehingga kabel listrik yang dibutuhkan kecil dan tidak terlalu banyak energi yang terbuang.

Agar tegangan listrik dari PLN dapat dinaikkan, maka diperlukan transformator *step up*. PLN memproduksi listrik dengan tegangan sebesar 10.000 volt, sehingga perlu dinaikkan menjadi sekitar volt. Transmisi energi listrik dengan tegangan sebesar ini dilakukan dengan menaikkan kabel pada gardu-gardu listrik yang tinggi agar aman bagi penduduk. Pada transmisi berikutnya digunakan transformator *step down* untuk menurunkan tegangan hingga menjadi 220 volt sehingga dapat langsung didistribusikan ke penduduk.

Upaya Penghematan Energi Listrik

Energi listrik juga dimanfaatkan untuk mengoperasikan berbagai teknologi

untuk menunjang kehidupan manusia. Coba sebutkan teknologi apa saja yang ada di rumah Anda yang memanfaatkan energi listrik sebagai sumber energi utamanya? Tahukah Anda seberapa besar energi listrik yang digunakan setiap bulan di rumah Anda? Bagaimana cara menentukan biaya listrik setiap bulan? Total biaya listrik setiap bulan yang dibayarkan kepada PLN dihitung sesuai penggunaan energi listrik di rumah. Melalui kWh meter yang biasa dipasang di rumah, petugas PLN setiap bulan mendatangi dan mencatat besar energi listrik yang telah digunakan. Energi yang telah digunakan tersebut dikalikan dengan tarif dasar listrik yang telah ditentukan.



(a)

KD. GDL.	DAIRY DAU	KODE KELOMPOK	NOMOR PELANGGAN
0000	1300	LCA-MRLL-015-00	53-567-705750-3
KELOMPOK METER		URUTAN METER 1	URUTAN METER 2
AMPAH		11487	
WATT		11135	
FAKTOR KALI		1	
PERMBAHAN		20	292
HARGA PEMAKAIAN		385.00	495.00
HARGA PER KWh BESAR	TARIF PLN	HARGA KWh KWARN	KELEBIHAN KWh
30,100			

(b)

Gambar 3.35 Rekening Listrik

Sumber: (a) trajumaselectric.blogspot.com, (b) freedigitalphotos.net

Perhitungan biaya listrik dilakukan dengan mengalikan energi listrik yang terpakai dengan tarif dasar listrik per kWh. Misalnya sebuah lampu dengan daya 10 watt dinyalakan dalam waktu 8 jam/hari selama 30 hari. Karena lampu 10 watt artinya dalam 1 detik menggunakan energi listrik sebesar 10 joule, maka energi total yang digunakan lampu selama 30 hari adalah $W = P \times t = 10 \times 8 \times 30 = 2400 \text{ Wh} = 2,4 \text{ kWh}$. Jika tarif dasar listriknya Rp. 385, maka biaya yang harus dibayarkan adalah sebesar Rp. 924.

Mari Kita selesaikan

Buatlah perhitungan biaya pemakaian listrik di rumah Anda masing-masing. Gunakan rekening pemakaian listrik untuk 1 bulan. Kemukakan pendapat Anda dalam bentuk narasi. Lalu, coba Anda pikirkan cara untuk mencocokkan perhitungan biaya pemakaian listrik yang menggunakan sistem pulsa (prabayar).

Mengapa kita perlu menghemat energi listrik? Bukankah energi listrik tidak pernah habis meskipun telah digunakan dari kita kecil hingga sekarang? Sebelum memahami lebih lanjut tentang upaya penghematan energi listrik, lakukan kegiatan diskusi berikut ini.

Mari Kita Diskusikan

Berdasarkan hasil perhitungan biaya listrik setiap bulan di atas, coba Anda menghitung berapa besar energi dan biaya listrik yang harus Anda bayarkan setiap bulannya? Dengan menggunakan energi listrik di rumah Anda sebagai acuan (jika ada), coba hitung besar energi dan biaya listrik seluruh penduduk Indonesia yang berjumlah sekitar 264 juta penduduk. Asumsikan 264 juta penduduk tersebut terbagi ke dalam 66 juta rumah tangga dan asumsikan juga bahwa 55% penduduk Indonesia telah menggunakan energi listrik di rumahnya masing-masing.

Setelah menghitung besar energi listrik yang digunakan oleh seluruh penduduk Indonesia, sekarang coba hitung berapa besar emisi karbon yang dihasilkan jika 60% penggunaan energi listrik berasal dari energi fosil. Perlu diketahui bahwa setiap 1000 mega watt daya listrik yang diproduksi dari batu bara akan menghasilkan 5,6 juta ton emisi karbon tiap tahun.

Apa yang dapat Anda simpulkan dari diskusi tersebut?

Ternyata tidak hanya menghemat biaya listrik yang terus-menerus naik, upaya penghematan energi listrik juga dilakukan karena besarnya emisi karbon yang dihasilkan. Besarnya emisi karbon yang dihasilkan oleh pembangkit listrik yang menggunakan batu bara adalah penyumbang terbesar terjadinya *global warming*.

Salah satu upaya untuk menghemat energi listrik adalah dengan menggunakan energi listrik seperlunya atau mengganti peralatan listrik dengan daya yang lebih kecil. Coba perhatikan penggunaan lampu sorot yang dipasang pada kendaraan terbaru, bandingkan dengan kendaraan lama, adakah

perbedaannya? Lampu sorot pada mobil-mobil baru dan lampu penerangan di rumah cenderung memanfaatkan lampu LED (*Light Emitting Diode*) daripada lampu bohlam seperti pada kendaraan lama. Penggunaan LED dengan daya yang lebih kecil tersebut diharapkan dapat menghemat kebutuhan energi listrik. Selain penggunaan LED, apa saja upaya yang dilakukan manusia untuk menghemat energi listrik? Coba identifikasi upaya-upaya tersebut bersama-sama.

Pencegahan Bahaya Penggunaan Listrik dalam Kehidupan

Pernahkah Anda tersengat listrik (terkena setrum listrik)? Pada saat tersengat listrik, mungkin hanya sensasi kejut yang Anda rasakan. Namun peristiwa terparah pada tahun 1997, sebanyak 490 orang meninggal akibat tersengat listrik. Sejak saat itu berbagai tindak pencegahan dilakukan untuk menghindari jatuhnya korban jiwa akibat kelalaian manusia dalam menggunakan listrik. Berikut disajikan beberapa prosedur “Aman Menggunakan Listrik”.

Prosedur “Aman Menggunakan Listrik”.

1. Mencabut kabel dari stop kontak bila tidak menggunakan peralatan listrik.
2. Menghindari air dan kondisi tangan yang basah saat ingin menyambung atau melepas sambungan kabel dengan stop kontak.
3. Tidak memegang lubang stop kontak atau sambungan kabel yang terbuka.
4. Selalu memperhatikan peringatan penggunaan listrik yang ada pada peralatan listrik.
5. Memasang sekering untuk menghindari kebakaran dengan cara memutus arus pendek yang terjadi di rumah secara otomatis.

Mari Kita Cari Tahu

Anda akan merasakan sengatan listrik saat arus listrik masuk ke tubuh Anda. Darah dan cairan tubuh lainnya merupakan konduktor listrik yang baik, tetapi kulit dalam keadaan kering merupakan isolator bagi arus listrik. Kondisi kulit yang kering tersebut seperti plastik yang membungkus kabel listrik, sehingga kulit melindungi tubuh dari arus listrik yang akan masuk ke dalam tubuh. Efek kejutan listrik yang dirasakan tubuh tergantung

pada banyaknya arus yang masuk, perhatikan Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Besar Arus dengan Efek Kejutan Listrik pada Tubuh Manusia

Kuat Arus Listrik (A)	Efek Kejutan yang Dirasakan Tubuh
0,0005	Geli
0,001	Terasa nyeri
0,01	Kesulitan bergerak
0,025	
0,05	Kesulitan bernapas
0,10	
0,25	
0,50	Serangan jantung
1,00	

Tugas Terstruktur/Latihan

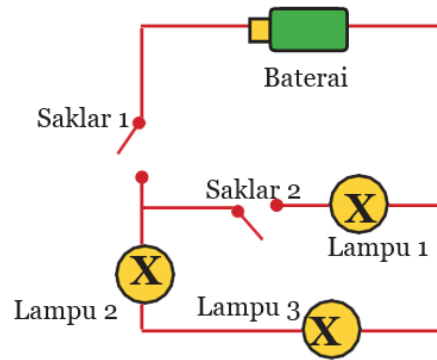
Untuk memahami lebih jauh tentang Listrik Statis dan Dinamis, kerjakanlah tugas berikut.

1. Perhatikan ilustrasi sebuah elektroskop netral berikut.



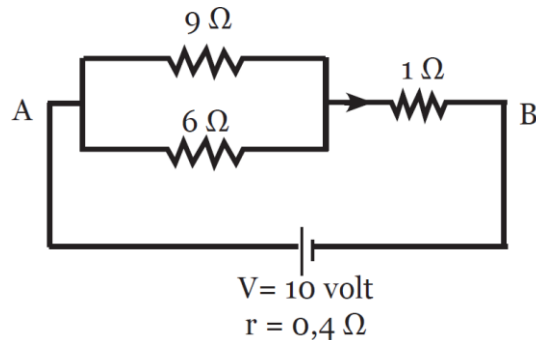
Apabila elektroskop tersebut didekati oleh benda bermuatan negatif, apa yang akan terjadi?

2. Diberikan sebuah rangkaian listrik arus searah terdiri dari tiga buah lampu, dua buah sakelar, dan sebuah sumber arus listrik.



Manakah lampu-lampu yang menyala jika:

1. sakelar 1 tertutup, sakelar 2 terbuka
 2. sakelar 2 tertutup, sakelar 1 terbuka
 3. sakelar 1 tertutup, sakelar 2 tertutup
 4. sakelar 1 terbuka, sakelar 2 terbuka
3. Rangkaian listrik yang dipasang di rumah-rumah menggunakan rangkaian paralel dan bukan rangkaian seri. Apa keuntungan menggunakan rangkaian paralel tersebut?
 4. Mengapa petir lebih mudah menyambar pohon kelapa dibanding pohon mangga?
 5. Perhatikan gambar di bawah ini!



Hitunglah!

- a. Hambatan pengganti
- b. Arus listrik total yang mengalir pada rangkaian
- c. Arus listrik yang mengalir pada hambatan 9Ω
- d. Arus listrik yang mengalir pada hambatan 6Ω
- e. Arus listrik yang mengalir pada hambatan 1Ω
- f. Tegangan listrik pada hambatan 9Ω
- g. Tegangan listrik pada hambatan 6Ω

h. Tegangan listrik pada hambatan 1Ω

Rubrik penilaian

Supaya tugas yang Anda kerjakan menjadi terarah dan Anda dapat menyelesaikan tugas tersebut dengan baik, maka gunakanlah rubrik penilaian berikut untuk mengukur keberhasilan Anda dalam memahami materi.

Tugas No.	Aspek penilaian	Bobot
1.	Menganalisis muatan listrik statis pada elektroskop	15%
2	Memprediksi lampu yang akan menyala dalam rangkaian listrik	15%
3	Mendeskripsikan keuntungan rangkaian listrik paralel	15%
4	Memahami potensial listrik pada petir	15%
5	Menganalisis hambatan pengganti, arus listrik, dan potensial listrik pada rangkaian listrik campuran	40%
Total		100%