FISIKA

Kelas XII SMA/Sederajat

MATERI

Listrik Arus Searah



POGIL

Nama : .....

Kelas : .....

Irfan Yusuf, M.Pd.
Prof. Dr. Punaji Setyosari, M.Ed.,M.Pd.
Prof. Dr. Dedi Kuswandi, M.Pd.
Saida Ulfa, M.Edu.,Ph.D.

LIVEWORKSHEETS

HUKUM OHM DAN HAMBATAN JENIS

A. Identifikasi Kebutuhan Pembelajaran

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari materi hukum Ohm dan hambatan jenis, pebelajar diharapkan dapat dengan tepat:

- Menganalisis hubungan antara tegangan, kuat arus, dan hambatan.
- Menganalisis hubungan antara hambatan jenis dengan resistansi kawat penghantar.

Pengantar



Gambar 1. Berbagai Jenis Peralatan dengan Fungsinya Masing-masing

Sering kita menemukan bahwa tidak semua alat bekerja dengan cara yang sama. Setrika terasa jauh lebih panas dibandingkan lampu yang menyala, karena perbedaan fungsi. Beberapa perangkat memerlukan daya listrik yang lebih besar untuk berfungsi optimal, sedangkan lainnya cukup dengan daya yang kecil. Pada kondisi tertentu, seperti saat kabel terlalu panjang atau terlalu tipis, arus listrik yang dihantarkan tidak seefisien biasanya. Akibatnya, lampu bisa tampak lebih redup atau perangkat tidak bekerja maksimal. Pemilihan bahan penghantar juga sangat penting. Kabel umumnya dibuat dari tembaga karena mampu menghantarkan arus listrik dengan baik, sementara bagian luarnya dilapisi bahan isolator seperti plastik atau karet agar aman digunakan.

Beberapa bahan seperti logam menghantarkan listrik dengan mudah, sedangkan bahan seperti kayu kering atau karet justru menghambat aliran listrik. Perbedaan sifat ini bukan hanya soal keamanan, tetapi juga memengaruhi efisiensi rangkaian secara keseluruhan. Fenomena-fenomena tersebut menunjukkan bahwa aliran listrik dalam suatu rangkaian dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti jenis bahan, panjang dan luas penampang penghantar, serta hambatan dalam rangkaian. Memahami hubungan antar faktor ini penting agar kita dapat menggunakan listrik secara aman dan efisien.

LIVEWORKSHEETS

Prediksi Awal



Sebelum mempelajari bagaimana listrik mengalir dalam rangkaian, kita dapat mulai dengan beberapa pertanyaan sederhana. Mengapa kabel saat dipegang tidak membuat kita tersengat arus listrik? Mengapa serat kabel terbuat dari tembaga, sedangkan luarnya dilapisi plastik? Apa yang memengaruhi kemampuan bahan dalam menghantarkan listrik? Bagaimana hambatan memengaruhi arus dalam suatu rangkaian? Apa yang menentukan besar kecilnya arus listrik? Bagaimana kita dapat mengontrol arus agar alat bekerja lebih efisien? Pertanyaan-pertanyaan ini akan membantu kita memahami hukum yang mengatur hubungan antara tegangan, arus, dan hambatan dalam rangkaian listrik. Bagaimana tanggapan Anda terkait pertanyaan tersebut?

Tulis jawabanmu pada kolom berikut:

LIVEWORKSHEETS

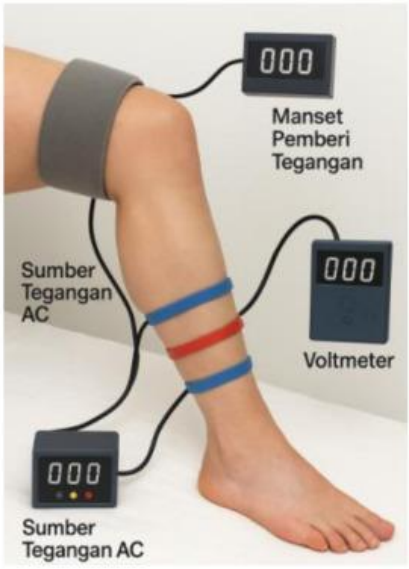
B. Menghubungkan Pengetahuan Sebelumnya

Kita sudah mengetahui bahwa energi dapat berpindah dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Bagaimana energi ini berpindah dari sumber listrik, seperti baterai atau stopkontak, ke perangkat yang kita gunakan? Apa yang menyebabkan perangkat listrik seperti kipas angin atau setrika bisa berfungsi dengan baik atau justru menjadi kurang optimal saat digunakan? Pada pelajaran sebelumnya, kita juga telah belajar tentang konsep gaya dan gerak. Jika arus listrik adalah aliran muatan, adakah sesuatu yang mendorong muatan listrik untuk bergerak dalam suatu rangkaian? Apakah ada hambatan yang memperlambat aliran listrik, seperti gesekan yang memperlambat gerak benda? Jelaskan bagaimana kaitannya dengan tegangan, arus, dan hambatan listrik bekerja dalam suatu sistem?

Tulis jawabanmu pada kolom berikut:

LIVEWORKSHEETS

C. Eksplorasi Materi



Gambar 2. Pletismografi untuk Mendeteksi Pembekuan Darah

Sumber: Sarah & Suwarma (2022).

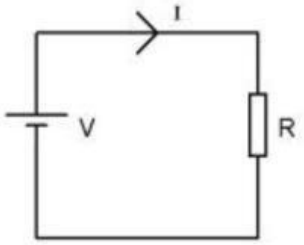
Aplikasi dari konsep fisika tentang hambatan dapat dilihat dari prinsip kerja pletismografi. Pada pasien dengan keluhan nyeri, bengkak, atau kemerahan di betis, dokter mencurigai adanya trombosis vena dalam yaitu kondisi di mana terjadi pembekuan darah di dalam pembuluh vena, umumnya di kaki. Jika tidak segera ditangani, bekuan darah ini bisa pecah dan menyumbat pembuluh darah di paru-paru (emboli paru), bisa mengancam nyawa. Namun, pembekuan darah tidak bisa langsung dilihat dari luar tubuh. Maka, diperlukan metode non-invasif untuk mendeteksi perubahan aliran darah dan volume pembuluh darah, salah satunya adalah dengan tes pletismografi (*plethysmography*) sebagaiman ilustrasi pada gambar 6.

Kemampuan alat medis seperti pletismografi dalam mengubah fenomena biologis menjadi data listrik tidak terlepas dari perkembangan ilmu fisika. Prinsip kerja alat ini memanfaatkan konsep resistansi, luas penampang, hambatan jenis bahan, dan hukum Ohm. Pemahaman mengenai kenapa aliran listrik berbeda pada berbagai bahan dan ukuran kawat menjadi dasar terciptanya alat-alat diagnostik modern. Pertanyaan-pertanyaan seperti mengapa panjang dan jenis kawat memengaruhi aliran listrik, atau mengapa beberapa bahan lebih baik dalam menghantarkan listrik, telah lama menjadi topik eksplorasi para ilmuwan. Salah satunya adalah Georg Simon Ohm, melalui eksperimen sederhana dan ketekunan luar biasa selama sembilan tahun, berhasil merumuskan hubungan antara tegangan, arus, dan hambatan, yang kini dikenal sebagai Hukum Ohm. Eksperimen yang

LIVEWORKSHEETS

dilakukannya berlandaskan pada keingintahuan terhadap bagaimana arus mengalir dalam berbagai jenis kawat, dan hasilnya menjadi fondasi penting bagi teknologi kelistrikan hingga kini, termasuk dalam bidang kesehatan.

Tahun 1826, Georg Simon Ohm berhasil menemukan hubungan yang konsisten antara arus listrik, tegangan, dan hambatan dalam suatu rangkaian. Temuannya ini menunjukkan bahwa besar arus listrik yang mengalir sebanding dengan besar tegangan, dan berbanding terbalik dengan hambatan. Penelitiannya tidak hanya menjawab rasa ingin tahu ilmiah, tetapi juga menjadi dasar penting dalam perancangan sistem kelistrikan modern. Melalui pemahaman ini, insinyur dapat menentukan bahan dan ukuran kawat yang sesuai untuk berbagai keperluan, mulai dari instalasi rumah hingga perangkat elektronik berteknologi tinggi.



Gambar 3. Hubungan antara resistansi, arus dan tegangan

Georg Simon Ohm berkesimpulan, di dalam logam diketahui bahwa arus pada logam sebanding dengan beda potensial yang diberikan pada ujung-ujungnya.

$$I \propto V$$

membaliknya tanda voltase tidak mempengaruhi arus. Maka disimpulkan voltase tidak hanya bergantung pada besarnya magnitude arus pada kawat melainkan resistensi terhadap aliran elektron.

Resistansi listrik merupakan faktor proporsional dari voltase. Berdasarkan hal tersebut maka dapat dirumuskan hubungan tegangan, arus, dan hambatan listrik:

$$V = IR$$

Dalam SI yang mengikuti persamaan di atas, resistensinya adalah volt per ampere. Kombinasi ini sering terjadi sehingga kita memberinya nama khusus, ohm (simbol) itu adalah:

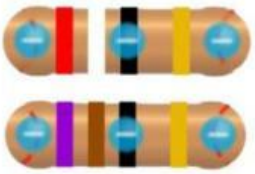
1 ohm =1 Ω = 1 volt per ampere

$$1\ \text{ohm} = 1\frac{V}{A}$$

Persamaaan $V = IR$ inilah yang disebut hukum ohm, satuannya adalah ohm, 1 ohm setara dengan V/I.

LIVEWORKSHEETS

Ketika arus listrik dalam suatu material sebanding dengan tegangan yang melewatinya, material tersebut dikatakan "ohmik", atau mematuhi hukum Ohm. Pandangan mikroskopis menunjukkan bahwa proporsionalitas ini berasal dari fakta bahwa medan listrik yang diterapkan superimposis kecepatan melayang kecil pada elektron bebas dalam logam. Untuk arus biasa, kecepatan drift ini berada di urutan milimeter per detik berbeda dengan kecepatan elektron itu sendiri yang berada di urutan satu juta meter per detik. Bahkan kecepatan elektron itu sendiri kecil dibandingkan dengan kecepatan transmisi sinyal listrik ke kabel, yang berada di urutan kecepatan cahaya, 300 juta meter per detik.



Gambar 4. Resistor

Sumber: PhET Colorado

Resistor sering digunakan untuk mengatur besarnya arus, resistor banyak digunakan pada alat-alat listrik. Resistor sendiri mempunyai nilai mulai dari 1 Ω sampai jutaan Ω.

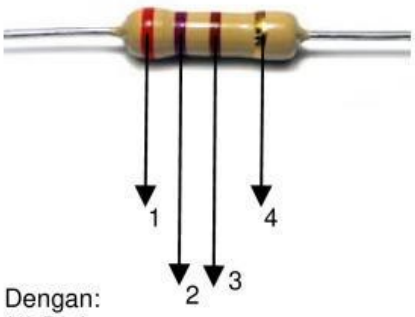
Resistor terbuat dari lapisan tipis logam dan karbon. Simbol dari resistor dan resistensi adalah:



Hambatan jenis dalam suatu kawat menyatakan bahwa resistensi R berbanding lurus dengan l panjang dan berbanding terbalik dengan A luas penampang, sehingga:

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

Nilai ρ merupakan konstanta pembanding yang disebut dengan resistivitas, yaitu sebuah rasio dari besarnya kerapatan arus dan medan listrik.



Dengan:
(1) Digit pertama
(2) Digit kedua
(3) Pengali
(4) Toleransi

Gambar 5. Warna Cincin Resistor

LIVEWORKSHEETS

$$\rho = \frac{E}{j}$$

Tabel 1. Kode Warna Resistor

Kode Warna Resistor			
Warna	Bilangan	Pengali	Toleransi
Hitam	0	1	
Coklat	1	10^1	1%
Merah	2	10^2	
Jingga	3	10^3	
Kuning	4	10^4	
Hijau	5	10^5	
Biru	6	10^6	
Ungu	7	10^7	
Abu-Abu	8	10^8	
Putih	9	10^9	
Emas		10^{-1}	5%
Perak		10^{-2}	10%
Tak Berwarna			20%

Jika kita menggabungkan unit SI dari E dan J sesuai dengan Persamaan di atas diperoleh:

$$\frac{\text{satuan E}}{\text{satuan j}} = \frac{\text{V/m}}{\text{A/m}^2} = \frac{\text{V}}{\text{A}}\text{m} = \Omega\text{m}$$

Semakin besar resistivitasnya maka akan semakin besar pula medan listrik yang diperlukan untuk menyebabkan sebuah kerapatan arus yang diberikan, atau akan semakin kecil kerapatan arus yang disebabkan oleh sebuah medan listrik. ρ adalah resistivitas (*resistivity*) dan E merupakan rasio pembanding antara medan listrik dan kerapatan arus. Semakin besar resistivitasnya maka semakin besar pula medan listrik dan nilai kerapatan listrik semakin kecil.

Tabel 2. Nilai Resistivitas pada Temperatur 20°C

Material	Resistivitas (ρ)		Suhu koefisien (α/°C)	Konduktifitas (σ) x 10^7 /Ωm	Ref
Silver	1.59	$x10^{-8}$	.0038	6.29	3
Copper	1.68	$x10^{-8}$	.00386	5.95	3
Copper, annealed	1.72	$x10^{-8}$	.00393	5.81	2
Aluminum	2.65	$x10^{-8}$	.00429	3.77	1
Tungsten	5.6	$x10^{-8}$	.0045	1.79	1
Iron	9.71	$x10^{-8}$	.00651	1.03	1
Platinum	10.6	$x10^{-8}$	.003927	0.943	1
Manganin	48.2	$x10^{-8}$	.000002	0.207	1

LIVEWORKSHEETS

Material	Resistivitas (ρ)		Suhu koefisien (α/°C)	Konduktifitas (σ) x 10^7 /Ωm	Ref
Lead	*22*	*x10^{-8}*		*0.45*	*1*
Mercury	*98*	*x10^{-8}*	*.0009*	*0.10*	*1*
Nichrome (Ni,Fe,Cr alloy)	*100*	*x10^{-8}*	*.0004*	*0.10*	*1*
Constantan	*49*	*x10^{-8}*		*0.20*	*1*
Carbon(graphite)*	*3-60*	*x10^{-5}*	*-.0005*		*1*
*Germanium**	*1-500*	*x10^{-3}*	*-.05*		*1*
*Silicon**	*0.1-60*	*...*	*-.07*		*1*
Glass	*1-10000*	*x10^{9}*			*1*
Quartz (fused)	*7.5*	*x10^{17}*			*1*
Hard rubber	*1-100*	*x10^{13}*			*1*

Kita sering berbicara tentang konduktivitas bahan. Ini hanya kebalikannya resistivitasnya, yaitu:

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

D. Contoh Soal

Menganalisis 1

Yonas melakukan percobaan virtual untuk mengamati pengaruh hambatan jenis terhadap besar arus listrik. Yonas menggunakan dua kawat penghantar yang memiliki panjang dan luas penampang yang sama, namun terbuat dari bahan berbeda, yaitu aluminium dan nikrom. Keduanya dihubungkan dengan sumber tegangan 9 volt. Hambatan jenis aluminium adalah $2{,}82\times10^{-8}$ Ω·m, sedangkan hambatan jenis nikrom adalah $1{,}10\times10^{-6}$ Ω·m.

Pertanyaan:

Analisis perbandingan besar arus listrik pada kawat aluminium dan kawat nikrom!

Jawaban:

✅ Menuliskan yang diketahui:

- Tegangan (V) = 9 V
- Hambatan jenis aluminium ($\rho_{aluminium} = 2{,}82 \times 10^{-8}$ Ω·m)
- Hambatan jenis nikrom ($\rho_{nikrom} = 1{,}10 \times 10^{-6}$ Ω·m)
- Panjang kawat (L) dan luas penampang (A) sama untuk kedua kawat.

LIVEWORKSHEETS

- Menuliskan yang ditanyakan:
  Perbandingan besar arus listrik pada kedua kawat dan penjelasan perbedaannya.

- Mencari jawaban:
  Gunakan rumus hambatan:

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

  Karena L dan A sama, maka:

$$R \propto \rho$$

  Besar arus listrik:

$$I = \frac{V}{R}$$

  Sehingga perbandingan arus:

$$I_{\text{aluminium}} : I_{\text{nikrom}} = \frac{V}{\rho_{\text{aluminium}}} : \frac{V}{\rho_{\text{nikrom}}}$$

$$\frac{9}{2{,}82\times10^{-8}} : \frac{9}{1{,}10\times10^{-6}}$$

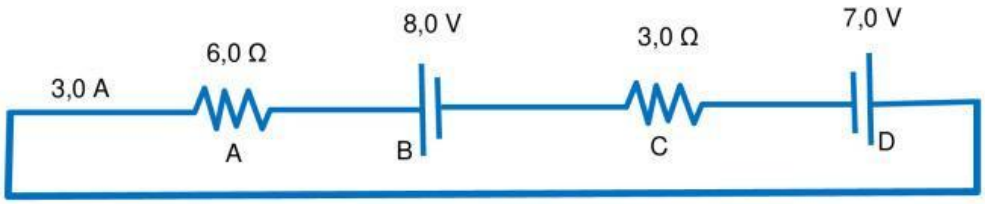
$$3{,}19 \times 10^{8} : 8{,}18 \times 10^{6}$$

$$\approx 39 : 1$$

- Menuliskan kesimpulan akhir:
  Hambatan jenis aluminium jauh lebih kecil dibandingkan nikrom. Hal ini menyebabkan arus listrik yang mengalir pada kawat aluminium menjadi jauh lebih besar. Bahan dengan hambatan jenis lebih kecil memungkinkan aliran elektron bergerak lebih mudah, sehingga menghasilkan arus listrik yang lebih besar, meskipun panjang dan luas penampang kawat sama.

Menganalisis 2

Karlos sedang mempelajari konsep arus dan beda potensial (tegangan) dalam rangkaian listrik. Dia diberikan rangkaian yang terdiri atas dua resistor dan dua sumber tegangan. Arus yang mengalir melalui rangkaian diketahui sebesar 3,0 A seperti pada gambar.



LIVEWORKSHEETS

Pertanyaan:
Apakah mungkin arus yang masuk ke resistor lebih besar daripada yang keluar? Bagaimana cara mengetahui titik mana yang memiliki potensial lebih tinggi dalam sebuah rangkaian?.

Jawaban:

- Menuliskan yang diketahui:
  Arus total: $I=3$ A, $R_A=6\ \Omega$, $R_C=3\ \Omega$, $V_B=8$ V, dan $V_D=7$ V
  Rangkaian disusun secara sejajar berurutan.

- Menuliskan yang ditanyakan:
  Arus yang masuk dan keluar resistor. Titik yang memiliki potensial tinggi.

- Mencari jawaban:

$$I_A = I_B = 3 \text{ A}$$

Arus yang mengalir di titik A dan B adalah sama besar, karena berdasarkan hukum kekekalan muatan, jumlah muatan yang masuk ke resistor sama dengan jumlah muatan yang keluar.

Tegangan jatuh di resistor 6 Ω:

$$V = I \times R = 3\ \text{A} \times 6\ \Omega = 18\ \text{V}$$

Karena arus mengalir dari A ke B melalui resistor, dan terjadi penurunan tegangan, maka:

$$V_A > V_B$$

Titik A memiliki potensial lebih besar daripada titik B.

- Menuliskan kesimpulan akhir:
  Arus di titik A dan B sama besar, hal ini dikarenakan beberapa muatan yang mengalir kedalam suatu resistor di titik A, jumlah muatan yang akan keluar dari titik B adalah sama (kekekalan muatan). Titik A memiliki potensial yang lebih besar, karena muatan positif mengalir dari + ke -, dari potensial tinggi ke rendah.

LIVEWORKSHEETS

Metakognitif

1. Melkianus sedang melakukan percobaan sederhana di laboratorium menggunakan sebuah rangkaian listrik dengan kawat penghantar dan sumber tegangan yang dapat diubah. Dia menaikkan tegangan sumber untuk meningkatkan arus listrik dalam rangkaian. Namun, hasil pengukuran menunjukkan bahwa arus hanya bertambah sedikit. Setelah diamati lebih lanjut, suhu kawat meningkat dan hambatan kawat ikut naik. Apa penyebab utama arus listrik tidak meningkat sesuai harapan meskipun tegangan dinaikkan? Jelaskan berdasarkan Hukum Ohm. Selain itu, usulkan satu solusi yang logis dan aman agar arus listrik bisa meningkat tanpa menyebabkan masalah pada rangkaian!.

   Jawaban:

   Penyebab utama arus listrik tidak meningkat secara signifikan meskipun tegangan dinaikkan adalah karena hambatan dalam rangkaian juga ikut meningkat akibat kawat penghantar menjadi panas. Berdasarkan Hukum Ohm:

   $$I = \frac{V}{R}$$

   I adalah kuat arus (ampere), V adalah tegangan (volt), dan R adalah hambatan (ohm). Kuat arus listrik bergantung pada perbandingan antara tegangan dan hambatan. Hambatan yang meningkat karena panas disebut hambatan termal, dan ini umum terjadi pada konduktor logam.

   Solusi yang dapat dilakukan agar arus tetap bisa meningkat adalah menggunakan kawat penghantar dengan hambatan jenis lebih kecil, seperti kawat tembaga yang lebih tebal atau material konduktor dengan daya hantar listrik lebih baik. Oleh karena itu, meskipun terjadi pemanasan, perubahan hambatan tetap kecil sehingga arus dapat meningkat sesuai harapan saat tegangan dinaikkan, tanpa membahayakan rangkaian.

2. Alfons sedang mendesain sebuah rangkaian listrik untuk sebuah proyek fisika di rumahnya. Dia ingin menggunakan kawat penghantar untuk menghubungkan beberapa komponen dalam rangkaian listrik. Bagaimana perubahan

LIVEWORKSHEETS

panjang dan luas penampang kawat penghantar yang digunakan tersebut dapat memengaruhi resistansi? Analisis menggunakan persamaan resistansi dan berikan contoh situasi nyata!

Jawaban:

Resistansi suatu kawat penghantar diberikan oleh persamaan:

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

Keterangan:
R = resistansi (ohm)
ρ = hambatan jenis bahan (ohm meter)
L = panjang kawat (meter)
A = luas penampang kawat (meter persegi)
Pengaruh perubahan panjang dan luas penampang kawat:
Jika panjang kawat bertambah, resistansi meningkat karena elektron harus menempuh jarak lebih jauh. Jika luas penampang bertambah, resistansi menurun karena lebih banyak jalur bagi elektron untuk mengalir.
Contoh nyata:
Pada kabel listrik, kawat dengan penampang lebih besar digunakan untuk mengurangi resistansi dan mencegah panas berlebih. Pada alat pemanas, kawat panjang dan tipis digunakan agar resistansi lebih tinggi, sehingga menghasilkan panas lebih banyak.

3. Ronald sedang belajar tentang sistem transmisi listrik yang mengalirkan energi listrik dari pembangkit ke rumah-rumah. Pada percobaannya, Ronald menemukan bahwa beberapa kabel yang digunakan untuk transmisi listrik terbuat dari tembaga, yang memiliki hambatan jenis kecil. Mengapa bahan dengan hambatan jenis kecil lebih banyak digunakan dalam sistem transmisi listrik? Analisis berbagai keuntungan dan tantangan dalam pemilihannya!

Jawaban:

Bahan dengan hambatan jenis kecil, seperti tembaga dan aluminium, digunakan dalam sistem transmisi listrik karena resistansinya rendah, sehingga mengurangi rugi daya akibat pemanasan pada kabel. Keuntungan menggunakan bahan dengan hambatan jenis kecil:

LIVEWORKSHEETS

- Efisiensi lebih tinggi: Mengurangi kehilangan daya listrik selama transmisi.
- Mengurangi panas berlebih: Mencegah pemanasan yang dapat merusak isolasi kabel.
- Menghemat biaya operasi: Daya yang hilang lebih sedikit, sehingga lebih ekonomis.

Tantangan dalam pemilihannya:

- Harga bahan: Tembaga lebih mahal dibandingkan aluminium, meskipun lebih efisien.
- Berat dan fleksibilitas: Aluminium lebih ringan tetapi kurang konduktif dibandingkan tembaga.
- Korosi dan ketahanan: Aluminium lebih rentan terhadap oksidasi dibandingkan tembaga.

Oleh karena itu, dalam aplikasi tertentu, aluminium digunakan untuk saluran transmisi jarak jauh karena lebih ringan dan murah, sementara tembaga digunakan dalam instalasi rumah dan industri karena konduktivitasnya lebih baik.

Tulis tanggapanmu terhadap eksplorasi materi di atas pada kolom berikut:

LIVEWORKSHEETS