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

TEORI ARUS LOOP DAN SUPERPOSISI

A. Identifikasi Kebutuhan Pembelajaran

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari materi teori arus loop dan superposisi, pebelajar diharapkan dapat dengan tepat:

- Menganalisis arus pada suatu rangkaian dengan teori arus loop.
- Menganalisis arus pada suatu rangkaian dengan teori superposisi.
- Membandingkan perhitungan arus pada suatu rangkaian dengan teori arus loop dan superposisi.

Pengantar



Gambar 1. Ilustrasi Sistem Kelistrikan yang Kompleks

Pada sistem kelistrikan yang kompleks, arus listrik tidak selalu mengalir melalui satu jalur sederhana, melainkan bercabang dan membentuk beberapa loop atau lintasan tertutup. Contohnya, dalam sebuah perangkat elektronik, arus dapat mengalir melalui berbagai jalur yang saling berhubungan, bergantung pada bagaimana komponen-komponen seperti resistor, kapasitor, dan sumber tegangan dihubungkan.

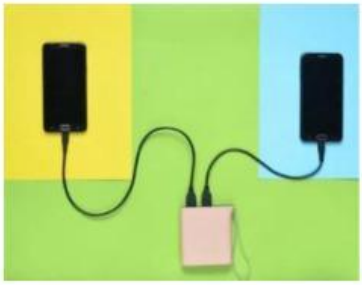
Ketika berhadapan dengan rangkaian listrik yang memiliki banyak loop, metode sederhana seperti hukum Ohm saja tidak cukup untuk menentukan nilai arus di setiap bagian rangkaian. Diperlukan cara yang lebih sistematis untuk menganalisis bagaimana arus listrik mengalir melalui setiap jalur yang ada. Salah satu pendekatan yang digunakan adalah Teori Arus Loop, yang memungkinkan kita menentukan arus dalam rangkaian dengan lebih efisien menggunakan persamaan yang sesuai dengan hukum Kirchhoff.

Selain itu, dalam sistem kelistrikan yang melibatkan lebih dari satu sumber tegangan atau sumber arus, arus total yang mengalir pada suatu titik dalam rangkaian dapat dianggap sebagai hasil gabungan dari efek masing-masing sumber

LIVEWORKSHEETS

secara terpisah. Prinsip ini dikenal sebagai Teori Superposisi, yang membantu kita memahami bagaimana sebuah rangkaian dapat dianalisis dengan mempertimbangkan pengaruh dari setiap sumber tegangan atau arus satu per satu. Dengan kedua teori ini, kita dapat lebih mudah menganalisis rangkaian listrik yang kompleks dan memahami bagaimana arus listrik mengalir dalam berbagai kondisi.

💡 Prediksi Awal



Sebelum mempelajari Teori Arus Loop dan Superposisi, coba bayangkan sebuah power bank yang digunakan untuk mengisi dua perangkat sekaligus. Di dalamnya terdapat lebih dari satu jalur arus, bahkan bisa saja memiliki lebih dari satu sumber tegangan. Bagaimana cara menentukan arah arus di setiap jalur? Apakah arus mengalir seperti pada rangkaian sederhana dengan satu sumber? Jika ada dua sumber dengan tegangan berbeda, bagaimana masing-masing memengaruhi arus total? Apakah Hukum Ohm dan Hukum Kirchhoff masih bisa digunakan untuk memahami rangkaian dalam power bank? Prinsip superposisi membantu kita memahami bagaimana power bank mengatur aliran listrik ke berbagai perangkat secara bersamaan. Bagaimana tanggapan Anda?

Tulis jawabanmu pada kolom berikut:

LIVEWORKSHEETS

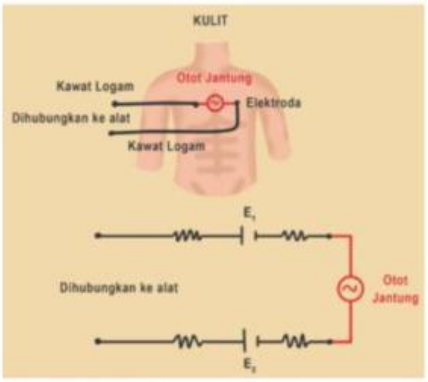
B. Menghubungkan Pengetahuan Sebelumnya

Kalian sudah memahami Hukum Ohm yang menjelaskan hubungan antara tegangan, arus, dan hambatan dalam suatu rangkaian. Bagaimana hukum ini dapat diterapkan jika suatu rangkaian memiliki lebih dari satu sumber tegangan? Kalian juga telah mempelajari Hukum Kirchhoff. Menurut kalian, bagaimana hukum tersebut dapat membantu dalam menganalisis rangkaian yang lebih kompleks dengan beberapa loop? Selain itu, dalam topik rangkaian listrik searah (DC), kalian telah melihat bagaimana arus mengalir dalam suatu jalur tertutup. Bagaimana jika rangkaian tersebut memiliki lebih dari satu jalur? Apakah arus akan tetap mengikuti pola yang sama seperti dalam rangkaian sederhana? Mengapa kita perlu metode khusus seperti metode Arus Loop dan Superposisi untuk menganalisis rangkaian kompleks?

Tulis jawabanmu pada kolom berikut:

LIVEWORKSHEETS

C. Eksplorasi Materi



Gambar 2. Sistem Kelistrikan pada Elektrokardiogram (EKG)

Sumber: Sarah & Suwarma (2022).

Sistem kelistrikan pada jantung memainkan peran yang sangat penting dalam pengaturan ritme detak jantung dan pengaliran darah ke seluruh tubuh. Aktivitas listrik ini dapat dipantau dengan menggunakan alat elektrokardiogram (EKG) sebagaimana gambar 27, yang merekam perubahan potensial listrik yang terjadi di permukaan tubuh akibat aktivitas listrik jantung. Proses ini melibatkan urutan depolarisasi dan repolarisasi yang terjadi pada sel-sel miokardium (otot jantung) yang mengatur kontraksi dan relaksasi jantung. Namun, untuk memahami secara lebih dalam bagaimana EKG bekerja dan bagaimana sinyal listrik terbentuk, kita perlu mengaitkannya dengan konsep fisika, seperti teori loop dan superposisi, yang membantu menjelaskan bagaimana aliran arus listrik dalam tubuh tercatat dan dipengaruhi oleh berbagai faktor.

Teori Arus Loop

Pada konteks EKG, hukum ini membantu kita memahami bagaimana sinyal listrik yang berasal dari jantung mengalir melalui tubuh dan dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti posisi dan orientasi elektroda. Ketika aktivitas listrik jantung terjadi, arus listrik akan menyebar melalui tubuh dan terekam oleh elektroda yang ditempatkan pada permukaan kulit, dengan prinsip konservasi arus yang memastikan bahwa arus yang diterima oleh elektroda harus memperhitungkan semua arus yang mengalir di tubuh. Masalah dalam menghitung arus pada rangkaian adalah bagaimana menentukan arus yang mengalir dalam suatu loop atau rangkaian tertutup. Arus loop adalah arus yang mengalir sepanjang jalur tertutup. Arah arus dapat diasumsikan sembarang, asalkan mengikuti arah dalam loop tertutup. Penulisan persamaan arus loop harus sesuai dengan

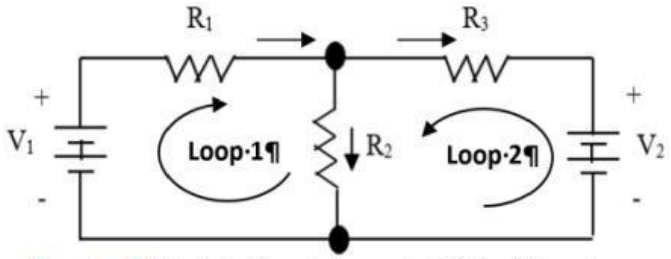
LIVEWORKSHEETS

ketentuan Hukum Kirchhoff 2 (KVL) untuk tegangan dan Hukum Kirchhoff 1 (KCL) untuk arus.

Setiap loop dalam rangkaian dianggap memiliki satu arus yang mengalir di sepanjang jalurnya. Arus ini dapat diasumsikan mengalir searah atau berlawanan dengan arah jarum jam. Jika hasil perhitungan menunjukkan nilai negatif, hal ini menandakan bahwa arus mengalir berlawanan dengan arah yang telah diasumsikan. Pemilihan arah arus hanya langkah awal dalam analisis dan tidak mempengaruhi hasil akhir perhitungan.

Langkah pertama dalam menerapkan metode arus loop adalah mengidentifikasi loop-loop independen dalam rangkaian. Loop adalah jalur tertutup dalam rangkaian yang tidak dapat dibagi lagi menjadi loop yang lebih kecil. Setelah loop-loop ini ditentukan, langkah berikutnya adalah menetapkan arus loop untuk masing-masing loop dengan arah yang telah diasumsikan sebelumnya.

Setelah arah arus ditetapkan, hukum tegangan Kirchhoff diterapkan untuk setiap loop. Hukum ini menyatakan bahwa jumlah tegangan dalam suatu loop harus sama dengan nol. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat contoh pada Gambar 28.



Gambar 3. Contoh Rangkaian melalui Teori Arus Loop

Persamaan Hukum Kirchoff I berdasarkan Gambar 28 yaitu:

$I_1 = I_2 + I_3$ (1)

Pada loop 1:

$\Sigma V + \Sigma (I\ R) = 0$

$-V_1 + I_1R_1 + I_2R_2 = 0$ (2)

Pada loop 2:

$\Sigma V + \Sigma (I\ R) = 0$

$-V_2 - I_3R_3 + I_2R_2 = 0$ (3)

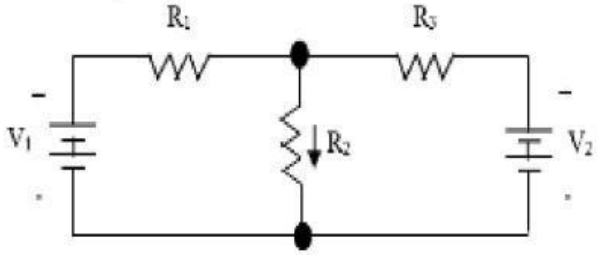
Persamaan (1), (2), dan (3) dapat digunakan untuk menghitung I_1, I_2, dan I_3.

LIVEWORKSHEETS

Teori Superposisi

Prinsip superposisi dapat digunakan untuk menganalisis kontribusi masing-masing bagian jantung dalam membentuk pola gelombang yang terekam pada EKG, yang penting dalam diagnosis gangguan jantung. Prinsip superposisi dalam fisika menjelaskan bahwa jika ada beberapa sumber arus atau gelombang, efek total dari gelombang-gelombang tersebut adalah jumlah dari efek masing-masing gelombang. Aktivitas listrik yang terjadi di berbagai bagian jantung (seperti atrium dan ventrikel) akan menghasilkan gelombang-gelombang listrik yang tumpang tindih satu sama lain, yang kemudian tercatat dalam EKG sebagai gelombang gabungan. Gelombang-gelombang ini saling berinteraksi, menciptakan pola yang lebih kompleks menggambarkan seluruh aktivitas listrik jantung.

Permasalahan sebelumnya yaitu dalam menganalisis arus pada rangkaian dengan beberapa sumber tegangan adalah bagaimana menghitung arus yang mengalir pada setiap komponen. Pada rangkaian listrik, arus yang mengalir pada setiap komponen disebabkan oleh adanya sumber tegangan atau arus. Jika rangkaian memiliki beberapa sumber, maka arus pada setiap komponen dapat dianggap sebagai jumlah aljabar dari arus-arus yang dihasilkan oleh masing-masing sumber tegangan. Teori superposisi menyatakan bahwa arus yang mengalir pada setiap komponen dalam rangkaian yang memiliki beberapa sumber adalah jumlah aljabar dari arus yang dihasilkan jika setiap sumber bekerja secara individu. Contoh rangkaian ini dapat dilihat pada gambar 29. Arus pada I_1, I_2, dan I_3 adalah jumlah arus yang berasal dari sumber V_1 dan V_2.



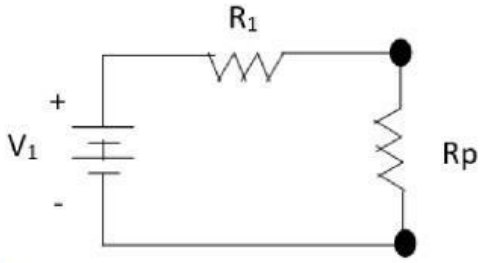
Gambar 4. Contoh Rangkaian melalui Teori Superposisi

Langkah penyelesaiannya adalah dengan menggatikan semua sumber tegangan dengan rangkaian hubung singkat dan hubungan terbuka untuk sumber arus, kecuali satu sumber yang dipilih sebagai sumber. Arus dihitung berdasarkan hukum

LIVEWORKSHEETS

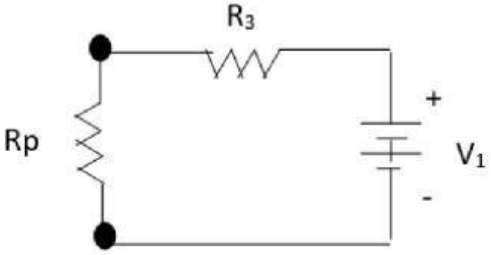
Kirchoff dan selanjutnya dengan cara yang sama dilakukan untuk sumber yang lain. Jumlah aljabar arus dari semua sumber merupakan arus yang sebenarnya.

Pertama yaitu berpatokan pada V_1 sedangkan V_2 di *short*. R_2 dan R_3 adalah rangkaian parallel (Rp), sehingga rangkaian penggatinya sebagaimana gambar 30.



Gambar 5. Contoh Rangkaian Superposisi dengan V_2 di *Short*

Kedua yaitu berpatokan pada V_2 sedangkan V_1 di *short.* R_1 dan R_2 adalah rangkaian parallel (Rp), sehingga rangkaian penggatinya sebagaimana gambar 31.



Gambar 6. Contoh Rangkaian Superposisi dengan V_1 di *Short*

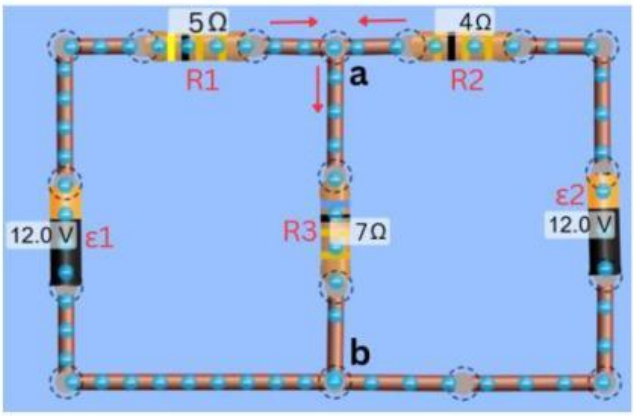
Berdasarkan Gambar 30 dan 31 dapat dihitung arus pada setiap resistor. Hasil perhitungan arus pada masing-masing kondisi tersebut, selanjutnya dapat dijumlahkan untuk menentukan arus sebenarnya yang ada pada rangkaian secara keseluruhan yaitu I_1, I_2, dan I_3.

D. Contoh Soal

Menganalisis

Mince membuat sebuah rangkaian tertutup melalui percobaan virtual seperti gambar.

LIVEWORKSHEETS



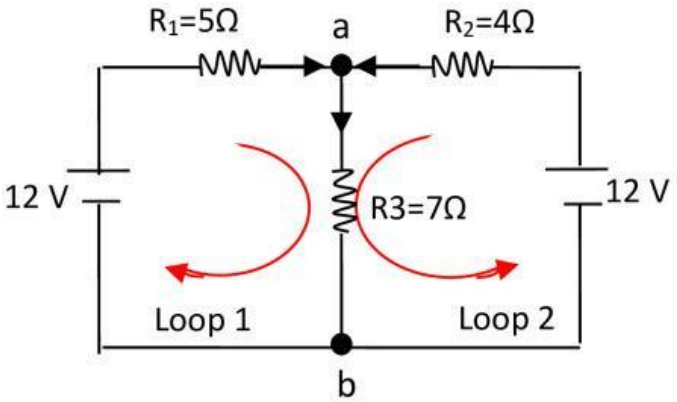
Pertanyaan:
Bagaimana nilai hambatan masing-masing resistor dan posisi sumber tegangan tersebut berkontribusi terhadap nilai arus pada ketiga resistor?. Analisis hubungan sebab-akibat tersebut bekerja dalam menentukan arus pada masing-masing cabang!

Jawaban:

- Menuliskan yang diketahui:
  R_1= 5Ω; R_2= 4Ω; R_3= 7Ω
  Tegangan sumber yaitu ε_1= 12 V dan ε_2= 12 V

- Menuliskan yang ditanyakan:
  Nilai I_1, I_2, dan I_3 serta alasan perbedaan nilai

- Mencari jawaban:
  Soal dapat diselesaikan dengan metode loop atau superposisi. Berikut jika diselesaikan dengan metode loop:



LIVEWORKSHEETS

Hukum Kirchhoff 1

$$I_1+I_2=I_3$$

Hukum Kirchhoff 2

Tinjau Loop I

$$-\varepsilon + I_1.R_1 + I_3.R_3 = 0$$
$$-12v + I_1.5 + I_3.7 = 0$$
$$5I_1 + 7I_3. = 12$$
$$5I_1 + 7(I_2 + I_1) = 12$$
$$7I_2 + 12I_1 = 12 \text{ ……(persamaan 1)}$$

Tinjau Loop II

$$-\varepsilon + I_2.R_2 + I_3.R_3 = 0$$
$$-12v + I_2.4 + I_3.7 = 0$$
$$4I_2 + 7I_3. = 12$$
$$4I_2 + 7(I_2 + I_1) = 12$$
$$11I_2 + 7I_1 = 12 \text{ ……(persamaan 2)}$$

Eliminasi Persamaan (1) dan(2)

$$7I_2 + 12I_1 = 12 \text{ x11} \rightarrow 77I_2 + 132I_1 = 132$$
$$11I_2 + 7I_1 = 12 \text{ x7} \rightarrow 77I_2 + 49I_1 = 84 \; -$$
$$83I_1 = 48$$
$$I_1 = 48/83$$
$$I_1 = 0{,}58 \text{ A}$$

Substitusikan I_1 kedalam persamaan (1)

$$7I_2 + 12I_1 = 12$$
$$7I_2 + 10(0{,}58) = 12$$
$$7I_2 = 12 - 5{,}8$$
$$I_2 = \frac{12 - 5{,}8}{7}$$
$$I_2 = 0{,}88 \text{ A}$$

Substitusikan I1 & I2 untuk mendapatkan I3

$I_1 + I_2 = I_3$

$0{,}58 + 0{,}88 = I_3$

$1{,}46 \text{ A} = I_3$

- Menuliskan kesimpulan akhir:

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai I_1, I_2, dan I_3 masing-masing yaitu 0,58 A; 0,88 A; dan 1,46 A. Resistor yang berada dalam satu rangkaian tertutup memiliki arus yang berbeda karena nilai hambatannya berbeda.

LIVEWORKSHEETS

Tegangan pada masing-masing cabang tetap 12 V, tetapi nilai resistansi menentukan besar kecilnya arus yang mengalir. Prinsip ini dijelaskan melalui analisis rangkaian listrik berdasarkan Hukum Ohm dan Hukum Kirchoff.

Metakognitif

1. Melky sedang menganalisis rangkaian listrik yang terdiri dari beberapa loop dan sumber tegangan yang saling terhubung. Dia tahu bahwa ada beberapa metode untuk menyelesaikan rangkaian seperti ini, dan saat membaca materi, dia menemukan dua metode yang berbeda yaitu teori arus loop dan teori superposisi. Namun, Melky merasa bingung mengenai konsep dasar dan kapan sebaiknya menggunakan masing-masing teori. Apa sebenarnya perbedaan antara teori arus loop dan teori superposisi dalam analisis rangkaian listrik? Kapan harus menggunakan masing-masing teori ini?
   Jawaban:
   Teori arus loop adalah metode analisis arus dalam rangkaian tertutup dengan menggunakan Hukum Kirchhoff II. Langkah-langkahnya yaitu tentukan loop, asumsikan arah arus, buat persamaan tegangan tiap loop, lalu selesaikan sistem persamaan untuk menemukan arus.
   Teori Superposisi digunakan untuk rangkaian dengan lebih dari satu sumber. Tiap sumber dianalisis satu per satu, sementara yang lain dimatikan (sumber tegangan jadi hubung singkat). Hasil tiap analisis dijumlahkan untuk mendapatkan arus total.

2. Benny sedang mencoba menyelesaikan masalah rangkaian listrik yang melibatkan dua sumber tegangan. Dia merasa bingung tentang bagaimana cara menentukan arus dalam rangkaian tersebut, karena ada lebih dari satu sumber tegangan. Bagaimana cara menentukan arus pada suatu rangkaian listrik yang memiliki lebih dari satu sumber tegangan menggunakan teori arus loop dan teori superposisi? Berikan langkah-langkah perhitungan dan contoh aplikasinya!
   Jawaban:

LIVEWORKSHEETS

a. Menggunakan Teori Arus Loop
   Langkah-langkah:
   - Identifikasi loop dalam rangkaian dan asumsikan arah arus di setiap loop.
   - Gunakan Hukum Kirchhoff II untuk menuliskan persamaan tegangan dalam setiap loop.
   - Jika ada lebih dari satu loop, buat sistem persamaan linear.
   - Selesaikan sistem persamaan untuk mendapatkan nilai arus dalam setiap loop.

   Contoh:
   Misalkan ada rangkaian dengan dua loop:
   $R_1 = 4\Omega$, $R_2 = 6\Omega$, $R_3 = 5\Omega$
   $V_1 = 12V$, $V_2 = 10V$
   Jika kita menuliskan persamaan berdasarkan Hukum Kirchhoff II, kita akan mendapatkan sistem persamaan yang dapat diselesaikan untuk menemukan arus dalam setiap loop.

b. Menggunakan Teori Superposisi
   Langkah-langkah:
   - Nonaktifkan semua sumber tegangan kecuali satu (gantilah sumber tegangan lainnya dengan hubung singkat).
   - Hitung arus dalam rangkaian akibat sumber tegangan yang aktif.
   - Ulangi langkah ini untuk setiap sumber tegangan.
   - Jumlahkan hasil dari masing-masing analisis untuk mendapatkan arus total.

   Contoh:
   - Jika hanya V_1 yang aktif, hitung arus di setiap resistor.
   - Jika hanya V_2 yang aktif, hitung lagi arus di setiap resistor.
   - Jumlahkan kedua hasil perhitungan untuk mendapatkan arus total.

3. Mengapa hasil perhitungan arus dengan teori arus loop dan teori superposisi bisa berbeda dalam beberapa kondisi? Jelaskan faktor-faktor yang mempengaruhi perhitungan dengan kedua metode ini!
   Jawaban:

LIVEWORKSHEETS

Meskipun kedua metode ini digunakan untuk menentukan arus dalam suatu rangkaian, hasilnya bisa berbeda dalam kondisi tertentu karena beberapa faktor berikut:

a. Ketepatan dalam menentukan arah arus awal:
   - Pada teori arus loop, asumsi arah arus awal yang salah akan menghasilkan tanda negatif dalam hasil perhitungan, tetapi nilai arus tetap benar.
   - Pada teori superposisi, kesalahan dalam menonaktifkan sumber tegangan atau menghitung arus tiap tahap bisa menyebabkan perbedaan hasil.
b. Nonlinearitas komponen rangkaian:
   - Jika terdapat komponen non-ohmik (seperti dioda atau transistor), teori superposisi tidak dapat digunakan, karena hanya berlaku untuk sistem linear.
   - Teori arus loop masih dapat digunakan dengan menyesuaikan karakteristik komponen non-ohmik.
c. Efek hambatan internal sumber tegangan:
   - Jika sumber tegangan memiliki hambatan internal, maka teori superposisi mungkin menghasilkan hasil yang sedikit berbeda dibandingkan teori arus loop karena efek tambahan dari hambatan tersebut.
d. Rangkaian dengan sumber arus:
   - Teori arus loop lebih mudah diterapkan dalam rangkaian dengan sumber arus.
   - Teori superposisi memerlukan konversi sumber arus ke sumber tegangan agar dapat diterapkan dengan benar.

Tulis tanggapanmu terhadap eksplorasi materi di atas pada kolom berikut:

LIVEWORKSHEETS