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 KIRCHOFF 1

A. Identifikasi Kebutuhan Pembelajaran

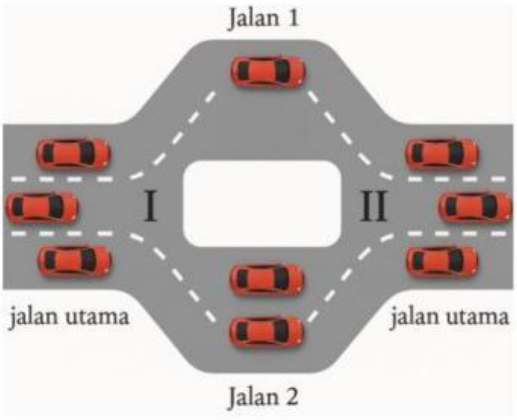
Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari materi hukum Kirchoff 1, pebelajar diharapkan dapat dengan tepat:

- Menganalisis arus dan tegangan pada percobaan hukum Kirchoff 1.
- Menganalisis arus listrik yang masuk dan keluar di titik cabang (node) dalam rangkaian listrik.

Pengantar

Pada sistem kelistrikan yang lebih besar, misalnya pada distribusi listrik kota atau papan sirkuit elektronik, arus listrik bercabang ke berbagai jalur yang saling terhubung. Pada setiap titik percabangan memungkinkan arus listrik masuk dan keluar melalui beberapa jalur yang berbeda, menciptakan keseimbangan yang memastikan semua bagian sistem mendapatkan suplai listrik yang sesuai.



Gambar 1. Ilustrasi Hukum Kirchoff 1

Pemahaman mengenai pembagian arus listrik di titik percabangan sangat penting agar sistem listrik berfungsi dengan aman dan efisien. Menganalisis aliran arus pada rangkaian dengan banyak percabangan memerlukan prinsip dasar yang mengatur arah arus listrik serta menjaga keseimbangannya. Prinsip ini dikenal sebagai Hukum Kirchhoff 1, sebagai dasar untuk memahami cara kerja arus listrik dalam rangkaian bercabang.

Pada Gambar 17, analogi hukum Kirchhoff 1 diilustrasikan dengan arus listrik yang diumpamakan seperti mobil yang melewati jalanan bercabang. Jumlah mobil yang memasuki titik percabangan, baik di titik I maupun II, akan sama

LIVEWORKSHEETS

dengan jumlah mobil yang keluar dari titik percabangan tersebut. Konsep ini menggambarkan bahwa arus listrik yang masuk ke suatu titik percabangan akan sama dengan arus yang keluar dari titik tersebut. Namun, analogi ini memiliki keterbatasan. Arus listrik, berbeda dengan mobil, tidak dapat berhenti atau berbalik arah secara spontan. Selain itu, faktor lain seperti hambatan dan perbedaan potensial mempengaruhi arus listrik, yang tidak dapat dianalogikan dengan aliran mobil. Oleh karena itu, meskipun analogi ini membantu dalam pemahaman awal, pendekatan fisika yang lebih tepat diperlukan untuk menjelaskan secara menyeluruh hukum Kirchhoff 1.

Prediksi Awal



Sebelum mempelajari lebih dalam tentang Hukum Kirchhoff 1, kita dapat mengamati bagaimana arus listrik mengalir dalam sistem kelistrikan sehari-hari. Pada papan sirkuit elektronik, arus listrik mengalir melalui banyak percabangan tanpa menyebabkan ketidakseimbangan. Fenomena ini menimbulkan pertanyaan tentang bagaimana arus listrik terbagi di titik percabangan dan apakah jumlah arus yang masuk ke suatu titik selalu sama dengan jumlah arus yang keluar. Bagaimana tanggapan Anda terkait hal tersebut?.

Tulis jawabanmu pada kolom berikut:

LIVEWORKSHEETS

B. Menghubungkan Pengetahuan Sebelumnya

Kita telah mempelajari bahwa arus listrik mengalir dari titik bertegangan tinggi ke titik bertegangan rendah melalui suatu penghantar. Pada rangkaian sederhana tanpa percabangan, arus listrik memiliki nilai yang sama di seluruh rangkaian. Namun, pada rangkaian yang lebih kompleks dengan percabangan, seperti pada rangkaian paralel, arus dapat mengalir ke beberapa jalur yang berbeda. Jika arus dapat terbagi di beberapa cabang, bagaimana hubungan antara arus yang masuk ke titik percabangan dan arus yang keluar dari titik tersebut? Selain itu, dalam hukum Ohm, kita telah belajar bahwa besar arus dalam suatu rangkaian bergantung pada tegangan dan hambatan. Jika terdapat beberapa jalur dengan hambatan yang berbeda, bagaimana pembagian arus di titik percabangan akan ditentukan oleh hambatan masing-masing jalur?. Jelaskan bagaimana kaitannya dengan konsep Hukum Kirchoff 1?.

Tulis jawabanmu pada kolom berikut:

LIVEWORKSHEETS

C. Eksplorasi Materi



Gambar 2. Infus Otomatis

Sumber: https://www.istockphoto.com/id/foto/iv-menetes-irigasi-transparan-menanamkan-cairan-obat-atau-nutrisi-dan-natrium-klorida-gm1277306525-376551533

Berbagai perangkat elektronik dan sistem otomatis sangat bergantung pada rangkaian listrik yang stabil dan aman. Salah satu contohnya adalah alat kesehatan seperti infus otomatis, yang harus bekerja konsisten untuk menjaga keselamatan pasien. Permasalahan dapat muncul ketika terjadi gangguan arus atau tegangan di salah satu bagian sistem. Gangguan kecil, seperti fluktuasi tegangan atau ketidakseimbangan arus, dapat menyebabkan kesalahan pembacaan sensor, gangguan pada pompa infus, atau bahkan kegagalan total sistem. Pada kasus seperti ini, diperlukan pemahaman yang menyeluruh tentang bagaimana arus dan tegangan bekerja dalam suatu rangkaian.

Pemahaman tersebut tidak bisa hanya mengandalkan Hukum Ohm saja. Diperlukan Hukum Kirchhoff untuk menganalisis lebih dalam bagaimana arus dan tegangan saling berinteraksi pada berbagai cabang rangkaian. Gustav Robert Kirchhoff (1824–1887), seorang fisikawan Jerman, memperkenalkan dua hukum fundamental pada tahun 1847 yang menjadi bagian penting dari teori sirkuit. Ia menjelaskan hubungan antara arus dan tegangan dalam jaringan listrik melalui *Kirchhoff's Current Law* (KCL) dan *Kirchhoff's Voltage Law* (KVL). Kedua hukum ini, bersama dengan Hukum Ohm, menjadi landasan utama dalam perancangan dan analisis sistem kelistrikan modern. Kirchoff tidak hanya dikenal di bidang listrik, tetapi juga berkontribusi besar dalam spektroskopi bersama Robert Bunsen hingga menemukan unsur cesium dan rubidium. Bagaimana tepatnya hukum

LIVEWORKSHEETS

Kirchhoff ini digunakan untuk menjelaskan perilaku rangkaian seperti pada infus otomatis?

Penggunaan hukum Kirchhoff dalam perangkat seperti infus otomatis menjadi sangat penting untuk memastikan bahwa setiap komponen dalam sistem mendapatkan suplai arus dan tegangan yang sesuai. Pada sistem ini, terdapat beberapa komponen penting seperti pompa motorik, sensor tekanan, alarm, dan layar indikator yang semuanya bekerja bersamaan. Agar alat ini dapat berfungsi secara andal, arus listrik dari sumber harus terbagi dengan benar ke masing-masing bagian. Di sinilah *Kirchhoff's Current Law* (KCL) atau Hukum Kirchhoff 1 berperan. Hukum ini menjelaskan bahwa jumlah arus yang masuk ke satu titik percabangan harus sama dengan jumlah arus yang keluar dari titik itu. Artinya, dalam sistem infus otomatis, arus yang mengalir dari baterai utama harus dibagi secara seimbang ke motor pompa, sensor, dan unit kendali, tanpa ada kelebihan atau kekurangan pada salah satu cabang. Jika tidak, maka salah satu bagian bisa mengalami overheat, gagal berfungsi, atau memicu alarm.

Hukum Kirchhoff 1 didasarkan pada hukum konservasi muatan, yang mensyaratkan bahwa jumlah aljabar muatan dalam suatu sistem tidak bisa mengalami perubahan. Hukum Kirchhoff pertama (KCL) menyatakan bahwa jumlah aljabar arus pada simpul (atau batas tertutup) adalah nol. Secara matematis, KCL ditulis:

$$\sum_{n=1}^{N} i_n = 0$$

Keterangan:
N adalah jumlah cabang.

Jumlah arus diasumsikan mengalir menjadi sebuah simpul. Jumlah aljabar arus pada simpul adalah:

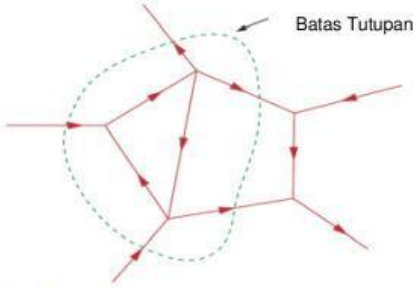
$$i_T(t) = i_1(t) + i_2(t) + i_3(t) + \dots$$

Kemudian kita integrasikan kedua sisi dengan memberikan,

LIVEWORKSHEETS

$$q_T(t) = q_1(t) + q_2(t) + q_3(t) + \ldots$$

$$q_k = \int i_k\,(t)dt \text{ dan } q_T = \int i_T\,(t)\,dt$$



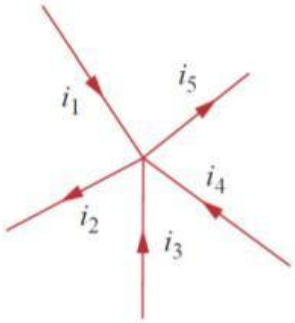
Gambar 3. Arus listrik pada permukaan tertutup

Tetapi hukum konservasi muatan listrik mensyaratkan bahwa jumlah aljabar listrik pada simpul tidak boleh berubah yaitu simpul tidak menyimpan arus. Kemudian $q_k(t) = 0 \rightarrow \quad q_T(t) = 0$ Berdasarkan Gambar 16 diperoleh:

$$i_1 + (-i_2) + i_3 + i_4 + (-i_5)$$

Arus i_1, i_3 ,i_4 memasuki simpul, sedangkan arus i_2 dan i_5 meninggalkan simpul. Sehingga hasilnya adalah:

$$i_1 + -i_2 + i_3 + i_4 - i_5$$
$$i_1 + i_3 + i_4 = i_2 + i_5$$



Gambar 4. Aliran Arus Listrik

Berdasarkan asumsi tersebut diketahui bahwa arus yang masuk sama dengan jumlah arus yang keluar. Perhatikan bahwa KCL juga berlaku untuk daerah yang tertutup. Ini mungkin dianggap sebagai kasus umum, karena simpul dianggap sebagai permukaan tertutup pada suatu titik. Dalam dua dimensi, batas tertutup sama dengan lintasan tertutup. Seperti yang digambarkan pada gambar 20, arus total yang memasuki permukaan tertutup sama dengan arus total yang meninggalkan permukaan.

Penerapan sederhana KCL adalah menggabungkan rangkaian secara paralel. Arus gabungan adalah jumlah aljabar dari arus yang disediakan oleh rangkaian tersebut.

LIVEWORKSHEETS

Hukum Kirchoff pertama merupakan hukum titik cabang, hal ini didasarkan pada konservasi muatan. Hukum ini menyatakan bahwa:

Jumlah arus yang masuk pada suatu cabang sama dengan jumlah arus yang keluar pada cabang tersebut.

$$I_{masuk} = I_{keluar}$$

Prinsip Hukum Kirchoff pertama didasarkan pada hukum kekekalan muatan, yang menyatakan bahwa muatan listrik tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan dalam suatu simpul rangkaian. Oleh karena itu, dalam rangkaian seri, arus yang mengalir melalui setiap komponen harus sama karena tidak ada percabangan yang memungkinkan arus terbagi.

Hukum Kirchhoff 1 sangat berguna dalam analisis rangkaian listrik, terutama dalam rangkaian bercabang, untuk menentukan besaran arus di berbagai titik. Hukum ini memastikan bahwa tidak ada arus yang hilang dalam sistem, sehingga dapat digunakan untuk menyelesaikan perhitungan pada rangkaian listrik yang kompleks.

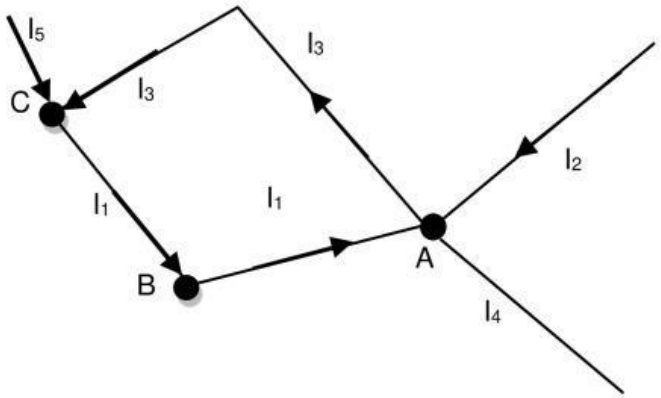
Hukum Kirchhoff 1 merupakan prinsip dasar dalam kelistrikan yang tidak hanya digunakan dalam analisis teori tetapi juga dalam berbagai aplikasi praktis dalam kehidupan sehari-hari. Dari jaringan listrik rumah tangga hingga sistem komunikasi canggih, hukum ini memastikan bahwa arus listrik mengalir dengan efisien dan aman, mendukung kenyamanan dan perkembangan teknologi modern. Setiap sambungan atau titik percabangan dalam jaringan listrik rumah mengikuti prinsip Hukum Kirchhoff 1. Jika terlalu banyak perangkat dihubungkan pada satu jalur, arus yang mengalir bisa melebihi kapasitas kabel, menyebabkan pemutus arus (*circuit breaker*) bekerja untuk mencegah korsleting atau kebakaran.

LIVEWORKSHEETS

D. Contoh Soal

Menganalisis

Rani diminta menyelidiki prinsip konservasi arus listrik pada suatu titik simpul dalam rangkaian bercabang. Ia diberikan gambar rangkaian seperti di bawah ini, dengan arah dan besar arus sebagian sudah diketahui.



Rani mencatat informasi berikut:
Kuat arus $I_{1=}$ 5 A, I_2 = 2 A arah menuju titik A. Kuat Arus I_3 = 8 A arah keluar dari titik A.
Rani bingung karena cabangnya banyak dan tidak semua arah arus diketahui.
Pertanyaan:
Bagaimana cara menentukan besar dan arah kuat arus I_4 (masuk atau keluar simpul) jika tidak diberikan secara eksplisit? Apakah hukum konservasi arus bisa membantu?

Jawaban:

- Menuliskan yang diketahui:
  $I_{1=}$ 6 A, I_2 = 4 A arah menuju titik A,
  I_3 = 9 A arah keluar dari titik A

- Menuliskan yang ditanyakan:
  I_4 ? (tidak diketahui, diasumsikan keluar dari titik A)

- Mencari jawaban:
  Pada rangkaian listrik yang diberikan, titik simpul A adalah tempat beberapa arus bertemu. Sesuai dengan Hukum

LIVEWORKSHEETS

Kirchhoff Arus (KCL), jumlah arus yang masuk ke titik simpul sama dengan jumlah arus yang keluar:
$I_1 + I_2 = I_3 + I_4$
Substitusi nilai:
$6 + 4 = 9 + I_4$
$10 = 9 + I_4$
$I_4 = 1A$

- Menuliskan kesimpulan akhir:
  Bernilai positif menunjukkan bahwa arah asumsi awal kita (keluar dari titik A) benar. Artinya, I_4 keluar ke titik A.

Metakognitif

1. Mince sedang mengikuti praktikum kelistrikan dan diminta untuk menganalisis arus dalam sebuah rangkaian bercabang (paralel). Dia mengukur arus yang masuk ke titik percabangan dan membandingkannya dengan arus yang keluar dari titik itu. Setelah mencatat hasilnya, ia menemukan bahwa jumlah arus yang masuk selalu sama dengan jumlah arus yang keluar, meskipun cabang-cabangnya memiliki resistor dengan nilai berbeda. Apakah ini kebetulan, atau memang ada hukum fisika yang mengatur hal ini?
   Jawaban:
   Hukum Kirchhoff 1 (Hukum Arus Kirchhoff) merupakan hukum yang mengatur hal tersebut, yaitu menyatakan bahwa jumlah arus yang masuk ke suatu titik percabangan (node) dalam rangkaian listrik harus sama dengan jumlah arus yang keluar dari titik tersebut. Secara matematis, hukum ini dirumuskan sebagai:
   $$\sum I_{masuk} = \sum I_{keluar}$$
   Hukum ini didasarkan pada prinsip konservasi muatan listrik, yang menyatakan bahwa muatan tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan dalam suatu sistem tertutup. Arus yang masuk ke titik tersebut harus sama dengan arus yang keluar.

2. Dita sedang memecahkan masalah dalam proyek rangkaian listriknya yang melibatkan beberapa komponen yang

LIVEWORKSHEETS

terhubung ke dalam rangkaian bercabang. Bagaimana cara menentukan besar arus listrik yang masuk dan keluar di suatu titik percabangan (node) dalam rangkaian listrik? Jelaskan langkah-langkah analisisnya dengan menggunakan persamaan Hukum Kirchhoff I!

Jawaban:

Penentuan besar arus yang masuk dan keluar dalam suatu titik percabangan, dapat menggunakan langkah-langkah berikut:

Langkah 1: Identifikasi titik percabangan

Tentukan node (titik di mana dua atau lebih kawat bertemu). Tandai arus yang masuk ke node dan arus yang keluar dari node.

Langkah 2: Gunakan persamaan Hukum Kirchhoff I

Tulis persamaan keseimbangan arus berdasarkan:

$$\sum I_{masuk} = \sum I_{keluar}$$

Langkah 3: Substitusi nilai yang diketahui

Jika ada arus yang tidak diketahui, gunakan informasi yang tersedia dan selesaikan persamaan untuk mencari nilai arus tersebut.

3. Alfius sedang mengamati rangkaian listrik yang terdiri dari beberapa titik percabangan, dan dia ingin memahami lebih dalam tentang hubungan antara arus yang masuk dan arus yang keluar pada titik tersebut. Mengapa dalam suatu rangkaian listrik, jumlah arus yang masuk ke titik percabangan selalu sama dengan jumlah arus yang keluar? Jelaskan dengan prinsip dasar fisika yang mendukung konsep ini!

   Jawaban:

   Jumlah arus yang masuk ke titik percabangan selalu sama dengan jumlah arus yang keluar karena hukum konservasi muatan listrik. Muatan listrik tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, sehingga jumlah muatan yang masuk ke suatu titik harus sama dengan jumlah muatan yang keluar. Arus listrik adalah aliran muatan per satuan waktu ($I=Q/t$), sehingga jika ada muatan yang masuk ke suatu titik, muatan tersebut harus keluar dengan jumlah yang sama dalam waktu yang sama, kecuali ada akumulasi muatan (yang tidak terjadi dalam kondisi rangkaian stabil). Jika arus yang masuk tidak sama dengan arus yang keluar, berarti ada

LIVEWORKSHEETS

penumpukan muatan di titik tersebut, yang dalam sistem listrik normal tidak terjadi kecuali ada komponen penyimpan muatan seperti kapasitor. Analogi sederhana yaitu bayangkan persimpangan jalan di mana jumlah mobil yang masuk ke persimpangan harus sama dengan jumlah mobil yang keluar, karena mobil tidak bisa menghilang atau muncul begitu saja di tengah persimpangan.

Tulis tanggapanmu terhadap eksplorasi materi di atas pada kolom berikut:

LIVEWORKSHEETS