

# Bab 13

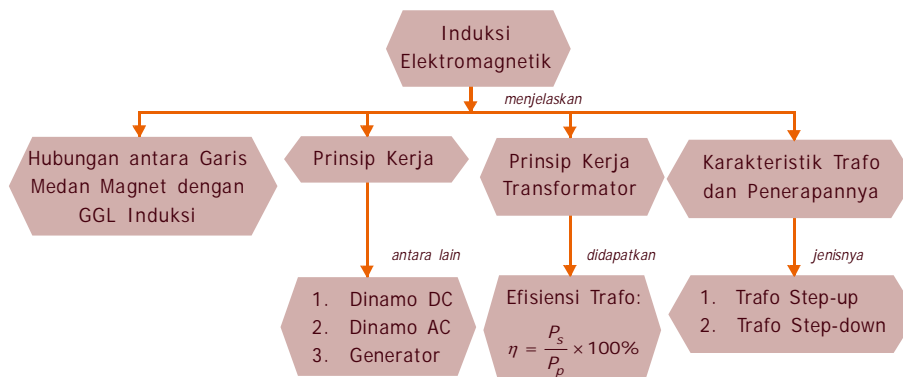
## Induksi Elektromagnetik

Pada suatu malam, ketika Ani sedang belajar IPA. Tiba-tiba ayah Ani mendekat sambil bertanya kepada Ani. Apa bedanya arus listrik yang ditimbulkan oleh sebuah baterai dengan arus listrik dari PLN? Dan menggunakan alat apakah arus listrik dari pembangkit listrik yang bertegangan besar dapat digunakan di rumah-rumah dengan tegangan kecil? Ani diam sejenak, terlihat dari wajahnya bahwa ia sedang berpikir sambil menyatakan tegangan yang ditimbulkan oleh baterai itu kecil sehingga jika kesetrum tidak menyebabkan kecelakaan yang fatal sedang untuk PLN sebaliknya bisa terbakar dan meninggal. Oleh karena itu, untuk PLN mestinya ada alat yang bisa menurunkan tegangan. Bagaimana prinsip kerja alat tersebut, untuk lebih jelasnya bisa kalian pelajari pada Bab 13 ini.



### Peta Konsep

Untuk mempermudah memahami materi ini, perhatikan peta konsep berikut ini.



### Kata Kunci

Setelah kalian memahami peta konsep di atas, perhatikan kata-kata kunci berikut yang merupakan kunci dan cara memahami materi ini.

- Induksi Elektromagnetik
- Garis Medan Magnet
- Dinamo
- Transformator
- GGL Induksi
- Generator



## A. Hubungan antara Pergerakan Garis Medan Magnet dengan Terjadinya Gaya Gerak Listrik Induksi



### Kegiatan

#### A. Tujuan

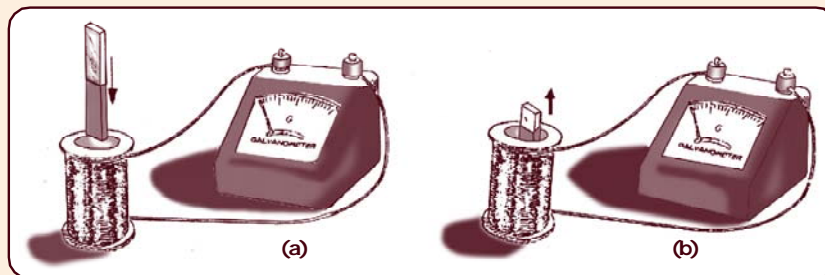
Mengetahui medan magnet dapat menghasilkan arus listrik.

#### B. Alat dan Bahan

1. Dua buah magnet batang
2. Galvanometer
3. Dua buah solenoida yang berbeda jumlah lilitannya

#### C. Cara Kerja

1. Susunlah alat seperti pada gambar.
2. Gerakkan kutub utara magnet batang masuk ke dalam kumparan. Amatilah jarum galvanometer, lihat gambar (a), apa yang terjadi?
3. Diamkan magnet batang di dalam kumparan, amati galvanometer, apa yang terjadi?
4. Gerakkan kutub utara magnet batang keluar dari kumparan. Amati apa yang terjadi pada jarum galvanometer, lihat gambar (b).
5. Ulangi dengan menggerakkan magnet batang masuk-keluar terus menerus. Amati jarum galvanometer, apa yang terjadi.



6. Ulangi langkah-langkah tersebut dengan mengganti magnet batang yang lebih kuat. Amati terus jarum galvanometer, apa yang terjadi.

7. Ulangi langkah-langkah tersebut dengan mengganti solenoida yang lebih banyak jumlah lilitannya. Amati apa yang terjadi pada jarum galvanometer.
8. Apabila yang digerakkan masuk-keluar adalah kutub selatan magnet batang. Bagaimana arah penyimpangan jarum galvanometer.

#### D. Hasil Pengamatan

Bagaimana kesimpulan kalian dari kegiatan di atas jika dikaitkan pengaruh medan dengan pergerakan galvanometer?

Kalian telah mengetahui bahwa ada beberapa bentuk energi antara lain: energi kalor, energi kimia, energi cahaya, energi bunyi, dan energi listrik. Di antara bentuk-bentuk energi tersebut, energi listriklah yang paling mudah diubah menjadi bentuk energi lain. Oleh karena itu, energi listrik banyak digunakan untuk kepentingan manusia. Energi listrik diperoleh dari mesin pembangkit listrik yaitu generator.

Generator menghasilkan energi listrik dengan beda tegangan yang sangat tinggi yaitu dalam orde megavolt, oleh sebab itu sebelum sampai ke rumah-rumah perlu ada alat penurun tegangan. Alat yang digunakan adalah trafo atau transformator. Dasar kerja trafo dan generator adalah induksi elektromagnetik.

### Terjadinya GGL Induksi

Seorang ilmuwan dari Jerman yang bernama **Michael Faraday** (1791 – 1867) memiliki gagasan dapatkah medan magnet menghasilkan arus listrik? Gagasan ini didasarkan oleh adanya penemuan dari Oersted bahwa arus listrik dapat menghasilkan medan magnet.

Karena termotivasi oleh gagasan tersebut kemudian pada tahun 1822, Faraday memulai melakukan percobaan-percobaan. Pada tahun 1831 Faraday berhasil membangkitkan arus listrik dengan menggunakan medan magnet.

Alat-alat yang digunakan Faraday dalam percobaannya adalah gulungan kawat atau kumparan yang ujung-ujungnya dihubungkan dengan galvanometer. Jarum galvanometer mula-mula pada posisi nol. Kalian pasti sudah mengetahui, bahwa galvanometer adalah sebuah alat untuk menunjukkan ada atau tidaknya arus listrik di dalam rangkaian.

Percobaan Faraday untuk menentukan arus listrik dengan menggunakan medan magnet, dilakukan antara lain seperti kegiatan di atas. Pada kegiatan tersebut diketahui bahwa ketika kutub utara magnet bergerak ke dalam kumparan maka jarum galvanometer, menyimpang ke kanan. Ketika magnet ditarik dari dalam kumparan maka jarum galvanometer menyimpang ke kiri. Pada saat kutub selatan bergerak masuk ke dalam kumparan, jarum galvanometer akan menyimpang ke kiri, sedangkan ketika kutub selatan ditarik dari dalam kumparan, jarum galvanometer menyimpang ke kanan.

Dari hasil percobaan di atas maka dapat diambil kesimpulan bahwa arus induksi yang timbul dalam kumparan arahnya bolak-balik seperti yang ditunjukkan oleh penyimpangan jarum galvanometer yaitu ke kanan dan ke kiri.

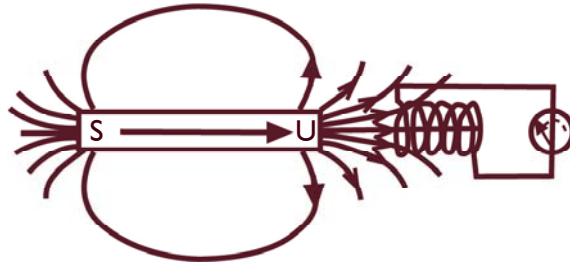
Karena arus induksi selalu bolak-balik, maka disebut arus bolak-balik ( $AC = Alternating Current$ ). Faraday menggunakan konsep garis gaya magnet untuk menjelaskan peristiwa di atas.

Perhatikan Gambar 13.1!

1. Magnet didekatkan pada kumparan maka gaya yang melingkupi kumparan menjadi bertambah banyak, sehingga pada kedua ujung kumparan timbul gaya gerak listrik (GGL).
2. Magnet dijauhkan terhadap kumparan maka garis gaya yang melingkupi kumparan menjadi berkurang, kedua ujung kumparan juga timbul GGL.
3. Magnet diam terhadap kumparan, jumlah garis gaya magnet yang melingkupi kumparan tetap, sehingga tidak ada GGL.

Kesimpulan percobaan di atas adalah:

Timbulnya gaya listrik (GGL) pada kumparan hanya apabila terjadi perubahan jumlah garis-garis gaya magnet.



**Gambar 13.1** Gaya gerak listrik timbul akibat perubahan garis gaya magnet

Gaya gerak listrik yang timbul akibat adanya perubahan jumlah garis-garis gaya magnet disebut GGL induksi, sedangkan arus yang mengalir dinamakan arus induksi dan peristiwanya disebut induksi elektromagnetik.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi besar GGL induksi yaitu:

1. Kecepatan perubahan medan magnet.  
Semakin cepat perubahan medan magnet, maka GGL induksi yang timbul semakin besar.
2. Banyaknya lilitan  
Semakin banyak lilitannya, maka GGL induksi yang timbul juga semakin besar.
3. Kekuatan magnet  
Semakin kuat gejala kemagnetannya, maka GGL induksi yang timbul juga semakin besar.

Untuk memperkuat gejala kemagnetan pada kumparan dapat dengan jalan memasukkan inti besi lunak.

GGL induksi dapat ditimbulkan dengan cara lain yaitu:

1. Memutar magnet di dekat kumparan atau memutar kumparan di dekat magnet. Maka kedua ujung kumparan akan timbul GGL induksi.
2. Memutus-mutus atau mengubah-ubah arah arus searah pada kumparan primer yang di dekatnya terletak kumparan sekunder maka kedua ujung kumparan sekunder dapat timbul GGL induksi.

3. Mengalirkan arus AC pada kumparan primer, maka kumparan sekunder didekatkan dapat timbul GGL induksi. Arus induksi yang timbul adalah arus AC dan gaya gerak listrik induksi adalah GGL AC.



## B. Prinsip Kerja Dinamo dan Generator

Kalian sudah mengetahui bahwa terjadinya arus induksi dan GGL induksi antara lain dengan cara kutub magnet digerakkan di dekat kumparan atau kumparan digerakkan di dekat kutub magnet. Karena kita menggerakkan kutub magnet berarti terdapat energi gerak atau energi kinetik.

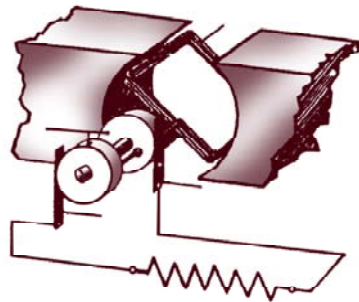
Jadi, dalam proses terjadinya arus induksi terdapat perubahan energi gerak menjadi energi listrik. Akibat gerakan magnet di dalam suatu kumparan menimbulkan arus induksi yang secara langsung adanya energi listrik yang ditimbulkan.

Beberapa contoh peralatan yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari sebagai penerapan GGL induksi di antaranya adalah generator dan dinamo.

### 1. Dinamo

Bagian utama dinamo, lihat Gambar 13.2, adalah

- a. Sebuah kumparan (C)
- b. Sebuah cincin geser (A)
- c. Sikat (B)
- d. Magnet



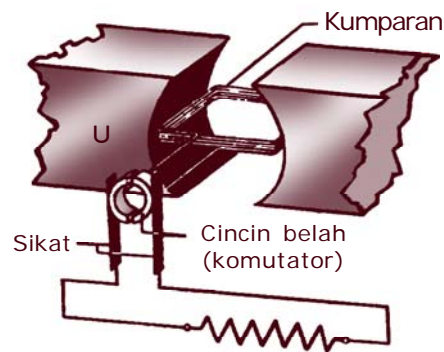
Gambar 13.3 Dinamo dengan prinsip kumparan berputar

Sedangkan langkah-langkah kerja dinamo adalah sebagai berikut:

- a. Sebuah kumparan berputar dalam medan magnet.
- b. Tiap-tiap ujung kawat kumparan dihubungkan dengan sebuah "cincin geser".
- c. Cincin geser tersebut menempel sebuah sikat.
- d. Bila kumparan diputar maka dalam kumparan itu timbul GGL AC. GGL AC ini menimbulkan arus AC di dalam rangkaian dinamo.

## 2. Dinamo Arus Searah

Dinamo arus bolak-balik dapat diubah menjadi dinamo arus searah dengan menggunakan cincin belah atau komutator seperti pada motor listrik, lihat gambar 13.3!



Gambar 13.3 *Dinamo arus searah*

Dinamo arus searah pada prinsipnya sama dengan motor arus searah. Jadi dinamo arus searah dapat dipakai sebagai motor arus searah. Demikian pula sebaliknya.

## 3. Generator

Bagian utama generator, lihat Gambar 13.4, adalah:

### a. Magnet

Untuk generator pembangkit tenaga listrik yang besar biasanya menggunakan lebih dari satu magnet yang berputar. Magnet yang digunakan biasanya magnet listrik.

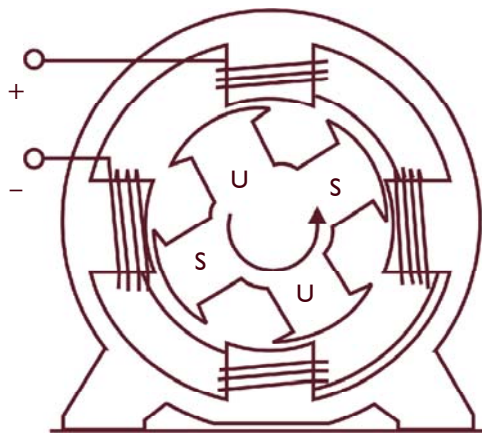
**b. Rotor**

Rotor adalah bagian generator yang berputar.

**c. Stator**

Stator adalah bagian generator yang tidak berputar.

Arus yang ditimbulkan oleh generator juga arus bolak-balik. Seperti yang kalian ketahui bersama bahwa arus yang digunakan di rumah-rumah atau di pabrik-pabrik bersifat arus bolak-balik, bukan?

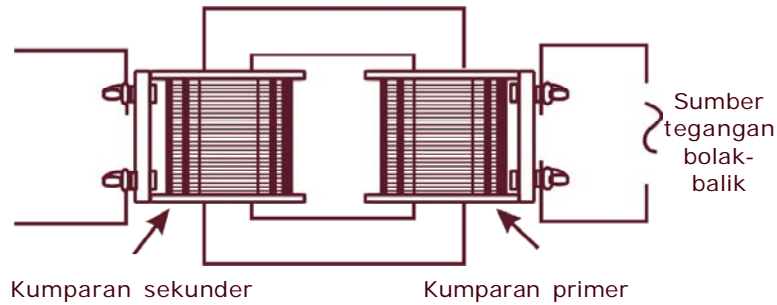


**Gambar 13.4** Generator arus bolak-balik yang menggunakan lebih dari satu magnet



### C. Prinsip Kerja Transformator (Trafo)

Transformator adalah sebuah alat untuk menaikkan atau menurunkan tegangan arus bolak-balik. Transformator sering disebut **trafo**. Sebuah transformator terdiri atas sebuah inti besi. Pada inti besi digulung dua lilitan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder, lihat Gambar 13.5!



**Gambar 13.5** *Transformator*

## Info MEDIA

Pada tahun 1831, Faraday menemukan bahwa penghentian atau pengaliran arus dalam salah satu kawat pada cincin besi ini menyebabkan dorongan singkat dari arus di kawat lainnya. Cincin yang sekarang jadi terkenal ini sebenarnya sama dengan transformator modern yang tercipta 160 tahun kemudian.

Prinsip kerja transformator adalah sebagai berikut.

1. Kumparan primer dihubungkan kepada sumber tegangan yang hendak diubah besarnya. Karena tegangan primer itu tegangan bolak-balik, maka besar dan arah tegangan itu berubah-ubah.
2. Dalam inti besi timbul medan magnet yang besar dan arahnya berubah-ubah pula. Perubahan medan magnet ini menginduksi tegangan bolak-balik pada kumparan sekunder.

Dari sebuah percobaan dapat ditunjukkan, bahwa:

1. Perbandingan antara tegangan primer,  $V_p$ , dengan tegangan sekunder,  $V_s$  sama dengan perbandingan antara jumlah lilitan primer,  $N_p$ , dan lilitan sekunder,  $N_s$ .
2. Perbandingan antara kuat arus primer,  $I_p$ , dengan kuat arus sekunder,  $I_s$ , sama dengan perbandingan jumlah lilitan sekunder dengan lilitan primer.

Dari kedua pernyataan tersebut dapat dituliskan secara singkat dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}V_p : V_s &= N_p : N_s \\I_p : I_s &= V_s : V_p \\I_p : I_s &= N_s : N_p\end{aligned}$$

Atau dapat ditulis:

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} \quad \frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p} \quad \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

Ada dua hal perlu dipahami untuk transformator ini, yaitu:

1. Transformator hanya digunakan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan arus bolak-balik (AC) dan tidak untuk arus searah (DC).
2. Transformator tidak dapat memperbesar daya listrik yaitu tidak dapat memperbesar banyaknya daya yang masuk ke dalam transformator tersebut.

## Efisiensi Tranformator

Kalian sudah mengetahui persamaan-persamaan yang berlaku pada transformator. Persamaan di atas dan didasarkan atas efisiensi transformator dianggap seratus persen. Tetapi kenyataan sehari-hari efisiensi transformator selalu kurang dari seratus persen. Mengapa demikian? Selama penggunaan transformator, besarnya daya yang dikeluarkan oleh kumparan sekunder selalu lebih kecil daripada daya yang diterima oleh kumparan primer.

Hal ini disebabkan selama transformator digunakan ada sebagian energi listrik yang berubah menjadi kalor. Dengan kata lain energi listrik yang keluar dari transformator selalu lebih kecil daripada energi yang masuk ke dalam transformator.

Agar diperoleh efisiensi mendekati 100% pada penggunaan transformator, biasanya dilakukan cara-cara sebagai berikut:

1. Diberi bahan pendingin.
2. Untuk mengurangi panas, membuat inti besi untuk transformator berbentuk pelat atau lempengan.

3. Mengalirkan udara dingin, misal dengan *air conditioning* atau kipas angin.

Selama 1 sekon, kumparan primer transformator menerima energi dari sumber yang akan diubah sebesar  $W_p = V_p I_p t$  joule. Selama  $t$  sekon transformator tersebut juga melepas energi melalui kumparan sekunder sebesar  $W_s = V_s I_s t$  joule.

Efisiensi transformator,  $\eta$ , adalah persentase harga perbandingan antara besar energi yang dilepas transformator tiap sekon pada kumparan sekunder dengan energi yang diterima transformator setiap sekon pada kumparan primer. Energi tiap sekon disebut daya. Oleh karena itu, efisiensi dapat dinyatakan dalam perbandingan daya sekunder,  $P_s$  dan daya primer,  $P_p$ , kali 100 % dan dapat ditulis

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{daya sekunder}}{\text{daya primer}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{P_s}{P_p} \times 100\%$$

Karena  $P = VI$  maka:

$$\eta = \frac{V_s I_s}{V_p I_p} \times 100\%$$

**Contoh soal:**

Sebuah transformator dihubungkan dengan tegangan 200 V dapat menghasilkan tegangan 40 V. Jika kumparan input berjumlah 1100 lilitan. Berapakah kumparan outputnya?

**Penyelesaian:**

Diketahui:  $V_p = 200$  V  
 $V_s = 40$  V  
 $N_p = 1100$  lilitan  
Ditanya:  $N_s = \dots ?$

**Jawab :**

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

$$\frac{200V}{40V} = \frac{1100 \text{ lilitan}}{N_s}$$

$$200 N_s = (40 \times 1100) \text{ lilitan}$$

$$N_s = 220 \text{ lilitan}$$



## D. Karakteristik Transformator dan Penerapannya

Ada dua transformator, yaitu:

1. Transformator *step-up* (transformator penaik tegangan)
2. Transformator *step-down* (transformator penurun tegangan)

Ciri-ciri kedua jenis trafo adalah:

1. Trafo *step-up*
  - a. Jumlah lilitan kumparan primer selalu lebih kecil dari jumlah lilitan kumparan sekunder, ( $N_p < N_s$ )
  - b. Tegangan primer selalu lebih kecil dari tegangan sekunder, ( $V_p < V_s$ )
  - c. Kuat arus primer selalu lebih besar dari kuat arus sekunder, ( $I_p > I_s$ )
2. Trafo *step-down*
  - a. Jumlah lilitan kumparan primer selalu lebih besar dari jumlah lilitan kumparan sekunder, ( $I_p > N_s$ )
  - b. Tegangan primer selalu lebih besar dari tegangan sekunder ( $V_p > V_s$ )
  - c. Kuat arus primer selalu lebih kecil dari kuat arus sekunder, ( $I_p < I_s$ )

Salah satu contoh penggunaan transformator adalah pada pesawat penerima radio jenis "tabung".

## Rangkuman

1. Beberapa faktor yang mempengaruhi gaya gerak listrik (GGL) induksi:
  - a. kecepatan perubahan medan magnet
  - b. banyaknya lilitan
  - c. kekuatan magnet.
2. GGL induksi dapat ditimbulkan dengan cara:
  - a. memutar magnet di dekat kumparan atau memutar kumparan di dekat magnet.
  - b. mengubah arah arus searah pada kumparan primer.
  - c. mengalirkan arus AC pada kumparan primer
3. Penerapan ggl induksi pada generator dan dinamo.
4. Bagian-bagian dinamo: sebuah kumparan, sebuah cincin geser, sikat, dan magnet.
5. Bagian-bagian generator: magnet, rotor, dan stator.
6. Transformator: alat untuk menaikkan atau menurunkan tegangan arus bolak-balik.
7. Persamaan-persamaan pada transformator:

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p} = \frac{N_p}{N_s}$$

8. Efisiensi transformator

$$\eta = \frac{P_s}{P_p} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{V_s I_s}{V_p I_p} \times 100\%$$

## Refleksi

Sekarang ini umumnya orang lebih suka membawa kartu kredit atau kartu ATM daripada membawa uang tunai dengan alasan lebih praktis dan lebih aman. Kartu kredit dan kartu ATM merupakan contoh penerapan prinsip induksi elektromagnetik. Sebagai bahan refleksi, jelaskan cara kerja kartu kredit atau ATM berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik!



## Uji Kompetensi

### A. Pilihlah satu jawaban yang benar dengan memberi tanda silang (X) pada huruf a, b, c, atau d!

1. Arus induksi adalah berupa . . . .
  - a. arus searah
  - b. arus bolak-balik
  - c. arus DC
  - d. arus DC dan AC
2. Timbulnya gaya gerak listrik pada kedua ujung kumparan disebabkan terjadi perubahan . . . .
  - a. tegangan
  - b. jumlah garis gaya magnet
  - c. jumlah lilitan
  - d. arus listrik
3. Berikut ini yang bukan merupakan faktor yang mempengaruhi besar GGL induksi yaitu . . . .
  - a. banyaknya lilitan
  - b. kecepatan perubahan medan magnet
  - c. kekuatan magnet
  - d. masalah lilitan kumparan
4. Apabila  $V_p$  = tegangan primer,  $V_s$  = tegangan sekunder,  $I_p$  = kuat arus primer dan  $I_s$  = kuat arus sekunder, maka hubungan yang benar adalah . . . .

a.  $\frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p}$

b.  $\frac{V_p}{V_s} = \frac{I_p}{I_s}$

c.  $V_p = \frac{V_s I_p}{I_s}$

d.  $V_s = \frac{V_s I_p}{I_s}$

5. Pada trafo *step-up* yang **tidak benar** adalah . . . .
- jumlah lilitan primer lebih kecil dari jumlah lilitan sekunder
  - tegangan primer lebih kecil dari tegangan sekunder
  - kuat arus primer lebih kecil dari kuat arus sekunder
  - kuat arus primer lebih besar dari pada kuat arus sekunder
6. Berikut ini adalah rumus efisiensi transformator adalah . . . .
- $\eta = \frac{E_p}{E_s} \times 100\%$
  - $\eta = \frac{E_s}{E_p} \times 100\%$
  - $\eta = \frac{V_p I_p}{V_s I_s} \times 100\%$
  - $\eta = \frac{V_s I_s}{V_p I_p} \times 100\%$
7. Fungsi trafo *step-down* adalah . . . .
- menurunkan tegangan
  - menaikkan tegangan
  - menetapkan tegangan
  - mengubah-ubah tegangan
8. Yang merupakan ciri trafo *step-up* adalah . . . .
- $N_p < N_s$
  - $I_p < I_s$
  - $V_p < V_s$
  - $I_p > I_s$
9. Ciri trafo *step-up* adalah . . . .
- $N_p > N_s$
  - $I_p > I_s$
  - $I_p < I_s$
  - $V_p > V_s$
10. Transformator adalah alat untuk menaikkan atau menurunkan tegangan . . . .
- bolak-balik
  - bolak-balik dan searah
  - searah saja
  - sekunder saja

## B. Jawablah pertanyaan berikut dengan singkat dan jelas!

1. Sebuah trafo dihubungkan dengan tegangan 220 volt sehingga mengalir arus listrik 0,25 A. Jika kuat arus yang keluar dari trafo adalah 2 A, maka tentukan besar tegangan keluaran trafo tersebut!
2. Sebuah transformator dihubungkan dengan tegangan 200 V menghasilkan tegangan 20 V. Jika kumparan input 1000 lilitan, maka hitunglah jumlah lilitan kumparan output!
3. Sebuah trafo menggunakan kumparan dengan perbandingan jumlah lilitan primer dan sekunder 1:5. Trafo tersebut dihubungkan dengan tegangan 30 volt. Jika daya keluaran trafo 50 watt, maka tentukan besar arus sekundernya!
4. Energi masukan dan keluaran dari sebuah trafo adalah 10.000 joule dan 9000 joule. Tentukan efisiensi trafo!
5. Sebuah trafo dihubungkan dengan sumber 200 volt dan mengalir arus listrik sebesar 0,2 ampere. Bila tegangan (GGL) keluaran dan efisiensinya masing-masing 100 volt dan 80 %. Tentukan kuat arus keluaran!

### Proyek

Carilah informasi tentang prinsip induksi elektromagnetik pada kartu ATM atau kartu kredit disertai gambar yang mendukung informasi tersebut. Kumpulkan dalam bentuk kliping dan multimedia untuk dipresentasikan di depan kelas!