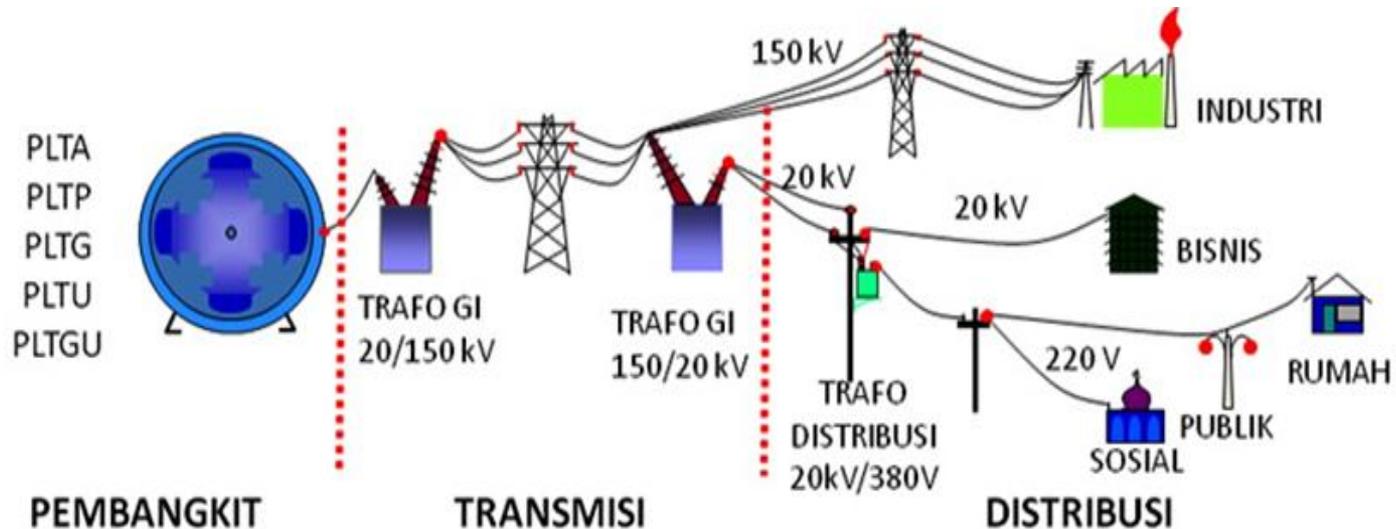


DASAR KONVERSI ENERGI

Sistem Tenaga Listrik

Proses Penyaluran Tenaga Listrik



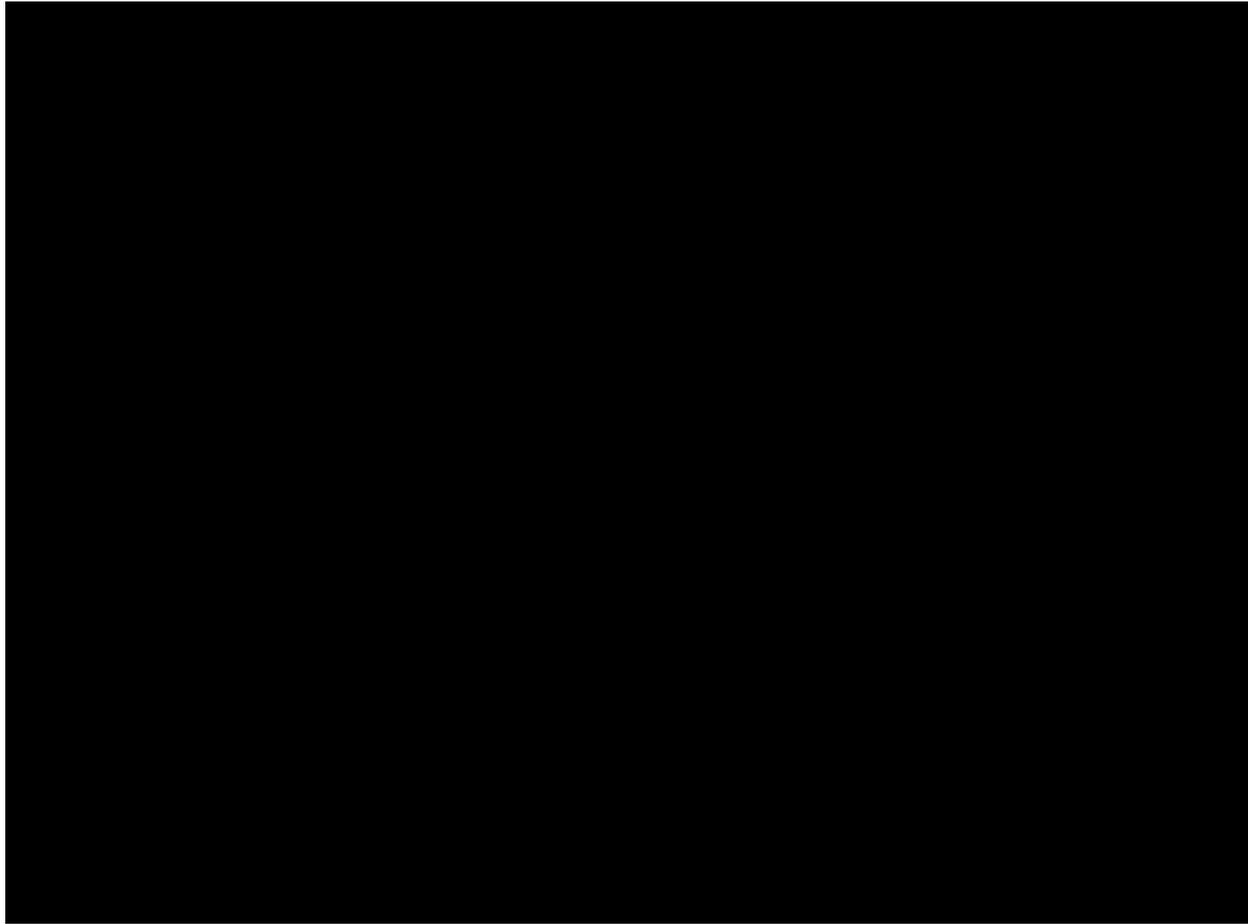
Sistem Tenaga Listrik adalah sekumpulan Pusat Listrik dan Gardu Induk yang satu sama lain dihubungkan oleh Jaringan Transmisi sehingga merupakan sebuah kesatuan interkoneksi

Komponen Utama STL

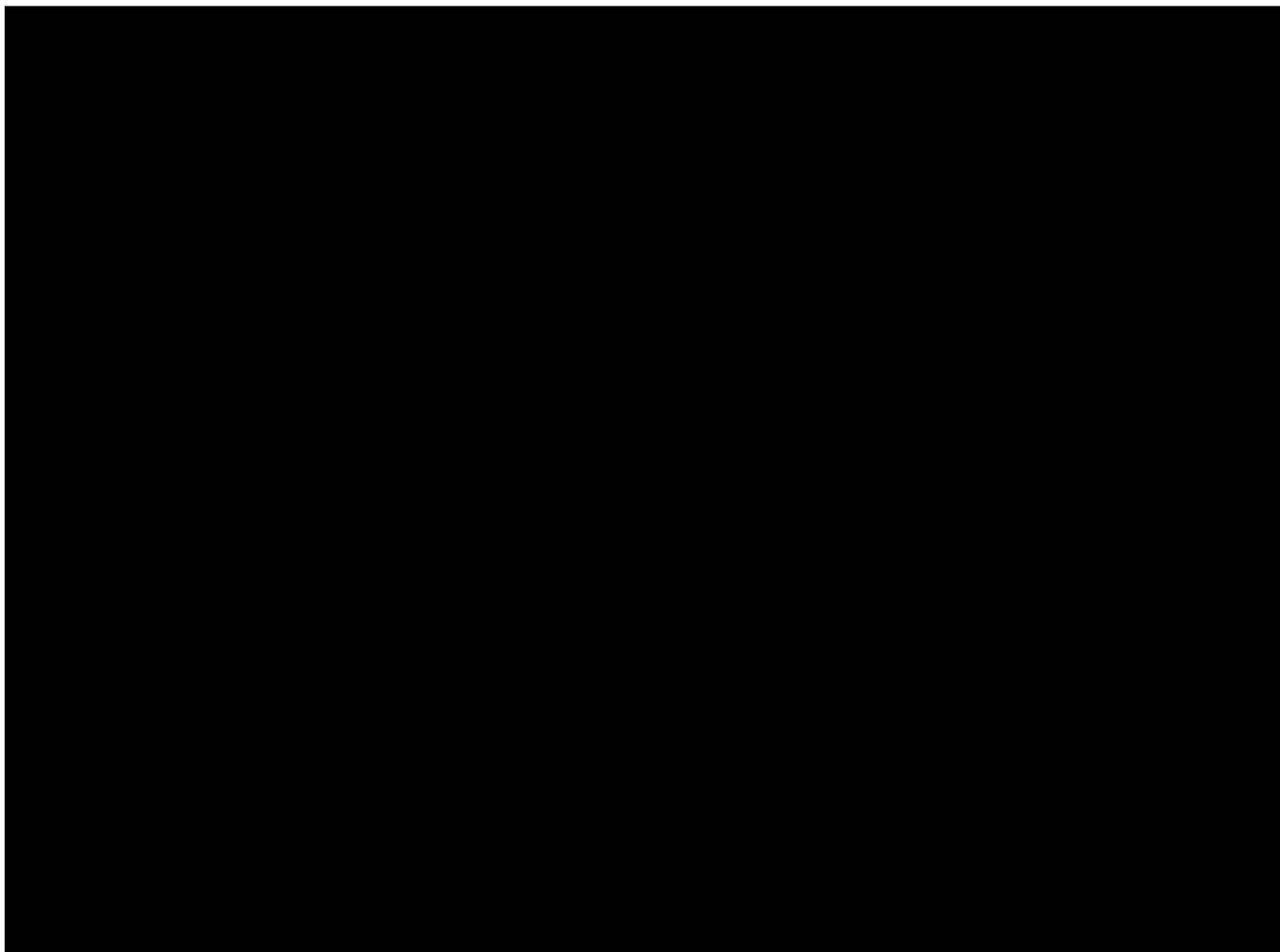
- **Sistem pembangkit**

1. Pembangkit konvensional → PLTA (Pusat Listrik Tenaga Air), PLTU (Pusat Listrik Tenaga Uap), PLTG (Pusat Listrik Tenaga Gas), PLTN (Pusat Listrik Tenaga Nuklir), PLTP (Pusat Listrik Tenaga Panas Bumi), PLTD (Pusat Listrik Tenaga Diesel)
2. Pembangkit non konvensional → menggunakan sumber-sumber energi yang terbarukan seperti: Biomassa, Sel Surya, Tenaga Angin, Tenaga Ombak, Tenaga Pasang Surut, dan sebagainya.

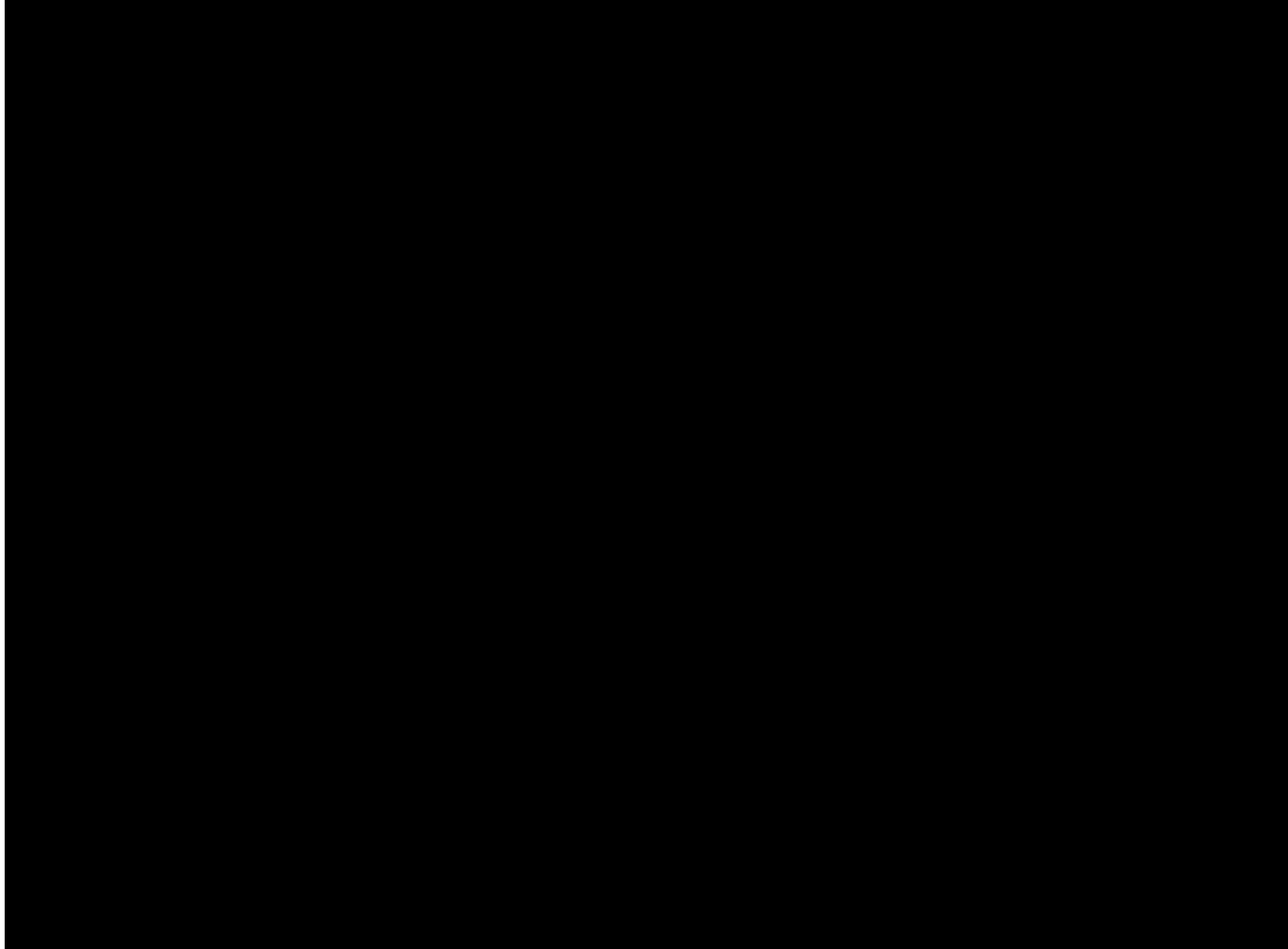
PLTA



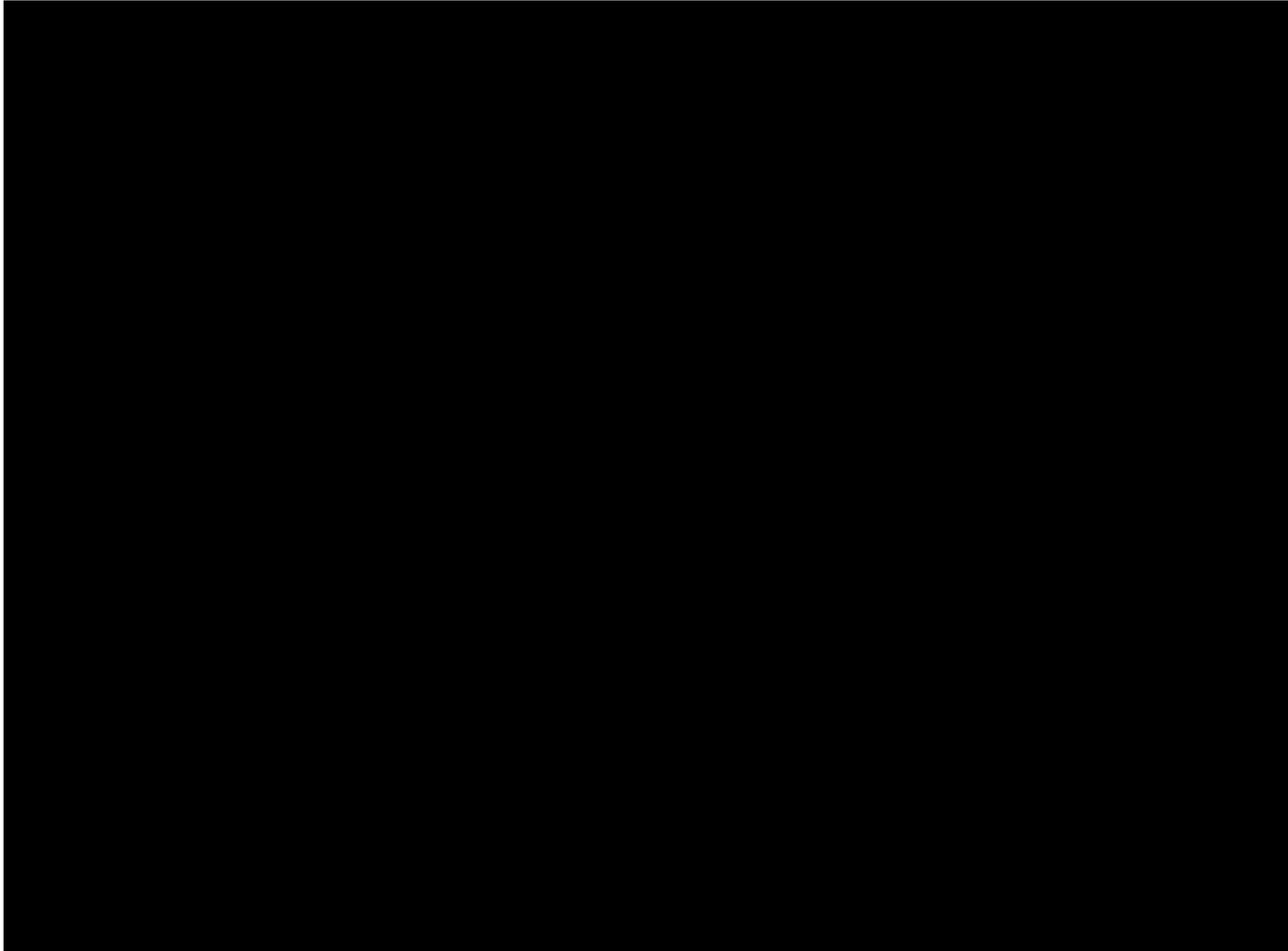
PLTG



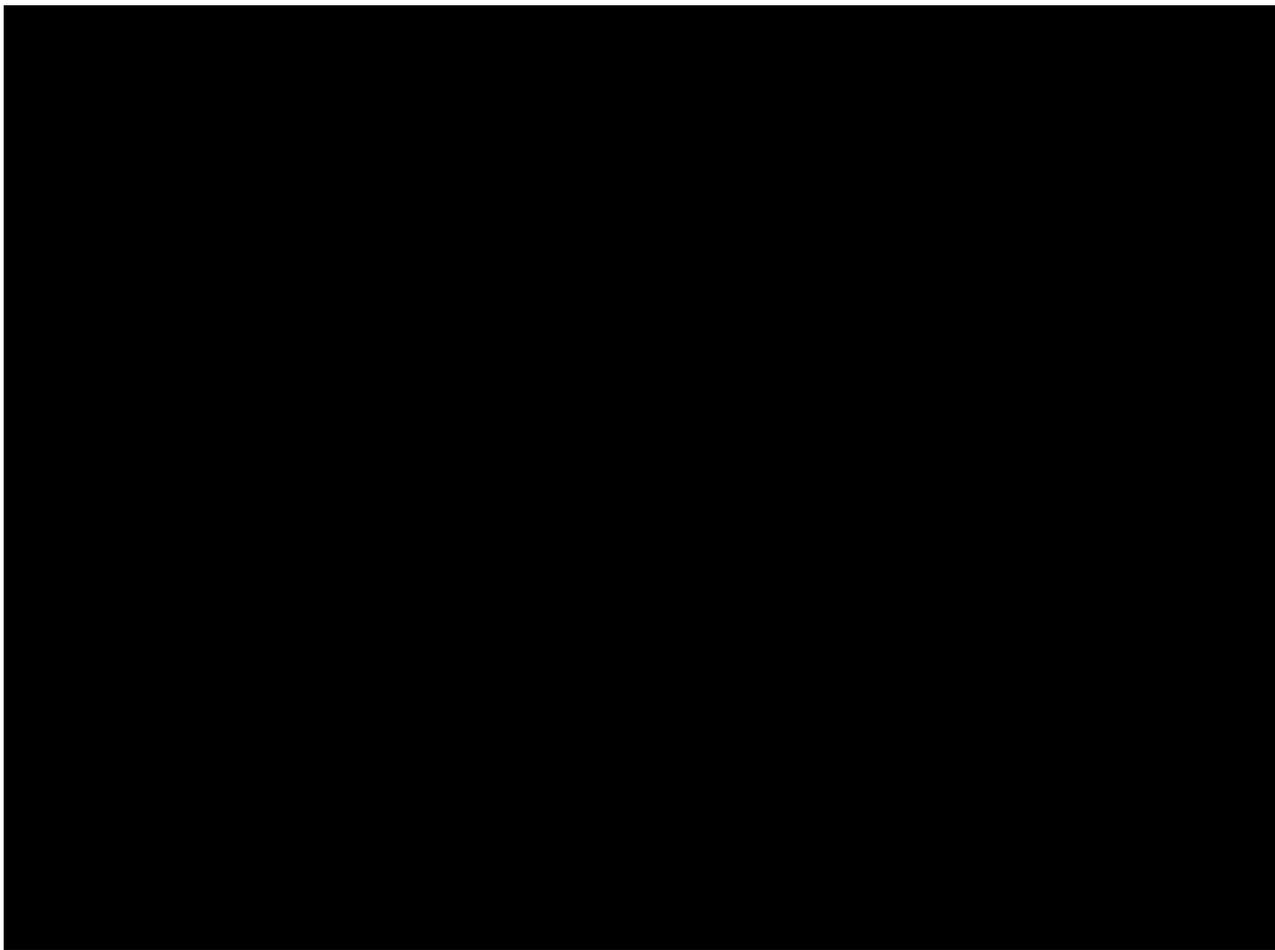
PLTU



PLTGU



PLTD



Saluran Transmisi

- saluran transmisi berfungsi menyalurkan energi listrik dari pusat pembangkit, yang umumnya terletak jauh dari pusat beban, ke gardu induk penurun tegangan yang memiliki transformer penurun tegangan dari tegangan transmisi ke tegangan distribusi (menengah).
- Saluran transmisi ini mempunyai tegangan yang tinggi agar dapat meminimalkan rugi-rugi daya (power losses) disalurkan
- Saluran tegangan tinggi di Indonesia mempunyai tegangan 150 kV yang disebut sebagai Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dan tegangan 500 kV yang disebut sebagai Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET)
- Saluran transmisi ada yang berupa saluran udara dan ada pula yang berupa kabel tanah

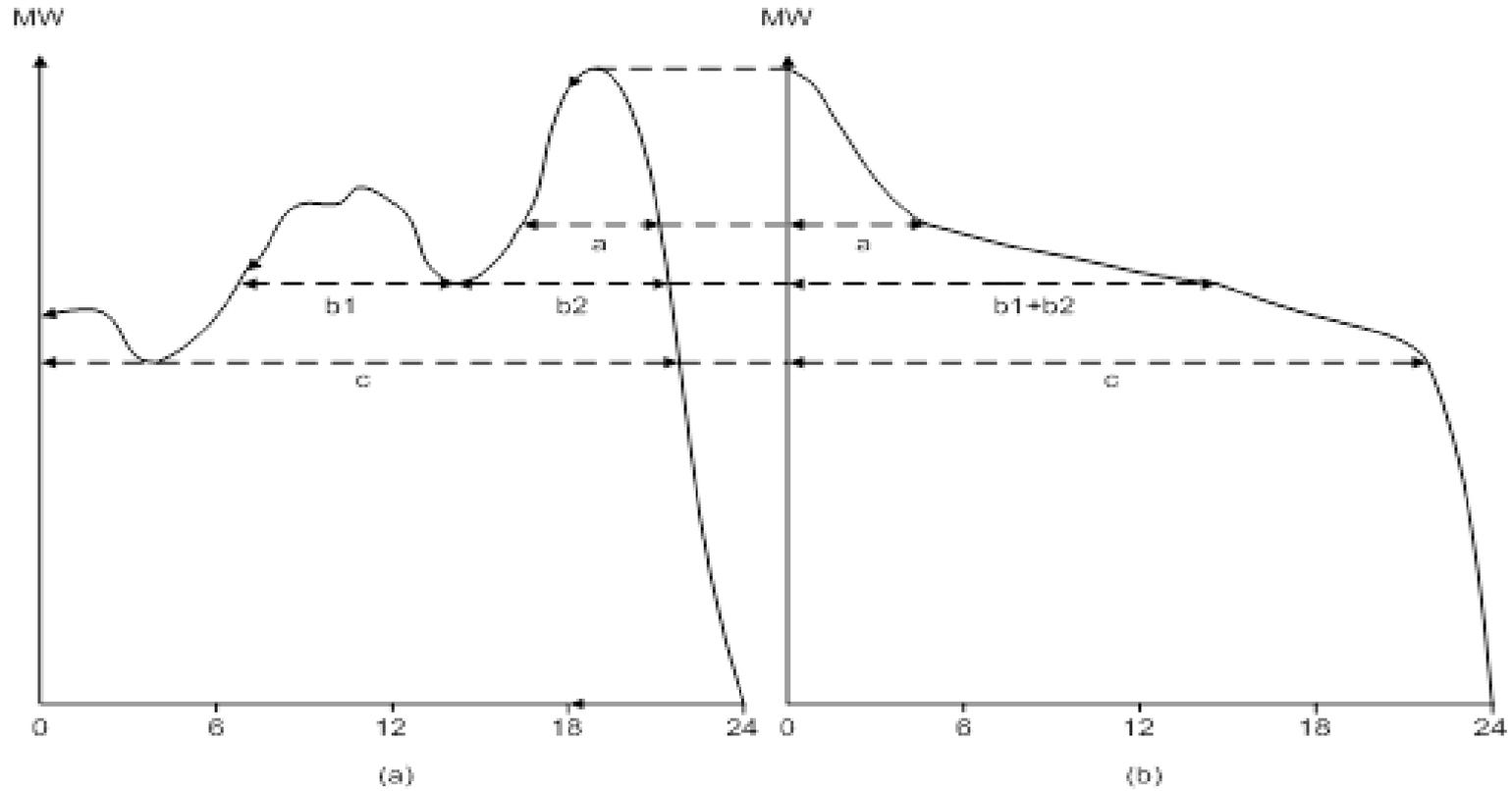
Sistem Distribusi

- Sistem Distribusi merupakan sub-sistem tersendiri yang terdiri dari: Pusat Pengatur Distribusi (Distribution Control Centre, DCC) , Saluran tegangan menengah (6 kV dan 20 kV, biasa juga disebut tegangan distribusi primer) yang merupakan saluran udara atau kabel tanah, Gardu Distribusi (GD) tegangan menengah yang terdiri dari panel-panel pengatur tegangan menengah dan trafo sampai dengan panel-panel distribusi tegangan rendah (380 V, 220 V) yang menghasilkan tegangan kerja/ tegangan jala-jala untuk industri dan konsumen perumahan.

Beban Listrik

- Beban listrik adalah semua peralatan yang menggunakan energi listrik. Beban listrik terdiri atas: beban penerangan (lampu rumah, lampu jalan, dan sebagainya), pemanas, motor-motor listrik, pendingin, peralatan elektronika, dan lain sebagainya.
- Karakteristik perubahan besarnya daya yang diterima oleh beban sistem tenaga setiap saat dalam suatu interval hari tertentu dikenal sebagai kurva beban harian.
- Bila kurva beban harian memberi informasi tentang besarnya beban dari waktu ke waktu, maka kurva kelangsungan beban (load duration curve) memberikan informasi tentang lama (waktu) berlangsungnya daya dengan besar tertentu

Kurva beban dan Kurva kelangsungan beban



Operasi STL

- Biaya operasi dari sistem tenaga listrik pada umumnya merupakan bagian biaya terbesar dari suatu Perusahaan Listrik. Secara garis besar biaya operasi sistem tenaga listrik terdiri atas:
 1. Biaya pembelian tenaga listrik
 2. Biaya Pegawai
 3. Biaya Bahan Bakar (60%) dan Material Operasi
 4. Biaya lain-lain
- operasi sistem tenaga listrik perlu dikelola atas dasar pemikiran manajemen operasi yang baik.
- bagaimana menyediakan tenaga listrik yang seekonomis mungkin dengan tetap memperhatikan mutu dan keandalan
- Daya yang dibangkitkan = Beban + Rugi-rugi

DASAR KONVERSI ENERGI

Dasar Elektromagnetik

Sistem Satuan

- Pada awal perkembangan teknik pengukuran
- Dua sistem satuan:
 1. Sistem Metrik → Perancis 1795
 2. Sistem CGS → US dan Inggris
- Sejak tahun 1960 → Sistem Internasional (SI)

Besaran dalam sistem SI

Besaran	Satuan	Simbol
Panjang	meter	m
Massa	kilogram	kg
Waktu	detik	s
Arus Listrik	Ampere	A
Temperatur termodinamika	Derajat kelvin	°K
Intensitas Cahaya	candela	Cd

Secara praktis besaran listrik yang sering digunakan adalah volt, amper, ohm, henry dsb. Kini sistem SI sudah membuat daftar besaran, satuan dan simbol dibidang kelistrikan dan kemagnetan yang berlaku internasional

Besaran kelistrikan dalam SI

Besaran		Satuan	
Nama	Simbol	Nama	Simbol
Arus Listrik	I	ampere	A
Gaya gerak listrik	E	volt	V
Tegangan	V	volt	V
Resistans	R	ohm	Ω
Muatan Listrik	Q	coulomb	C
Kapasitans	C	farad	F
Kuat medan listrik	E	-	V/m
Kerapatan fluks	D	-	C/m ²
Permitivitas	ϵ	-	F/m
Kuat medan magnet	H	-	A/m
Fluks magnet	Φ	weber	wb
Kerapatan Medan Magnet	B	tesla	T
Induktans	L, M	henry	H
Permiabilitas	μ	-	H/m

7 Ukuran standar kelistrikan

1. **Standar ampere**, menurut ketentuan Standar Internasional (SI) adalah arus konstan yang dialirkan pada dua konduktor didalam ruang hampa udara dengan jarak 1 meter, diantara kedua penghantar menimbulkan gaya = 2×10^{-7} newton/m panjang.
2. **Standar resistans**, menurut ketentuan SI adalah kawat alloy manganin resistans 1Ω yang memiliki tahanan listrik tinggi dan koefisien temperature rendah, ditempatkan dalam tabung terisolasi yang menjaga dari perubahan temperatur atmospher.

7 Ukuran standar kelistrikan (lanjutan)

3. **Standar tegangan**, ketentuan SI adalah tabung gelas Weston mirip huruf H memiliki dua elektrode, tabung elektrode positif berisi elektrolit mercury dan tabung elektrode negatif diisi elektrolit cadmium, ditempatkan dalam suhu ruangan. Tegangan elektrode Weston pada suhu 20°C sebesar 1.01858V .
4. **Standar Kapasitans**, menurut ketentuan SI, diturunkan dari standart resistans SI dan standar tegangan SI, dengan menggunakan sistem jembatan Maxwell, dengan diketahui resistans dan frekuensi secara teliti akan diperoleh standar kapasitans (Farad).
5. **Standar Induktans**, menurut ketentuan SI, diturunkan dari standar resistans dan standar kapasitans, dengan metode geometris, standar induktor akan diperoleh.

7 Ukuran standar kelistrikan (lanjutan)

6. **Standar temperature**, menurut ketentuan SI, diukur dengan derajat Kelvin besaran derajat kelvin didasarkan pada tiga titik acuan air saat kondisi menjadi es, menjadi air dan saat air mendidih. Air menjadi es sama dengan $0^{\circ}\text{Celsius} = 273,16^{\circ}\text{Kelvin}$, air mendidih 100°C .
7. **Standar luminasi cahaya**, menurut ketentuan SI adalah Kandela yaitu yang diukur berdasarkan benda hitam seluas 1 m^2 yang bersuhu 2773°C akan memancarkan cahaya dalam arah tegak lurus dengan kuat cahaya sebesar 6×10^5 kandela.

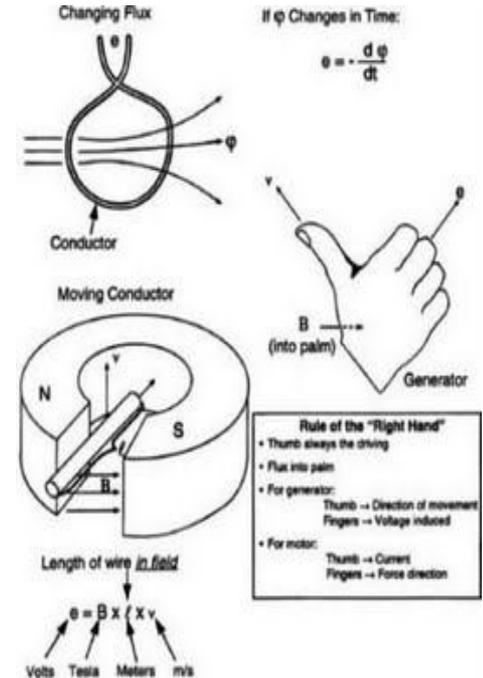
HUKUM DASAR LISTRIK

1. Hukum Faraday
2. Hukum Ampere-Biot-Savart
3. Hukum Lenz
4. Prinsip Konversi Energi Elektromekanik

Hukum Faraday (1791–1867)

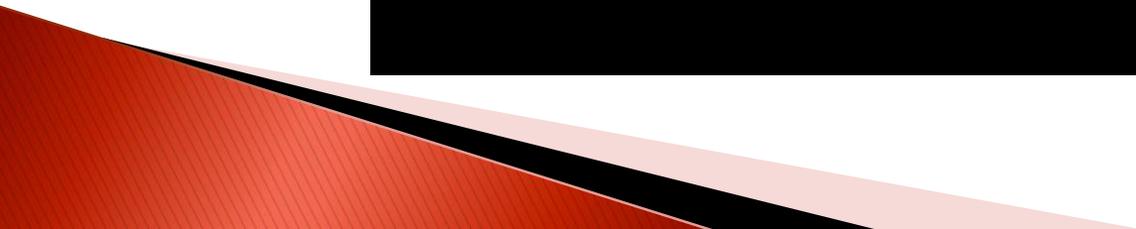
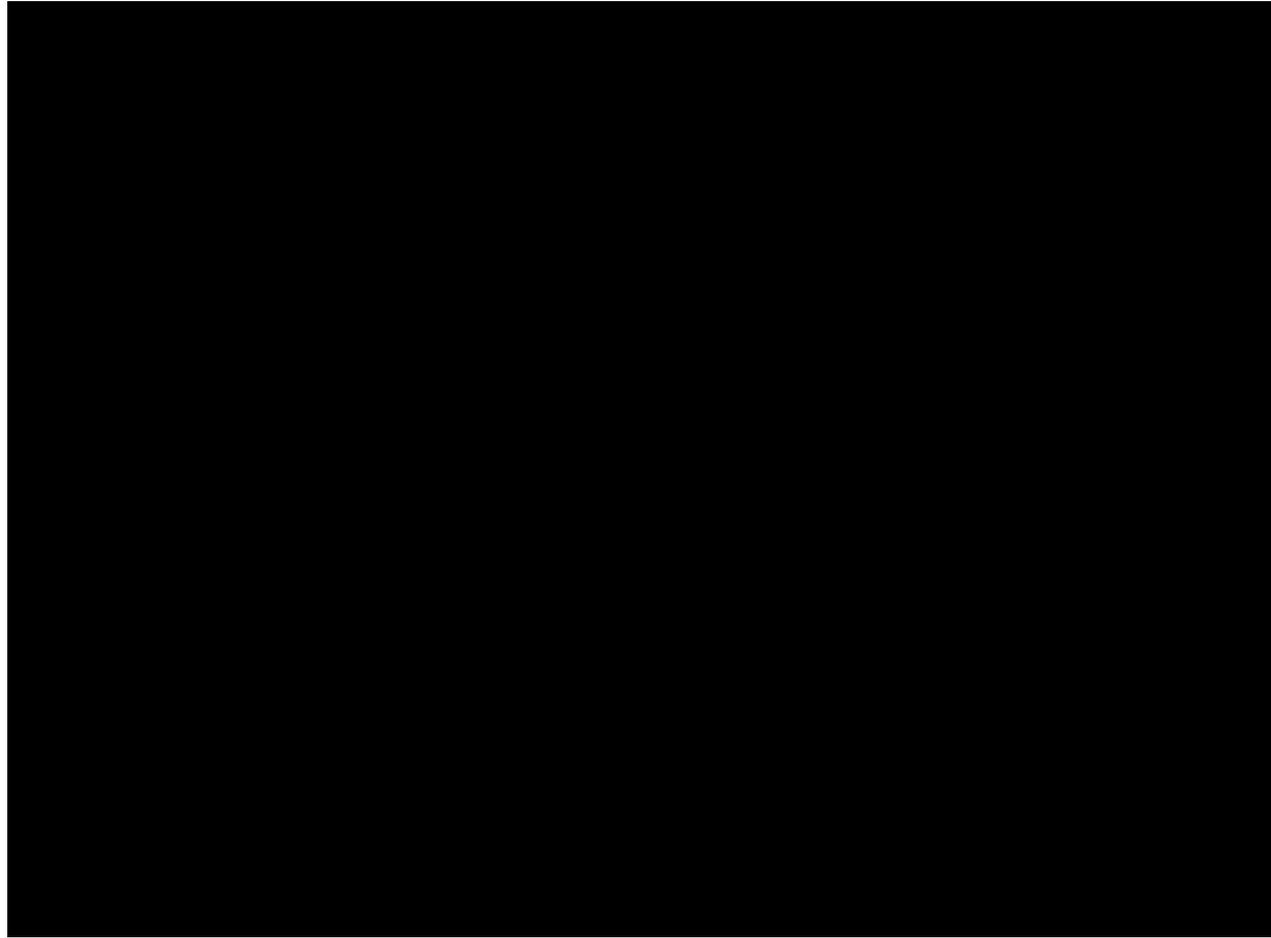
Ilmuan Inggris

- ▶ *Jika sebuah penghantar memotong garis-garis gaya dari suatu medan magnetik (flux) yang konstan, maka pada penghantar tersebut akan timbul tegangan induksi.*
- ▶ *Perubahan flux medan magnetik didalam suatu rangkaian bahan penghantar, akan menimbulkan tegangan induksi pada rangkaian tersebut.*



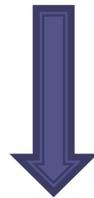
GENERATOR

Generator

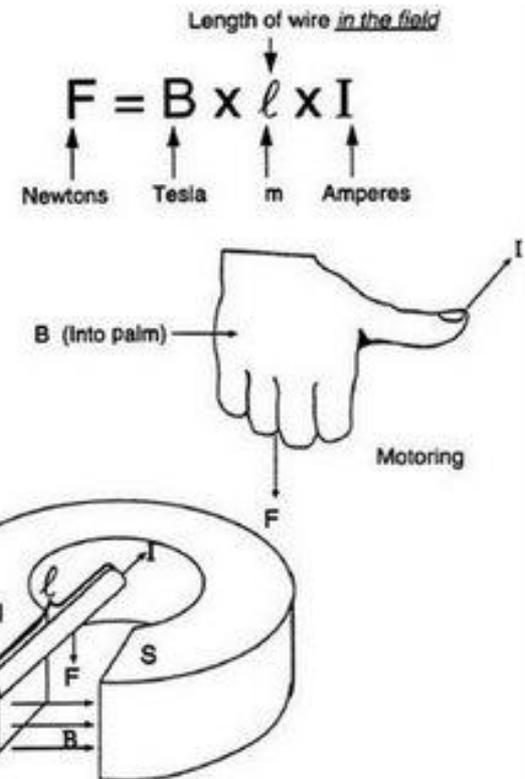


Hukum Ampere – Biot – Savart

- ▶ *“Gaya akan dihasilkan oleh arus listrik yang mengalir pada suatu penghantar yang berada diantara medan magnetik”*

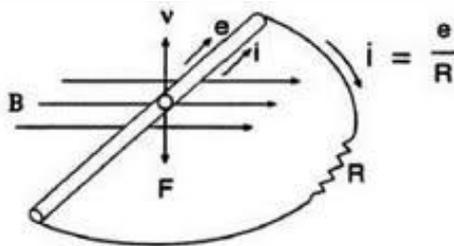


Mesin-mesin LISTRIK



Hukum Lenz (1806 – 1865)

- “*arus induksi elektromagnetik dan gaya akan selalu berusaha untuk saling meniadakan (gaya aksi dan reaksi)*”



1. The upward moving conductor in a magnetic field induces a voltage (Faraday)
2. Closing the circuit generates a current
3. The current creates a force opposing the movement (Ampere and Lenz)

Hint: Use the rule of the palm to show the direction of "F"

This phenomenon explains the torque applied by the generator on the turbine, when the unit is loaded

Induced currents and forces will try to cancel the originating cause

Prinsip Kerja mesin listrik dinamis

Konversi Energi Elektromekanik

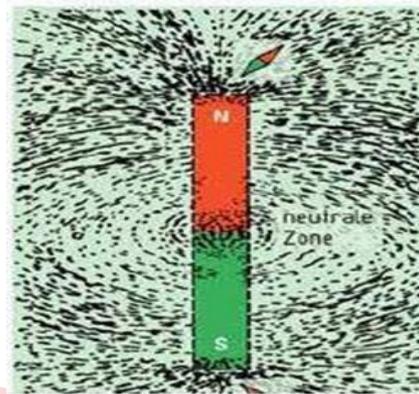


“energi tidak dapat diciptakan, namun dapat berubah bentuk dari satu bentuk energi ke bentuk energi lainnya”

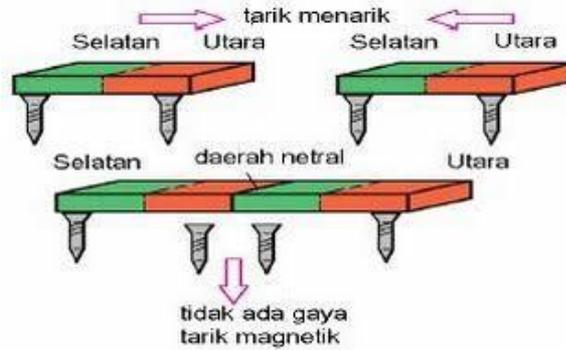
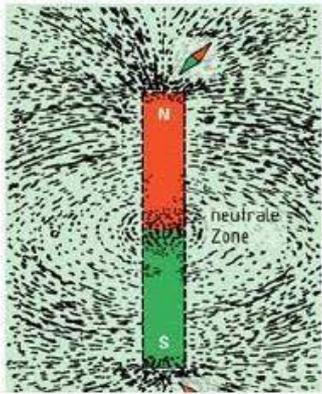
- “Semua energi listrik dan energi mekanik mengalir kedalam mesin, dan hanya sebagian kecil saja dari energi listrik dan energi mekanik yang mengalir keluar mesin (terbuang) ataupun disimpan didalam mesin itu sendiri, sedangkan energi yang terbuang tersebut dalam bentuk panas”*

Prinsip Kemagnetan

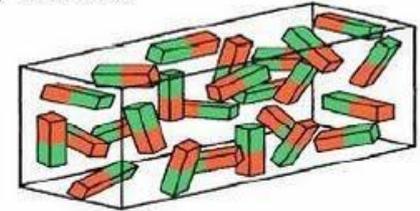
- ▶ Pada sebuah magnet sebenarnya merupakan kumpulan jutaan magnet ukuran mikroskopik yang teratur satu dan lainnya. Kutub utara dan kutub selatan magnet posisinya teratur
- ▶ Logam besi bisa menjadi magnet secara permanen (tetap) atau bersifat magnet sementara dengan cara induksi elektromagnetik. Tetapi ada beberapa logam yang tidak bisa menjadi magnet, misalnya tembaga dan aluminium, dan logam tersebut dinamakan diamagnetik
- ▶ Bumi merupakan magnet alam raksasa, dapat dibuktikan dengan alat yang dinamakan kompas, dimana jarum penunjuk pada kompas akan menunjukkan arah utara dan selatan bumi kita



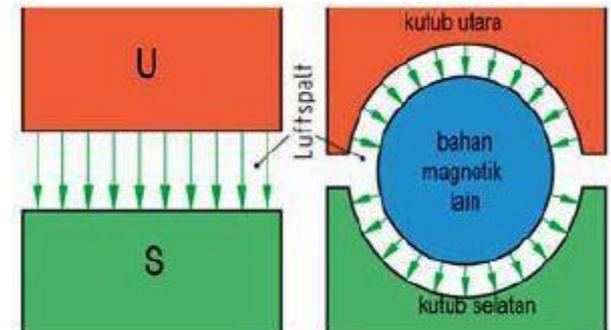
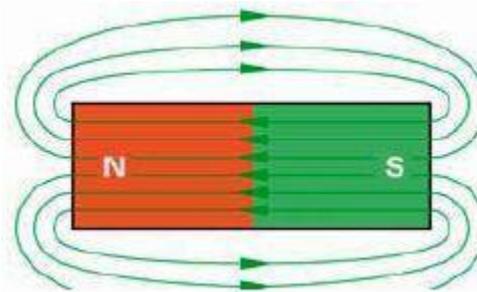
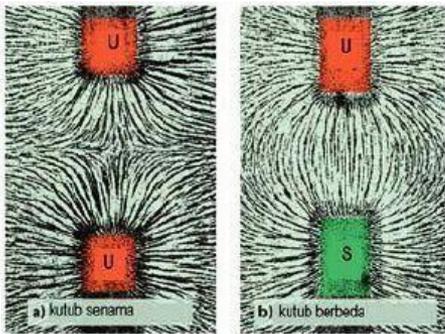
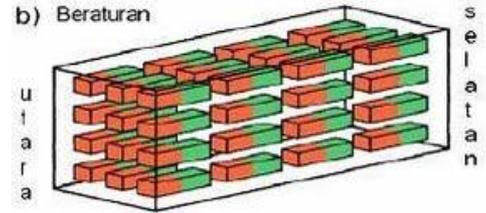
Prinsip Kemagnetan



a) Tidak teratur

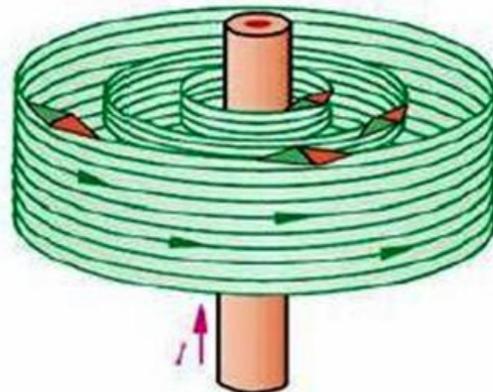


b) Beraturan

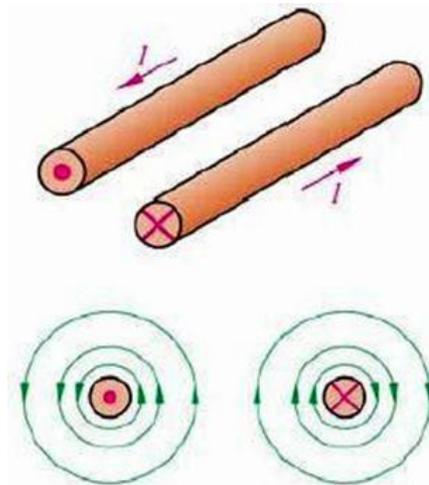
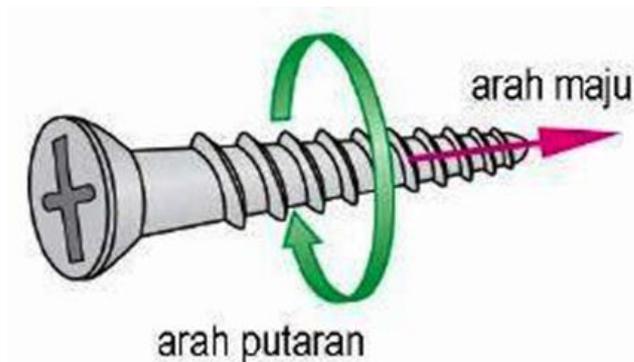


Elektromagnetik

- ▶ Elektromagnet adalah prinsip pembangkitan magnet dengan menggunakan arus listrik
- ▶ Aplikasi praktisnya kita temukan pada motor listrik, speaker, relay dsb
- ▶ Sebatang kawat pada posisi vertikal diberikan arus listrik DC searah panah, maka arus menuju keatas arah pandang (tanda titik). Garis gaya magnet yang membentuk selubung berlapis lapis terbentuk sepanjang kawat. Garis gaya magnet ini tidak tampak oleh mata kita, cara melihatnya dengan serbuk halus besi atau kompas yang didekatkan dengan kawat penghantar tsb



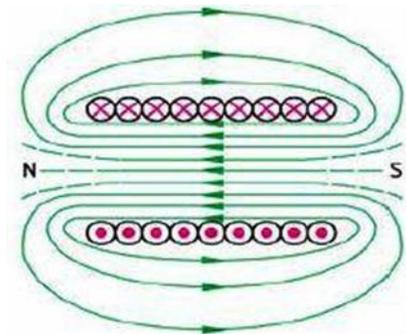
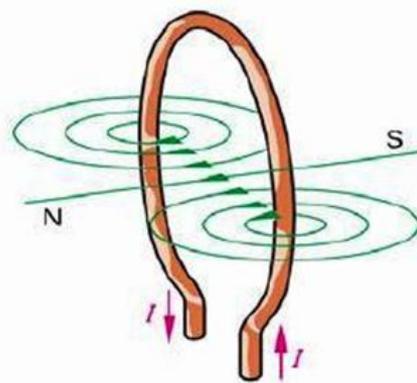
- ▶ Arah medan magnet disekitar penghantar sesuai arah putaran sekrup (James Clerk Maxwell, 1831–1879). arah arus kedepan (meninggalkan kita) maka arah medan magnet searah putaran sekrup kekanan. Sedangkan bila arah arus kebelakang (menuju kita) maka arah medan magnet adalah kekiri.



- ▶ Arah aliran arus listrik DC pada kawat penghantar menentukan arah garis gaya elektromagnet. Arah arus listrik DC menuju kita (tanda titik pada penampang kawat), arah garis gaya elektromagnet melingkar berlawanan arah jarum jam.

Elektromagnetik padabelitan kawat

- ▶ Jika sebuah kawat penghantar berbentuk bulat dialiri arus listrik I sesuai arah panah, maka disekeliling kawat timbul garis gaya magnet yang arahnya secara gabungan membentuk kutub utara dan kutub selatan. Makin besar arus listrik yang melewati kawat, maka akan semakin kuat medan elektromagnetik yang ditimbulkannya.
- ▶ Jika beberapa belitan kawat digulungkan membentuk sebuah coil atau lilitan, dan kemudian dipotong secara melintang maka arah arus ada dua jenis. Kawat bagian atas bertanda silang (meninggalkan kita) dan kawat bagian bawah bertanda titik (menuju kita).



Kaidah tangan kanan

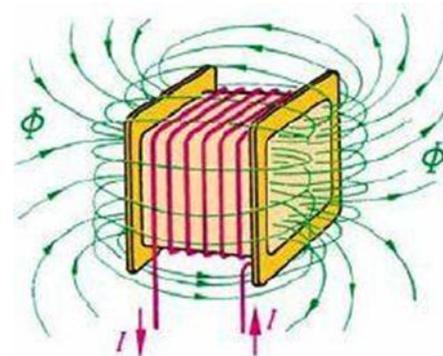
- ▶ Kaidah tangan kanan untuk menjelaskan terbentuknya garis gaya elektromagnet pada sebuah gulungan atau coil dapat dilihat pada gambar 2.19. Dimana sebuah gulungan kawat coil dialiri arus listrik, maka arah arusnya ditunjukkan sesuai dengan empat jari tangan kanan, sedangkan kutub magnet yang dihasilkan ditunjukkan dengan ibu jari untuk arah kutub utara dan kutub selatan arah lainnya.



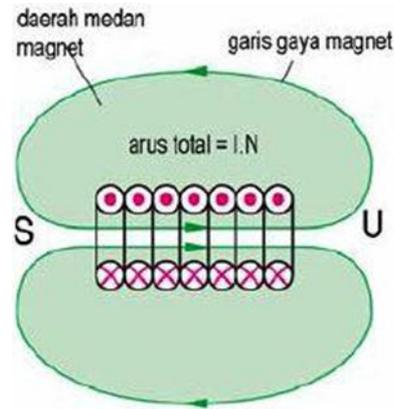
- ▶ Untuk menguatkan medan magnet yang dihasilkan pada gulungan dipasangkan inti besi dari bahan ferromagnet, sehingga garis gaya elektromagnet menyatu. Aplikasinya dipakai pada coil kontaktor atau relay

Fluks Medan Magnet

- ▶ Medan magnet tidak bisa kasat mata namun buktinya bisa diamati dengan kompas atau serbuk halus besi. Daerah sekitar yang ditembus oleh garis gaya magnet disebut gaya medan magnetik atau medan magnetik. Jumlah garis gaya dalam medan magnet disebut fluksi magnetik
- ▶ Menurut satuan internasional besaran fluks magnetik (Φ) diukur dalam Weber, disingkat Wb dan didefinisikan dengan:
- ▶ *"Suatu medan magnet serba sama mempunyai fluks magnetik sebesar 1 weber bila sebatang penghantar dipotongkan pada garis-garis gaya magnet tsb selama satu detik akan menimbulkan gaya gerak listrik (ggl) sebesar satu volt"*



- ▶ Belitan kawat yang dialiri arus listrik DC maka di dalam inti belitan akan timbul medan magnet yang mengalir dari kutub utara menuju kutub selatan, seperti diperlihatkan pada gambar



- ▶ Pengaruh gaya gerak magnetik akan melingkupi daerah sekitar belitan yang diberikan warna arsir. Gaya gerak magnetik (θ) sebanding lurus dengan jumlah belitan (N) dan besarnya arus yang mengalir (I), secara singkat kuat medan magnet sebanding dengan amper-lilit.

$$\theta = I \cdot N$$

Kuat Medan Magnet

- ▶ Dua belitan berbentuk toroida dengan ukuran yang berbeda diameternya. Belitan toroida yang besar memiliki diameter lebih besar, sehingga keliling lingkarannya lebih besar. Belitan toroida yang kecil tentunya memiliki keliling lebih kecil. Jika keduanya memiliki belitan (N) yang sama, dan dialirkan arus (I) yang sama maka gaya gerak magnet ($\Theta = N \cdot I$) juga sama. Yang akan berbeda adalah kuat medan magnet (H) dari kedua belitan diatas.

- ▶ Persamaan kuat medan magnet adalah:

$$H = \frac{\Theta}{l_m} = \frac{I \cdot N}{l_m}$$

- ▶ H = Kuat medan magnet
- ▶ l_m = Panjang lintasan
- ▶ Θ = Gaya gerak magnetik
- ▶ I = Arus mengalir ke belitan
- ▶ N = Jumlah belitan kawat

Kerapatan Fluks

- ▶ Efektivitas medan magnetik dalam pemakaian sering ditentukan oleh besarnya “kerapatan fluksi magnet”, artinya fluksi magnet yang berada pada permukaan yang lebih luas kerapatannya rendah dan intensitas medannya lebih lemah, sedangkan pada permukaan yang lebih sempit kerapatan fluksi magnet akan kuat dan intensitas medannya lebih tinggi
- ▶ Kerapatan fluksi magnet (B) atau induksi magnetik didefinisikan sebagai:
- ▶ “fluksi persatuan luas penampang”. Satuan fluksi magnet adalah Tesla. Persamaan fluksi magnet adalah:
- ▶ $B = \frac{\Phi}{A} \quad T$

B = Kerapatan medan magnet

Φ = Fluksi magnet

A = Penampang inti

Lanjut pada Pokok Bahasan Berikutnya