PEMERINTAH PROVINSI JAWA TIMUR
DINAS PENDIDIKAN
SEKOLAH MENENGAH KEJURUAN NEGERI 6 JEMBER
Jalan PB. Sudirman.No. 114 Telp./Fax. (0336) 441347 Tanggul – Jember 68155
Website : www.smkn6jember.sch.id; E-mail: smknn6.jember@yahoo.com
JEMBER

RENCANA PELAKSANAAN PEMBELAJARAN (RPP)

Sekolah	:	SMK NEGERI 6 JEMBER
Mata Pelajaran	:	FISIKA
Kelas/Semester	:	X / GENAP
Materi	:	Kalor
Alokasi Waktu	:	2 x 3 JP (2 x 3 x 40 menit)

1. Kompetensi Inti

KI 1 : Menghayati dan mengamalkan ajaran agama yang dianutnya.

KI 2 : Mengembangkan perilaku (jujur, disiplin, tanggungjawab, peduli, santun, ramah lingkungan, gotong royong, kerjasama, cinta damai, responsif dan pro-aktif) dan menunjukan sikap sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan bangsa dalam berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial dan alam serta dalam menempatkan diri sebagai lensaan bangsa dalam pergaulan dunia.

KI 3 : Memahami, menerapkan, menganalisis pengetahuan faktual, konseptual, prosedural berdasarkan rasa ingintahunya tentang ilmu pengetahuan, teknologi, seni, budaya, dan humaniora dengan wawasan kemanusiaan, kebangsaan, kenegaraan, dan peradaban terkait penyebab fenomena dan kejadian, serta menerapkan pengetahuan prosedural pada bidang kajian yang spesifik sesuai dengan bakat dan minatnya untuk memecahkan masalah

KI 4 : Mengolah, menalar, dan menyaji dalam ranah konkret dan ranah abstrak terkait dengan pengembangan dari yang dipelajarinya di sekolah secara mandiri, dan mampu menggunakan metoda sesuai kaidah keilmuan

2. Kompetensi Dasar

3.6 Mengevaluasi proses pemuaian, perubahan wujud zat dan perpindahan kalor.

Indikator:

1. Siswa dapat menghitung pertambahan panjang suatu benda oleh karena pertambahan suhu
2. Siswa dapat menghitung kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu

3. Siswa dapat menghitung kalor yang dibutuhkan untuk mengubah wujud
4. Siswa dapat menghitung suhu akhir campuran dua substansi

4.6 Menyaji hasil penyelidikan mengenai perpindahan kalor menggunakan azas black
Indikator :

1. Siswa mengukur kalor yang dilepas oleh sebuah bahan
2. Siswa mengukur kalor yang diterima oleh sebuah bahan
3. Siswa membuktikan Azas Black

1. Materi Ajar

Kalor

2. Sub Materi Ajar

A. KALOR

Kalor adalah energi panas, **yaitu energi yang terkait dengan kelajuan gerak partikel-partikel penyusun benda**. Perlu diketahui bahwa setiap benda tersusun dari partikel-partikel atau butiran-butiran kecil. Partikel tersebut dapat berupa atom atau molekul (gugusan beberapa atom). Partikel-pertikel tersebut selalu bergetar atau bergerak dengan kelajuan tertentu yang sebanding dengan energi kalor yang tersimpan dalam benda tersebut.

Suhu berbeda dengan kalor tetapi sebanding dengan kalor yang dimiliki oleh suatu benda. Suhu adalah **derajat panas suatu benda yang menjadi acuan arah perpindahan kalor**. Besaran suhu berfungsi seperti halnya potensial gravitasi pada mekanika, sedangkan kalor berfungsi sebagai volume air. **Kalor otomatis berpindah dari suhu tinggi ke suhu rendah**, bukan dari kalor tinggi ke kalor rendah, seperti halnya air, air berpindah dari tempat tinggi (berpotensial gravitasi besar) ke tempat rendah (berpotensial gravitasi kecil), walaupun air di tempat tinggi volumenya hanya 1 liter sedangkan air di tempat rendah volumenya 100 m^3 (sebanyak air di kolam renang).

Perubahan kalor dalam suatu benda akan berdampak dua hal pada benda tersebut, yaitu:

- Perubahan suhu yang disertai pemuaian atau penyusutan
- Perubahan wujud yang tidak disertai perubahan suhu

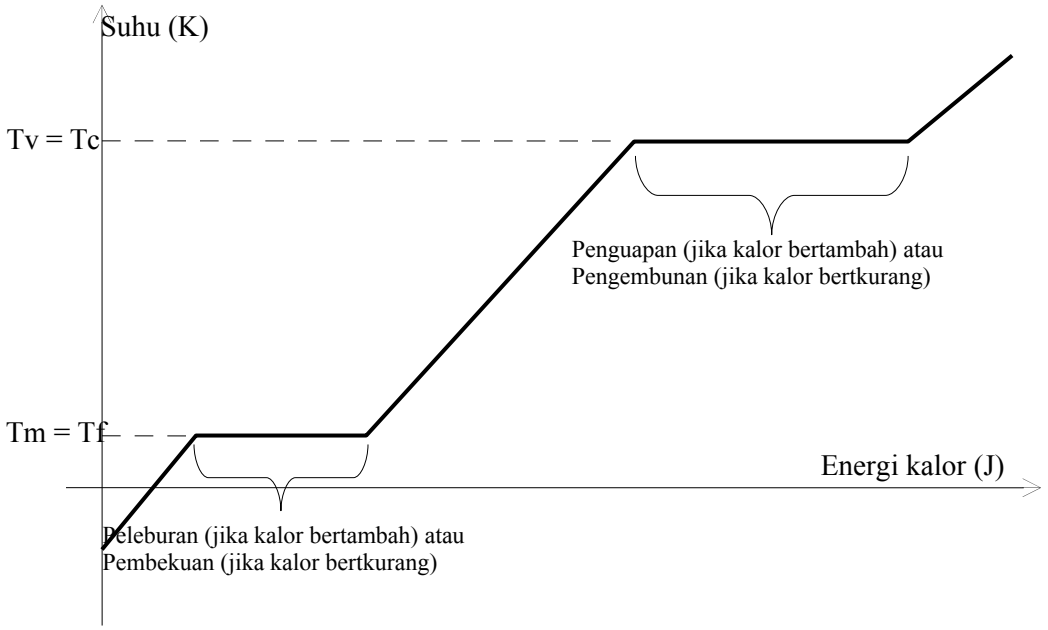
Jadi, jika sebuah benda mengalami perubahan suhu, maka wujudnya tetap dan ukurannya berubah, tetapi jika wujudnya berubah, misal dari padat ke cair, maka suhunya tetap.
Perubahan kalor yang berdampak pada **perubahan suhu** dirumuskan:
$Q = m.c.\Delta T \; atau \; Q = C.\Delta T$

, sedangkan:
$\Delta T = T' - T$
, jadi:
$Q = m.c.\left(T' - T\right) \; atau \; Q = C.\left(T' - T\right)$
, di mana:
Q : kalor (J (joule))
m : massa benda (kg)
c : kalor jenis (J/kg K)
C : kapasitas kalor (J/K)
ΔT : perubahan suhu (K (kelvin) atau °C (derajat celcius))

T' : suhu akhir (K (kelvin))
T : suhu awal (K (kelvin))

Perubahan kalor yang berdampak pada **perubahan wujud** dirumuskan:
$Q = m.L$
Q : kalor (J (joule))
m : massa benda (kg)
L : kalor laten (J/kg)

Wujud benda secara fisis ada tiga macam, yaitu: padat, cair, gas. Perubahan wujud dari padat ke cair disebut melebur atau mencair. Perubahan wujud dari cair ke padat disebut membeku. Besar kalor laten lebur (kalor lebur (L_m)) sama dengan besar kalor laten beku (kalor beku (L_f)). Perubahan wujud dari cair ke gas disebut menguap. Perubahan wujud dari gas ke cair disebut mengembun atau kondensasi. Besar kalor laten uap (kalor uap (L_v)) sama dengan besar kalor laten embun (kalor beku (L_c)).



Tm : titik lebur atau melting point (suhu di mana terjadi peleburan)
Tf : titik beku atau freezing point (suhu di mana terjadi pembekuan)
Tv : titik uap atau vaporizing point (suhu di mana terjadi penguapan)
Tc: titik embun atau condensating point (suhu di mana terjadi pengembunan)

Gambar 1: Kurva perubahan suhu terhadap perubahan kalor dan perubahan wujud yang menyertainya

B. PEMUAIAN

Pemuaian adalah perubahan ukuran pada benda oleh karena perubahan suhu yang dialami oleh benda tersebut. Lawan dari pemuaian adalah penyusutan. Pada dasarnya, semua pemuaian adalah 3 dimensi atau pemuaian volume, karena tidak ada benda yang hanya memiliki 1 dimensi ruang saja atau 2 dimensi ruang saja, semua benda memiliki volume. Namun demikian, untuk menyederhanakan analisa, bagi benda-benda yang hanya didominasi salah satu dimensi ruangnya

digunakan rumus pemuaian 1 dimensi, dan untuk benda-benda yang didominasi 2 dimensi ruangnya digunakan rumus pemuaian 2 dimensi.

- Rumus pemuaian 1 dimensi (pemuaian panjang), misal pada kawat dan batang:

$$L = L_0\left(1+\alpha\left(T'-T\right)\right)$$

- Rumus pemuaian 2 dimensi (pemuaian luas), misal pada lembaran kaca:

$$A = A_0\left(1+\beta\left(T'-T\right)\right)$$

- Rumus pemuaian 3 dimensi (pemuaian volume), misal pada bola atau kubus:

$$V = V_0\left(1+\gamma\left(T'-T\right)\right)$$

, di mana:

$\gamma = 3\,\alpha \; dan \; \beta = 2\,\alpha$

dan

T' : suhu akhir (K)
T : suhu awal (K)
L : panjang akhir (m)
L_0 : panjang awal (m)
α : koefisien pemuaian panjang (/K)
A : luas akhir (m^2)
A_0 : luas awal (m^2)
β : koefisien pemuaian luas (/K)
V : volume akhir (m^3)
V_0 : volume awal (m^3)
γ : koefisien pemuaian volume (/K)

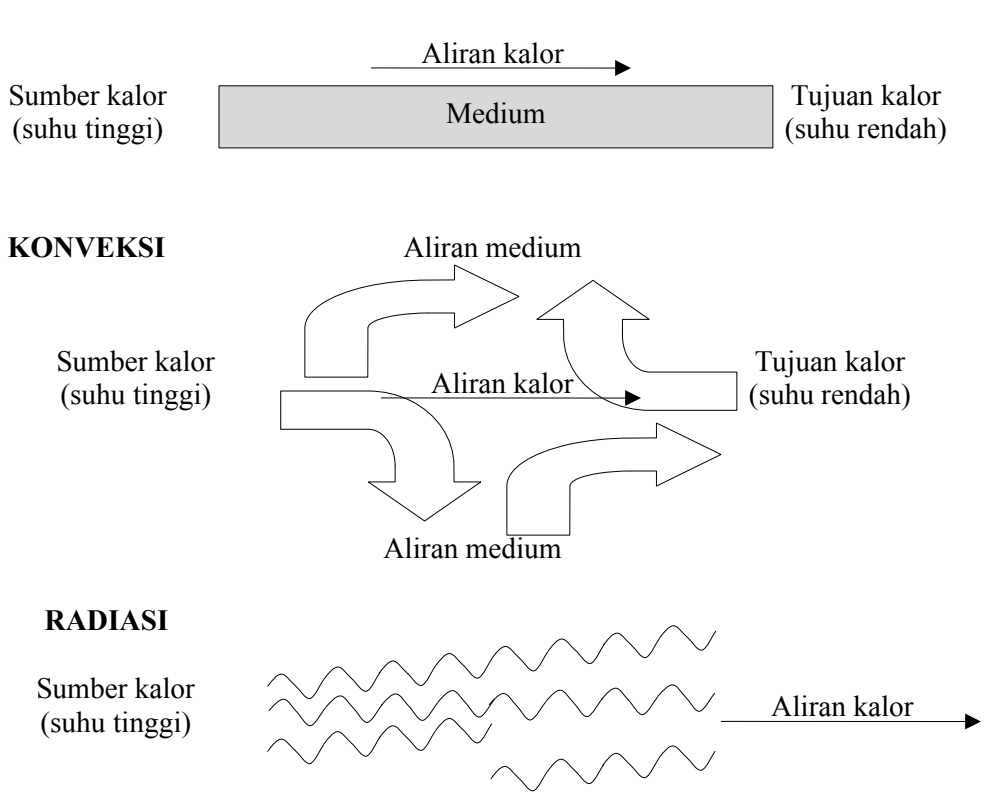
Nilai α dipengaruhi oleh jenis bahan.

Bahan	α in 10^{-6}/K
Raksa (Mercury)	60
Timbal (Lead)	29
Aluminum	23
Kuningan (Brass)	19
Stainless steel	17.3
Tembaga (Copper)	17
Emas (Gold)	14
Nikel	13
Ubin (Concrete)	12
Besi atau Baja	11.1
Baja karbon	10.8
Platinum	9
Kaca	8.5
Air	69
Indium Phosphide	4.6
Tungsten	4.5
Glass, Pyrex	3.3
Silikon	3
Invar	1.2
Intan	1

Secara umum, benda-benda akan memuai jika diberi tambahan kalor atau dipanaskan, dan akan menyusut jika didinginkan atau dikurangi kalornya. Hal itu berlaku pada air kecuali pada suhu antara 0°C sampai 4°C, air mengalami keanehan atau anomali. Pada kisaran suhu 0°C sampai 4°C, air akan memuai jika didinginkan dan akan menyusut ketika dipanaskan. Hal inilah yang membuat es bersuhu 0°C terapung di atas air dingin bersuhu 4°C.

C. PERPINDAHAN KALOR DAN AZAS BLACK

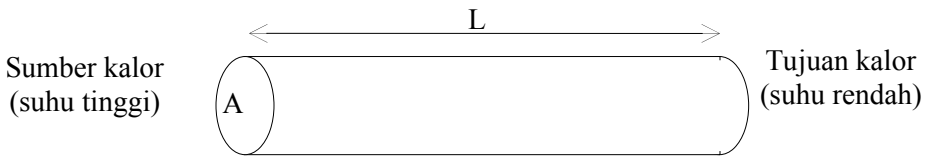
Kalor secara otomatis akan berpindah dari suhu tinggi ke suhu rendah. Perpindahan kalor dapat terjadi dalam 3 cara: konduksi, konveksi, atau radiasi. **Konduksi** adalah perpindahan kalor melalui medium tanpa disertai perpindahan partikel dari (medium) tersebut. Hal ini mirip dengan perpindahan energi melalui gelombang mekanik. **Konveksi** adalah perpindahan kalor melali medium (perantara) dengan disertai perpindahan partikel dari medium tersebut dari sumber panas ke tujuan. Biasanya aliran partikel dalam konveksi adalah sirkular atau berputar, seperti konveksi dalam air yang dipanaskan, asap, atau angin. **Radiasi** adalah perpindahan kalor melalui gelombang elektromagnetik, seperti pada radiasi dari matahari ke bumi.



Gambar 2: Skema perpindahan kalor

Rumus Konduksi adalah:

$$P = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{kA}{L}\left(T_{sumber} - T_{tujuan}\right)$$

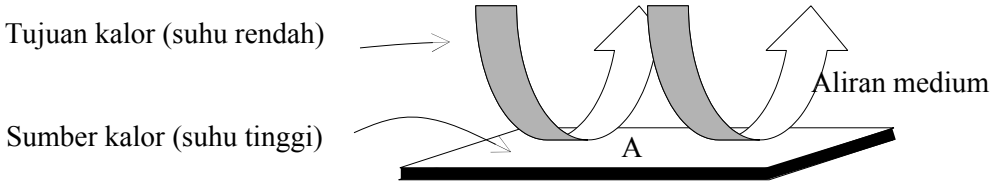


, di mana

P : laju konduksi (J/s atau W(watt))
Q : kalor yang dipindahkan (J)
Δt : selang waktu perpindahan kalor (s)
T_{sumber} : suhu sumber kalor (K)
T_{tujuan} : suhu tujuan perpindahan kalor (K)
k : konduktivitas panas bahan (W/mK)
L : panjang medium (m)
A : luas penampang lintang medium (m^2)

Rumus Konveksi adalah:

$$P=\frac{Q}{\Delta t}=hA\left(T_{sumber}-T_{tujuan}\right)$$



, di mana

P : laju konveksi (J/s atau W(watt))
Q : kalor yang dipindahkan (J)
Δt : selang waktu perpindahan kalor (s)
T_{sumber} : suhu sumber kalor (K)
T_{tujuan} : suhu tujuan perpindahan kalor (K)
h : koefisien konveksi (W/mK)
A : luas penampang kontak antara sumber kalor (suhu tinggi) dengan medium/tujuan yang bersuhu rendah (m^2)

Rumus Radiasi adalah:

$$P=\frac{Q}{\Delta t}=\sigma A T^4$$

, di mana

P : laju radiasi (J/s atau W(watt))
Q : kalor yang dipindahkan (J)
Δt : selang waktu perpindahan kalor (s)
T : suhu sumber kalor (K)
σ : konstanta Stefan-Boltzman = 5,67 x 10^{-8} W/m^2K^4
A : luas permukaan terluar sumber radiasi (m^2)

Setiap terjadi perpindahan kalor (keluar-masuknya kalor dari/ke suatu sistem) prinsip kekekalan energi selalu terpenuhi. Prinsip kekekalan energi dalam perpindahan kalor dinyatakan

dalam **Azas Black**: ”Kalor yang dikeluarkan oleh sumber kalor = Kalor yang diterima oleh tujuan perpindahan kalor”, atau

$Q_{dikeluarkan\ oleh\ sumber} = -Q_{diterima\ oleh\ tujuan}$

Prinsip ini wajib dijadikan bahan pertimbangan dalam setiap menyelesaikan permasalahan yang berkaitan dengan transfer energi, terutama energi panas. Perlu dipahami bahwa tujuan perpindahan kalor mungkin hanya 1 sistem, mungkin juga lebih dari 1 sistem, bahkan bisa jadi salah satu sistem tujuan perpindahan kalor adalah sistem yang tidak terduga. Sebagai contoh, pemanasan air dalam panci, ketika pemanasan berlangsung tujuan kalor tidak hanya air dan panci, tetapi juga udara sekitar. Oleh karena itu, agar air dapat mendidih, laju pemanasan harus lebih cepat daripada laju pendinginan (laju serapan kalor oleh udara sekitar). Itulah mengapa pemanas listrik untuk mendidihkan air, seperti *rice cooker* berdaya tinggi sekitar 300 W.

Perlu dipahami bahwa satuan SI dari suhu adalah kelvin (K), bukan derajat celcius (°C). Namun demikian, derajat celcius tetap dapat dipakai dalam rumus-rumus yang melibatkan **selisih suhu**, bukan suhu tunggal. Hal itu karena

$T_K = T_{^\circ C} + 273$

, di mana

T_K : suhu dalam satuan kelvin

$T_{^\circ C}$: suhu dalam satuan derajat celcius

Angka selisih suhu, misal suha akhir dan suhu awal, dalam satuan kelvin sama dengan selisih suhu dalam satuan derajat celcius.

3. **Metode Pembelajaran**
   1) Model : discovery learning
   2) Pendekatan : saintifik
   3) Metode : observasi, diskusi, presentasi, tanya jawab
4. **Media, Alat dan Sumber Belajar**
   1) Media : pembakar bunsen, beaker glass, statip, termometer, LKS
   2) Alat/Bahan : air, korek api
   3) Sumber Belajar:
      - Diktat yang dibuat oleh guru.

PERTEMUAN 1 (3 X 40 MENIT)

1. **Tujuan Pembelajaran**
   1. Setelah melakukan percobaan dan diskusi siswa dapat menemukan dengan baik bahwa kalor yang dilepas sama oleh sebuah bahan dengan kalor yang diterima oleh bahan lain yang dicampurkan dengan bahan pertama tersebut.

2. **Langkah-langkah Pembelajaran**
   1. **Pendahuluan (45 menit)**
   1) Berdoa dan memberikan salam.

2) Mengabsen siswa dan menanyakan perihal kondisi kesehatan siswa yang hadir dan yang tidak masuk.
3) Apersepsi dan motivasi
   a) Guru bertanya kepada siswa tentang bagaimana mengurangi suhu minuman, misal: kopi, yang terlalu panas agar dapat segera diminum.

4) Guru menyampaikan tujuan pembelajaran.
5) Guru membagi kelas menjadi 4 kelompok.
6) Guru membagikan perangkat praktek dan LKS kepada setiap kelompok
7) Guru memberikan penjelasan umum tentang bagaimana melakukan praktikum

2. Kegiatan Inti (75 menit)

SINTAK PEMBELAJARAN	KEGIATAN PEMBELAJARAN	DURASI
	Siswa mengamati media praktek kalor.	10’
Identifikasi masalah	1. Siswa mengajukan pertanyaan-pertanyaan tentang media praktek yang dihadapi. 2. Guru memberikan umpan balik kepada siswa tentang pertanyaan-pertanyaan yang hendaknya disampaikan oleh siswa dengan memberikan dua pertanyaan yang harus dijawab oleh siswa di pertamuan kedua dengan menggunakan pengetahuan yang mereka dapatkan selama dua pertemuan. Pertanyaan-pertanyaan itu adalah: A. Apakah penyebab perpindahan kalor? B. Bagaimanakah besar kalor yang berpindah dari satu benda ke benda lain jika kedua benda tersebut dicampurkan?	60’
Manipulasi (pengumpulan data)	1. Siswa secara berkelompok mengamati melakukan praktikum kalor dengan prosedur sesuai LKS. 2. Guru memberikan penjelasan kepada siswa jika terdapat siswa yang kurang memahami media dan/atau LKS.	
Generalisasi 1	1. Siswa secara berkelompok mendiskusikan hasil pengamatan untuk membuktikan setiap jawaban mereka secara matematis (kuantitaif) atau kualitatif. 2. Siswa secara berkelompok mendiskusikan kesimpulan hasil pengamatan.	

3. Penutup (5 menit)

- Guru mempersilahkan siswa untuk mengumpulkan media dan LKS.
  - Guru menanyakan kepada siswa tentang bagaimana pembelajaran pada hari itu, apakah menyenangkan dan apakah berkesan.
  - Guru menyampaikan bahwa pada pertemuan kedua siswa akan menyampaikan hasil praktikumnya di depan kelas dalam rangka menyimpulkan arah perpindahan kalor dan besar kalor yang berpindah dari satu bahan ke bahan lain yang bercampur.
  - Guru dan siswa mengakhiri pembelajaran dengan berdoa lalu saling mengucapkan salam.

PERTEMUAN 2 (3 X 40 MENIT)

1. **Tujuan Pembelajaran**
   1. Setelah melakukan diskusi siswa dapat menghitung kalor dengan baik
   2. Setelah melakukan diskusi siswa dapat menghitung laju perpindahan kalor dengan baik.
   3. Setelah melakukan diskusi siswa dapat menerapkan azas Black dengan baik.

2. **Langkah-langkah Pembelajaran**
   1. **Pendahuluan (40 menit)**

   1) Berdoa dan memberikan salam.
   2) Mengabsen siswa dan menanyakan perihal kondisi kesehatan siswa yang hadir dan yang tidak masuk.
   3) Apersepsi dan motivasi
      a) Guru menanyakan tentang pengalaman siswa pada saat praktikum di pertemuan pertama.
      b) Guru menanyakan apakah perbedaan antara gelas minuman dingin dan gelas minuman panas dan mengapa perbedaan tersebut harus ada.

   4) Guru menyampaikan tujuan pembelajaran.
   5) Guru menyuruh siswa untuk duduk berkelompok sesuai kelompoknya di pertemuan 1.

   2. **Kegiatan Inti (75 menit)**

SINTAK PEMBELAJARAN	KEGIATAN PEMBELAJARAN	DURASI
Verifikasi	1. Perwakilan setiap kelompok menyajikan rangkuman jawaban-jawaban di LKS dalam forum diskusi kelas.	20’
Generalisasi 2	1. Guru dan siswa menyimpulkan penyebab perpindahan kalor.. 2. Guru dan siswa menyimpulkan hubungan antara kalor yang berpindah dari benda bersuhu tinggi ke benda bersuhu rendah .	10’
Aplikasi	1. Guru dan siswa melakukan diskusi tentang pengaruh luas penampang lintang, panjang, dan jenis bahan sebuah benda terhadap laju konduksi panas benda tersebut jika digunakan sebagai jembatan perpindahan kalor. 2. Guru dan siswa melakukan diskusi tentang pengaruh luas permukaan sumber kalor yang kontak dengan fluida dengan laju konveksi melalui fluida tersebut. 3. Guru dan siswa melakukan diskusi tentang pengaruh luas permukaan benda pijar dan suhu benda pijar dengan laju radiasi. 4. Siswa mengerjakan ulangan harian	45’

3. Penutup (5 menit)

- Guru mempersilahkan siswa untuk mengumpulkan lembar jawaban ulangan harian.
- Guru menyampaikan pertemuan berikutnya siswa akan mengikuti UAS.
- Guru dan siswa mengakhiri pembelajaran dengan berdoa lalu saling mengucapkan salam.

6. Penilaian

a. Jenis/Teknik Penilaian
- KI 3 : tes tulis/pilihan ganda
- KI 4 : lembar pengamatan

b. Bentuk Instrumen dan instrumen
- KI 3 : Tes Pilihan Ganda (*Terlampir*)
- KI 4 :

  Kelas :……..

  Pertemuan :……..

Kelompok	Aspek yang dinilai					Keterangan
	(A) Suhu	(B) Kalor	(B) Kesimpulan tentang penyebab perpindahan kalor	(C) Kesimpulan tentang arah perpindahan kalor	(D) Kesimpulan tentang hubungan antara kalor yang dilepas dan kalor yang diterima	
1						
2						
…						

Rubrik:

a. Nilai poin A:
   0: Tidak mengukur sama sekali
   80: Mengukur suhu awal atau suhu akhir saja
   100: Mengukur suhu awal dan suhu akhir
b. Nilai poin B:
   0: Tidak menghitung sama sekali
   80: Menghitung kalor yang dilepas atau kalor yang diterima saja
   100: Menghitung kalor yang dilepas dan kalor yang diterima saja
c. Nilai poin C:
   0: Tidak membuat kesimpulan sama sekali
   90: Membuat kesimpulan hanya berdasarkan teori
   100: Membuat kesimpulan berdasarkan data
d. Nilai poin D:
   0: Tidak membuat kesimpulan sama sekali
   90: Membuat kesimpulan hanya berdasarkan teori
   100: Membuat kesimpulan berdasarkan data
e. Nilai poin E:
   0: Tidak membuat kesimpulan sama sekali
   90: Membuat kesimpulan hanya berdasarkan teori
   100: Membuat kesimpulan berdasarkan data
f. Nilai Total = (A+B+C+D+E)/5.

Jember, 2 Januari 2020

Mengetahui,
Kepala Sekolah

Dra. PRIYAHYU HARTANTI, M.Pd.
Pembina Utama Muda
NIP. 19640717 198903 2 014

Guru Mata Pelajaran

ABDUL HAYYI, S.Pd.
NIP 19731126199903 1 001

PEMERINTAH PROVINSI JAWA TIMUR
DINAS PENDIDIKAN
SEKOLAH MENENGAH KEJURUAN NEGERI 6 JEMBER
Jalan PB. Sudirman.No. 114 Telp./Fax. (0336) 441347 Tanggul – Jember 68155
Website : www.smkn6jember.sch.id; E-mail: smknn6.jember@yahoo.com
JEMBER

RENCANA PELAKSANAAN PEMBELAJARAN (RPP)

Sekolah : SMK NEGERI 6 JEMBER
Mata Pelajaran : FISIKA
Kelas/Semester : X / GENAP
Alokasi waktu : 3 x 3 x 45 menit (3 Pertemuan)

A. Kompetensi Inti

KI 3:
Memahami, menerapkan dan menganalisis pengetahuan faktual, konseptual, dan prosedural berdasarkan rasa ingin tahunya tentang ilmu pengetahuan, teknologi, seni, budaya, dan humaniora dalam wawasan kemanusiaan, kebangsaan, kenegaraan, dan peradaban terkait penyebab fenomena dan kejadian dalam bidang kerja yang spesifik untuk memecahkan masalah.

KI 4:
Mengolah, menalar, dan menyaji dalam ranah konkret dan ranah abstrak terkait dengan pengembangan dari yang dipelajarinya di sekolah secara mandiri, dan mampu melaksanakan tugas spesifik di bawah pengawasan langsung.

B. Kompetensi Dasar

3.7 Menganalisis konsep listrik statis dalam bidang teknologi informasi dan komunikasi.
4.7 Mengatasi berbagai masalah yang diakibatkan oleh listrik statis pada komponen-komponen teknologi informasi dan komunikasi.

C. Indikator Pencapaian Kompetensi

KD 3.7:
1. Menjelaskan gejala-gejala kelistrikan dengan benar
2. Menerapkan hukum Coulomb dan hukum kekekalan energi dalam menganalisa fenomena kelistrikan
3. Menjelaskan listrik statis dalam teknologi informasi dan komunikasi

KD 4.7:
1. Mempresentasikan masalah listrik statis dalam teknologi informasi dan komunikasi
2. Mempresentasikan cara mengatasi masalah listrik statis dalam teknologi informasi dan komunikasi yang ditampilkan.

D. Materi Pembelajaran

Materi Listrik Statis

A. Muatan Listrik

Benda-benda di sekitar kita cenderung bersifat netral dari sifat kelistrikan. Akan tetapi, suatu saat benda-benda tersebut dapat menunjukkan gejala-gejala kelistrikan, seperti: menarik rambut kita atau menarik kertas. Benda-benda yang menunjukkan gejala-gejala kelistrikan tersebut dikatakan **bermuatan listrik**. Lalu bagaimanakah benda netral kemudian menjadi tidak netral?

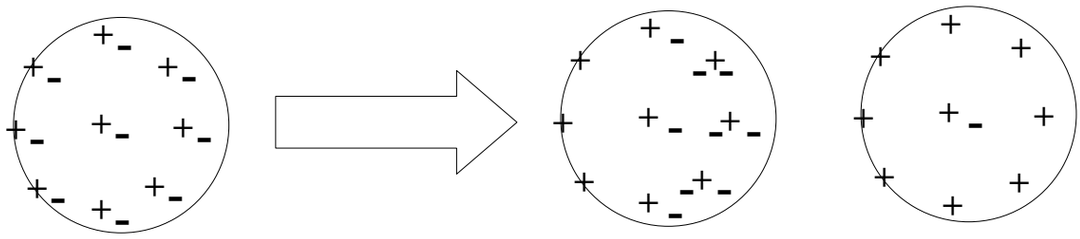
Teori yang populer selama ini adalah bahwa pada benda netral terdapat partikel-partikel pembawa muatan, ada sekelompok partikel pembawa muatan positif ada sekelompok partikel pembawa muatan negatif, jumlah pembawa muatan positif berjumlah sama dengan pembawa muatan negatif, besar muatan per butir pembawa muatan positif juga sama dengan besar muatan per butir pembawa muatan negatif.

Pembawa muatan positif dikenal sebagai **proton** sedangkan pembawa muatan negatif dikenal sebagai **elektron.** Proton tidak dapat berpindah tempat karena proton adalah inti atom (partikel penyusun benda) yang massanya (massa proton 6,67 x 10^{-27} kg) mendominasi massa atom sehingga proton menjadi "kerangka" dari sebuah benda. Elektron dapat berpindah tempat karena elektron massanya sangat kecil (massa elektron 9, x 10^{-31} kg) dan hanya berfungsi sebagai pengiring inti dan perekat antar inti atom dalam sebuah benda. Bayangkan jika proton dari sebuah benda padat berpindah tempat atau mengalir; tentu benda tersebut akan berantakan bentuknya ketika dialiri arus listrik atau diberi muatan listrik.

Secara garis besar, gejala kelistrikan adalah salng menolak atau saling menariknya benda-benda non logam atau logam yang berdekatan. Benda-benda bermuatan sejenis jika didekatkan akan saling menolak, sedangkan benda-benda berlaianan jenis akan saling menarik jika didekatkan, di mana hanya terdapat dua jenis muatan, yaitu: muatan **positif (+)** dan **negatif (-)**.

B. Elektrifikasi

Proses pengubahan benda netral menjadi bermuatan listrik disebut sebagai **elektrifikasi**. Terdapat dua jenis elektrifikasi, yaitu polarisasi dan ionisasi. **Polarisasi** adalah proses pemusatan elektron-elektron suatu benda ke satu titik sehingga kerapatan elektron di sekitar titik itu meningkat dan kerapatan elektron di titik yang lain berkurang. Akibat dari polarisasi adalah munculnya kutub negatif dan kutub positif pada benda tersebut. Jumlah elektron pada benda yang mengalami polarisasi adalah sama dengan jumlah elektron benda tersebut ketika netral. **Ionisasi** adalah proses pengubahan jumlah elektron suatu benda sehingga benda tersebut bermuatan negatif jika jumlah elektronnya ditambah atau bermuatan positif jika jumlah elektronnya dikurangi.

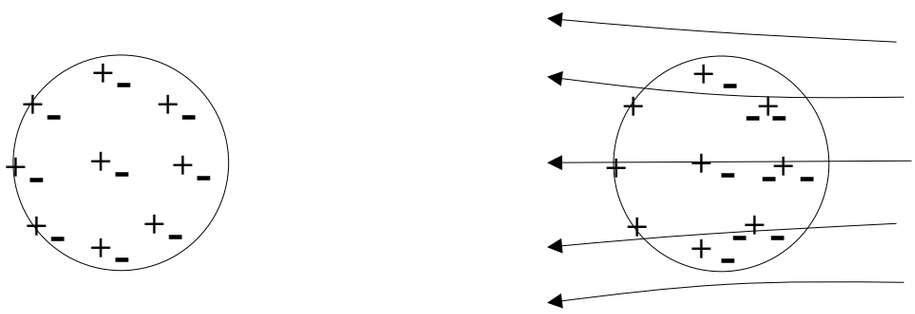


Bola A **netral**Bola A **terpolarisasi**Bola B **bermuatan** + oleh bola B

Gambar 1. Polarisasi dengan cara mendekatkan benda netral dengan benda bermuatan listrik.

B.1. Polarisasi

Polarisasi dilakukan dengan cara mendekatkan benda netral dengan benda bermuatan listrik, seperti pada Gambar 1, atau menempatkan benda netral tersebut pada medan listrik di mana garis-garis gaya listriknya cenderung searah atau menuju suatu arah tertentu walaupun tidak saling sejajar, seperti pada Gambar 2.



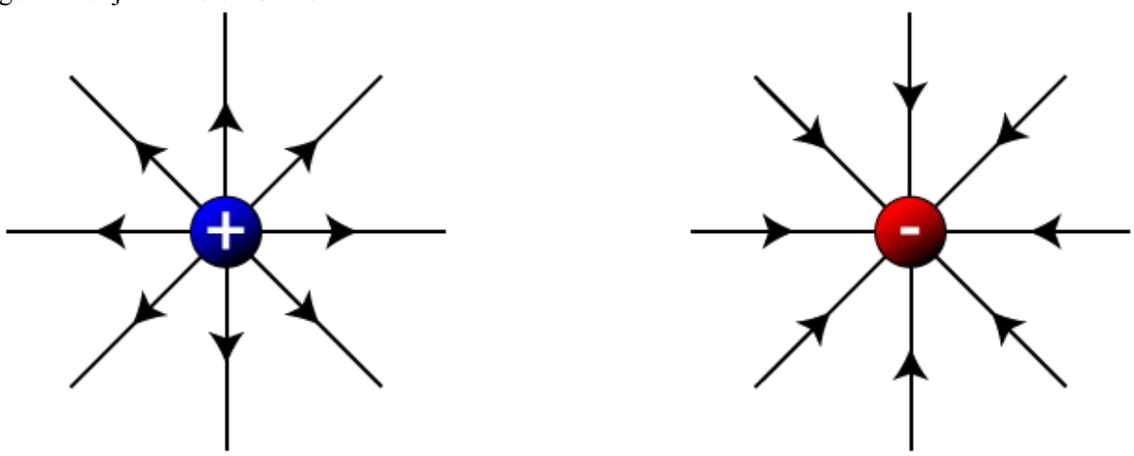
Bola A **netral**Bola A **terpolarisasi** oleh medan listrik

Gambar 2. Polarisasi cara menempatkan benda netral pada medan listrik $\vec{E}$ yang arah garis-garis gayanya cenderung ke kiri

Gambar 1 menunjukkan bahwa elektron pada bola A yang sebelumnya terdistribusi merata kemudian elektron-elektron mengumpul ke satu titik (di sebelah kanan) karena tertarik oleh muatan-muatan positif pada bola B yang memang bermuatan positif karena jumlah elektron pada bola B kurang dari jumlah proton bola B. Pada saat itu dapat dikatakan bahwa bola A mengalami polarisasi muatan listrik, jumlah elektronnya tetap sama dengan jumlah protonnya tetapi elektron tersebut tidak terdistribusi merata seperti protonnya.

Gambar 2 menunjukkan bahwa elektron bergerak berlawanan dengan arah medan listrik lalu mengumpul di sebelah kanan. Perlu diketahui bahwa daerah di sekitar benda bermuatan pasti merupakan **medan**

listrik. Adapun arah garis-garis gaya listrik dalam medan listrik di sekitar muatan tunggal positif dan negatif ditunjukkan oleh Gambar 3.



Garis-garis gaya listrik di sekitar muatan positif | Garis-garis gaya listrik di sekitar muatan negatif

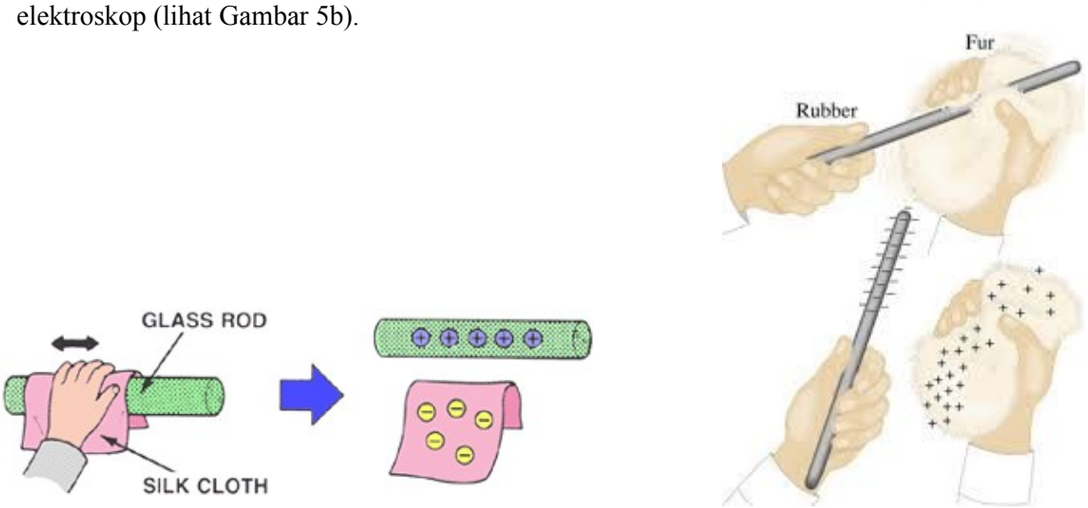
Gambar 3. Medan listrik di sekitar muatan positif dan negatif.

Jika dihubungkan dengan Gambar 3, dapat dikatakan bahwa peristiwa pada Gambar 2 terjadi karena sebenarnya elektron bergerak menuju sumber medan listrik di sebelah kanan yaitu muatan positif atau bergerak menjauhi muatan negatif sebagai sumber medan listrik di sebelah kiri.

B.2. Ionisasi

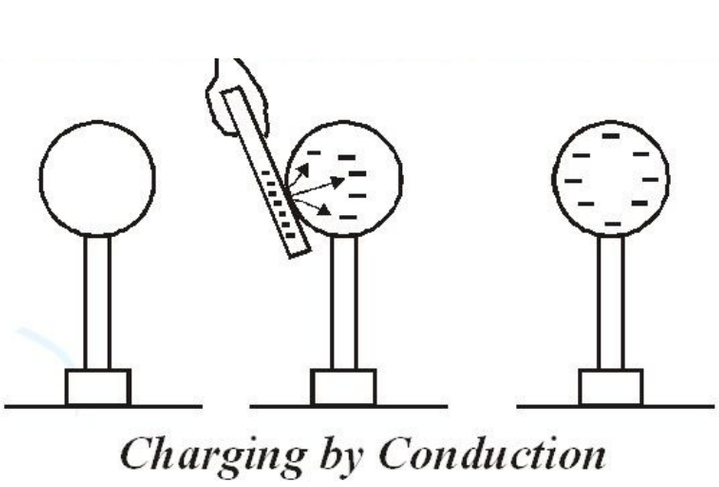
Ionisasi dapat dilakukan dengan cara:

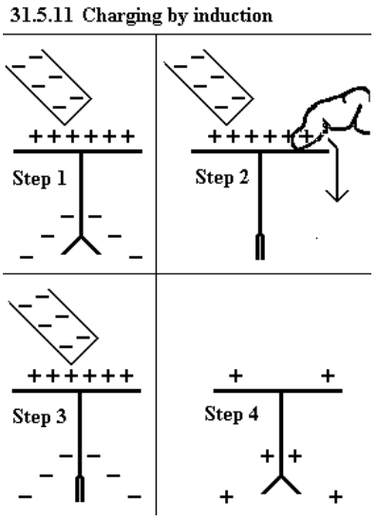
- mengosok-gosok benda dengan benda lain yang berbeda jenis, misal: kaca dengan sutra atau karet dengan kain wool (lihat Gambar 4),
- menyinari suatu benda netral sehingga banyak elektron yang terlepas (tereksitasi oleh gelombang elektromagnetik), misal: ember plastik disinari dengan sinar matahari kemudian ember itu bermuatan listrik karena elektronnya banyak yang hilang,
- menempelkan benda konduktor netral dengan benda konduktor lain yang bermuatan (lihat Gambar 5a),
- menempelkan benda konduktor dalam keadaan terpolarisasi oleh medan listrik dengan ground (tanah / bumi / manusia atau konduktor lain ukurannya sangat besar) kemudian melepaskan ground tersebut dalam keadaan benda konduktor tersebut masih dalam pengaruh medan listrik, seperti pada elektroskop (lihat Gambar 5b).



Gelas digisik dengan kain sutra | Batang karet digosok dengan kain berbulu

Gambar 4. Ionisasi (*charging*) dengan cara menggosok benda dengan benda jenis lain.





(a) (b)

Gambar 5. a) Ionisasi (*charging*) dengan cara menempelkan benda bermuatan ke konduktor netral, **b)** Ionisasi dengan cara menempelkan ground (jari tangan) ke konduktor yang terpolarisasi oleh isolator bermuatan (muatan negatif).

C. Medan dan Gaya Listrik

C.1. Medan Listrik

Seperti yang telah dijelaskan di atas, daerah di sekitar medan listrik merupakan medan listrik. Medan listrik tersebut kaya akan garis-garis gaya listrik. Secara mendasar, garis-garis gaya listrik dari sebuah muatan listrik tunggal telah ditunjukkan oleh Gambar 3. Pada gambar tersebut terlihat bahwa garis-garis gaya listrik menyebar secara radial menjauhi sumbernya jika sumbernya tersebut adalah muatan positif dan secara radial pula menuju sumbernya adalah muatan negatif.

Kekuatan medan listrik (E) di suatu titik dalam medan lisrik ditentukan oleh besar muatan (q), jarak (r) titik tersebut dari sumber, dan permitivitas elektrik (ε (baca:epsilon))dari medium medan listrik, dengan rumus:

$$E = \frac{|q|}{4\pi\varepsilon r^2}$$

Jika mediumnya adalah ruang hampa atau udara maka:

$$E = \frac{|q|}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$$

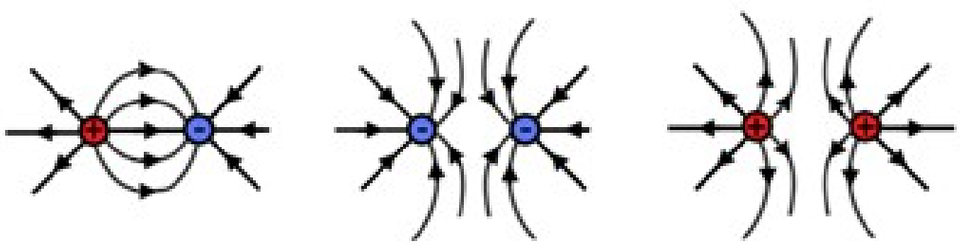
dengan $\varepsilon_0 = 8{,}85 \times 10^{-12} C^2 N^{-1} m^{-2}$, sehingga kuat medan listrik di ruang hampa menjadi:

$$E = 9 \times 10^9 N C^{-2} m^2 \times \frac{|q|}{r^2}$$

Tanda | | pada q adalah tanda mutlak yang artinya mempositif-kan q, misal: |-2| = 2 dan |2| = 2.

Satuan SI dari kuat medan listrik (E) adalah N/C atau newton per coulomb.

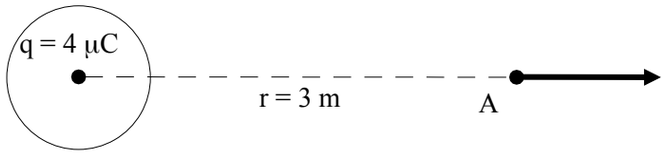
Adapun pada kenyataannya, muatan listrik dalam suatu sistem tidak hanya satu butir melainkan trilyunan. Bentuk (*contour*) dari medan listrik dapat berubah sesuai dengan komposisi dari muatan-muatan listriknya. Contoh variasi medan listrik dapat dilihat pada Gambar 6.



(a) (b)(c)

Gambar 6. a) Medan listrik dari muatan positif dan negatif yang berdekatan, **b)** Medan listrik dari dua muatan negatif yang berdekatan, **c)** Medan listrik dari dua muatan positif yang berdekatan.

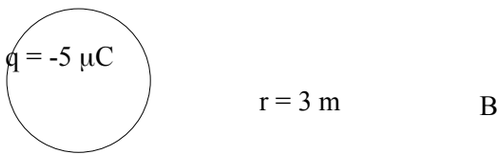
Contoh Soal 1:
Terdapat sebuah muatan listrik 4 μC. Berapakah kuat medan listrik di titik A (di udara) yang berjarak 3 m dari muatan tersebut dan gambarkan vektor medan listriknya?
Jawab:



Vektor medan listrik arahnya menjauhi sumber karena muatan sumber adalah positif.
Kuat medan listrik di titik A adalah:

$$E = 9\times10^{9}\,N\,C^{-2}\,m^{2}\,\frac{4\,\mu C}{(3\,m)^{2}} = 9\times10^{9}\,N\,C^{-2}\,m^{2}\,\frac{4\times10^{-6}\,C}{9\,m^{2}} = 4\times10^{3}\,N\,C^{-1}$$

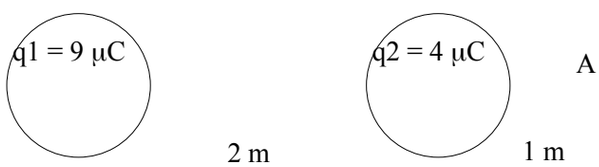
Contoh Soal 2:
Terdapat sebuah muatan listrik -5 μC. Berapakah kuat medan listrik di titik B (di udara) yang berjarak 3 m dari muatan tersebut dan gambarkan vektor medan listriknya?
Jawab:



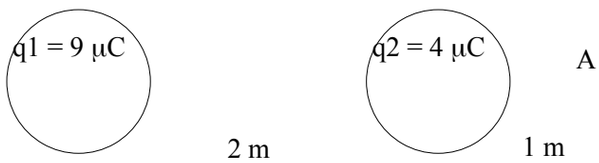
Vektor medan listrik arahnya mendekatii sumber karena muatan sumber adalah negatif.
Kuat medan listrik di titik B adalah:

$$E = 9\times10^{9}\,N\,C^{-2}\,m^{2}\,\frac{|-5\,\mu C|}{(3\,m)^{2}} = 9\times10^{9}\,N\,C^{-2}\,m^{2}\,\frac{5\times10^{-6}\,C}{9\,m^{2}} = 5\times10^{3}\,N\,C^{-1}$$

Contoh Soal 3:
Terdapat dua buah muatan listrik 9 μC dan 4 μC dan jarak keduanya adalah 2 m. Berapakah kuat medan listrik di titik A (di udara), seperti pada gambar berikut?:



Jawab:



Vektor medan listrik $\vec{E_1}$ (dari q_1) dan $\vec{E_2}$ (dari q_2) arahnya menjauhi sumber masing-masing karena kedua muatan sumber tersebut adalah positif. Kuat medan listrik di titik A adalah:

$$E_{total} = E_1 + E_2$$

$$E_1 = 9\times10^{9}\,N\,C^{-2}\,m^{2}\,\frac{9\,\mu C}{(2m+1\,m)^{2}} = 9\times10^{9}\,N\,C^{-2}\,m^{2}\,\frac{9\times10^{-6}\,C}{(3\,m)^{2}}$$

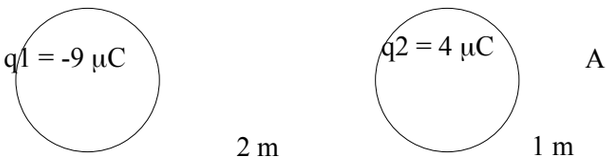
$$E_1 = 9\times10^{9}\,N\,C^{-2}\,m^{2}\,\frac{9\times10^{-6}\,C}{9\,m^{2}} = 9\times10^{9}\,N\,C^{-2}\,m^{2}\,\frac{10^{-6}\,C}{1\,m^{2}} = 9\times10^{3}\,N\,C^{-1}$$

$$E_2 = 9\times10^{9}\,N\,C^{-2}\,m^{2}\,\frac{4\,\mu C}{(1\,m)^{2}} = 9\times10^{9}\,N\,C^{-2}\,m^{2}\,\frac{4\times10^{-6}\,C}{1\,m^{2}} = 36\times10^{3}\,N\,C^{-1}$$

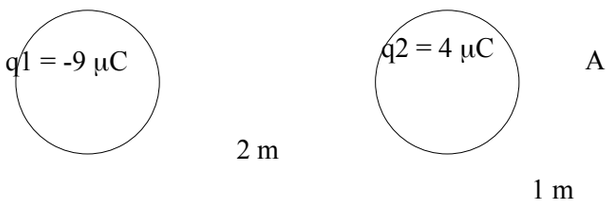
$$E_{total} = E_1 + E_2$$

$E_{total} = 9 \times 10^3\, N C^{-1} + 36 \times 10^3\, N C^{-1} = 42 \times 10^3\, N C^{-1}$
Arah E_{total} adalah ke kanan.

Contoh Soal 4:
Terdapat dua buah muatan listrik -9 μC dan 4 μC dan jarak keduanya adalah 2 m. Berapakah kuat medan listrik di titik A (di udara), seperti pada gambar berikut?:



Jawab:



Vektor medan listrik $\vec{E_1}$ (dari q_1) arahnya menuju q_1 karena q_1 bermuatan negatif dan arah vektor $\vec{E_2}$ (dari q_2) arahnya menjauhi q_2 karena q_2 bermuatan positif. Kuat medan listrik di titik A adalah:

$$E_{total} = E_1 + E_2$$

$$E_1 = 9 \times 10^9\, N C^{-2} m^2 \frac{-9\,\mu C}{(2m + 1m)^2} = 9 \times 10^9\, N C^{-2} m^2 \frac{-9 \times 10^{-6} C}{(3m)^2}$$

$$E_1 = 9 \times 10^9\, N C^{-2} m^2 \frac{-9 \times 10^{-6} C}{9 m^2} = 9 \times 10^9\, N C^{-2} m^2 \frac{-10^{-6} C}{1 m^2} = -9 \times 10^3\, N C^{-1}$$

$$E_2 = 9 \times 10^9\, N C^{-2} m^2 \frac{4\,\mu C}{(1m)^2} = 9 \times 10^9\, N C^{-2} m^2 \frac{4 \times 10^{-6} C}{1 m^2} = 36 \times 10^3\, N C^{-1}$$

$$E_{total} = E_1 + E_2$$

$$E_{total} = -9 \times 10^3\, N C^{-1} + 36 \times 10^3\, N C^{-1} = 27 \times 10^3\, N C^{-1}$$

Arah E_{total} adalah ke kanan.
Tanda negatif pada E_1 muncul karena arah E_1 berlawanan dengan E_2 yang lebih besar dari E_1.

C.2. Gaya Listrik (Hukum Coulomb)
Sebuah muatan positif akan **dengan sendirinya** bergerak menjauhi muatan positif yang lain atau bergerak mendekati muatan lain yang negatif. Hal itu berarti bahwa muatan positif tersebut terkena **gaya listrik** atau menjadi objek suatu gaya listrik karena berada di dalam medan listrik muatan lain (daerah di sekitar muatan listrik lain). Pada saat itu muatan objek disebut sebagai muatan uji (q_u). Gaya yang diterima oleh q_u dirumuskan:

$$F = E \,.\, |q_u|$$

atau

$$F = \left(\frac{|q|}{4 \pi \varepsilon r^2} \right) |q_u|$$

Jika medium di mana q_u berada adalah ruang hampa, maka

$$F = \left(\frac{|q|}{4 \pi \varepsilon_0 r^2} \right) |q_u|$$

atau

$$F = \left(9 \times 10^9\, N C^{-2} m^2 \times \frac{|q|}{r^2} \right) |q_u|$$

di mana:
F: gaya listrik atau gaya Coulomb (N)
E: kuat medan listrik (N/C)
q: muatan sumber medan listrik (C)

q_u: muatan uji atau muatan objek gaya listrik (C)
r: jarak antara muatan uji (q_u) dan muatan sumber (q) (meter)
ε: permitivitas elektrik bahan medium ($C^2\ N^{-1}\ m^{-2}$)
ε_0: permitivitas elektrik ruang hampa = $8{,}85 \times 10^s\ C^2\ N^{-1}\ m^{-2}$)

Jika diperhatikan lebih lanjut, ternyata, daerah di sekitar muatan uji juga merupakan medan listrik dari muatan uji dan muatan sumber juga akan terkena gaya listrik F dari muatan uji sebesar:

$$F = \left(\frac{|q_u|}{4\pi\varepsilon r^2} \right) |q|$$

Jika medium di mana q_u berada adalah ruang hampa, maka

$$F = \left(\frac{|q_u|}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \right) |q|$$

atau

$$F = \left(9 \times 10^9\ N C^{-2} m^2 \times \frac{|q_u|}{r^2} \right) |q|$$

Besar gaya yang dirasakan oleh muatan sumber dari muatan uji ternyata sama dengan gaya yang dirasakan oleh muatan uji dari muatan sumber, yaitu sebesar F di mana:

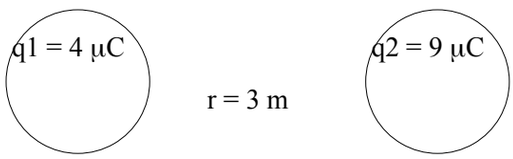
$$F = 9 \times 10^9\ N C^{-2} m^2 \times \frac{|q| \times |q_u|}{r^2}$$

Jika $q = q_1$ dan $q_u = q_2$ maka

$$F = 9 \times 10^9\ N C^{-2} m^2 \times \frac{|q_1| \times |q_2|}{r^2}$$

Gaya ini dinamakan **gaya interaksi antar muatan** karena setiap muatan menerima gaya yang **sama besar** dari muatan lain. Rumusan gaya listrik ini disebut **Hukum Coulomb** dan rumus inilah yang menjadi dasar dalam menentukan besaran-besaran listrik yang lain, yaitu: medan listrik, energi potensial listrik, dan potensial listrik.

Contoh Soal 5:
Di udara terdapat dua buah muatan listrik 4 μC dan 9 μC dan jarak keduanya adalah 3 m. a) Berapakah gaya listrik yang dirasakan oleh q_2 dan ke manakah arahnya? b) Berapakah gaya listrik yang dirasakan oleh q_1 dan ke manakah arahnya?
Jawab:



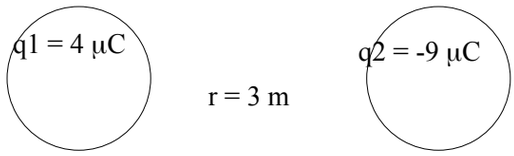
Sudah jelas bahwa kedua muatan akan saling menolak karena keduanya bermuatan sejenis yaitu positif. Dengan begitu, gaya dari q_1 ke q_2 (F_{12}) arahnya ke kanan sedangkan gaya dari q_2 ke q_1 (F_{21}) adalah ke kiri. Besar kedua gaya adalah sama, yaitu:

$$F_{12} = F_{21} = 9 \times 10^9\ N C^{-2} m^2 \times \frac{q_1 \times q_2}{r^2} = 9 \times 10^9\ N C^{-2} m^2 \times \frac{4\,\mu C \times 9\,\mu C}{(3m)^2}$$

$$F_{12} = F_{21} = 9 \times 10^9\ N C^{-2} m^2 \times \frac{4 \times 10^{-6} C \times 9 \times 10^{-6} C}{9 m^2} = 36 \times 10^{-3} N$$

Jadi:
a) Besar gaya listrik yang dirasakan oleh q_2 adalah 36 x 10^{-3}N dan arahnya adalah ke kanan.
b) Besar gaya listrik yang dirasakan oleh q_1 adalah 36 x 10^{-3}N dan arahnya adalah ke kiri.

Contoh Soal 6:
Di udara terdapat dua buah muatan listrik 4 μC dan -9 μC dan jarak keduanya adalah 3 m. a) Berapakah gaya listrik yang dirasakan oleh q_2 dan ke manakah arahnya? b) Berapakah gaya listrik yang dirasakan oleh q_1 dan ke manakah arahnya?
Jawab:



Sudah jelas bahwa kedua muatan akan saling menarik karena keduanya bermuatan berlainan jenis (positif dan negatif). Dengan begitu, gaya dari q_1 ke q_2 (F_{12}) arahnya ke kiri sedangkan gaya dari q_2 ke q_1 (F_{21}) adalah ke kanan. Besar kedua gaya adalah sama, yaitu:

$$F_{12}=F_{21}=9\times10^{9}\,N\,C^{-2}m^{2}\times\frac{q_1\times q_2}{r^{2}}=9\times10^{9}\,N\,C^{-2}m^{2}\times\frac{4\,\mu C\times9\,\mu C}{(3\,m)^{2}}$$

$$F_{12}=F_{21}=9\times10^{9}\,N\,C^{-2}m^{2}\times\frac{4\times10^{-6}\,C\times9\times10^{-6}\,C}{9\,m^{2}}=36\times10^{-3}\,N$$

Jadi:

a) Besar gaya listrik yang dirasakan oleh q_2 adalah 36 x 10^{-3}N dan arahnya adalah ke kiri.
b) Besar gaya listrik yang dirasakan oleh q_1 adalah 36 x 10^{-3}N dan arahnya adalah ke kanan.

C3. Hukum Gauss

Hukum Gauss menyatakan bahwa:

Jumlah garis medan listrik (garis gaya listrik) yang menembus keluar dan masuk suatu permukaan tertutup sebanding dengan jumlah muatan listrik yang dilingkupi oleh permukaan itu.

Keterangan:

- Jumlah garis medan listrik yang **menembus keluar** suatu permukaan tertutup (permukaan Gauss) diberi **tanda positif** dan jumlah garis medan listrik yang **menembus masuk** permukaan Gauss diberi **tanda negatif**.
- Permukaan tertutup atau permukaan Gauss yang dimaksud di atas adalah **permukaan bangun ruang tertutup** (hasil imajinasi siapapun) yang dapat berbentuk apa saja dan berada di mana saja.

Untuk lebih jelasnya perhatikan Gambar 7.

Jumlah garis medan listrik yang Jumlah garis medan listrik yang menembus sebanding dengan besar muatan q

Gambar 7. Ilustrasi hukum Gauss

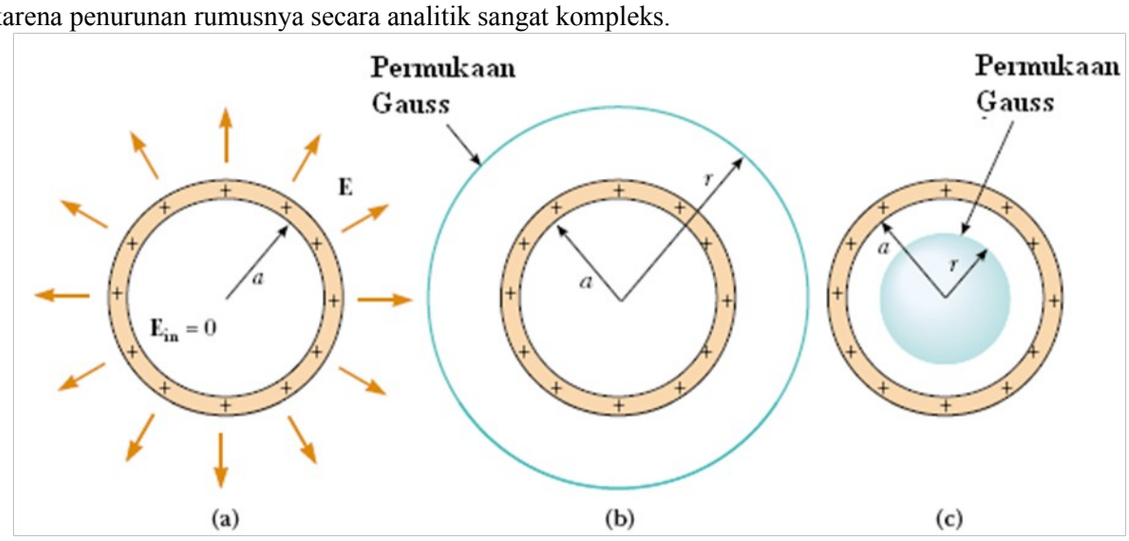
Penerapan hukum Gauss pada bola berongga atau silinder berongga atau cincin bermuatan listrik diilustrasikan pada Gambar 8. Gambar 8 menunjukkan bahwa di dalam bola/silinder/cincin bermuatan listrik tidak ada medan listrik, sedangkan di luarnya ada medan listrik. Besar medan listrik E di luar bola berongga adalah

$$E = \frac{q}{4\pi\varepsilon r^2}$$

Jika bentuk muatan berongga adalah silinder yang sangat panjang (*infinitely long*), maka besar medan listrik di luar rongga adalah

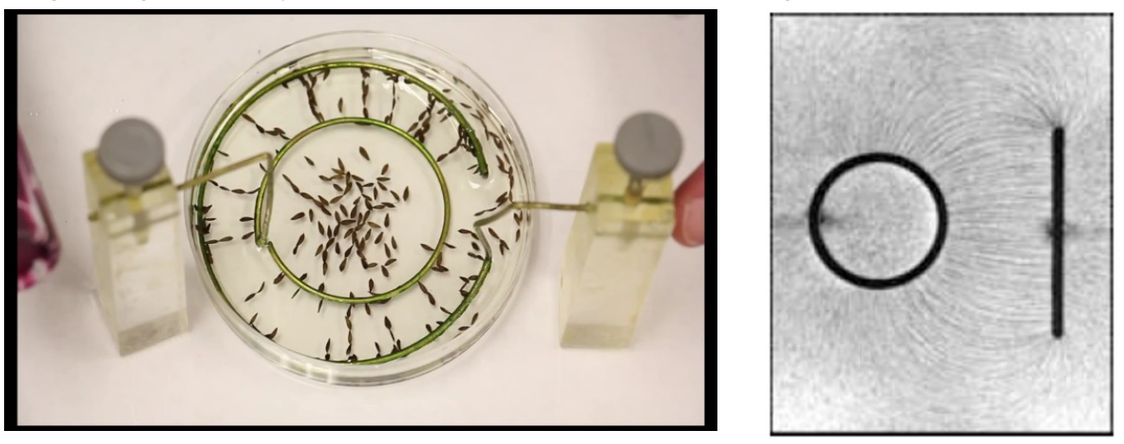
$$E = \frac{\sigma a}{\varepsilon r}$$

Jika bentuk muatan adalah cincin, maka kuat medan listrik di luarnya, untuk saat ini, tidak ditunjukkan karena penurunan rumusnya secara analitik sangat kompleks.



Gambar 8. a) Medan listrik di luar bola (atau silinder atau cincin) berongga bermuatan listrik ≠ nol, sedangkan di dalam bola berongga tersebut tidak ada medan listrik ($\mathbf{E}_{in} = 0$) karena b) Jika dibuat permukaan Gauss di luar bola (pada $r \geq a$), maka semua garis medan listrik akan menembus keluar permukaan Gauss itu karena di dalam permukaan Gauss terdapat muatan listrik yaitu bola bermuatan tersebut, sedangkan c) Jika dibuat permukaan Gauss di dalam bola (pada $r < a$), maka tidak akan ada garis medan listrik yang menembus permukaan Gauss itu karena tidak ada muatan listrik di dalam permukaan Gauss itu.

Bukti bahwa di dalam rongga tidak terdapat medan listrik adalah jika sebuah cincin konduktor bermuatan listrik ditempatkan di dalam cawan tipis berisi minyak goreng lalu ditaburi dengan sejumlah benih tumbuhan *Lettuce* seperti pada Gambar 9a, di mana benih tersebut mudah terpolarisasi oleh medan listrik, maka konfigurasi benih-benih di dalam rongga cincin tidak beraturan sedangkan di luar cincin konfigurasi mereka beraturan secara radial. Konfigurasi yang tidak beraturan dari benih-benih di dalam cincin terjadi karena tidak ada medan listrik yang mengatur mereka. Secara lebih halus, pembuktian bahwa medan listrik di dalam cincin bermuatan adalah nol ditunjukkan oleh Gambar 9b, yaitu gambar dari konfigurasi benang-benang di atas minyakdalam medan listrik dari cincin dan batang bermuatan listrik.

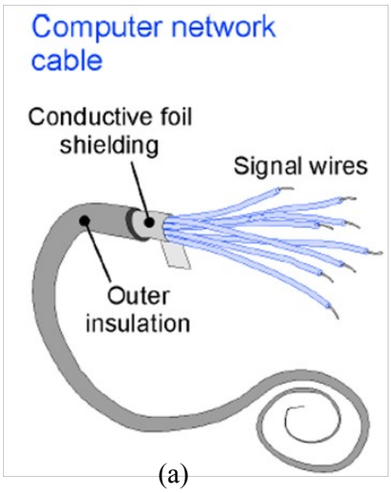


(b)

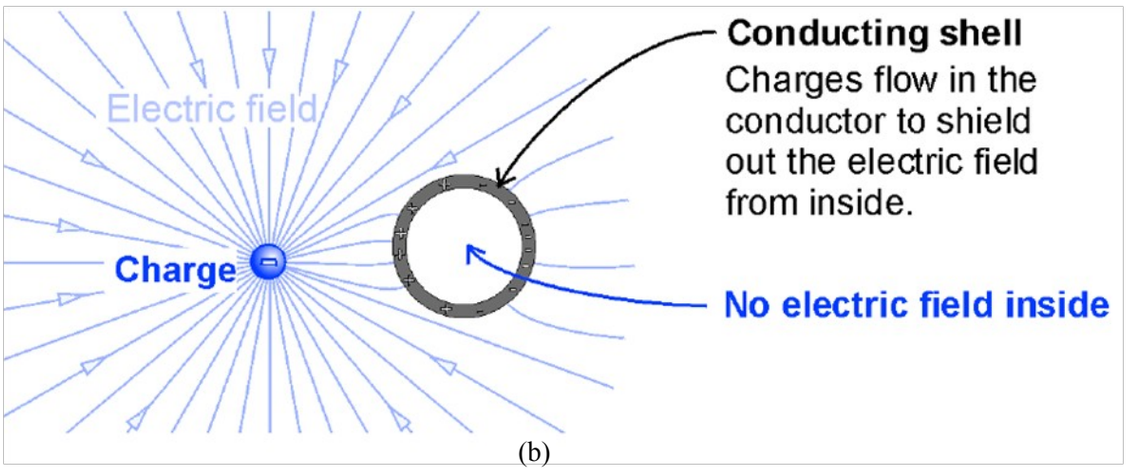
Gambar 9. a) Konfigurasi benih Lettuce dalam medan listrik dari cincin bermuatan listrik, b) Konfigurasi benang dalam medan listrik dari cinicin dan batang bermuatan listrik.

Aplikasi dari fakta di atas adalah selubung dari konduktor tipis (*conductive foil*) pada kabel data. Selubung tersebut akan membentengi kabel data di dalamnya dari induksi medan listrik. Jika tiba-tiba muncul medan listrik liar di sekitar kabel, mungkin karena perubahan cuaca atau hal lain, maka yang terpolarisasi terlebih dahulu adalah selubung konduktor tersebut, sedangkan kabel data tidak terkena

induksi medan listrik manapun karena di dalam selubung konduktor tersebut medan listriknya akan selalu nol.



(a)



(b)

Gambar 10. a) Kabel data berselubung konduktor tipis, b) Mekanisme perlindungan kabel data dari medan listrik liar di sekitar kabel

D. Energi Potensial dan Potensial Listrik

Suatu muatan positif A yang berada di dalam medan listrik dari sebuah muatan positif B pasti akan bergerak menjauhi muatan B secara otomatis. Kasus itu mirip dengan kasus sebuah benda yang berada pada ketinggian tertentu dari tanah; benda tersebut jika tidak disangga maka ia akan menuju tanah secara ototmatis. Hal itu berarti bahwa muatan listrik A berpotensi untuk menjauh dari muatan B yang juga bermuatan positif. Potensi dari setiap muatan uji (q_u), berapapun muatannya, untuk **menjauhi** muatan sumber medan (q) jika berada pada jarak r dari q (jika pada contoh kasus di atas q adalah muatan B) dinyatakan sebagai **potensial listrik** (V) yang dirumuskan:

$$V = \frac{q}{4\pi\varepsilon r}$$

atau jika muatan uji berada di ruang hampa atau udara:

$$V = \frac{q}{4\pi\,\varepsilon_0 r}$$

atau

$$V = 9\times 10^9\, N C^{-2} m^2 \times \frac{q}{r}$$

, di mana:
V: potensial listrik (volt (V))
q: muatan sumber medan listrik (C)
r: jarak antara muatan uji (q_u) dan muatan sumber (q) (meter)
ε: permitivitas elektrik bahan medium ($C^2\ N^{-1}\ m^{-2}$)
ε_0: permitivitas elektrik ruang hampa = 8,85 x 10^s $C^2\ N^{-1}\ m^{-2}$)

Jika pada awalnya muatan uji adalah diam tetapi ia berpotensi untuk bergerak menjauhi muatan sumber, maka muatan uji tersebut berpotensi pula untuk memiliki energi kinetik (energi karena gerak). Energi

kinetik tersebut pasti berasal dari energi lain yang ditimbulkan oleh medan listrik di mana muatan uji tersebut berada. Oleh karena itu, energi dari medan listrik tersebut dapat disebut sebagai **energi potensial listrik** (*Ep*), yang dirumuskan:

$$Ep = V \,.\, q_u$$

$$Ep = \left(\frac{q}{4\pi\varepsilon r} \right) q_u$$

dan jika medium dari q_u adalah ruang hampa atau udara, maka

$$Ep = \left(\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r} \right) q_u$$

atau

$$Ep = \left(9 \times 10^9 N C^{-2} m^2 \times \frac{q}{r} \right) q_u$$

di mana:
Ep: energi potensial listrik dari muatan uji (joule (J))
q: muatan sumber medan listrik (C)
q_u: muatan uji atau muatan objek gaya listrik (C)
r: jarak antara muatan uji (q_u) dan muatan sumber (*q*) (meter)
ε: permitivitas elektrik bahan medium ($C^2\ N^{-1}\ m^{-2}$)
ε_0: permitivitas elektrik ruang hampa = 8,85 x 10^s $C^2\ N^{-1}\ m^{-2}$)

Perhatian: pada perhitungan potensial dan energi potensial, tanda muatan harus disertakan.

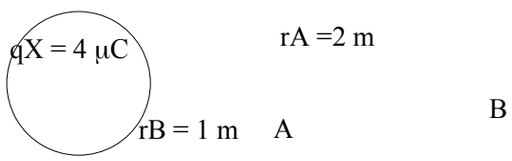
Pada dasarnya, sebuah muatan (baik positif maupun negatif) akan bergerak secara otomatis menuju potensial listrik yang lebih kecil atau otomatis mengurangi energi potensialnya, jika tidak ada gaya luar (selain gaya listrik, misal: gaya tangan atau gaya mesin) yang bekerja pada muatan tersebut. Oleh karena itu, selain dengan cara analisa gaya yang bekerja pada suatu muatan uji, dapat pula digunakan **analisa beda energi potensial** untuk mengetahui apakah suatu muatan uji akan ototmatis bergerak dari titik A ke titik B atau sebaliknya atau tidak dapat bergerak secara otomatis. Rumus beda energi potensial (ΔEp_{AB}) adalah sangat sederhana, yaitu:

$$\Delta Ep_{AB} = q_u \,.\, V_{AB} = q_u \left(V_A - V_B \right)$$

, di mana:
q_u : muatan uji
V_{AB} : beda potensial antara titik A dan titik B (volt)
V_A : potensial listrik di titik A (volt)
V_B : potensial listrik di titik B (volt)

Jika $\Delta Ep_{AB} > 0$, maka muatan uji akan **ototmatis** bergerak dari titik A ke titik B dan jika $\Delta Ep_{AB} \leq 0$ maka muatan uji **tidak akan ototmatis** bergerak dari titik A ke titik B.

Contoh soal 7:
Sebuah muatan X sebesar 4 μC berada di udara. a) Berapakah potensial listrik titik A yang berjarak 1m dari pusat muatan? b) Berapakah potensial listrik titik B yang berjarak 2m dari pusat muatan? c) Jika pada titik A ditempatkan suatu muatan positif lain (muatan Y) yang diam dan tidak ada gaya selain gaya listrik yang bekerja pada muatan Y tersebut, apakah muatan Y akan otomatis bergerak menuju titik B?
Jawab:



a) Potensial listrik di titik A (V_A):

$$V_A = 9 \times 10^9 N C^{-2} m^2 \times \frac{q_X}{r_A} = 9 \times 10^9 N C^{-2} m^2 \times \frac{4\,\mu C}{1\,m}$$

$$V_A = 9 \times 10^9 N C^{-2} m^2 \times \frac{4 \times 10^{-6} C}{1\,m} = 36 \times 10^3 V$$

b) Potensial listrik di titik B (V_B):

$$V_B = 9\times10^9\, N\,C^{-2}m^2 \times \frac{q_X}{r_A} = 9\times10^9\, N\,C^{-2}m^2 \times \frac{4\,\mu C}{2\,m}$$

$$V_B = 9\times10^9\, N\,C^{-2}m^2 \times \frac{2\times10^{-6} C}{1\,m} = 18\times10^3\, V$$

c) Beda energi potensial listrik antara titik A dan titik B (V_{AB}):

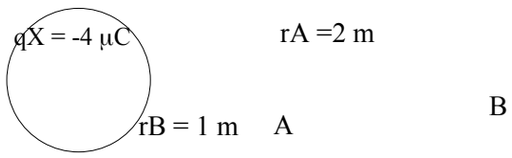
$$\Delta Ep_{AB} = q.V_{AB} = q\left(V_A - V_B\right) = q\left(36\times10^3 V - 18\times10^3 V\right) = q.18\times10^3 V$$

Jadi muatan positif lain (muatan Y) di titik A ototmatis bergerak menuju titik B karena V_{AB} positif , tetapi jika muatan Y adalah negatif, maka muatan Y tidak akan bergerak secara ototmatis dari titik A ke titik B karena ia akan mendekati pusat muatan X.

Contoh soal 8:

Sebuah muatan X -4 μC berada di udara. a) Berapakah potensial listrik titik A yang berjarak 1m dari pusat muatan?, b) Berapakah potensial listrik titik B yang berjarak 2m dari pusat muatan?, c) Berapakah energi potensial listrik di titik A dari muatan Y jika muatan Y adalah +5μC?, d) Berapakah energi potensial listrik di titik B dari muatan Y jika muatan Y adalah +5μC?, e) Dari mana ke manakah muatan Y otomatis bergerak, dari A ke B ataukah dari B ke A?

Jawab:



a) Potensial listrik di titik A (V_A):

$$V_A = 9\times10^9\, N\,C^{-2}m^2 \times \frac{q_X}{r_A} = 9\times10^9\, N\,C^{-2}m^2 \times \frac{-4\,\mu C}{1\,m}$$

$$V_A = 9\times10^9\, N\,C^{-2}m^2 \times \frac{-4\times10^{-6} C}{1\,m} = -36\times10^3\, V$$

b) Potensial listrik di titik B (V_B):

$$V_B = 9\times10^9\, N\,C^{-2}m^2 \times \frac{q_X}{r_A} = 9\times10^9\, N\,C^{-2}m^2 \times \frac{-4\,\mu C}{2\,m}$$

$$V_B = 9\times10^9\, N\,C^{-2}m^2 \times \frac{-2\times10^{-6} C}{1m} = -18\times10^3\, V$$

c) Energi potensial di titik A dari muatan Y (Ep_A):

$$Ep_A = q_Y.V_A = 5\,\mu C \times -36\times10^3 V = 5\times10^{-6} C \times \left(-36\times10^3 V\right) = -180\times10^{-3} J$$

d) Energi potensial di titik B dari muatan Y (Ep_B):

$$Ep_B = q_Y.V_B = 5\,\mu C \times -18\times10^3 V = 5\times10^{-6} C \times \left(-18\times10^3 V\right) = -90\times10^{-3} J$$

e) Energi potensial muatan Y di titik A < energi potensial muatan Y di titik B sehingga

$$\Delta Ep_{AB} = Ep_B - Ep_A = -90\times10^{-3} V - \left(-180\times10^{-3} V\right) = 90\times10^{-3} J$$

dan oleh karena ΔEp_{AB} bernilaia positif maka secara otomatis muatan Y akan bergerak dari titik B ke titik A.

E. Kapasitor

Ketika kita meng-ionisasi sebuah benda, maka kita sebenarnya sedang menjadikan benda tersebut kapasitor, walaupun kapasitor yang kita buat tersebut tidak sebagus komponen kapasitor buatan pabrik .

E.1. Definisi

Kapasitor adalah alat penyimpan muatan listrik. Prinsip kerja kapasitor adalah menyimpan muatan melalui ionisasi. Pada umumnya, peristiwa pengisian kapsitor disertai pula dengan peristiwa polarisasi dalam rangka menahan muatan listrik agar tidak mudah terlepas ke udara dan memperbesar kapasitansi kapasitor tersebut. Sebuah kapasitor pasti memiliki kapasitansi (C) yang didefinisikan sebagai: *besar muatan listrik yang terisi dalam kapasitor per beda potensial (tegangan) listrik pengisian muatan*. Satuan dari kapasitansi kapasitor adalah farad (F). Rumus kapasitansi adalah:

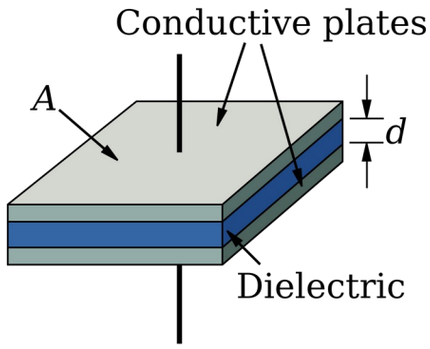
$$C = \frac{q}{\Delta V}$$

,di mana:
C : kapasitansi kapasitor (farad(F))
q : muatan listrik (coulomb (C))
ΔV: beda potensial atau tegangan listrik kapasitor (volt (V))

Kapasitor dapat berbentuk apa saja, misal: pelat konduktor paralel, bola-bola kosentris (sepusat), dan silinder koaksial (seporos). Akan tetapi yang akan dibahas di sini adalah kapasitor pelat paralel karena kapasitor pelat paralel banyak digunakan dalam elektronika.

E.2. Kapasitor Pelat Paralel

Kapasitor pelat paralel terdiri dari dua pelat konduktor datar (*conductive plates*)yang saling sejajar dan keduanya memiliki luas yang sama yaitu A, terpisah pada jarak tertentu d, dan di antara keduanya terdapat isolator. Bahan isolator dapat bervariasi seperti udara, plastik, keramik, dan cairan elektrolit. Bahan isolator tersebut sering kali disebut sebagai **bahan dielektrik**. Setiap bahan dilektrik (*dielectric*) memiliki permitivitas elektrik (ε) yang mempengaruhi kapasitansi kapasitor. Adapun desain umum dari kapasitor pelat paralel dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Desain umum kapasitor pelat sejajar

Rumus kapasitansi kapasitor pelat sejajar adalah:

$$C = \frac{\varepsilon A}{d}$$

, di mana:
C : kapasitansi kapasitor (farad (F))
ε : permitivitas elektrik dari bahan dielektrik ($C^2\ N^{-1}\ m^{-2}$)
A : luas masing-masing pelat konduktor (m^2)
d : jarak antar pelat konduktor (m)

Satuan farad jarang sekali digunakan dalam kapasitor karena 1 farad adalah kapasitansi kapasitor yang sangat besar karena membutuhkan pelat konduktor dengan luas seperti sepetak sawah, mengingat e umumnya berukuran 10^{-12} –an $C^2\ N^{-1}\ m^{-2}$ dan d pada umumnya paling kecil berukuran 10^{-6} m. Oleh karena itu, satuan kapasitor yang populer adalah mikro farad (μF) = 10^{-6} F, nano farad (nF) = 10^{-9} F, dan piko farad (pF) = 10^{-12} F.

Dengan melihat kedua rumus kapasitansi, berdasarkan definisi kapasitor maupun berdasarkan desain umum kapasitor pelat sejajar, maka dapat disimpulkan bahwa:

$$\frac{q}{\Delta V} = \frac{\varepsilon A}{d}$$

Macam-macam kapasitor dapat dilihat pada Gambar 12.

Gambar 12. Aneka kapasitor pelat sejajar

Contoh soal 9:
Sebuah kapasitor pelat sejajar terdiri dari dua pelat sejajar dengan luas masing-masing 1 cm^2 yang mana keduanya terpisah pada 10^{-5} m. Jika diantara kedua pelat tersebut terdapat bahan dielektrik dengan $\varepsilon = 9 \times 10^{-12}\ C^2\ N^{-1}\ m^{-2}$, maka berapakah kapasitansi kapasitor tersebut?
Jawab:
1 cm^2 = 1 x 10^{-4} m^{-2}, sehingga:

$$C = \frac{\varepsilon A}{d} = \frac{9 \times 10^{-12} \times 1 \times 10^{-4}}{10^{-5}} = 9 \times 10^{-12-4+5} = 9 \times 10^{-11}\, farad = 90\ piko\, farad = 90\ pF$$

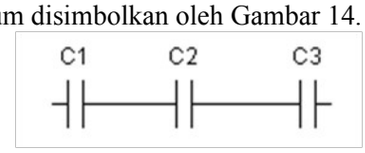
F. Rangkaian Kapasitor
Kapasitor dapat dirangkai secara seri (berderet) maupun paralel (berjajar), di mana setiap rangkaian kapasitor dapat digantikan dengan sebuah kapasitor dengan nilai tertentu. Sebuah kapasitor disimbolkan seperti pada Gambar 13.

Kapasitor non elektrolit Kapasitor elektrolit

Gambar 13. Simbol kapasitor pelat sejajar non elektrolit dan elektrolit

Simbol kapasitor ada kalanya disertai dengan nilai kapasitor di sekitarnya, seperti pada Gambar 13 yaitu di atasnya. Simbol yang umum dipakai untuk pemula adalah simbol kapasitor non elektrolit.
Perlu diperhatikan bahwa pada beberapa rangkaian, huruf μ pada μF seringkali ditulis seperti huruf u, seperti pada Gambar 13 oleh karena keterbatasan huruf pada program desainer elektronika. Jadi maksud dari symbol nilai 1 uF pada Gambar 13 adalah 1 μF.

F.1. Rangkaian Seri
Rangkaian seri kapasitor secara umum disimbolkan oleh Gambar 14.

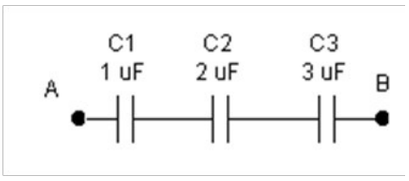


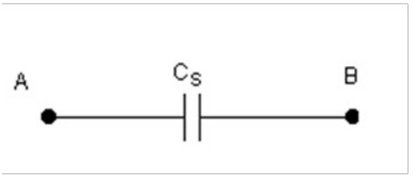
Gambar 14. Rangkaian seri kapasitor

Rangkaian seri kapasitor sejumlah *n* dapat digantikan dengan satu kapasitor (C_s) dengan rumus:

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \ldots + \frac{1}{C_n}$$

Contoh soal 10:
Tiga buah kapasitor disusun secara seri seperti pada gambar berikut.



digantikan


Jika dikehendaki agar rangkaian seri kapasitor tersebut diganti dengan sebuah kapasitor, maka berapakah nilai kapasitor pengganti (C_s) tersebut agar menghasilkan efek kelistrikan yang yang sama pada rangkaian?

Jawab:

$$\frac{1}{C_s}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3}$$

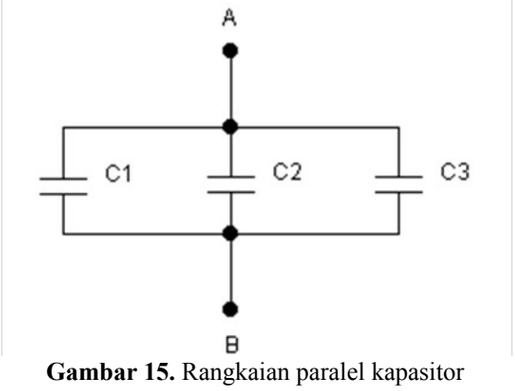
$$\frac{1}{C_s}=\frac{1}{1}+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}=\frac{6}{6}+\frac{3}{6}+\frac{2}{6}=\frac{11}{6}$$

$$C_s=\frac{1}{\frac{11}{6}}=\frac{6}{11}\mu F$$

F.2. Rangkaian Paralel

Rangkaian paralel kapasitor secara umum disimbolkan oleh Gambar 15. Rangkaian paralel kapasitor sejumlah *n* dapat digantikan dengan satu kapasitor (C_p) dengan rumus:

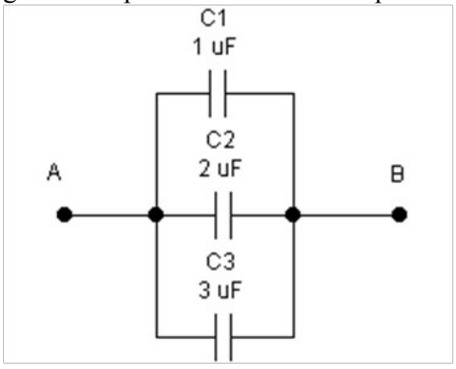
$$C_p=C_1+C_2+C_3+\ldots+C_n$$

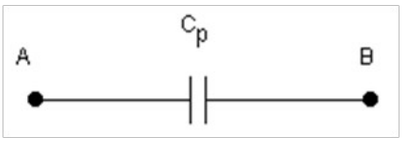


Gambar 15. Rangkaian paralel kapasitor

Contoh soal 10:

Tiga buah kapasitor disusun secara paralel lalu semuanya digantikan oleh C_p seperti pada gambar berikut.



digantikan


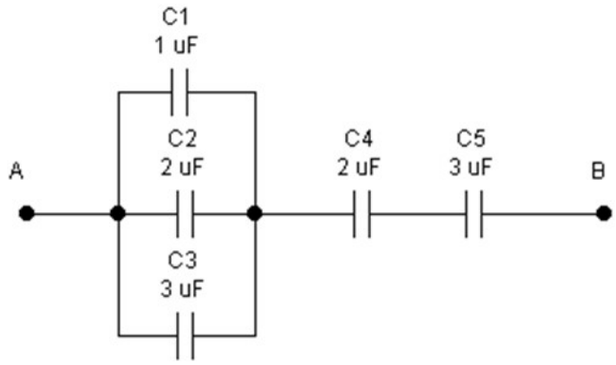
Berapakah nilai kapasitor pengganti (C_p) tersebut agar menghasilkan efek kelistrikan yang yang sama pada rangkaian?

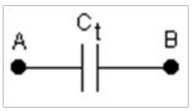
Jawab:

$$C_p=C_1+C_2+C_3=1+2+3=6\,\mu F$$

Contoh soal 11:

Lima buah kapasitor disusun secara seri dan paralel lalu semuanya digantikan oleh C_t seperti pada gambar berikut.



digantikan


Berapakah nilai kapasitor pengganti (C_t) tersebut agar menghasilkan efek kelistrikan yang yang sama pada rangkaian?

Jawab:

Rangkaian paralel dari C_1, C_2, dan C_3 digantikan terlebih dahulu oleh C_p:

$$C_p = C_1 + C_2 + C_3 = 1 + 2 + 3 = 6\,\mu F$$

Rangkaian seri dari C_p, C_4, dan C_5 digantikan oleh C_t yang ditentukan berdasarkan rumus kapasitor pengganti rangkaian seri (C_s):

$$\frac{1}{C_t} = \frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_p} + \frac{1}{C_4} + \frac{1}{C_5}$$

$$\frac{1}{C_t} = \frac{1}{6} + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} = \frac{1}{6} + \frac{3}{6} + \frac{2}{6} = \frac{6}{6} = 1$$

$$C_t = \frac{1}{1} = 1\,\mu F$$

G. Energi yang Tersimpan dalam Kapasitor Bermuatan

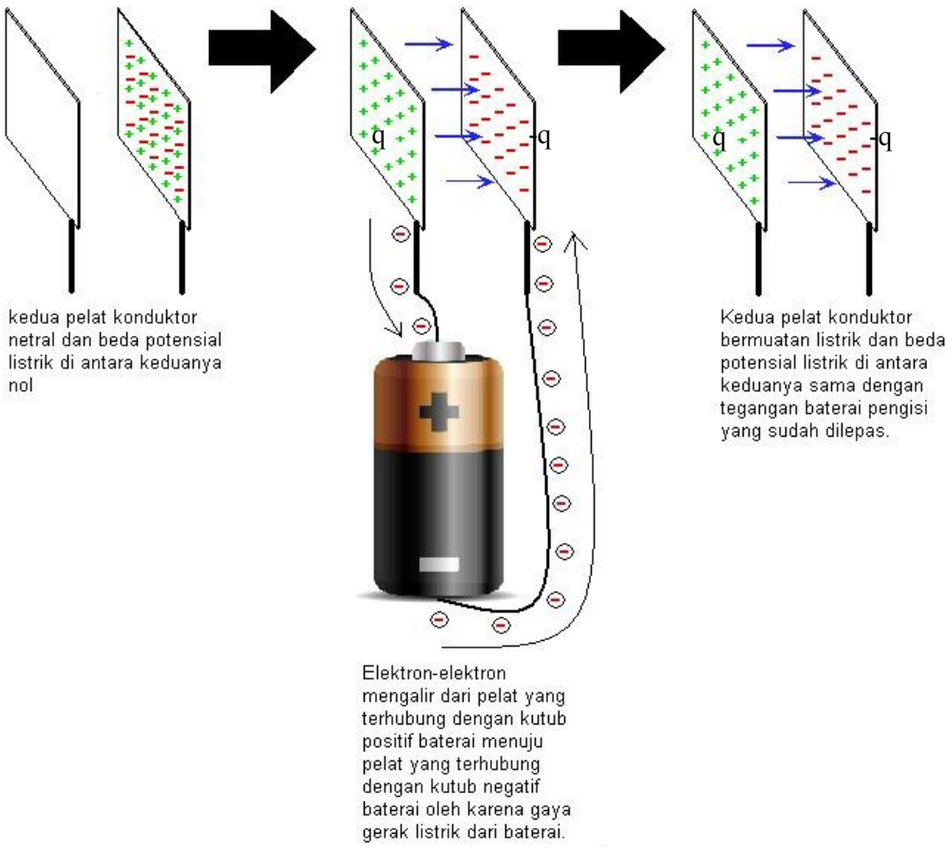
Sebuah kapasitor yang bermuatan dapat dikatakan sedang menyimpan energi karena ketika kedua kakinya (elektrodenya) dihubungkan baik langsung maupun melalui beban listrik, misal lampu, maka akan terjadi aliran listrik dengan energi tertentu. Berdasarkan hukum kekekalan energi bahwa *energi tidak dapat diciptakan maupun dimusnahkan*, energi aliran listrik tidak muncul begitu saja melainkan berasal dari energi yang trsimpan dalam kapasitor tersebut. Rumus energi yang tersimpan dalam kapasitor bermuatan (E_c) dirumuskan:

$$E_C = \frac{1}{2} qV = \frac{1}{2} C V^2 = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C}$$

di mana:

E_c : energi yang tersimpan dalam kapasitor bermuatan (joule (J))
q : muatan listrik yang tersimpan dalam kapasitor (coulomb (C))
V : tegangan listrik antara kedua elektrode kapasitor (volt(V))
C : kapasitansi kapasitor (farad (F))

Adapun cara memberi muatan listrik pada kapasitor dapat dilihat di Gambar 16.

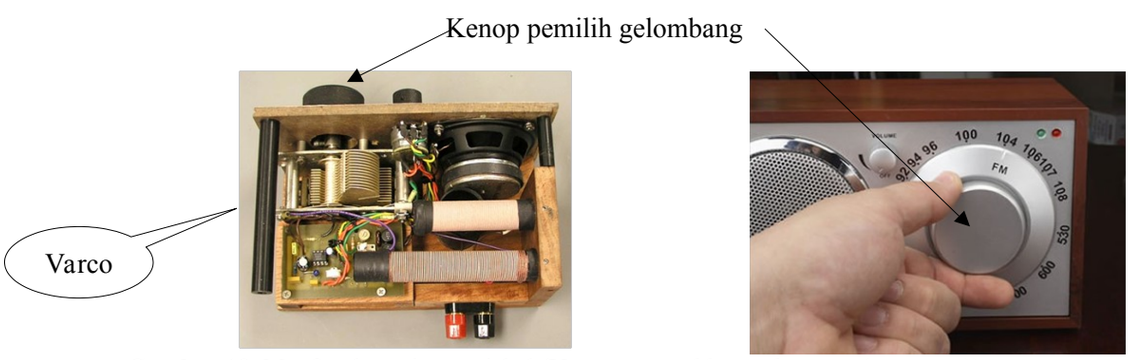


Gambar 16. Pengisian kapasitor dengan muatan-muatan listrik oleh baterai

H. Manfaat Kapasitor

Kapasitor sangat bermanfaat bagi manusia dalam hal kelistrikan. Kapasitor terdiri dari kapasitor tetap dan kapasitor variabel. Kapasitor tetap dapat digunakan untuk: menghambat arus listrik bolak-balik dalam rangkaian arus kuat bolak-balik, menjumlahkan antara sinyal listrik bolak-balik dan sinyal listrik searah dalam penguat suara (*amplifier*), menentukan frekuensi osilator (seperti dalam penghasil suara tiruan piano organ (*keyboard*), radio, TV, dan WiFi Router), perata arus listrik keluaran adaptor, filter arus listrik fluktuatif (tidak konstan) seperti filter sinyal listrik suara dalam *amplifier* atau *sound system*, dan lain-lain. Kapasitor variabel (Varco) digunakan untuk menentukan frekuensi gelombang radio yang diterima seperti pada radio analog.

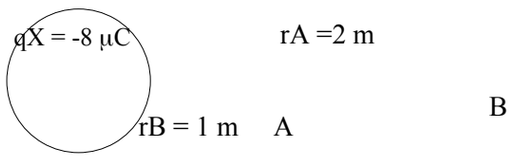
Gambar 17. Kapasitor dalam WiFi Router



Gambar 18. Manfaat kapasitor variabel (Varco = *variable condensator* (*capasitor*))

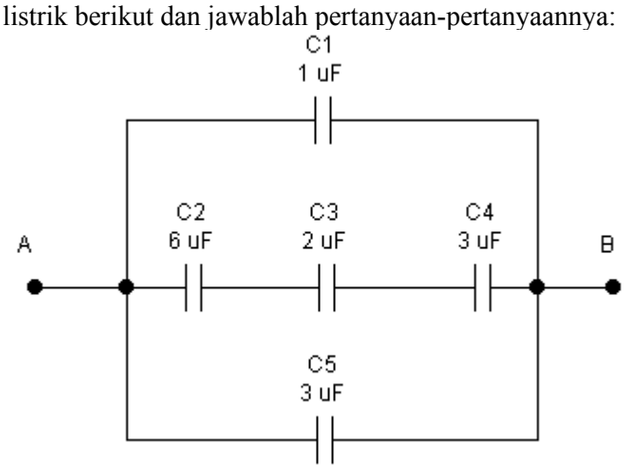
SOAL-SOAL LATIHAN

1. Jelaskan apa yang dimaksud dengan elektrifikasi!
2. Jelaskan apa yang dimaksud dengan polarisasi!
3. Jelaskan apa yang dimaksud dengan ionisasi!
4. Muatan manakah yang mudah bergerak dalam medan listrik, proton ataukah elektron?
5. Jika sebuah lampu menyala karena dialiri oleh muatan listrik, maka sebenarnya yang mengalir adalah proton ataukah elektron?
6. Sebuah muatan X sebesar -8 μC berada di udara seperti pada gambar berikut.



   a) Berapakah kuat medan listrik di titik A?
   b) Berapakah potensial listrik titik A yang berjarak 1m dari pusat muatan?,
   b) Berapakah potensial listrik titik B yang berjarak 2m dari pusat muatan?,
   c) Berapakah gaya listrik yang dialami oleh muatan Y jika jika diletakkan di titik A, di mana besar muatan Y jika muatan Y adalah +5μC?
   d) Berapakah energi potensial listrik di titik A dari muatan Y jika muatan Y adalah +5μC?,
   e) Berapakah energi potensial listrik di titik B dari muatan Y jika muatan Y adalah +5μC?,
   f) Dari mana ke manakah muatan Y otomatis bergerak, dari A ke B ataukah dari B ke A? Berikan alasanmu!

7. Amatilah rangkaian listrik berikut dan jawablah pertanyaan-pertanyaannya:



   a) Jika rangkaian seri C_2, C_3, dan C_4 digantikan oleh C_s dan efek-efek kelistrikan dalam rangkaian terjaga tetap (konstan), maka berapakah nilai C_s?
   b) Jika rangkaian seluruh kapasitor digantikan oleh C_t, dan efek-efek kelistrikan dalam rangkaian terjaga tetap (konstan), maka berapakah nilai C_t?

8. Sebuah kapasitor pelat sejajar memilik nilai kapasitansi 100 nF. Jika kapasitor tersebut terdiri dari dua pelat konduktor sejajar yang masing-masing pelat memiliki luas A dan keduanya dipisahkan oleh udara saja (dengan $\varepsilon = 8{,}85 \times 10^{-12}\ C^2\ N^{-1}\ m^{-2}$) setebal 1μm, maka berapakah nilai A yang sesuai?

E. Kegiatan Pembelajaran
   Pendekatan: Saintifik
   Metode: Discovery Learning
   Model: Cooperative Learning
   Pertemuan ke-1
   a. Pendahuluan
      1. Berdoa
      2. Apersepsi:
         Guru bertanya kepada siswa tentang sifat-sifat muatan listrik yang telah dipelajarinya di SMP.
      3. Guru menjelaskan topik, hasil pembelajaran yang diharapkan, dan pokok-pokok kegiatan yang harus dilakukan

b. Kegiatan Inti

Merumuskan masalah:

1. Guru membagi kelas menjadi 4 kelompok
2. Guru membagikan dua lembar mika kepada setiap kelompok
3. Guru menyampaikan pertanyaan sambil memegang dua lembar mika yang identik: "Bagaimana cara membuat kedua lembar mika yang sebelumnya saling terkatup menjadi terbuka, saling menjauh?"

Merumuskan hipotesis:

Guru bertanya kepada siswa:

- "Apakah yang akan terjadi jika muatan-muatan listrik sejenis didekatkan?"
- "Apakah yang akan terjadi jika muatan-muatan listrik berlawanan jenis didekatkan?"
- "Apakah kita bisa mengubah benda yang netral menjadi bermuatan listrik atau menunjukkan gejala-gejala kelistrikan?
- "Cara apakah yang kalian ketahui untuk mengubah benda netral menjadi tidak netral?"
- "Kira-kira, dapatkah mika yang kalian pegang menjadi bermuatan listrik dengan cara-cara yang telah kalian sebutkan tadi?"
- "Dengan begitu, menurut dugaan kalian, dapatkah kedua mika tersebut saling menjauh dengan cara membuat mika tersebut menjadi tidak netral?"

Mengumpulkan data:

Guru mempersilahkan siswa untuk berdiskusi dan mencoba secara berkelompok untuk menemukan cara membuat kedua mika bermuatan listrik dan saling menjauh.

Menguji hipotesis:

Guru meminta siswa yang merasa berhasil untuk melakukan demonstrasi di depan kelas sebagai bentuk pembuktian hipotesis

Merumuskan kesimpulan:

1. Guru bertanya kepada siswa:
   - "Bagaimanakah muatan listrik pada kedua lembar mika, sejenis ataukah berlawanan?"Berikan alasanmu! ("Mungkinkah kedua bahan sejenis jika digosok dengan bahan yang sama menghasilkan muatan-muatan yang saling berlawanan?")
   - "Dengan melihat bahwa kedua mika saling menjauh setelah keduanya digosok dengan tangan, apakah yang akan terjadi jika kedua muatan sejenis saling didekatkan, cenderung menjauh ataukah mendekat?"
2. Guru melakukan demonstrasi menggosok gelas dengan tangan, lalu mendekatkan gelas tersebut pada salah satu mika. Pada tahap ini, diperkirakan mika akan menempel pada gelas yang telah digosok tersebut.
3. Guru bertanya kepada siswa:
   - "Samakah bahan antara gelas dengan mika?"
   - "Bagaimanakah perilaku mika terhadap gelas, menjauh ataukah mendekat?"
   - "Dengan begitu, samakah jenis muatan listrik pada mika dan pada gelas yang masing-masing telah digosok dengan bahan yang sama?"
   - "Jadi kesimpulan yang telah kalian peroleh setelah melakukan penelitian tadi adalah...".

Konfirmasi:

1. Guru menjelaskan perilaku muatan-muatan listrik yang sejenis dan berlawanan jenis.
2. Guru mendemonstrasikan ulang proses elektrifikasi termasuk polarisasi konduktor di sekitar mika bermuatan listrik.
3. Guru menjelaskan proses-proses elektrifikasi.
4. Guru mendiskusikan hal-hal yang ditemukan pada percobaan elektrifikasi mika dengan langkah:
   1) Bertanya: "Mengapa kedua mika saling menjauh kemudian berhenti?"
   2) Menjelaskan bahwa semakin jauh gaya tolaknya semakin lemah dengan besar muatan yang tetap.
   3) Bertanya: "Mengapa kedua mika bertambah jauh jika digosok lagi?"
   4) Menjelaskan bahwa muatan mika bertambah setelah digosok lagi sehingga gaya tolak antar mika bertambah dan butuh jarak yang lebih panjang untuk melemahkan gaya listriknya sehingga berhenti menjauh.

5) Menerangkan:"Dengan begitu terdapat korelasi antara besar muatan, jarak antar muatan, dan gaya tolak"

5. Guru mengaitkan hal-hal tersebut dengan medan dan gaya listrik statis (Coulomb)
   Langkah-langkahnya:
   1) Bertanya:"apakah mika kiri mendorong mika kanan dengan menyentuh mika kanan, atau sebaliknya?"
   2) Menerangkan:"Itulah yang dinamakan gaya oleh karena medan. Di sekitar muatan listrik terdapat medan yaitu daerah yang dipengaruhi oleh muatan listrik. Gaya yang dialami oleh muatan lain, yang seringkali disebut sebagai muatan uji, di dalam medan muatan sumber disebut gaya listrik atau gaya Coulomb. Jika muatan uji ini berbeda tanda dengan muatan sumber medan maka gaya Coulomb yang dialami oleh muatan uji akan menuju ke muatan sumber. Jika muatan uji tersebut bertanda sama dengan muatan sumber, maka gaya Coulomb yang dialaminya menjauhi muatan sumber."
6. Guru menjelaskan tentang medan listrik dan gaya Coulomb.
   1) Menerangkan:"sebelum membahas gaya Coulomb, kita bahas dahulu medan listrik karena medan listrik tersebut dialami oleh berapapun besar muatan uji."
   2) Guru menampilkan gambar garis gaya listrik yang divergen sempurna.
   3) Guru menjelaskan bahwa medan listrik sudah pasti sebanding dengan besar muatan sumber.
   4) Guru menjelaskan: "Muatan sumber sifatnya tetap, kecuali ditambahi dengan sengaja (oleh orang). Berdasarkan gambar, garis-garis gaya listrik sifatnya menyebar yang artinya kerapatannya berkurang. Kerapatannya tentu berbanding terbalik dengan luas permukaan bola khayal pada suatu jarak ($A = 4\pi r^2$), di mana jarak tersebut menjadi jari-jari bola tersebut. Jika dihitung, jumlah garis gaya (fluks) yang menembus setiap luasan adalah tetap. Menurut pak Gauss total fluks-nya sama dengan $\varepsilon_0 |q|$. Secara matematik dituliskan $E.A = \varepsilon_0 |q|$ dengan $A = 4\pi r^2$."
   5) Guru menurunkan hukum Gauss hingga menjadi rumus E yang sebenarnya.
   6) Guru menerangkan bahwa gaya Coulomb yang diperoleh muatan uji besarnya adalah $F = E.|q_u|$
   7) Guru menurunkan rumus hingga menjadi rumus F yang sebenarnya.
   8) Guru bertanya:"apakah muatan uji tidak memiliki medan listrik? Berapakah besarnya? Lalu apakah itu berarti muatan sumber terkena gaya listrik oleh muatan uji?"
   9) Guru menurunkan konsep gaya interaksi dari dengan mengaitkan pertanyaan tersebut dengan rumusan gaya Coulomb.

Mengamati

a) Guru mendemonstrasikan gerak jatuh bebas dalam medan gravitasi.
b) Guru mengulas energi potensial gravitasi yang telah dipelajari oleh siswa di SMP
c) Guru bertanya: "Apakah ada potensi pada muatan listrik untuk bergerak secara otomatis dalam medan listrik?".
d) Guru bertanya: "Dinyatakan dengan besaran apa potensi gerak otomatis muatan listrik dalam medan listrik tersebut?".

Menanya

Guru mempersilahkan siswa untuk menanyakan hal-hal yang belum dipahaminya.

Mengeksplorasi

Guru mempersilahkan siswa mempelajari dari sumber apapun yang sahih tentang energi potensial dan potensial listrik.

Mengasosiasi

Guru berdiskusi dengan siswa sekelas dengan pertanyaan:

- Pada benda jatuh bebas, benda otomatis bergerak menuju tempat berenergi potensial yang lebih rendah ataukah yang berenergi potensial lebih tinggi?
- Bagaimana dengan muatan listrik, ke manakah ia otomatis bergerak?
- Jika begitu, dengan besaran potensial seperti apa, dan bagaimana rumusnya, kita dapat memperkirakan arah gerak suatu muatan dalam medan listrik?

Mengkomunikasikan

a) Guru meminta seorang siswa untuk menuliskan rumus energi potensial listrik dan potensial listrik.
b) Guru meminta siswa yang lain untuk mengungkapkan cara penggunaan besaran energi potensial listrik dan potensial listrik untuk memperkirakan arah gerak suatu muatan listrik.

Konfirmasi

a) Guru menjelaskan energi potensial listrik.
b) Guru menjelaskan potensial listrik.
c) Guru menjelaskan penggunaan energi potensial listrik dan potensial listrik untuk memperkirakan arah gerak suatu muatan listrik dalam medan listrik

c. Kegiatan Penutup
   1) Guru memberikan *reward* kepada siswa berupa pujian atas kerja samanya dalam pembelajaran dan memberikan nasehat-nasehat kepada siswa jika terdapat kekurangan-kekurangan pada siswa selama pembelajaran.
   2) Guru menyampaikan topik pembelajaran berikutnya yaitu kapasitor dan ulangan harian.

Pertemuan ke-2

a. Kegiatan pendahuluan
   1) Berdoa
   2) Apersepsi:
      a) Guru bertanya sambil mendemonstrasikan elektroskop:"Apakah yang terjadi jika mika digosok dengan tangan? Apakah yang terjadi jika elektroskop didekati benda bermuatan lalu dihubungkan sesaat dengan ground, lalu benda bermuatan tersebut dijauhkan?Mengapa demikian?"
      b) Guru mengulas kembali tentang muatan listrik dan elektrifikasi
      c) Guru menjelaskan bahwa ketika seseorang meng-*electrify* suatu benda pada dasarnya ia sedang menyimpan muatan listrik pada benda tersebut, seperti halnya menyimpan energi panas pada air dengan cara merebus air tersebut lalu menyimpannya dalam termos.
      d) Guru menerangkan bahwa penyimpan muatan yang umum digunakan dalam teknik elektronika adalah kapasitor.
   3) Guru menjelaskan topik, hasil pembelajaran yang diharapkan, dan pokok-pokok kegiatan yang harus dilakukan.

b. Kegiatan Inti
   1) Guru menunjukkan benda yang disebut sebagai kapasitor. Kapasitor yang ditunjukkan ada yang elektrolit dan non elektrolit.
   2) Guru memperagakan cara memberi muatan pada kapasitor.
   3) Guru memperagakan cara mengosongkan muatan kapasitor melalui LED, yang mewakili beban listrrik secara umum, di mana jika LED menyala berarti ada aliran muatan di antara kaki-kaki kapasitor tersebut. Dalam proses pengosongan dan pengisian kapasitor dihubungkan seri dengan resistor, misal: 1 kΩ.
   4) Guru mengulangi langkah 2 dan 3 dengan kapasitor yang nilai kapasitansinya jauh berbeda untuk melihat pengaruh kapasitansi terhadap durasi nyalanya LED. Hal ini diharapkan memberikan gambaran kasar tentang salah satu manfaat kapasitor dalam elektronika nyata sebagai pewaktu atau timer, seperti yang ada pada jam elektronik, pemancar radio, dll.
   5) Guru bertanya kepada siswa:"Adakah peran listrik statis dalam teknologi informasi dan komunikasi? Bagaimana dengan peran kapasitor sebagai komponen listrik statis dalam teknologi informasi dan komunikasi, baik yang analog, seperti radio, maupun yang digital, seperti WiFi atau serat optik?"
   6) Guru meminta seluruh siswa untuk mengerjakan soal latihan no 7 dan 8 diktat Listrik Statis.

7) Siswa mengerjakan kedua soal tersebut dengan terlebih dahulu mempelajari diktat dan/atau sumber lain yang relevan, misal: artikel internet, dan berdiskusi dengan teman sebangkunya.
8) Guru meminta beberapa siswa untuk mengerjakan soal no 7 dan 8 tersebut di papan tulis.
9) Guru memberikan kesempatan kepada siswa lain
10) Guru memberikan penjelasan tentang sifat, fungsi, dan rumus-rumus kapasitor.
11) Guru memberikan konfirmasi atas jawaban siswa di papan tulis.
12) Guru membagikan soal ulangan kepada siswa
13) Guru meminta siswa mengerjakan soal ulangan di selembar kertas dan meminta siswa untuk tidak mencorat-coret soal UH.
14) Guru memberikan petunjuk menjawab soal.
15) Siswa mengerjakan soal-soal ulangan harian.

c. Kegiatan Penutup
1) Guru meminta siswa untuk mengumpulkan jawaban ulangan
2) Guru memberikan *reward* kepada siswa berupa pujian atas kerja samanya dalam pembelajaran dan memberikan nasehat-nasehat kepada siswa jika terdapat kekurangan-kekurangan pada siswa selama pembelajaran.
3) Guru menyampaikan kegiatan pembelajaran berikutnya yaitu menelaah rangkaian elektronika praktis.

Pertemuan ke-3

a. Pendahuluan
1. Berdoa
2. Apersepsi:
Guru bertanya:"Pernahkah kalian mengalami gangguan siaran TV atau radio? Mungkinkah gangguan itu terjadi pada internet, mengapa? Pernahkah kalian tiba-tiba kesetrum logam di tempat kering ber AC? Mengapa terjadi seperti itu? Bagaimana jika logam tersebut adalah perangkat computer, misal: LAN card, mungkinkah LAN card tersebut akan rusak oleh karena listrik statis yang menyetrum tadi?"
3. Guru menjelaskan bahwa kapasitor sebagai komponen listrik statis mutlak dipergunakan dalam teknologi komunikasi dan tidak luput dari gangguan listrik statis, segala peralatan elektronik baik yang menggunakan gelombang radio ataupun tidak juga tidak luput dari gangguan listrik statis karena listrik statis bias terjadi di mana saja dan sifatnya liar (tidak terprediksi)
4. Guru menjelaskan topik pembelajaran, yaitu belajar menelaah dan merumuskan cara mengatasi permasalahan listrik statis dalam teknologi informasi dan komunikasi.

b. Kegiatan Inti
4. Guru membagi kelas menjadi 4 kelompok
5. Guru meminta setiap kelompok mencari kasus listrik statis dalam teknologi informasi di internet.
6. Guru meminta setiap kelompok untuk menelaah secara permasalahan yang ditemukannya tersebut lalu mencari solusinya. Hasil telaah tersebut kemudian diketik dalam suatu makalah dengan format yang ditentukan oleh guru.
7. Siswa mengumpulkan hasil kerjanya ke guru.
8. Guru membahas 1 atau 2 makalah yang paling menarik sebagai bentuk konfirmasi terhadap hasil kerja siswa.

c. Kegiatan Penutup
1. Guru memberikan *reward* kepada siswa berupa pujian atas kerja samanya dalam pembelajaran dan memberikan nasehat-nasehat kepada siswa jika terdapat kekurangan-kekurangan pada siswa selama pembelajaran.
2. Guru menyampaikan topik pembelajaran berikutnya yaitu Listrik Arus Searah.

F. Penilaian, Pembelajaran, Remedial dan Pengayaan
KD 3.7:

1. Teknik penilaian
   Jenis penilaian: tes tulis sumatif
   Bentuk soal: pilihan ganda
2. Instrumen
   Soal dan Jawaban terlampir
3. Rubrik penilaian
   Jumlah soal = 20.
   Bobot per soal = 100/20
   Nilai diperoleh dengan rumus:
   $Nilai = jumlah\ soal\ yang\ dijawab\ dengan\ benar \times bobot\ per\ soal$

KD 4.7:

1. Teknik penilaian
   Jenis penilaian: penugasan
   Bentuk soal: makalah
2. Instrumen

No	Nama	Kelompok	Poin Makalah			Nilai**
			Ada* gambar penunjang	Ada* telaah masalah	Ada* rumusan solusi	
1						
2						
3						
4						
5						
…						

   * : jika ada diberi nilai 1, jika tidak ada diberi nilai 0
   **: nilai diperoleh dengan rumus:
   $Nilai = total\ poin\ makalah \times 33$

4. Remedial
   Remedial dilakukan setelah penilaian dan dengan cara bimbingan perorangan jika jumlah siswa yang tidak tuntas < 20%. Jika lebih, maka akan dilakukan pembelajaran ulang dengan metode ceramah.

G. Media/alat, Bahan, dan Sumber Belajar
   Media: kapasitor, resistor, AVO meter, kabel, catu daya (baterai), LED, elektroskop.
   Bahan: mika elektrostatis.
   Sumber belajar:
   - Serway, J. 2004. *Physics for Scientists and Engineers*. California: Thomson Brooks/Cole.
   - Hsu, T. 2004. *Foundation of Physics*. Peabody: CPO Science.
   - Artikel dari internet
   - Diktat dari guru

Jember, 2 Januari 2020

Mengetahui, Kepala Sekolah	Guru Mata Pelajaran
PEMERINTAH PROVINSI JAWA TIMUR SMKN 3 JEMBER DINAS PENDIDIKAN	
PRIWAHYU HARTANTI, M.Pd.	ABDUL HAYYI, S.Pd.
Pembina Utama Muda	NIP. 19731126199903 1 001
NIP. 19640717 198903 2 014	

PEMERINTAH PROVINSI JAWA TIMUR
DINAS PENDIDIKAN
SEKOLAH MENENGAH KEJURUAN NEGERI 6 JEMBER
Jalan PB. Sudirman.No. 114 Telp./Fax. (0336) 441347 Tanggul – Jember 68155
Website : www.smkn6jember.sch.id; E-mail: smknn6.jember@yahoo.com
JEMBER

RENCANA PELAKSANAAN PEMBELAJARAN (RPP)

Sekolah : SMK NEGERI 6 JEMBER
Mata Pelajaran : FISIKA
Kelas/Semester : X / GENAP
Alokasi waktu : 3 x 3 x 45 menit (3 Pertemuan)

A. Kompetensi Inti

KI 3:
Memahami, menerapkan dan menganalisis pengetahuan faktual, konseptual, dan prosedural berdasarkan rasa ingin tahunya tentang ilmu pengetahuan, teknologi, seni, budaya, dan humaniora dalam wawasan kemanusiaan, kebangsaan, kenegaraan, dan peradaban terkait penyebab fenomena dan kejadian dalam bidang kerja yang spesifik untuk memecahkan masalah.

KI 4:
Mengolah, menalar, dan menyaji dalam ranah konkret dan ranah abstrak terkait dengan pengembangan dari yang dipelajarinya di sekolah secara mandiri, dan mampu melaksanakan tugas spesifik di bawah pengawasan langsung.

B. Kompetensi Dasar

3.8 Memahami hukum-hukum kelistrikan arus searah.
4.8 Menyajikan hasil percobaan hukum-hukum kelistrikan arus searah.

C. Indikator Pencapaian Kompetensi

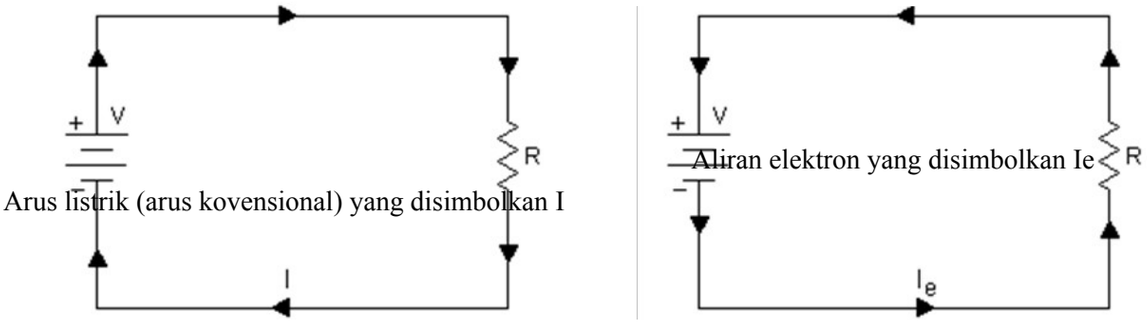
KD 3.8:
1. Mengidentifikasi ungkapan matematik dari hukum Ohm
2. Menghitung besaran-besaran arus listrik searah

KD 4.8:
1. Mengukur tegangan dengan cara benar
2. Mengukur kuat arus dengan cara yang benar
3. Menyajikan nilai hambatan yang terukur
4. Menyajikan kurva V-I dari hambatan yang diukur

D. Materi Pembelajaran

A. Arus Listrik dan Aliran Elektron

Di sekitar kita tentu banyak peralatan listrik, seperti setrika, komputer, radio, TV, dan mesin cuci. Peralatan listrik tersebut pada umumnya menggunakan energi listrik yaitu energi yang diperoleh dari aliran muatan-muatan listrik dalam kabel. Adapun muatan yang mengalir di dalam konduktor tersebut, **sebelumnya**, diperkirakan adalah muatan positif, yang mengalir dari kutub positif sumber tegangan menuju kutub negatifnya dengan melalui komponen-komponen atau alat-alat listrik dalam rangkaian listrik.



Gambar 18. Perbedaan arus listrik (arus konvensional) dengan aliran elektron

Setelah itu, barulah ditemukan bahwa muatan yang mengalir sebenarnya bermuatan negatif yang dikenal dengan nama **elektron**. Oleh karena rumus-rumus yang menggunakan asumsi bahwa yang mengalir adalah muatan positif yang dikenal dengan nama **proton** sudah sedemikian mantap secara teknis dan hasil perhitungannya tidak bertentangan dengan hukum-hukum fisika, maka rumus-rumus tersebut tetap diakui walaupun asumsinya tidak sesuai kenyataan. Konsep tentang aliran muatan positif dalam penghantar disebut konsep **arus listrik** atau **arus konvensional** sedangkan konsep tentang aliran muatan negatif dalam penghantar disebut **aliran elektron**. Jadi, konsep arus listrik tetap diaplikasikan secara teknis (umum), termasuk dalam bahasan listrik dinamis yang akan dipelajari, sedangkan konsep aliran elektron diaplikasikan untuk keperluan tertentu saja, misal untuk penelitian di bidang fisika. Berdasarkan Gambar 17, dapat dinyatakan bahwa:

$I = -I_e$

di mana I adalah kuat arus listrik konvensional dan I_e adalah kuat aliran elektron.

Secara matematik, kuat arus listrik I dirumuskan:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

, di mana:

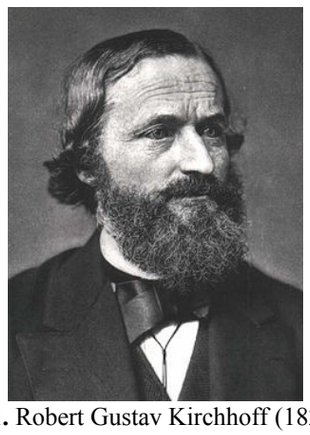
I : kuat arus listrik (ampere (A))

Δq : besar muatan yang mengalir (coulomb (C))

Δt : selang waktu

yang berarti bahwa **Kuat Arus Listrik adalah besar muatan listrik yang mengalir dalam selang waktu tertentu**. Untuk pembahasan tentang listrik dinamis baik arus searah maupun bolak-balik kita akan selalu **tetap** menggunakan asumsi bahwa arus listrik mengalir dari kutub positif sumber tegangan menuju kutub negatif sumber tersebut melalui rangkaian listrik.

B. Hukum Kirchhoff



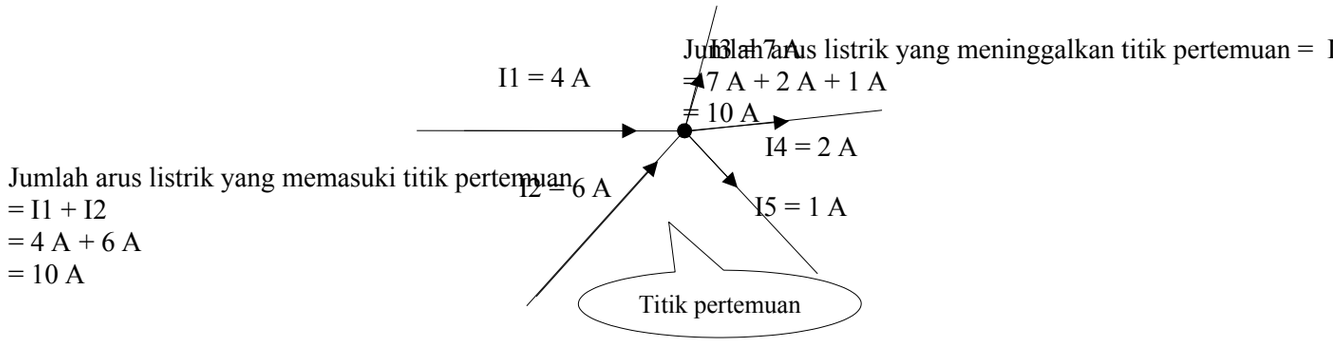
Gambar 1. Robert Gustav Kirchhoff (1824 – 1887)

Gustav Robert Kirchhoff (baca: Kirkh-hof) (1824-1887) adalah seorang ilmuwan Jerman. Ia menemukan hukum-hukum fisika, seperti: hukum tentang arus listrik, hukum tentang tegangan listrik, hukum tentang termokimia, dan hukum tentang radiasi benda hitam.

B.1. Hukum Kirchhoff tentang Arus Listrik (*Kirchhoff's Current Law* (*KCL*))

Hukum Kirchhoff tentang arus listrik mengatakan bahwa **jumlah arus listrik pada suatu titik (simpul) pertemuan pada konduktor adalah nol**, atau **jumlah arus listrik yang memasuki titik pertemuan = jumlah arus yang keluar dari titik tersebut**. Hal ini sesuai dengan asas kekekalan materi, jika jumlah

arus yang m ke suatu titik adalah 10 ampere maka jumlah arus listrik yang keluar juga pasti 10 ampere, seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Ilustrasi hukum Kirchhoff tentang arus listrik

B.1. Hukum Kirchhoff tentang Tegangan Listrik (*Kirchhoff's Voltage Law* (*KVL*))

Hukum Kirchhoff tentang tegangan listrik mengatakan bahwa **jumlah tegangan (beda potensial) pada satu loop (putaran) dalam rangkaian listrik tertutup dengan arah tertentu adalah nol**. Hal yang perlu diperhatikan pada kalimat hukum tersebut adalah kata satu loop. Satu loop dalam rangkaian tertutup bisa jadi memiliki cabang dengan rangkaian tertutup lain, tetapi KVL hanya berlaku pada satu loop dalam rangkaian tertutup tersebut tanpa melibatkan loop rangkaian cabangnya dalam satu penjumlahan tegangan. Sebagai contoh, perhatikan Gambar 3a dan 3b. Rangkaian dengan skema Gambar 3a memiliki satu loop, sebut saja Loop ABCD (loop dengan arah putar titik A→B→C→D). Pada Loop ABCD berlaku bahwa:

$V_{AB}+V_{BC}+V_{CD}+V_{DA}=0$

Perlu diketahui bahwa $V_{AB}=V_A-V_B$, dan begitu pula untuk $V_{BC}, V_{CD}, dan\, V_{DA}$. Oleh karena itu, persamaan di atas dapat diubah menjadi:

$(V_A-V_B)+(V_B-V_C)+(V_C-V_D)+(V_D-V_A)=0$

$V_A-V_B+V_B-V_C+V_C-V_D+V_D-V_A=0$

$V_A-V_A+V_B-V_B+V_C-V_C+V_A-V_A=0$

$0+0+0+0=0$

Dengan begitu dapat dikatakan bahwa:

$V_{AB}+V_{BC}+V_{CD}+V_{DA}=0$

$(V_A-V_B)+(V_B-V_C)+(V_C-V_D)+(V_D-V_A)=0$

$V_{R1}+V_{R2}+0-V_{V1}=0$

$V_{R1}+V_{R2}+0-12\,volt=0$

$V_{R1}+V_{R2}+0=12\,volt$

$V_{R1}+V_{R2}=12\,volt$

Perlu diketahui bahwa:

$V_{CD}=V_C-V_D=0$

Karena di antara titik C dan D hanya ada konduktor dengan hambatan sebesar nol sehingga $V_C=V_D$.

Rangkaian dengan skema Gambar 3b memiliki dua loop, sebut saja Loop ABEF (loop dengan arah putar titik A→B→E→F) dan Loop BCDE (loop dengan arah putar titik B→C→D→E) dan. Pada Loop ABEF berlaku bahwa:

$V_{AB}+V_{BE}+V_{EF}+V_{FA}=0$

$(V_A-V_B)+(V_B-V_E)+(V_E-V_F)+(V_F-V_A)=0$

$V_{R1}+V_{R2}+0-V_{V1}=0$

$V_{R1}+V_{R2}-12\,volt=0$

$V_{R1}+V_{R2}=12\,volt$

Pada Loop BCDE berlaku bahwa:

$V_{BC}+V_{CD}+V_{DE}+V_{EB}=0$

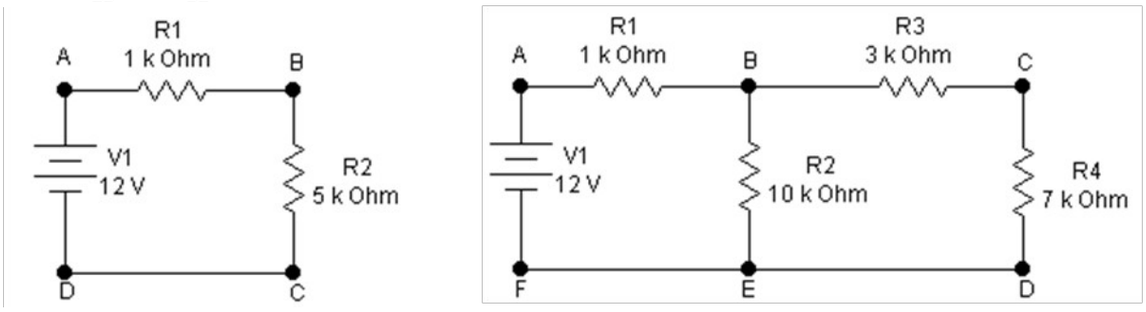
$(V_B-V_C)+(V_C-V_D)+(V_D-V_E)+(V_E-V_B)=0$

$V_{R3}+V_{R4}+0-V_{R2}=0$

$V_{R3}+V_{R4}-V_{R2}=0$

$V_{R3}+V_{R4}=V_{R2}$

Perlu diketahui bahwa V_{R2} pada Loop BCDE bernilai negatif karena V_{BE} telah diasumsikan **positif** dan sama dengan V_{R2} pada Loop ABEF, sedangkan yang terlibat pada Loop BCDE adalah V_{EB}, bukan V_{BE}, di mana $V_{EB}=-V_{BE}$.



(a)(b)

Gambar 3. a) Rangkaian satu loop, **b)** Rangkaian dua loop

Dengan mengacu pada persamaan-persamaan di atas, jika $V_{R1}=2\,volt$ pada rangkaian Gambar 3a, maka:

$V_{R1}+V_{R2}=12\,volt$

$2\,volt+V_{R2}=12\,volt$

$V_{R2}=12\,volt-2\,volt$

$V_{R2}=10\,volt$

dan jika $V_{R1}=2\,volt$ pada rangkaian Gambar 3b, maka pada Loop ABEF berlaku:

$V_{R1}+V_{R2}=12\,volt$

$2\,volt+V_{R2}=12\,volt$

$V_{R2}=12\,volt-2\,volt$

$V_{R2}=10\,volt$

dan maka pada Loop BCDE berlaku:

$V_{R3}+V_{R4}=V_{R2}$

$V_{R3}+V_{R4}=10\,volt$

Hukum Kirrchoff baik KCL maupun KVL hanya mengungkapkan aljabar yang berlaku pada analisa rangkaian listrik. Untuk menentukan besarnya tegangan atau kuat arus listrik dari suatu hambatan dalam sebuah rangkaian diperlukan lagi sebuah hukum fisika dalam hal kelistrikan yaitu **Hukum Ohm**.

C. Hukum Ohm

Gambar 4. Georg Simon Ohm (1789 – 1854)

Hukum Ohm ditemukan oleh Georg Simon Ohm (1789 – 1854), seorang ilmuwan berkebangsaan Jerman. Hukum Ohm mengatakan: **Gaya Gerak Listrik (GGL) atau *electromotive force* (*e.m.f.*) di antara kaki-kaki setiap komponen dalam suatu rangkaian sama dengan hasil kali antara kuat arus yang mengalir melalui komponen tersebut dengan hambatan listrik dari komponen tersebut**. Gaya gerak listrik sebenarnya adalah tegangan listrik atau beda potensial listrik. Secara matematik, pernyataan hukum Ohm tersebut dituliskan:

$V=IR$

di mana:

V : gaya gerak listrik atau tegangan listrik (volt (V))

I : kuat arus (ampere (A))

R : hambatan listrik (ohm (Ω))

D. Daya Listrik

Kita tentunya sering mendengar istilah "watt" dalam bidang kelistrikan. Pada mesin cuci, kulkas, lampu, setrika, atau televisi, misalnya, sering tertera tulisan watt di belakang angka. Biasanya, semakin besar angka watt tersebut semakin terang cahaya yang dihasilkan, jika pada lampu, atau semakin cepat panas, jika pada setrika, atau semakin kuat dalam memutar beban, jika pada mesin cuci, atau semakin cepat menghabiskan energi listrik pada semua alat listrik. "Watt" adalah satuan dari daya, di mana daya secara umum dirumuskan:

$$P=\frac{W}{t}$$

, di mana:
P : daya listrik (watt (W))
W : energi yang dikonsumsi (joule (J))
t : selang waktu (detik (s))

Secara khusus, daya listrik dirumuskan:

$$P=VI$$

atau

$$P=I^2R$$

atau

$$P=\frac{V^2}{R}$$

, di mana:
P : daya listrik (watt (W))
V : tegangan listrik (volt (V))
I : kuat arus listrik (ampere (A))
R : hambatan listrik komponen atau alat listrik (ohm (Ω))

E. Energi Listrik

Listrik adalah salah satu bentuk energi. Energi listrik dihasilkan dari aliran elektron yang mengalir dalam rangkaian listrik. Energi listrik dapat diubah menjadi energi-energi bentuk lain, misal: cahaya, bunyi, panas, dan gerak oleh alat-alat listrik. Energi listrik dirumuskan sebagai:

$$W=Pt$$

, di mana:
W : energi listrik (joule (J))
P : daya listrik (watt (W))
t : selang waktu atau durasi (detik (s))

Satuan lain dari energi listrik yang sering digunakan adalah kWh, yang merupakan singkatan dari "kilo watt hour", di mana:

$$1\,kWh=1000\times 1\,W\times 1\,jam$$
$$1\,kWh=1000\times 1\,W\times 3600\,detik$$
$$1\,kWh=36\times 10^5\,Ws=36\times 10^5\,joule$$

Peru diketahui bahwa energi listrik juga sering disimbolkan "E " oleh buku-buku fisika lain.

F. Analisa Rangkaian Listrik Arus Searah

F.1. Listrik Arus Searah (*Direct Current* (*DC*))

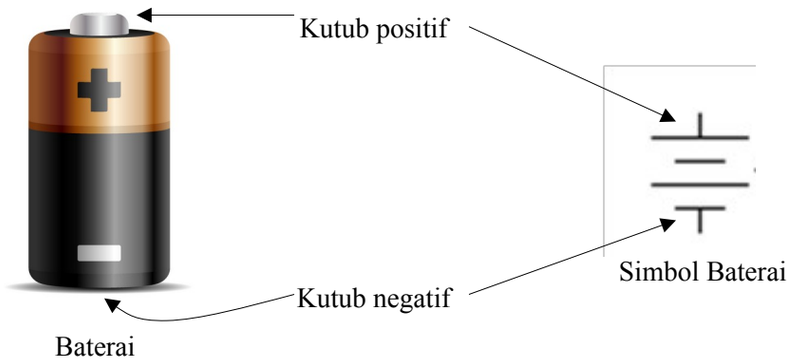
Suatu rangkaian listrik disebut rangkaian listrik arus searah (DC) manakala arus yang mengalir dalam setiap komponennya **tidak pernah berbalik arah**. Sumber tegangan yang digunakan oleh rangkaian tersebut juga merupakan sumber tegangan searah, di mana kutub-kutub *output*-nya tidak pernah bertukar tempat. Contoh sumber tegangan searah adalah baterai, aki (*accumulator*), panel surya (*solarcell*), dan AC Adaptor.

Panel surya (solarcell) AC Adaptor

Baterai Aki (accumulator)

Gambar 5. Macam-macam sumber tegangan searah

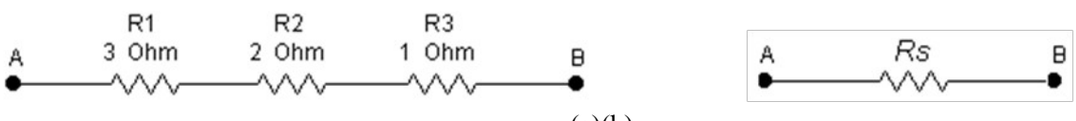
Simbol sumber tegangan searah dalam skema rangkaian elektronika adalah seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Baterai dan simbol baterai

F. Aturan Ekivalensi Rangkaian Hambatan (Resistor)

F.1 Rangkaian Seri



(a)(b)

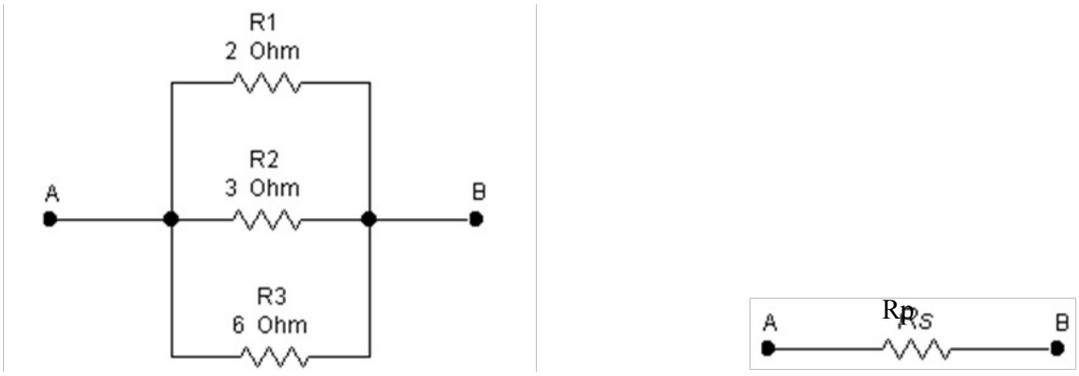
Gambar 7. a) Rangkaian hambatan seri, **b)** Rangkaian pengganti

Jika terdapat rangkaian hambatan seri seperti pada Gambar 7a, maka hambatan total dari rangkaian tersebut adalah *Rs*, seperti pada Gambar 7b, di mana sebuah hambatan yang bernilai *Rs* dapat digunakan untuk mengganti rangkaian seluruh hambatan tanpa mengubah kuat arus listrik total yang mengaliri rangkaian tersebut. Nilai *Rs* dapat dicari dengan rumus:

$Rs = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots$

, di mana $R_1, R_2, dan\ R_3$ adalah hambatan-hambatan pada rangkaian asli (Gambar 7a).

F.2 Rangkaian Paralel



(a)(b)

Gambar 8. a) Rangkaian hambatan paralel, **b)** Rangkaian pengganti

Jika terdapat rangkaian hambatan seri seperti pada Gambar 8a, maka hambatan total dari rangkaian tersebut adalah *Rp*, seperti pada Gambar 8b, di mana sebuah hambatan yang bernilai *Rp* dapat digunakan untuk mengganti rangkaian seluruh hambatan tanpa mengubah kuat arus listrik total yang mengaliri rangkaian tersebut. Nilai *Rp* dapat dicari dengan rumus:

$$\frac{1}{Rp}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}+\ldots$$

atau

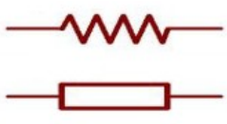
$$Rp=\frac{1}{\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}+\ldots}$$

, di mana $R_1, R_2, dan\ R_3$ adalah hambatan-hambatan pada rangkaian asli (Gambar 8a).

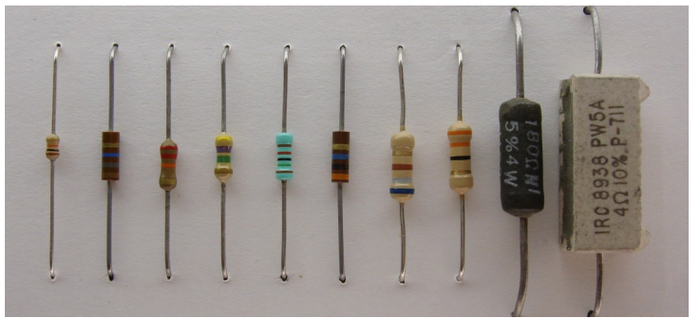
G. Resistor

Pada dasarnya semua konduktor, termasuk alat-alat elektronik, memiliki resistansi atau hambatan listrik. Akan tetapi, terdapat komponen elektronika yang dirancang khusus sebagai penghambat dengan nilai resitansi tertentu. Komponen tersebut bernama **resistor**. Ditinjau dari sifatnya, resistor terbagi menjadi 2 kelompok, yaitu: **resistor tetap** dan **resistor variabel**. Resistor tetap biasanya digunakan untuk mengurangi tegangan, mengurangi arus listrik, membagi tegangan, menentukan frekuensi osilator bersama dengan kapasitor. Resistor variabel biasanya digunakan untuk mengatur volume dan keseimbangan suara pada penguat suara (*sound system* / *amplifier*). Gambar resistor dan simbolnya dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10.

Resistor tetap



Variasi simbol resistor

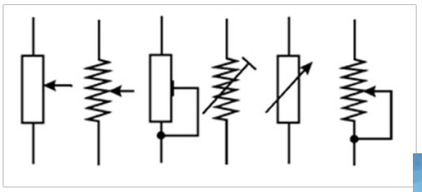


Berbagai macam ukuran resistor berdasarkan daya maksimumnya, semakin besar semakin kuat menahan panas

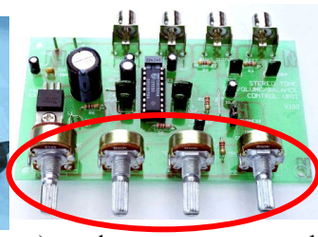
Gambar 9. Resistor tetap

Resistor variabel

Berbagai macam resistor variabel



Variasi simbol resistor variabel (resistor yang nilainya da

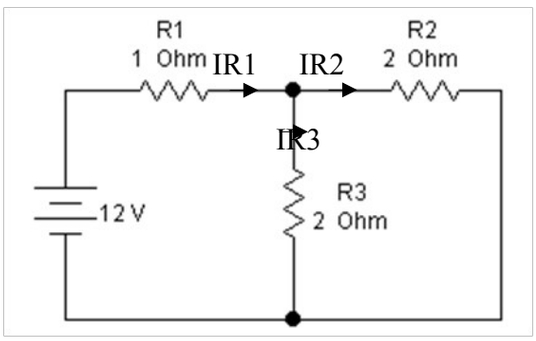


Penggunaan resistor variabel (disebut juga : potensiometer) untuk mengatur suara pada

Gambar 10. Resistor variabel

H. Contoh-contoh Soal

1. Perhatikan rangkaian listrik berikut:



Jika kuat arus listrik yang mengalir pada R1 adalah 6 A dan yang mengalir pada R2 adalah 3 A, maka:

a) berapakah kuat arus yang mengalir melalui R3?
b) berapakah tegangan pada R1, R2, dan R3?

Jawab:

a) Berdasarkan hukum Kirchhoff (KCL) diperoleh bahwa:

$I_{R1}=I_{R2}+I_{R3}$

$I_{R3}=I_{R1}-I_{R2}$

$I_{R3}=6-3=3\,A$

b) Berdasarkan hukum Ohm dan hukum Kirchhoff (KVL) diperoleh bahwa:

$V_{R2}=I_{R2}.R2=3\times 2=6\,V$

Oleh karena R2 paralel dengan R3 maka:

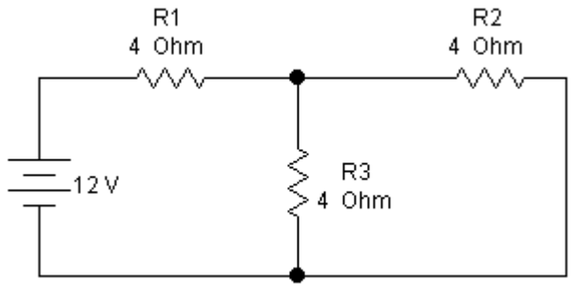
$V_{R3}=V_{R2}=6\,V$

Baterai V1, R1, dan R3 berada dalam satu loop, sehingga

$V1=V_{R1}+V_{R3}$

$V_{R1}=V1-V_{R3}=12-6=6\,V$

2. Perhatikan rangkaian listrik berikut:



a) Berapakah hambatan total rangkaian?
b) Berapakah kuat arus yang mengalir melalui R1, R2, dan R3?
c) Berapakah tegangan pada R1, R2, dan R3?
d) Berapakah daya listrik yang dikonsumsi oleh R1, R2, dan R3?
e) Berapakah daya listrik total yang dikonsumsi oleh rangkaian?
f) Berapakah energi listrik yang dikonsumsi selama 1 jam oleh R1, R2, dan R3?
g) Berapakah energi listrik total yang dikonsumsi selama 1 jam oleh seluruh rangkaian?

Jawab:

a) Rangkaian ini merupakan rangkaian campuran paralel dan seri. Untuk mencari nilai hambatan total, maka dicari terlebih dahulu hambatan total antara *R2* dan *R3* karena rangkaian ini paling sederhana. *R2* terpasang paralel dengan *R3*, sehingga:

$$\frac{1}{Rp}=\frac{1}{R2}+\frac{1}{R3}=\frac{1}{4}+\frac{1}{4}=\frac{1}{2}$$

$$Rp=\frac{1}{\frac{1}{Rp}}=\frac{1}{\frac{1}{2}}=2\,\Omega=2\,ohm$$

Rp, yang merupakan hambatan pengganti *R2* dan *R3*, terpasang seri dengan *R1*, sehingga:

$R_{total}=Rs=R1+Rp=4+2=6\,\Omega$

Jadi, hambatan total rangkaian adalah 6 Ω.

b) Kuat arus total $\left(I_{total}\right)$ dicari dengan cara:

$$I_{total}=\frac{V_{total}}{R_{total}}=\frac{V_{baterai}}{R_{total}}=\frac{12}{6}=2\,A$$

Berdasarkan KCL, kuat arus yang mengalir melalui *R1* $\left(I_{R1}\right)$ sama dengan I_{total}, sehingga:

$I_{R1}=I_{total}=2\,A$

selain itu,

$I_{R1}=I_{R2}+I_{R3}=I_{Rp}=2\,A$

atau kuat arus yang mengalir pada *R1* sama dengan kuat arus yang mengalir pada rangkaian paralel *R2* dan *R3*, di mana I_{R1} adalah kuat arus yang memasuki titik (simpul) percabangan sedangkan I_{R2} dan I_{R3} adalah kuat arus yang keluar dari titik percabangan. Dengan begitu, tegangan yang bekerja pada *R2* (V_{R2}) dan tegangan yang bekerja pada *R3* (V_{R3}) memenuhi persamaan:

$V_{R2}=V_{R3}=V_{Rp}=I_{Rp}\times Rp=2\times 2=4\,V$

Kuat arus yang mengalir melalui *R2* (I_{R2}):

$$I_{R2}=\frac{V_{R2}}{R2}=\frac{4}{4}=1\,A$$

Kuat arus yang mengalir melalui *R3* (I_{R3}):

$$I_{R3}=\frac{V_{R3}}{R3}=\frac{4}{4}=1\,A$$

c) Tegangan yang bekerja pada *R1* (V_{R1}) diperoleh dengan cara:

$V_{R1}=I_{R1}\times R1=2\times 4=8\,V$

Tegangan yang bekerja pada *R2* atau *R3* secara keseluruhan (V_{Rp}) sama dengan tegangan yang bekerja pada setiap hambatan tersebut, yaitu V_{R2} dan V_{R3}, atau:

$V_{Rp}=V_{R2}=V_{R3}$

, di mana

$V_{Rp}+V_{R1}=V_{total}$

$V_{Rp} = V_{total} - V_{R1}$
$V_{Rp} = 12 - 8 = 4\,V$
Jadi,
$V_{Rp} = V_{R2} = V_{R3} = 4\,V$
Hasil ini sama dengan hasil perhitungan V_{Rp} dengan menggunakan KCL atau analisa kuat arus listrik dan hukum Ohm pada butir (b).

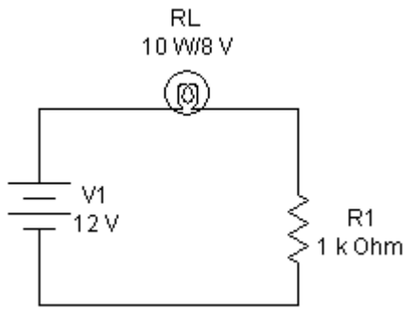
d) Daya listrik yang dikonsumsi oleh *R1*, *R2*, dan *R3* atau P_{R1}, P_{R2}, dan P_{R3} diperoleh dengan cara:
$P_{R1} = V_{R1} \times I_{R1} = 8 \times 2 = 16\,W$
$P_{R2} = V_{R2} \times I_{R2} = 4 \times 1 = 4\,W$
$P_{R3} = V_{R3} \times I_{R3} = 4 \times 1 = 4\,W$

e) Daya listrik total yang dikonsumsi oleh rangkaian diperoleh dengan cara:
$P_{total} = I_{total} \times V_{total} = 12 \times 2 = 24\,W$

f) Energi listrik selama 1 jam yang dikonsumsi oleh *R1*, *R2*, dan *R3* atau P_{R1}, P_{R2}, dan P_{R3} diperoleh dengan cara:
$W_{R1} = P_{R1} \times t = 16\,W \times 3600\,s = 57600\,J$
$W_{R2} = P_{R2} \times t = 4\,W \times 3600\,s = 14400\,J$
$W_{R3} = P_{R3} \times t = 4\,W \times 3600\,s = 14400\,J$
atau menggunakan satuan jam untuk waktu dan kWh untuk energi listrik:
$W_{R1} = P_{R1} \times t = 16\,W \times 1\,h = 16\,Wh = 0{,}016\,kWh$
$W_{R2} = P_{R2} \times t = 4\,W \times 1\,h = 4\,Wh = 0{,}004\,kWh$
$W_{R3} = P_{R3} \times t = 4\,W \times 1\,h = 4\,Wh = 0{,}004\,kWh$

g) Energi listrik total selama satu jam yang dikonsumsi oleh rangkaian diperoleh dengan cara:
$E_{total} = P_{total} \times t = 24\,W \times 3600\,s = 86400\,J$
atau menggunakan satuan jam untuk waktu dan kWh untuk energi listrik:
$E_{total} = P_{total} \times t = 24\,W \times 1\,h = 24\,Wh = 0{,}024\,kWh$

3. Sebuah lampu dengan hambatan listrik RL dipasang seri dengan sebuah hambatan R1 dan baterai V1. Pada lampu tertulis 10W/8V.



a) Berdasarkan hasil analisamu, apakah lampu tersebut akan putus, menyala dengan terang maksimum, ataukah menyala redup? Berikan alasanmu secara matematik!
b) Berapakah seharusnya nilai R1 agar lampu menyala dengan terang maksimum?

Jawab:

a) Jika pada lampu tertulis 10 W/8 V, maka hal itu berarti jika lampu diberi tegangan lebih dari 8 V, maka lampu akan putus (rusak) dan jika lampu diberi tegangan sebesar 8 V, maka lampu akan menyala dengan tingkat terang maksimum. Setiap alat listrik pasti memiliki hambatan listrik, tidak terkecuali lampu tersebut. Hambatan dari lampu (*RL*) dapat dihitung dengan cara:
$RL = \frac{V_{max}^{\,2}}{P_{max}} = \frac{8^2}{10} = 6{,}4\,\Omega$
Hambatan total rangkaian diperoleh dengan cara:
$R_{total} = RL + R1 = 6{,}4 + 1000 = 1006{,}4\,\Omega$
Kuat arus total diperoleh dengan cara:
$I_{total} = \frac{V_{total}}{R_{total}} = \frac{V1}{R_{total}} = \frac{12}{1006{,}4} = 0{,}012\,A$

Kuat arus pada lampu sama dengan kuat arus total karena lampu terhubung dengan baterai tanpa melalui titik percabangan, atau

$I_{lampu} = I_{total} = 0{,}012\,A$

Daya yang dikonsumsi oleh lampu diperoleh dengan cara:

$P_{lampu} = I_{lampu}^2 \times RL = 0{,}012^2 \times 6{,}4 = 0{,}0009\,W$

Berarti lampu menyala sangat redup, di mana daya listrik yang dikonsumsi hanya 0,0009 W dan daya cahaya yang dipancarkan tidak lebih 0,0009 W, sedangkan daya maksimumnya adalah 10 W.

b) Agar lampu menyala dengan terang maksimum, lampu harus menyala dengan daya maksimum, yaitu 10 W, dan tegangan maksimum, yaitu 8V. Jika lampu menyala dengan tegangan 8 V, maka kuat arus yang mengalir pada lampu (I_{RL}) adalah

$$I_{RL} = \frac{V_{RL}}{RL} = \frac{8}{6{,}4} = 1{,}25\,A$$

, di mana

$I_{RL} = I_{R1} = I_{R_{total}} = 1{,}25\,A$

Selain itu, tegangan pada *R1* (V_{R1}) tentu akan bernilai:

$V_{R1} = V_{total} - V_{lampu} = V1 - V_{RL} = 12 - 8 = 4\,V$

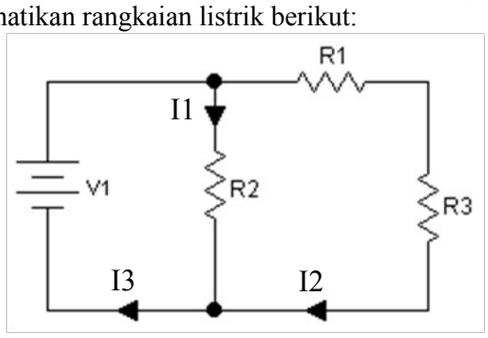
Jadi, hambatan *R1* yang diperlukan agar lampu dapat menyala dengan terang maksimum dan aman adalah:

$$R1 = \frac{V_{R1}}{I_{R1}} = \frac{4}{1{,}25} = 3{,}2\,\Omega$$

SOAL-SOAL LATIHAN

Isilah titik di bawah ini dengan jawaban yang sesuai fakta dan teori yang berlaku!

1. Perhatikan rangkaian listrik berikut:

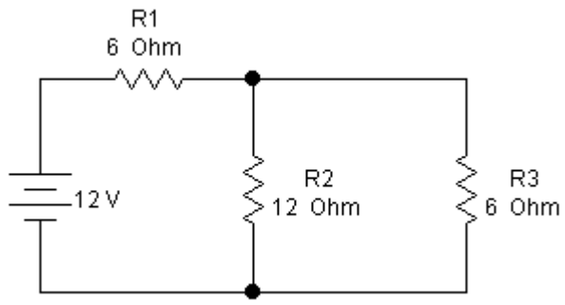


Keterangan:
R1 = 2 Ω
R2 = 3 Ω
R3 = 4 Ω

Jika kuat arus listrik I_1 adalah 6 A dan I_2 adalah 3 A, maka:

a) kuat arus I_3 yang mengalir melalui baterai adalah … A.
b) tegangan pada R1 adalah … V
c) tegangan pada R2 adalah … V
d) tegangan pada R3 adalah … V
e) tegangan dari baterai V1 adalah … V

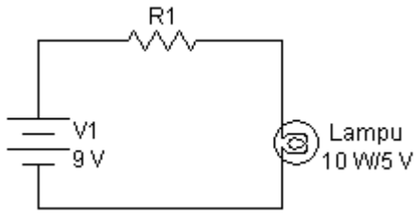
2. Perhatikan rangkaian listrik berikut:



a) Hambatan total rangkaian adalah … ohm.
b) Kuat arus yang mengalir melalui R1 adalah … A.
c) Kuat arus yang mengalir melalui R2 adalah … A.
d) Kuat arus yang mengalir melalui R3 adalah … A.
e) Tegangan yang bekerja pada R1 adalah … V.
f) Tegangan yang bekerja pada R2 adalah … V.

g) Tegangan yang bekerja pada R3 adalah … V.
h) Daya listrik yang dikonsumsi oleh R1 adalah … W.
i) Daya listrik yang dikonsumsi oleh R2 adalah … W.
j) Daya listrik yang dikonsumsi oleh R3 adalah … W.
k) Daya listrik total yang dikonsumsi oleh rangkaian adalah … W.
l) Energi listrik yang dikonsumsi selama 1 jam oleh R1 adalah … joule.
m) Energi listrik yang dikonsumsi selama 1 jam oleh R2 adalah … joule.
n) Energi listrik yang dikonsumsi selama 1 jam oleh R3 adalah … joule.
o) Energi listrik total yang dikonsumsi selama 1 jam oleh seluruh rangkaian adalah … joule.

3. Sebuah lampu dipasang seri dengan sebuah hambatan R1 dan baterai V1. Pada lampu tertulis 10W/5V.



a) Hambatan listrik dari lampu adalah … ohm.
b) Agar lampu menyala dengan daya maksimum maka nilai hambatan R1 adalah … ohm.
c) Jika nilai hambatan R1 adalah 6,5 ohm, maka daya listrik yang dikonsumsi oleh lampu adalah … watt.
d) Jika nilai hambatan R1 adalah 6,5 ohm, maka energi listrik yang dikonsumsi selama 1 jam oleh lampu adalah … joule.

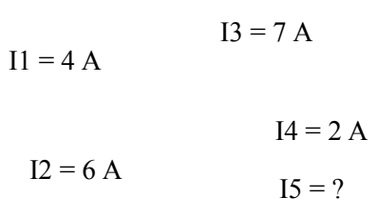
E. Kegiatan Pembelajaran

Pertemuan ke-1

Pendekatan: Saintifik
Metode: Discovery Learning
Model: Cooperative Learning

a. Kegiatan pendahuluan
   1) Berdoa
   2) Guru bertanya:"Apakah kalian pernah membongkar alat elektronik, misal: komputer? Apa yang kalian lihat dalam alat elektronik tersebut? Apakah kalian melihat jalur-jalur yang terlihat cukup rumit?"
   3) Guru menjelaskan bahwa serumit apapun jalur di atas PCB atau *Printed Circuit Board* pasti mematuhi hukum rangkaian listrik yang sering disebut sebagai hukum Kirchhoff.
   4) Guru menjelaskan bahwa pada hari itu siswa akan memepelajari hukum Kirchhoff tersebut.

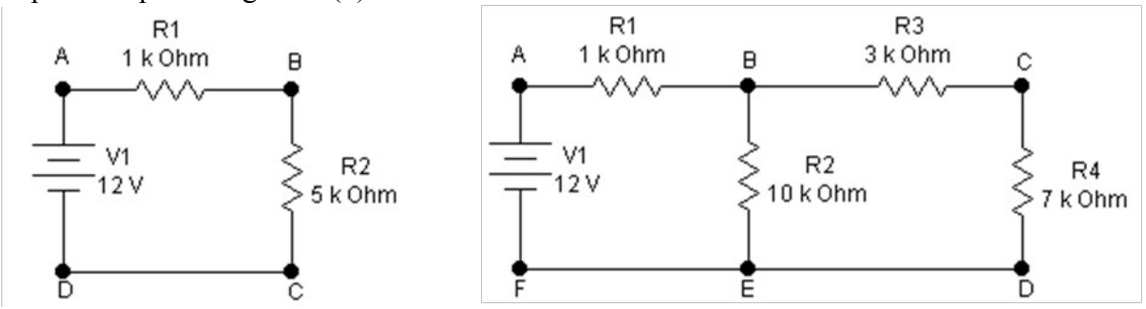
b. Kegiatan Inti
   1) Guru memberikan pertanyaan:
   "Pada percabangan kabel berikut, berapakah I_5 dan ke manakah arahnya, masuk titik pertemuan ataukah keluar titik pertemuan?



Titik pertemuan

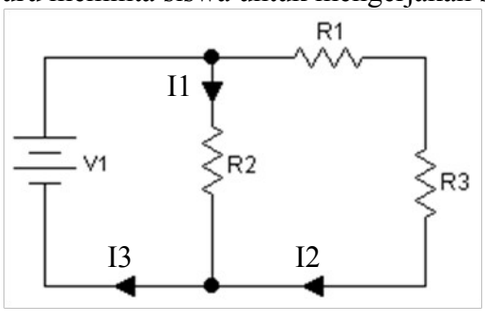
   2) Guru memberi kesempatan beberapa siswa untuk menjawabnya sekaligus memberikan alasannya.
   3) Guru memberikan penjelasan tentang jawaban yang benar, sekaligus menerangkan Hukum Kirchhoff tentang arus listrik dalam rangkaian listrik atau KCL.

4) Guru memberikan pertanyaan:
"Jika tegangan pada R1 pada rangkaian (a) dan pada rangkaian (b) berikut adalah 2 volt, berapakah tegangan pada R2 pada rangkaian (a) dan berapakah pula tegangan pada R2 pada rangkaian (b)?



(a)(b)

5) Guru memberi kesempatan beberapa siswa untuk menjawabnya sekaligus memberikan alasannya.
6) Guru memberikan penjelasan tentang jawaban yang benar, sekaligus menerangkan Hukum Kirchhoff tentang tegangan listrik dalam rangkaian listrik atau KVL.
7) Guru meminta siswa untuk mengerjakan soal berikut:



Jika kuat arus listrik I_1 adalah 6 A dan I_2 adalah 3 A dan tegangan baterai adalah 12 V dan tegangan pada R3 adalah 2 V, maka:
a) kuat arus I_3 yang mengalir melalui baterai adalah … A.
b) tegangan pada R1 adalah … V
c) tegangan pada R2 adalah … V

8) Guru memberikan kesempatan kepada siswa untuk mempelajari diktat (atau sumber lain) dan/atau berdiskusi dengan teman sebangku sebelum menjawab soal
9) Guru meminta beberapa siswa untuk mengerjakan soal tersebut di papan tulis.
10) Guru memberikan kesempatan kepada siswa lain untuk mengoreksi jawaban di papan tulis.
11) Guru memberikan konfirmasi atas jawaban siswa di papan tulis tersebut.

c. Kegiatan Penutup
1) Guru memberikan *reward* kepada siswa berupa pujian atas kerja samanya dalam pembelajaran dan memberikan nasehat-nasehat kepada siswa jika terdapat kekurangan-kekurangan pada siswa selama pembelajaran.
2) Guru menyampaikan kegiatan pembelajaran berikutnya yaitu mempelajari Hukum Ohm, Resistor, dan rangkaian seri paralel.

Pertemuan ke-2

a. Kegiatan pendahuluan
1) Berdoa
2) Guru bertanya:"Pada awal kita membahas kapasitor, kita telah menyaksikan peragaan kapasitor sebagai timer. Apakah ada yang masih ingat, selain kapasitor, komponen apakah yang juga saya gunakan pada peragaan tersebut?"

3) Guru menjelaskan bahwa durasi tidak hanya ditentukan oleh kapasitor, tetapi juga oleh resistor, dan akan disaksikan pengaruh resistor pada durasi nyala lampu ketika pengosongan kapasitor.
4) Guru bertanya:"Pada pertemuan lalu, kita mempelajari hukum Kirchhoff. Ada berapa macam Hukum kirchhoff? Bagaimana bunyi masing-masing hukum Kirchhoff tersebut?"
5) Guru menjelaskan bahwa untuk mempermudah analisa rangkaian listrik, hukum Kirchhoff tersebut dimodifikasi menjadi rumus-rumus rangkaian seri dan paralel resistor dan komponen lainnya. Akan tetapi, tidak semua rangkaian dapat dianalisa dengan rumus-rumus seri paralel tersebut, oleh karena kerumitannya, sehingga tetap menggunakan hukum Kirchhoff dalam bentuk asalnya.
6) Guru menjelaskan bahwa pada hari itu siswa akan mempelajari hukum Ohm, resistor, dan rangkaian seri paralel resitor.

b. Kegiatan Inti
1) Guru menunjukkan benda yang disebut sebagai resistor.
2) Guru membagi kelas menjadi 4 kelompok.
3) Guru membagikan alat-alat praktikum dan LKS kepada siswa.
4) Siswa mengerjakan praktikum sesuai prosedur dalam LKS selama 60 menit.
5) Siswa perwakilan tiap kelompok membacakan hasil penelitiannya dalam LKS.
6) Siswa mengumpulkan hasil penelitiannya
7) Guru memberikan kesempatan kepada siswa untuk menanyakan hal-hal yang terkait dengan resistor, terutama yang pernah dialami oleh pribadi siswa.
8) Guru meminta siswa untuk mengerjakan soal latihan no 1 dan 3 pada diktat Listrik Arus Searah.
7) Siswa mengerjakan kedua soal tersebut dengan terlebih dahulu mempelajari diktat dan/atau sumber lain yang relevan, misal: artikel internet, dan berdiskusi dengan teman sebangkunya.
8) Guru meminta beberapa siswa untuk mengerjakan soal-soal latihan tersebut di papan tulis.
9) Guru memberikan kesempatan kepada siswa lain
10) Guru memberikan penjelasan tentang sifat, fungsi, rumus-rumus resistor, dan rumus-rumus rangkaian seri paralel resistor.
11) Guru memberikan konfirmasi atas jawaban siswa di papan tulis.

c. Kegiatan Penutup
1) Guru memberikan *reward* kepada siswa berupa pujian atas kerja samanya dalam pembelajaran dan memberikan nasehat-nasehat kepada siswa jika terdapat kekurangan-kekurangan pada siswa selama pembelajaran.
2) Guru menyampaikan kegiatan pembelajaran berikutnya yaitu latihan soal persiapan menghadapi ulangan harian.

Pertemuan ke-3

a. Kegiatan pendahuluan
1) Berdoa
2) Guru bertanya:"Menurut kalian, materi listrik susah atau mudah? Susahnya di mana?"
3) Guru menjelaskan:"Walaupun mungkin beberapa di antara kalian menganggap susah atau sebaliknya, pertemuan depan kalian akan menghadapi ulangan harian dengan materi listrik statis dan arus searah. Untuk mengantisipasi segala kesulitan, sebelum ulangan hari ini kita akan latihan soal"

b. Kegiatan Inti
1) Guru meminta siswa untuk mengerjakan soal-soal latihan pada diktat Listrik Statis dan Listrik Arus Searah di buku masing-masing.

2) Siswa diberi kesempatan seluas-luasnya untuk membaca literatur tentang listrik dari berbagai sumber dan berdiskusi dalam rangka mengerjakan soal-soal latihan tersebut.
3) Guru meminta beberapa siswa untuk mengerjakan semua soal latihan tersebut di papan tulis.
4) Guru memberi kesempatan kepada siswa untuk menanggapi jawaban-jawaban di papan tulis
5) Guru memberikan konfirmasi atas jawaban-jawaban siswa di papan tulis tersebut.
6) Guru membagikan soal ulangan.
7) Siswa mengerjakan ulangan.
8) Siswa mengumpulkan hasil ulangan.

c. Kegiatan Penutup
1) Guru memberikan *reward* kepada siswa berupa pujian atas kerja samanya dalam pembelajaran dan memberikan nasehat-nasehat kepada siswa jika terdapat kekurangan-kekurangan pada siswa selama pembelajaran.
2) Guru menyampaikan kegiatan pembelajaran berikutnya yaitu Magnet.

F. Penilaian, Pembelajaran, Remedial dan Pengayaan

KD 3.8:

1. Teknik penilaian
   Jenis penilaian: tes tulis sumatif
   Bentuk soal: pilihan ganda
2. Instrumen
   Soal dan Jawaban terlampir
3. Rubrik penilaian
   Jumlah soal = 20.
   Bobot per soal = 100/20
   Nilai diperoleh dengan rumus:
   $Nilai = jumlah\ soal\ yang\ dijawab\ dengan\ benar \times bobot\ per\ soal$

4. Remedial
   Remedial dilakukan setelah penilaian dan dengan cara bimbingan perorangan jika jumlah siswa yang tidak tuntas < 20%. Jika lebih, maka akan dilakukan pembelajaran ulang dengan metode ceramah.

KD 4.8:

1. Teknik penilaian
   Jenis penilaian: praktek
   Rubrik penilaian:

No	Poin	Nilai
1	Cara mengukur tegangan	Mengukur dengan cara pasang alat dan baca yang benar = 3 Mengukur dengan cara pasang alat yang benar = 2 Mengukur dengan cara yang keliru = 1 Tidak melakukan pengukuran = 0
2	Cara mengukur arus	Mengukur dengan cara pasang alat dan baca yang benar = 3 Mengukur dengan cara pasang alat yang benar = 2 Mengukur dengan cara yang keliru = 1 Tidak melakukan pengukuran = 0

3	Melakukan plotting kurva V-I	Jumlah data yang diplot dengan benar x 0,6
4	Hasil pengukuran hambatan (R)	Menyajikan nilai R rata-rata lengkap dengan satuan = 3 Menyajikan nilai R rata-rata saja = 2 Tidak menyajikan nilai R rata-rata tetapi mencatat hasil pengukuran = 1 Tidak menyajikan mencatat hasil pengukuran = 0

Nilai:

$$Nilai = jumlah\,nilai\,per\,poin \times 8{,}3$$

Instrumen

No	Nama	Nilai Poin				Nilai
		1	2	3	4	

G. Media/alat, Bahan, dan Sumber Belajar

Media: resistor, AVO meter, kabel, catu daya (baterai).

Bahan: mika elektrostatis.

Sumber belajar:

- Serway, J. 2004. *Physics for Scientists and Engineers*. California:Thomson Brooks/Cole.
- Hsu, T. 2004. *Foundation of Physics*. Peabody: CPO Science.
- Artikel dari internet
- Diktat dari guru

Jember, 2 Januari 2020

Mengetahui,
Kepala Sekolah

PEMERINTAH PROVINSI JAWA TIMUR
SMKN 6 JEMBER
DINAS PENDIDIKAN

Dra. PRIWAHYU HARTANTI, M.Pd.
Pembina Utama Muda
NIP. 19640717 198903 2 014

Guru Mata Pelajaran

ABDUL HAYYI, S.Pd.
NIP 19731126199903 1 001

PEMERINTAH PROVINSI JAWA TIMUR
DINAS PENDIDIKAN
SEKOLAH MENENGAH KEJURUAN NEGERI 6 JEMBER
Jalan PB. Sudirman.No. 114 Telp./Fax. (0336) 441347 Tanggul – Jember 68155
Website : www.smkn6jember.sch.id; E-mail: smknn6.jember@yahoo.com
JEMBER

RENCANA PELAKSANAAN PEMBELAJARAN (RPP)

Sekolah	:	SMK NEGERI 6 JEMBER
Mata Pelajaran	:	FISIKA
Kelas/Semester	:	X / GENAP
Materi pokok	:	Kemagnetan
Alokasi waktu	:	3 x 3 x 45 menit (3 Pertemuan)

A. Kompetensi Inti

KI 3:

Memahami, menerapkan dan menganalisis pengetahuan faktual, konseptual, dan prosedural berdasarkan rasa ingin tahunya tentang ilmu pengetahuan, teknologi, seni, budaya, dan humaniora dalam wawasan kemanusiaan, kebangsaan, kenegaraan, dan peradaban terkait penyebab fenomena dan kejadian dalam bidang kerja yang spesifik untuk memecahkan masalah.

KI 4:

Mengolah, menalar, dan menyaji dalam ranah konkret dan ranah abstrak terkait dengan pengembangan dari yang dipelajarinya di sekolah secara mandiri, dan mampu melaksanakan tugas spesifik di bawah pengawasan langsung.

B. Kompetensi Dasar

3.9 Memahami konsep kemagnetan dan elektromagnet.

4.9 Menyajikan hasil percobaan tentang medan magnet dan induksi magnet.

C. Indikator Pencapaian Kompetensi

KD 3.9:

1. Menjelaskan gejala kemagnetan
2. Menghitung kuat medan magnet di sekitar kawat berarus listrik

KD 4.9:

1. Menyajikan gambar medan magnet logam terinduksi magnet permanen
2. Menentukan letak kutub-kutub logam terinduksi magnet permanen

D. Materi Pembelajaran

A. FENOMENA KEMAGNETAN

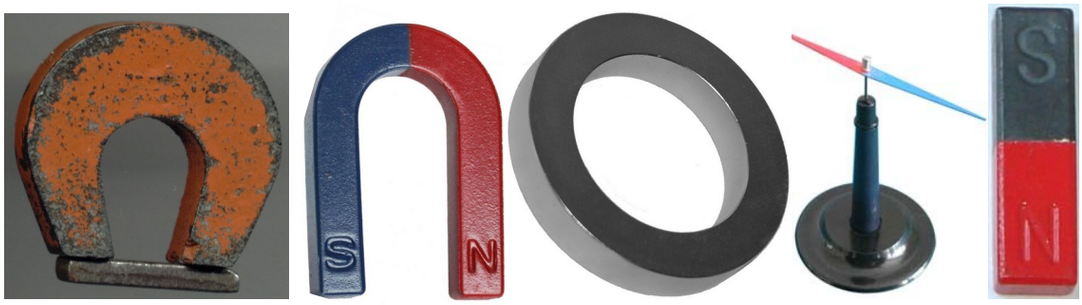
A.1. Magnet Permanen

Magnet adalah bahan yang memiliki sifat: 1) menarik jenis-jenis logam tertentu, seperti besi dan baja, 2) menarik magnet lain pada kutub yang berbeda dengan kutubnya, dan 3) menolak magnet lain pada kutub yang sama dengan kutubnya. Kutub magnet adalah bagian terkuat dari magnet dalam menarik atau menolak benda/magnet lain. Kemagnetan suatu bahan dapat bersifat permanen dapat pula bersifat sementara. Jika suatu bahan bersifat magnetik dalam kurun waktu yang lama tanpa diberi tenaga tambahan, maka bahan tersebut disebu sebagai **magnet permanen**, jika sebaliknya maka disebut sebagai **magnet sementara**.

Magnet permanen adalah jenis magnet yang pertama kali digunakan oleh manusia. Hasil penelitian menunjukkan perkiraan bahwa magnet telah digunakan oleh manusia sejak 1000 tahun sebelum Masehi. Magnet yang digunakan pada jaman itu diambil dari alam dalam bentuk batu yang bernama **Lodestone**. Lodestone menunjukkan tanda-tanda kemagnetan di antaranya dapat menarik jarum, penjepit besi, atau paku seperti pada Gambar 1.

Gambar 1. Lodestone menarik jarum, penjepit (klip) besi, dan paku.

Di era modern, magnet permanen diproduksi untuk berbagai keperluan, misal: motor, speaker, generator, menempelkan catatan di pintu kulkas, pengunci pintu kulkas, dan bidak catur. Magnet permanen buatan tersebut biasanya memiliki bentuk-bentuk simetris yang disesuaikan dengan letak kutub-kutubnya, seperti: bentuk U, batang, jarum, ladam (sepatu kuda), dan silinder.



Magnet ladamMagnet UMagnet silinderMagnet jarumMagnet batang

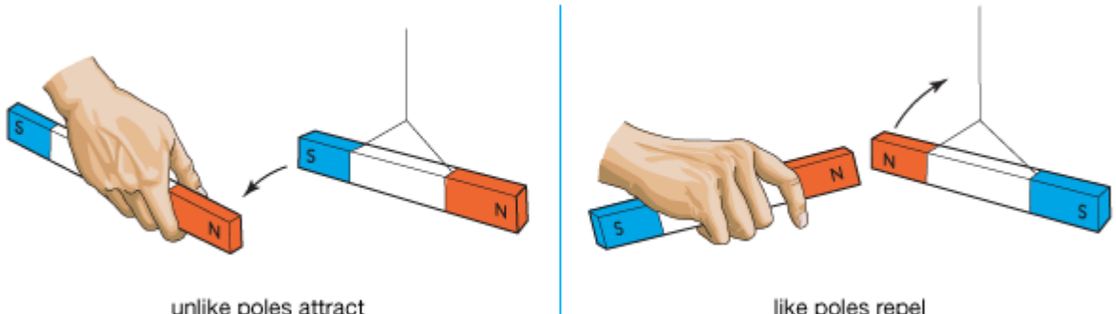
Gambar 2. Macam-macam bentuk magnet permanen

A.2. Magnet Bumi

Arah mata angin (utara, timur, selatan, dan barat) tidak ditentukan (didefinisikan) dengan acuan arah yang ditunjuk oleh jarum kompas, melainkan rotasi bumi (peredaran harian matahari). Tempat terbitnya matahari disebut timur dan tempat tenggelamnya disebut barat. Jika kita berdiri tepat pada garis penghubung antara timur dan barat dan kita menghadap ke timur, maka sebelah kiri kita adalah utara, dan kanan kita adalah selatan. Setelah ditemukan magnet, ternyata magnet jarum yang ringan dan dapat bergerak bebas (tanpa hambatan) selalu menghadap ke arah yang sama dan akan kembali mengarah ke arah tersebut setelah diganggu, misal: diputar. Arah yang selalu dihadapi oleh ujung magnet jarum tersbut ternyata **mendekati** arah utara dan selatan bumi. Oleh karena itu, ujung magnet yang selalu menghadap utara diberi nama **kutub utara magnet**, dan ujung magnet yang selalu menghadap selatan disebut **kutub selatan magnet**. Magnet jarum penunjuk arah tersebut dikenal sebagai **kompas**.

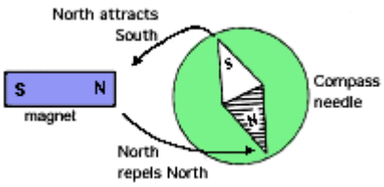
Penyebab jarum kompas selalu menunjuk ke arah yang tetap, tidak lain, adalah medan magnet pula yang pasti berasal dari magnet lain, bukan medan listrik ataupun gravitasi. Oleh karena di manapun kompas berada selalu menunjuk ke kutub utara dan kutub selatan, maka medan magnet yang mempengaruhi kompas tidak lain berasal dari bumi. Hal itu menunjukkan bahwa **bumi bersifat magnetik** atau **bumi merupakan magnet raksasa**.

Fakta menunjukkan bahwa kutub sejenis dari dua magnet yang berbeda **saling menolak** dan kutub-kutub yang berlainan jenis dari dua magnet tersebut **saling menarik**, seperti yang ditujukkan pada Gambar 3. Hal ini berlaku pula pada kompas karena jarum kompas adalah magnet, jika kutub utara jarum kompas didekati oleh kutub utara magnet batang, maka kutub utara jarum kompas akan berputar menjauhi magnet batang tersebut, sedangkan kutub selatannya mendekati magnet batang tersebut karena tertarik oleh kutub utara magnet batang tersebut, seperti pada Gambar 4.



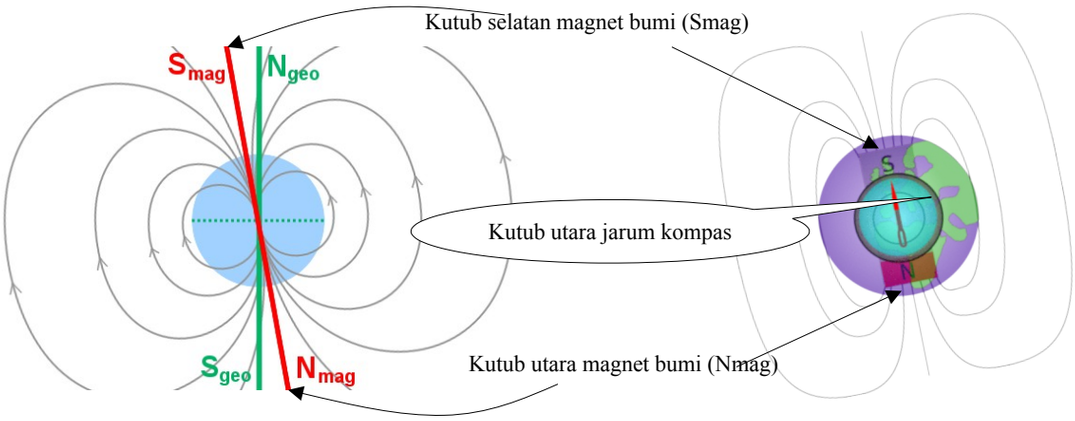
(kutub-kutub berbeda jenis saling menarik) (kutub-kutub berbeda jenis saling menolak)

Gambar 3. Aksi saling menarik dari dua kutub berbeda jenis dan saling menolak dari dua kutub sejenis



Gambar 4. Aksi saling menolak antara kutub utara jarum kompas dan kutub utara magnet batang dan saling menarik antara kutub selatan jarum kompas dan kutub utara magnet batang.

Dengan melihat fakta-fakta tentang tarik-menarik dan tolak-menolak antar kutub-kutub magnet dapat disimpulkan bahwa: **1) bumi merupakan magnet batang raksasa, 2) kutub utara magnet bumi (N_{mag}) berada di dekat kutub selatan bumi (S_{geo}), 3) kutub selatan magnet bumi (S_{mag}) berada di dekat kutub utara bumi (N_{geo})**. Adapun ilustrasi magnet bumi ditunjukkan oleh Gambar 5. Pada Gambar 5 terlihat pula bahwa garis penghubung N_{geo} dan S_{geo} tidak berhimpit dengan garis penghubung S_{mag} dan N_{mag}, melainkan saling besilangan dengan sudut tertentu. Hal itulah yang membuat jarum kompas sedikit menyimpang dari arah utara-selatan yang sebenarnya ketika kompas berada di tempat-tempat tertentu. Sudut penyimpangan kutub utara magnet kompas dengan arah utara yang sebenarnya disebut sebagai sudut **deklinasi**. Deklinasi kompas di berbagai tempat di permukaan bumi adalah bervariasi sehingga penunjukan kompas perlu dikoreksi setiap berpindah pada jarak tertentu.

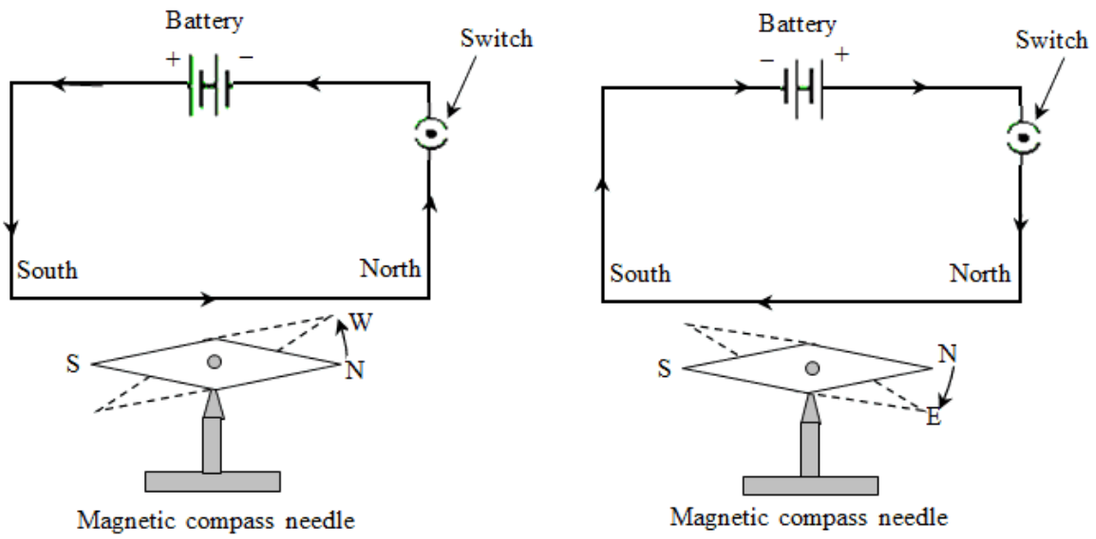


(a) (b)

Gambar 5. a) Posisi kutub utara (N_{mag}) dan selatan (S_{mag}) magnet bumi relatif terhadap kutub selatan (S_{geo}) dan utara (N_{geo}) bumi, **b)** Penunjukan jarum kompas di atas permukaan bumi

A.3. Magnet Tak Permanen

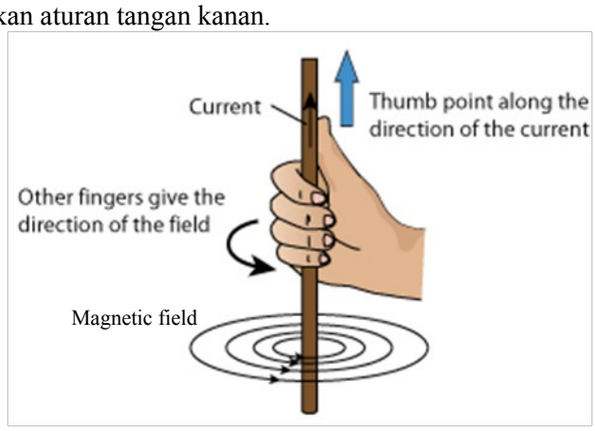
Hans Christian Ørsted (seringkali ditulis Oersted) (1777-1851) menemukan bahwa jarum kompas di sekitar kawat yang membentang daru utara ke selatan dialiri arus listrik searah tidak menunjuk ke arah utara dan selatan, melainkan menyimpang dengan sudut tertentu. Sudut penyimpangan tersebut sebanding dengan besar arus listrik dan berbanding terbalik dengan antara kompas dengan kawat. Arah penyimpangan kutub utara jarum kompas dittentukan oleh arah arus listrik. Dengan begitu, kawat penghantar (apapun bahannya asalkan konduktor) dapat dijadikan **magnet tak permanen (sementara)**. Magnet ini dikatakan sementara karena menjadi magnet hanya selama dialiri arus listrik.



Gambar 6. Jarum magnet kompas (*magnetic compass needle*) menyimpang dari arah utara-selatan jika kawat di atasnya dialiri arus listrik

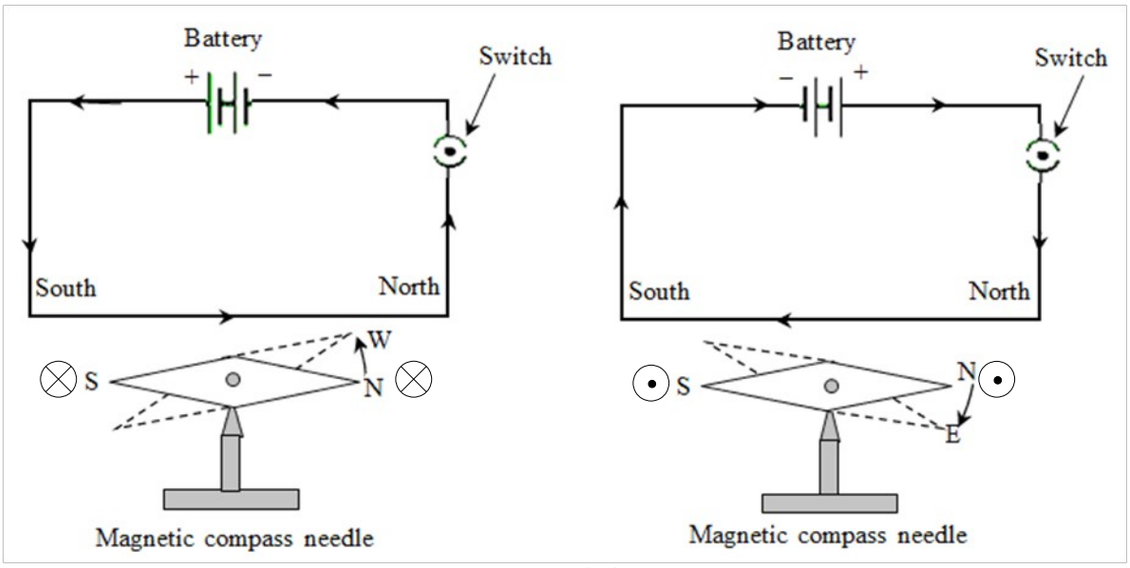
Gambar 6 menunjukkan skema percobaan yang pernah dilakukan oleh Ørsted. Ketika saklar (*switch*) terbuka arus listrik tidak mengalir. Pada saat itu, kutub utara kompas menunjuk ke arah utara. Ketika saklar tertutup, kawat yang membentang dari utara ke selatan di atas kompas dialiri arus listrik dan jarum kompas menyimpang. Jarum kompas adalah magnet dan hanya dapat dipengaruhi oleh magnet. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa di sekitar kawat berarus listrik muncul medan magnet atau kawat (kabel) listrik menjadi magnet. Ketika arah aliran listrik dibalik, maka arah simpangan jarum kompas pun berubah. Hal itu menunjukkan bahwa arah aliran listrik mempengaruhi arah medan magnet yang dihasilkan oleh kawat berarus tersebut.

Kutub magnet yang dijadikan sebagai acuan untuk menentukan arah medan magnet adalah kutub utara. Gambar 6 menunjukkan bahwa ketika arus mengalir dari selatan ke utara, jarum utara kompas menyimpang ke barat, dan, sebaliknya, ketika arus mengalir dari utara ke selatan maka kutub utara kompas menyimpang ke timur. Hal ini merupakan sifat magnet listrik atau **elektromagnet** yang dapat dihafal dengan menggunakan aturan tangan kanan.



Gambar 7. Aturan tangan kanan

Aturan tangan kanan, sebagaimana diilustrasikan oleh Gambar 7, menunjukkan hubungan antara arah arus listrik dengan arah medan magnet yang dihasilkannya. Jempol (*thumb*) mewakili arah arus listrik (*current*) dan keempat jari (*other fingers*) menunjukkan arah medan magnet (*magnetic field*); arah medan berputar searah keempat jari tersebut. Dengan menggunakan aturan tangan kanan ini pula dapat digambarkan medan magnet dari kawat berarus yang mendorong kutub utara jarum kompas pada Gambar 6 di atas. Adapun penggambaran medan magnet tersebut terdapat pada Gambar 7.



Gambar 7. Vektor medan magnet dari kawat berarus listrik $(\vec{B})$ yang menyimpangkan kutub utara dan kutub selatan jarum kompas, di mana arah simpangan kutub utara searah dengan $\vec{B}$ dan simpangan kutub selatan berlawanan arah dengan $\vec{B}$

Perlu diingat bahwa simbol ⊗ dan ⊙ merupakan simbol vektor yang arahnya tegak lurus dengan bidang baca, di mana:

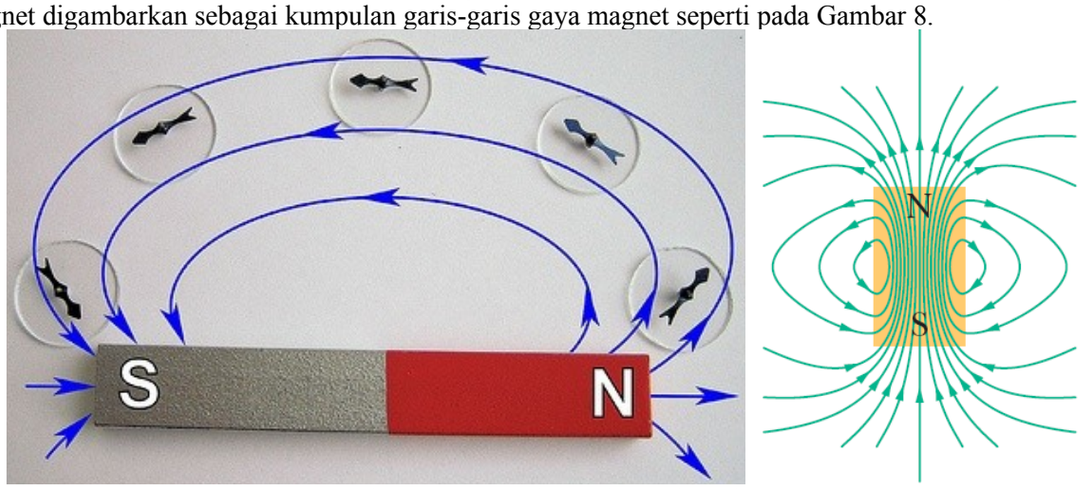
⊗ : vektor yang menjauhi kamu sebagai pembaca (ke belakang)

⊙ : vektor yang menuju kamu sebagai pembaca (ke depan)

Selain itu, kuat medan magnet seringkali disimbolkan sebagai *B* dan vektornya disimbolkan sebagai $\vec{B}$.

B. GARIS-GARIS GAYA MAGNET

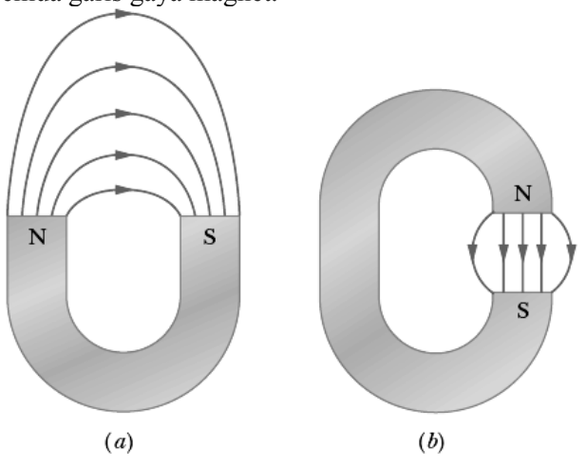
Kita telah mengetahui bahwa dua magnet akan saling menolak jika kutub utara dari magnet 1 menghadap kutub utara dari magnet 2 atau kutub selatan dari magnet 1 menghadap kutub selatan dari magnet 2, dan akan saling menarik jika kutub utara dari magnet 1 menghadap kutub selatan dari magnet 2 atau sebaliknya. Hal itu menunjukkan bahwa di sekitar magnet terdapat medan magnet atau daerah pengaruh gaya magnet dan karakteristik kutub utara magnet berbeda dengan karakteristik kutub selatannya. Medan magnet digambarkan sebagai kumpulan garis-garis gaya magnet seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Medan magnet atau kumpulan garis-garis gaya magnet

Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa garis gaya magnet selalu berputar dari kutub utara (N (*north* = utara)) ke kutub selatan (S (*south* = selatan)) di luar magnet. Adapun di dalam magnet, garis gaya magnet berasal dari kutub selatan mengarah ke kutub utara. Dengan demikian, kutub utara magnet merupakan tempat keluarnya medan magnet dari magnet dan kutub selatan merupakan tempat masuknya medan magnet. Perlu diketahui lagi bahwa arah medan magnet **disepakati** ditentukan berdasarkan penunjukan **kutub utara** jarum kompas (atau arah gaya yang dialami oleh **kutub utara** magnet lain) di sekitar magnet yang ditinjau sebagai sumber medan magnet. Jika magnet batang seperti pada Gambar 8 ditekuk sehingga

menjadi magnet U, maka bentuk garis-garis gaya magnet akan menjadi seperti pada Gambar 9, di mana kutub utara magnet tetap menjadi tempat keluarnya semua garis gaya magnet dan kutub selatan tetap menjadi tempat masuknya semua garis gaya magnet.



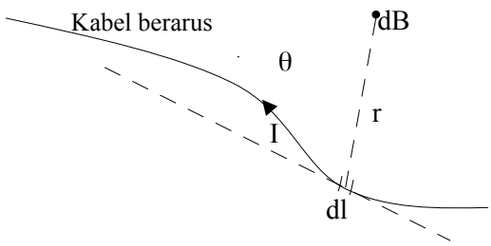
Gambar 9. Garis-garis gaya magnet dari **a)** magnet U dan **b)** magnet C

C. HUKUM-HUKUM KEMAGNETAN

C.1. Hukum Biot-Savart dan Hukum Ampere

Jean-Baptiste Biot dan Félix Savart, disingkat Biot-Savart, menemukan rumusan yang menunjukkan hubungan secara umum (*general*) antara kuat arus, posisi titik medan magnet, panjang kawat, dan kuat medan magnet di titik itu. Hubungan tersebut dinyatakan dalam bentuk differensial:

$$dB = \frac{k \,.\, I \,.\, dl \,.\, \sin\theta}{r^2} = \frac{10^{-7} \,.\, I \,.\, dl \,.\, \sin\theta}{r^2}$$



Gambar 10. Medan magnet di sekitar kabel (kawat) berarus listrik dengan bentuk sembarang

Rumusan ini berlaku untuk segala bentuk kawat (kabel) berarus listrik. Akan tetapi, untuk menggunakannya harus melalui proses matematika yang disebut "integral", yang tentunya sangat rumit untuk dilakukan. Oleh karena itu, pada bab ini yang dibahas hanyalah kabel dengan bentuk-bentuk tertentu dengan rumus-rumusnya yang sederhana yang diturunkan dari rumus Biot-Savart di atas. Berikut adalah kasus-kasus medan magnet di sekitar kawat berbentuk sederhana.

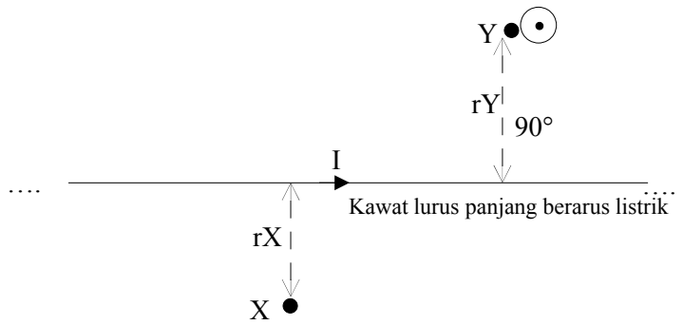
C.1.1 Kawat Berarus Panjang Lurus

Rumus Biot-Savart jika diterapkan pada kawat lurus berarus listrik yang sangat panjang akan menjadi

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

di mana:

B : kuat medan magnet di suatu titik (tesla (T) atau Wb m^{-2})
I : kuat arus listrik yang mengalir dalam kawat (ampere (A))
r : jarak terdekat antara titik yang dimaksud dengan kawat (meter (m))
μ_0 : permeabilitas magnetik ruang hampa atau udara = $4.\pi.10^{-7}$ Wb A^{-1} m^{-1}
π : 3,14 atau 22/7



Gambar 11. Medan magnet di sekitar kabel (kawat) lurus panjang berarus listrik

Rumusan ini dikenal pula sebagai **Hukum Ampere**. Yang dimaksud dengan jarak terdekat suatu titik yang hendak dihitung medan magnetnya adalah panjang garis khayal (imajinatif) yang tegak lurus kawat dan menghubungkan titik tersebut dengan kawat.

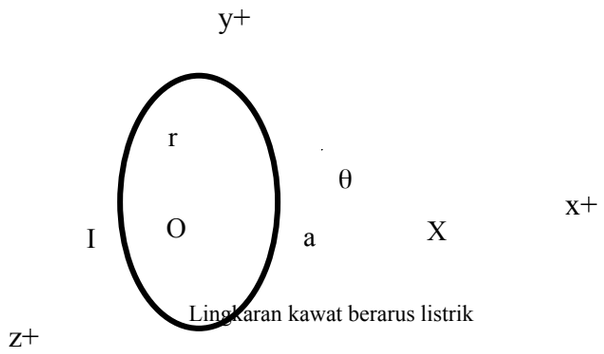
C.1.2 Kawat Melingkar (Lilitan Tipis)

Rumus Biot-Savart jika diterapkan pada kawat melingkar atu lilitan tipis berarus akan menjadi

$$B = \frac{\mu_0 \ni r^2}{2\left(\sqrt{r^2 + a^2}\right)^3}$$

di mana:

B : kuat medan magnet di suatu titik X (tesla (T) atau Wb m^{-2})
N : jumlah lingkaran kawat (lilitan)
I : kuat arus listrik yang mengalir dalam kawat (ampere (A))
r : jari-jari lingkaran kawat (meter (m))
a : jarak antara titik X dan titik O di mana garis a dan garis r membentuk sudut siku-siku (meter (m))
μ_0 : permeabilitas magnetik ruang hampa atau udara = $4.\pi.10^{-7}$ Wb A^{-1} m^{-1}
π : 3,14 atau 22/7
Titik O: titik pusat lingkaran kawat



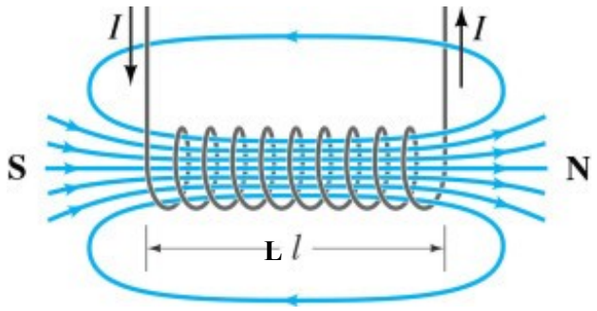
Gambar 12. Medan magnet di sekitar lingkaran kawat berarus listrik.

Khusus untuk kasus $a = 0$, yang berarti bahwa medan magnet yang hendak dihitung adalah medan magnet di titik O atau $B = B_O$, maka rumusnya menjadi:

$$B_O = \mu_0 \ni \frac{¿}{2r} ¿$$

C.1.3 Lilitan Tebal (Solenoida)

Solenoida berasal dari bahasa Yunani yang berarti “seperti pipa”. Yang dimaksud dengan solenoida dalam fisika adalah lilitan yang tebal sehingga panjang lilitan tidak terlampau kecil dibandingkan dengan jari-jari lingkaran kawat (lilitan). Bentuk solenoida dapat dilihat pada Gambar 13.



Solenoida Medan magnet solenoida dan kutub-kutub magnetnya ketika dialiri arus listrik

Gambar 13. Solenoida dan medan magnet di sekitarnya ketika ia dialiri oleh arus listrik.

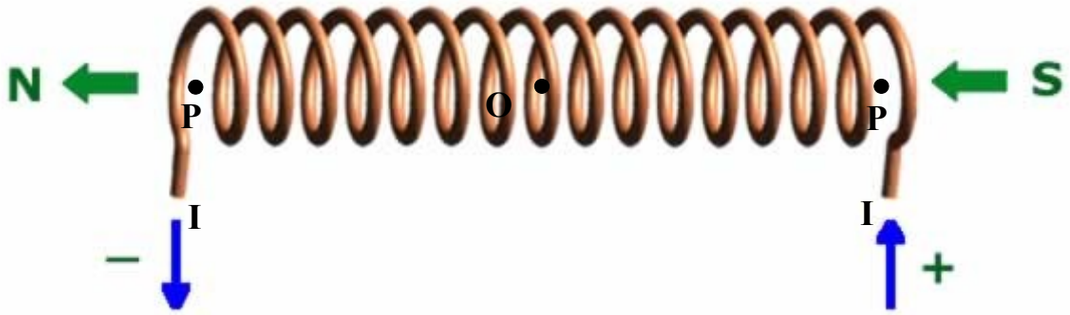
Rumus medan magnet di ujung solenoida berarus listrik (B_P) berbeda dengan rumus medan magnet di tengah solenoida tersebut (B_O), di mana:

$$B_O = 2B_P$$

$$B_P = \mu_0 \ni \frac{¿}{2L} ¿$$

$$B_O = \mu_0 \ni \frac{¿}{L} ¿$$

di mana:
B : kuat medan magnet di suatu titik X (tesla (T) atau Wb m^{-2})
N : jumlah lingkaran kawat (lilitan)
I : kuat arus listrik yang mengalir dalam kawat (ampere (A))
L : panjang lilitan (meter (m))
μ_0 : permeabilitas magnetik ruang hampa atau udara = $4.\pi.10^{-7}$ Wb A^{-1} m^{-1}
π : 3,14 atau 22/7
Titik P terletak di ujung solenioda dan pusat lingkaran kawat di ujung solenoida
Titik O terletak di tengah solenoida dan pusat lingkaran kawat di tengah solenoida



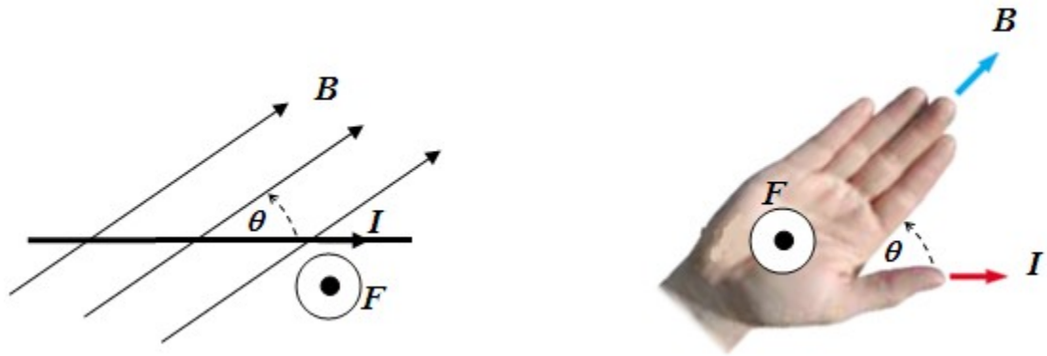
Gambar 14. Titik ujung dang titik tengah sebuah solenoida berarus listrik.

C.2. Hukum Lorentz

Sebuah kawat berarus listrik yang berada dalam medan magnet akan dikenai gaya magnet. Besar gaya magnet tersebut mengikuti hukum Lorentz yang dinyatakan dalam rumus:

$$F = BIL\sin\theta$$

di mana:
B : kuat medan magnet di sekitar kawat yang bersumber dari selain kawat (tesla (T) atau Wb m^{-2})
I : kuat arus listrik yang mengalir dalam kawat (ampere (A))
L : panjang kawat yang terkena medan magnet (meter (m))
θ : sudut antara vektor medan magnet dan arus listrik (kawat) (derajat atau radian)



Gambar 15. Aturan tangan kanan untuk menghafal korelasi antara arah medan magnet (B), arus listrik (I), sudut antara B dan I (θ), dan gaya Lorentz (F) yang bekerja pada kawat berarus listrik dalam medan magnet.

Gambar 15 menunjukkan aturan tangan kanan tentang arah I, arah B, sudut θ, dan arah F yang dialami oleh kawat berarus listrik. Pada aturan tersebut jempol mewakili arah I, keempat jari mewakili arah B, sudut antara jempol dan telunjuk mewakili θ, dan arah telapak tangan mewakili arah gaya F, sebagaimana lazimnya arah dorongan telapak tangan terhadap suatu objek.

C.3. Hukum Lenz dan Hukum Faraday

Medan magnet ternyata dapat menghasilkan medan listrik atau arus listrik atau tegangan listrik. Hal tersebut telah dibuktikan oleh Heinrich Friedrich Emil Lenz (1804-1865) dan Michael Faraday (1791-1867). Telah dibuktikan bahwa jika terdapat sebuah loop kawat konduktor dengan luasan tertentu yang ditembus oleh medan magnet dengan fluks yang berubah dalam selang waktu tertentu, maka di ujung-ujung kawat tersebut akan muncul beda potensial atau tegangan atau gaya gerak listrik. Sebelum membahas tentang hukum Lenz-Faraday ini terlebih dahulu kita pelajari tentang fluks magnetik.

Fluks magnetik adalah jumlah garis gaya magnet yang menembus suatu loop kawat konduktor. Besar fluks dapat dihitung dengan rumus:

$$\Phi = B.A.\cos\theta$$

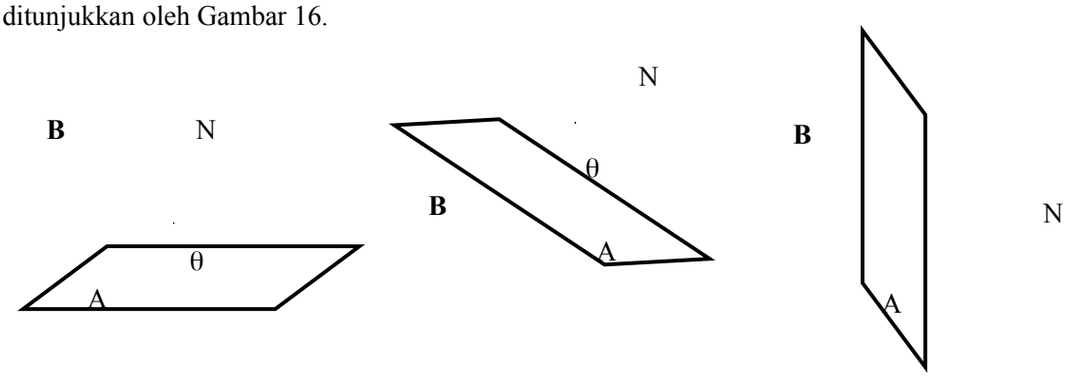
di mana:

B : kuat medan magnet yang menembus suatu loop kawat konduktor (tesla (T) atau Wb m^{-2})

A : luas bidang loop kawat konduktor (m^2)

θ : sudut antara garis normal bidang loop (garis khayal N) dengan garis gaya magnet (B) yang menembus loop kawat

Ilustrasi fluks magnetik ditunjukkan oleh Gambar 16.



Ketika θ = 90° tidak ada garis gaya magnet yang menembus loop kawat

Gambar 16. Fluks magnetik dipengaruhi oleh sudut antara vektor garis gaya (medan) magnet ***B*** dan garis normal (N) bidang loop kawat konduktor.

Berdasarkan penemuan Lenz-Faraday:

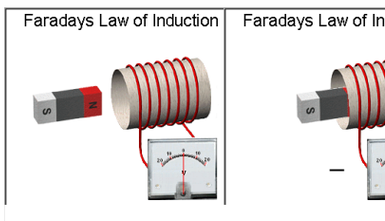
1) Perubahan fluks medan magnet B ($\Delta\Phi$) dalam selang waktu tertentu pada sebuah loop (kumparan) konduktor menyebabkan munculnya medan magnet kedua B_k yang berasal dari loop konduktor tersebut yang arahnya:
   a) melawan medan magnet penyebabnya (B), jika terjadi penambahan fluks magnetik ($\Delta\Phi$ positif),
   b) searah medan magnet penyebabnya (B), jika terjadi pengurangan fluks magnetik ($\Delta\Phi$ negatif).

2) B_k tersebut tentu disebabkan oleh adanya arus listrik (I) yang tiba-tiba muncul dan mengalir dalam loop konduktor tersebut dan kaitan antara arah B_k arah aliran I ditentukan berdasarkan aturan tangan kanan yang ditunjukkan oleh Gambar 17 dan 18.
3) Kemunculan I itu menyebabkan oleh kemunculan perbedaan potensial listrik atau tegangan listrik atau gaya gerak listrik (GGL) pada ujung-ujung loop konduktor tersebut, **ujung satu menjadi kutub positif** dan **ujung lainnya menjadi kutub negatif** GGL tersebut. Adapun GGL tersebut biasanya disimbolkan "ε".
4) Ujung yang menjadi **kutub positif** adalah ujung yang **dituju** oleh I dalam loop, dan ujung yang menjadi **kutub negatif** adalah ujung yang **ditinggalkan** oleh I tersebut.

Dengan kata lain, perubahan fluks medan magnet yang menembus luasan loop konduktor dalam selang waktu tertentu menyebabkan munculnya gaya gerak listrik pada ujung-ujung loop konduktor tersebut. Hal inilah yang disebut sebagai **hukum Lenz-Faraday**, yang secara matematis dirumuskan:

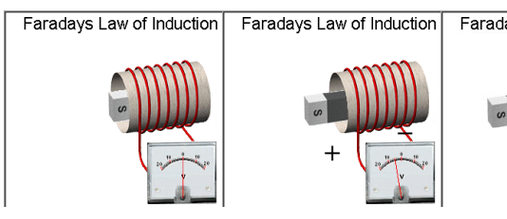
$$\varepsilon = \frac{-\Delta \Phi}{\Delta t} N$$

di mana:
ε : gaya gerak listrik atau tegangan listrik antara kedua ujung loop konduktor/kawat (volt(V))
ΔΦ : kuat medan magnet yang menembus suatu loop kawat konduktor (tesla (T) atau Wb m^{-2})
Δt : luas bidang loop kawat konduktor (m^2)
N : sudut antara garis normal bidang loop (garis N) dengan garis gaya magnet (B) yang menembus loop kawat
Tanda negatif pada rumus tersebut menunjukkan adanya perlawanan terhadap perubahan fluks magnetik.



Ketika magnet permanen dimasukkan ke dalam kumparan terjadi peningkatan fluks medan magnet penyebab dari magnet permanen

Gambar 17. Arah medan magnet dari kumparan dan arus litrik dalam kawat kumparan ketika magnet permanen **dimasukkan** atau fluks medan magnet penyebab (dari magnet permanen) yang menembus bidang loop kumparan diperbesar .



Ketika magnet permanen dikeluarkan dari dalam kumparan terjadi pengurangan fluks medan magnet penyebab dari magnet permanen () yang arahnya searah .

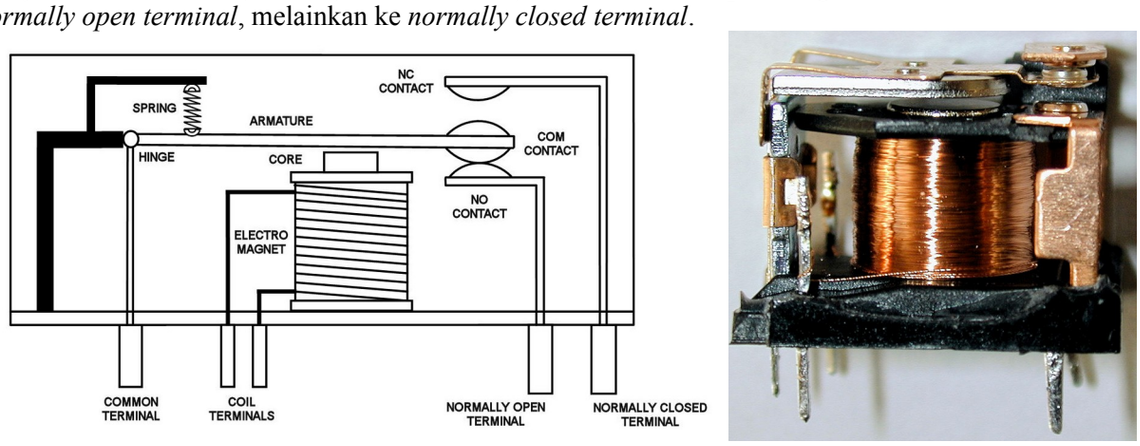
Gambar 18. Arah medan magnet dari kumparan dan arus litrik dalam kawat kumparan ketika magnet permanen **dikeluarkan** atau fluks medan magnet penyebab (dari magnet permanen) yang menembus bidang loop kumparan diperkecil.

D. APLIKASI KEMAGNETAN

D.1. Elektromekanik

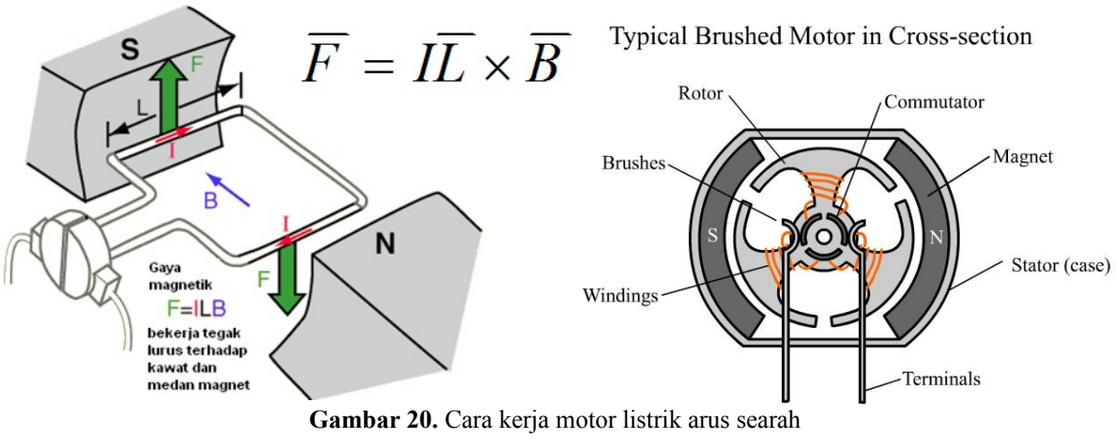
Dalam mekanika atau gerak, magnet listrik dapat dipergunakan untuk menggerakkan benda, seperti pada relay (saklar magnetik) dan motor listrik. Relay merupakan saklar atau pemutus-hubung arus listrik yang diaktifkan dengan mengalirkan arus listrik ke dalamnya. Dengan begitu, relay dapat digunakan untuk mengendalikan suatu alat secara otomatis atau semi otomatis, yang, tentu saja, melibatkan sebuah rangkaian elektronik. Rangkaian elektronik tersebutlah yang mengatur besar arus listrik yang dialirkan melalui.

Pada skema relay dalam Gambar 19 terlihat bahwa ketika *coil terminals* diberi tegangan maka *electro magnet* akan menjadi magnet dan menarik *armature core* yang terhubung secara elektrik dengan *common terminal* dan *com contact* sehingga *com contact* menyentuh *NO contact* (*normally open contact*) yang terhubung secara elektrik dengan *normally open terminal*. Pada saat itu, arus listrik dapat mengalir dari *common terminal* sampai dengan *normally open terminal*. Ketika tegangan pada *coil terminals* dihilangkan, *armature core* terlepas dari *electro magnet* sehingga *com contact* terlepas dari *NO contact*, menyentuh *NC contact* (*normally closed contact*), dan arus tidak dapat mengalir dari *common terminal* ke *normally open terminal*, melainkan ke *normally closed terminal*.



Skema relay Relay nyata

Gambar 19. Relay



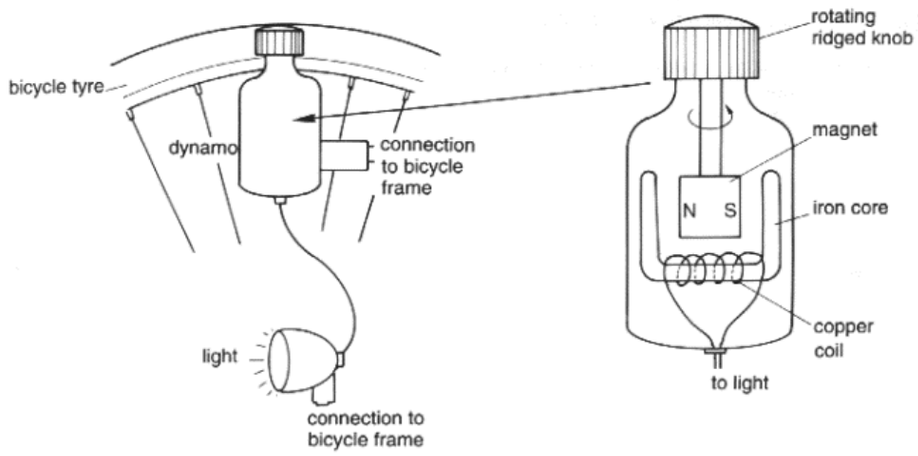
Gambar 20. Cara kerja motor listrik arus searah

Gambar 20 menunjukkan prinsip kerja motor listrik arus searah (d.c.). Motor listrik tersbut terdiri dari magnet dan kumparan. Ketika kumparan dialiri arus listrik, kumparan tersebut terkena gaya Lorentz karena ia berada dalam medan magnet permanen. Pada skema tampak bahwa bagian kumparan yang dekat dengan kutub selatan (S) magnet terkena gaya Lorentz ke atas, sedangkan bagian yang dekat dengan kutub utara (N) terkena gaya Lorentz ke bawah. Kedua gaya tersebut tidak menghasilkan translasi melainkan rotasi pada kumparan karena ditengan kumparan terdapat poros dan kedua gaya tersebut berlawanan arah. Setelah berputar beberapa derajat arus yang mengaliri kumparan tersebut berbalik arah sehingga bagian yang dekat dengan kutub selatan tetap mendapatkan gaya ke atas dan kumparan yang dekat dengan kutub utara tetap mendapatkan gaya ke bawah. Perubahan arah arus tersebut dilakukan oleh sikat (*brushes*) dan cincin belah (*commutator*).

D.2. Generator Listrik

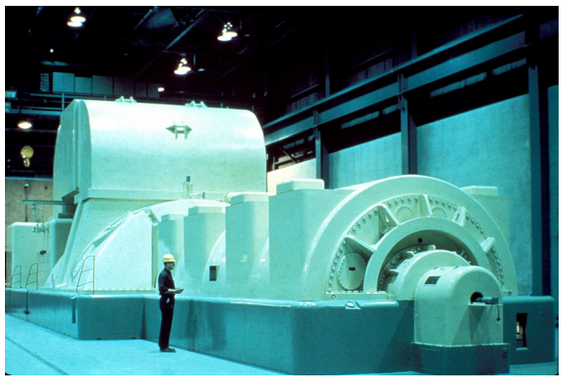
Generator listrik adalah alat penghasil tegangan listrik dengan memanfaatkan kumparan dan magnet. Prinsip kerja generator menggunakan hukum Lenz-Faraday, yaitu perubahan fluks magnetik pada bidang

loop kumparan dalam selang waktu tertentu akan menyebabkan munculnya tegangan listrik atau gaya gerak listrik selama selang waktu perubahan itu saja. Oleh karena itu, generator harus diputar oleh tenaga lain agar menghasilkan listrik. Generator listrik digunakan oleh PLTA, PLTU, PLTN, PLTG, PLTD atau *genset*. Generator pada umumnya didesain untuk menghasilkan listrik tegangan bolak-balik, walaupun tidak menutup kemungkinan didesain untuk menghasilkan tegangan searah dengan modifikasi tambahan. Gambar 21 menunjukkan skema generator listrik.



Gambar 21. Skema generator (dinamo) listrik pada sepeda.

Gambar 21 menunjukkan bahwa generator menghasilkan listrik dengan cara mengubah-ubah fluks magnetik yang menembus bidang penampang lintang kumparan. Fluks magnetik tersebut diubah-ubah dengan memutar magnet di antara inti besi (*iron core*) kumparan. Inti besi tersebut berfugsi untuk memperkuat atau menangkap sebagian besar garis-garis gaya magnet dari magnet rotor (berputar tersebut).



Generator mini (genset) Generator di PLTU

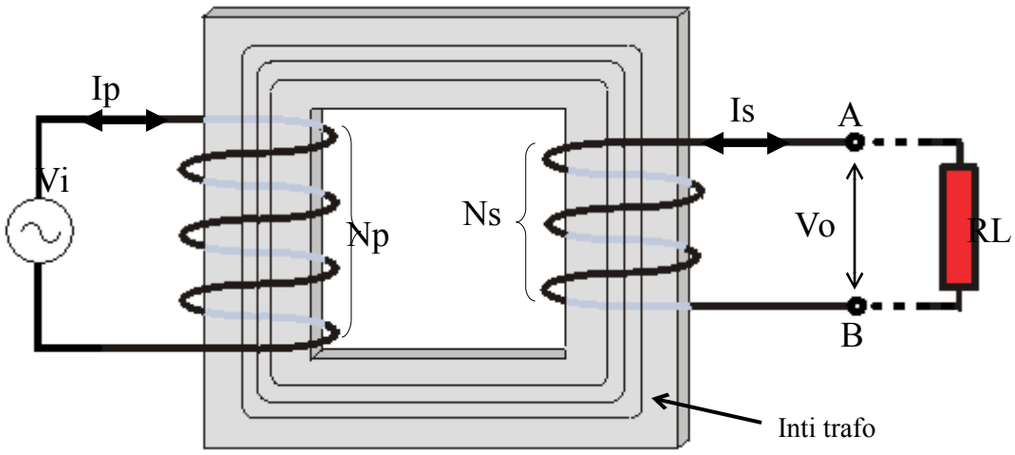
Gambar 22. Generator listrik tegangan tinggi (220V ke atas).

D.3. Transformator

Transformator atau trafo adalah alat untuk mengubah besar tegangan bolak-balik, baik itu menurunkan (*step down*) ataupun menaikkan (*step up*) tegangan. Prinsip kerja trafo adalah dengan menggunakan hukum Lenz-Faraday, yaitu:

1. Trafo terdiri dari dua kumparan yang berdekatan tetapi tidak saling kontak secara listrik (*electric*).
2. Salah satu kumparannya disebut **kumparan primer** dan yang lain disebut **kumparan sekunder**.
3. Kumparan primer adalah kumparan yang terhubung dengan tegangan input, yang harus bersifat bolak-balik (a.c.), atau tegangan yang hendak diubah besarnya (dinaikkan atau diturunkan).
4. Tegangan input menyebabkan kumparan primer dialiri arus listrik bolak-balik yang menyebabkan munculnya medan magnet bolak-balik.
5. Medan magnet bolak-balik tersebut menembus bidang loop kumparan sekunder secara tegak lurus sehingga menghasilkan fluks magnetik pada bidang tersebut secara optimal.
6. Fluks magnetik pada kumparan sekunder tersebut selalu berubah karena medan magnet dari kumparan primer tersebut selalu berubah, baik besar maupun arahnya, secara periodik dengan frekuensi yang sama dengan frekuensi sumber tegangan bolak-balik tersebut.
7. Oleh karena fluks magnetik pada kumparan sekunder selalu berubah, pada ujung-ujung (kedua terminal) kumparan sekunder muncul tegangan listrik (gaya gerak listrik) sebagaimana yang telah diungkapkan rumusannya oleh Lenz-Faraday.

8. Tegangan listrik pada kumparan sekunder tersebut disebut tegangan output yang besarnya ditentukan oleh jumlah kumparan sekunder, kumparan primer, tegangan input, dan faktor-faktor teknis pendukung lainnya yang memberikan kontribusi dalam peningkatan efisiensi trafo, seperti konstruksi kumparan dan inti trafo dan bahan inti trafo.



Gambar 23. Skema transformator.

Pada Gambar 23 ditunjukkan bahwa tegangan input (V_i) menghasilkan arus listrik bolak-balik (I_p) pada kumparan primer (dengan jumlah lilitan sebesar N_p). I_p menghasilkan medan magnet bolak-balik primer ($\boldsymbol{B_p}$) yang diperangkap oleh inti trafo sehingga terkumpul di sepanjang inti trafo dan dapat menginduksi kumparan sekunder (dengan jumlah lilitan sebesar N_s) dengan optimal. Ketika terinduksi, kumparan sekunder menghasilkan tegangan output bolak-balik sebesar V_o di antara kedua terminalnya (titik A dan titik B). Tegangan output ini, jika terminal sekunder belum terhubung dengan beban atau alat-alat listrik dengan hambatan sebesar R_L, dapat disimbolkan pula ε seperti pada rumus gaya gerak listrik induksi magnetik:

$$\varepsilon = \frac{-\Delta \Phi}{\Delta t} N$$

sehingga:

$$V_o = \frac{-\Delta \Phi}{\Delta t} N_s$$

$$V_o = \frac{-\Delta (B_p . A_s)}{\Delta t} N_s$$

$$V_o = \frac{-\Delta (B_p)}{\Delta t} A_s . N_s$$

di mana A_s adalah luas penampang lintang kumparan sekunder yang besarnya tetap dari waktu ke waktu. Jika terminal sekunder tersebut terhubung dengan beban, maka nilai V_o ini akan turun dan arus sekunder (I_s) akan membesar.

Trafo pada dasarnya terbagi menjadi dua golongan, yaitu **trafo ideal** dan **trafo nyata**. Trafo ideal adalah trafo yang ada dalam angan-angan yang didasarkan pada teori-teori listrik magnet dan logika. Trafo nyata adalah trafo yang ada dalam kenyataan dan, tentu, kinerjanya di bawah trafo ideal oleh karena berbagai faktor penghambat yang tidak terduga dan sulit untuk dihilangkan. Perlu diketahui bahwa segala teori dan hukum fisika yang diungkapkan oleh manusia (yang telah dan akan kita pelajari dalam fisika) adalah bersifat **ideal** karena kemampuan manusia dalam hal apapun, seperti mengindera dan berpikir, adalah terbatas. Namun demikian, mempelajari sesuatu yang ideal bukanlah hal yang sia-sia karena dengan mengetahui ciri-ciri ideal suatu hal kita akan mengetahui batasan-batasan yang kemungkinannya kecil sekali untuk dilampaui manusia dan mengetahui arah perancangan suatu hal, di mana arah perancangan pada umumnya mengarah pada sesuatu yang ideal (sesuai angan-angan atau cita-cita).

D.3.1 Transformator Ideal

Pada transformator ideal berlaku bahwa daya input (daya listrik kumparan primer = P_p) sama dengan daya output (daya listrik kumparan sekunder = P_s), atau

$$P_p = P_s$$

sehingga

$$V_i . I_p = V_o . I_s$$

atau

$$V_p . I_p = V_s . I_s$$

karena

$$P = V \,.\, I$$

dan tegangan input (V_i) = tegangan primer (V_p) dan tegangan output (V_o) = tegangan sekunder (V_s). Dengan begitu,

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

dan efisiensi (η) trafo ideal adalah 100% karena

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

dan

$$P_p = P_s$$

sehingga

$$\eta = \frac{P_s}{P_s} \times 100\,\% = 1 \times 100\,\% = 100\,\%$$

Selain itu, pada trafo ideal berlaku pula persamaan:

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

sehingga

$$\frac{I_s}{I_p} = \frac{N_p}{N_s} \; atau \; \frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p}$$

di mana N_s adalah jumlah lilitan kumparan sekunder dan N_p adalah jumlah lilitan kumparan primer.

D.3.2 Transformator Nyata (*Real*)

Persamaan-persamaan pada trafo ideal tidak berlaku pada trafo nyata karena pada umumnya kenyataannya adalah:

$$P_p > P_s$$

sehingga efisiensi trafo kurang dari 100% atau:

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

di mana

$$0 < \frac{P_s}{P_p} < 1$$

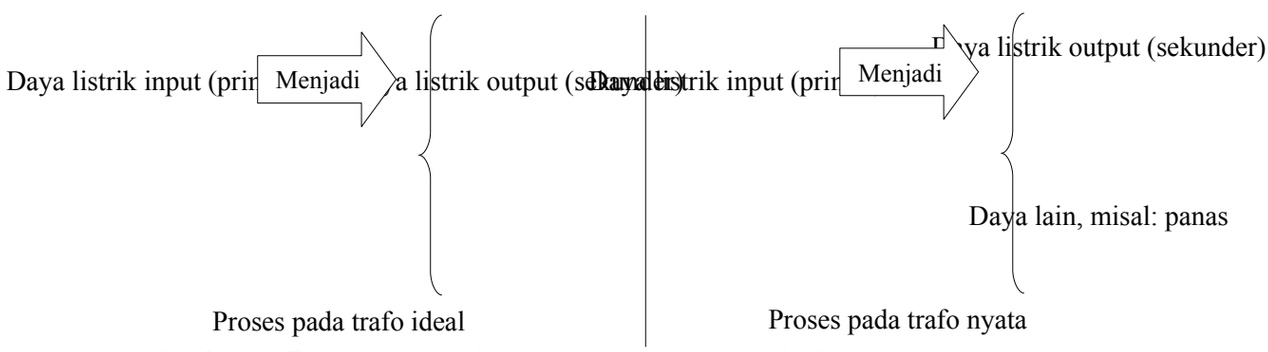
Walaupun demikian, hukum kekekalan energi tetap berlaku. Pada trafo ideal, sudah tampak jelas bahwa hukum kekekalan energi berlaku karena daya input (daya primer) = daya output (daya sekunder). Pada trafo nyata, hukum kekekalan energi tetap berlaku hanya saja tidak semua energi (daya) listrik input menjadi energi listrik (daya) output, di mana seringkali kita jumpai trafo yang memanas ketika digunakan. Hal itu menunjukkan bahwa sebagian dari daya input diubah menjadi daya (energi) panas dan sebagian lagi diubah menjadi daya listrik output yang diharapkan. Jika proses transformasi energi dalam trafo digambarkan dalam diagram alir, maka akan menjadi seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 24. Dengan begitu daya lain yang muncul pada trafo nyata merupakan daya rugi (daya hilang), yang secara matematis dituliskan:

$$P_p = P_s + P_h$$

atau

$$P_h = P_p - P_s$$

di mana P_h adalah daya rugi atau daya hilang (dalam watt).



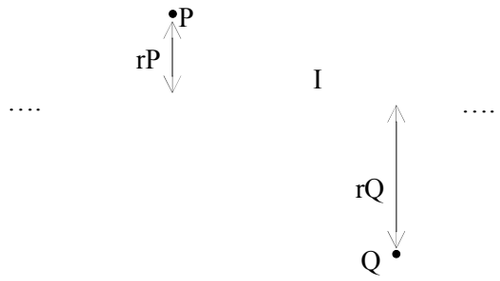
Gambar 24. Diagram alir transformasi daya (energi) pada trafo ideal dan nyata.

Inti O Inti E

Gambar 25. Transformator nyata.

CONTOH-CONTOH SOAL DAN PEMBAHASANNYA

1. Terdapat sebuah kawat lurus panjang berarus listrik seperti gambar di bawah.



Jika $I = 3$ A, $r_P = 4$ m, dan $r_Q = 2$ m

a) B_P = … T

b) Arah $\vec{B}_p$ adalah ke …

c) B_Q = … T

d) Arah $\vec{B}_Q$ adalah ke …

Jawab:

a) $B_P = 1{,}5 \times 10^{-7} T$, karena:

$$B_P = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_P} = \frac{4 \times \pi \times 10^{-7} \times 3}{2 \times \pi \times 4} = 1{,}5 \times 10^{-7} T$$

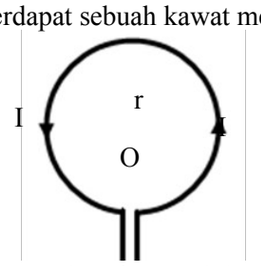
b) Arah $\vec{B}_p$ adalah ke pembaca atau keluar bidang gambar atau ⊙ .

c) $B_Q = 3 \times 10^{-7} T$, karena:

$$B_Q = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_P} = \frac{4 \times \pi \times 10^{-7} \times 3}{2 \times \pi \times 2} = 3 \times 10^{-7} T$$

d) Arah $\vec{B}_Q$ adalah ke dalam (masuk) bidang gambar atau ⊗ .

2. Terdapat sebuah kawat melingkar berarus listrik seperti gambar di bawah.



Jika $I = 2$ A dan $r = 0{,}1$ m, maka:

a) B_O = … T

b) Arah $\vec{B}_O$ adalah ke …

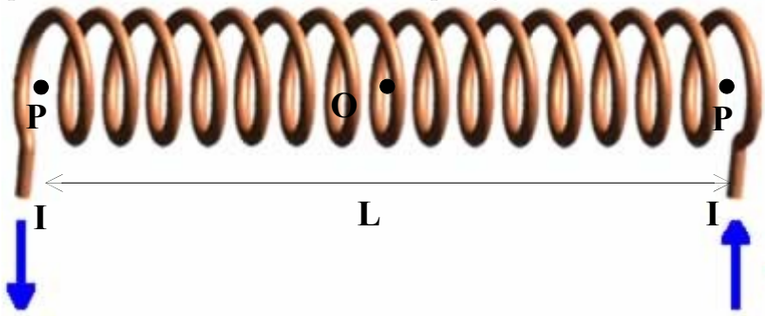
Jawab:

a) $B_O = 4\pi \times 10^{-6} T$ karena:

$$B_O = \mu_0 \ni \frac{¿}{2r} = \frac{4 \times \pi \times 10^{-7} \times 1 \times 2}{2 \times 0{,}1} = \frac{4 \times \pi \times 10^{-7}}{10^{-1}} = 4\pi \times 10^{-7} \times 10^{1} T = 4\pi \times 10^{-6} T ¿$$

b) Arah $\vec{B}_O$ adalah ke pembaca atau $\odot$.

3. Terdapat sebuah solenoida berarus listrik seperti gambar di bawah.



Jika I = 5 A, N = 50, dan panjang lilitan L adalah 0,1 m, maka:
a) B_P = … T.
b) B_O = … T.
Jawab:
a) $B_P = 5\pi \times 10^{-4} T$ karena:

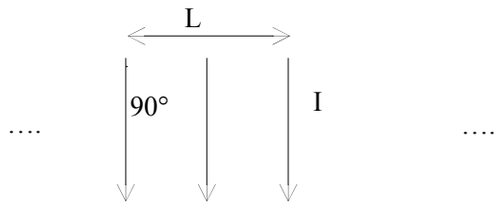
$$B_P = \mu_0 \ni \frac{¿}{2L} = \frac{4 \times \pi \times 10^{-7} \times 50 \times 5}{2 \times 0{,}1} = \frac{2 \times 50 \times 5 \times \pi \times 10^{-7}}{10^{-1}} ¿$$

$$B_P = 5\pi \times 10^2 \times 10^{-7} \times 10^1 T = 5\pi \times 10^{-4} T$$

b) $B_O = \pi \times 10^{-3} T$ karena:

$$B_O = 2B_P = 10\pi \times 10^{-4} T = \pi \times 10^{-3} T$$

4. Terdapat sebuah kawat lurus berarus listrik di dalam medan magnet seperti gambar di bawah.

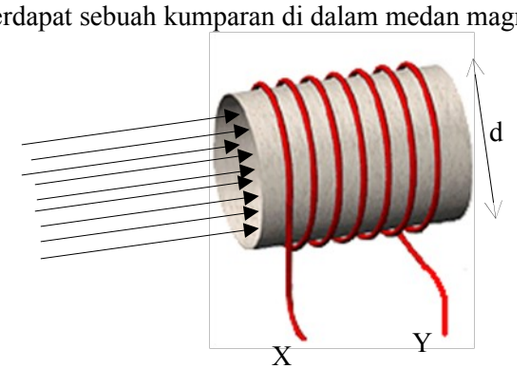


Jika I = 6 A, B = 10 T, dan L = 0,1 m, maka:
a) $F_{Lorentz}$ = … N
b) Arah $\vec{F}_{Lorentz}$ adalah ke …
Jawab:
a) $F_{Lorentz} = 6\,N$ karena:

$$F_{Lorentz} = BIL \sin\theta = 10 \times 6 \times 0{,}1 \times \sin 90° = 10 \times 6 \times 0{,}1 \times 1 = 6N$$

b) Arah $\vec{F}_{Lorentz}$ adalah ke dalam bidang gambar atau $\otimes$.

5. Terdapat sebuah kumparan di dalam medan magnet ***B*** seperti gambar di bawah.



Diameter kumparan (d) = 0,01 m dan jumlah kumparan (N) = 6.
a) Jika pada t = 0 detik besar B = 10T, maka fluks magnetik dalam bidang kumparan (Φ) = …Tm^{-2}.
b) Jika pada t = 3 detik besar B = 30T, maka fluks magnetik dalam bidang kumparan (Φ) = …Tm^{-2}.
c) Jika antara t = 0 detik sampai dengan 3 detik medan magnet B berubah secara linier, maka selama itu tegangan antara titik terminal X dan Y adalah … V.

d) Ketika $t = 0$ detik sampai dengan 3 detik yang menjadi muatan negatif adalah titik … (X/Y).

Jawab:

a) Jika pada $t = 0$ detik besar $B = 10$T, maka fluks magnetik dalam bidang kumparan (Φ) = $2{,}5\pi \times 10^{-4}$ Tm^{-2} karena:

$$\Phi = BA\cos\theta = B \times \left(\pi \times \left(\frac{d}{2}\right)^2\right) \times \cos 0° = 10 \times \left(\pi \times \left(\frac{0{,}01}{2}\right)^2\right) \times 1$$

$$\Phi = 10 \times \pi \times \left(\frac{10^{-2}}{2}\right)^2 = 10 \times \pi \times \frac{10^{-4}}{4} = 0{,}25\pi \times 10^{-3}$$

$$\Phi = 2{,}5\pi \times 10^{-4}\, T\, m^{-2}$$

b) Jika pada $t = 3$ detik besar $B = 30$T, maka fluks magnetik dalam bidang kumparan (Φ) = $7{,}5\pi \times 10^{-4}$ Tm^{-2} karena:

$$\Phi = BA\cos\theta = B \times \left(\pi \times \left(\frac{d}{2}\right)^2\right) \times \cos 0° = 30 \times \left(\pi \times \left(\frac{0{,}01}{2}\right)^2\right) \times 1$$

$$\Phi = 30 \times \pi \times \left(\frac{10^{-2}}{2}\right)^2 = 30 \times \pi \times \frac{10^{-4}}{4} = 0{,}75\pi \times 10^{-3}$$

$$\Phi = 7{,}5\pi \times 10^{-4}\, T\, m^{-2}$$

c) Jika antara $t = 0$ detik sampai dengan 3 detik medan magnet B berubah secara linier, maka selama itu nilai mutlak tegangan antara titik terminal X dan Y atau $|V_{XY}|$ adalah $\pi \times 10^{-3}$ V karena:

$$|V_{XY}| = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} N = \frac{(\Phi_{akhir} - \Phi_{awal})}{(t_{akhir} - t_{awal})} N = \frac{(7{,}5\pi \times 10^{-4} - 2{,}5\pi \times 10^{-4})}{(3-0)} \times 6$$

$$|V_{XY}| = \frac{(7{,}5-2{,}5)\pi \times 10^{-4}}{3} \times 6 = 5\pi \times 10^{-4} \times 2 = 10\pi \times 10^{-4} = \pi \times 10^{-3}\, volt$$

d) Ketika $t = 0$ detik sampai dengan 3 detik yang menjadi muatan negatif adalah titik … (X/Y).
$\Delta\Phi$ adalah positif sehingga dari kawat timbul medan magnet $\vec{B}_k$ yang arahnya melawan medan magnet penyebanya $\vec{B}$, sehingga, berdasarkan aturan tangan kanan antara arus dalam kawat dan $\vec{B}_k$, arus listrik mengalir meninggalkan titik X menuju titik Y, sehingga yang menjadi <u>kutub negatif</u> adalah titik <u>X</u>.

6. Terdapat sebuah trafo yang memiliki kumparan primer dengan jumlah lilitan 100 dan kumparan sekunder dengan jumlah lilitan 20. Trafo tersebut bersifat ideal.
   a) Jika terminal kumparan primer diberi tegangan bolak-balik dengan nilai maksimum $V_{in} = 220$ V, maka pada terminal kumparan sekunder muncul tegangan bolak-balik dengan nilai maksimum V_{out} = … V.
   b) Jika pada terminal kumparan sekunder dihubungkan dengan alat listrik sehingga pada kumparan sekunder mengalir arus listrik bolak-balik dengan nilai maksimum sebesar 2A dan V_{out} tidak mengalami penurunan yang berarti, maka pada kumparan primer mengalir arus listrik bolak-balik dengan nilai maksimum sebesar … A.
   c) Efisiensi trafo = …%.

   Jawab:

   a) Jika terminal kumparan primer diberi tegangan bolak-balik dengan nilai maksimum $V_{in} = 220$ V, maka pada terminal kumparan sekunder muncul tegangan bolak-balik dengan nilai maksimum V_{out} = 44 V karena

$$\frac{V_{out}}{V_{¿}} = \frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p}$$

$$\frac{V_{out}}{220} = \frac{20}{100}$$

$$V_{out} = 220 \times \frac{20}{100} = 44\, V$$

   b) Jika pada terminal kumparan sekunder dihubungkan dengan alat listrik sehingga pada kumparan sekunder mengalir arus listrik bolak-balik dengan nilai maksimum sebesar 2A dan V_{out} tidak

mengalami penurunan yang berarti, maka pada kumparan primer mengalir arus listrik bolak-balik dengan nilai maksimum sebesar 0,4 A karena

$$\frac{V_{out}}{V_{¿}}=\frac{V_s}{V_p}=\frac{I_p}{I_s}$$

$$\frac{44}{220}=\frac{I_p}{2}$$

$$\frac{2\times 44}{220}=I_p$$

$$I_p=\frac{2\times 44}{22\times 10}=\frac{2\times 2}{10}=\frac{4}{10}=0{,}4\ A$$

c) Efisiensi trafo = 100 % karena pada trafo ideal daya listrik input sama dengan daya listrik output di mana semua daya listrik pada kumparan primer diubah seluruhnya menjadi daya listrik pada kumparan sekunder; tidak menjadi daya (energi) bentuk lain, misal panas.

E. Kegiatan Pembelajaran

Pendekatan: Saintifik

Metode: Discovery Learning

Model: Cooperative Learning dan Diskusi

Pertemuan ke-1

a. Pendahuluan

1. Berdoa
2. Apersepsi:
   Guru berkata kepada siswa:"Pernah tahu magnet? Jika magnet berdekatan dengan magnet lain apakah yang akan terjadi? Jika kawat berarus listrik berada di sekitar magnet, apakah yang akan terjadi? Apakah terjadi reaksi?"
3. Guru menjelaskan topik, hasil pembelajaran yang diharapkan, dan pokok-pokok kegiatan yang harus dilakukan yaitu mempelajari magnet listrik.

b. Kegiatan Inti

1. Guru berkata:" Kita akan meneliti arah medan magnet di sekitar kabel berarus dengan menggunakan kompas buatan sendiri berbahan jarum dan air".
2. Guru membuat kompas dari jarum dan air.
3. Guru membentangkan kabel yang terhubung dengan catu daya dalam keadaan mati di atas jarum kompas dengan posisi kutub positif kabel di utara dan kutub negatif kabel di selatan.
4. Seorang siswa menyalakan catu daya lalu semua siswa mengamati penyimpangan jarum kompas.
5. Guru meminta seorang siswa untuk menggambarkan di papan tulis sketsa kejadian kompas dan kabel di atas. Jika siswa kesulitan, maka guru membantu siswa tersebut.
6. Langkah 3 sampai 5 diulangi 3 kali lagi dengan posisi kabel (di bawah jarum atau di atas jarum) dan kutub listrik kabel yang berbeda untuk setiap variasi posisi kabel terhadap jarum.
7. Guru meminta siswa untuk menyimpulkan secara keseluruhan hasil temuan dari percobaan. Kesimpulan mengarah pada hubungan antara arah arus listrik dengan arah medan listrik.
8. Guru meminta seorang siswa untuk menyampaikan kesimpulannya.
9. Guru memberi kesempatan kepada siswa lain untuk memberikan tambahan atau koreksi kesimpulan siswa pertama sampai tidak ada pendapat lagi dari siswa.
10. Guru memberi konfirmasi tentang hubungan antara arah arus listrik dan arah medan magnet dengan menjelaskan aturan tangan kanan Oersted.
11. Guru menjelaskan Hukum Biot-Savart dan Hukum Ampere
12. Guru menjelaskan Gaya Lorentz

c. Kegiatan Penutup

1. Guru memberikan *reward* kepada siswa berupa pujian atas kerja samanya dalam pembelajaran dan memberikan nasehat-nasehat kepada siswa jika terdapat kekurangan-kekurangan pada siswa selama pembelajaran.
2. Guru menyampaikan topik pembelajaran berikutnya yaitu Praktek Menggambar Medan Magnet Induksi.
3. Guru membagikan diktat materi Magnet.

Pertemuan ke-2

a. Kegiatan pendahuluan
   1) Berdoa
   2) Apersepsi:
      a) Guru berkata: "Pertemuan lalu kita telah meneliti pengaruh arah arus listrik terhadap medan magnet di sekitar arus tersebut. Kompas yang dipergunakan adalah buatan pabrik atau buatan kita? Itu artinya kita bisa membuat magnet sendiri. Apa saja cara membuat magnet yang kalian ketahui? Kalau sudah membuat magnet, bagaimana kita menentukan kutub-kutubnya dan bagaimana kita mengetahui bentuk medan magnetnya?
      b) Guru menjelaskan kegiatan yang akan dilakukan oleh siswa

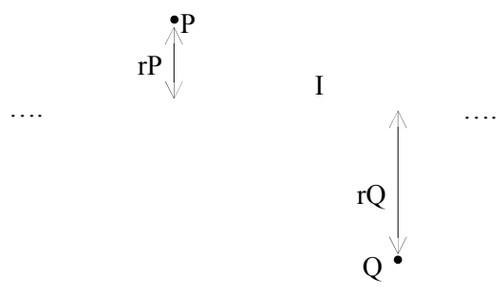
b. Kegiatan Inti
   1) Guru mendemonstrasikan cara-cara membuat magnet dengan menggosok, induksi, dan menggunakan listrik.
   2) Siswa menyaksikan demonstrasi sambil menanyakan hal-hal yang belum dipahaminya
   3) Guru meminta salah satu siswa untuk menggambar magnet U beserta medan magnet dan posisi kutub-kutubnya di papan tulis.
   4) Guru meminta salah satu siswa lain untuk menggambar magnet batang beserta medan magnet dan posisi kutub-kutubnya di papan tulis.
   5) Guru bertanya:" Bagaimana bentuk medan magnet dari magnet yang bentuknya selain U dan batang, misal tak beraturan, katakanlah magnet tersebut magnet induksi buatan kita?"
   6) Guru membagi kelas menjadi 4 kelompok.
   7) Guru membagikan LKS dan alat-alat praktikum kepada setiap kelompok.
   8) Siswa melakukan praktikum sesuai dengan prosedur dalam LKS.
   9) Setiap siswa perwakilan masing-masing kelompok menggambar magnet yang ditelitinya beserta medan magnet dan letak kutub-kutubnya di papan tulis.
   10) Guru memberikan konfirmasi atas hasil kerja siswa.

c. Kegiatan Penutup
   1) Guru memberikan *reward* kepada siswa berupa pujian atas kerja samanya dalam pembelajaran dan memberikan nasehat-nasehat kepada siswa jika terdapat kekurangan-kekurangan pada siswa selama pembelajaran.
   2) Guru menyampaikan kegiatan pembelajaran berikutnya yaitu latihan soal dan Ulangan Harian.

Pertemuan ke-3

a. Kegiatan pendahuluan
   1) Berdoa
   2) Guru menyampaikan bahwa pada hari itu akan dilakukan latihan soal lalu ulangan harian.

b. Kegiatan Inti
   1) Guru meminta siswa mengerjakan soal-soal berikut
      1. Terdapat sebuah kawat lurus panjang berarus listrik seperti gambar di bawah.

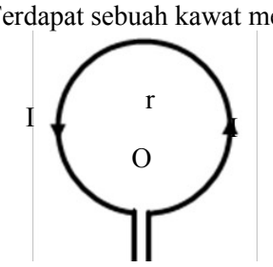


Jika $I = 3$ A, $r_P = 4$ m, dan $r_Q = 2$ m

a) B_P = … T

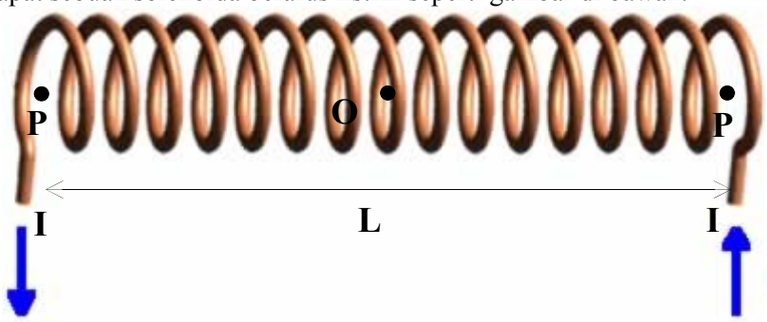
b) Arah $\vec{B}_p$ adalah ke …
c) B_Q = … T
d) Arah $\vec{B}_Q$ adalah ke …

2. Terdapat sebuah kawat melingkar berarus listrik seperti gambar di bawah.



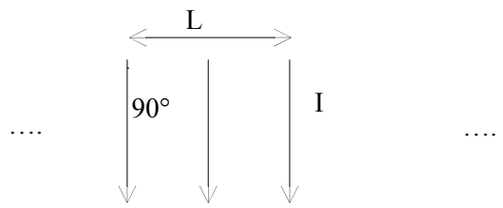
Jika I = 2 A dan r = 0,1 m, maka:
a) B_O = … T
b) Arah $\vec{B}_O$ adalah ke …

3. Terdapat sebuah solenoida berarus listrik seperti gambar di bawah.



Jika I = 5 A, N = 50, dan panjang lilitan L adalah 0,1 m, maka:
a) B_P = … T.
b) B_O = … T.

4. Terdapat sebuah kawat lurus berarus listrik di dalam medan magnet seperti gambar di bawah.



Jika I = 6 A, B = 10 T, dan L = 0,1 m, maka:
a) $F_{Lorentz}$ = … N
b) Arah $\vec{F}_{Lorentz}$ adalah ke …

2) Guru meminta siswa untuk mengerjakan soal-soal tersebut di papan tulis.
3) Guru memberikan konfirmasi jawaban yang benar.
4) Guru membagikan soal ulangan kepada siswa
5) Guru meminta siswa mengerjakan soal ulangan di selembar kertas dan meminta siswa untuk tidak mencorat-coret soal UH.
6) Guru memberikan petunjuk menjawab soal.
7) Siswa mengerjakan soal-soal ulangan harian.

c. Kegiatan Penutup
1) Guru meminta siswa untuk mengumpulkan jawaban ulangan

2) Guru memberikan *reward* kepada siswa berupa pujian atas kerja samanya dalam pembelajaran dan memberikan nasehat-nasehat kepada siswa jika terdapat kekurangan-kekurangan pada siswa selama pembelajaran.
3) Guru menyampaikan kegiatan berikutnya yaitu Ulangan Akhir Semester Genap

F. Penilaian, Pembelajaran, Remedial dan Pengayaan

KD 3.9:

1. Teknik penilaian
   Jenis penilaian: tes tulis sumatif
   Bentuk soal: pilihan ganda
2. Instrumen
   Soal dan Jawaban terlampir
3. Rubrik penilaian
   Jumlah soal = 20.
   Bobot per soal = 5
   Nilai diperoleh dengan rumus:
   $Nilai = jumlah\ soal\ yang\ dijawab\ dengan\ benar \times bobot\ per\ soal$

4. Remedial
   Remedial dilakukan setelah penilaian dan dengan cara bimbingan perorangan jika jumlah siswa yang tidak tuntas < 20%. Jika lebih, maka akan dilakukan pembelajaran ulang dengan metode ceramah.

KD 4.9:

1. Teknik penilaian
   Jenis penilaian: tes praktik

2. Instrumen

No	Nama	Kelompok	Poin		Nilai
			I	II	
1					
2					
3					
…					

3. Rubrik penilaian
   - Poin I: Gambar garis-garis gaya magnet induksi
     - Ada dan sesuai dengan posisi jarum kompas = 4
     - Ada dan tidak sesuai dengan posisi jarum kompas = 3
     - Tidak ada gambar garis gaya magnet = 0
   - Poin II: Letak kutub-kutub magnet induksi
     - Ada dan sesuai dengan garis gaya magnet = 4
     - Ada dan tidak sesuai dengan garis gaya magnet = 3
     - Tidak ada letak kutub-kutub magnet induksi = 0

   $$Nilai = \frac{(Poin\ I + Poin\ II) \times 25}{2}$$

4. Remedial
   Remedial dilakukan setelah penilaian dan dengan cara bimbingan perorangan jika jumlah siswa yang tidak tuntas < 20%. Jika lebih, maka akan dilakukan pembelajaran ulang dengan metode ceramah.

G. Media/alat, Bahan, dan Sumber Belajar

Media: kapasitor, resistor, AVO meter, kabel, catu daya (baterai), LED, elektroskop.
Bahan: mika elektrostatis.

Sumber belajar:

- Serway, J. 2004. *Physics for Scientists and Engineers*. California: Thomson Brooks/Cole.
- Hsu, T. 2004. *Foundation of Physics*. Peabody: CPO Science.
- Artikel dari internet
- Diktat dari guru

Jember, 2 Januari 2020

Mengetahui, Kepala Sekolah	Guru Mata Pelajaran
Dra. **PRIWAHYU HARTANTI, M.Pd.** Pembina Utama Muda NIP. 19640717 198903 2 014	ABDUL HAYYI, S.Pd. NIP 19731126199903 1 001

PEMERINTAH PROVINSI JAWA TIMUR
DINAS PENDIDIKAN
SEKOLAH MENENGAH KEJURUAN NEGERI 6 JEMBER
Jalan PB. Sudirman.No. 114 Telp./Fax. (0336) 441347 Tanggul – Jember 68155
Website : www.smkn6jember.sch.id; E-mail: smknn6.jember@yahoo.com
JEMBER

RENCANA PELAKSANAAN PEMBELAJARAN (RPP)

Sekolah	:	SMK NEGERI 6 JEMBER
Mata Pelajaran	:	FISIKA
Kelas/Semester	:	X / GENAP
Materi	:	Radiasi Elektromagnetik
Alokasi Waktu	:	2 x 3 JP (2 x 3 x 40 menit)

1. Kompetensi Inti

KI 1 : Menghayati dan mengamalkan ajaran agama yang dianutnya.

KI 2 : Mengembangkan perilaku (jujur, disiplin, tanggungjawab, peduli, santun, ramah lingkungan, gotong royong, kerjasama, cinta damai, responsif dan pro-aktif) dan menunjukan sikap sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan bangsa dalam berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial dan alam serta dalam menempatkan diri sebagai cerminan bangsa dalam pergaulan dunia.

KI 3 : Memahami, menerapkan, menganalisis pengetahuan faktual, konseptual, prosedural berdasarkan rasa ingintahunya tentang ilmu pengetahuan, teknologi, seni, budaya, dan humaniora dengan wawasan kemanusiaan, kebangsaan, kenegaraan, dan peradaban terkait penyebab fenomena dan kejadian, serta menerapkan pengetahuan prosedural pada bidang kajian yang spesifik sesuai dengan bakat dan minatnya untuk memecahkan masalah

KI 4 : Mengolah, menalar, dan menyaji dalam ranah konkret dan ranah abstrak terkait dengan pengembangan dari yang dipelajarinya di sekolah secara mandiri, dan mampu menggunakan metoda sesuai kaidah keilmuan

2. Kompetensi Dasar

3.5 Mengevaluasi dampak radiasi elektromagnetik secara kualitatif.

Indikator:

1. Siswa dapat menjelaskan dampak radiasi gelombang elektromagnetik pada lingkungan hidup
2. Siswa dapat menjelaskan cara untuk mengurangi dampak negatif dari radiasi elektromagnetik pada lingkungan hidup

4.5 Membuat karya tulis tentang dampak radiasi elektromagnetik.

Indikator :

1. Siswa dapat membuat uraian tentang dampak radiasi elektromagnetik.

2. Siswa dapat membuat uraian tentang cara mengurangi dampak negatif radiasi elektromagnetik.

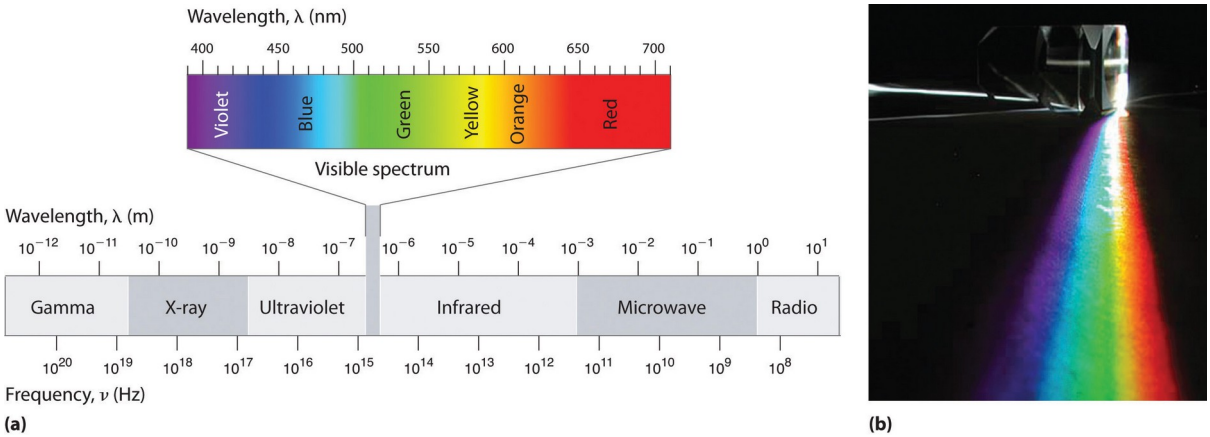
3. Materi Ajar

Radiasi Elektromagnetik

4. Sub Materi Ajar

Elektromagnetik

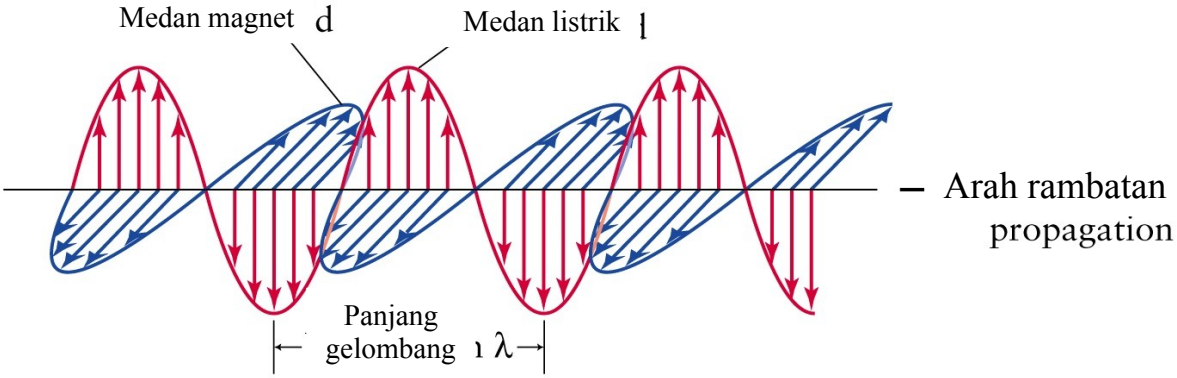
Gelombang mekanik terdiri dari bermacam-macam gelombang karena medium mekanik bervariasi (yang penting medium tersebut memiliki massa), sedangkan gelombang elektromagnetik hanya satu macam karena tidak ada variasi jenis medan magnet dan medan listrik. Walaupun demikian, berdasarkan efek yang ditimbulkannya, gelombang elektromagnetik dibagi menjadi beberapa bagian berdasarkan kisaran frekuensinya (atau panjang gelombangnya). Pada Gambar 15.a dapat dilihat pembagian gelombang elektromagnetik berdasarkan sifatnya atau efek-efek yang ditimbulkannya pada materi. Cahaya tampak (*visible light* (*visible spectrum*)) adalah gelombang elektromagnetik yang direspon dengan baik oleh mata manusia dan dipersepsikan sebagai warna-warni oleh otak manusia. Cahaya tampak dapat diuraikan dengan menggunakan prisma seperti pada gambar 15.b. Gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang (di ruang hampa) di luar kisaran 400-700 nm tidak dapat digunakan sebagai penerangan, misal: jika kita menyalakan radio yang tidak ada lampunya di ruang gelap maka ruang tersebut akan tetap gelap. Namun demikian, gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang < 400 nm, seperti: ultraviolet, sinar X (*X-ray*), dan Gamma, memiliki energi yang sangat besar dan berbahaya bagi tubuh manusia, di samping memiliki manfaat, seperti ultraviolet untuk melihat keaslian uang, sinar X untuk memotret bagian dalam tubuh tanpa pembedahan, dan sinar Gamma untuk membunuh sel kanker atau memutus molekul DNA dalam proses pemutasian gen. Gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang > 700nm cenderung lebih aman selama digunakan dengan tepat, seperti: infrared untuk penglihatan malam dengan kamera, microwave untuk memanaskan makanan berair, dan radio untuk komunikasi.



Gambar 15. Spektrum (sebaran) gelombang elektromagnetik.

Struktur gelombang elektromagnetik dapat dilihat pada Gambar 16, di mana gelombang elektromagnetik hanya terdiri dari gelombang medan listrik dan medan magnet yang arah simpangannya saling tegak lurus dan arah rambatan keduanya adalah searah. Kedua gelombang tersebut bersifat transversal. Adapun energi (E) yang dibawa oleh gelombang elektromagnetik dirumuskan:

$E = h.f$
atau
$E = \frac{h.c}{\lambda}$
, di mana:
E : energi gelombang elektromagnetik (J (joule))
h : konstanta Plank = 6,6 x 10^{-34} Js
f : frekuensi gelombang elektromagnetik (Hz (hertz))
c : kecepatan gelombang elektromagnetik = 3 x 10^{8} m/s
λ : panjang gelombang elektromagnetik (m)



Gambar 16. Struktur gelombang elektromagnetik.

5. **Metode Pembelajaran**
   1) Model : Problem-Based Learning
   2) Pendekatan : saintifik
   3) Metode : demonstrasi, observasi, diskusi, presentasi, tanya jawab
6. **Media, Alat dan Sumber Belajar**
   1) Media : Komputer atau telepon seluler
   2) Sumber Belajar:
      - Situs internet, misal: *https://www.elektroindonesia.com/elektro/ut32.html*.

PERTEMUAN 1 (3 X 40 MENIT)

1. **Tujuan Pembelajaran**
   1. Setelah membaca berbagai literatur siswa dapat menjelaskan dampak radiasi elektromagnetik dengan baik.
   2. Setelah membaca berbagai literatur siswa dapat menjelaskan cara untuk mengurangi dampak radiasi elektromagnetik.

2. **Langkah-langkah Pembelajaran**
   1. **Pendahuluan (45 menit)**
   1) Berdoa dan memberikan salam.
   2) Mengabsen siswa dan menanyakan perihal kondisi kesehatan siswa yang hadir dan yang tidak masuk.

3) Apersepsi dan motivasi
   a) Guru mengulas tentang optika fisis yang telah dipelajari siswa.
   b) Guru menanyakan tentang penyebab pemanasan global.
   c) Guru menanyakan tentang cara kerja oven microwave.
   d) Guru mengulas sedikit tentang dampak pemanasan global dan mikrowave.
4) Guru menyampaikan tujuan pembelajaran.
5) Guru membagi kelas menjadi 4 kelompok.

2. Kegiatan Inti (70 menit)

SINTAK PEMBELAJARAN	KEGIATAN PEMBELAJARAN	DURASI
Orientasi terhadap masalah	Guru menjelaskan bahwa terdapat masalah yang ditimbulkan oleh gelombang elektromagnetik	10’
Organisasi belajar	1. Guru mengarahkan siswa untuk mencari artikel tentang gelombang elektromagnetik di internet 2. Guru mengarahkan siswa untuk mencari artikel tentang dampak radiasi elektromagnetik 3. Guru mengarahkan siswa untuk mencari artikel tentang penanggulangan dampak negatif radiasi elektromagnetik bagi lingkungan hidup 4. Guru memerintahkan siswa untuk membuat makalah tentang dampak radiasi elektromagnetik dan penanggulangannya.	60’
Penyelidikan	1. Siswa mencari artikel-artikel yang disarankan guru 2. Siswa menyusun makalah	

3. Penutup (5 menit)

- Guru mempersilahkan siswa untuk mengumpulkan media, LKS, dan kertas grafik.
  - Guru menanyakan kepada siswa tentang bagaimana pembelajaran pada hari itu, apakah menyenangkan dan apakah berkesan.
  - Guru menyampaikan bahwa pada pertemuan kedua siswa akan menyampaikan hasil praktikumnya di depan kelas dalam rangka menyimpulkan sifat-sifat sinar istimewa dengan benar dan mendiskusikan proses pembentukan bayangan pada cermin.
  - Guru dan siswa mengakhiri pembelajaran dengan berdoa lalu saling mengucapkan salam.

PERTEMUAN 2 (3 X 40 MENIT)

1. Tujuan Pembelajaran

1. Setelah melalui diskusi kelas siswa dapat menjelaskan proses pembentukan bayangan oleh cermin cekung dengan baik.

2. Setelah melalui diskusi kelas siswa dapat menentukan letak bayangan yang dibentuk oleh cermin cekung dengan baik.
3. Setelah melalui diskusi kelas siswa dapat menentukan sifat bayangan yang dibentuk oleh cermin cekung.
4. Setelah melalui diskusi kelas siswa dapat menjelaskan proses pembentukan bayangan oleh cermin cembung.
5. Setelah melalui diskusi kelas siswa dapat menentukan letak bayangan yang dibentuk oleh cermin cembung.
6. Setelah melalui diskusi kelas siswa dapat menentukan sifat bayangan yang dibentuk oleh cermin cembung.

2. Langkah-langkah Pembelajaran

1. Pendahuluan (40 menit)

1) Berdoa dan memberikan salam.
2) Mengabsen siswa dan menanyakan perihal kondisi kesehatan siswa yang hadir dan yang tidak masuk.
3) Apersepsi dan motivasi
   a) Guru menanyakan tentang pengalaman siswa pada saat praktikum optik di pertemuan pertama.
   b) Guru mengulas sedikit tentang pembentukan bayangan oleh cermin datar yang telah dipelajari siswa di SMP dengan melakukan demonstrasi dan memberikan pertanyaan-pertanyaan kepada siswa secara lisan.
   c) Guru menampilkan kembali cermin spion, cermin datar, reflector lampu senter dan menanyakan bagaimana bayangan-bayangan tersebut dapat terbentuk.
   d) Guru menanyakan adakah kaitan antara perilaku sinar-sinar yang terpantul oleh benda-benda tersebut dengan pembentukan bayangan.
4) Guru menyampaikan tujuan pembelajaran.
5) Guru menyuruh siswa untuk duduk berkelompok sesuai kelompoknya di pertemuan 1.

2. Kegiatan Inti (75 menit)

SINTAK PEMBELAJARAN	KEGIATAN PEMBELAJARAN	DURASI
Pengembangan dan penyajian solusi	1. Perwakilan kelompok siswa mempresentasikan secara singkat makalahnya 2. Siswa mengumpulkan makalahnya	20’
Analisis dan evaluasi proses penemuan solusi	1. Guru memberikan konfirmasi atau koreksi terhadap makalah siswa jika terdapat kesalahan 2. Guru menguji siswa satu persatu dengan memberikan secara lisan pertanyaan-pertanyaan tentang isi makalahnya	10’

3. Penutup (5 menit)

- Guru mempersilahkan siswa untuk mengumpulkan lembar jawaban tes akhir.
  - Guru menyampaikan pertemuan berikutnya siswa akan mempelajari usaha dan energi.
  - Guru dan siswa mengakhiri pembelajaran dengan berdoa lalu saling mengucapkan salam.

6. Penilaian

a. Jenis/Teknik Penilaian
- KI 3 : tes lisan
- KI 4 : lembar pengamatan

b. Bentuk Instrumen dan instrumen
- KI 3 : Tes Lisan

No	Nama	Kelas	Nilai
1			
2			
…			

Keterangan Nilai:

0 : Tidak dapat menjawab

80 : Dapat menjawab 1 pertanyaan

100 : Dapat menjawab 2 pertanyaan

- KI 4 :
  Kelas :……..
  Pertemuan :……..

Kelompok	Aspek yang dinilai		Keterangan
	(A) Uraian tentang dampak radiasi elektromagnetik	(B) Uraian tentang penanggulangan dampak negatif radiasi elektromagnetik	
1			
2			
…			

Rubrik:

a. Nilai poin A:
   0: Tidak uraian sama sekali
   80: Ada uraian
   100: Uraian dilengkapi gambar penunjang yang relevan

b. Nilai poin B:
   0: Tidak uraian sama sekali

80: Ada uraian
100: Uraian dilengkapi gambar penunjang yang relevan

c. Nilai Total = (A+B)/2.

Jember, 2 Januari 2020

Mengetahui,
Kepala Sekolah

Dra. PRIWAH SRI MARTANTI, M.Pd.
Pembina Utama Muda
NIP. 19640717 198903 2 014

Guru Mata Pelajaran

ABDUL HAYYI, S.Pd.
NIP 19731126199903 1 001