



## **MODUL FISIKA II**

**UNIVERSITAS HARAPAN MEDAN**

**Fakultas Teknik dan Komputer**

**2022**

---

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT, karena berkat limpahan karunia dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan modul ajar mata kuliah Fisika II ini.

Modul ajar ini disusun dalam rangka penerapan Tri Darma Perguruan Tinggi. Untuk memperoleh sumber daya manusia yang berkualitas, diperlukan dukungan sistem pendidikan dan pengajaran yang relevan. Salah satu komponen penting dalam sistem pendidikan tersebut adalah Standar Kompetensi yang dikembangkan bersama dalam bentuk pengembangan dan pembuatan buku ajar yang relevan untuk mendukung kompetensi yang telah terstandar yang sesuai dengan Rencana Pembelajaran Semester (RPS) yang telah dibuat terlebih dahulu.

Modul ajar ini dipersiapkan untuk membantu mahasiswa dan dosen dalam proses pembelajaran mata kuliah Fisika II pada Program Studi T.Mesin Universitas Harapan Medan.

Fisika II adalah mata kuliah fisika bidang: **Listrik** merupakan konsep Listrik Statis, Listrik Dinamik, Kapasitansi Kapasitor, Rangkaian Arus Searah, Rangkaian Resistor, Hukum Khirchhoff dan Rangkaian RC, yang bermanfaat dalam bidang ilmu teknik mesin dan dalam kehidupan berbangsa dan bernegara.

Untuk mencapai tujuan dari isi materi mata kuliah Fisika II digunakan **metode pembelajaran** tatap muka langsung (luring) dan tidak langsung (daring).

**Penilaian** (evaluasi) terdiri dari empat komponen yaitu:

1. **UTS = 30%**
2. **UAS = 30%**
3. **Tugas/Kuis = 30%**
4. **Kehadiran = 10%**

Penulis menyadari dalam penyusunan modul ajar ini masih memiliki kekurangan dan berharap modul ajar ini selalu dikaji dan dikembangkan melalui sumbang saran dan koreksi agar dapat menyesuaikan dengan tuntutan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Akhirnya, semoga modul ajar ini bermanfaat bagi semua yang membutuhkan.

Medan, Juli 2022

Penulis

**( Dra. Herlina Harahap, M.Si )**

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>1</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>3</b>
<b>I. LISTRIK STATIS .....</b>	<b>5</b>
1. Muatan Dan Hukum Coulomb.....	5
2. Gaya Listrik Yang Ditimbulkan Lebih Dari Dua Muatan .....	7
3. Medan Listrik.....	13
4. Potensial Listrik .....	18
<b>II. LISTRIK DINAMIK .....</b>	<b>27</b>
1. Arus Listrik Dan Rapat Arus .....	27
2. Hambatan (Resistansi) .....	28
3. Resistivitas Dan Konduktivitas.....	28
4. Daya Dan Energi Listrik .....	30
<b>III. KAPASITOR.....</b>	<b>34</b>
1. Kapasitansi Kapasitor .....	34
2. Kapasitansi Kapasitor Plat Sejajar .....	35
3. Rangkaian Kapasitor .....	38
<b>IV. ARUS SEARAH DAN ARUS BOLAK-BALIK .....</b>	<b>46</b>
1. Arus Bolak-Balik (AC = Alternating Current) .....	47
2. Rangkaian Arus Searah (DC).....	51
2.1. Gaya Gerak Listrik (GGL) .....	51
2.2. Rangkaian Resistor .....	54
2.3. Hukum Kirchhoff .....	63

<b>V. RANGKAIAN RC.....</b>	<b>73</b>
1. Pemuatan Kapasitor .....	73
2. Pengosongan Kapasitor.....	75
<b>VI. PENUTUP .....</b>	<b>80</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>83</b>

## I. LISTRIK STATIS

Kata listrik berasal dari kata Yunani yaitu elektron, dan elektron ini adalah partikel terkecil dari suatu atom yang bermuatan negatif dan atom bagian terkecil dari benda, sehingga listrik statis dapat diartikan sebagai muatan yang diam untuk sementara pada suatu benda.

### 1. Muatan dan Hukum Coulomb

Menurut Benyamin Franklin (1706 – 1790), ada dua jenis muatan listrik yaitu :

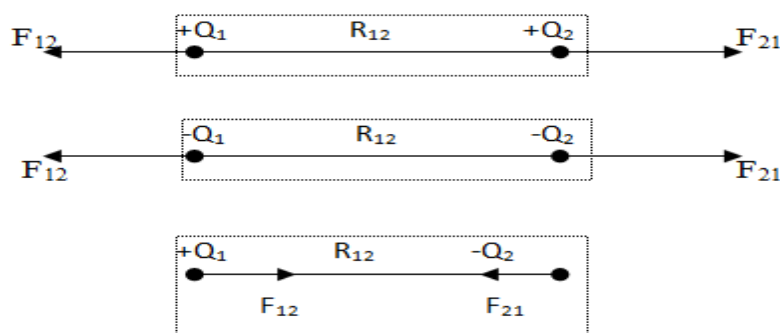
1. muatan positif
2. muatan negatif

Dari Eksperimentnya Benyamin Franklin menyimpulkan bahwa :

- jika muatan sejenis didekatkan maka akan terjadi tolak-menolak
- jika muatan tidak sejenis didekatkan maka akan terjadi tarik-menarik.

Tarik-menarik dan tolak-menolak ini disebut sebagai gaya listrik

Charles A.Coulomb (1736 - 1806) melakukan penyelidikan tentang gaya listrik pada partikel bermuatan listrik (yang sering disebut dengan muatan listrik) oleh muatan listrik yang lainnya. Hasil penyelidikannya menunjukkan bahwa gaya listrik tersebut secara vektor dapat dilihat pada Gambar 1



Gambar 1. Gaya tolak-menolak dan tarik menarik yang ditimbulkan oleh 2 muatan

Keterangan gambar :

$F_{12}$  adalah gaya pada muatan  $Q_1$  yang diberikan/disebabkan oleh muatan  $Q_2$

$F_{21}$  adalah gaya pada muatan  $Q_2$  yang diberikan/disebabkan oleh muatan  $Q_1$

$R_{12}$  adalah jarak antara muatan  $Q_1$  dan  $Q_2$

Dari hasil eksperimentnya, disimpulkan bahwa:

Gaya listrik (tarik-menarik atau tolak-menolak) atau disebut **gaya elektrostatik** antara dua muatan listrik sebanding dengan besar muatan listrik masing-masing dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak pisah antara kedua muatan listrik yang dikenal sebagai **Hukum Coulomb**, dan dinyatakan secara matematik:

$$\boxed{F_{12} = \frac{kQ_1Q_2}{R_{12}^2} \quad \text{atau} \quad F_{21} = \frac{kQ_2Q_1}{R_{21}^2}} \quad \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

$Q_1$  = muatan 1, coulomb ( C )

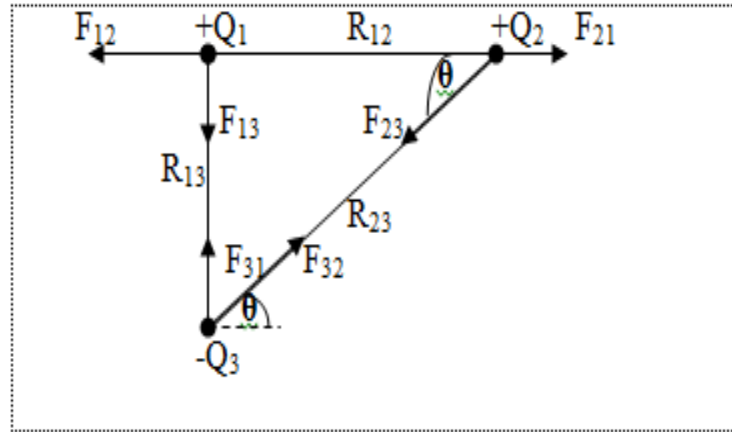
$Q_2$  = muatan 2, coulomb ( C )

$R_{12}$  = jarak antara muatan  $Q_1$  dan  $Q_2$ , meter ( m )

$k$  = konstanta pembanding =  $9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$

## 2 Gaya Listrik Yang Ditimbulkan Lebih Dari Dua Muatan

Sebagai contoh konfigurasi dari 3 muatan seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Gaya tolak-menolak dan tarik menarik yang ditimbulkan oleh 3 muatan

Dari konfigurasi muatan pada Gambar 2.

- Antara muatan  $Q_1$  dan  $Q_2$  terjadi gaya tolak-menolak karena kedua muatan sejenis, dan gaya yang bekerja adalah  $F_{12}$  dan  $F_{21}$
- Antara muatan  $Q_1$  dan  $Q_3$  terjadi gaya tarik-menarik karena kedua muatan tidak sejenis, dan gaya yang bekerja adalah  $F_{13}$  dan  $F_{31}$
- Antara muatan  $Q_2$  dan  $Q_3$  terjadi gaya tarik-menarik karena kedua muatan tidak sejenis, dan gaya yang bekerja adalah  $F_{23}$  dan  $F_{32}$

Besar gaya yang bekerja pada muatan  $Q_1$  yang diberikan/disebabkan oleh muatan  $Q_2$  dan muatan  $Q_3$  adalah:  $\vec{F}_1 = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{13}$

Besar gaya yang bekerja pada muatan  $Q_2$  yang diberikan/disebabkan oleh muatan  $Q_1$  dan muatan  $Q_3$  adalah:  $\vec{F}_2 = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{23}$



Besar gaya yang bekerja pada muatan  $Q_3$  yang diberikan/disebabkan oleh muatan  $Q_1$  dan muatan  $Q_2$  adalah:  $\vec{F}_3 = \vec{F}_{31} + \vec{F}_{32}$

➤ Contoh analisa vektor dari gaya listrik yang ditimbulkan oleh 3 muatan

Besar gaya yang bekerja pada muatan  $Q_1$  yang diberikan/disebabkan oleh muatan  $Q_2$  dan muatan  $Q_3$  adalah:  $\vec{F}_1 = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{13}$

**Analisis vektor:**

- Jumlahkan secara vektor karena gaya listrik adalah vektor

$$\vec{F}_1 = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{13}$$

- Besar gaya listrik karena pasangan muatan berdasarkan Hukum Coulomb:

$$F_{12} = \frac{kQ_1Q_2}{R_{12}^2} = \dots\dots\dots$$

$$F_{13} = \frac{kQ_1Q_3}{R_{13}^2} = \dots\dots\dots$$

- Komponen pembentuk vektor:

1.  $\vec{F}_{12}$  :  $F_{12x}$  dan  $F_{12y}$

$$F_{12x} = - F_{12} = \dots\dots\dots \text{ (tanda negatif menyatakan arahnya kekiri)}$$

$$F_{12y} = 0 \rightarrow (F_{12} \text{ kearah sumbu } y \text{ tidak ada maka bernilai } 0)$$

2.  $\vec{F}_{13}$  :  $F_{13x}$  dan  $F_{13y}$

$$F_{13x} = 0 \rightarrow (F_{13} \text{ kearah sumbu } x \text{ tidak ada maka bernilai } 0)$$

$$F_{13y} = - F_{13} = \dots\dots\dots \text{ (tanda negatif menyatakan arahnya kebawah)}$$

3.  $\vec{F}_1$  :  $F_{1x}$  dan  $F_{1y}$

$$F_{1x} = F_{12x} + F_{13x} = -F_{12} + 0 = -F_{12} = \dots\dots\dots(F_{12} \text{ bernilai negatif maka arahnya } \mathbf{kekiri})$$

$$F_{1y} = F_{12y} + F_{13y} = 0 - F_{13} = -F_{13} = \dots\dots\dots (F_{13} \text{ bernilai negatif maka arahnya } \mathbf{kebawah})$$

- Maka Besar vektor  $F_1$  berdasarkan teorema pythagoras adalah :

$$F_1 = \sqrt{F_{1x}^2 + F_{1y}^2} = \sqrt{(-F_{12})^2 + (-F_{13})^2}$$
$$= \dots\dots\dots$$

Arah vektor  $F_1$  adalah kiri bawah

### Evaluasi

1. Tentukan besar gaya listrik pada elektron yang diberikan oleh proton dalam atom hidrogen. Anggap elektron mengorbit terhadap proton pada jarak  $0,53 \times 10^{-10}$  m.
2. Pada konfigurasi muatan seperti gambar 2. Hitung Besar gaya pada muatan  $Q_1$  yang disebabkan oleh muatan  $Q_2$  dan muatan  $Q_3$ , jika  $Q_1 = 2\mu\text{C}$  ;  $Q_2 = 1\mu\text{C}$  ;  $Q_3 = -1\mu\text{C}$  dengan  $R_{12} = 10\text{cm}$  dan  $R_{13} = 15\text{cm}$

$$(1\mu\text{C} = 1.10^{-6}\text{C})$$

### 1. Kunci Jawaban

1. **Dik:**

$$Q_1 = \text{muatan elektron} = 1,6 \times 10^{-19}\text{C}$$

$$Q_2 = \text{muatan proton} = 1,6 \times 10^{-19}\text{C}$$

$$R_{12} = 0,53 \times 10^{-10} \text{ m}$$

**Dit:**

$$F_{12} = \dots\dots?$$

**Penyelesaian:**

Berdasarkan hukum Coulomb:

$$F_{12} = \frac{kQ_1Q_2}{R_{12}^2}$$
$$F_{12} = \frac{9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2 \cdot (1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}) \cdot (1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C})}{(0,53 \cdot 10^{-10} \text{ m})^2}$$
$$F_{12} = 8,2 \cdot 10^{-8} \text{ N}$$

**Arah gaya pada elektron adalah menuju proton**

**2. Dik:**

$$Q_1 = 2\mu\text{C} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$
$$Q_2 = 1\mu\text{C} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$
$$Q_3 = -1\mu\text{C} = -1 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$
$$R_{12} = 10\text{cm} = 0,1\text{m}$$
$$R_{13} = 15\text{cm} = 0,15\text{m}$$

**Dit :**

$$F_1 = \dots?$$

**Penyelesaian:**

Jumlahkan secara vektor karena gaya listrik adalah vektor

$$\vec{F}_1 = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{13}$$

- Besar gaya listrik karena pasangan muatan berdasarkan Hukum Coulomb:

$$F_{12} = \frac{kQ_1Q_2}{R_{12}^2} = \frac{9 \cdot 10^9 (2 \cdot 10^{-6})(1 \cdot 10^{-6})}{(0,1)^2} = \mathbf{1,8N}$$

$$F_{13} = \frac{kQ_1Q_3}{R_{13}^2} = \frac{9 \cdot 10^9 (2 \cdot 10^{-6})(1 \cdot 10^{-6})}{(0,15)^2} = \mathbf{0,8N}$$

→ tanda negatif pada muatan  $Q_3$  tidak diikutkan dalam perhitungan

- Komponen pembentuk vektor:

1.  $\vec{F}_{12}$  :  $F_{12x}$  dan  $F_{12y}$

$$F_{12x} = -F_{12} = -1,8N$$

→ ( **tanda negatif** menyatakan **arahnya kekiri** )

$$F_{12y} = 0 \rightarrow (F_{12} \text{ kearah sumbu } y \text{ tidak ada maka bernilai } 0)$$

2.  $\vec{F}_{13}$  :  $F_{13x}$  dan  $F_{13y}$

$$F_{13x} = 0 \rightarrow (F_{13} \text{ kearah sumbu } x \text{ tidak ada maka bernilai } 0)$$

$$F_{13y} = -F_{13} = -0,8N$$

→ ( **tanda negatif** menyatakan **arahnya kebawah** )

3.  $\vec{F}_1$  :  $F_{1x}$  dan  $F_{1y}$

$$F_{1x} = F_{12x} + F_{13x} = -1,8N + 0 = -1,8N$$

→ ( **F<sub>1x</sub>** bernilai **negatif** maka arahnya **kekiri** )

$$F_{1y} = F_{12y} + F_{13y} = 0 - 0,8N = -0,8N$$

→ ( **F<sub>1y</sub>** bernilai **negatif** maka arahnya **kebawah** )

- Maka Besar vektor  $F_1$  berdasarkan teorema pythagoras adalah :

$$\begin{aligned} F_1 &= \sqrt{F_{1x}^2 + F_{1y}^2} \\ &= \sqrt{(-1,8)^2 + (0,8)^2} = 1,97N \end{aligned}$$

Arah vektor **F<sub>1</sub>** adalah **kiri bawah**

#### Catatan:

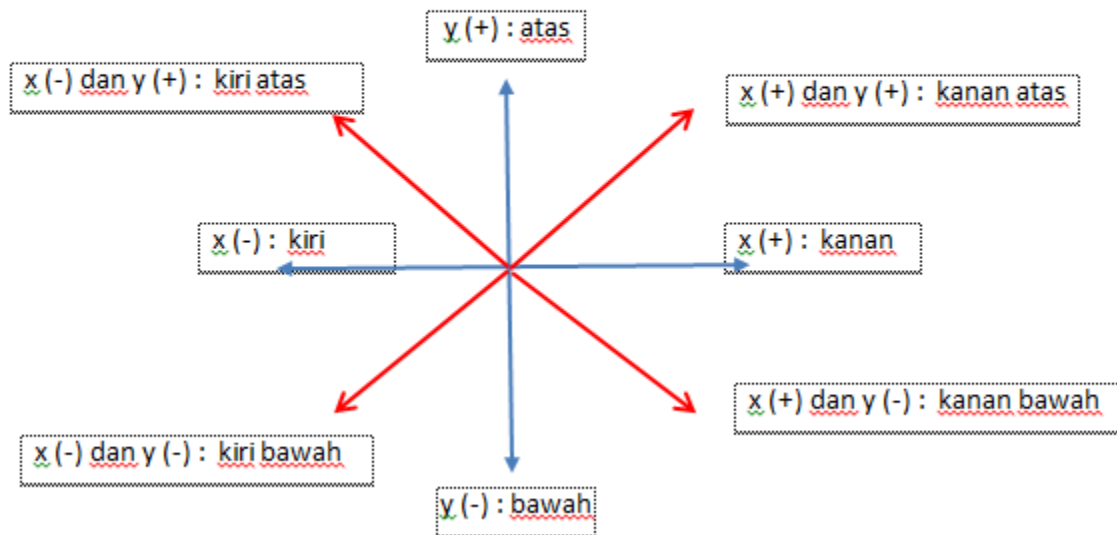
- **Untuk besaran vektor :**
  - **Tanda negatif pada muatan hanya menyatakan arah dalam perhitungan tidak diikuti sertakan ( yang diambil nilai positif )**

- **Untuk besaran skalar :**
  - Tanda negatif pada muatan menyatakan besar dalam perhitungan harus diikuti sertakan

**Komponen Pembentuk Vektor:**

1.  $\overrightarrow{F_{23}}$  :  $F_{23x}$  dan  $F_{23y}$   
 $F_{23x} = - F_{23} \cos \theta$   
 $F_{23y} = - F_{23} \sin \theta$
2.  $\overrightarrow{F_{32}}$  :  $F_{32x}$  dan  $F_{32y}$   
 $F_{32x} = + F_{32} \cos \theta$   
 $F_{32y} = + F_{32} \sin \theta$

**Catatan : Aturan arah dalam sistem koordinat**



## Tugas I

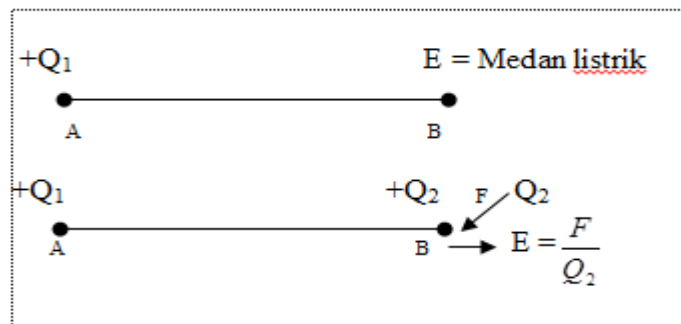
1. Pada konfigurasi muatan seperti gambar 2. ( lihat gambar pada materi) Jika  $Q_1 = 2\mu\text{C}$  ;  $Q_2 = 1\mu\text{C}$  ;  $Q_3 = -1\mu\text{C}$  dengan  $R_{12}=R_{21}= 10\text{cm}$  dan  $R_{13} = R_{31} = 15\text{cm}$  dengan sudut kemiringan  $\theta = 56,44^\circ$

Tentukan :

- a.  $R_{23} = R_{32}$  dengan menggunakan teorema Pythagoras
- b. Besar gaya pada muatan  $Q_2$  yang disebabkan oleh muatan  $Q_1$  dan muatan  $Q_3$

### 3. Medan Listrik, E (N/C)

Medan Listrik adalah suatu area (tempat) yang didalamnya terdapat muatan atau sekumpulan muatan. Medan listrik adalah besaran vektor yang memiliki arah, dimana arah medan listrik jika muatannya positif menjauhi muatan dan jika muatannya negatif mendekati muatan



Gambar 3. Medan listrik yang ditimbulkan muatan

Muatan  $Q_1$  akan menimbulkan medan listrik dititik B seperti terlihat pada Gambar 3. Jika muatan  $Q_2$  ditarik (diuji) dari jauh tidak berhingga ke titik B atau ke daerah medan listrik (E) diperlukan gaya sebesar F sehingga besar medan listrik dapat ditulis sebagai berikut :

$$E = \frac{F}{Q_2}$$

Atau secara umum medan listrik didefinisikan sebagai gaya persatuan muatan yang bekerja pada muatan yang diuji:

$$E = \frac{F}{Q} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana : E = Medan Listrik ( N/C )

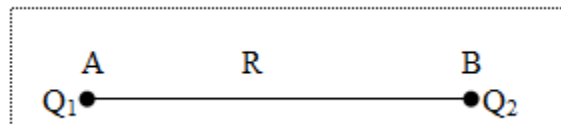
F = Gaya listrik ( N )

Q = muatan ( C )

Dari persamaan 2 maka diperoleh besar gaya listrik (F) yang ditimbulkan ketika sebuah muatan (Q) yang dipindahkan ke daerah medan listrik (E):

$$F = Q E \dots\dots\dots(3)$$

Analisa medan listrik yang ditimbulkan oleh sebuah mutan seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Medan listrik di suatu tempat yang ditinjau

Gaya listrik yang dibutuhkan berdasarkan hukum Coulomb adalah:

$$F = \frac{kQ_1Q_2}{R^2}$$

Medan listrik dititik B ditimbulkan oleh muatan Q<sub>1</sub> sebesar :

$$E_B = \frac{F}{Q_2} = \frac{kQ_1Q_2}{R^2 \cdot Q_2} = \frac{kQ_1}{R^2}$$

dan medan listrik di titik A ditimbulkan oleh muatan  $Q_2$  sebesar:

$$E_A = \frac{F}{Q_1} = \frac{kQ_1Q_2}{R^2 \cdot Q_1} = \frac{kQ_2}{R^2}$$

Sehingga secara umum Medan Listrik yang ditimbulkan oleh **sebuah muatan** adalah :

$$E = \frac{kQ}{R^2} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana:

$E$  = medan listrik (N/C)

$k = 9 \cdot 10^9 \text{Nm}^2/\text{C}^2$

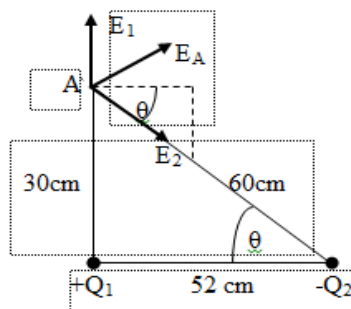
$Q$  = muatan (C)

$R$  = jarak muatan ketempat yang ditinjau (m)

Medan listrik total yang disebabkan **lebih dari satu muatan** (sekumpulan muatan) adalah jumlah dari vektor-vektor Medan listrik yang ditimbulkan tiap-tiap muatan yaitu:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots\dots\dots(5)$$

**Analisa secara vektor medan listrik yang ditimbulkan oleh 2 muatan seperti pada Gambar 5**



Gambar 5. Konfigurasi 2 muatan yang menimbulkan medan listrik di titik A



**Analisis Vektor dari gambar 5:**

1. Jumlahkan secara vektor karena Medan Listrik adalah vektor

$$\vec{E}_A = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

2. Besar Medan listrik yang ditimbulkan oleh masing-masing muatan:

$$E_1 = \frac{kQ_1}{R_1^2} = \dots\dots\dots$$

$$E_2 = \frac{kQ_2}{R_2^2} = \dots\dots\dots$$

3. Uraian komponen pembentuk vektor:

a.  $\vec{E}_1$  :  $E_{1x}$  dan  $E_{1y}$

$E_{1x} = 0 \rightarrow$  tidak ada komponen medan listrik  $E_1$  kearah sumbu x

$E_{1y} = + E_1 = \dots\dots \rightarrow$  komponen medan listrik  $E_1$  kearah sumbu y (**atas**)  
maka bernilai **positif**

b.  $\vec{E}_2$  :  $E_{2x}$  dan  $E_{2y}$

$E_{2x} = + E_2 \cos \theta = \dots\dots \rightarrow$  komponen medan listrik  $E_2$  kearah sumbu x  
(**kanan**) maka bernilai **positif**

$E_{2y} = - E_2 \sin \theta = \dots\dots \rightarrow$  komponen medan listrik  $E_2$  kearah sumbu y  
(**bawah**) maka bernilai **negatif**

**Vektor  $E_2$  arahnya kanan bawah**

c.  $\vec{E}_A$  :  $E_{Ax}$  dan  $E_{Ay}$

$$E_{Ax} = E_{1x} + E_{2x} = \dots\dots\dots$$

$$E_{Ay} = E_{1y} + E_{2y} = \dots\dots\dots$$

4. Maka Besar vektor  $E_A$  adalah :

$$E_A = \sqrt{E_{Ax}^2 + E_{Ay}^2} = \dots\dots\dots \text{ (Teorema Pythagoras)}$$

Arah Medan listrik  $E_A$  .....

**Evaluasi**

**Soal:**

- a. Hitung besar medan listrik pada titik P yang terletak pada jarak 30 cm disebelah kanan muatan  $Q = -3\mu\text{C}$  dan tentukan arah medan listrik tersebut.
- b. Dan berapa besar gaya listrik yang dibutuhkan untuk menarik muatan  $Q_2 = 8\mu\text{C}$  dari jauh tidak berhingga ke titik P

**Kunci Jawaban**

**Dik :**

$$R = 30\text{cm} = 0,3\text{m}$$

$$Q = -3\mu\text{C} = - 3 \cdot 10^{-6}\text{C}$$

**Dit :**

- a.  $E = \dots\dots?$  dan arah medan listrik
- b.  $F = \dots\dots?$

**Penyelesaian :**

a. Dari persamaan :  $E_P = \frac{kQ}{R^2} = \frac{9 \cdot 10^9 (3 \cdot 10^{-6})}{(0,3)^2} = 3 \cdot 10^5 \text{N/C}$

Karena muatannya bernilai negatif maka arah medan listrik kekiri atau menuju muatan.



- b. Dan besar gaya yang dibutuhkan untuk menarik muatan  $Q_2=8\mu\text{C}$  dari jauh tidak berhingga ketitik P ( daerah  $E_p$  ) adalah:

$$F = Q_2 E_p = 8 \cdot 10^{-6} \text{ C}(3 \cdot 10^5 \text{ N/C}) = 2,4\text{N}$$

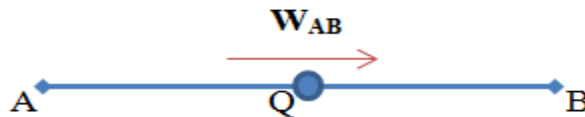
## TUGAS II

1. Hitung Medan Listrik total pada titik A, pada Gambar 5 dan berapa gaya yang dibutuhkan untuk menarik muatan  $Q_3=80 \mu\text{C}$  dari jauh tidak berhingga ketitik A yang merupakan daerah medan listrik ( $Q_1 = 65 \mu\text{C}$ ,  $Q_2 = - 50\mu\text{C}$ )

### 4. Potensial Listrik, V(volt)

Satu besaran lain yang ditimbulkan karena adanya muatan adalah potensial listrik, yang merupakan besaran skalar.

#### A. Selisih potensial ( Beda Potensial )



Gambar 6. Muatan Q dipindahkan dari A ke B

Kerja yang dilakukan untuk memindahkan sebuah muatan Q pada Gambar 6 dari titik A ke titik B adalah  $W_{AB}$ , sehingga akibat perpindahan muatan tersebut dapat menimbulkan selisih potensial diantara titik A dan B sebesar:

$$V_{AB} = V_B - V_A = \frac{W_{AB}}{Q}$$

Jika titik A terletak dijauh tidak berhingga maka potensial dititik A,  $V_A = 0$ , sehingga persamaan diatas dinyatakan dengan:

$$V_B = \frac{W_{AB}}{Q}$$

Atau secara umum potensial listrik didefinikan sebagai perbandingan kerja yang dilakukan untuk memindahkan muatan terhadap besar muatan yang dipindahkan:

$$\boxed{V = \frac{W}{Q}} \dots\dots\dots(6)$$

Maka kerja yang dilakukan untuk memindahkan muatan Q sebesar:

$$\boxed{W = Q V} \dots\dots\dots(7)$$

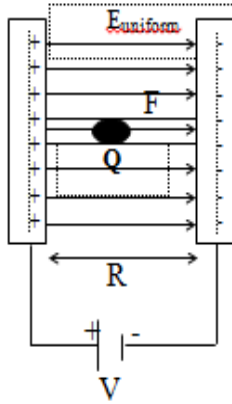
Dimana : W = kerja ( Nm)

Q = muatan (C)

V = potensial (V)

### **B. Hubungan antara Potensial Listrik dengan Medan Listrik**

Sebagai contoh sebuah muatan dipindahkan diantara dua konduktor identik yang dihubungkan dengan sumber tegangan seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Muatan Q dipindahkan diantara dua konduktor yang berjarak R

Kerja yang dilakukan untuk memindahkan Q dari plat positif ke plat negatif dalam daerah medan listrik uniform ( $E_{\text{uniform}}$ ) sejauh R adalah:

$$W = Q V \quad \dots\dots\dots(8)$$

Kerja yang dilakukan didalam medan listrik yang uniform berdasarkan definisi kerja adalah:

$$W = F \cdot R \quad \rightarrow \quad F = Q \cdot E$$

(Karena muatan Q berada pada medan listrik uniform)

$$W = Q \cdot E \cdot R \quad \dots\dots\dots(9)$$

Maka persamaan (8) sama dengan persamaan (9), sehingga diperoleh:

$$Q V = Q \cdot E \cdot R$$

Dari persamaan diatas diperoleh **hubungan antara potensial dengan medan listrik** adalah:

$$V = E R \quad \dots\dots\dots(10)$$

Atau :

$$E = \frac{V}{R} \quad \dots\dots\dots (11)$$

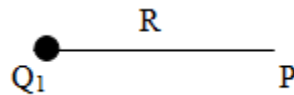
Dimana :  $V =$  potensial listrik ( volt =V )

$E =$  medan listrik ( N/C )

$R =$  Jarak ( m )

### C. Potensial yang disebabkan oleh sebuah muatan

Contoh sebuah muatan berjarak  $R$  dari titik  $P$  seperti pada Gambar 8



Gambar 8. Potensial listrik dititik  $P$

Muatan  $Q$  menimbulkan medan listrik dititik  $P$  sebesar:

$$E_p = \frac{kQ}{R^2}$$

Dari persamaan (10) :  $V = E \cdot R$ , maka potensial dititik  $P$  adalah:

$$V_p = \frac{kQ}{R^2} R$$

atau **potensial listrik yang ditimbulkan oleh sebuah muatan** adalah

$$\boxed{V = \frac{kQ}{R}} \dots\dots\dots(12)$$

Dimana:

$V$  = potensial listrik (V)

$k = 9 \cdot 10^9 \text{Nm}^2/\text{C}^2$

$Q$  = muatan (C)

$R$  = jarak muatan ketempat yang ditinjau (m)

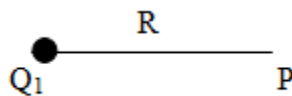
Jika ada **lebih dari satu muatan**, maka potensial total yang ditimbulkan dapat ditentukan sbb:

1. Hitung potensial yang ditimbulkan oleh masing-masing muatan
2. Jumlahkan secara aljabar

$$V_{\text{total}} = V_1 + V_2 + V_3 + \dots$$

#### D. Tenaga Potensial Listrik

Contoh sebuah muatan berjarak  $R$  dari titik  $P$  seperti pada Gambar 9



Gambar 9. Sebuah muatan  $Q_1$  berjarak  $R$  dari titik  $P$

Sebuah muatan  $Q_1$  terletak sejauh  $R$  dari titik  $P$  seperti pada Gambar 9, maka potensial listrik yang timbul dititik  $P$  adalah:

$$V_P = k \frac{Q_1}{R}$$

Jika muatan  $Q_2$  ditarik dari jauh tidak berhingga ketitik P, maka besar kerja yang dilakukan adalah:

$$W = Q_2 V_p$$

Atau

$$W = Q_2 k \frac{Q_1}{R}$$

$$W = k \frac{Q_1 Q_2}{R}$$

Sesuai dengan teorema Kerja – Tenaga maka besar tenaga potensial listrik sama dengan kerja yang dilakukan untuk menarik muatan  $Q_2$  dari jauh tidak berhingga ke daerah potensial dititik P yaitu:

$$U_{12} = W = \frac{k Q_1 Q_2}{R} \dots\dots\dots(13)$$

Dimana :

$U_{12}$  = tenaga potensial listrik yang diperlukan oleh pasangan muatan (joule=J)

$W$  = kerja yang dilakukan oleh pasangan muatan (J)

$R$  = jarak antara kedua muatan (m)

$Q$  = muatan (C)

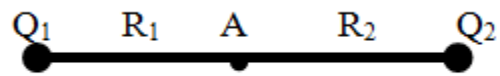
### Evaluasi

#### Soal:

1. Dua plat sejajar dimuati sampai tegangan 50V, jika jarak antara kedua plat tsb adalah 0,05m, hitung medan listrik diantaranya.



2. a. Muatan  $Q_1 = 5\mu\text{C}$  berjarak 20cm dari muatan  $Q_2 = -2\mu\text{C}$ , tentukan potensial listrik total dititik A yang terletak ditengah-tengah kedua muatan.
- b. Dan tentukan tenaga potensial listrik yang diperlukan ketika terjadi tarik-menarik antara kedua muatan



### Kunci jawaban

1. **Dik:**

$$V = 50V$$

$$R = 0,05m$$

**Dit:**

$$E = \dots?$$

**Penyelesaian :**

$$E = \frac{V}{R} = \frac{50V}{0,05m} = \mathbf{1000V/m}$$

2. **Dik:**

$$Q_1 = 5\mu\text{C} = 5 \cdot 10^{-6}\text{C}$$

$$Q_2 = -2\mu\text{C} = -2 \cdot 10^{-6}\text{C}$$

$$R_{12} = 20\text{cm} = 0,2m \rightarrow \text{jarak antara } Q_1 \text{ dan } Q_2$$

$R_1 = 10\text{cm} = 0,1\text{m} \rightarrow$  jarak  $Q_1$  ketitik A

$R_2 = 10\text{cm} = 0,1\text{m} \rightarrow$  jarak  $Q_2$  ketitik A

**Dit:**

a.  $V_{\text{total}} = \dots?$

b.  $U_{12} = \dots?$

**Penyelesaian:**

a.  $V_1 = \frac{kQ_1}{R_1} = \frac{9 \cdot 10^9 (5 \cdot 10^{-6})}{0,1} = 4,5 \cdot 10^5 V$

$$V_2 = \frac{kQ_2}{R_2} = \frac{9 \cdot 10^9 (-2 \cdot 10^{-6})}{0,1} = -1,8 \cdot 10^5 V$$

( tanda negatif pada muatan menyatakan besar maka dalam perhitungan harus diikutkan, karena potensial listrik merupakan besaran skalar )

$$V_{\text{total}} = V_1 + V_2 = 4,5 \cdot 10^5 V + (-1,8 \cdot 10^5 V) = 2,7 \cdot 10^5 V$$

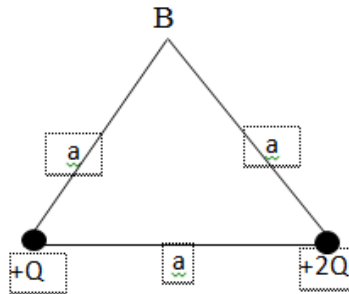
b.  $U_{12} = \frac{kQ_1Q_2}{R_{12}} = \frac{9 \cdot 10^9 (5 \cdot 10^{-6})(-2 \cdot 10^{-6})}{0,2} = -0,45 J$

### TUGAS III

1. Dua muatan seperti pada pada Gambar dibawah, dimana  $Q = 1.10^{-7}C$  dan  $a=10cm$ .

Hitunglah :

- potensial listrik total di titik B yang ditimbulkan oleh muatan  $Q$  dan  $2Q$
- kerja yang dilakukan untuk menarik sebuah muatan  $4Q$  dari jarak yang sangat jauh ke titik B
- Tenaga potensial listrik total setelah muatan  $4Q$  berada dititik B

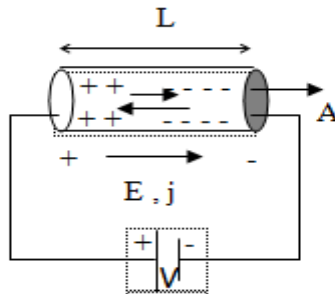


## II. LISTRIK DINAMIK

Listrik dinamik adalah muatan-muatan listrik yang bergerak.

### 1. Arus Listrik dan Rapat Arus

Contoh: Sebuah konduktor yang dihubungkan dengan sumber tegangan seperti pada Gambar 10.



Gambar 10. Sebuah konduktor yang dihubungkan dengan sumber tegangan V

Sebuah konduktor yang panjangnya L dan luas penampangnya A jika diberi tegangan sebesar V, maka jumlah **muatan netto** yang mengalir persatuan waktu akan **menimbulkan arus listrik** sebesar :

$$I = \frac{Q}{t} \quad (\text{jumlah muatan yang mengalir konstan}) \dots\dots\dots(14)$$

**Dimana:**

I = arus listrik (ampere = A = C/s)

Q = jumlah muatan netto (C)

t = waktu selama sumber tegangan dihubungkan (s)

Perbandingan arus yang mengalir persatuan luas penampang disebut rapat arus sebesar:

$$J = \frac{I}{A} \quad \dots\dots\dots(15)$$

**Dimana:**

$$J = \text{rapat arus (A/m}^2\text{)}$$

$$I = \text{ arus listrik (A)}$$

$$A = \text{ luas konduktor (m}^2\text{)}$$

## 2. Hambatan (Resistansi)

Besar arus yang mengalir pada jenis bahan yang berbeda jika diberi tegangan yang sama akan berbeda, hal ini disebabkan karena sifat spesifik bahan yang disebut dengan hambatan ( resistansi/tahanan ) yang besarnya berdasarkan **hukum ohm**:

$$\boxed{R = \frac{V}{I}} \quad \text{atau} \quad \boxed{V = I R} \quad \text{atau} \quad \boxed{I = \frac{V}{R}} \quad \dots\dots\dots(16)$$

Dimana :

$$R = \text{Resistansi (ohm}=\Omega\text{)}$$

$$I = \text{Arus listrik (ampere=A)}$$

$$V = \text{tegangan listrik (volt=V)}$$

## 3. Resistivitas Dan Konduktivitas

Perbandingan medan listrik yang timbul pada konduktor terhadap rapat arus adalah sifat spesifik setiap bahan yang diasebut dengan **Resistivitas (Hambatan Jenis)** yang besarnya:

$$\rho = \frac{E}{J} \quad \text{dimana:} \quad E = \frac{V}{L} \quad \text{dan} \quad J = \frac{I}{A}$$

Maka: 
$$\rho = \frac{V}{\frac{L}{\frac{I}{A}}}$$

$$\rho = \frac{R A}{L}$$

.....(17)

Dan Resistansi (hambatan) pada konduktor yang panjangnya L dan luasnya A dinyatakan:

$$R = \frac{\rho L}{A}$$

.....(18)

dimana :

$\rho$  = Resistivitas ( $\Omega\text{m}$ )

R = Resistansi ( $\Omega$ )

A = Luas penampang konduktor ( $\text{m}^2$ )

L = panjang konduktor (m)

Suatu bahan jika nilai **resistivitasnya besar** maka bahan tersebut **bersifat isolator** (daya hantarnya buruk), dan jika **resistivitasnya kecil** maka bahan **bersifat sebagai konduktor** (daya hantarnya baik).

Kemampuan suatu bahan untuk menghantar disebut sebagai **konduktivitas**, sehingga dapat dinyatakan hubungan antara **resistivitas** dan **konduktivitas** adalah **berbanding terbalik**

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

.....(19)

dimana :

$\rho$  = Resistivitas ( $\Omega\text{m}$ )

$\sigma$  = konduktivitas ( $1/\Omega\text{m}$ )

#### 4. Daya Dan Energi Listrik

Laju perubahan Energi Listrik ke bentuk energi yang lain disebut **daya listrik** yang besarnya dinyatakan:

$$P = \frac{U}{t} \quad \longrightarrow \quad U = W = QV \text{ (teorema kerja-energi)}$$

$$P = \frac{QV}{t} \quad \longrightarrow \quad I = \frac{Q}{t}$$

$$\boxed{P = VI} \quad \text{atau} \quad \boxed{P = \frac{V^2}{R}} \quad \text{atau} \quad \boxed{P = I^2 R} \quad \dots\dots\dots(20)$$

Dan **Energi Listrik** adalah :

$$\mathbf{U = P.t} \quad \text{atau} \quad \mathbf{U = V. I.t} \quad \dots\dots\dots(21)$$

Dimana :

P = daya listrik (watt =W)

R = Resistansi (ohm= $\Omega$ )

I = Arus listrik (ampere=A)

V = tegangan listrik (volt=V)

t = waktu pemakaian energi listrik (s)

U = energi listrik (joule = J)

❖ **1 W = 1 J/s**

## Evaluasi

### Soal:

1. Pipa silinder yang terbuat dari logam dengan panjang **0,5m** dan diameternya **0,6cm**. Resistansi diantara ujung-ujungnya adalah  **$2,87 \cdot 10^{-3} \Omega$** .
  - a. Hitunglah resistivitas dan konduktivitas dari logam tersebut.
  - b. jika pipa dihubungkan dengan sumber tegangan **9V**, berapa arus dan rapat arus pada pipa tersebut
2. Satu unit komputer menarik arus **2,05A** ketika dihubungkan kesumber tegangan **220V**, hitung :
  - a. besar hambatan pada komputer tersebut
  - b. besar daya yang terpakai untuk satu unit komputer
  - c. berapa energi listrik yang terpakai dalam **1 bulan** untuk **3 unit** komputer jika tiap unit dipakai selama **6 jam dalam 1 hari (1 bulan = 26 hari kerja)**

### Kunci Jawaban

#### 1. Dik :

$$L = 0,5\text{m}$$

$$d = 0,6\text{cm} \rightarrow r = 0,3\text{cm} = 0,003\text{m} \quad (\text{jari-jari})$$

$$R = 2,87 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$V = 9\text{V}$$

#### Dit :

a.  $\rho = \dots?$  dan  $\sigma = \dots?$

b.  $I = \dots?$  Dan  $J = \dots?$



Penyelesaian :

a.  $\rho = \frac{R.A}{L} \rightarrow A = \pi r^2 = 3,14 (0,003)^2 = 2,826 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$

(luas lingkaran)

$$\rho = \frac{2,87 \cdot 10^{-3} \Omega (2,826 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2)}{0,5 \text{ m}} = 1,62 \cdot 10^{-7} \Omega \text{ m}$$

Dan

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{1,62 \cdot 10^{-7} \Omega \text{ m}} = 6,16 \cdot 10^6 / \Omega \text{ m} = 6,16 \cdot 10^6 \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$$

b.  $I = \frac{V}{R} = \frac{9 \text{ V}}{2,87 \cdot 10^{-3} \Omega} = 3135,89 \text{ A}$

Dan

$$J = \frac{I}{A} = \frac{3135,89 \text{ A}}{2,826 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2} = 1,11 \cdot 10^6 \text{ A/m}^2$$

2. Dik:

$$I = 2,05 \text{ A}$$

$$V = 220 \text{ V}$$

$$t = 156 \text{ jam} = 561600 \text{ s}$$

Dit :

a.  $R = \dots?$

b.  $P = \dots?$  untuk 1 unit komputer

c.  $U = \dots?$  untuk 3 unit komputer selama 156jam

**Penyelesaian :**

a.  $R = \frac{V}{I} = \frac{220V}{2,05A} = \mathbf{107,32 \Omega}$

b.  $P = V.I = 220V (2,05A) = \mathbf{451W} \rightarrow \text{untuk 1 unit}$

c.  $U = P.t \rightarrow P = 3 (451W) = 1353 \text{ watt} \rightarrow \text{untuk 3 unit}$

$$U = 1353W (561600s) = \mathbf{759844,8 J}$$

Atau :

$$U = P.t = 1353\text{watt} ( 156\text{jam})$$

$$= 211068 \text{ watt jam} = 211,068\text{kilowattjam} = \mathbf{211,068kwh}$$

#### **TUGAS IV**

1. Sepotong kawat tembaga panjangnya **10m** dengan luas penampang **1mm<sup>2</sup>**. Resistivitas tembaga,  $\rho = \mathbf{1,7.10^{-8}ohm \text{ meter}}$ . Kawat tersebut diberi tegangan **12V**.

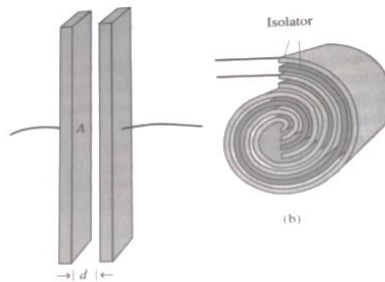
Hitunglah :

- Resistansi kawat tersebut.
- arus dan rapat arus pada kawat
- daya yang terpakai
- energi listrik yang dipakai selama 30menit (dalam kwh)

### III. KAPASITOR

**Kapasitor (Kondensator)** adalah suatu alat yang dapat menyimpan energi/muatan listrik di dalam medan listrik, dengan cara mengumpulkan ketidak seimbangan internal dari muatan-muatan listrik.

Kapasitor terdiri dari 2 konduktor yang jumlah muatannya sama tetapi berlawanan jenisnya. Biasanya kedua konduktor disusun sejajar dan digulung seperti Gambar 11.



Gambar 11. Diagram Kapasitor Plat Sejajar Dan Bentuk Silinder

Kegunaan Kapasitor dalam rangkaian listrik antara lain:

- Sebagai pengatur frekuensi pada sistem Radio dan TV
- Sebagai memori pada RAM komputer
- Sebagai filter pada alat catu daya (PSA)
- Untuk mengurangi timbulnya loncatan bunga api pada sistem motor bakar
- Dan lain-lain

#### 1. Kapasitansi Kapasitor

Kemampuan suatu kapasitor untuk dapat menyimpan muatan dinyatakan sebagai **Kapasitansi Kapasitor**.

Kapasitansi didefinisikan sebagai kemampuan dari suatu kapasitor untuk dapat menampung muatan elektron.

Charles A. Coulomb pada abad 18 menghitung bahwa: **1 coulomb muatan =  $6.25 \times 10^{18}$  jumlah elektron.**

Kemudian Michael Faraday membuat postulat bahwa sebuah kapasitor akan memiliki kapasitansi sebesar 1 farad jika dengan tegangan 1 volt dapat memuat muatan elektron sebanyak 1 coulomb.

Dengan persamaan dapat ditulis:

$$Q = C V \quad \dots\dots\dots (22)$$

Dimana:

Q = muatan elektron dalam C (coulomb)

C = nilai kapasitansi dalam F (farad)

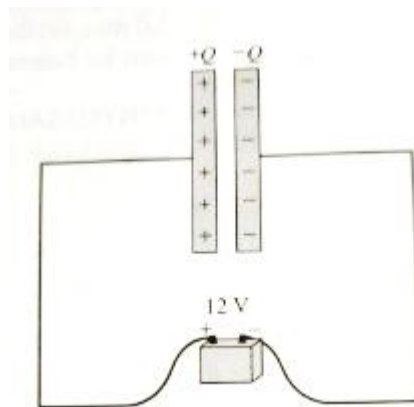
V = besar tegangan dalam V (volt)

Sehingga Kapasitansi Kapasitor dinyatakan:

$$C = \frac{q}{V} \quad \dots\dots\dots (23)$$

## 2. Kapasitansi Kapasitor Plat Sejajar

Biasanya ke 2 plat konduktor pada kapasitor disusun paralel/sejajar pada jarak d, andaikan luas masing-masing konduktornya dinyatakan A dan kedua plat dihubungkan dengan sebuah baterai, seperti terlihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Kapasitor plat sejajar dihubungkan ke sebuah baterai

Menurut hukum Gauss, besar Medan Listrik yang timbul dalam kapasitor yang disusun parallel/sejajar adalah:

$$E = \frac{Q/A}{\epsilon_0} \dots\dots\dots(24)$$

Dan hubungan Potensial dengan Medan Listrik dinyatakan:

$$E = \frac{V}{d} \dots\dots\dots(25)$$

Persamaan (24) = persamaan (25)

$$\frac{Q/A}{\epsilon_0} = \frac{V}{d}$$

$$\frac{Q}{A\epsilon_0} = \frac{V}{d}$$

$$\frac{Q}{V} = \frac{A\epsilon_0}{d}$$

Dari persamaan (23) maka diperoleh **kapasitansi kapasitor yang terdiri dari plat sejajar/paralel** dan dinyatakan dengan:

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d} \dots\dots\dots(26)$$

Dimana:

- A = luas plat (m<sup>2</sup>)
- d = jarak antara plat (m)
- $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{C}^2/\text{Nm}^2$
- C = kapasitansi kapasitor (farad = F)

Sebagian besar kapasitor berisi lembaran isolator (misalnya kertas atau plastik) yang disebut dengan **dielektrikum** yang terletak diantara plat konduktornya.

Hal ini dilakukan untuk beberapa tujuan antara lain:

- Untuk memperbesar kapasitansi kapasitor
- Menurunkan tegangan

Besar kapasitansi kapasitor yang berisi bahan dielektrikum bergantung pada jenis isolatornya dan dinyatakan dengan:

$$C = \frac{k \epsilon_0 A}{d} \dots\dots\dots(27)$$

Dari persamaan (26) dan (27) maka diperoleh hubungan antara **kapasitansi** kapasitor **berisi dielektrikum** dan **tanpa dielektrikum** dinyatakan dengan:

$$C = k C_0 \dots\dots\dots (28)$$

Hubungan antara **tegangan** kapasitor **berisi dielektrikum** dan **tanpa dielektrikum** dinyatakan dengan:

$$V = \frac{V_0}{k} \dots\dots\dots (29)$$

Dimana :

- $C_0$  = kapasitansi **tanpa bahan** dielektrikum (F)
- $C$  = kapasitansi **dengan bahan** dielektrikum (F)
- $V_0$  = tegangan **tanpa bahan** dielektrikum (V)
- $V$  = tegangan **dengan bahan** dielektrikum (V)
- $k$  = konstanta dielektrikum ( $k \geq 1$ )

### Evaluasi

#### Soal:

1. Sebuah kapasitor plat sejajar yang kapasitansinya 1F , kedua plat diletakkan pada jarak 1mm.
  - a. Hitung luas plat kapasitor
  - b. Jika geometri/bentuk plat merupakan bujursangkar, hitung panjang dan lebar plat

#### Kunci Jawaban

1. **Dik:**

$$C = 1F$$

$$d = 1mm = 0,001m$$

**Dit :**

- a.  $A = \dots?$
- b.  $p = \dots$  dan  $l = \dots?$

**Penyelesaian :**

a.  $C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$

$$1F = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} C^2 / Nm^2 (A)}{0,001m}$$

$$\rightarrow A = \frac{0,001}{8,85 \cdot 10^{-12}} = 112994350,3m^2 = 1,13 \cdot 10^8 m^2$$

- b. jika plat merupakan bujur sangkar, maka panjang plat = lebar plat

$$p = l = \sqrt{A} = \sqrt{1,13 \cdot 10^8 m^2} = 10629,88m = 10,62988km$$

**Karena panjang dan lebar plat kapasitornya terlalu besar maka tidak dapat dijumpai kapasitor yang kapasitansinya 1F .**

**Biasanya ukuran kapasitansi dari kapasitor dalam :**

**Microfarad ( $\mu F = 10^{-6} F$ ), nanofarad ( $nF = 10^{-9} F$ ) dan pikofarad ( $pF = 10^{-12} F$ ).**

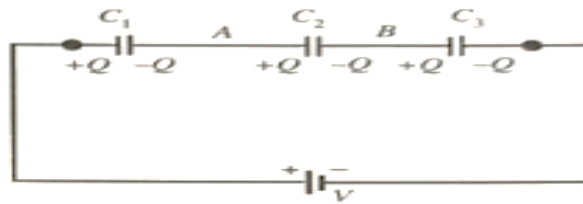
### **3. RANGKAIAN KAPASITOR**

Jika ada lebih dari satu kapasitor didalam rangkaian listrik maka harus disusun secara **seri** atau **paralel** dan bahkan **kombinasi keduanya**:

- a. Susunan Seri

Rangkaian kapasitor yang disusun secara seri akan mengakibatkan nilai kapasitansi total semakin kecil.

Pada Gambar 13 contoh kapasitor yang dirangkai secara seri.



Gambar 13. Kapasitor yang disusun Seri

Pada rangkaian kapasitor yang disusun Seri:

- Jumlah muatan pada sumber tegangan (Q) sama dengan jumlah muatan yang tersimpan pada masing-masing kapasitor:

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3 \quad \dots\dots\dots(30)$$

- Tegangan pada sumber (V) akan terdistribusi kemasing-masing kapasitor:

$$V = V_1 + V_2 + V_3 \quad \dots\dots\dots(31)$$

Dari pengembangan persamaan (22) yaitu:  $= \frac{Q}{C}$ , dan dari persamaan (31) maka diperoleh kapasitansi ekivalen/pengganti yaitu:

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

$$\frac{Q}{C} = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2} + \frac{Q_3}{C_3}$$

Karena  $Q = Q_1 = Q_2 = Q_3$

Maka diperoleh **kapasitansi ekivalennya/pengganti**:

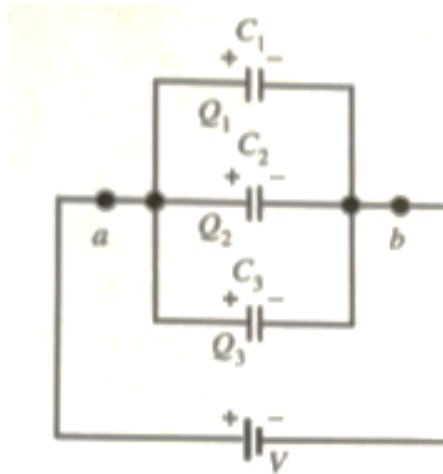
$$\frac{1}{C_{ek}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad \dots\dots\dots(32)$$

$$C_{ek} = \dots\dots?$$



b. Susunan Paralel

Rangkaian kapasitor yang disusun secara paralel akan mengakibatkan nilai kapasitansi total semakin besar. Pada Gambar 14 contoh kapasitor yang dirangkai secara paralel.



Gambar 14. Kapasitor yang disusun Paralel

Pada rangkaian kapasitor yang disusun Paralel:

- Tegangan pada sumber ( $V$ ) sama dengan tegangan yang terukur pada masing-masing kapasitor:

$$V = V_1 = V_2 = V_3 \quad \dots\dots\dots(33)$$

- Jumlah muatan ( $Q$ ) pada sumber akan terdistribusi kemasing-masing kapasitor:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad \dots\dots\dots(34)$$

Dari persamaan (22) yaitu:  $= C.V$  , dan dari persamaan (34) maka diperoleh kapasitansi ekivalen/pengganti yaitu:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$C.V = C_1V_1 + C_2V_2 + C_3V_3$$

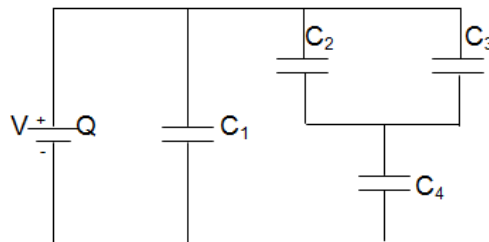
Karena:  $V = V_1 = V_2 = V_3$

Maka **kapasitansi ekivalennya/pengganti:**

$$C_{ek} = C_1 + C_2 + C_3 \dots\dots\dots(35)$$

**Contoh soal :**

Empat Kapasitor masing-masing kapasitansinya  $C_1 = 3\mu\text{F}$  ,  $C_2 = 2\mu\text{F}$  ,  $C_3 = 4\mu\text{F}$  ,  $C_4 = 6\mu\text{F}$  dihubungkan dengan sumber tegangan **12V** terdapat dalam rangkaian seperti Gambar 1 berikut :



Gambar 1. Kapasitor yang disusun seri dan paralel

Hitung :

- a. kapasitansi ekivalen dari keempat kapasitor
- b. muatan pada sumber tegangan
- c. muatan yang tersimpan pada masing- masing kapasitor
- d. tegangan yang terukur pada masing-masing kapasitor

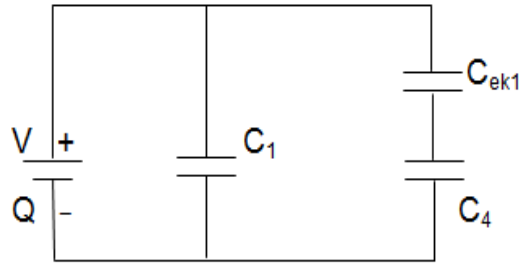
**Penyelesaian:**

a. Kapasitansi ekivalen dari ke-4 kapasitor:

➤ Dari gambar 1.

- Paralel antara  $C_2$  dan  $C_3$  maka kapasitansi ekivalen yang pertama:

$$C_{ek1} = C_2 + C_3 = 2\mu\text{F} + 4\mu\text{F} = 6\mu\text{F}$$

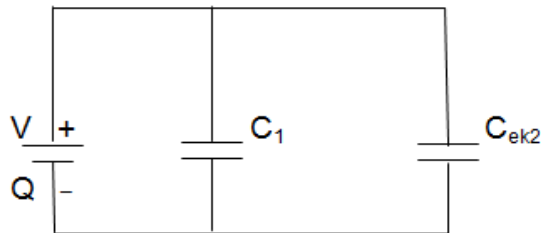


Gambar 2.

➤ Dari gambar 2.

- Seri antara \$C\_{ek1}\$ dan \$C\_4\$ maka kapasitansi ekuivalen yang kedua:

$$\frac{1}{C_{ek2}} = \frac{1}{C_{ek1}} + \frac{1}{C_4} = \frac{1}{6\mu F} + \frac{1}{6\mu F} = \frac{2}{6\mu F} \rightarrow C_{ek2} = \frac{6\mu F}{2} = 3\mu F$$

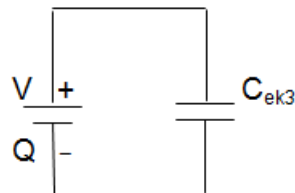


Gambar 3.

➤ Dari gambar 3.

- Paralel antara \$C\_1\$ dan \$C\_{ek2}\$ maka kapasitansi ekuivalen dari **ke 4** kapasitor :

$$C_{ek} = C_{ek3} = C_1 + C_{ek2} = 3\mu F + 3\mu F = 6\mu F = 6 \cdot 10^{-6} F$$



Gambar 4.

b. Muatan pada sumber tegangan :

$$Q = C_{ek} \cdot V = 6 \cdot 10^{-6}F (12V) = 72 \cdot 10^{-6}C = 72\mu C$$

c. dan d.

- Dari **gambar 3** karena  $C_1$  dan  $C_{ek2}$  tersusun **paralel** maka tegangan yang terukur pada  $C_1$  yaitu  $V_1$  dan tegangan yang terukur pada  $C_{ek2}$  yaitu  $V_{ek2}$  **sama dengan** tegangan pada sumber yaitu  $V$  dan dinyatakan:

$$V_1 = V_{ek2} = V = 12V$$

Maka muatan yang tersimpan pada  $C_1$  sebesar:

$$Q_1 = C_1 \cdot V_1 = 3 \cdot 10^{-6}F (12V) = 36 \cdot 10^{-6}C = 36\mu C$$

Muatan yang tersimpan pada  $C_{ek2}$  sebesar :

$$Q_{ek2} = C_{ek2} \cdot V_{ek2} = 3 \cdot 10^{-6}F (12V) = 36 \cdot 10^{-6}C = 36\mu C$$

- Dari **gambar 2** karena  $C_{ek1}$  dan  $C_4$  tersusun **seri** maka muatan yang tersimpan pada  $C_{ek1}$  yaitu  $Q_{ek1}$  dan muatan yang tersimpan pada  $C_4$  yaitu  $Q_4$  **sama dengan** muatan yang tersimpan pada  $C_{ek2}$  yaitu  $Q_{ek2}$  dan dinyatakan dengan :

$$Q_{ek1} = Q_4 = Q_{ek2} = 36\mu C$$

Dan diperoleh tegangan yang terukur pada  $C_{ek1}$  yaitu:

$$V_{ek1} = \frac{Q_{ek1}}{C_{ek1}} = \frac{36\mu C}{6\mu F} = 6V$$

Dan

$$V_4 = \frac{Q_4}{C_4} = \frac{36\mu C}{6\mu F} = 6V$$

- Dari **gambar 1** karena  $C_2$  dan  $C_3$  tersusun **paralel** maka tegangan yang terukur pada  $C_2$  yaitu  $V_2$  dan tegangan yang terukur pada  $C_3$  yaitu  $V_3$  **sama dengan** tegangan yang terukur pada  $C_{ek1}$  yaitu  $V_{ek1}$  dinyatakan dengan :

$$V_2 = V_3 = V_{ek1} = 6V$$

Dan diperoleh muatan yang tersimpan pada  $C_2$  dan  $C_3$  sebesar:

$$Q_2 = C_2 V_2 = 2 \cdot 10^{-6} F (6V) = 12 \cdot 10^{-6} C = 12 \mu C$$

Dan

$$Q_3 = C_3 V_3 = 4 \cdot 10^{-6} F (6V) = 24 \cdot 10^{-6} C = 24 \mu C$$

**Kesimpulan :**

**c. muatan yang tersimpan pada masing-masing kapasitor:**

$$Q_1 = 36 \mu C, \quad Q_2 = 12 \mu C, \quad Q_3 = 24 \mu C, \quad Q_4 = 36 \mu C$$

**d. tegangan yang terukur pada masing-masing kapasitor:**

$$V_1 = 12V, \quad V_2 = V_3 = V_4 = 6V$$

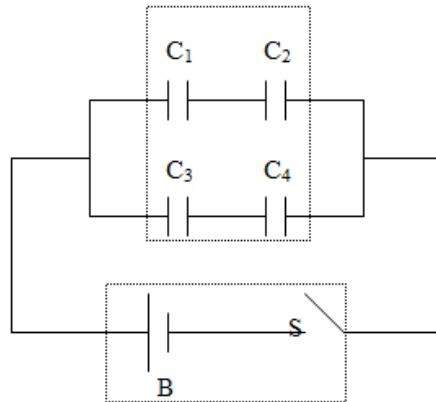
## TUGAS V

1. Kapasitor plat sejajar dengan jarak antara plat **1mm** mempunyai luas **40cm<sup>2</sup>** dimuati sampai perbedaan potensial **600V**. Kemudian sambungan baterai diputuskan, dan kapasitor disisipkan bahan dielektrikum gelas pirex dengan **k= 4,5**.

Hitunglah:

- a. kapasitansi kapasitor sebelum dan sesudah bahan dielektrikum disisipkan
- b. muatan sebelum dan sesudah dielektrik disisipkan
- c. tegangan sesudah bahan dielektrik disisipka

2. Pada Gambar dibawah baterai (B) membekalkan tegangan **12V**. Bila saklar S dihubungkan , dimana  $C_1=1\mu\text{F}$  ;  $C_2=3\mu\text{F}$  ;  $C_3=2\mu\text{F}$  ;  $C_4=4\mu\text{F}$



Hitung :

- Kapasitansi ekivalen dari ke-empat kapasitor
- Muatan yang keluar dari sumber tegangan
- muatan yang tersimpan kapasitor C<sub>4</sub>
- tegangan yang terukur kapasitor C<sub>4</sub>

#### IV. ARUS SEARAH DAN ARUS BOLAK-BALIK

Berdasarkan sumber tegangan dan arah aliran elektron, arus listrik terbagi 2 yaitu :

a. Arus Bolak-Balik (AC = Alternating Current)

Arus mengalir selalu berubah arah beberapa kali setiap detiknya biasanya membentuk sinusoidal seperti terlihat pada Gambar 15. Dan tegangan yang dihasilkan bersumber dari **generator**.



Gambar 15. Grafik Arus Bolak-Balik

b. Arus Searah (DC = Direct Current)

Arus mengalir tetap pada satu arah seperti terlihat pada Gambar 16. Dan tegangan yang dihasilkan bersumber dari **baterai**,



Gambar 16. Grafik Arus Searah

### 1. Arus Bolak-Balik (AC = Alternating Current)

Tegangan yang dihasilkan **generator listrik** membentuk sinusoidal, dengan demikian **arus** yang mengalir juga **sinusoidal**.

Tegangan sinusoidal merupakan tegangan sebagai fungsi waktu :

$$V = V_0 \sin 2\pi f t \dots\dots\dots (36)$$

Tegangan berosilasi antara  $+V_0$  dan  $-V_0$ , dimana  $V_0$  : tegangan puncak.

Dari hukum Ohm :

$$I = \frac{V}{R} = \frac{V_0 \sin 2\pi f t}{R}$$

$$I = I_0 \sin 2\pi f t \dots\dots\dots (37)$$

Dimana :

$$I_0 = \frac{V_0}{R} \rightarrow I_0 : \text{ arus puncak}$$

Daya yang dihasilkan pada setiap saat dengan hambatan R adalah :

$$\begin{aligned} P &= I^2 R = ( I_0 \sin 2\pi f t )^2 R \\ &= I_0^2 \sin^2 2\pi f t R \\ &= I_0^2 R \sin^2 2\pi f t \end{aligned}$$

$$P = P_0 \sin^2 2\pi f t \dots\dots\dots(38)$$

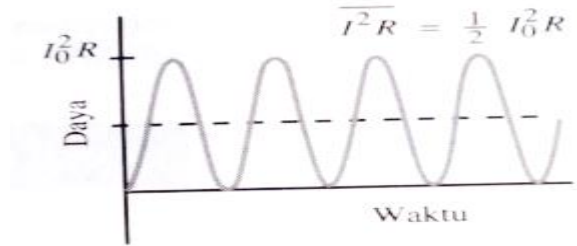
Dimana :  $\sin^2 2\pi f t$  bernilai antara 0 dan 1 maka rata-ratanya bernilai  $\frac{1}{2}$

Maka **daya rata-rata** yang dihasilkan :

$$\bar{P} = \frac{1}{2} P_0 = \frac{1}{2} I_0^2 R \dots\dots\dots (39)$$



Grafik Daya yang diberikan kepada sebuah resistor pada rangkaian AC dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17. Daya Yang Diberikan Kepada Sebuah Resistor Pada Rangkaian AC

**Daya rata-rata = Daya sesaat** sehingga diperoleh **Arus Efektif** :

$$\bar{P} = P$$

$$\bar{I}^2 R = \frac{1}{2} I_0^2 R$$

$$\bar{I}^2 = \frac{1}{2} I_0^2$$

$$I_{rms} = \sqrt{\bar{I}^2} = \sqrt{\frac{1}{2} I_0^2}$$

$$I_{rms} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} \dots\dots\dots(40)$$

Dimana :

$I_{rms}$  : arus akar kuadrat rata-rata (root mean square)/ arus efektif

$I_0$  : arus puncak

Dan **Tegangan Efektif** nya :

$$V_{rms} = I_{rms} R$$

$$V_{rms} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} R$$

$$V_{rms} = \frac{V_0}{\sqrt{2}} \dots\dots\dots (41)$$

Dimana :

$V_{rms}$  : tegangan akar kuadrat rata-rata (root mean square)/ tegangan efektif

$V_0$  : tegangan puncak

**$V_{rms}$  PLN = 220volt**

**Daya efektif /daya rata-rata:**

$$\bar{P} = I_{rms}^2 R$$

$$\bar{P} = \frac{V_{rms}^2}{R} \dots\dots\dots(42)$$

Dimana :

$\bar{P}$  = daya rata-rata

R = resistansi/hambatan

### **Evaluasi**

#### **Soal:**

1. Sebuah alat pemanas memakai daya 1000W jika terhubung kejalur 220V, hitung :
  - a. Hambatan dan arus puncak alat pemanas tersebut
  - b. Apa yang terjadi jika alat pemanas tersebut terhubung kejalur 240V

**Dik :**

$$\bar{P} = 1000W$$

$$V_{rms} = 220V$$

**Dit :**

a.  $R = \dots ?$  dan  $I_0 = \dots ?$

b.  $I_{rms} = \dots ?$  jika alat pemanas dihubungkan ke jalur  $V_{rms} = 240V$

**Penyelesaian :**

**a.**

$$I_{rms} = \frac{\bar{P}}{V_{rms}} = \frac{1000W}{220V} = 4,55A$$

$$R = \frac{V_{rms}}{I_{rms}} = \frac{220V}{4,55A} = 48,35\Omega$$

$$I_0 = \sqrt{2} \cdot I_{rms} = \sqrt{2}(4,55A) = 6,43A$$

**b.** Karena alat pemanas dihubungkan dengan tegangan efektif yang lebih besar maka daya yang terpakai dan arus yang mengalir akan berubah sebesar :

$$\bar{P} = \frac{V_{rms}^2}{R} = \frac{(240V)^2}{48,35\Omega} = 1191,31W$$

$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{R} = \frac{240V}{48,35\Omega} = 4,96A$$

**Arus mengalir lebih besar akan menimbulkan panas yang berlebihan dan dapat melelehkan elemen pemanas.**

## TUGAS VI

1. Nilai puncak arus bolak-balik 4A ketika melewati sebuah alat pemanas yang dayanya 1000W.

Hitung :

- Resistansi alat pemanas tersebut
- Teganga efektif dan tegangan puncaknya
- Arus efektif
- apa yang akan terjadi dengan alat pemanas tersebut jika dihubungkan kejalur tegangan 110V

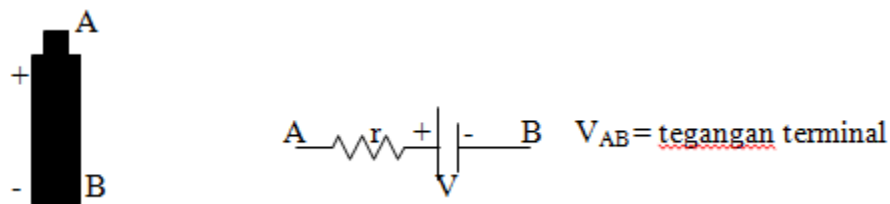
## 2. Rangkaian Arus Searah (DC)

### 2.1 Gaya Gerak Listrik (GGL), $\epsilon$

Komponen baterai atau generator listrik yang dapat merubah satu bentuk energi ke bentuk energi yang lain disebut sumber GGL.

Dengan menggunakan sumber GGL arus konstan dalam suatu rangkaian tertutup (loop) dapat dipertahankan.

Contoh 1: Sebuah baterai dengan hambatan dalam ( $r$ ), seperti pada Gambar 18.



Gambar 18. Baterai Dengan Hambatan Dalam Dan Rangkaian Dari Baterai

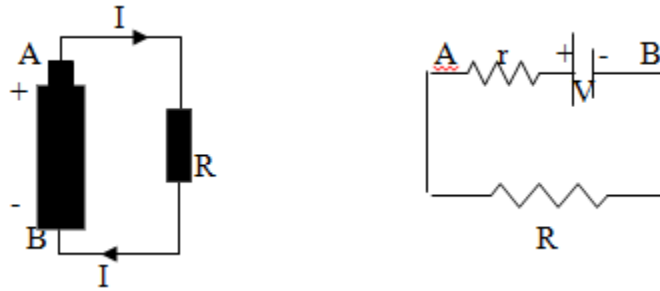
Tegangan terminal antara A dan B ( $V_{AB}$ ) **sama dengan** GGL ( jika tidak ada arus yang mengalir keluar). Atau dapat dinyatakan dengan :

$$V_{AB} = \epsilon \dots\dots\dots(43)$$

Tetapi jika ada hambatan dalam ( $r$ ) pada baterai maka tegangan terminalnya adalah :

$$V_{AB} = \varepsilon - I r \quad \dots\dots\dots (44)$$

Contoh 2 : Sebuah baterai yang dihubungkan dengan beban  $R$  seperti pada Gambar 19.



Gambar 19. Baterai Dihubungkan Dengan Beban Dan Rangkaianya

Tegangan terminal pada rangkaian :

$$V_{AB} = I R$$

Maka dari persamaan (43) dan (44) diperoleh:

$$\varepsilon = V_{AB} + I r$$

$$\varepsilon = I R + I r = I (R + r) \quad \dots\dots\dots (45)$$

Daya pada sumber GGL :

$$P = I \varepsilon$$

Daya pada sumber GGL terdistribusi pada hambatan dalam dan hambatan beban:

$$P_{\varepsilon} = P_R + P_r$$

$$I \varepsilon = I^2 R + I^2 r \quad \dots\dots\dots (46)$$

Dimana :

$$I \varepsilon = \text{daya pada sumber GGL (W)}$$

$$I^2 R = \text{daya pada beban (W)}$$

$$I^2 r = \text{daya pada hambatan dalam (W)}$$

### Evaluasi

#### Soal:

Sebuah baterai dengan **GGL**,  $\varepsilon = 12\text{V}$  dan hambatan dalamnya  $0,05\Omega$ . Kedua ujungnya dihubungkan dengan beban sebesar  $3\Omega$ .

Hitung :

- arus yang mengalir dalam rangkaian
- tegangan terminal
- daya pada : sumber GGL, hambatan dalam , hambatan beban

Dik :

$$\varepsilon = 12\text{V}$$

$$r = 0,05\Omega$$

$$R = 3\Omega$$

Dit :

- $I = \dots?$
- $V_{AB} = \dots?$
- $P_\varepsilon = \dots ?$ ,  $P_r = \dots ?$  dan  $P_R = \dots ?$

Penyelesaian :

a.  $\varepsilon = I (R + r) \rightarrow I = \frac{\varepsilon}{R+r} = \frac{12V}{(3+0,05)\Omega} = 3,93A$

b.  $V_{AB} = I R = 3,93A (3 \Omega) = 11,79V$

c.  $P_{\varepsilon} = I \varepsilon = 3,93A (12V) = 47,16W \rightarrow$  daya pada sumber GGL

$P_r = I^2 r = (3,93A)^2 (0,05\Omega) = 0,77W \rightarrow$  daya pada hambatan dalam

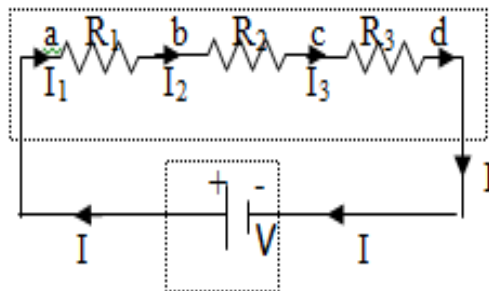
$P_R = I^2 R = (3,93A)^2 (3\Omega) = 46,33W \rightarrow$  daya pada pada hambatan beban

## 2.2. RANGKAIAN RESISTOR

Dalam rangkaian listrik biasanya terdapat lebih dari satu resistor, dan resistor-resistor tersebut disusun dengan 2 cara yaitu: susunan seri dan susunan paralel.

### a. Susunan Seri

Pada rangkaian resistor yang disusun seri seperti pada Gambar 20.



Gambar 20. Tiga Resistor Yang Disusun Seri

- Arus yang keluar dari sumber tegangan **sama dengan** arus yang masuk pada tiap-tiap cabang yaitu :  $I = I_1 = I_2 = I_3$
- Tetapi **tegangan** dari sumber akan **terdistribusi** pada tiap-tiap cabang yaitu:  
 $V = V_1 + V_2 + V_3$

Dari persamaan :  $V = I R$  maka diperoleh:

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

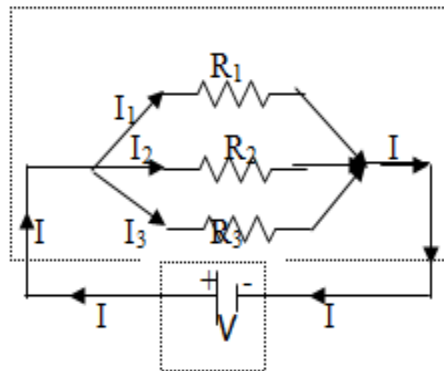
$$I R = I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_3 R_3$$

karena arusnya sama yaitu  $I = I_1 = I_2 = I_3$  , maka diperoleh persamaan untuk menentukan resistansi ekivalen (pengganti) untuk resistor yang disusun seri yaitu:

$$R_{ekivalen} = R_1 + R_2 + R_3 \quad \dots\dots\dots(47)$$

**b. Susunan Paralel**

Pada rangkaian resistor yang disusun paralel seperti pada Gambar 21.



Gambar 21. Tiga Resistor Yang Disusun Paralel

- tegangan sumber **sama dengan** tegangan yang terukur pada setiap cabang:  
 $V = V_1 = V_2 = V_3$



- tetapi **arus** yang keluar dari sumber tegangan akan **terdistribusi** pada tiap-tiap cabang yaitu:  $I = I_1 + I_2 + I_3$

Dari persamaan :  $I = \frac{V}{R}$ , maka diperoleh :

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$\frac{V}{R} = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}$$

karena tegangannya sama yaitu  $V = V_1 = V_2 = V_3$ , maka diperoleh persamaan untuk menentukan resistansi ekivalen (pengganti) untuk resistor yang disusun paralel yaitu:

$$\frac{1}{R_{ekivalen}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \dots\dots\dots(48)$$

$$R_{ekivalen} = \dots\dots\dots?$$

**Evaluasi**

**Soal**

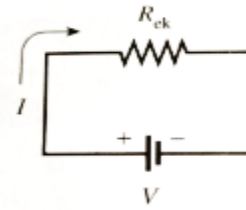
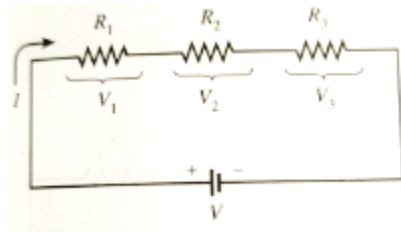
1. Tiga resistor yang resistansinya masing-masing  $R_1= 12\Omega$  ;  $R_2= 4\Omega$  ;  $R_3= 6\Omega$  disusun seri seperti pada Gambar 20 dan dihubungkan dengan sumber tegangan 12V.

Hitunglah:

- Resistansi ekivalen dari ketiga resistor
- Arus yang masuk pada tiap resistor
- Tegangan yang terukur pada tiap resistor

## Kunci Jawaban

1. Rangkaian ketiga resistor yang disusun seri



Karena tersusun seri maka:

a. Resistansi ekivalennya adalah:

$$\begin{aligned} R_{\text{ekivalen}} &= R_1 + R_2 + R_3 \\ &= 12\Omega + 4\Omega + 6\Omega \\ &= \mathbf{22\Omega} \end{aligned}$$

b. Arus yang keluar dari sumber tegangan :

$$I = \frac{V}{R} = \frac{12V}{22\Omega} = 0,545A$$

Arus yang keluar dari sumber tegangan sama dengan arus yang masuk pada tiap-tiap resistor yaitu :  $I = I_1 = I_2 = I_3 = \mathbf{0,545A}$

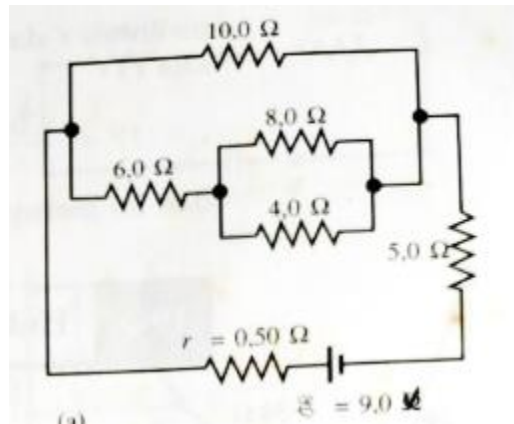
c. Tegangan yang terukur pada tiap resistor adalah:

$$V_1 = I_1 R_1 = 0,545A (12\Omega) = \mathbf{6,54V}$$

$$V_2 = I_2 R_2 = 0,545A (4\Omega) = \mathbf{2,18V}$$

$$V_3 = I_3 R_3 = 0,545A (6\Omega) = \mathbf{3,27V}$$

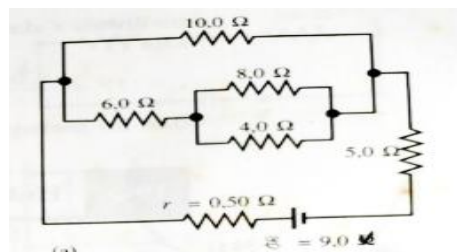
2. Baterai dengan GGL 9V dan hambatan dalam  $0,5\Omega$  dihubungkan seperti pada gambar rangkaian berikut.



Hitung :

- Resistansi ekivalen pada rangkaian
- Arus yang ditarik dari baterai
- Tegangan terminal baterai
- Arus yang masuk pada masing- masing resistor

### KUNCI JAWABAN



Gambar 1.

Dari Gambar 1 misalkan :  $R_1 = 10\Omega$  ,  $R_2 = 6\Omega$  ,  $R_3 = 8\Omega$  ,  $R_4 = 4\Omega$  ,  $R_5 = 5\Omega$  ,  $r = 0,5\Omega$   
dan  $\varepsilon = 9V$

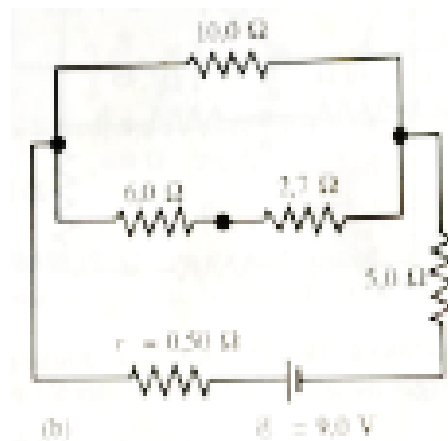
a. Resistansi ekivalen pada rangkaian:

Analisa rangkaian:

- Dari Gambar 1 Paralel antara  $R_3$  dan  $R_4$  , diperoleh:

$$\frac{1}{R_{ek1}} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} = \frac{1}{8\Omega} + \frac{1}{4\Omega} = \frac{1}{8\Omega} + \frac{2}{8\Omega} = \frac{3}{8\Omega}$$

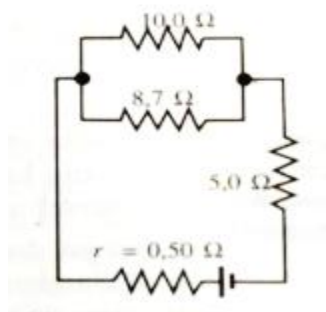
$$R_{ek1} = \frac{8}{3}\Omega = \mathbf{2,7\Omega}$$



**Gambar 2.**

- Dari Gambar 2 Seri antara  $R_2$  dengan  $R_{ek1}$ , diperoleh:

$$R_{ek2} = R_2 + R_{ek1} = 6\Omega + 2,7\Omega = \mathbf{8,7\Omega}$$

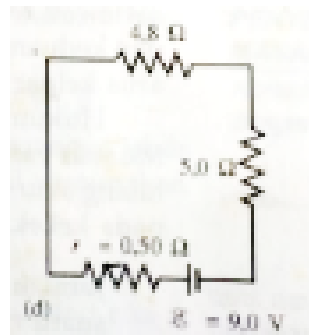


**Gambar 3.**

- Dari Gambar 3 Paralel antara  $R_1$  dan  $R_{ek2}$  , diperoleh :

$$\frac{1}{R_{ek3}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_{ek2}} = \frac{1}{10\Omega} + \frac{1}{8,7\Omega} = 0,21/\Omega$$

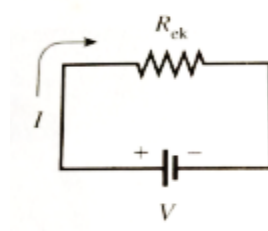
$$R_{ek3} = \frac{1}{0,21} \Omega = \mathbf{4,8\Omega}$$



Gambar 4.

- Dari Gambar 4 Seri antara  $r$  ,  $R_{ek3}$  dan  $R_5$  , diperoleh resistansi ekivalen dalam rangkaian:

$$\mathbf{R_{ek}} = r + R_{ek3} + R_5 = 0,5\Omega + 4,8\Omega + 5\Omega = \mathbf{10,3\Omega}$$



Gambar 5.

- b. Dari Gambar 5 Arus yang ditarik dari baterai :

$$\mathbf{I} = \frac{\varepsilon}{R_{ek}} = \frac{9V}{10,3\Omega} = \mathbf{0,87A}$$

- c. Tegangan terminal pada baterai:

$$\varepsilon = V_{AB} + I r \quad \rightarrow \quad \mathbf{V_{AB}} = \varepsilon - I r = 9V - \{(0,87A)(0,5\Omega)\} = \mathbf{8,6V}$$

- d. Kombinasi gambar 5 dan gambar 4, karena  $r$  ,  $R_{ek3}$  dan  $R_5$  terhubung **seri** maka:

$$\mathbf{I = I_r = I_{ek3} = I_5 = 0,87A}$$

Kombinasi gambar 4 dan gambar 3 , karena  $R_1$  dan  $R_{ek2}$  terhubung **paralel** maka :

$$V_1 = V_{ek2} = V_{ek3} = I_{ek3} \cdot R_{ek3} = 0,87A (4,8\Omega) = \mathbf{4,2V}$$

Sehingga diperoleh :

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{4,2V}{10\Omega} = \mathbf{0,42A} \quad \text{dan} \quad I_{ek2} = \frac{V_{ek2}}{R_{ek2}} = \frac{4,2V}{8,7\Omega} = 0,48A$$

Kombinasi gambar 3 dan gambar 2, karena  $R_2$  dan  $R_{ek1}$  terhubung **seri** maka:

$$I_2 = I_{ek1} = I_{ek2} = \mathbf{0,48A}$$

Kombinasi gambar 2 dan gambar 1, karena  $R_3$  dan  $R_4$  **paralel** maka:

$$V_3 = V_4 = V_{ek1} = I_{ek1} \cdot R_{ek1} = 0,48A(2,7\Omega) = \mathbf{1,3V}$$

Sehingga diperoleh :

$$I_3 = \frac{V_3}{R_3} = \frac{1,3V}{8\Omega} = \mathbf{0,16A} \quad \text{dan} \quad I_4 = \frac{V_4}{R_4} = \frac{1,3V}{4\Omega} = \mathbf{0,33A}$$

Maka arus yang masuk pada masing-masing resistor :

$$I_1 = 0,42A$$

$$I_2 = 0,48A$$

$$I_3 = 0,16A$$

$$I_4 = 0,33A$$

$$I_5 = 0,87A$$

Dan tegangan yang terukur pada masing-masing resistor :

$$V_1 = 4,2V$$

$$V_2 = \dots ?$$

$$V_3 = 1,3V$$

$$V_4 = 1,3V$$

$$V_5 = \dots?$$

## Tugas VII

### Soal:

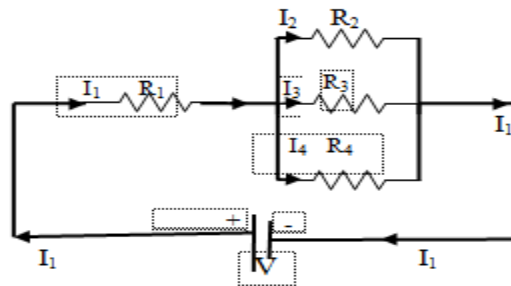
1. Tiga resistor yang resistansinya masing-masing  $R_1 = 12\Omega$  ;  $R_2 = 4\Omega$  ;  $R_3 = 6\Omega$  disusun seri seperti pada Gambar 21 dan dihubungkan dengan sumber tegangan 12V.

Hitunglah:

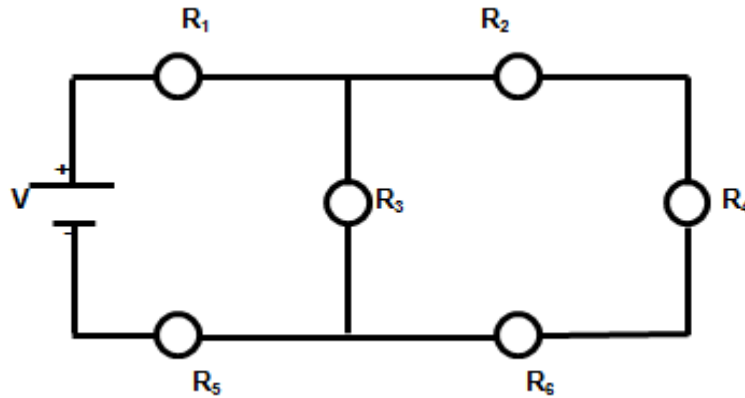
- a. Resistansi ekivalen dari ketiga resistor
- b. Tegangan yang terukur pada tiap resistor
- c. Arus yang masuk pada tiap resistor

2. Pada Gambar rangkaian resistor dibawah,  $R_1 = 2\Omega$ ,  $R_2 = 4\Omega$ ,  $R_3 = 6\Omega$  dan  $R_4 = 8\Omega$ , dihubungkan dengan tegangan 12V, hitung :

- a. arus yang keluar dari sumber tegangan
- b. arus yang masuk pada tiap resistor
- c. tegangan yang terukur pada tiap resistor.



3. Enam bola lampu (L), masing-masing resistansinya  $R_1 = R_2 = R_3 = 8\Omega$ , dan  $R_4=R_5=R_6 = 4 \Omega$ , dihubungkan dengan sumber tegangan  $12V$ , yang rangkaiannya seperti gambar dibawah ini :



- Ganti rangkaiannya menjadi rangkaian resistor dan tunjukkan arah arus yang melalui masing-masing resistor
- Hitung resistansi ekivalennya dan arus yang keluar dari sumber tegangan
- Hitung Arus yang masuk ke  $R_1$  dan  $R_5$  dan tegangan yang terukur pada ke  $R_1$  dan  $R_5$

### 2.3. HUKUM KIRCHHOFF

Seringkali dijumpai rangkaian listrik yang terdiri dari beberapa rangkaian tertutup (loop) yang terdiri dari beberapa sumber GGL dan beberapa resistor.

Untuk menganalisa dan menyederhanakan rangkaian resistor yang terdiri dari beberapa loop digunakan hukum Kirchhoff.

Hukum Kirchhoff terbagi 2 yaitu:

- Hukum Kirchhoff I

Pernyataan tentang Hukum Kekekalan Muatan: "Jumlah arus yang masuk pada satu titik cabang harus sama dengan jumlah arus yang meninggalkan cabang tersebut"

$$\sum I_{input} = \sum I_{output} \dots\dots\dots(49)$$



- Hukum Kirchoff II

Pernyataan tentang Hukum Kekekalan Energi: ” Jumlah beda potensial yang melintasi seluruh elemen dalam satu loop harus sama dengan nol”

$$\sum \varepsilon = \sum IR \quad \dots\dots\dots(50)$$

Sebagai alat bantu untuk menggunakan Hukum Kirchoff II, perlu diperhatikan beberapa hal seperti pada Gambar 22 berikut:



Gambar 22. Arah arus yang melalui resistor dan sumber GGL

**Keterangan Gambar:**

- Jika **arah arus** yang ditentukan **searah** dengan **arah arus yang melalui resistor** maka **tegangan** bertanda **positif**, **V(+)**
- Jika **arah arus** yang ditentukan **berlawanan** dengan **arah arus yang melalui resistor** maka **tegangan** bertanda **negatif**, **V(-)**
- Jika **arah arus** yang ditentukan melalui **terminal negatif** menuju **terminal positif** maka **GGL** bertanda **positif**, **ε (+)**
- Jika **arah arus** yang ditentukan melalui **terminal positif** menuju **terminal negatif** maka **GGL** bertanda **negatif**, **ε (-)**

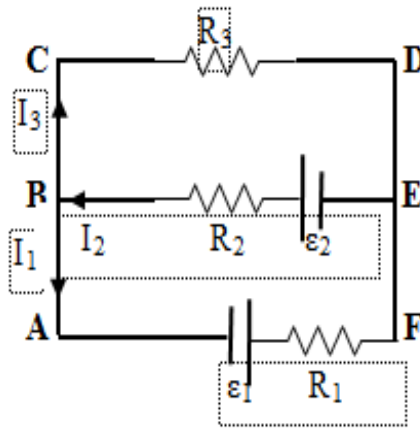
**Dalam menggunakan hukum-hukum Kirchhoff, perlu diperhatikan hal-hal berikut:**

1. Tentukan terlebih dahulu arah arus pada tiap cabang dan arah lintasan pada masing-masing loop (searah jarum jam atau berlawanan arah jarum jam )
2. Gunakan hukum Kirchhoff untuk mendapatkan persamaan linier yang terdiri dari besaran-besaran yang belum diketahui
3. Jika hasil perhitungan arus memberikan hasil negatif maka arah arus yang dipilih berlawanan dengan arah arus yang sesungguhnya.

### Evaluasi

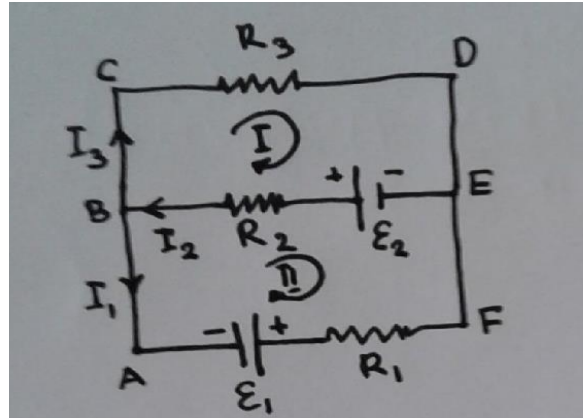
#### Soal:

1. Jika  $R_1= 20\Omega$  ,  $R_2= 40\Omega$  ,  $R_3= 30\Omega$  ,  $\varepsilon_1= 80V$  dan  $\varepsilon_2= 45V$ , gunakan hukum Kirchhoff untuk menentukan besar  $I_1$ ,  $I_2$  dan  $I_3$  pada rangkaian resistor dibawah ini:



### Kunci Jawaban

Pertama sekali tentukan loop/titik cabang nya : **searah jarum jam** atau **berlawanan arah jarum jam**, pada gambar rangkaian yang dimaksud terdiri dari 2 loop yaitu loop I ( titik cabang BCDEB ) dan loop II (titik cabang ABEFA), seperti pada gambar dibawah:



**Penggunaan hukum Kirchhoff:**

- Hukum Kirchhoff I (Pada titik cabang B): arus yang masuk pada titik B adalah  $I_2$  dan yang keluar dari titik B adalah  $I_1$  dan  $I_3$ , maka persamaan liniernya adalah:

$$I_2 = I_1 + I_3 \dots\dots\dots (1)$$

- Hukum Kirchhoff II ( arah lintasan searah jarum jam):

- ❖ Loop I (titik cabang BCDEB): Karena arah arus yang dipilih searah jarum jam maka berdasarkan gambar 22 : GGL ( $\epsilon_2$ ) dilalui arus dari terminal negatif ke positif maka  $\epsilon_2$  bertanda positif dan  $R_2$  dilalui arus searah dengan arah  $I_2$  maka  $I_2 R_2$  bertanda positif, demikian juga  $R_3$  dilalui arus searah dengan arah  $I_3$  maka  $I_3 R_3$  bertanda positif, sehingga diperoleh persamaan liniernya sebagai berikut:

$$\epsilon_2 = I_2 R_2 + I_3 R_3$$

$$45 = 40 I_2 + 30 I_3$$

$$45 - 40 I_2 - 30 I_3 = 0 \dots\dots\dots(2)$$

- ❖ Loop II (titik cabang ABEFA): Karena arah arus yang dipilih searah jarum jam maka berdasarkan gambar 22 : GGL ( $\epsilon_1$ ) dan GGL ( $\epsilon_2$ ) dilalui arus dari terminal positif ke negatif maka  $\epsilon_1$  dan  $\epsilon_2$  bertanda negatif dan  $R_1$  dilalui arus berlawanan dengan arah  $I_1$  maka  $I_1 R_1$  bertanda negatif, demikian juga  $R_2$  dilalui arus

berlawanan dengan arah  $I_2$  maka  $I_2 R_2$  bertanda negatif, sehingga diperoleh persamaan liniernya sebagai berikut:

$$- \varepsilon_1 - \varepsilon_2 = - I_1 R_1 - I_2 R_2$$

$$- 80 - 45 = - 20 I_1 - 40 I_2$$

$$- 125 = - 20 I_1 - 40 I_2$$

$$- 125 + 20 I_1 + 40 I_2 = 0 \quad \dots\dots\dots (3)$$

Analisis Persamaan Linier:

❖ Metode Eleminasi untuk persamaan (3) dan (2):

$$- 125 + 20 I_1 + 40 I_2 = 0$$

$$\underline{45 - 40 I_2 - 30 I_3 = 0 +}$$

$$(- 125 + 45) + (40 I_2 - 40 I_2) + 20 I_1 - 30 I_3 = 0$$

$$- 80 + 20 I_1 - 30 I_3 = 0 \quad \dots\dots\dots(4)$$

❖ Dari persamaan (1) :  $I_2 - I_1 = I_3$  , substitusi ke persamaan (4) diperoleh:

$$- 80 + 20 I_1 - 30(I_2 - I_1) = 0$$

$$- 80 + 20 I_1 - 30 I_2 + 30 I_1 = 0$$

$$- 80 + 50 I_1 - 30 I_2 = 0 \quad \dots\dots\dots (5)$$

Untuk mendapatkan besar arus  $I_1$  ,  $I_2$  dan  $I_3$ , gunakan metode eleminasi dari persamaan linier yang diperoleh dari Hukum Kirchhoff I dan II.

❖ Metode Eleminasi untuk persamaan (3) dan (5) :

$$\begin{array}{r}
 -125 + 20 I_1 + 40 I_2 = 0 \quad \left| \begin{array}{l} \times 3 \\ \times 4 \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} -375 + 60 I_1 + 120 I_2 = 0 \\ -240 + 200 I_1 - 120 I_2 = 0 \end{array} \\
 -80 + 50 I_1 - 30 I_2 = 0 \quad \left| \begin{array}{l} \times 3 \\ \times 4 \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} -240 + 200 I_1 - 120 I_2 = 0 \\ -615 + 260 I_1 = 0 \end{array} \\
 \hline
 -615 + 260 I_1 = 0 \\
 260 I_1 = 615
 \end{array}$$

Maka diperoleh :  $I_1 = 2,365A$

❖ Substitusi nilai  $I_1$  ke persamaan (5):

$$-80 + 50 I_1 - 30 I_2 = 0$$

$$-80 + 50 (2,365) - 30 I_2 = 0$$

$$38,25 - 30 I_2 = 0$$

$$-30 I_2 = -38,25$$

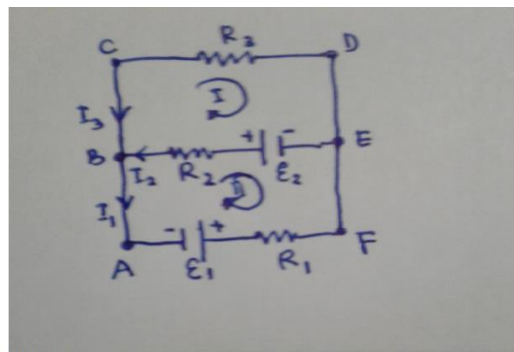
Maka diperoleh :  $I_2 = 1,275A$

❖ Dari persamaan (1) diperoleh:

$$I_3 = I_2 - I_1$$

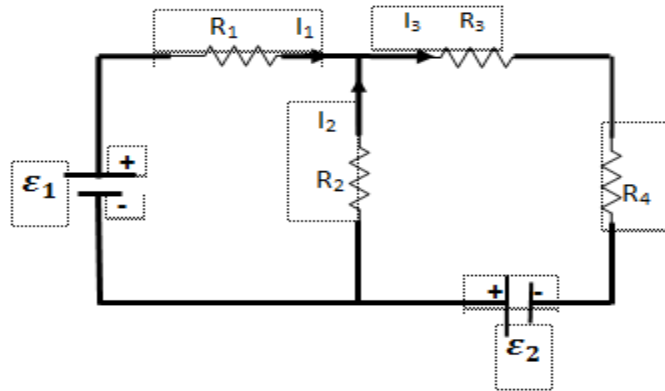
$$I_3 = 1,275 A - 2,365 A$$

$I_3 = -1,09A$  → karena  $I_3$  bernilai **negatif** maka arah arus  $I_3$  berlawanan dengan arah arus yang sesungguhnya (seharusnya arah  $I_3$  kebawah)



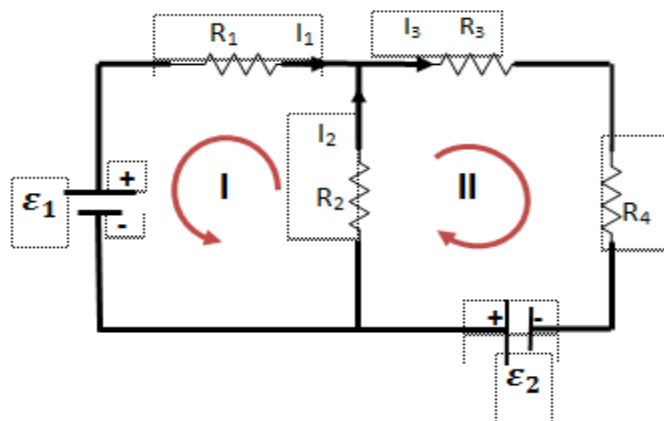
Arah aliran arus yang sesungguhnya dalam rangkaian adalah seperti yang terlihat pada gambar rangkaian diatas, sehingga Hukum Kirchhoff I seharusnya :  $I_2 + I_3 = I_1$

2. Jika  $R_1 = 40\Omega$ ,  $R_2 = 20\Omega$ ,  $R_3 = 4\Omega$ ,  $R_4 = 16\Omega$  dan  $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 40V$ , pada gambar rangkaian dibawah, dengan menggunakan hukum kirchhoff tentukan besar
- $I_1$ ,  $I_2$  dan  $I_3$
  - tegangan yang terukur pada  $R_4$



**Penyelesaian:**

Tentukan terlebih dahulu loop dari rangkaian yaitu : **loop I** dan **loop II** dan arah arus yang dipilih pada **loop I berlawanan dengan arah jarum jam** dan **loop II searah jarum jam**. Seperti pada gambar rangkaian dibawah:



**a. Penggunaan hukum Kirchhoff:**

- Hukum Kirchhoff I: arus yang masuk pada titik cabang adalah  $I_1$  dan  $I_2$  yang keluar dari titik cabang tersebut adalah  $I_3$ , maka persamaan liniernya adalah:

$$I_1 + I_2 = I_3 \quad \dots\dots\dots (1)$$

- Hukum Kirchhoff II :

- ❖ **Loop I** : Karena arah arus yang dipilih berlawanan dengan arah jarum jam maka berdasarkan gambar 22 : GGL ( $\epsilon_1$ ) dilalui arus dari terminal positif ke negatif maka  $\epsilon_1$  bertanda negatif dan  $R_1$  dilalui arus berlawanan dengan arah  $I_1$  maka  $I_1R_1$  bertanda negatif, demikian juga  $R_2$  dilalui arus searah dengan arah  $I_2$  maka  $I_2R_2$  bertanda positif, sehingga diperoleh persamaan liniernya sebagai berikut:

$$\begin{aligned} - \epsilon_1 &= I_2R_2 - I_1R_1 \\ - 40 &= 20I_2 - 40I_1 \\ 20I_2 - 40I_1 + 40 &= 0 \quad \dots\dots\dots(2) \end{aligned}$$

- ❖ **Loop II** : Karena arah arus yang dipilih searah dengan arah jarum jam maka berdasarkan gambar 22 : GGL ( $\epsilon_2$ ) dilalui arus dari terminal negatif ke positif maka  $\epsilon_2$  bertanda positif dan  $R_2$  dilalui arus searah dengan arah  $I_2$  maka  $I_2R_2$  bertanda positif,  $R_3$  dilalui arus searah dengan arah  $I_3$  maka  $I_3R_3$  bertanda positif, dan  $R_4$  dilalui arus searah dengan arah  $I_3$  maka  $I_3R_4$  bertanda positif sehingga diperoleh persamaan liniernya sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \epsilon_2 &= I_2R_2 + I_3R_3 + I_3R_4 \\ 40 &= 20I_2 + 4I_3 + 16I_3 \\ 40 &= 20I_2 + 20I_3 \\ 20I_2 + 20I_3 - 40 &= 0 \quad \dots\dots\dots(3) \end{aligned}$$

Analisis Persamaan Linier:

Substitusi persamaan (1) ke persamaan (3) maka diperoleh:

$$20I_2 + 20(I_1 + I_2) - 40 = 0$$

$$20I_2 + 20I_1 + 20I_2 - 40 = 0$$

$$40I_2 + 20I_1 - 40 = 0 \quad \dots\dots\dots(4)$$

Metode Eleminasi untuk persamaan (2) dan (4) maka diperoleh:

$$\begin{array}{r|l} 20I_2 - 40I_1 + 40 = 0 & \times 2 \\ 40I_2 + 20I_1 - 40 = 0 & \times 1 \end{array} \quad \begin{array}{l} 40I_2 - 80I_1 + 80 = 0 \\ \underline{40I_2 + 20I_1 - 40 = 0} \\ -100 I_1 + 120 = 0 \end{array}$$

$$-100 I_1 = - 120$$

Maka diperoleh :  $I_1 = 1,2 \text{ A}$

Nilai  $I_1$  substitusi ke persamaan (4) maka diperoleh:

$$40I_2 + 20I_1 - 40 = 0$$

$$40I_2 + 20(1,2) - 40 = 0$$

$$40I_2 + 24 - 40 = 0$$

$$40I_2 - 16 = 0$$

$$40I_2 = 16$$

Maka diperoleh :  $I_2 = 0,4 \text{ A}$

Dari persamaan (1) diperoleh  $I_3$  :

$$I_3 = I_1 + I_2 = 1,2\text{A} + 0,4\text{A} = 1,6\text{A}$$



Karena  $I_1$  ,  $I_2$  dan  $I_3$  bernilai positif maka arah arus yang ditentukan searah dengan arah arus yang sesungguhnya (sesuai dengan arah arus pada gambar rangkaian)

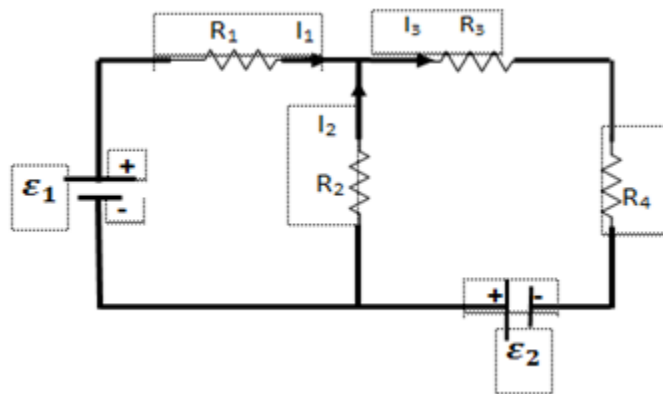
b. tegangan yang terukur pada  $R_4$  :

$$V_4 = I_3 R_4 = 1,6A(16\Omega) = 25,6V$$

## TUGAS VIII

Soal:

1. Jika  $R_1 = 40\Omega$  ,  $R_2 = 20\Omega$ ,  $R_3 = 4\Omega$ ,  $R_4 = 16\Omega$  dan  $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 40V$ , dengan menggunakan hukum kirchhoff tentukan besar
  - a.  $I_1$  ,  $I_2$  dan  $I_3$
  - b. tegangan yang terukur pada  $R_4$



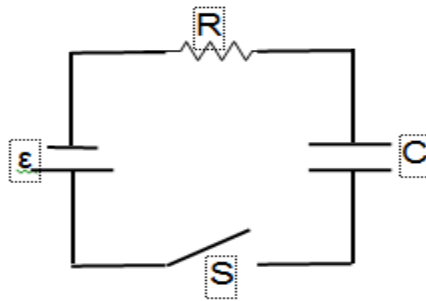
**Catatan:** untuk Loop I dan Loop II arah arusnya searah dengan arah jarum jam.

## V. RANGKAIAN RC

Rangkaian RC ( Resistor Kapasitor ) sering kali dijumpai dalam rangkaian listrik.

### 1. Pemuatan (Pengisian) Kapasitor

Analisa Rangkaian RC pada proses pemuatan kapasitor seperti pada Gambar 23.



Gambar 23. Rangkaian RC Pada Proses Pemuatan Kapasitor

Ketika saklar S ditutup arus segera mengalir melalui rangkaian. Elektron-elektron akan mengalir keluar dari terminal negatif baterai ( $\epsilon$ ) melalui resistor (R) dan terkumpul di plat bagian atas kapasitor (C).

Dan elektron akan mengalir ke terminal positif baterai meninggalkan muatan positif di plat yang lain dari kapasitor tersebut. Sementara muatan terkumpul pada kapasitor beda potensial antara platnya bertambah dan arus diperkecil sehingga tegangan pada kapasitor sama dengan GGL baterai, akibatnya tidak ada beda potensial pada resistor dan tidak ada aliran arus lebih lanjut.

Beda potensial pada kapasitor sebanding dengan muatan pada kapasitor yaitu:

$$V = \frac{Q}{C}$$

Dengan demikian **tegangan bertambah terhadap waktu** yang dinyatakan dengan persamaan:

$$V = \epsilon (1 - e^{-t/RC}) \dots\dots\dots(51)$$

Dimana :  $V$  = tegangan kapasitor sebagai fungsi waktu (volt)

$t$  = waktu pengisian kapasitor (s)

$\epsilon$  = ggl (volt)

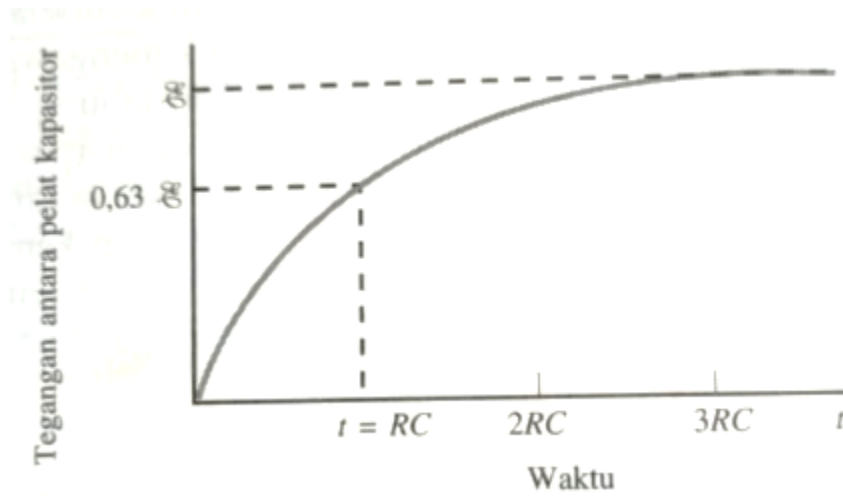
$R$  = resistansi ( $\Omega$ )

$C$  = kapasitansi (F)

$\tau = RC$  (konstanta waktu)

Catatan : Konstanta waktu merupakan pengukuran seberapa cepat kapasitor termuati/terisi.

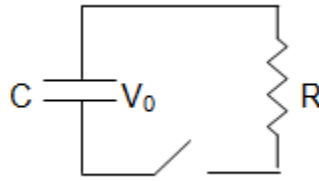
Kurva perubahan tegangan terhadap waktu ketika proses pemuatan kapasitor seperti Gambar 24



Gambar 24. Kurva tegangan antara plat bertambah secara eksponensial terhadap waktu

## 2. Pengosongan Kapasitor

Analisa Rangkaian RC pada proses pengosongan kapasitor seperti pada Gambar 25.



Gambar 25. Rangkaian RC Pada Proses Pengosongan Kapasitor

Kapasitor yang telah dimuati sampai tegangan  $V_0$  dan dibiarkan melepaskan muatan melalui hambatan R (tidak ada baterai).

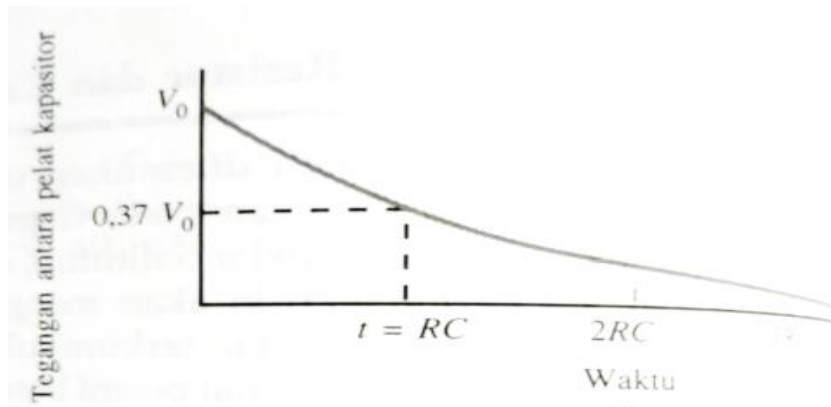
Jika saklar mulai ditutup, muatan mengalir melalui resistor R dari satu sisi kapasitor menuju yang lain sampai muatan terlepaskan semuanya.

**Tegangan pada kapasitor menurun** mengikuti persamaan:

$$V = V_0 e^{-t/RC} \dots\dots\dots(52)$$

Dimana :  $V_0$  = tegangan awal kapasitor

Kurva perubahan tegangan terhadap waktu ketika proses pengosongan kapasitor seperti Gambar 26



Gambar 26. Kurva tegangan pada kapasitor menurun secara eksponensial terhadap waktu

## Evaluasi

### Soal:

1. Rangkaian RC yang resistansinya  $R = 15\text{k}\Omega$  dan ggl baterai sebesar  $24\text{V}$ , konstanta waktu diukur sebesar  $35\mu\text{s}$ . Hitung :
  - a. kapasitansi kapasitor yang digunakan
  - b. waktu yang diperlukan untuk mengisi kapasitor hingga mencapai tegangan  $16\text{V}$
  - c. jika  $t = RC$  berapa persen tegangan naik pada kapasitor
2. Rangkaian RC memiliki  $R=7,9\text{k}\Omega$  dan  $C= 4\mu\text{F}$  seperti pada gambar 26. Kapasitor berada pada tegangan awal  $V_0$  ketika saklar ditutup, berapa lama waktu yang dibutuhkan kapasitor untuk melepaskan muatan sehingga tersisa 15% dari tegangan awal.

### Kunci Jawaban

1. **Dik:**  $\tau = 35 \mu\text{s} = 35 \cdot 10^{-6} \text{ s}$

$$R = 15\text{k}\Omega = 15 \cdot 10^3 \Omega$$

$$\mathcal{E} = 24\text{V}$$

$$V = 16\text{V}$$

**Dit :**

a.  $C = \dots\dots?$

b.  $t = \dots\dots?$

c. persentase kenaikan tegangan = ....?

**Penyelesaian :**

a.  $\tau = RC$

$$35 \cdot 10^{-6} = 15 \cdot 10^3 \cdot C$$

$$C = \frac{35 \cdot 10^{-6}}{15 \cdot 10^3} = \mathbf{2,33 \cdot 10^{-9} F}$$

b.  $V = \varepsilon (1 - e^{-t/RC})$  .

$$16 = 24 (1 - e^{-t/RC})$$

$$\frac{16}{24} = 1 - e^{-t/RC}$$

$$0,67 = 1 - e^{-t/RC}$$

$$e^{-t/RC} = 1 - 0,67$$

$$e^{-t/RC} = 0,33$$

**Operasi balikan (invers) dari eksponensial ( e ) adalah merupakan logaritma natural ( ln ), sehingga:**

$$\mathbf{\ln(e^{-t/RC}) = \ln 0,33}$$

$$-\frac{t}{RC} = \ln 0,33$$

$$-\frac{t}{RC} = -1,11$$

$$\mathbf{t = 1,11 RC = 1,11(35 \cdot 10^{-6}) = 38,85 \cdot 10^{-6} s = 38,85 \mu s}$$

c. Jika:  $t = RC$  maka:  $e^{-t/RC} = e^{-RC/RC} = e^{-1} = \mathbf{0,37}$

$$\mathbf{1 - e^{-\frac{t}{RC}} = 1 - 0,37 = 0,63}$$

**maka tegangan pada kapasitor naik 63%**

**2. Dik :**

$$R=7,9k\Omega = 7,9 \cdot 10^3 \Omega$$

$$C= 4\mu\text{F} = 4 \cdot 10^{-6}\text{F}$$

$$V = 15\% V_0 = 0,15V_0$$

**Dit :**

$$t = \dots?$$

**Penyelesaian :**

$$\text{Konstanta waktu: } \tau = RC = 7,9 \cdot 10^3 \Omega ( 4 \cdot 10^{-6}\text{F} ) = 31,5 \cdot 10^{-3}\text{s}$$

Waktu yang diperlukan untuk pengosongan kapasitor, sehingga tegangan kapasitor turun menjadi 15%

$$V = V_0 e^{-t/RC}$$

$$0,15 V_0 = V_0 e^{-t/RC}$$

$$0,15 = e^{-t/RC}$$

$$(e^{-t/RC}) = 0,15$$

$$\ln(e^{-t/RC}) = \ln 0,15$$

$$-\frac{t}{RC} = -1,897$$

$$t = 1,897RC = 1,897( 31,5 \cdot 10^{-3}) = 59,76 \cdot 10^{-3}\text{s} = \mathbf{59,76\text{ms}}$$

**TUGAS IX**

1. Pada Rangkaian RC, jika kapasitornya berkapasitansi 35 $\mu$ F dihubungkan dengan resistor yang resistansinya R = 120 $\Omega$  dan ggl baterai sebesar 12V. Hitung :

a. konstanta waktu pada rangkaian

b. waktu yang diperlukan untuk mengisi kapasitor hingga mencapai

tegangan 9V

- c. jika  $t = RC$  berapa persen tegangan naik pada kapasitor
3. Rangkaian RC memiliki  $R=6,7k\Omega$  dan  $C= 3\mu F$  Kapasitor berada pada tegangan awal  $V_0$  ketika saklar ditutup, berapa lama waktu yang dibutuhkan kapasitor untuk melepaskan muatan sehingga tersisa 8% dari tegangan awal.



## V. PENUTUP

### RANGKUMAN

#### **Listrik Statis (muatan yang diam)**

Kata “ listrik ” bisa membangkitkan bayangan teknologi modern yang kompleks: computer, cahaya, motor, daya listrik.

Kata “ listrik ” berasal dari kata Yunani yaitu elektron, sedangkan elektron adalah bagian terkecil dari suatu atom yang bermuatan negatif.

Ada 2 jenis muatan listrik yaitu muatan positif dan muatan negatif.

Muatan-muatan ini jika didekatkan akan menimbulkan gaya listrik dan dinyatakan sebagai **hukum Coulomb**.

Besar muatan-muatan ini dinyatakan dalam satuan coulomb (C).

Satu muatan atau lebih dapat menimbulkan **medan listrik** disekitarnya yang merupakan besaran vektor, dimana jika muatannya positif maka arah medan listriknya menjauhi muatan dan jika muatannya negatif maka arah medan listriknya mendekati muatan.

**Medan listrik** didefinisikan sebagai perbandingan gaya listrik yang bekerja untuk memindahkan muatan terhadap besar muatan tersebut.

Satu muatan atau lebih selain dapat menimbulkan medan listrik, juga dapat menimbulkan **potensial listrik** yang merupakan besaran skalar.

**Potensial listrik** didefinisikan sebagai perbandingan energi potensial listrik terhadap besar muatan.

Jika muatannya positif maka potensial listriknya juga bernilai positif, dan jika muatannya negatif maka potensial listriknya juga negatif.

Hubungan antara medan listrik terhadap potensial listrik, dimana potensial listrik merupakan perkalian medan listrik terhadap jarak muatan pada daerah medan listrik yang ditinjau.

**Beda potensial listrik** antara dua titik didefinisikan sebagai kerja yang dilakukan untuk memindahkan muatan listrik. Beda potensial listrik sering juga disebut tegangan listrik.

Berdasarkan teorema kerja-energi bahwa besar kerja yang dilakukan untuk memindahkan muatan sama dengan besar energi potensial yang diperlukan untuk memindahkan muatan tersebut.

### **Listrik Dinamik ( muatan yang bergerak)**

**Arus listrik** merupakan perbandingan muatan netto yang mengalir pada konduktor terhadap waktu ketika konduktor dihubungkan dengan sumber tegangan yang dinyatakan dalam satuan ampere (A).

**Hukum Ohm** menyatakan besar arus pada konduktor sebanding dengan tegangan yang diberikan dikedua ujungnya dan berbanding terbalik terhadap resistansi (hambatan) dari konduktor tersebut.

**Resistansi** pada sebuah konduktor berbanding lurus terhadap panjang konduktornya dan sifat spesifik dari konduktor yang disebut dengan **resistivitas (hambatan jenis)** dan juga berbanding terbalik terhadap luas penampang lintang konduktor.

**Resistivitas** suatu kaonduktor berbanding terbalik terhadap **konduktivitasnya**.

Kecepatan perubahan **energi listrik** menjadi bentuk energi lain disebut dengan **daya listrik** merupakan perkalian tegangan dengan arus yang mengalir pada konduktor.

**Kapasitor** merupakan alat yang digunakan untuk menyimpan muatan terdiri dari dua konduktor yang memiliki muatan  $Q$  yang sama besar tetapi berlawanan jenisnya.

Ruang diantara kedua konduktor dalam kapasitor biasanya diisi dengan bahan isolator yang disebut dengan **dielektrikum**.

Kemampuan sebuah kapasitor untuk dapat menyimpan muatan disebut dengan **kapasitansi**. Dan besar kapasitansi dari kapasitor tergantung pada bahan dielektrikumnya disebut **konstanta dielektrikum**.

Jika dalam rangkaian listrik terdapat beberapa kapasitor maka disusun secara seri, paralel atau kombinasi keduanya untuk mendapatkan kapasitansi ekuivalen.

Bila sebuah baterai dihubungkan ke rangkaian arus akan mengalir dengan tetap pada satu arah yang disebut **Arus Searah (DC)**.

Generator listrik pada pusat pembangkit tenaga listrik menghasilkan **Arus Bolak-Balik (AC)**. Arus bolak-balik berubah arah terus beberapa kali setiap detiknya biasanya 60Hz dan berbentuk sinusoidal terhadap waktu.

Alat yang merubah satu jenis energi menjadi energi listrik disebut **sumber GGL**. Pada rangkaian arus searah biasanya sumber GGL ini berupa baterai yang memiliki hambatan dalam.

**GGL** adalah merupakan tegangan terminal ketika tidak ada arus yang mengalir. Tetapi bila ada arus yang mengalir maka tegangan terminal pada baterai lebih kecil dari GGL nya, karena ada penurunan tegangan melintasi hambatan dalam.

Dalam rangkaian listrik seringkali dijumpai beberapa resistor (hambatan) dan resistor-resistor ini disusun secara **seri, paralel** atau **kombinasi seri dan paralel** untuk mendapatkan resistansi ekuivalen.

**Hukum-hukum Kirchhoff** membantu dalam menentukan arus dan tegangan pada rangkaian yang kompleks (rumit) yang terdiri dari beberapa sumber GGL dan beberapa resistor yang disusun atas beberapa loop.

Hukum Kirchhoff I didasarkan atas kekekalan muatan listrik dan menyatakan jumlah arus yang masuk pada satu titik cabang sama dengan jumlah arus yang keluar melalui titik cabang tersebut.

Hukum Kirchhoff II (**hukum loop**) didasarkan atas kekekalan energy dan menyatakan bahwa jumlah aljabar perubahan tegangan sekitar lintasan (pada satu loop) sama dengan nol.

Jika **rangkaiannya RC** yang berisi Resistor dan Kapasitor dihubungkan dengan sumber GGL maka tegangan pada kapasitor akan semakin bertambah dalam waktu yang dinyatakan oleh konstanta waktu (terjadi pengisian muatan pada kapasitor). Dan Jika sumber tegangan diputuskan maka akan terjadi penurunan tegangan pada kapasitor (terjadi pada saat kapasitor melepaskan muatan melalui resistor).

## DAFTAR PUSTAKA

1. Douglas C. Giancoli, 2005, Fisika Jilid 2, Erlangga Jakarta
2. Halliday & Resnick, 2004, Fisika Jilid 2, Erlangga Jakarta
3. Saers & Zemansky, 2004, Fisika Universitas Jilid 2