

## BAB II

### ELEMEN RANGKAIAN

#### 2.1 Konsep Arus Dan Tegangan

Muatan listrik dan energy merupakan bentuk dasar dua kuantitas listrik. Satuan dasar muatan adalah sebuah muatan elektron. Dalam sistem M.K.S, satuan muatan adalah Coulomb.

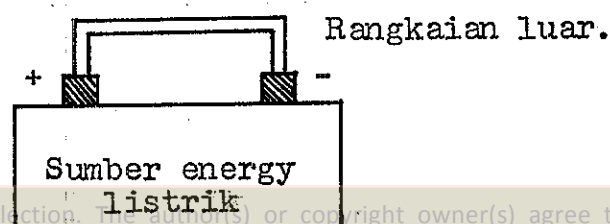
Arus listrik merupakan aliran muatan listrik lewat pe nampang konduktor per satuan waktu. Dalam bentuk matematik, arus  $i$  diberikan oleh

$$i = \frac{dq}{dt}, \quad (2.1)$$

$q$  adalah muatan yang mengalir dan  $t$  adalah waktu. Muatan  $q$  dalam Coulomb, waktu  $t$  dalam detik, sehingga arus  $i$  dalam Am pere. Arus satu Ampere berarti aliran  $6,67 \times 10^{18}$  elektron per detik dari ujung ke ujung konduktor.

Energy tidak dapat diciptakan atau dihancurkan tetapi hanya diubah bentuknya. Jadi energy listrik didapatkan dari bentuk transformasi tenaga lain. Satuan energy adalah Joule.

Sebuah sumber energy listrik mempunyai dua terminal (positif dan negatif) dihubungkan dengan suatu konduktor, maka arus listrik mengalir melalui konduktor ini dari terminal positif menuju terminal negatif.



Gambar 2.1 Sumber energy listrik.

Kerja adalah menghabiskan persediaan sumber energy dalam mengangkut muatan listrik melalui rangkaian luar.

Potensial suatu titik didalam medan listrik adalah besarnya kerja yang dilakukan untuk memindahkan satu satuan muatan positif dari titik dijauh tak terhingga ke titik itu.

Pada umumnya, diperhitungkan dua titik  $P_1$  dan  $P_2$ . Perbedaan potensial antara titik  $P_2$  dan  $P_1$  adalah besarnya kerja yang dilakukan untuk memindahkan satu satuan muatan positif dari titik  $P_1$  menuju titik  $P_2$ . Titik  $P_2$  dikatakan terletak pada potensial yang lebih tinggi daripada titik  $P_1$  jika kerja yang dilakukan untuk memindahkan satu satuan muatan positif dari  $P_1$  ke  $P_2$ . Artinya, titik  $P_2$  pada potensial lebih tinggi daripada  $P_1$  jika energy potensial satu satuan muatan positif pada  $P_2$  lebih besar daripada  $P_1$ .

Jadi perbedaan potensial (atau tegangan)  $v$  dalam Volt antara dua titik diberikan oleh

$$v = \frac{dw}{dq}, \quad (2.2)$$

$w$  adalah kerja yang dilakukan (atau energy yang dipakai) dinyatakan dalam Joule dan  $q$  adalah muatan yang dipindahkan dinyatakan dalam Coulomb. Sehingga 1 Volt = 1  $\frac{\text{Joule}}{\text{Coulomb}}$ , yaitu besarnya potensial suatu titik didalam medan listrik apabila untuk memindahkan muatan sebesar 1 Coulomb dari jarak tidak terhingga ke titik tersebut diperlukan energy (atau tenaga) sebesar 1 Joule.

Kecepatan pemindahan energy (atau kecepatan kerja) disebut daya. Sehingga daya diberikan oleh

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \frac{dq}{dt} \quad [\text{dari persamaan (2.2)}]$$

$$= vi. \quad (2.3)$$

(<http://eprints.undip.ac.id>)

Satuan M.K.S daya adalah Watt. Energy diberikan oleh persama

an integral

$$w = \int p \, dt = \int v i \, dt. \quad (2.4)$$

## 2.2 Elemen RLC

Elemen listrik ada dua macam,

- Elemen pasif, yaitu elemen yang cara bekerjanya tidak memerlukan daya awal (atau prasikap). Contohnya adalah resistor, induktor dan kapasitor (RLC).
- Elemen aktif, yaitu elemen yang cara bekerjanya memerlukan daya awal. Contohnya adalah sumber energy, tabung hampa, dioda dan transistor.

Suatu rangkaian listrik terdiri dari elemen pasif maupun elemen aktif.

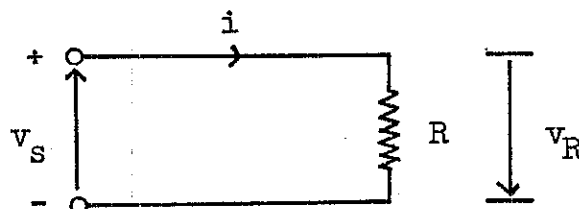
### 2.2.1 Resistor

Pada suatu konduktor, hubungan arus, tegangan dan resistansi dinyatakan oleh hukum Ohm sebagai berikut:

$$v_R = R i, \quad (2.5)$$

dengan  $R$  adalah resistansi konduktor dalam Ohm,

$v_R$  adalah tegangan ujung resistor dalam Volt, dan  $i$  adalah arus dalam Ampere.



Gambar 2.2 Arah arus dan tegangan pada resistor.

$$v_R = R \frac{dq}{dt}, \quad (2.6)$$

atau

$$q = \frac{1}{R} \int_0^t v_R dt. \quad (2.7)$$

Persamaan (2.5) juga dapat ditulis sebagai:

$$i = Gv_R, \quad (2.8)$$

dengan  $G$  adalah konduktansi konduktor,  $G = \frac{1}{R}$ .

Dalam sistem M.K.S, satuan resistansi adalah Ohm, dan konduktansi adalah Mho. Resistansi bergantung pada

$$R = \eta \frac{d}{A}, \quad (2.9)$$

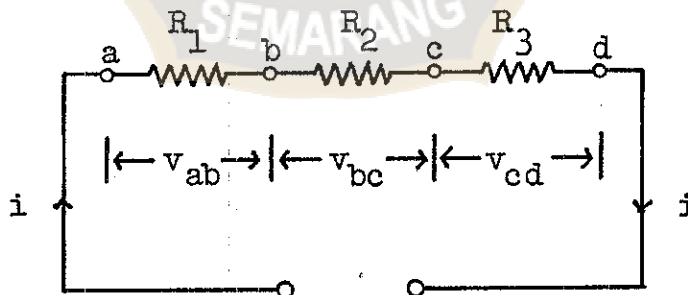
dengan  $d$  adalah panjang konduktor dalam meter,

$A$  adalah luas penampang konduktor dalam meter<sup>2</sup>, dan

$\eta$  adalah hambatan jenis konduktor dalam Ohm-meter.

### Resistor Seri:

Beberapa konduktor dirangkai secara seri (pada contoh gambar 2.3), maka resistansi totalnya dinyatakan oleh hukum Ohm sebagai berikut:



Gambar 2.3 Resistor seri.

Tegangan pada masing-masing resistor adalah:

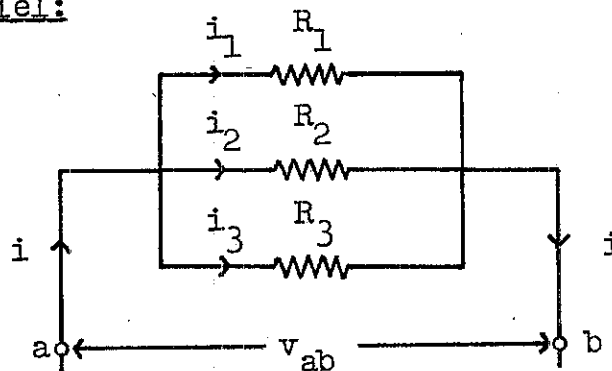
$$v_{ab} = iR_1, \quad v_{bc} = iR_2 \quad \text{dan} \quad v_{cd} = iR_3.$$

Tegangan total dari tiga resistor tersebut adalah:

$$\begin{aligned} v_{ad} &= v_{ab} + v_{bc} + v_{cd} = iR_1 + iR_2 + iR_3 \\ &= iR. \quad (R \text{ adalah resistansi total}) \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan,

$$R = R_1 + R_2 + R_3. \quad (2.10)$$

Resistor Paralel:

Gambar 2.4 Resistor paralel.

Arus pada masing-masing resistor adalah:

$$i_1 = \frac{v_{ab}}{R_1}, \quad i_2 = \frac{v_{ab}}{R_2}, \quad \text{dan} \quad i_3 = \frac{v_{ab}}{R_3}.$$

Arus total dari tiga resistor tersebut adalah:

$$i = i_1 + i_2 + i_3 \quad \text{dan} \quad i = \frac{v_{ab}}{R},$$

sehingga didapatkan

$$\frac{v_{ab}}{R} = \frac{v_{ab}}{R_1} + \frac{v_{ab}}{R_2} + \frac{v_{ab}}{R_3}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}. \quad (2.11)$$

2.2.2 Induktor

Hukum Faraday: Gaya gerak listrik induksi adalah berbanding dengan kecepatan perubahan flux, yaitu

$$\varepsilon = - \frac{d\phi}{dt}, \quad (2.12)$$

dengan  $\phi$  adalah flux magnet dan  $\varepsilon$  adalah gaya gerak listrik (g.g.l.) induksi sendiri,  $\varepsilon$  dan  $d\phi/dt$  selalu mempunyai tanda berlawanan. Satuan  $\phi$  dalam Weber dan  $\varepsilon$  dalam Volt.

Pada suatu kumpulan dengan  $N$  lilitan dan flux berubah ubah dengan waktu yang sama melalui tiap-tiap lilitan, maka g.g.l induksi didalam lilitan-lilitan itu dalam keadaan seri dan jumlah g.g.l adalah

$$\varepsilon = - N \frac{d\phi}{dt}. \quad (2.13)$$

Jumlah flux per satuan arus disebut induktansi sendiri dari circuit, yaitu

$$L = \frac{N\phi}{i}. \quad (2.14)$$

Satuan L adalah lilitan-Weber per Ampere (Henry). Induktansi sendiri L dari circuit dapat juga dikatakan sebagai g.g.l induksi sendiri per satuan percepatan perubahan arus, yaitu

$$\epsilon = -L \frac{di}{dt}. \quad (2.15)$$

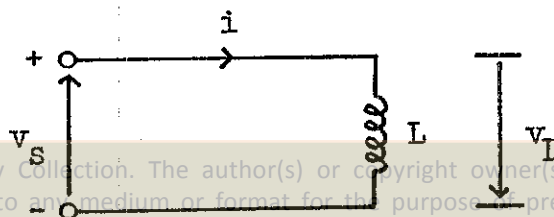
Jadi induktansi sendiri adalah satu Henry, apabila satu g.g.l. satu Volt diinduksikan dalam circuit apabila arus didalam circuit berubah dengan satu Ampere per detik.



Gambar 2.5 Arah g.g.l induksi sendiri, (a) i naik, ε berlawanan dengan i, titik a pada tegangan yang lebih tinggi daripada b, (b) i turun, ε dan i arahnya sama, titik b pada tegangan yang lebih tinggi daripada titik a. ( $R = 0$ ).

Menurut hukum Kirchhoff II, perbedaan potensial (atau tegangan) antara ujung-ujung induktor adalah:

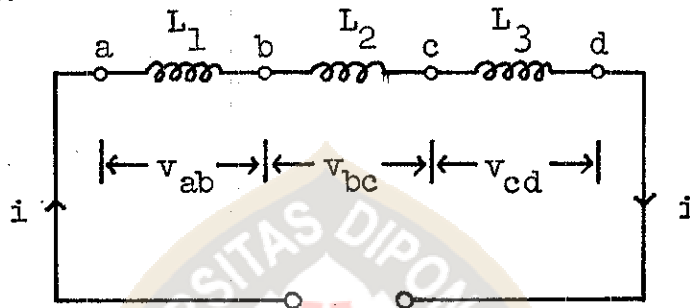
$$\begin{aligned} v_L &= -\epsilon, \text{ karena } R = 0 \\ &= L \frac{di}{dt}. \end{aligned} \quad (2.16)$$



Gambar 2.6 Arah arus dan tegangan pada induktor.

Jika arus pada gambar 2.6 naik, maka g.g.l. yang diinduksikan didalam induktor arahnya seperti pada gambar 2.5(a) [titik a ada pada tegangan yang lebih tinggi daripada b]. Jadi tegangan pada induktor positif ( $v_L$  positif).

### Induktor Seri:



Gambar 2.7 Induktor seri.

Tegangan pada masing-masing induktor adalah:

$$v_{ab} = L_1 \frac{di}{dt}, \quad v_{bc} = L_2 \frac{di}{dt} \quad \text{dan} \quad v_{cd} = L_3 \frac{di}{dt}$$

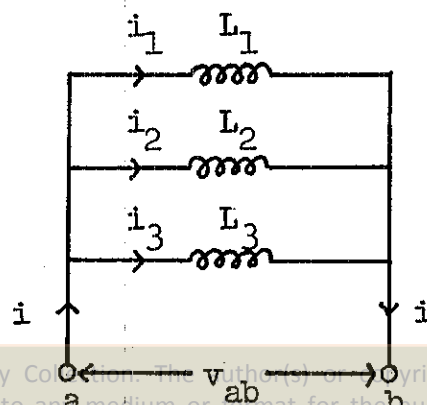
Tegangan total dari tiga induktor tersebut adalah:

$$\begin{aligned} v_{ad} &= v_{ab} + v_{bc} + v_{cd} \\ &= L \frac{di}{dt}, \quad (L \text{ adalah induktansi total}) \end{aligned}$$

sehingga didapatkan

$$\begin{aligned} L \frac{di}{dt} &= L_1 \frac{di}{dt} + L_2 \frac{di}{dt} + L_3 \frac{di}{dt} \\ L &= L_1 + L_2 + L_3. \end{aligned} \quad (2.17)$$

### Induktor Paralel:



Gambar 2.8 Induktor paralel.



Karena  $i = 0$  pada waktu  $t = 0$ , maka arus pada masing-masing induktor adalah:

$$i_1 = \frac{1}{L_1} \int_0^t v_{ab} dt, \quad i_2 = \frac{1}{L_2} \int_0^t v_{ab} dt, \quad \text{dan} \quad i_3 = \frac{1}{L_3} \int_0^t v_{ab} dt$$

Arus total dari tiga induktor tersebut adalah:

$$i = i_1 + i_2 + i_3 \quad \text{dan} \quad i = \frac{1}{L} \int_0^t v_{ab} dt,$$

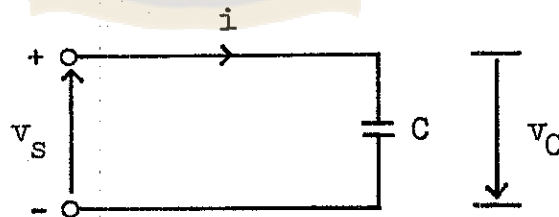
sehingga didapatkan

$$\begin{aligned} \frac{1}{L} \int_0^t v_{ab} dt &= \frac{1}{L_1} \int_0^t v_{ab} dt + \frac{1}{L_2} \int_0^t v_{ab} dt + \frac{1}{L_3} \int_0^t v_{ab} dt \\ \frac{1}{L} &= \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}. \end{aligned} \quad (2.18)$$

### 2.2.3 Kapasitor

Kapasitansi  $C$  dari suatu kondensator didefinisikan sebagai perbandingan muatan  $q$  pada tiap penghantar dengan perbedaan potensial  $v_C$  antara penghantar-penghantar itu adalah:

$$C = \frac{q}{v_C}. \quad (2.19)$$



Gambar 2.9 Arah arus dan tegangan pada kapasitor.

Kapasitansi suatu kondensator adalah satu Farad, jika satu Coulomb dipindahkan dari satu penghantar ke penghantar yang lain, per Volt dari perbedaan potensial antara penghantar-penghantar itu.

Pada kondensator papan paralel, perbedaan potensial antara papan-papan itu adalah

$$v_C = v_{ab} = Ed = \frac{q d}{\epsilon_0 A}.$$



Jadi kapasitansi dari suatu kondensator papan paralel dalam ruang hampa bergantung pada

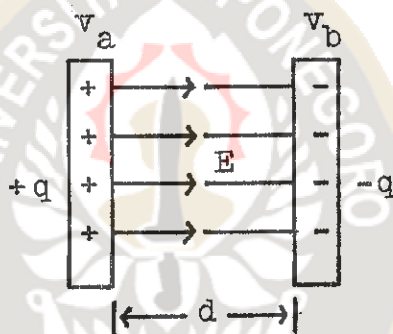
$$C = \frac{q}{v_{ab}} = e_o \frac{A}{d}, \quad (2.20)$$

dengan  $e_o$  adalah permittivity, yaitu  $e_o = 8,85 \times 10^{-12}$  Farad per meter untuk ruang hampa,

$E$  adalah intensitas listrik dalam Newton/Coulomb,

$A$  adalah luas setiap papan dalam meter<sup>2</sup>, dan

$d$  adalah jarak antara papan dalam meter.



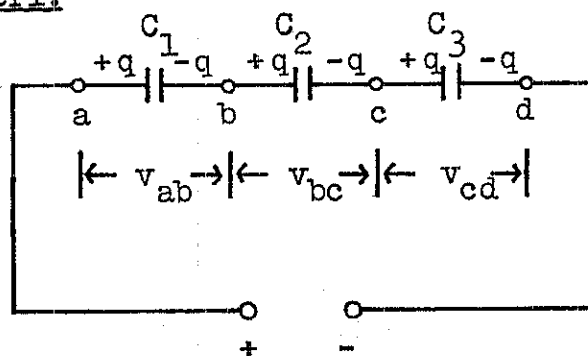
Gambar 2.10 Kondensator papan paralel.

Persamaan 2.19 dapat ditulis sebagai,

$$i = C \frac{dv}{dt}, \quad (2.21)$$

dengan kapasitansi  $C$  satuannya dalam Farad.

### Kapasitansi Seri:



Gambar 2.11 Kapasitor seri.

Muatan setiap kapasitor adalah:

$$q = C_1 v_{ab}, \quad q = C_2 v_{bc}, \quad \text{dan} \quad q = C_3 v_{cd}$$

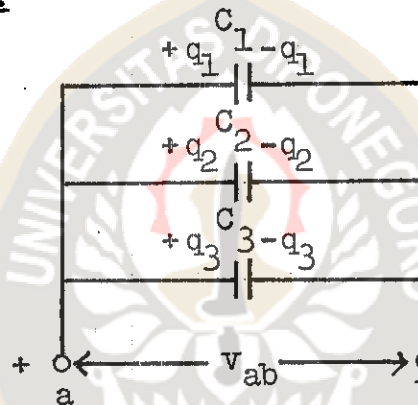
Tegangan total dari tiga kapasitor adalah:

$$\begin{aligned} v_{ad} &= v_{ab} + v_{bc} + v_{cd} \\ &= \frac{q}{C}, \quad (C \text{ adalah kapasitansi total}) \end{aligned}$$

sehingga didapatkan

$$\begin{aligned} \frac{q}{C} &= \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} + \frac{q}{C_3} \\ \frac{1}{C} &= \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}. \end{aligned} \quad (2.22)$$

### Kapasitor Paralel:



Gambar 2.12 Kapasitor paralel.

Muatan setiap kapasitor adalah:

$$q_1 = C_1 v_{ab}, \quad q_2 = C_2 v_{ab}, \quad \text{dan} \quad q_3 = C_3 v_{ab}.$$

Jumlah muatan  $q$  pada kapasitor paralel adalah:

$$q = q_1 + q_2 + q_3 \quad \text{dan} \quad q = C v_{ab},$$

jadi

$$C v_{ab} = C_1 v_{ab} + C_2 v_{ab} + C_3 v_{ab}$$

atau

$$C = C_1 + C_2 + C_3. \quad (2.23)$$

## 2.3 Sumber Energy

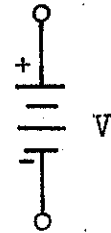
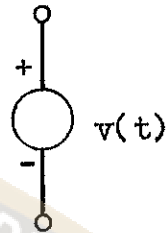
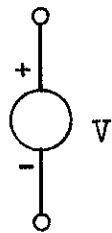
Sumber energy adalah elemen aktif, mempunyai 2 macam yaitu "Sumber Tegangan Ideal" dan "Sumber Arus Ideal".

### 2.3.1 Sumber Tegangan Ideal

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate, reproduce, or disseminate this work in any form or by any means (electronic, mechanical, photocopying, recording, or by any information storage and retrieval system) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purpose of security, back-up and preservation:

karen dengan tanda + dan - yang berarti terminal positif dan negatif seperti pada gambar 2.13(a) dan (b). Huruf  $v$  menyatakan

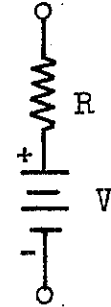
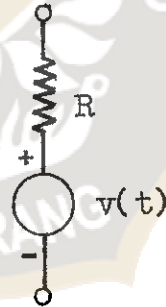
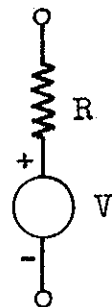
kan sumber yang berubah terhadap waktu, sedangkan huruf  $V$  me nyatakan sumber yang tidak berubah terhadap waktu. Untuk sum ber d.c dari baterai pada umumnya diperlihatkan pada gambar 2.13(c).



(a) Sumber tegangan d.c ideal.

(b) Sumber tegangan a.c ideal.

(c) Baterai ideal.



(d) Sumber tegangan d.c praktis.

(e) Sumber tegangan a.c praktis.

(f) Baterai praktis.

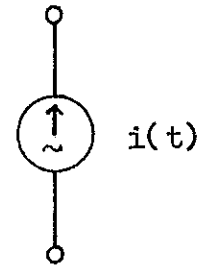
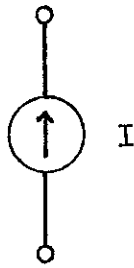
Gambar 2.13 Simbol sumber tegangan ideal dan praktis.

Simbol sumber tegangan praktis sama seperti sumber te gangan ideal dengan sebuah resistor  $R$  atau impedansi  $Z$  yang dirangkai seri seperti pada gambar 2.13(d), (e), dan (f).

### 2.3.2 Sumber Arus Ideal

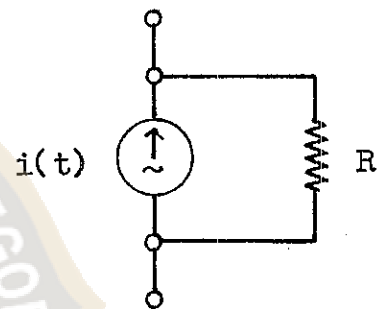
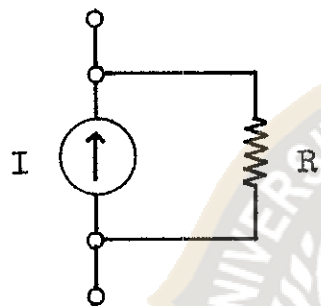
Simbol sumber arus ideal pada umumnya suatu lingkaran

dengan panah yang menyatakan arah positif dari aliran arus, diperlihatkan pada gambar 2.14(a) dan (b).



(a) Sumber arus d.c ideal.

(b) Sumber arus a.c ideal.



(c) Sumber arus d.c praktis.

(d) Sumber arus a.c praktis.

Gambar 2.14 Simbol sumber arus ideal dan praktis.

Dalam hal ini, huruf kecil  $i$  atau  $i(t)$  menyatakan sumber yang berubah terhadap waktu dan huruf besar  $I$  menyatakan sumber yang tidak berubah terhadap waktu.

Simbol sumber arus praktis adalah sumber arus ideal dengan resistor  $R$  atau impedansi  $Z$  yang dirangkai paralel seperti pada gambar 2.14(c) dan (d).