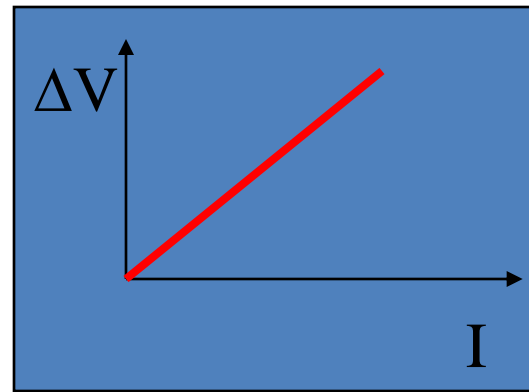
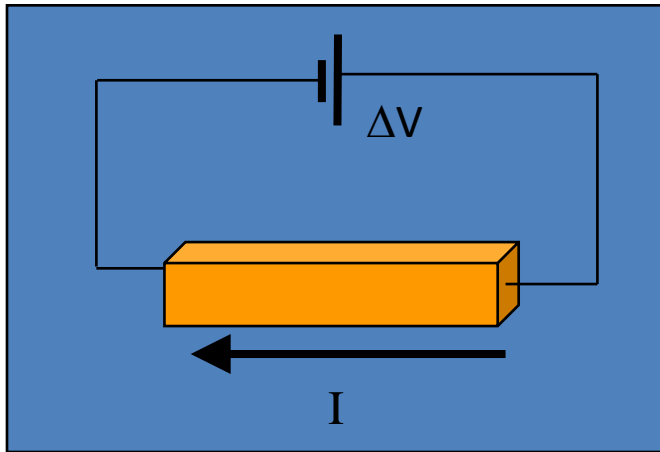


Hukum Hukum Rangkaian

Rudi Susanto

Hambatan Listrik dan Hukum Ohm

- Ketika tegangan listrik (beda potensial) diberikan pada ujung-pangkal konduktor logam maka didapatkan arus yang sebanding dengan tegangan yang diberikan.



$$I \propto \Delta V$$



$$R = \frac{\Delta V}{I}$$

Dengan satuan R : volt/ampere atau ohm (Ω).

Hukum Ohm

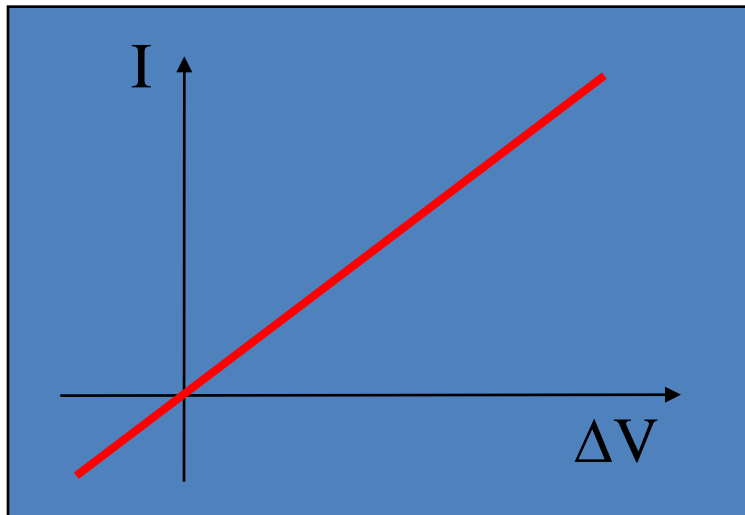
Georg Simon Ohm
(1787-1854)



$$\Delta V = IR$$

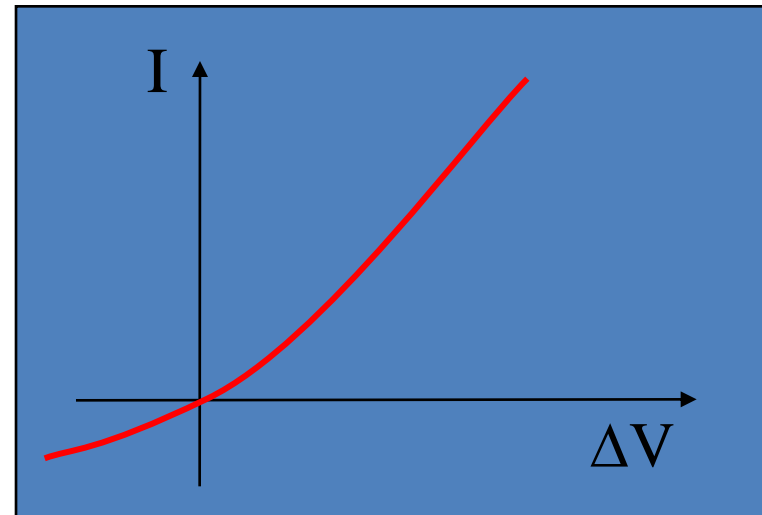
R konstan dan tidak tergantung terhadap ΔV

Linier atau Ohmic Material



Most metals, ceramics

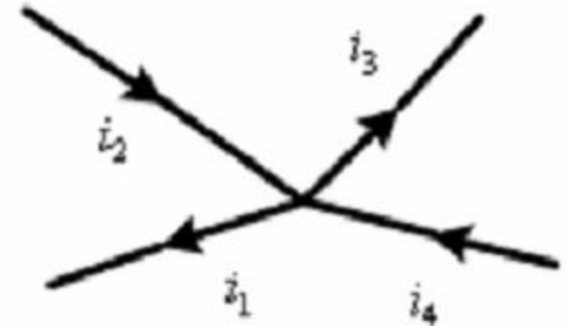
Non-Linier atau
Non-Ohmic Material



Semiconductors
e.g. diodes

Hukum Kirchoff I / Kirchoff's Current Law (KCL)

Jumlah arus yang memasuki suatu percabangan atau node atau simpul samadengan arus yang meninggalkan percabangan atau node atau simpul, dengan kata lain jumlah aljabar semua arus yang memasuki sebuah percabangan atau node atau simpul **samadengan nol**.



$$\sum i = 0$$

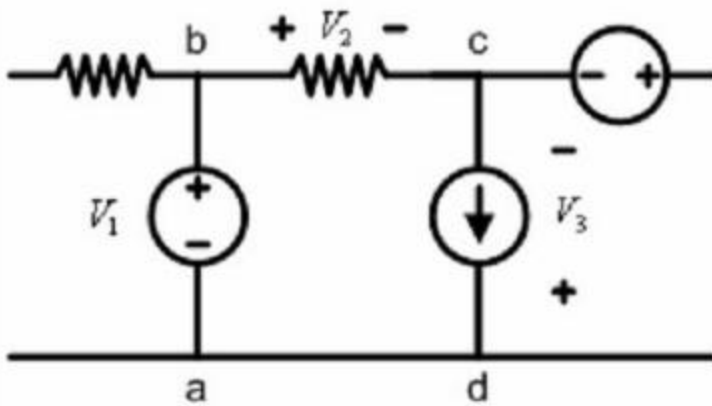
$$i_2 + i_4 - i_1 - i_3 = 0$$

$$\sum \text{ arus } \cdot \text{ masuk} = \sum \text{ arus } \cdot \text{ keluar}$$

$$i_2 + i_4 = i_1 + i_3$$

Hukum Kirchoff II / Kirchoff's Voltage Law (KVL)

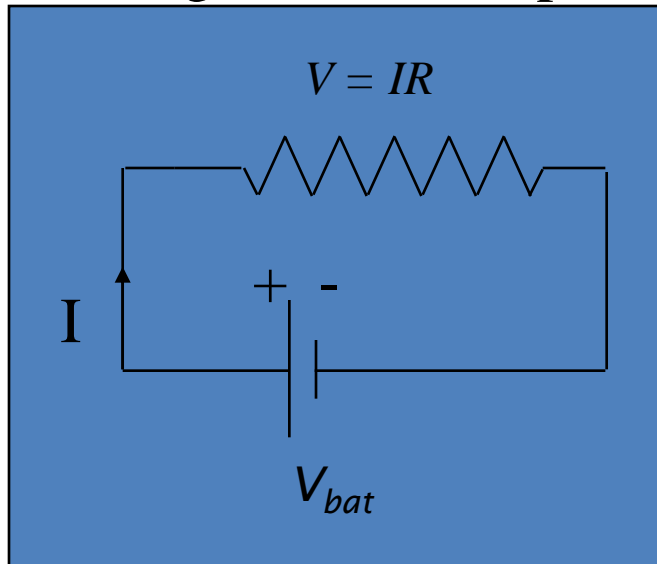
Jumlah tegangan pada suatu lintasan tertutup sama dengan **nol**, atau penjumlahan tegangan pada masing-masing komponen penyusunnya yang membentuk satu lintasan tertutup akan bernilai sama dengan nol.



Rangkaian Arus Searah

➤ Syarat terjadinya arus dalam rangkaian :

- Ada sumber tegangan (Baterai, Generator, Accu, PLN)
- Rangkaian tertutup (Close loop circuit)



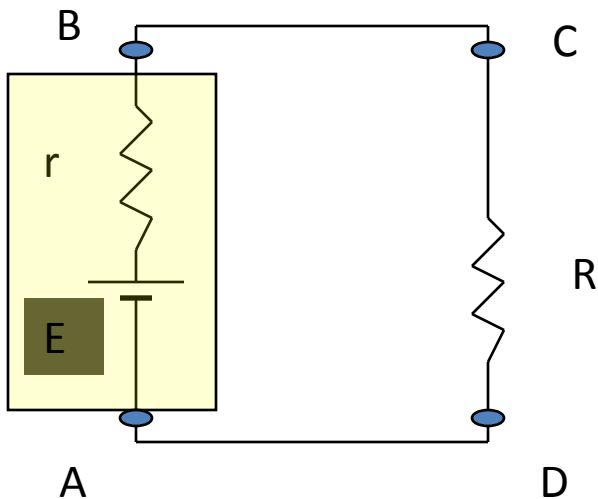
$$V = IR = V_{bat}$$

Hindari terjadinya hubung singkat ($R = 0 \text{ ohm}$)

Gunakan pembatas arus / sekering untuk pengaman rangkaian

➤ Baterai

- Mengubah energi kimia menjadi energi listrik.
- Baterai membangkitkan gaya gerak listrik / EMF (E) dan mempunyai hambatan dalam (r).
- Hambatan dalam makin lama membesar seiring dengan lama pemakaian sehingga dikatakan baterai habis.
- Tegangan terminal V_{AB} dirumuskan sebagai berikut :



$$V_{AB} = E - Ir = IR$$

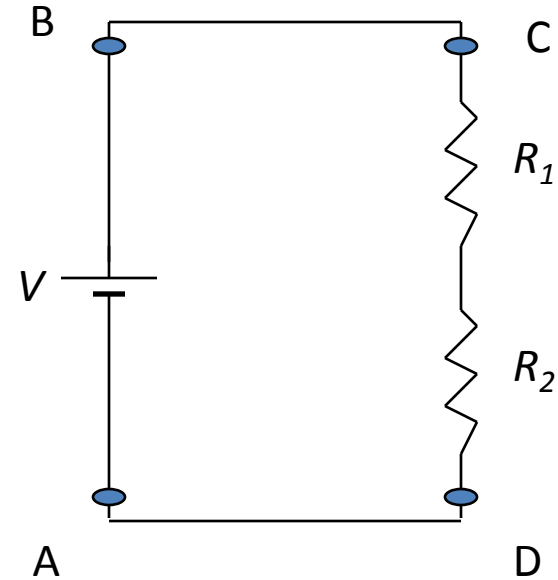
$$E = IR + Ir$$

➤ Resistor dalam Rangkaian Seri

- Arus : $I = I_1 = I_2$
- Tegangan : $V = V_1 + V_2$
 $I R_t = I R_1 + I R_2$
- Resistor : $R_t = R_1 + R_2$
- Untuk kombinasi seri berlaku :

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

- Rangkaian berperilaku sebagai pembagi tegangan (voltage divider)

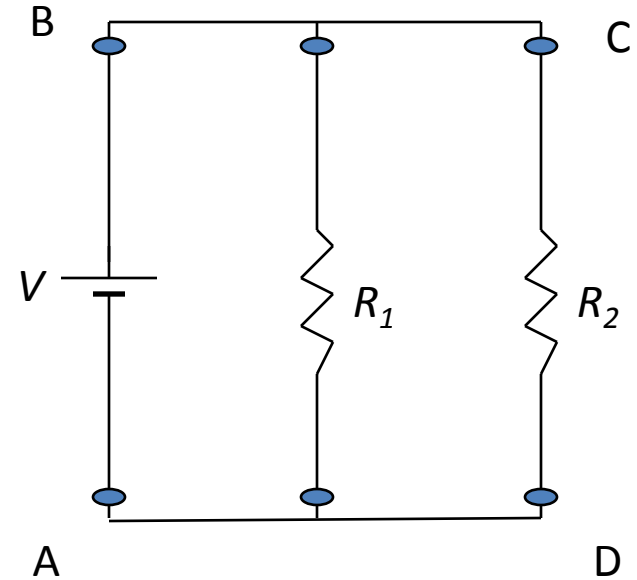


➤ Resistor dalam Rangkaian Paralel

- Tegangan : $V = V_1 = V_2$
- Arus : $I = I_1 + I_2$
 $V / R_t = V_1 / R_1 + V_2 / R_2$
- Resistor : $1/R_t = 1/R_1 + 1/R_2$
- Untuk kombinasi Paralel berlaku :

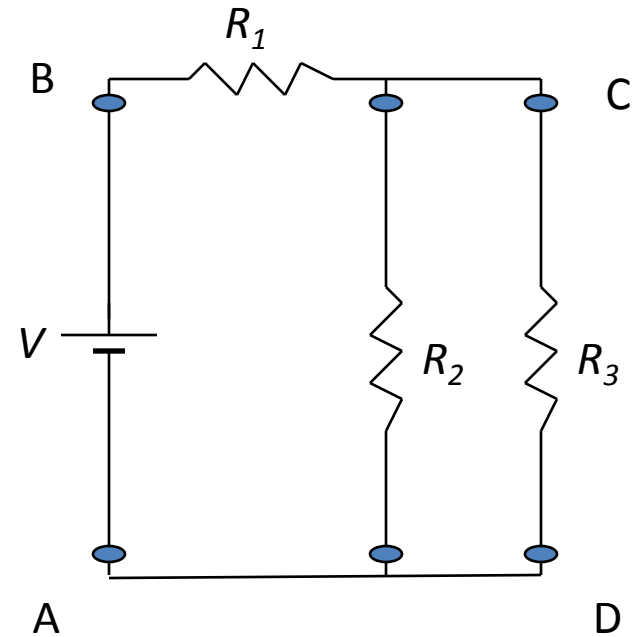
$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

- Rangkaian berperilaku sebagai pembagi tegangan (current divider)



➤ Contoh Soal:

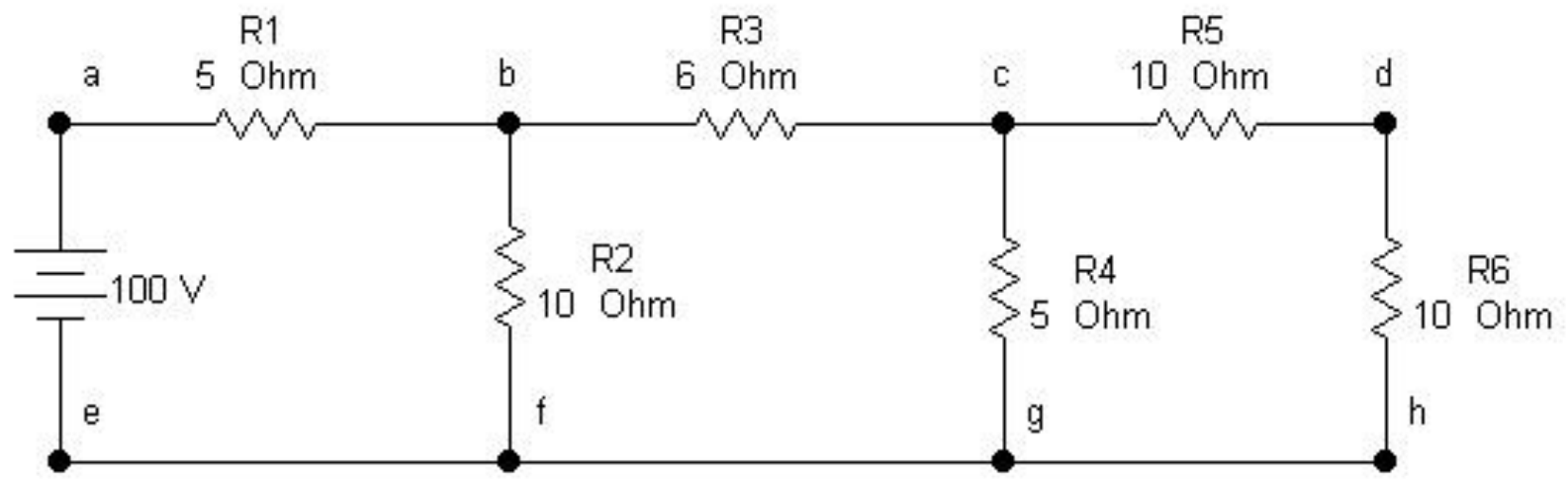
- $V = 18$ volt
- $R_1 = 2\Omega$; $R_2 = 6\Omega$; $R_3 = 12\Omega$
- Hitung:
 - Hambatan ekuivalen pada rangkaian tersebut
 - Arus yang melalui masing-masing hambatan
 - Beda tegangan di C dan di D ($V_{CD} = V_C - V_D$)

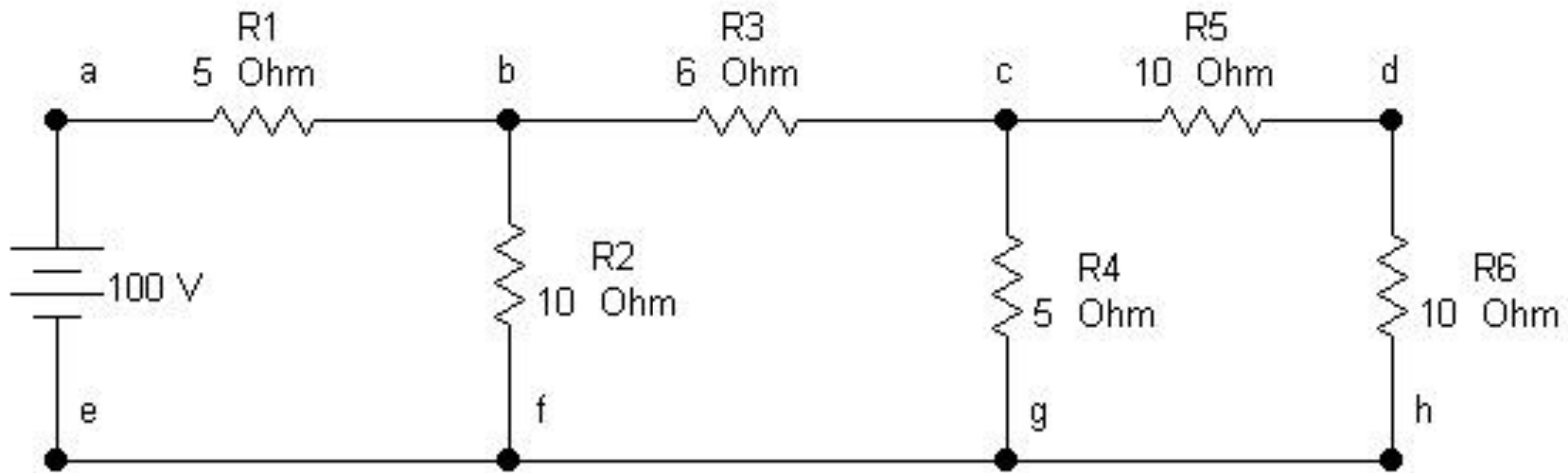


Jawab: $R_{ek} = 6\Omega$; $I_1 = 3A$, $I_2 = 2A$, $I_3 = 1A$; $V_{CD} = 12$ V

Contoh Soal

Rangkaian di bawah ini sering disebut sebagai rangkaian tangga (*ladder network*). Tentukan tegangan pada tahanan-tahanan R_2 , R_4 dan R_6 .





$$R_{56} = 10 + 10 = 20 \Omega \quad \rightarrow \quad R_{456} = \frac{(5)(20)}{5 + 20} = 4 \Omega$$

$$R_{3456} = R_3 + R_{456} = 6 + 4 = 10 \Omega \quad \rightarrow \quad R_{23456} = \frac{(10)(10)}{10 + 10} = 5 \Omega$$

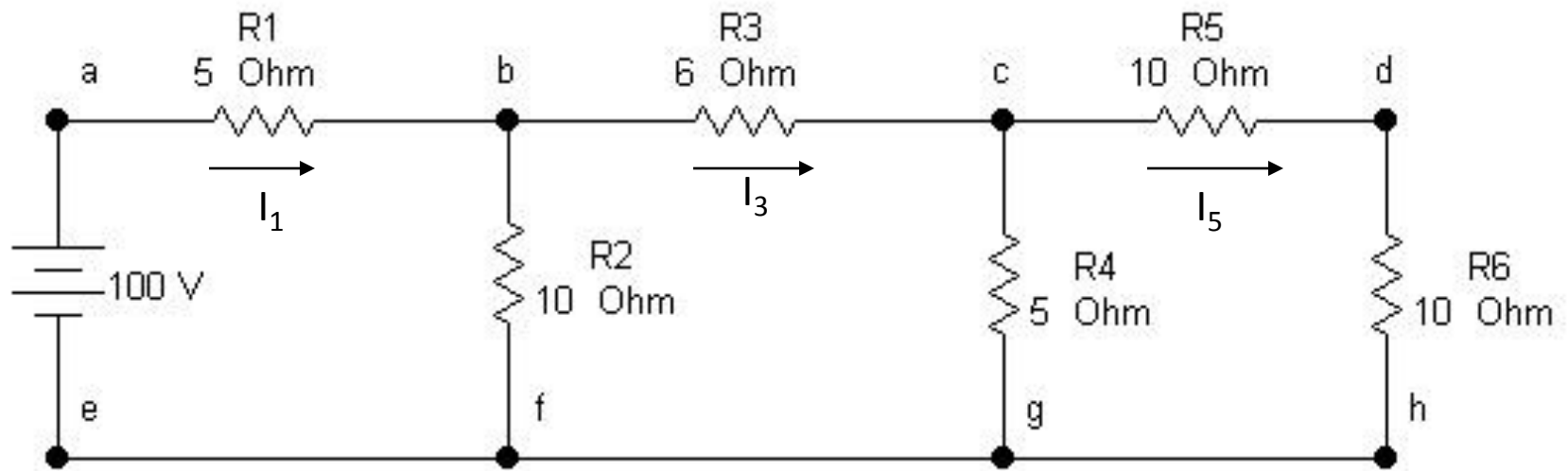
$$V_2 = \frac{R_{23456}}{R_{23456} + R_1} (100) = \frac{5}{5 + 5} (100) = 50 \text{ V}$$

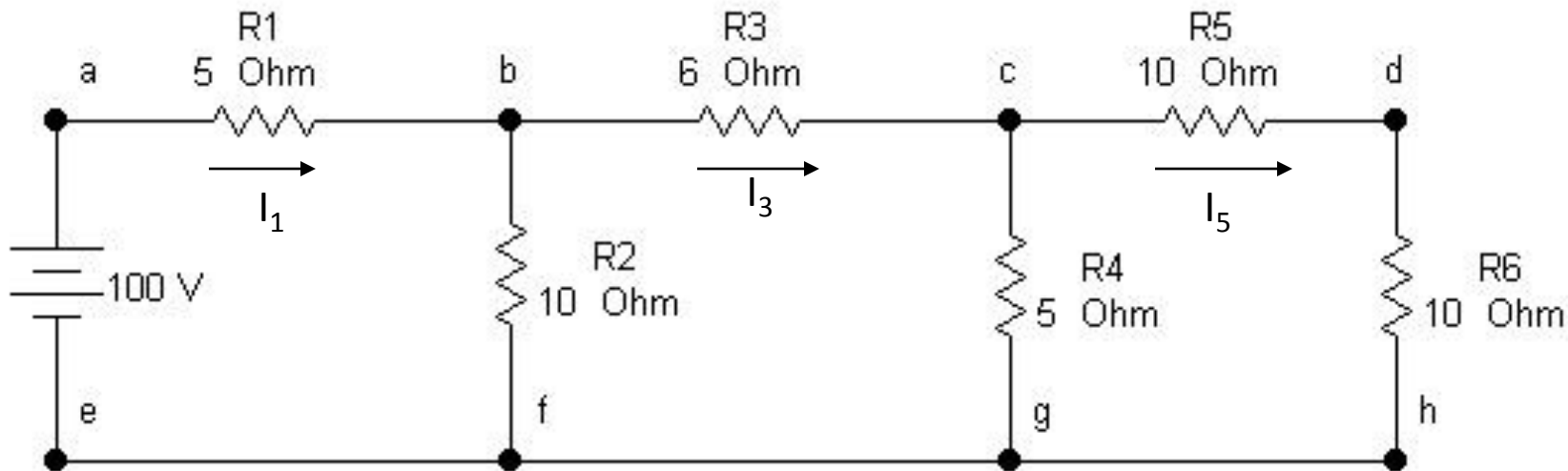
$$V_4 = \frac{R_{456}}{R_{456} + R_3} V_2 = \frac{4}{4 + 6} (50) = 20 \text{ V}$$

$$V_6 = \frac{R_6}{R_6 + R_5} V_4 = \frac{10}{10 + 10} (20) = 10 \text{ V}$$

Contoh Soal

Tentukan arus yang melalui tahanan-tahanan R1, R3 dan R5.





$$R_{56} = 10 + 10 = 20 \Omega \quad \rightarrow \quad R_{456} = \frac{(5)(20)}{5 + 20} = 4 \Omega$$

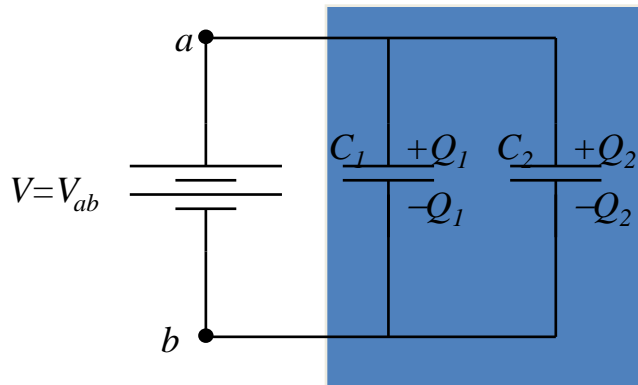
$$R_{3456} = R_3 + R_{456} = 6 + 4 = 10 \Omega \quad \rightarrow \quad R_{23456} = \frac{(10)(10)}{10 + 10} = 5 \Omega$$

$$I_1 = \frac{100}{R_1 + R_{23456}} = \frac{100}{5 + 5} = 10 \text{ A} \quad I_3 = \frac{R_2}{R_2 + R_{3456}} I_1 = \frac{10}{10 + 10} (10) = 5 \text{ A}$$

$$I_5 = \frac{R_4}{R_4 + R_{56}} I_3 = \frac{5}{5 + 20} (5) = 1 \text{ A}$$

Rangkaian Kapasitor

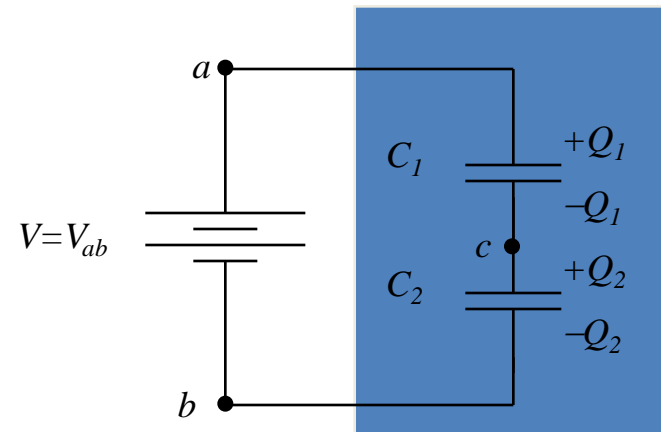
Paralel



$$V_1 = V_2 = V$$

$$Q_1 + Q_2 = Q \quad C_{eq} = C_1 + C_2$$

Seri



$$V = V_1 + V_2$$

$$Q_1 = Q_2 = Q$$

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

HUBUNGAN SERI :

Muatan sama $Q = Q_1 = Q_2$

Tegangan dibagi-bagi $V = V_1 + V_2$

Kapasitansi ekivalen (gabungan) C_{gab} :

$$C_{gab} = \frac{Q}{V}$$

$$Q_1 = C_1 V_1 \quad Q_2 = C_2 V_2$$

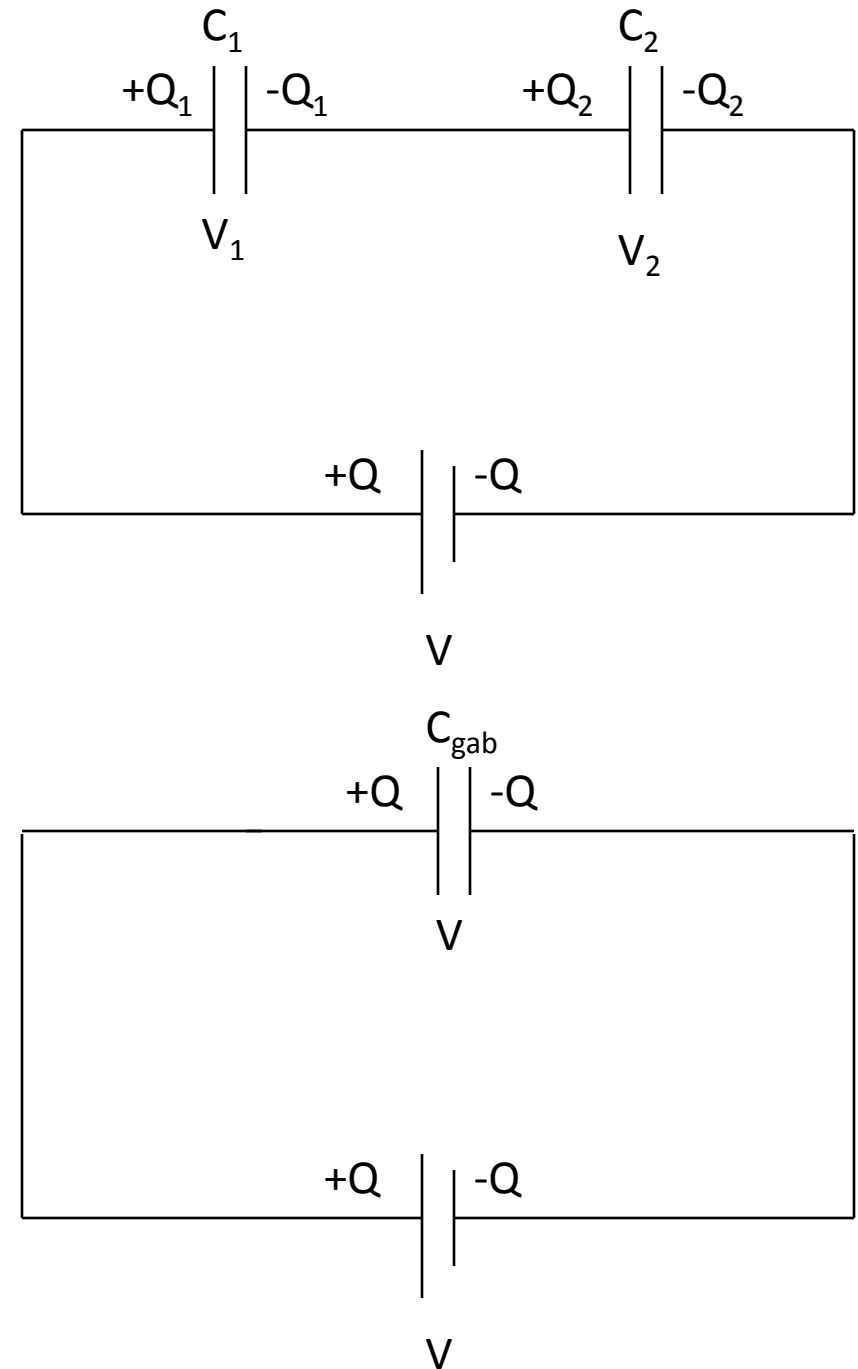
$$Q = Q_1 = Q_2 \rightarrow V_1 = \frac{Q}{C_1} \quad V_2 = \frac{Q}{C_2}$$

$$V = V_1 + V_2 = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2}$$

$$V = Q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right) \rightarrow \frac{V}{Q} = \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right)$$

$$\frac{1}{C_{gab}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \rightarrow \frac{1}{C_{gab}} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{C_i}$$

$$C_{12} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$



HUBUNGAN PARALEL:

Muatan dibagi-bagi $Q = Q_1 + Q_2$

Tegangan sama $V = V_1 = V_2$

Kapasitansi ekivalen (gabungan) C_{gab} :

$$C_{gab} = \frac{Q}{V}$$

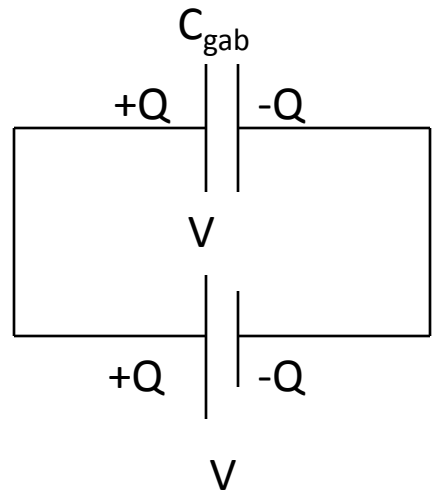
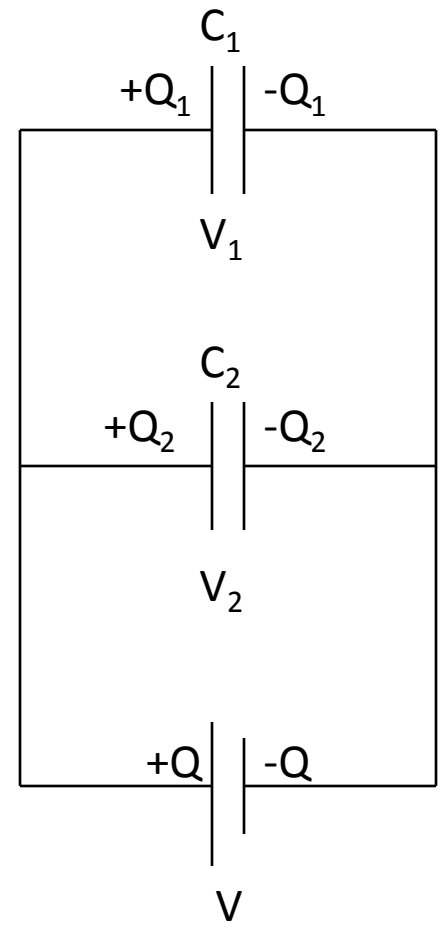
$$Q_1 = C_1 V_1 \quad Q_2 = C_2 V_2$$

$$V_1 = V_2 = V \rightarrow Q_1 = C_1 V \quad Q_2 = C_2 V$$

$$Q = Q_1 + Q_2 = C_1 V + C_2 V = (C_1 + C_2) V$$

$$C_{gab} = \frac{Q}{V} \rightarrow C_{gab} = \sum_{i=1}^N C_i$$

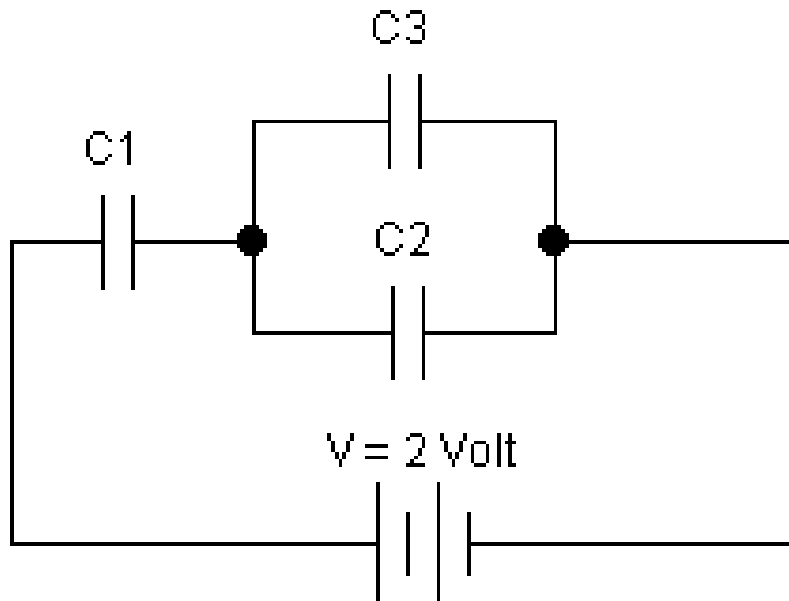
$$C_{12} = C_1 + C_2$$



Contoh Soal

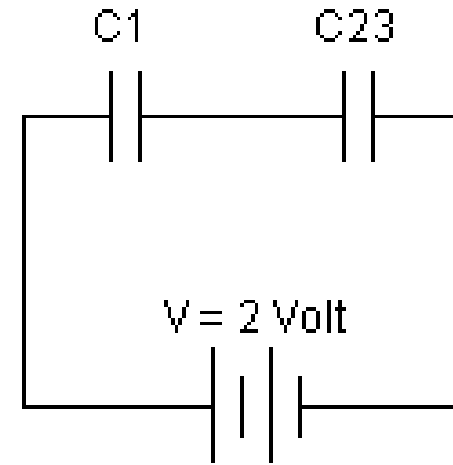
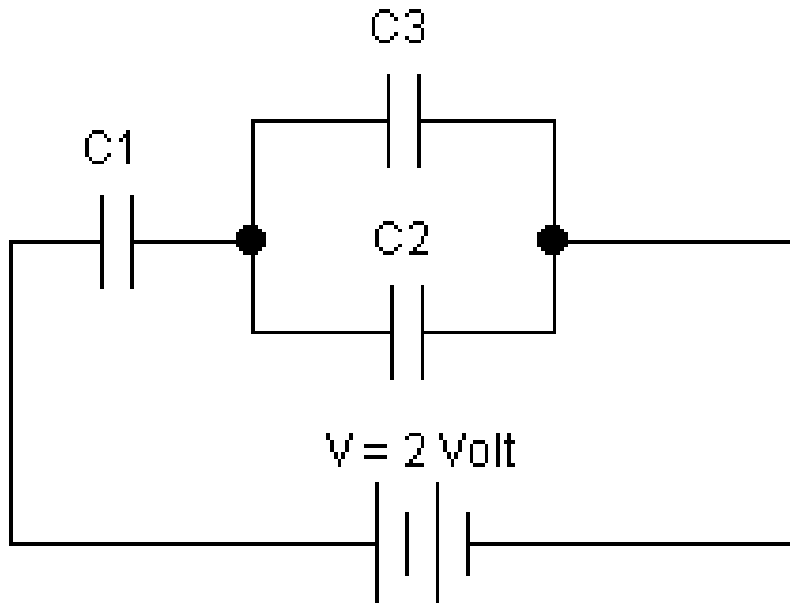
Tiga buah kapasitor $C_1 = 3 \mu\text{F}$, $C_2 = 1 \mu\text{F}$ dan $C_3 = 2 \mu\text{F}$ dirangkai seperti terlihat pada gambar di bawah ini. Rangkaian ini dihubungkan dengan sumber tegangan 2 volt. Hitunglah :

- Kapasitansi ekivalen rangkaian tersebut.
- Besarnya muatan yang tersimpan pada C_3 .



Jawab :

a)



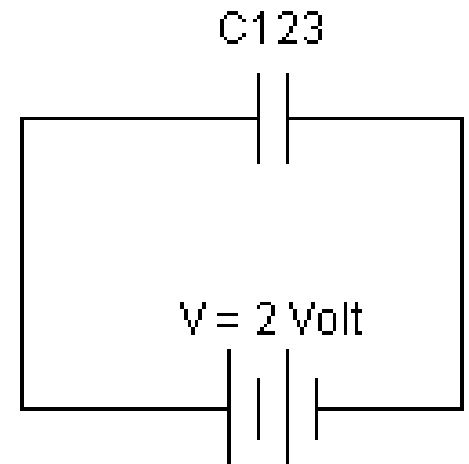
$$C_1 = 3 \mu\text{F} \quad C_2 = 1 \mu\text{F} \quad C_3 = 2 \mu\text{F}$$

C_2 & C_3 paralel :

$$C_{23} = C_2 + C_3 = (1 + 2) = 3 \mu\text{F}$$

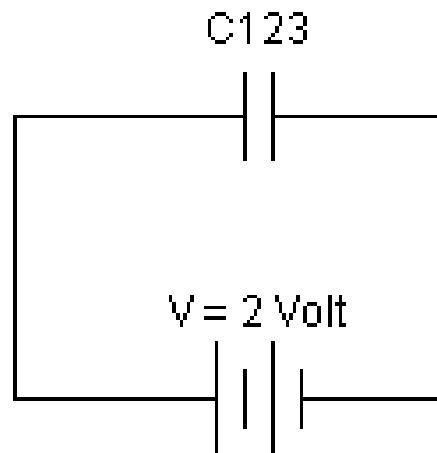
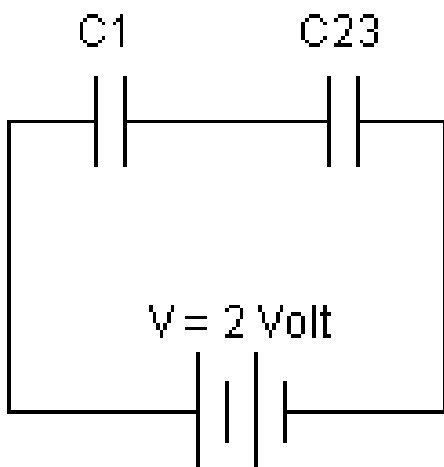
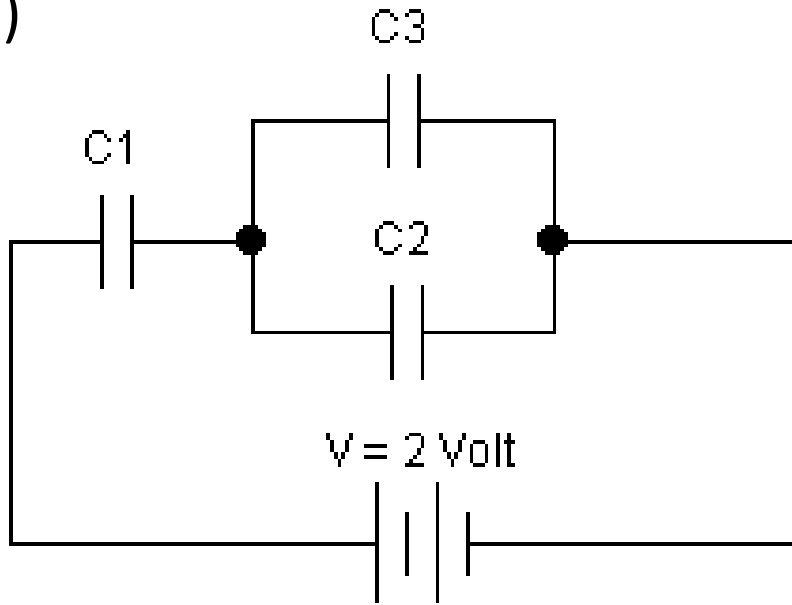
C_1 & C_{23} seri :

$$C_{\text{eq}} = C_{123} = \frac{C_1 C_{23}}{C_1 + C_{23}} = \frac{(3)(3)}{3 + 3} = 1,5 \mu\text{F}$$



Jawab :

b)



$$C_1 = 3 \mu\text{F} \quad C_2 = 1 \mu\text{F} \quad C_3 = 2 \mu\text{F}$$

$$C_{123} = 1,5 \mu\text{F}$$

$$\begin{aligned} \text{Seri : } Q_{123} &= Q_1 = Q_{23} = C_{123} V_{123} \\ &= (1,5)(2) = 3 \mu\text{C} \end{aligned}$$

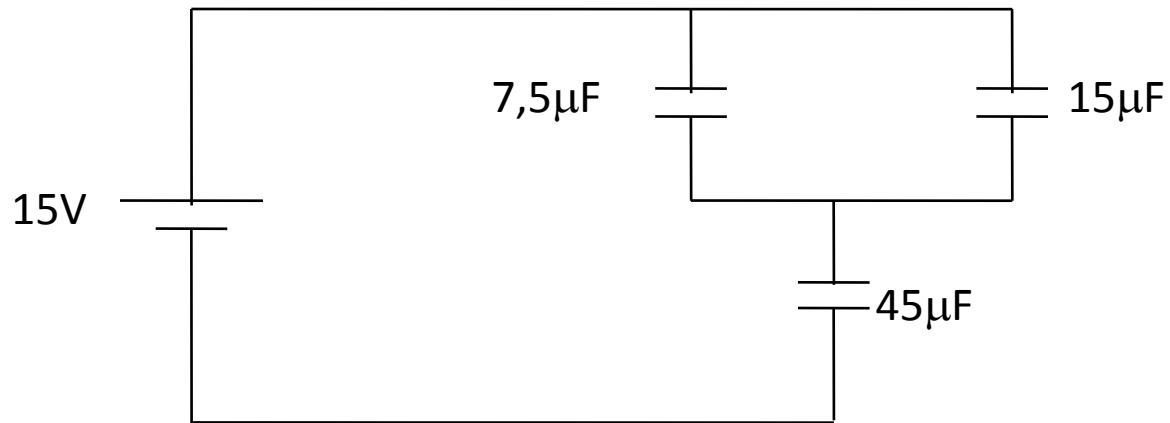
$$\text{Paralel : } V_{23} = V_2 = V_3$$

$$V_{23} = \frac{Q_{23}}{C_{23}} = \frac{3}{3} = 1 \text{ V}$$

$$Q_3 = C_3 V_3 = (2)(1) = 2 \mu\text{C}$$

Soal Latihan

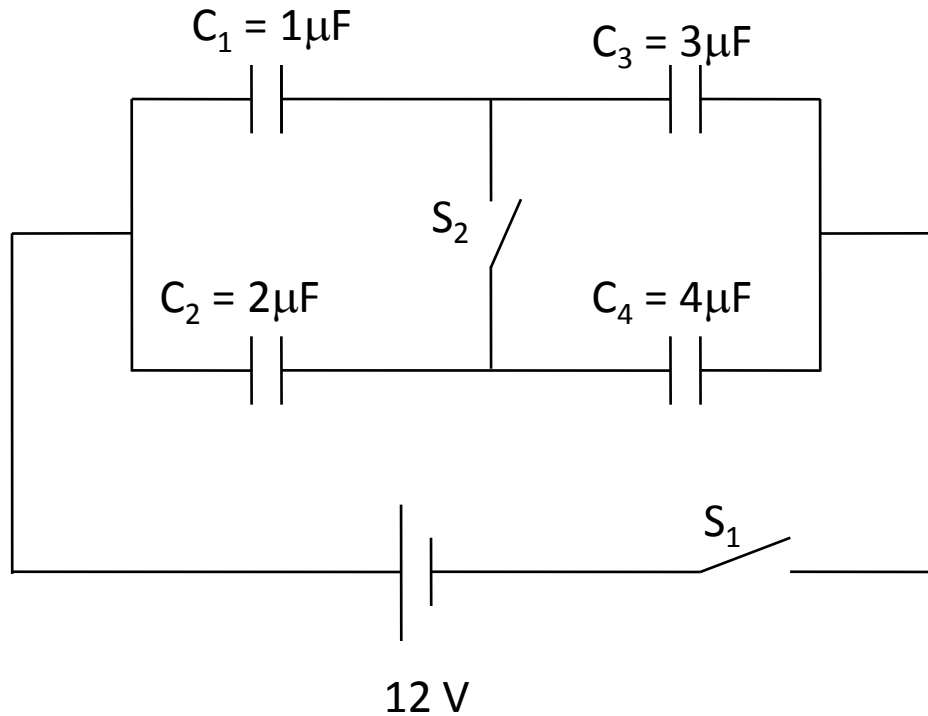
Hitung besarnya muatan pada kapasitor $15\ \mu\text{F}$ dari rangkaian di bawah ini.



Contoh Soal

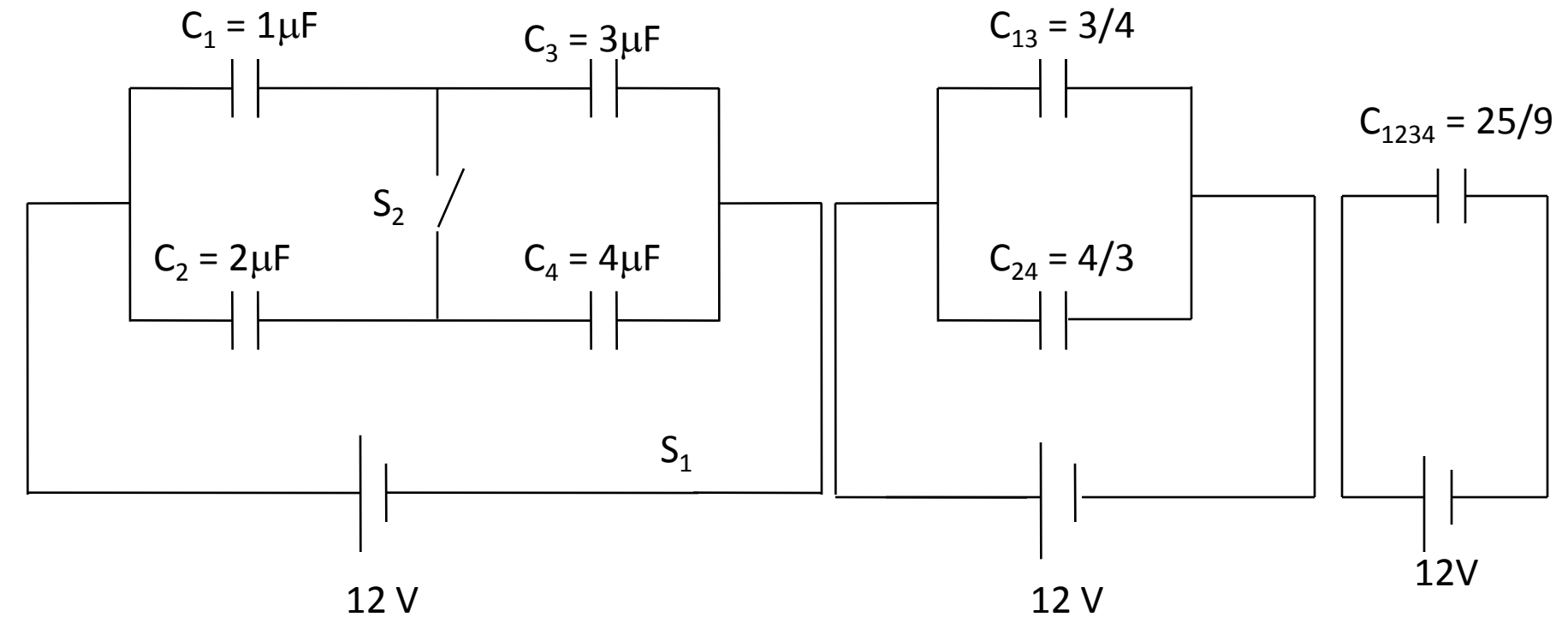
Tentukan muatan pada masing-masing kapasitor pada saat :

- Saklar S_1 ditutup dan S_2 dibuka.
- Saklar S_1 dan S_2 ditutup.



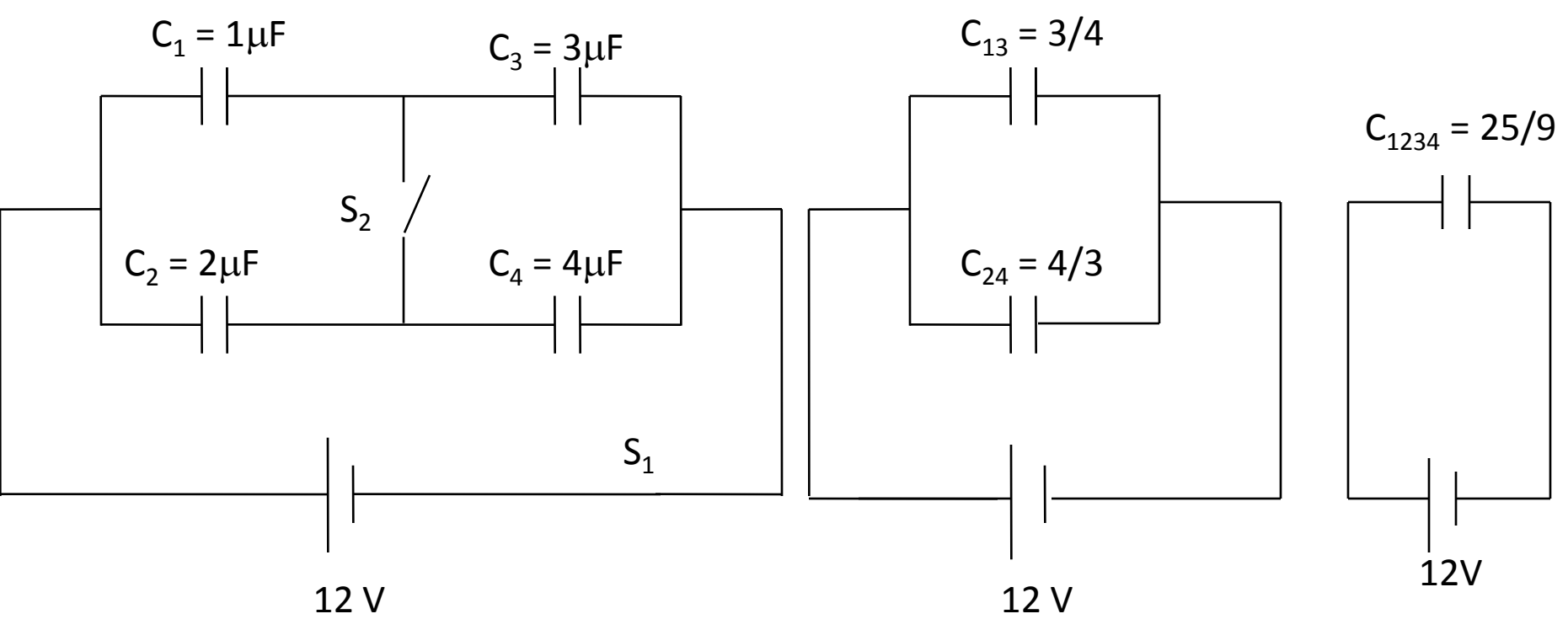
Jawab :

a) S_1 ditutup



$$\text{Seri : } C_{13} = \frac{C_1 C_3}{C_1 + C_3} = \frac{(1)(3)}{1+3} = \frac{3}{4} \quad C_{24} = \frac{C_2 C_4}{C_2 + C_4} = \frac{(2)(4)}{2+4} = \frac{4}{3}$$

$$\text{Paralel : } C_{1234} = C_{13} + C_{24} = \frac{3}{4} + \frac{4}{3} = \frac{9+16}{12} = \frac{25}{12}$$



Paralel : $V_{13} = V_{24} = V_{1234} = 12\text{V}$

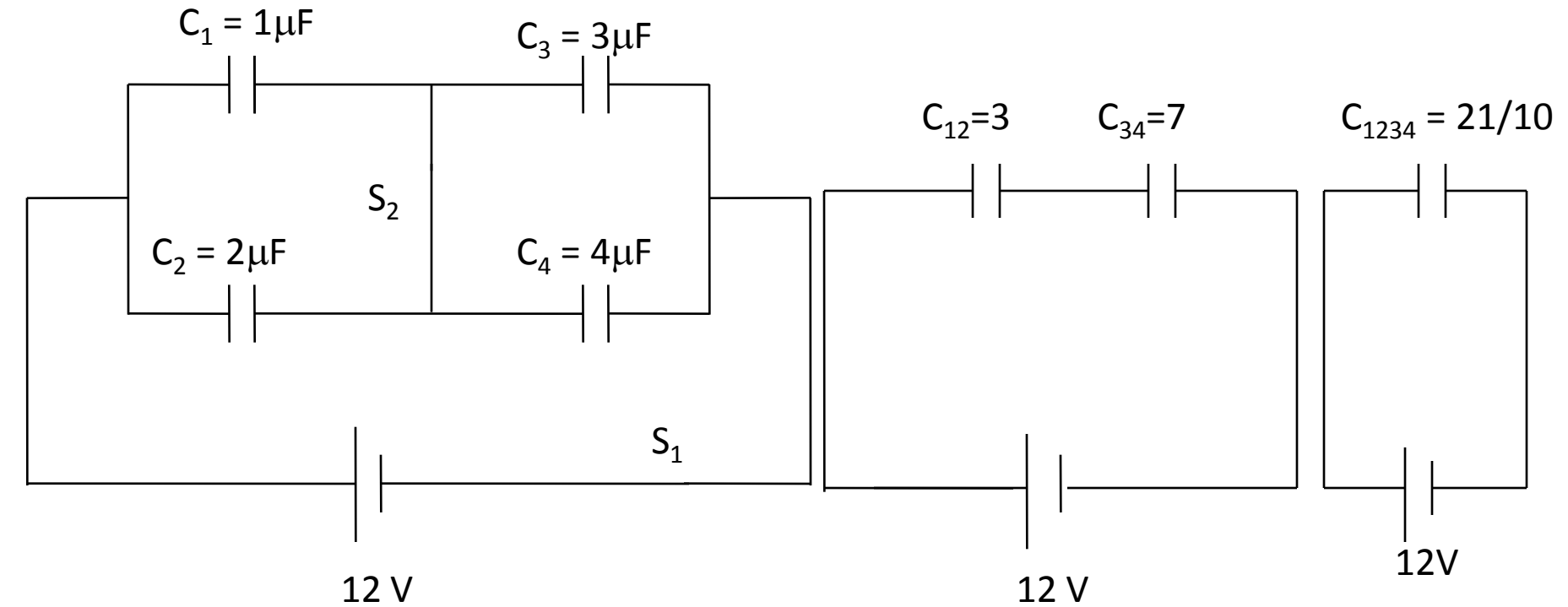
$$Q_{13} = C_{13} V_{13} = \frac{3}{4}(12) = 9 \quad Q_{24} = C_{24} V_{24} = \frac{4}{3}(12) = 16$$

Seri : $Q_1 = Q_3 = Q_{13} = 9\mu\text{C}$

$$Q_2 = Q_4 = Q_{24} = 16\mu\text{C}$$

Jawab :

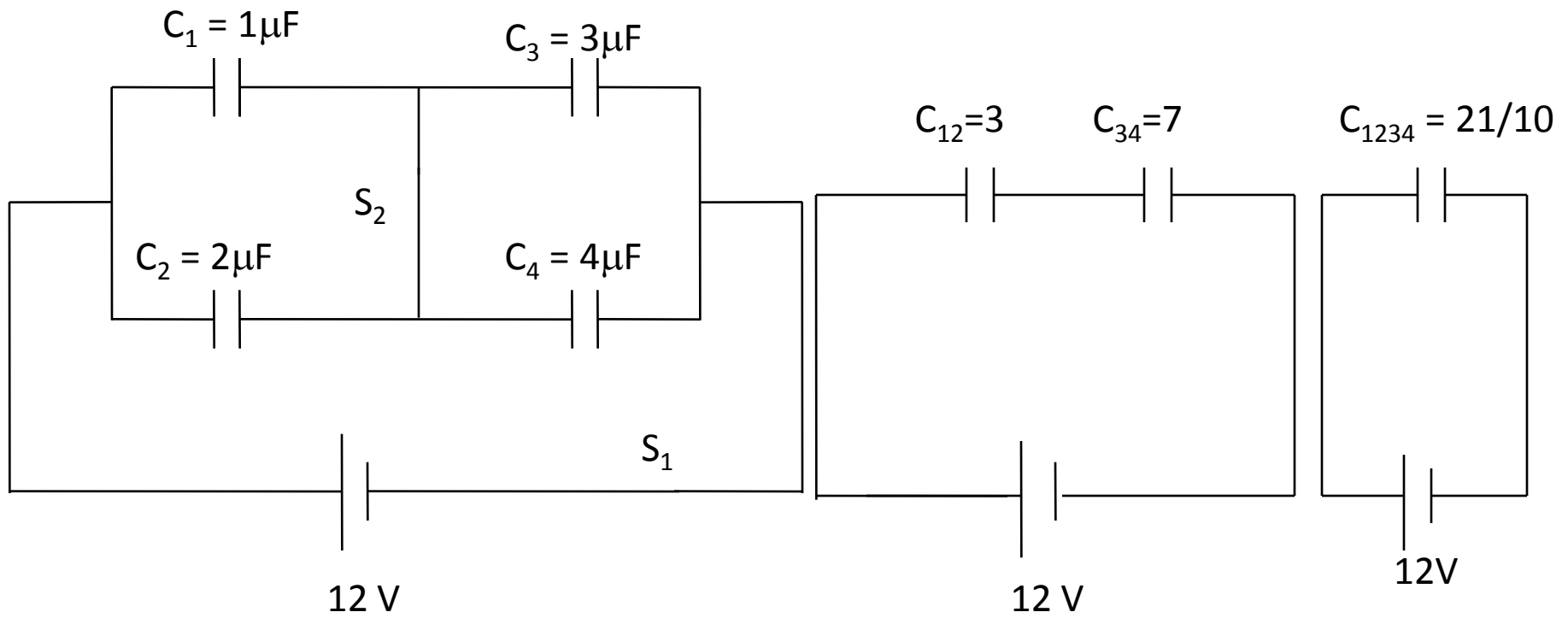
b) S_1 dan S_2 ditutup



$$\text{Paralel : } C_{12} = C_1 + C_2 = 1 + 2 = 3 \quad C_{34} = C_3 + C_4 = 3 + 4 = 7$$

$$\text{Seri : } C_{1234} = \frac{C_{12} C_{34}}{C_{12} + C_{34}} = \frac{(3)(7)}{3 + 7} = \frac{21}{10}$$

$$Q_{1234} = C_{1234} V_{1234} = \frac{21}{10} (12) = 25,2$$



$$\text{Seri : } Q_{12} = Q_{34} = Q_{1234} = 25,2$$

$$V_{12} = \frac{Q_{12}}{C_{12}} = \frac{25,2}{3} = 8,4 \quad V_{34} = \frac{Q_{34}}{C_{34}} = \frac{25,2}{7} = 3,6$$

$$\text{Paralel : } V_1 = V_2 = V_{12} = 8,4 \quad V_3 = V_4 = V_{34} = 3,6$$

$$Q_1 = C_1 V_1 = (1)(8,4) = 8,4\mu\text{F} \quad Q_2 = C_2 V_2 = (2)(8,4) = 16,8\mu\text{F}$$

$$Q_3 = C_3 V_3 = (3)(3,6) = 10,8\mu\text{F} \quad Q_4 = C_4 V_4 = (4)(3,6) = 14,4\mu\text{F}$$

Contoh :

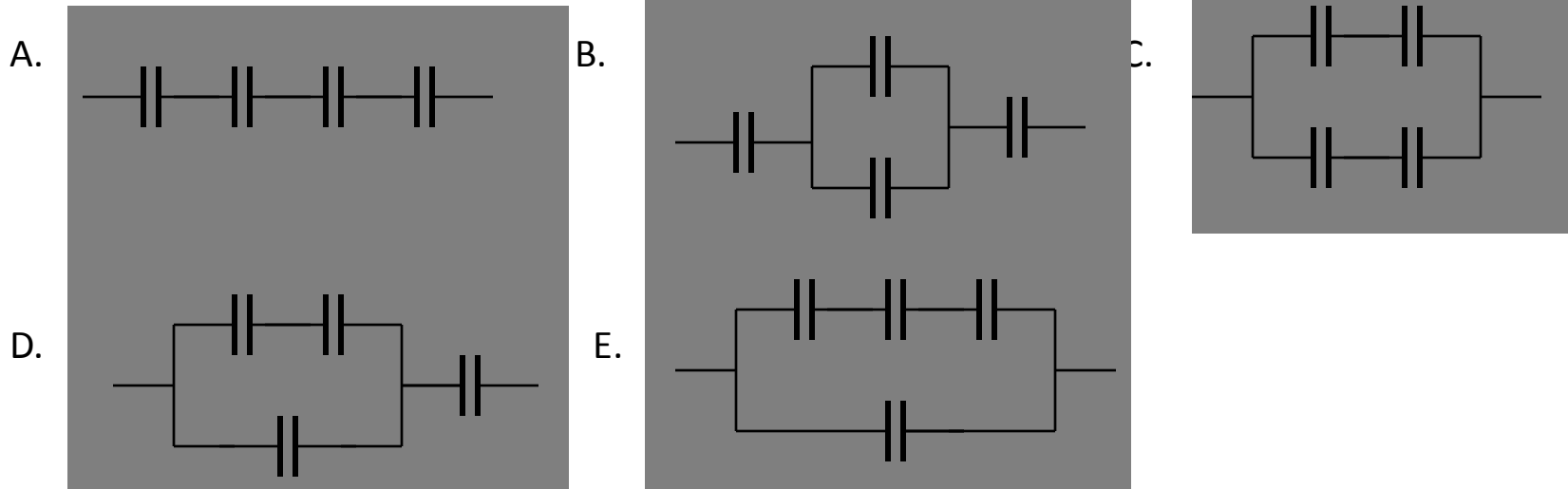
Dua buah kapasitor masing-masing dengan muatan 3 mF dan 6 mF dihubungkan paralel melalui baterai 18 V. Tentukan kapasitansi ekuivalen dan jumlah muatan yang tersimpan

Contoh :

Dua buah kapasitor masing-masing dengan muatan 3 μF dan 6 μF dihubungkan seri melalui baterai 18 V. Tentukan kapasitansi ekuivalen dan jumlah muatan yang tersimpan

Contoh Soal:

- Empat buah kapasitor masing-masing kapasitasnya C , dirangkai seperti pada gambar di bawah ini. Rangkaian yang memiliki kapasitas $0,6 C$ adalah,



JAWAB : D

Analisis Rangkaian

HUKUM KIRCHOFF

Hukum Kirchoff Arus (HKA) :

Jumlah arus pada suatu titik cabang selalu nol

Hukum Kirchoff Tegangan (HKT):

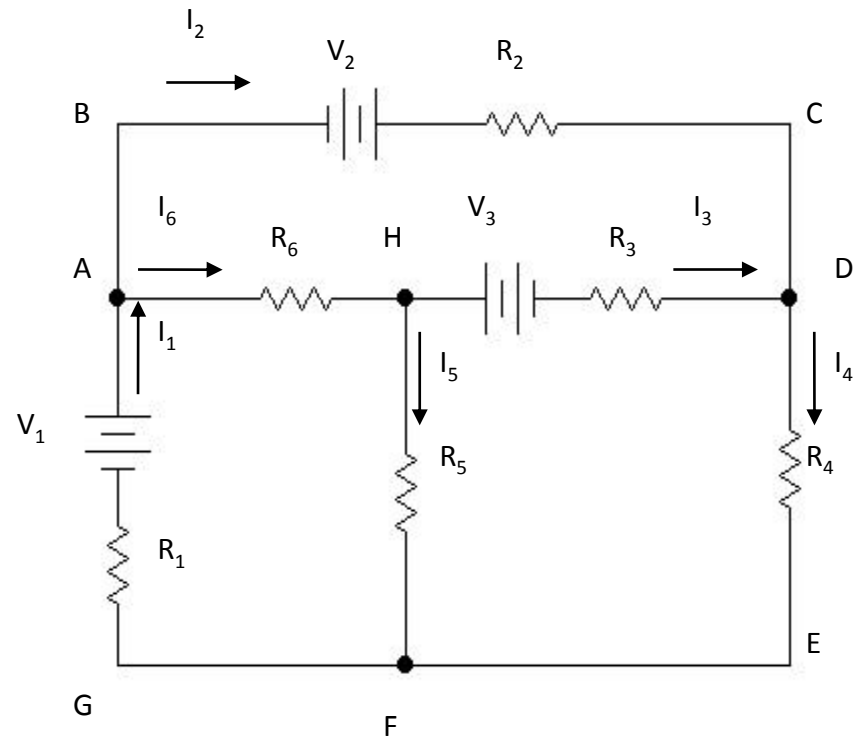
Jumlah tegangan pada suatu simpal (loop) selalu nol

Titik cabang : 4

Simpal : 7

Variabel tak diketahui : 5

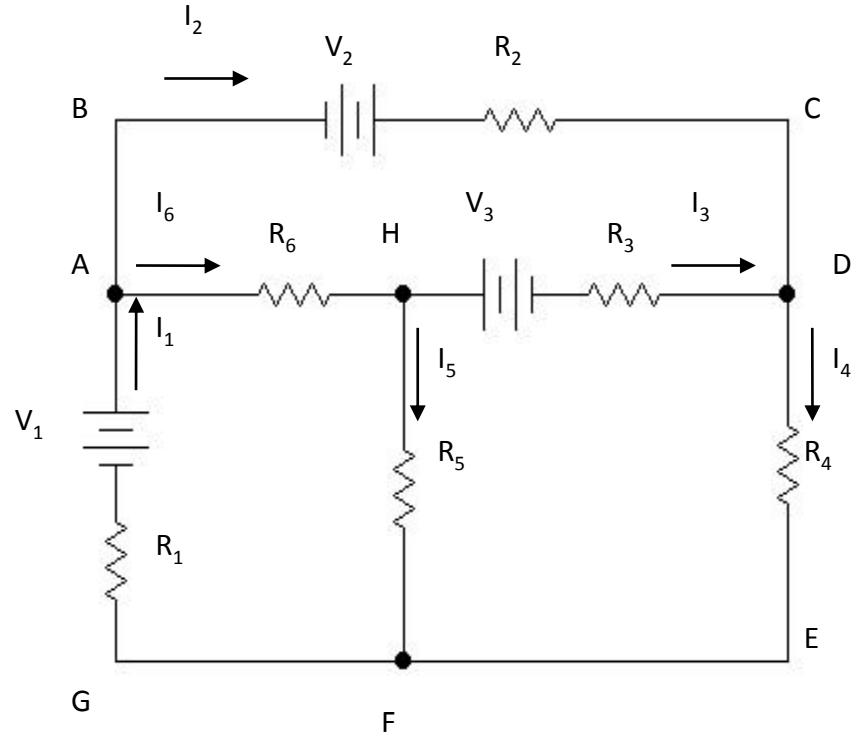
$HKA \leq HKT$



Arus masuk positif

Arus keluar negatif

arus masuk = arus keluar



Titik A: $I_1 - I_2 - I_6 = 0 \rightarrow I_1 = I_2 + I_6$

Titik D: $I_2 + I_3 - I_4 = 0 \rightarrow I_2 + I_3 = I_4$

Titik F: $I_4 + I_5 - I_1 = 0 \rightarrow I_4 + I_5 = I_1$

Titik H: $I_6 - I_3 - I_5 = 0 \rightarrow I_6 = I_3 + I_5$

Melalui sumber tegangan :

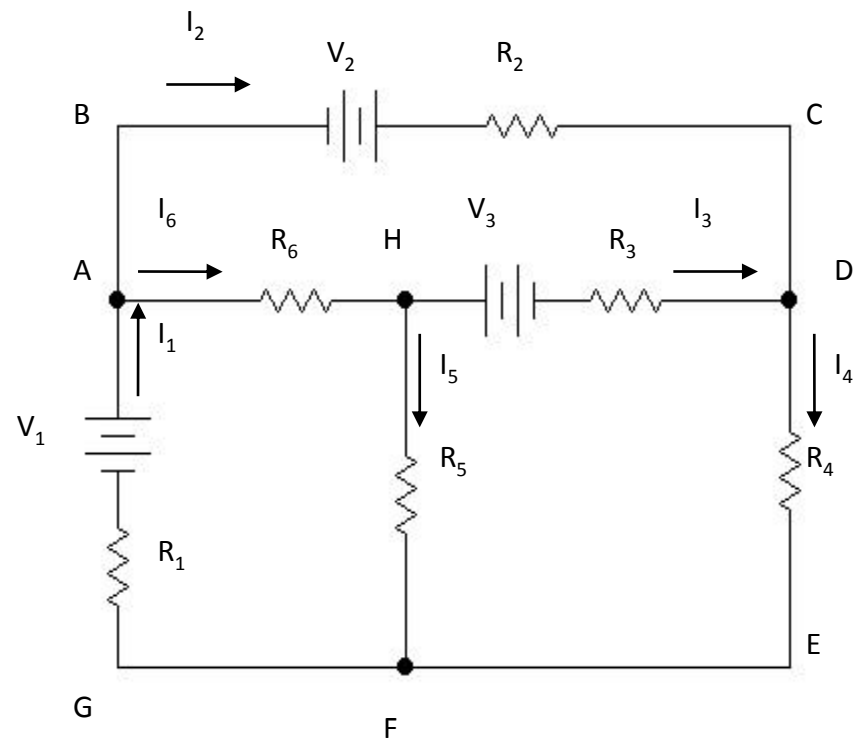
dari - ke + positif (naik)

dari + ke - negatif (turun)

Melalui tahanan :

searah arus \rightarrow negatif (turun)

Lawan arus \rightarrow positif (naik)



$$\text{Simpal GAHFG: } V_1 - R_1 I_1 - R_6 I_6 - R_5 I_5 = 0$$

$$\text{Simpal FHDEF: } -V_3 + R_5 I_5 - R_3 I_3 - R_4 I_4 = 0$$

$$\text{Simpal ABCDHA: } V_2 + V_3 - R_2 I_2 + R_3 I_3 + R_6 I_6 = 0$$

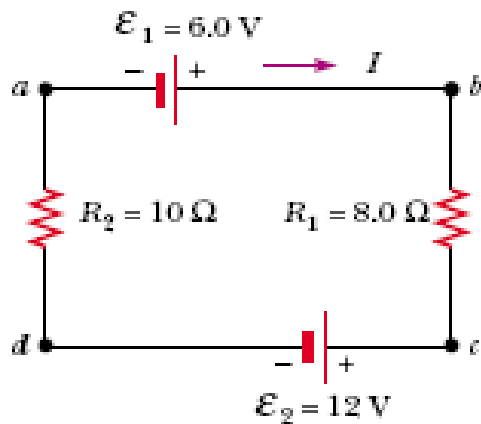
$$\text{Simpal GABCDEF: } V_1 + V_2 - R_1 I_1 - R_2 I_2 - R_4 I_4 = 0$$

$$\text{Simpal GAHEFG: } V_1 - V_3 - R_1 I_1 - R_6 I_6 - R_3 I_3 - R_4 I_4 = 0$$

Contoh soal 1

Suatu loop tunggal terdiri dari 2 resistor dan 2 baterai seperti pada gambar.

a) Hitunglah arus listrik dalam rangkaian.



$$\sum \Delta V = 0$$

$$\mathcal{E}_1 - IR_1 - \mathcal{E}_2 - IR_2 = 0$$

$$I = \frac{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2}{R_1 + R_2} = \frac{6.0 \text{ V} - 12 \text{ V}}{8.0 \Omega + 10 \Omega} = -0.33 \text{ A}$$

b) Tentukan daya listrik pada masing-masing resistor.

$$\mathcal{P}_1 = I^2 R_1 = (0.33 \text{ A})^2 (8.0 \Omega) = 0.87 \text{ W}$$

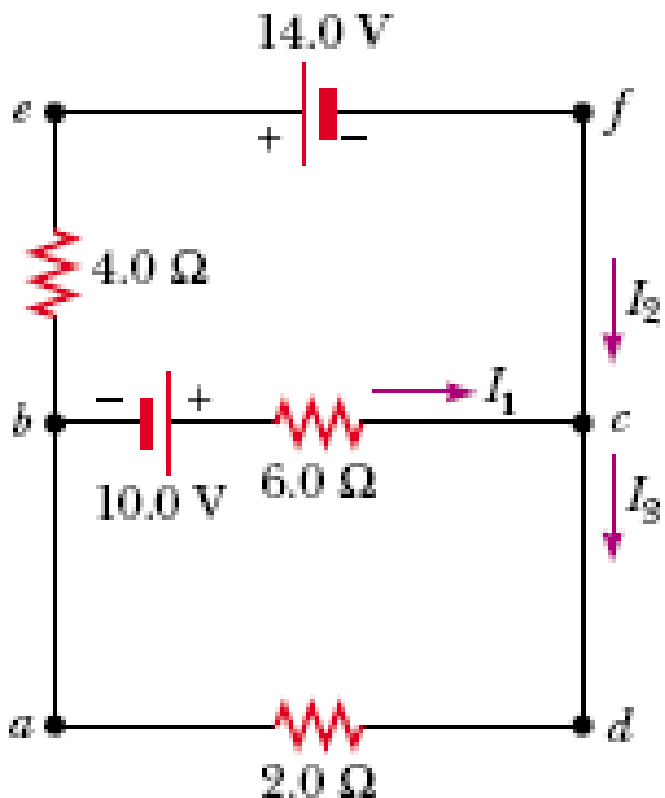
$$\mathcal{P}_2 = I^2 R_2 = (0.33 \text{ A})^2 (10 \Omega) = 1.1 \text{ W}$$

Contoh soal 2

Tentukan arus I_1 , I_2 dan I_3 dari rangkaian berikut.

Ada 3 variable yang tidak diketahui.

➔ dibutuhkan 3 persamaan



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

$$(2) \quad \text{abcd} \quad 10.0 \text{ V} - (6.0 \, \Omega)I_1 - (2.0 \, \Omega)I_3 = 0$$

$$(3) \quad \text{befcb} \quad -14.0 \text{ V} + (6.0 \, \Omega)I_1 - 10.0 \text{ V} - (4.0 \, \Omega)I_2 = 0$$

$$10.0 \text{ V} - (6.0 \, \Omega)I_1 - (2.0 \, \Omega)(I_1 + I_2) = 0$$

$$(4) \quad 10.0 \text{ V} = (8.0 \, \Omega)I_1 + (2.0 \, \Omega)I_2$$

Contoh soal 2

- Bagi pers. (3) dengan 2 dan kemudian diatur lagi

$$(5) \quad -12.0 \text{ V} = -(3.0 \, \Omega)I_1 + (2.0 \, \Omega)I_2$$

- Kurangi pers. (4) dengan pers. (5) kemudian eliminasi I_2
 $22.0 \text{ V} = (11.0 \, \Omega)I_1$

$$I_1 = 2.0 \text{ A}$$

- Masukkan I_1 ke pers. (5) untuk memperoleh I_2

$$\begin{aligned}(2.0 \, \Omega)I_2 &= (3.0 \, \Omega)I_1 - 12.0 \text{ V} \\ &= (3.0 \, \Omega)(2.0 \text{ A}) - 12.0 \text{ V} = -6.0 \text{ V}\end{aligned}$$

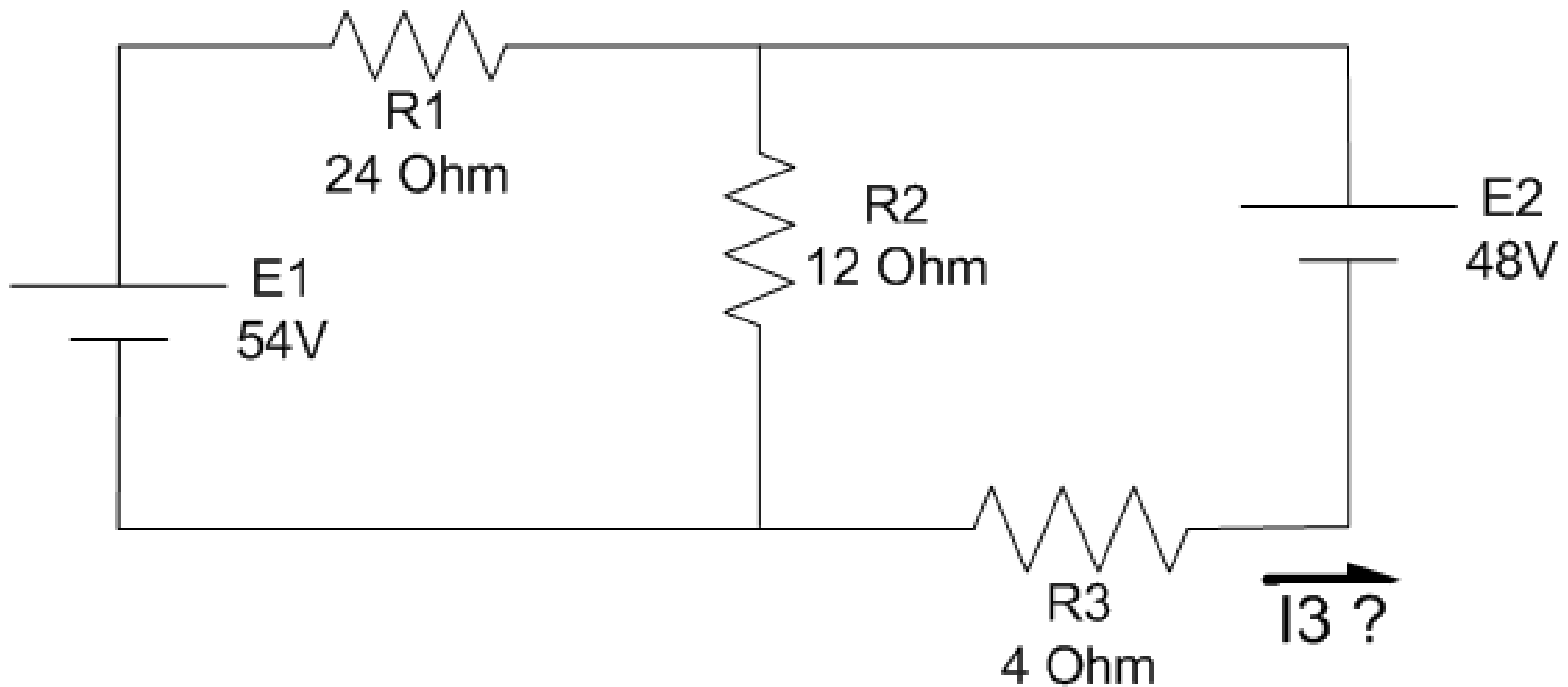
$$I_2 = -3.0 \text{ A}$$

- Akhirnya diperoleh I_3

$$I_3 = I_1 + I_2 = -1.0 \text{ A}$$

Contoh :

- Tentukan arus I_3 ?



Contoh Soal

Hitung arus I_2 pada rangkaian di bawah ini dengan menggunakan hukum Kirchoff

Jawab :

Pilih arah arus sembarang, bila ternyata negatif berarti arah sebenarnya adalah kebalikannya

HKT :

$$12 - 2I_1 - 4I_2 - 12 = 0$$

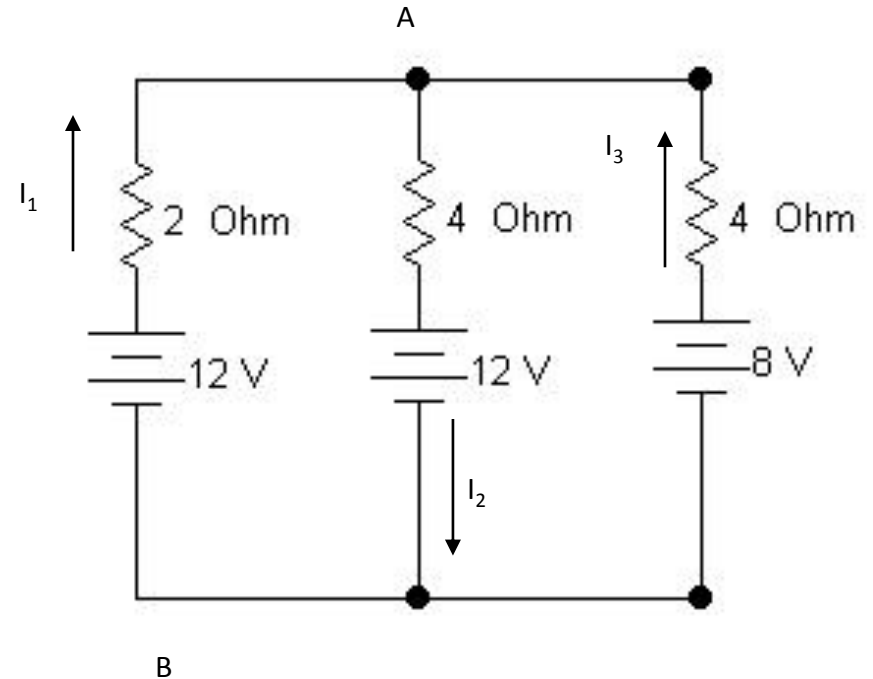
$$2I_1 = -4I_2 \rightarrow I_1 = -2I_2$$

$$12 + 4I_2 + 4I_3 - 8 = 0$$

$$4I_3 = -4I_2 - 4 \rightarrow I_3 = -I_2 - 1$$

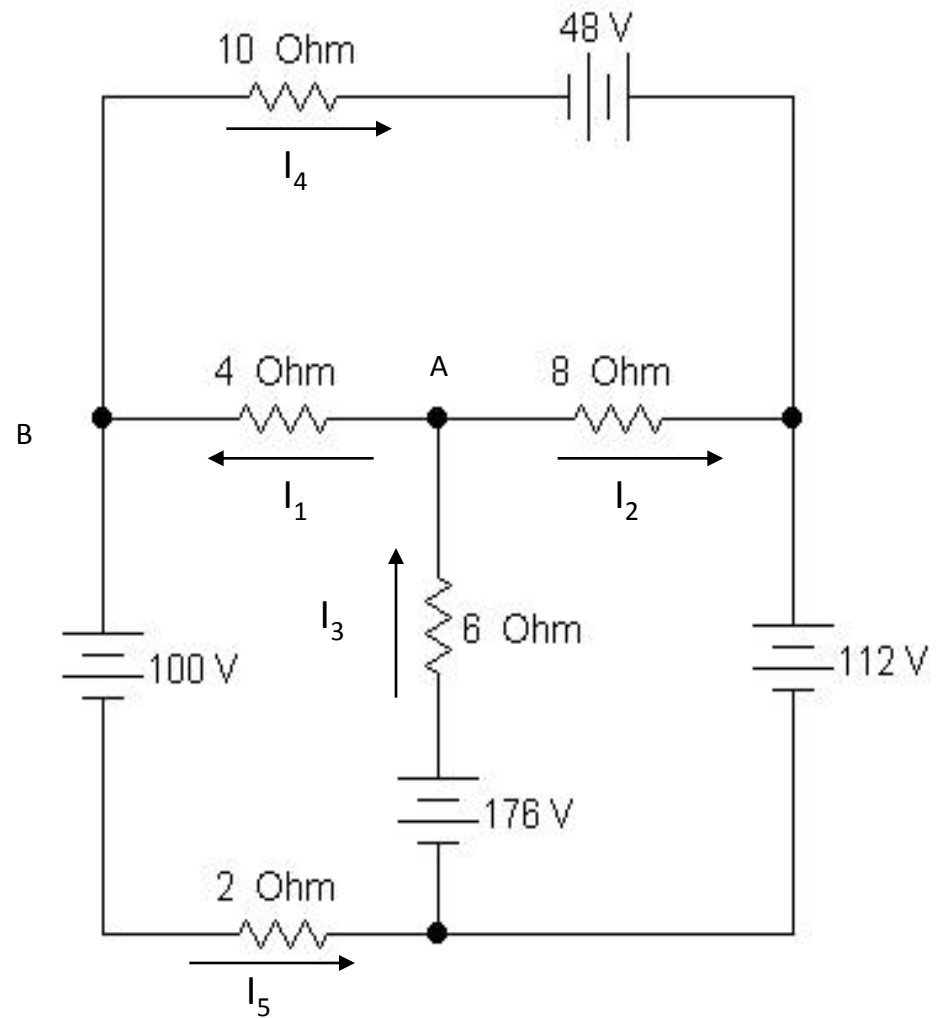
HKA :

$$I_2 = I_1 + I_3 \rightarrow I_2 = -2I_2 - I_2 - 1 \rightarrow I_2 = -\frac{1}{4} \text{ A (arah keatas)}$$



Contoh Soal

Tentukan arus yang melewati tahanan 6Ω .



$$I_1 = I_3 - I_2$$

$$I_4 = I_3 - I_2 - I_5$$

$$-4I_2 + 10I_3 + 2I_5 = 76 \quad (1)$$

HKT (simpl atas) :

$$-10I_4 + 48 + 8I_2 - 4I_1 = 0$$

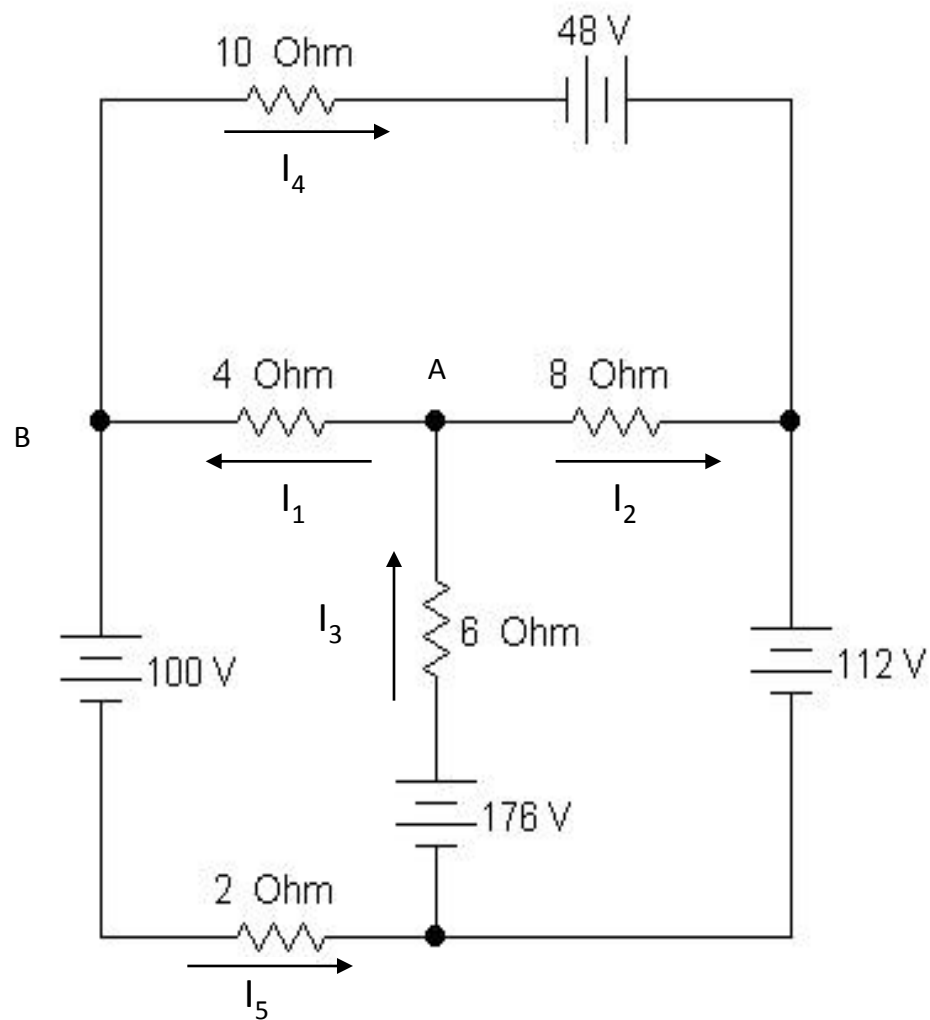
$$-10(I_3 - I_2 - I_5) + 8I_2 - 4(I_3 - I_2) = -48$$

$$22I_2 - 14I_3 + 10I_5 = -48 \quad (2)$$

HKT (simpl kanan) :

$$176 - 6I_3 - 8I_2 - 112 = 0$$

$$8I_2 + 6I_3 = 64 \quad (3)$$



$$-4I_2 + 10I_3 + 2I_5 = 76 \quad (1) \quad \rightarrow \quad I_5 = 38 + 2I_2 - 5I_3$$

$$22I_2 - 14I_3 + 10I_5 = -48 \quad (2)$$

$$8I_2 + 6I_3 = 64 \quad (3)$$

$$22I_2 - 14I_3 + 10I_5 = -48$$

$$22I_2 - 14I_3 + 10(38 + 2I_2 - 5I_3) = -48$$

$$42I_2 - 64I_3 = -428 \quad \rightarrow \quad I_2 = \frac{-428 + 64I_3}{42}$$

$$8I_2 + 6I_3 = 64$$

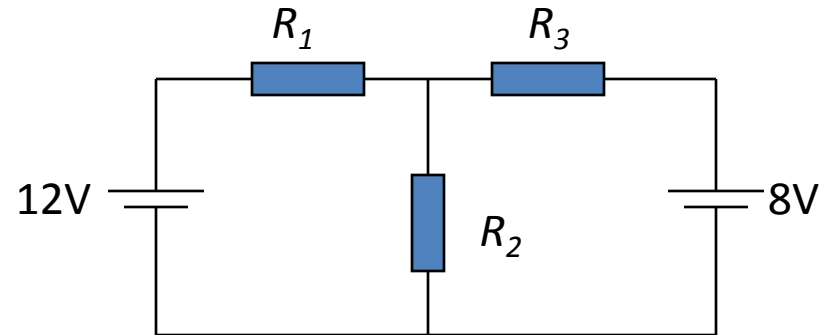
$$8\left(\frac{-428 + 64I_3}{42}\right) + 6I_3 = 64$$

$$764I_3 = 6112 \quad \rightarrow \quad I_3 = \frac{6112}{764} = 8 \text{ A (ke atas)}$$

Contoh

Diketahui $R_1=R_2=R_3=2\ \Omega$. Jika I_1 adalah arus yang mengalir pada R_1 , I_2 arus yang mengalir pada R_2 dan I_3 arus yang mengalir pada R_3 , maka besar masing-masing arus tersebut secara berturut-turut adalah:

- A. $8/3\ \text{A}$; $10/3\ \text{A}$; $2/3\ \text{A}$
- B. $10/3\ \text{A}$; $2/3\ \text{A}$; $8/3\ \text{A}$
- C. $2/3\ \text{A}$; $8/3\ \text{A}$; $10/3\ \text{A}$
- D. $10/3\ \text{A}$; $8/3\ \text{A}$; $2/3\ \text{A}$
- E. $2/3\ \text{A}$; $10/3\ \text{A}$; $8/3\ \text{A}$

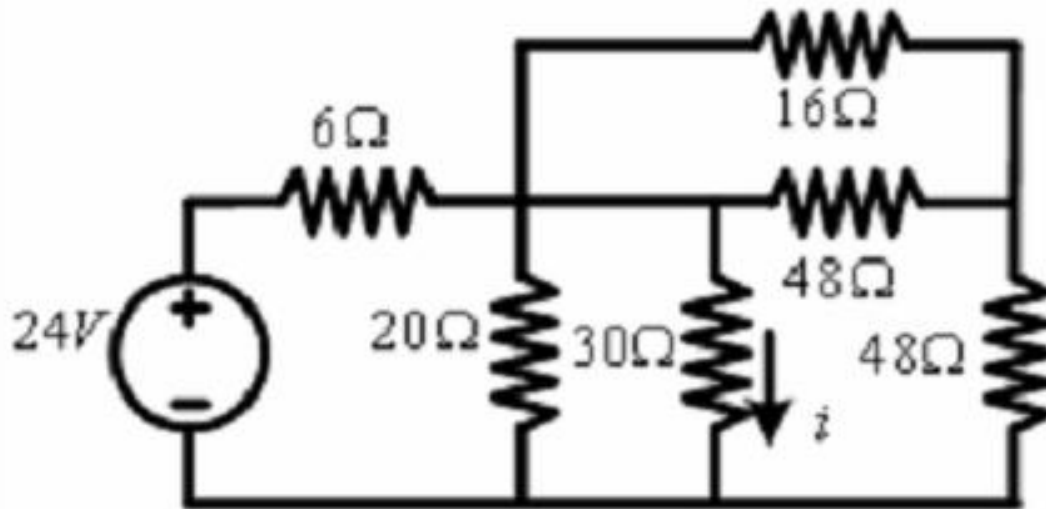


Praktikum |

Electronics Workbench (EWB)

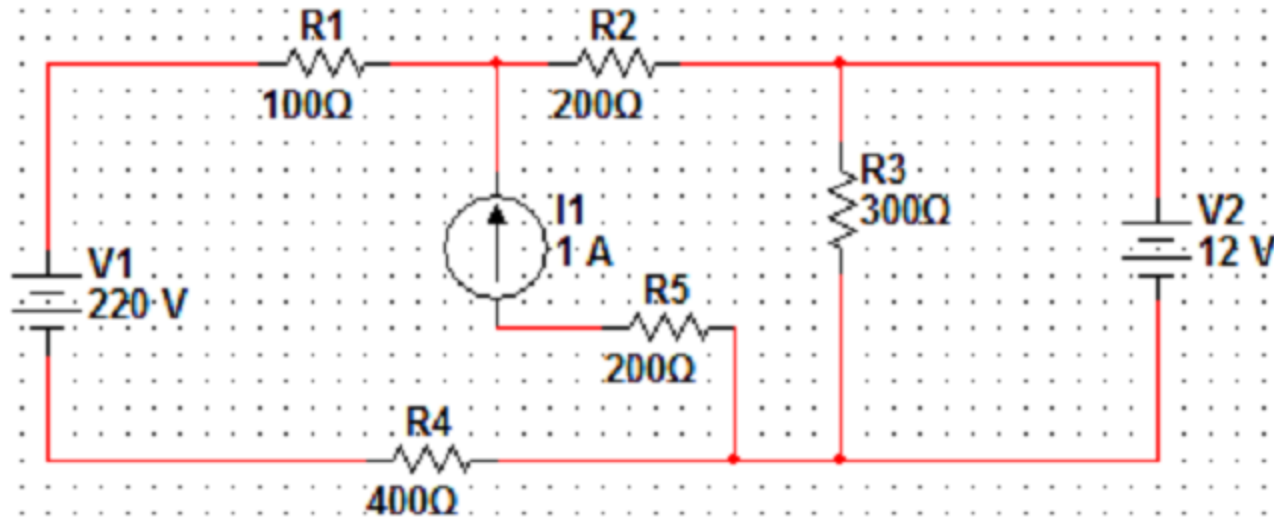
Praktikum 1

- Tentukan nilai arus i pada rangkaian dibawah ini pada dengan *software* EWB!

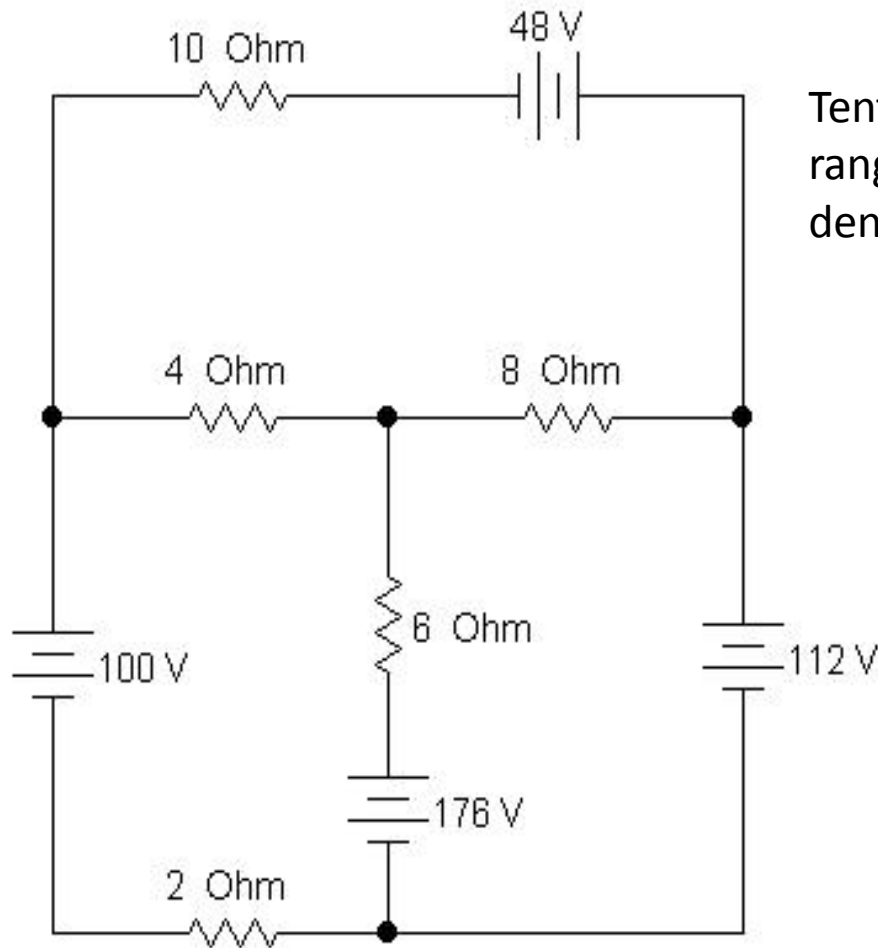


Praktikum 2

- Tentukan nilai arus i pada rangkaian dibawah ini pada dengan *software* EWB!



Praktikum 3



Tentukan nilai arus i pada rangkaian dibawah ini pada dengan *software* EWB!