

K H A I R U N N I S A

RANGKAIAN LISTRIK



Diterbitkan Atas Kerjasama
Deepublish dengan Politeknik Banjarmasin



RANGKAIAN LISTRIK

UU No 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Pelindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- i. penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv. penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

Khairunnisa

RANGKAIAN LISTRIK



RANGKAIAN LISTRIK

Penulis :
Khairunnisa

ISBN :
978-602-53458-4-5

ISBN Elektronis:
978-602-53809-1-4

Desain Sampul dan Tata letak :
Rahma Indera

Penerbit :
POLIBAN PRESS
Cetakan Pertama, Desember 2018

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa ijin tertulis dari penerbit

Redaksi :
Politeknik Negeri Banjarmasin, Jl. Brigjen H. Hasan Basry,
Pangeran, Komp. Kampus ULM, Banjarmasin Utara
Telp : (0511)3305052
Email : press@poliban.ac.id

Dicetak oleh :
PERCETAKAN DEEPUBLISH
Jl.Rajawali, G. Elang 6, No 3, Drono, Sardonoarjo, Ngaglik, Sleman
Jl.Kaliurang Km.9,3 – Yogyakarta 55581
Telp/Faks: (0274) 4533427
Website: www.deepublish.co.id
www.penerbitdeepublish.com
E-mail: cs@deepublish.co.id

Katalog Dalam Terbitan (KDT)
Khairunnisa—Cet. 1. — Rangkaian Listrik: Poliban Press, 2018.

x; 117 hlm.; 15,5 x 23 cm

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan petunjuk, bimbingan lahir dan batin sehingga Buku Ajar Rangkaian Listrik 1 ini selesai disusun. Selawat dan salam kami haturkan pada junjungan kita Nabi Muhammad SAW, para keluarga, sahabat dan semua pengikut beliau yang setia sampai akhir zaman.

Buku ini merupakan kompilasi dari beberapa materi yang pernah didapatkan penulis selama kuliah di Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya. Dalam buku ini, penulis berusaha menyusun materi secara sistematis dan berurutan. Dilihat dari sudut pemahaman penulis. Materi dibatasi hanya pada tahap yang penulis anggap bisa dipahami oleh mahasiswa tingkat Diploma di Politeknik. Pada setiap bab disertai dengan contoh soal dan pembahasan sehingga diharapkan mahasiswa dapat lebih memahami materi secara keseluruhan.

Agar dapat memahami materi dalam buku ini, mahasiswa perlu memiliki pengetahuan fisika dasar (listrik dan magnet) dan matematika dasar (persamaan sinusoida, matriks, determinan, diferensial, dan integral).

Tidak lupa penulis ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu hingga buku ini bisa diselesaikan. Kritik dan saran penulis terima dengan tangan terbuka demi tercapainya kesempurnaan untuk kebaikan kita bersama.

Wassalam,

Banjarmasin, 2018

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	v	
DAFTAR ISI	vi	
BAB I	BESARAN DAN SATUAN RANGKAIAN	
	LISTRIK	1
1.1	Tujuan Instruksional Umum.....	1
1.2	Tujuan Instruksional Khusus	1
1.3	Pendahuluan.....	2
1.4	Sistem Satuan	3
1.5	Besaran dan Satuan Listrik	4
1.5.1.	Muatan Listrik	4
1.5.1.1	Teori Elektron.....	4
1.5.1.2	Satuan Muatan Listrik.....	6
1.5.2.	Arus.....	7
1.5.2.1	Arah Arus Listrik	7
1.5.2.2	Kuat Arus Listrik	9
1.5.3.	Tegangan	10
1.5.4.	Daya.....	13
1.6	Soal-soal Latihan.....	15
BAB II	KOMPONEN RANGKAIAN LISTRIK.....	19
2.1	Tujuan Instruksional Umum.....	19
2.2	Tujuan Instruksional Khusus	19
2.3	Pendahuluan.....	20
2.4	Sumber Rangkaian Listrik.....	20
2.4.1.	Sumber Sempurna (Bebas)	21
2.4.1.1	Sumber Tegangan Sempurna.....	21
2.4.1.2	Sumber Arus Sempurna.....	22

2.4.2.	Sumber Tak Sempurna (Tergantung)	22
2.4.3.	Sumber DC (<i>Direct Current</i> – Searah).....	23
2.4.4.	Sumber AC (<i>Alternting Current</i> – Bolak-balik)	23
2.5	Unsur Rangkaian Listrik	23
2.5.1.	Resistor	24
2.5.1.1	Karakteristik $i - v$ Resistor	25
2.5.1.2	Parameter Resistansi	27
2.5.1.3	Daya pada Resistor	28
2.5.1.4	Energi pada Resistor.....	29
2.5.2.	Induktor.....	29
2.5.2.1	Karakteristik $i - v$ Induktor.....	29
2.5.2.2	Parameter Induktansi	30
2.5.2.1.	Daya pada Induktor.....	31
2.5.2.3	Energi pada Induktor	31
2.5.2.4	Sifat Induktor.....	33
2.5.3.	Kapasitor	33
2.5.3.1	Karakteristik $i - v$ Kapasitor.....	33
2.5.3.2	Parameter Kapasitansi	34
2.5.3.3	Daya pada Kapasitor.....	35
2.5.3.4	Energi pada Kapasitor	35
2.5.3.5	Sifat Kapasitor.....	36
BAB III	HUKUM DASAR RANGKAIAN	41
3.1	Tujuan Instruksional Umum.....	41
3.2	Tujuan Instruksional Khusus	41
3.3	Pendahuluan.....	42
3.4	Hukum Kirchhoff	42
3.4.1.	Hukum Kirchhoff I: Hukum Arus	42
3.4.2.	Hukum Kirchhoff II: Hukum Tegangan	44
3.5	Hukum Ohm	45

BAB IV	PENGGUNAAN HUKUM DASAR PADA RANGKAIAN.....	50
4.1	Tujuan Instruksional Umum.....	50
4.2	Tujuan Instruksional Khusus	50
4.3	Pendahuluan	51
4.4	Definisi Rangkaian Seri dan Paralel.....	52
4.4.1.	Definisi Rangkaian Seri.....	52
4.4.2.	Definisi Rangkaian Paralel.....	53
4.5	Rangkaian Ekuivalen (Rangkaian Pengganti).....	55
4.5.1.	Rangkaian Resistor	55
4.5.1.1	Rangkaian Ekuivalen Resistor terhubung Seri.....	55
4.5.1.2	Rangkaian Ekuivalen Resistor terhubung Paralel.....	56
4.5.2.	Rangkaian Induktor	59
4.5.2.1	Rangkaian Ekuivalen Induktor terhubung Seri.....	59
4.5.2.2	Rangkaian Ekuivalen Induktor terhubung Paralel.....	61
4.5.3.	Rangkaian Kapasitor	62
4.5.3.1	Rangkaian Ekuivalen Kapasitor terhubung Seri.....	62
4.5.3.2	Rangkaian Ekuivalen Kapasitor terhubung Paralel.....	64
4.6	Pembagian Tegangan dan Arus	65
4.6.1.	Pembagian Tegangan.....	65
4.6.2.	Pembagian Arus	66
4.7	Transformasi Y - Δ (Bintang - Segitiga)	69
4.8	Transformasi Sumber (Sumber dengan Rangkaian Setaranya).....	72

BAB V	METODE ANALISIS RANGKAIAN	82
5.1	Tujuan Instruksional Umum.....	82
5.2	Tujuan Instruksional Khusus	82
5.3	Pendahuluan.....	82
5.4	Metode Analisis Arus Mata Jala (<i>Mesh</i>)	83
5.5	Metode Analisis Tegangan Simpul (<i>Node</i>).....	90
5.6	Metode Analisis Superposisi	98
5.7	Metode Analisis Thevenin	101
5.8	Metode Analisis Norton	107
BIODATA PENULIS.....		116
DAFTAR PUSTAKA.....		117

BAB I

BESARAN DAN SATUAN RANGKAIAN LISTRIK

1.1 Tujuan Instruksional Umum

Setelah mengikuti mata kuliah Rangkaian Listrik 1 ini mahasiswa akan dapat:

- Menguasai teori dari materi yang diberikan sebagai bahan untuk pemahaman materi selanjutnya.
- Menganalisis konsep, definisi, dan rumus-rumus yang diberikan.
- Memahami dan menjelaskan konsep-konsep, pengertian dan ikhtisar rangkaian listrik.
- Memahami dan menjelaskan hukum dan kaidah rangkaian listrik.
- Memahami, menjelaskan dan membuat gambar/grafik persamaan rangkaian listrik untuk ilustrasi arus, tegangan, energi dan daya pada rangkaian listrik.
- Memahami persoalan, metode pemecahan dan menyelesaikannya.

1.2 Tujuan Instruksional Khusus

Pada akhir perkuliahan ini mahasiswa akan dapat:

- Memahami dan menjelaskan apa yang dimaksud dengan besaran, besaran pokok, besaran turunan dan satuan dalam rangkaian listrik.
- Menyebutkan satuan dasar standar sistem internasional (SI).
- Memahami dan menggunakan sistem awalan satuan standar menurut SI untuk sistem desimal.
- Memahami dan menjelaskan tentang teori elektron untuk muatan listrik.
- Memahami dan menjelaskan Hukum Coulomb sebagai dasar satuan untuk muatan listrik.
- Memahami dan menjelaskan tentang arah arus listrik.
- Memahami dan menjelaskan bagaimana arus listrik mengalir.
- Memahami dan menjelaskan tentang kuat arus listrik.

- Memahami dan menjelaskan tentang tegangan listrik.
- Memahami dan menjelaskan bagaimana menentukan polaritas tegangan listrik.
- Memahami dan menjelaskan tentang daya listrik.
- Mengetahui dan menyebutkan satuan-satuan daya dan energi pada rangkaian listrik serta konversinya.
- Memahami analisis pemecahan contoh soal meliputi pemahaman persoalan, metode pemecahan dan penyelesaiannya.
- Memahami persoalan, metode pemecahan dan menyelesaikannya.

1.3 Pendahuluan

Rangkaian listrik adalah sambungan alat-alat listrik yang sederhana di mana terdapat paling sedikit satu jalan tertutup yang dapat dilalui arus. (Hayt dan Kemmerly, 1991: 3). Analisis rangkaian listrik merupakan sebagian besar dari seluruh mata kuliah dalam bidang elektro. Teknik elektro pada dasarnya berhubungan dengan gejala yang meliputi muatan listrik, khususnya gaya antar muatan dan pertukaran tenaga antar muatan. Ilmu Teknik Elektro berdasarkan pada beberapa hukum dasar fisika yang diperoleh dari percobaan. Prinsip dan konsep yang mendasari cara kerja serta perilaku berbagai alat listrik sering sama meskipun bentuk dan susunan alatnya berbeda.

Teori rangkaian listrik berasal dari hukum dasar fisika yang ditemukan oleh Coulomb (1885), Ohm (1827), Faraday (1831) dan Kirchhoff (1857). Ada dua besaran fisika yang menjadi besaran dasar yaitu **muatan listrik** dan **energi listrik**. Namun besaran yang paling sering diolah dalam analisis rangkaian listrik adalah **arus**, **tegangan** dan **daya**.

Dalam mempelajari rangkaian listrik, pertama-tama harus didefinisikan besaran yang berhubungan dengan hal yang akan ditinjau beserta satuan yang berhubungan dengan besaran tersebut.

Besaran adalah sesuatu yang diukur, misal, panjang, waktu dan massa (Sugeng HR, 1988: 11). Besaran yang satuannya dapat didefinisikan sendiri disebut sebagai **besaran pokok**. Besaran pokok yang resmi

tercantum dalam tabel 1.1. Sedangkan **besaran turunan** adalah besaran yang satuannya diturunkan dari besaran pokok. (Sugeng HR, 1988: 11). Misal:

$$\begin{aligned} \text{Luas} &= \text{panjang (m)} \times \text{lebar (m)} \\ L &= p \times \ell \text{ (m}^2\text{)} \end{aligned}$$

Artinya, luas (L) dengan satuan meter persegi (m²) adalah besaran yang satuannya diturunkan dari satuan panjang (m). Satuan itu sendiri diartikan sebagai kuantitas dari besaran (meter, detik, kg, dll). (Sugeng HR, 1988: 12).

1.4 Sistem Satuan

Dalam teknologi, setiap gejala fisis harus dapat diuraikan secara kuantitatif dengan satuan yang sama untuk setiap orang. Untuk itu diperlukan suatu himpunan satuan baku yang seragam dan dapat ditiru di mana pun. Sistem satuan yang digunakan dalam hal ini adalah **Sistem Internasional (SI)**. Ada enam satuan dasar yang digunakan SI:

Tabel 1.1 Satuan Dasar Sistem Internasional

Besaran	Satuan	Simbol
Panjang	Meter	m
Massa	Kilogram	kg
Waktu	detik atau sekon	s
Arus Listrik	Ampere	A
Suhu	Kelvin	K
Kuat Cahaya	Candela	cd

(Mismail, 1995: 7)

Sistem SI menggunakan sistem desimal untuk menghubungkan satuan besar dan satuan kecil dengan satuan-satuan dasar dan menggunakan awalan standar untuk menunjukkan pangkat daripada bilangan 10. Sistem awalan satuan standar menurut SI diberikan dalam tabel 1.2.

Misalnya:

1 milimeter	= 10^{-3} meter	→	1 mm	= 10^{-3} m
1 kilogram	= 10^3 gram	→	1 kg	= 10^3 g
1 nanosekon	= 10^{-9} sekon	→	1 ns	= 10^{-9} s
1 mikrofard	= 10^{-6} farad	→	1 μ F	= 10^{-6} F

Tabel 1.2 Awalan Satuan Standar menurut Sistem Internasional

Kelipatan	Awalan	Simbol
10^{18}	exa	E
10^{15}	peta	P
10^{12}	tera	T
10^9	giga	G
10^6	mega	M
10^3	kilo	k
10^2	hekto	h
10	deka	da
10^{-1}	desi	d
10^{-2}	sentimeter	c
10^{-3}	mili	m
10^{-6}	mikro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	piko	p
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	atto	a

(Mismail, 1995: 8)

1.5 Besaran dan Satuan Listrik

1.5.1 Muatan Listrik

1.5.1.1 Teori Elektron

Proses terjadinya benda bermuatan listrik dapat dijelaskan dengan dasar teori elektron berikut (Sumijadi RWT, dkk, 1991: 51):

- Setiap benda terdiri atas molekul, setiap molekul terdiri atas atom-atom, dan setiap atom terdiri dari tiga partikel dasar yaitu elektron, proton dan neutron.
- Setiap atom terdiri dari sebuah inti yang dikelilingi oleh sebuah elektron atau lebih.

- c. Inti atom terdiri dari proton dan neutron. Proton bermuatan positif (+) dan neutron tidak bermuatan (netral).
- d. Elektron yang bermuatan negatif (-) memiliki dua gerakan sekaligus yaitu berputar pada sumbunya (rotasi) dan berputar mengelilingi intinya (revolusi).
- e. Elektron dapat berpindah dari atom yang satu ke atom yang lain karena sesuatu hal, misalnya digosok atau terpengaruh medan magnet.
- f. Suatu atom disebut netral jika jumlah protonnya sama dengan jumlah elektronnya.
- g. Disebut atom positif jika kekurangan elektron, sehingga jumlah proton lebih banyak dari elektronnya.
- h. Disebut atom negatif jika kelebihan elektron, sehingga jumlah proton lebih sedikit dari elektronnya.

Gejala kelistrikan dapat kita buktikan dengan percobaan sederhana. Jika sebuah penggaris plastik digosokkan ke rambut kering dan sebuah batang kaca digosokkan ke kain wol, kemudian penggaris dan batang kaca didekatkan pada potongan kertas kecil, maka penggaris dan batang kaca akan menarik kertas-kertas kecil tersebut. Ketika penggaris digosokkan ke rambut dan batang kaca digosokkan ke kain wol, terjadi perpindahan elektron dari rambut ke penggaris dan dari batang kaca ke wol, sehingga penggaris kelebihan elektron (bermuatan negatif) dan batang kaca kekurangan elektron (bermuatan positif). Apa yang terjadi jika dua penggaris yang sudah digosok ke rambut didekatkan? **Dua benda yang bermuatan sama jika didekatkan akan saling tolak-menolak. Sebaliknya dua benda yang bermuatan berbeda akan saling tarik menarik.**

Benda disebut bermuatan listrik jika jumlah atom-atom positifnya tidak sama dengan jumlah atom-atom negatifnya.

(Sumijadi RWT, dkk, 1991: 51)

1.5.1.2 Satuan Muatan Listrik

Hukum Coulomb

Seorang Prancis Charles A. Coulomb (1736-1806) telah melakukan percobaan pengukuran kuantitatif yang teliti mengenai gaya antara dua muatan. Dikenal sebagai Hukum Coulomb, yang berbunyi (Sumijadi RWT, dkk, 1991: 53):

Besarnya gaya tarik-menarik atau tolak-menolak antara dua benda bermuatan listrik yang diam sebanding dengan muatan masing-masing benda dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara kedua benda itu.

Secara matematis dapat ditulis (Sumijadi RWT, dkk, 1991: 53):

$$F = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \quad (1.1)$$

Q_1 dan Q_2 : muatan dari masing-masing benda, dalam satuan coulomb (C)

F : gaya tarik-menarik atau tolak-menolak, dalam satuan Newton (N)

r : jarak kedua benda, dalam satuan meter (m)

k : tetapan coulomb, dalam ruang hampa besarnya $k = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$

Secara eksperimental, muatan 1 C didefinisikan sebagai [2 : 8]:

Dua partikel kecil yang bermuatan identik dan berjarak 1 m dalam vakum dan tolak-menolak dengan gaya sebesar $10^{-7} \times c^2$ N mempunyai muatan yang persis identik yang besarnya masing-masing adalah 1 C.

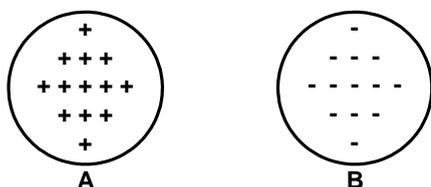
Simbol c menyatakan kecepatan rambat cahaya di udara sebesar 3×10^8 m/s. Dalam satuan ini, secara eksperimental telah ditentukan bahwa

massa sebuah elektron adalah $9,10956 \times 10^{-31}$ kg, massa proton dan neutron $\pm 1840 \times$ lebih besar, muatan sebuah elektron adalah $-1,60219 \times 10^{-19}$ C sehingga 1 C (negatif) menyatakan muatan total yang dimiliki oleh $6,24 \times 10^{18}$ buah elektron, demikian pula proton dengan jenis muatan adalah positif.

1.5.2. Arus

1.5.2.1 Arah Arus Listrik

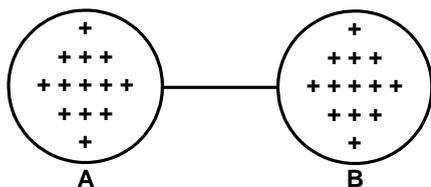
Berdasarkan teori elektron, bahwa muatan listrik yang dapat berpindah-pindah adalah elektron-elektronnya.



Gambar 1.1

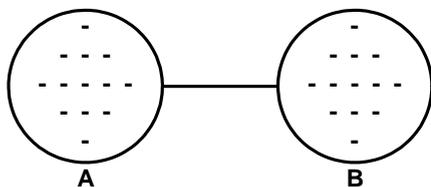
- Benda A bermuatan positif (kekurangan elektron)
- Benda B bermuatan negatif (kelebihan elektron)
- Benda A mempunyai potensial lebih tinggi dari benda B

Apa yang terjadi jika A dan B dihubungkan dengan suatu penghantar?



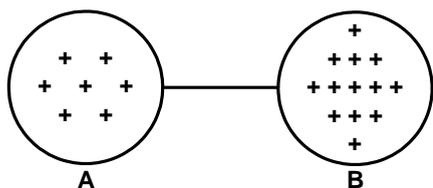
Gambar 1.2

- Benda A dan benda B bermuatan positif
- Benda A dan benda B kekurangan elektron sama banyak
- Potensial benda A sama dengan potensial benda B
- Tidak terjadi perpindahan elektron

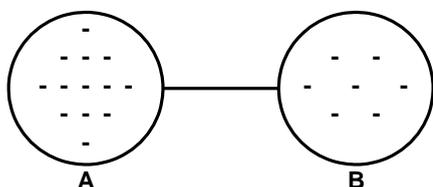


Gambar 1.3

- Benda A dan benda B bermuatan negatif
- Benda A dan benda B kelebihan elektron sama banyak
- Potensial benda A sama dengan potensial benda B
- Tidak terjadi perpindahan elektron



Gambar 1.4



Gambar 1.5

- Benda A dan benda B bermuatan positif
- Benda A sedikit bermuatan positif berarti banyak mempunyai elektron, sebaliknya benda B banyak bermuatan positif berarti sedikit mempunyai elektron
- Potensial benda B lebih besar dari potensial benda A
- Terjadi perpindahan elektron dari A ke B
- Benda A dan benda B bermuatan negatif
- Benda A kelebihan elektron lebih banyak daripada benda B karena muatan negatif benda A lebih banyak daripada muatan negatif benda B
- Potensial benda B lebih besar dari potensial benda A
- Terjadi perpindahan elektron dari A ke B

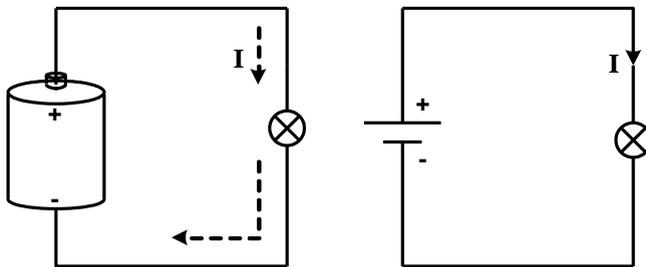
Andaikan muatan positif dapat berpindah, tentu akan terjadi perpindahan proton dari potensial tinggi ke potensial rendah, meskipun diketahui bahwa gerakan partikel di dalam kawat dihasilkan oleh gerakan elektron. **“Arah aliran proton” inilah yang “dianggap” sebagai arah arus listrik sebagai hukum perjanjian dasar**, karena pada dasarnya aliran arus di suatu titik bisa saja melibatkan muatan positif maupun muatan negatif.

Aliran arus ditunjukkan dengan anak panah. Arah tanda anak panah menjadi referensi arah positif arus. Referensi ini tidak berarti bahwa arah arus sesungguhnya adalah seperti yang ditunjukkan anak panah. Ada kalanya dalam analisis kita mendapati nilai arus negatif, artinya arah arus sesungguhnya berlawanan dengan arah anak panah [5 : 4].

Berdasarkan penjelasan di atas dapat disimpulkan:

- Elektron dapat mengalir bila terdapat beda potensial.
- Muatan positif potensialnya lebih tinggi daripada muatan negatif.
- Elektron mengalir dari potensial rendah ke potensial yang lebih tinggi.
- Arus listrik mengalir dari potensial tinggi ke potensial rendah.
- Aliran elektron akan berhenti jika potensial sama.

Supaya aliran elektron selalu terjadi, harus dipasang sumber tegangan listrik. Sumber tegangan adalah alat yang dapat menghasilkan beda potensial. Misalnya, baterai, aki dan dinamo. Perhatikan gambar:



Gambar 1.6 Arah aliran elektron pada rangkaian listrik

1.5.2.2 Kuat Arus Listrik

Lihat kembali gambar 1.6. Jika kutub (+) dan (-) dihubungkan dengan kawat penghantar, maka arus listrik akan mengalir sesuai dengan anak panah. Banyaknya muatan yang mengalir melalui penampang kawat penghantar tiap satu satuan waktu disebut **kuat arus**. Dirumuskan sebagai (Y. Surono, dkk, 1990: 3):

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1.2)$$

- I : kuat arus, dalam satuan ampere (A)
- Q : banyak muatan, dalam satuan coulomb (C)
- t : lama waktu muatan mengalir, dalam satuan sekon (s)

Jika arus dipandang sebagai muatan yang mengalir dalam arah tertentu sebagai besarnya muatan sesaat yang mengalir per satuan waktu dan didefinisikan sebagai [2:10]:

$$i = \frac{dq}{dt} \tag{1.3}$$

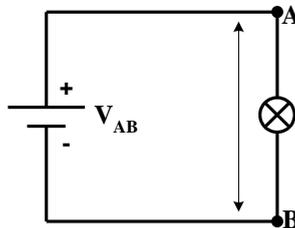
- i = arus (ampere atau A)
- q = muatan $\rightarrow dq$ = muatan sesaat (C)
- t = waktu $\rightarrow dt$ = waktu sesaat (s)

Dari rumus di atas, dapat kita definisikan bahwa:

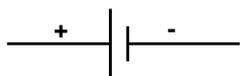
1 ampere adalah banyaknya muatan yang mengalir sebesar 1 coulomb selama 1 sekon.

1.5.3. Tegangan

Perhatikan gambar 1.7! Jika sumber tegangan dipasang pada titik A dan B, maka dikatakan bahwa terdapat tegangan atau beda potensial di antara kedua ujung titik tersebut.



Gambar 1.7



adalah simbol sumber tegangan DC (searah). Misal: baterai.

Jika untuk memindahkan muatan sebesar 1 C dari titik A ke titik B diperlukan usaha atau energi sebesar 1 J, maka beda potensial antara titik A dan titik B adalah 1 V, dirumuskan sebagai (Y. Suro, dkk, 1990: 4):

$$\boxed{V = \frac{W}{Q}} \quad (1.4)$$

V : tegangan, dalam satuan volt (V)

W : usaha, dalam satuan joule (J)

Q : banyak muatan, dalam satuan coulomb (C)

Tegangan dapat diartikan sebagai besarnya tenaga atau energi yang diperlukan untuk memindahkan muatan dari satu titik ke titik yang lain. Jika dinyatakan sebagai perubahan energi persatuan muatan dari satu titik ke titik yang lain rumus (1.4) dapat ditulis sebagai [5 : 3]:

$$\boxed{v = \frac{dw}{dq}} \quad (1.5)$$

v = tegangan (V)

w = energi $\rightarrow dw$ = energi sesaat (J)

q = muatan $\rightarrow dq$ = muatan sesaat (C)

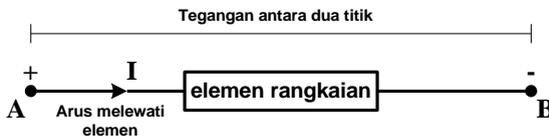
1 volt adalah banyaknya energi yang diperlukan sebesar 1 joule untuk memindahkan muatan sebanyak 1 coulomb.

Arus dan tegangan mempunyai hubungan erat namun juga mempunyai perbedaan yang sangat nyata. Arus merupakan ukuran besaran

yang **melewati suatu titik** sedangkan tegangan adalah ukuran besaran **antara dua titik**.

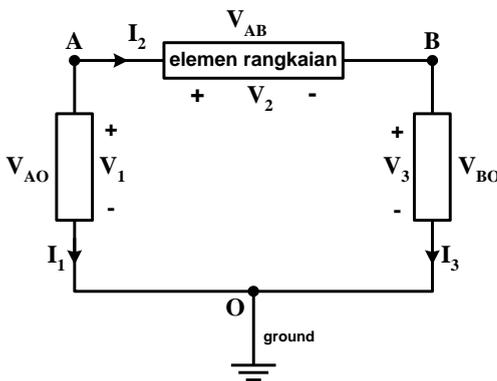
Pada elemen rangkaian, tanda (+) dipakai untuk menunjukkan titik yang dianggap mempunyai tegangan yang lebih tinggi dan tanda (-) dipakai untuk menunjukkan titik yang dianggap mempunyai tegangan yang lebih rendah.

Sebagai referensi, arah arus digambarkan masuk ke elemen (+). Jika tegangan bernilai positif, maka acuan yang diambil adalah tegangan naik dari (-) ke (+)



Gambar 1.8 Referensi arah arus dan polaritas tegangan

Selain referensi arus dan tegangan pada elemen, untuk menyatakan besarnya tegangan di berbagai titik pada suatu rangkaian kita dapat menetapkan titik referensi umum yang dinamakan **titik pentanahan** atau **titik nol** atau **ground**.



Gambar 1.9

Titik referensi umum (O) =

$$V_O = 0 \text{ volt}$$

$$V_1 = V_{AO} = V_A - V_O = V_A$$

$$-0 = V_A$$

$$V_3 = V_{BO} = V_B - V_O = V_B -$$

$$0 = V_B$$

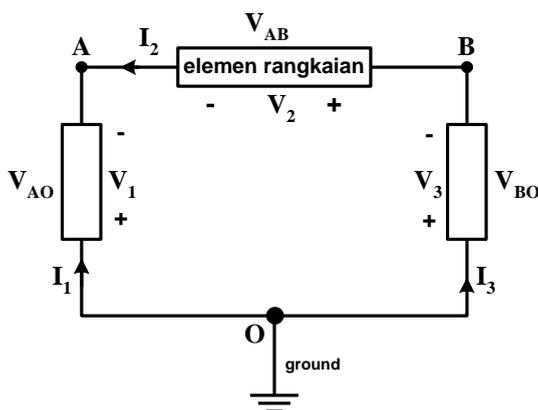
$$V_2 = V_{AB} = V_A - V_B = V_1 -$$

$$V_3$$

$$V_1 = V_2 + V_3$$

Perhatikan polaritas (+) dan (-) serta arah arus!

Potensial titik A > potensial titik O dan B



Gambar 1.10

Potensial titik B > potensial titik O tetapi
 Potensial titik B < potensial titik A

$$\begin{aligned}
 V_1 &= V_{AO} = -V_A + V_O = -V_A + 0 = -V_A \\
 V_3 &= V_{BO} = -V_B + V_O = -V_B + 0 = -V_B \\
 V_2 &= V_{AB} = -V_A + V_B = V_1 - V_3 \\
 V_1 &= V_2 + V_3
 \end{aligned}$$

Perhatikan polaritas (+) dan (-) serta arah arus!

Potensial titik A < potensial titik O dan B

Potensial titik B < potensial titik O tetapi

Potensial titik B > potensial titik A

1.5.4. Daya

Jika 1 J energi diperlukan untuk memindahkan muatan 1 C, maka laju pengeluaran energi persatuan waktu untuk memindahkan 1 C muatan per-detik adalah 1 W, atau (Y. Surono, dkk, 1990: 32):

$$\boxed{P = \frac{W}{t}} \tag{1.6}$$

P : daya, dalam satuan watt (W)

Jika daya dipandang sebagai laju perubahan energi yang diperlukan per satuan waktu, maka daya didefinisikan sebagai [3 : 18]:

$$\boxed{p = \frac{dw}{dt}} \tag{1.7}$$

Dari rumus (1.3) dan (1.5) maka:

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \times \frac{dq}{dt}$$

Maka rumus daya yang hilang (diserap) rangkaian didefinisikan sebagai, [2 : 13]

$$\boxed{p = vi} \quad (1.8)$$

Dari penurunan rumus (1.7): $dw = p dt \rightarrow \int dw = \int p dt$

Maka dapat kita tentukan rumus energi sebagai:

$$\boxed{w = \int p dt} \quad (1.9)$$

Untuk memperoleh besarnya energi yang diperlukan dalam selang waktu antara t_1 dan t_2 :

$$\boxed{w = \int_{t_1}^{t_2} p \cdot dt}$$

Dengan cara yang sama dari rumus (1.3):

$$\boxed{q = \int_{t_1}^{t_2} i \cdot dt}$$

Daya positif berarti elemen menyerap daya
Daya negatif berarti elemen memberikan/mengeluarkan daya

(Hayt dan Kemmerly, 1991: 13)

Konversi Satuan:

Satuan daya yang lain selain watt (W) adalah *horse power* (HP)

1 kilo-watt = 1 kW = 1000 W

1 HP = 746 W; 1 W = 0,001341 HP; 1 kW = 1,341 HP

Satuan energi yang biasa digunakan dalam sistem listrik adalah *watt-hour* (Wh)

1 W = 1 J/s; 1 Wh = 3600 J; 1 kWh = 3600 kJ

Satuan energi yang lain adalah kalori (kal)

1 kal = 4,2 J

1 Btu = 1055,1 J (British thermal unit, Btu)

1.6 Soal-soal Latihan

1. Berapa volume sebuah paralel epipedum yang berukuran $8 \text{ cm} \times 10^4 \mu\text{m} \times 3 \times 10^8 \text{ nm}$ (dalam dm^3)?
2. Bila sekotak kue donat berisi 5000 kkal dan semua energi diubah menjadi panas, berapa Btu yang dihasilkan?
3. Berapa besar gaya (dalam Newton) yang diperlukan untuk memberi percepatan sebesar 100 in/det^2 kepada massa 3 lbm?
4. Berapa besar muatan (dalam fC) yang terdapat pada:
 - (a) sepuluh juta proton?
 - (b) 10^{-20} g elektron?
 - (c) 10^7 elektron ditambah 3×10^6 proton ditambah 10^8 neutron?
5. Gaya tarik menarik yang bekerja pada dua massa diberikan oleh,

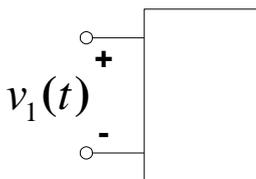
$$f = K \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

dengan r adalah jarak pemisah kedua massa tersebut. Turunkan satuan SI untuk konstanta K dalam persamaan di atas.

6. Sumber soal [3 : 31]
Sebuah tabung gas dengan luas penampang 10^{-2} m^3 mengandung gas yang diionisasikan. Kerapatannya adalah 10^{13} ion positif/ m^3 dan 10^{11}

- elektron bebas/m². Dibawah pengaruh suatu tegangan yang dikenakan, ion positif bergerak dengan kecepatan rata-rata elektron searah sumbu itu adalah 2000 kalinya. Hitunglah arus listriknya.
7. Sumber soal [3 : 31]
Sebuah lampu pijar berteraan 60 W, 115 V:
(a) Berapa muatan listrik yang mengalir melalui serat pijar (*filament*) lampu itu selama 1 jam?
(b) Berapa banyak elektron yang mengalir selama 1 jam itu?
(c) Berapa rupiah yang harus dibayar untuk operasi 1 jam tersebut bila harga listrik per kilowatt-jam adalah Rp 67,00?
8. Sumber soal [3 : 31]
Berapa joule panas yang dihasilkan oleh kumparan pemanas air yang dibuat dari nikhrom sepanjang 10 m dengan luas penampang 0,5 mm² yang bekerja dengan tegangan 220 V selama 10 menit?
9. Sumber soal [3 : 31]
Sebuah pemanas listrik menarik 1000 W dari suatu sumber 220 V. Berapa resistansi pemanas tersebut? Berapa daya yang ditariknya jika tegangan pada pemanas itu turun menjadi 208 V?
10. Sumber soal [2 : 18]
Seorang wartawan terkenal yang amat sopan mempunyai massa 80 kg, sekali lompat ia bisa melewati gedung setinggi 250 m dan kecepatannya seperti peluru (600 m/s).
(a) Berapa kecepatannya dalam mil per jam?
(b) Berapa besar energi harus dikeluarkan agar sampai pada puncak gedung?
(c) Berapa lama energi ini bisa memberi daya pada kalkulator elektronik yang membutuhkan 100 mW?
11. Sumber soal [2 : 18]
Seorang pria atau wanita dengan massa 70 kg membakar energi dengan laju 120 W selama sehari (24 jam). Laju metabolis ini menurun sampai 75 W sewaktu tidur, naik menjadi 230 W sewaktu berjalan dan kira-kira 1000 W bila berlari 10 mil/jam.

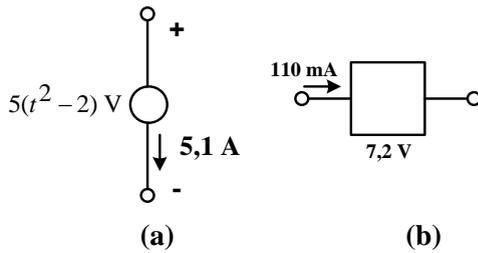
- (a) Berapa daya kuda yang dilepaskan sewaktu berlari 10 mil/jam?
(b) Berapa kaleng bir (100 kcal/kaleng) yang harus dihabiskan setiap hari untuk menjaga agar badan tetap mendapat energi yang dibutuhkan?
12. Sumber soal [2 : 18]
Bila sebuah pengering listrik bekerja penuh, diperlukan 5,2 kW.
(a) Berapa banyak “kuda rata-rata” yang kiranya diperlukan untuk membangkitkan daya ini?
(b) Dengan menganggap bahwa bahan baar minyak mempunyai kerapatan 50 lbm/ft³ dan memberikan 18500 Btu per pound-mass, berapa liter bahan bakar minyak yang kiranya diperlukan untuk mengoperasikan pengering selama satu jam (1 liter = 1000 cm³)?
13. Sumber soal [2 : 13]
Pada gambar 1.11, misalkan $v_1(t) = 100\cos 250t$. Carilah:
(a) $v_1(1\text{ ms})$; (b) $v_1(8\text{ ms})$;
(c) energi yang diperlukan untuk memindahkan 4 C dari terminal bawah ke terminal atas pada saat $t = 4\text{ ms}$.



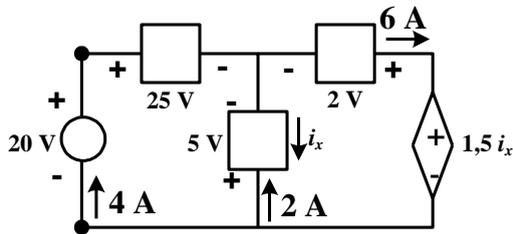
Gambar 1.11 Lihat soal 13
(Hayt dan Kemmerly, 1991: 13)

14. Sumber soal [2 : 14]
Tentukanlah daya yang: (a) diberikan kepada elemen rangkaian pada gambar 1.12.a pada saat $t = 0$. (b) dibangkitkan oleh elemen rangkaian pada gambar 1.12.b.
15. Sumber soal [2 : 18]

Tentukan daya yang diserap oleh tiap elemen pada rangkaian gambar 1.13. [2: 18].



Gambar 1.12 Lihat Soal 14 (Hayt dan Kemmerly, 1991: 14)



Gambar 1.13 Lihat Soal 15
(Hayt dan Kemmerly, 1991: 18)

BAB II

KOMPONEN RANGKAIAN LISTRIK

2.1 Tujuan Instruksional Umum

Setelah mengikuti mata kuliah Rangkaian Listrik 1 ini mahasiswa akan dapat:

- Menguasai teori dari materi yang diberikan sebagai bahan untuk pemahaman materi selanjutnya.
- Menganalisis konsep, definisi, dan rumus-rumus yang diberikan.
- Memahami dan menjelaskan konsep-konsep, pengertian dan ikhtisar rangkaian listrik.
- Memahami dan menjelaskan hukum dan kaidah rangkaian listrik.
- Memahami, menjelaskan dan membuat gambar/grafik persamaan rangkaian listrik untuk ilustrasi arus, tegangan, energi dan daya pada rangkaian listrik.
- Memahami persoalan, metode pemecahan dan menyelesaikannya.

2.2 Tujuan Instruksional Khusus

Pada akhir perkuliahan ini mahasiswa akan dapat:

- Memahami dan menjelaskan apa yang dimaksud dengan sumber rangkaian listrik, sumber arus, sumber tegangan, sumber sempurna, sumber tak sempurna, sumber AC dan sumber DC.
- Memahami dan menjelaskan apa yang dimaksud dengan unsur atau parameter rangkaian listrik.
- Menyebutkan apa saja yang termasuk dalam unsur rangkaian listrik.
- Membuat dan menunjukkan simbol-simbol sumber dan unsur rangkaian listrik.
- Memahami dan menjelaskan tentang karakteristik resistor, induktor dan kapasitor.
- Memahami dan menjelaskan tentang arus, tegangan, daya dan energi pada resistor, induktor dan kapasitor.
- Memahami dan menjelaskan tentang Hukum Ohm.

- Memahami secara garis besar tentang parameter resistansi, induktansi dan kapasitansi.
- Memahami, menjelaskan dan menyebutkan rumus-rumus yang berkaitan dengan arus, tegangan, daya dan energi pada resistor, induktor dan kapasitor.
- Memahami dan menjelaskan bagaimana sifat resistor, induktor dan kapasitor jika dikenakan pada sumber DC.
- Memahami analisis pemecahan contoh soal meliputi pemahaman persoalan, metode pemecahan dan penyelesaiannya.
- Memahami persoalan, metode pemecahan dan menyelesaikannya.

2.3 Pendahuluan

Sistem pemroses energi maupun informasi, dibangun dari rangkaian-rangkaian listrik. Untuk mempelajari perilaku suatu rangkaian listrik kita melakukan analisis rangkaian. Untuk itu rangkaian listrik yang ingin kita pelajari kita pindahkan ke atas kertas dalam bentuk gambar. Gambar rangkaian memperlihatkan interkoneksi berbagai peranti yang digambarkan dengan menggunakan simbol. **Peranti listrik** adalah **benda nyata** dari peralatan listrik itu sendiri, sedangkan **simbol** hanyalah **model** peranti. Model peranti yang kita gambar dengan simbol demikian kita sebut sebagai **komponen** dari rangkaian listrik.

Peranti dan komponen rangkaian terbagi dalam dua golongan, yaitu pasif dan aktif. Termasuk dalam kategori pasif adalah resistor, induktor dan kapasitor. Termasuk dalam kategori aktif adalah sumber arus dan sumber tegangan.

2.4 Sumber Rangkaian Listrik

Suatu rangkaian listrik umumnya dicirikan oleh adanya satu atau lebih sumber sebagai pemberi tenaga yang dihubungkan dengan satu atau lebih beban sebagai penerima tenaga listrik [3 : 12].

2.4.1. Sumber Sempurna (Bebas)

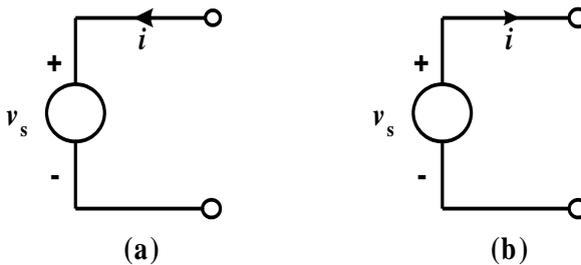
Sumber sempurna adalah sumber yang nilai kuantitasnya tidak tergantung kepada beban yang dipasangkan pada kutub-kutubnya, tidak dipengaruhi oleh aktivitas pada bagian lain dari rangkaian dan akan memberikan nilai yang tetap [2 : 16], Contoh: baterai.

2.4.1.1 Sumber Tegangan Sempurna

Sumber tegangan sempurna adalah sumber yang tegangannya tidak tergantung kepada beban yang dipasangkan pada kutub-kutubnya dan akan memberikan tegangan tetap.



Gambar 2.1 Simbol untuk sumber tegangan sempurna

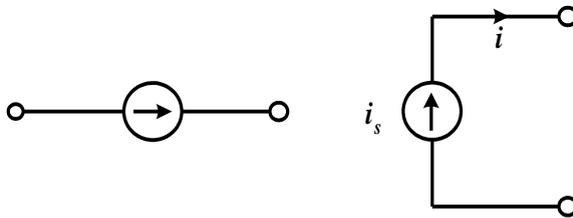


Gambar 2.2 Simbol untuk sumber tegangan sempurna

Perhatikan gambar 2.2. Terminal atas tidak selalu positif terhadap terminal bawah. Sesuai dengan perjanjian referensi yang dipelajari sebelumnya, arah arus digambarkan masuk ke kutub (+) elemen dan jika tegangan bernilai positif, maka acuan yang diambil adalah tegangan naik dari (-) ke (+). Gambar 2.2(a) menunjukkan arus i masuk melalui terminal positif, berakibat nilai v_s menjadi positif (secara matematis), sehingga nilai

daya yang ada pada v_s juga positif. Berarti dikatakan sumber tegangan **menyerap daya**, padahal suatu sumber tegangan ideal diharapkan dapat **memberikan daya** ke dalam rangkaian. Karena itu, untuk selanjutnya para analis lebih memilih mengarahkan arus seperti gambar 2.2(b) yang menunjukkan arus keluar dari terminal (+) sumber, sehingga secara teoretis daya negatif yang timbul menyatakan daya yang dihasilkan oleh sumber.

2.4.1.2 Sumber Arus Sempurna

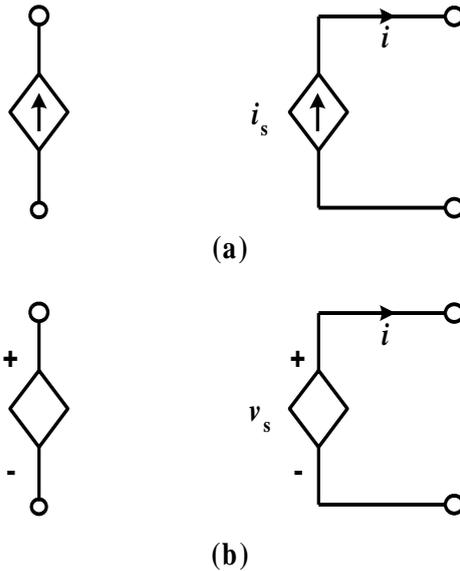


Gambar 2.3 Simbol untuk sumber arus sempurna

Arah anak panah menunjukkan arah arus positif

2.4.2. Sumber Tak Sempurna (Tergantung)

Sumber tak sempurna adalah sumber yang nilai kuantitasnya tergantung kepada beban yang dipasangkan pada kutub-kutubnya. Nilai yang diberikan dipengaruhi oleh aktivitas pada bagian lain dari rangkaian. Contoh: Generator dan transistor.



Gambar 2.4 Simbol untuk sumber tak sempurna
Sumber arus (b) Sumber tegangan

2.4.3. Sumber DC (*Direct Current* – Searah)

Sumber DC adalah sumber dengan nilai konstan, tidak berubah terhadap waktu, sehingga sumber memberikan nilai yang tetap. Misal: $v_s = 10 \text{ V}$, $i_s = 5 \text{ A}$.

2.4.4. Sumber AC (*Alternating Current* – Bolak-balik)

Sumber AC adalah sumber dengan nilai berubah terhadap waktu, biasanya diberikan dalam bentuk persamaan sinusoida sebagai fungsi waktu. Misal:

$$v_s = 10 \sin t \text{ V}, \quad i_s = 5 \cos 2t \text{ A}.$$

2.5 Unsur Rangkaian Listrik

Komponen-komponen yang menjadi beban adalah bagian rangkaian listrik yang menerima tenaga dari sumber yang disebut **unsur** atau **parameter** rangkaian. Hubungan formulasi antara tegangan dan arus dalam unsur

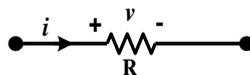
rangkaian tersebut telah ditetapkan berdasarkan percobaan. Perilaku atau sifat suatu unsur biasanya dinyatakan dengan **karakteristik i dan v** yang dimilikinya.

Ada tiga jenis hubungan dimana terdapat tiga unsur rangkaian yang terlibat di dalamnya. Hubungan dan jenis ketiga unsur rangkaian tersebut adalah [3:13]:

1. Unsur rangkaian yang memerlukan tegangan sebanding dengan arus yang mengalir di dalamnya. Konstanta pembandingnya disebut **resistansi**. Konstanta atau parameter rangkaian tersebut erat hubungannya dengan penggunaan tenaga sebagai panas dalam rangkaian.
2. Unsur rangkaian yang memerlukan tegangan sebanding dengan turunan waktu atau kecepatan perubahan arus yang mengalir di dalamnya. Konstanta pembandingnya disebut **induktansi**. Konstanta atau parameter rangkaian tersebut erat hubungannya dengan medan magnet yang timbul dalam rangkaian tersebut.
3. Unsur rangkaian yang memerlukan arus sebanding dengan turunan waktu tegangan di antara kutub-kutubnya. Konstanta pembandingnya disebut **kapasitansi**. Konstanta atau parameter rangkaian tersebut erat hubungannya dengan medan listrik rangkaian.

2.5.1. Resistor

Peranti yang ciri utamanya adalah **resistansi** dan bersifat **resistif (menahan)** disebut sebagai **resistor (tahanan)**. Resistor juga disebut sebagai penghantar.



Gambar 2.5 Simbol untuk resistor

Berbagai hasil percobaan membuktikan bahwa resistansi dari hampir semua resistor berubah menurut suhu. Jika suhu t diukur dalam derajat

Celsius ($^{\circ}\text{C}$), resistansi suatu resistor pada suhu t_1 adalah R_1 , maka untuk rentang suhu yang wajar, resistansinya pada suhu t_2 adalah [3 : 15]:

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)] \quad (2.1)$$

α = koefisien suhu resistor

Nilai α untuk beberapa bahan diberikan pada tabel 2.1

Tabel 2.1 Koefisien Suhu Resistansi Beberapa Logam

Logam	Koefisien Suhu Resistansi (α)
Aluminium	0,004
Baja	0,006
Besi Tuang	0,001
Konstantan (campuran tembaga, nikel dan aluminium)	0,000005
Manganin (campuran tembaga, nikel dan mangan)	0,00005
Nikelin (campuran tembaga, nikel dan seng)	0,0003
Nikhrom (campuran nikel, khrom, besi dan mangan)	0,00016
Perak	0,0035
Platina	0,0032
Tembaga	0,004
Wolfram	0,0045

(Mismail, 1995: 16)

2.5.1.1 Karakteristik $i - v$ Resistor

Hubungan antara arus dan tegangan dari resistor dapat ditulis dalam suatu persamaan yang dikenal sebagai **Hukum Ohm** [5 : 21].

$$v_R = i_R \cdot R \quad (2.2)$$

v_R = Tegangan pada resistor, dalam satuan volt (V)

i_R = Arus yang melalui resistor, dalam satuan ampere (A)

R = Resistansi pada resistor, dalam satuan ohm (Ω)

$$i_R = \frac{v_R}{R}$$

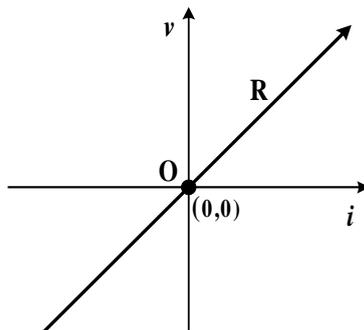
atau $i_R = G \cdot v_R$

dengan

$$\boxed{G = \frac{1}{R}} \quad (2.3)$$

G = Konduktansi dalam satuan siemens (S atau mho)

Karakteristik $i - v$ pada resistor adalah **linear** dan **bilateral**. Linear berarti secara grafis karakteristiknya berbentuk garis lurus, tegangan selalu berbanding lurus dengan arus. Bilateral berarti kurva karakteristiknya simetris terhadap titik O (0,0), Karena sifat bilateral ini, maka pembalikan polaritas tegangan akan menyebabkan perubahan arah arus tanpa mengubah besar arusnya. Dengan demikian kita dapat menghubungkan resistor dalam rangkaian tanpa memperhatikan polaritasnya [5 : 21].



Gambar 2.6 Karakteristik $i - v$ resistor

2.5.1.2 Parameter Resistansi

Parameter resistansi pada dasarnya merupakan suatu konstanta geometri. Hal itu telah ditemukan oleh Ohm. Pada penyelidikannya, dalam analogi dengan persamaan penghantaran panas Fourier, Ohm menunjukkan bahwa resistansi suatu penghantar dengan dimensi yang seragam berbanding lurus dengan panjangnya, berbanding terbalik dengan luas penampangnya, dan bergantung pada sifat penghantaran fisis bahannya [3 : 19]. Jadi,

$$R = \rho \frac{\ell}{A} \quad (2.4)$$

R = resistansi (Ω)

ρ = resistivitas bahan (ohm-meter)

ℓ = panjang penghantar (meter)

A = luas penampang penghantar (m^2)

Nilai resistivitas beberapa bahan diberikan dalam tabel 2.2. Emas dan perak memiliki resistivitas yang terendah, artinya keduanya memiliki daya hantar yang terbaik tetapi sangat mahal untuk dipergunakan sebagai kawat saluran transmisi dan distribusi tenaga listrik, selain tentunya alasan keamanan (pencurian kabel dsb). Oleh karena itu penghantar umumnya terbuat dari tembaga dan aluminium. Karena umumnya logam mempunyai resistivitas yang rendah, maka logam dinamakan **konduktor** [3 : 19].

Isolator adalah bahan dengan resistivitas yang sangat tinggi, biasanya dalam orde ribuan megaohm atau lebih. Contoh isolator antar lain gelas, mika dan udara dalam keadaan tertentu. Isolator digunakan untuk membatasi agar arus listrik tidak keluar dari jalur yang telah ditentukan (yaitu agar tetap di dalam konduktor). Konsep ini diterapkan dalam pembuatan kabel listrik [3 : 19].

Tabel 2.2 Resistivitas Beberapa Penghantar

Penghantar	Resistivitas Bahan (ρ)
Aluminium	$2,83 \times 10^{-8}$
Baja	$13,00 \times 10^{-8}$
Besi Tuang	$50,00 \times 10^{-8}$
Konstantan (campuran tembaga, nikel dan aluminium)	$44,00 \times 10^{-8}$
Manganin (campuran tembaga, nikel dan mangan)	$43,00 \times 10^{-8}$
Nikelin (campuran tembaga, nikel dan seng)	$42,00 \times 10^{-8}$
Nikhrom (campuran nikel, khrom, besi dan mangan)	$110,00 \times 10^{-8}$
Perak	$1,60 \times 10^{-8}$
Tembaga	$1,72 \times 10^{-8}$
Wolftram	$4,90 \times 10^{-8}$

(Mismail, 1995: 20)

2.5.1.3 Daya pada Resistor

Daya dalam resistor berdasarkan persamaan (1.8) dan (2.2) [5 : 21]:

$$p_R = v_R \cdot i_R \quad (2.5)$$

p_R = Daya pada resistor, dalam satuan watt (W)

$$p_R = (i_R \cdot R) \cdot i_R = i_R^2 \cdot R \text{ atau} \quad (2.6)$$

$$p_R = v_R \cdot \frac{v_R}{R} = \frac{v_R^2}{R} \quad (2.7)$$

Ini adalah daya yang hilang di dalam resistor, yang diserap untuk sejumlah energi yang digunakannya. Jika arus listrik mengalir dalam suatu resistor, berarti ada tenaga atau energi yang dilakukan dalam resistor tersebut. Daya hilang yang diserap oleh resistor menimbulkan panas sebagai bentuk energi yang dikeluarkan resistor [3 : 18].

Dari persamaan (2.5) dan (2.6), didapat bahwa daya resistor selalu positif, hal ini berarti bahwa **resistor selalu menyerap daya** [5 : 22].

2.5.1.4 Energi pada Resistor

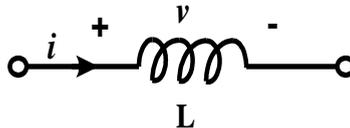
Energi dalam resistor berdasarkan persamaan (1.9):

$$w_R = \int_{t_1}^{t_2} p_R \cdot dt \quad (2.8)$$

w_R = Energi pada Resistor, dalam satuan joule (J)

2.5.2. Induktor

Peranti yang ciri utamanya adalah **induktansi** dan bersifat **induktif (menginduksi)** disebut sebagai **induktor**.



Gambar 2.7 Simbol untuk induktor

2.5.2.1 Karakteristik $i - v$ Induktor

Hubungan antara arus dan tegangan dari induktor secara kuantitatif dapat ditulis sebagai [3 : 20]:

$$v_L = L \cdot \frac{di_L}{dt} \quad (2.9)$$

v_L = tegangan pada induktor, dalam satuan volt (V)

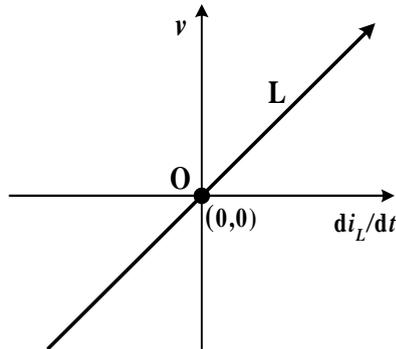
L = induktansi pada induktor, dalam satuan henry (H)

i_L = arus yang melalui induktor $\rightarrow di_L$ = arus sesaat (A)

t = waktu $\rightarrow dt$ = waktu sesaat (s)

Dari persamaan (2.9), dapat dicari untuk nilai arus sesaat dalam selang waktu antara t_1 dan t_2 :

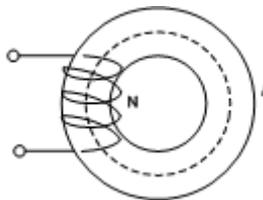
$$i_L = \frac{1}{L} \int_{t_1}^{t_2} v_L \cdot dt \quad (2.10)$$



Gambar 2.8 Karakteristik $i - v$ induktor

2.5.2.2 Parameter Induktansi

Seperti halnya dengan resistansi, induktansi juga bergantung pada geometri dimensi fisis dan sifat magnet mediumnya. Hal ini penting karena ia menyatakan apa yang dapat dilakukan untuk mengubah nilai L tersebut.



Gambar 2.9 Induktor dengan inti besi

Induktor umumnya berbentuk lilitan kumparan, seperti ditunjukkan dalam gambar 2.9. Pada saat arus mengalir melalui lilitan induktor, arus itu

menimbulkan fluks ruang. Teori ini dapat dibahas lebih mendalam pada Mata Kuliah Fisika Terapan atau Teori Medan Elektromagnetik. Parameter induktansi dinyatakan sebagai [3 : 26]:

$$L = \frac{N^2 \mu A}{l} \quad (2.11)$$

μ = sifat fisis bahan atau permeabilitas

N = jumlah lilitan

l = panjang inti (meter)

A = luas penampang penghantar (m^2)

2.5.2.1. Daya pada Induktor

Daya dalam induktor berdasarkan persamaan (1.8) dan (2.9):

$$p_L = v_L \cdot i_L = L \frac{di_L}{dt} \cdot i_L$$

$$\boxed{p_L = L \cdot i_L \cdot \frac{di_L}{dt}} \quad (2.12)$$

p_L = Daya pada induktor, dalam satuan watt (W)

Persamaan (2.12) menunjukkan bahwa daya induktor bisa positif bisa juga negatif karena arus induktor dan laju perubahannya bisa mempunyai tanda yang berlawanan. **Daya positif berarti induktor menyerap daya, sebaliknya kalau negatif berarti induktor memberikan daya. Kemampuan induktor untuk menyerap dan memberikan daya ini mempunyai arti bahwa induktor dapat menyimpan energi [5 : 26].**

2.5.2.3 Energi pada Induktor

Energi dalam induktor berdasarkan persamaan (1.9):

$$w_L = \int_{t_1}^{t_2} p_L \cdot dt \quad (2.13)$$

w_L = energi pada induktor, dalam satuan joule (J)

$$w_L = \int_{t_1}^{t_2} L \cdot i_L \cdot \frac{d i_L}{dt} dt = \int_{i_L(t_1)}^{i_L(t_2)} L \cdot i_L \cdot d i_L$$

$$w_L = \left[\frac{1}{2} L \cdot i_L^2 \right]_{i_L(t_1)}^{i_L(t_2)} = \frac{1}{2} L [i_L(t_2)]^2 - \frac{1}{2} L [i_L(t_1)]^2$$

→ jika pada t_1 , energi awal yang tersimpan adalah 0(nol), maka:

$$w_L = \frac{1}{2} L [i_L(t_2)]^2$$

disederhanakan menjadi:

$$w_L = \frac{1}{2} L \cdot i_L^2 \quad (2.14)$$

Dari persamaan (2.14), tampak bahwa nilainya hanya bergantung pada besar arus saja tidak bergantung pada bagaimana arus itu mencapai nilai tersebut. Tenaga induktif yang tersimpan itu akan muncul kembali dalam rangkaian pada saat arus menjadi nol. (Ini akan dibahas lebih mendetail pada Mata Kuliah Rangkaian Listrik 2).

Tidak seperti pada resistor, daya hilang yang diserap oleh induktor untuk sejumlah energi yang digunakannya disimpan dalam bentuk medan magnet sebagai bentuk energi yang dihasilkan induktor [3 : 22].

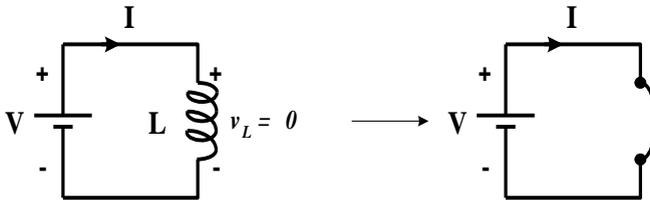
Energi yang tersimpan ini tidak pernah negatif karena ia sebanding dengan kuadrat dari arus. Induktor akan menyerap daya dari rangkaian jika ia sedang melakukan penyimpanan energi. Ia akan mengeluarkan energi yang disimpannya jika ia memberikan energi pada rangkaian.

2.5.2.4 Sifat Induktor

Lihat kembali persamaan (2.9)! Seandainya tegangan pada induktor konstan (DC), sehingga arus yang melaluinya pun konstan, misal 5 A, maka:

$$v_L = L \cdot \frac{di_L}{dt} = L \cdot \frac{d(5)}{dt} = L \cdot (0) = 0 \text{ volt}$$

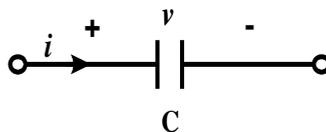
Tegangan 0 volt identik sebagai suatu hubung singkat.



Gambar 2.10 Sumber DC menyebabkan tegangan 0 (nol) pada induktor, sehingga komponen induktor ekuivalen sebagai suatu hubung singkat

2.5.3. Kapasitor

Peranti yang ciri utamanya adalah **kapasitansi** dan bersifat **kapasitif (menyimpan/menampung)** disebut sebagai **kapasitor**.



Gambar 2.11 Simbol untuk kapasitor

2.5.3.1 Karakteristik $i - v$ Kapasitor

Hubungan antara arus dan tegangan dari kapasitor secara kuantitatif dapat ditulis sebagai [3 : 26]:

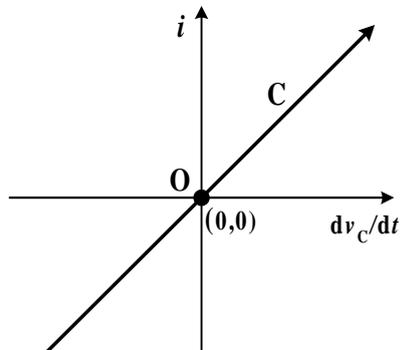
$$i_C = C \cdot \frac{dv_C}{dt} \quad (2.15)$$

v_C = tegangan pada kapasitor, dalam satuan volt (V)

C = kapasitansi pada kapasitor, dalam satuan farad (F)

i_C = arus yang melalui kapasitor, dalam satuan ampere (A) $\rightarrow di_C =$
arus sesaat

t = waktu, dalam satuan sekon (s) $\rightarrow dt =$ waktu sesaat



Gambar 2.12 Karakteristik $i - v$ kapasitor

Dari persamaan (2.15), dapat dicari untuk nilai tegangan sesaat dalam selang waktu antara t_1 dan t_2 [3 : 26]:

$$v_C = \frac{1}{C} \int_{t_1}^{t_2} i_C \cdot dt \quad (2.16)$$

2.5.3.2 Parameter Kapasitansi

Kapasitor dianalogikan sebagai dua buah keping sejajar dengan jarak pemisah sejauh d meter. Parameter kapasitansi sebanding dengan konstanta

dielektrik bahannya, berbanding terbalik dengan jarak antara keping-kepingnya, dan berbanding lurus dengan luas penampang kepingnya [3:30].

$$C = \epsilon \frac{A}{d} \quad (2.17)$$

C = kapasitansi pada kapasitor, dalam satuan farad (F)

ϵ = permitivitas (konstanta dielektrik bahan antara keping-keping kapasitor)

A = luas penampang keping (m^2)

d = jarak antara dua keping (m)

2.5.3.3 Daya pada Kapasitor

Daya dalam kapasitor berdasarkan persamaan (1.8) dan (2.15):

$$p_C = v_C \cdot i_C = v_C \cdot C \frac{dv_C}{dt}$$

$$p_C = C \cdot v_C \cdot \frac{dv_C}{dt} \quad (2.18)$$

p_C = daya pada kapasitor, dalam satuan watt (W)

Seperti halnya pada induktor, daya pada kapasitor bisa positif bisa juga negatif karena tegangan kapasitor dan laju perubahannya bisa mempunyai tanda yang berlawanan. **Daya positif berarti kapasitor menyerap daya, sedangkan kalau daya negatif berarti kapasitor memberikan daya, ini juga menunjukkan bahwa kapasitor dapat menyimpan energi [5:23].**

2.5.3.4 Energi pada Kapasitor

Energi dalam kapasitor berdasarkan persamaan (1.9):

$$w_C = \int_{t_1}^{t_2} p_C \cdot dt \quad (2.19)$$

w_C = energi pada kapasitor, dalam satuan joule (J)

$$w_C = \int_{t_1}^{t_2} C \cdot v_C \cdot \frac{d \cdot v_C}{dt} dt = \int_{v_C(t_1)}^{v_C(t_2)} C \cdot v_C \cdot dv_C$$

$$w_C = \left[\frac{1}{2} C \cdot v_C^2 \right]_{v_C(t_1)}^{v_C(t_2)} = \frac{1}{2} C [v_C(t_2)]^2 - \frac{1}{2} C [v_C(t_1)]^2$$

→ jika pada t_1 , energi awal yang tersimpan adalah 0(nol), maka:

$$w_C = \frac{1}{2} C [v_C(t_2)]^2$$

Disederhanakan menjadi:

$$w_C = \frac{1}{2} C \cdot v_C^2 \quad (2.20)$$

Daya hilang yang diserap oleh kapasitor untuk sejumlah energi yang digunakannya disimpan dalam bentuk medan listrik sebagai bentuk energi yang dihasilkan kapasitor [3 : 30].

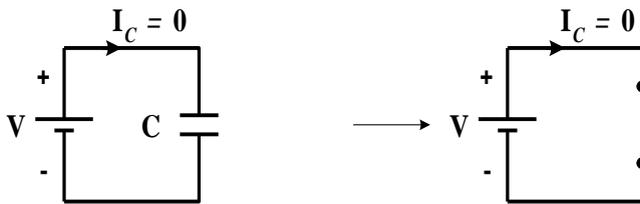
Energi yang tersimpan ini tidak pernah negatif karena ia sebanding dengan kuadrat dari tegangan. Kapasitor akan menyerap daya dari rangkaian jika ia sedang melakukan penyimpanan energi. Ia akan mengeluarkan energi yang disimpannya jika ia memberikan energi kepada rangkaian.

2.5.3.5 Sifat Kapasitor

Lihat kembali persamaan (2.12)! Seandainya tegangan pada kapasitor konstan (DC), misal 3 V, maka:

$$i_c = C \frac{dv_c}{dt} = C \cdot \frac{d(3)}{dt} = C \cdot (0) = 0 \text{ volt}$$

Arus 0 ampere identik sebagai suatu hubung buka.



Gambar 2.13 Sumber DC menyebabkan arus 0 (nol) pada kapasitor, sehingga komponen kapasitor ekuivalen sebagai suatu hubung buka

Soal-soal Latihan

1. Bila v dan i didefinisikan menurut Gambar 2.5, tentukanlah:
 - (a) R bila $v = -8$ V dan $i = -5$ mA
 - (b) Daya yang diserap bila $i = -5$ A dan $R = 2,2$ Ω
 - (c) i bila $R = 8$ Ω dan tahanan menyerap 200mW
 - (d) G bila $v = 2,5$ V dan $i = 100$ mA
2. Sumber soal [3 : 31]

Suatu kumparan kawat tembaga mempunyai resistansi sebesar 12 Ω pada 25° C dipakai sebagai induktor. Setelah induktor itu bekerja untuk beberapa saat, resistansi kumparannya ternyata naik menjadi 13,4 Ω . Berapa suhu induktor itu sekarang?
3. Sumber soal [3 : 31]

Sebuah pemanas listrik menarik 1000 W dari suatu sumber 220 V. Berapa resistansi pemanas tersebut? Berapa daya yang ditariknya jika tegangan pada pemanas itu turun menjadi 208 V? [3 : 31]
4. Sumber soal [3 : 32]

Arus yang mengalir melalui induktansi 10 mH adalah

$$i = 3e^{10^6 t^2}$$

Berapa tegangan v antara kutub induktansi tersebut? [3 : 32]
5. Sumber soal [3 : 32]

Kumparan seperti gambar 2.9 mempunyai 100 lilitan. Panjang menengah inti diketahui sebesar 0,2 m. Nilai permeabilitas inti adalah 10^{-3} . Luas penampangnya 1 cm².

 - (a) Tentukan induktansi kumparan itu
 - (b) Bila suatu tegangan DC dikenakan pada induktor itu maka ada arus mengalir sebesar 0,1 A. Berapa besar tenaga yang tersimpan dalam induktor itu?
6. Sumber soal [3 : 32]

Tentukan kapasitansi dua keping lempeng logam sejajar yang dipisahkan oleh 0,1 mm lapisan mika dan mempunyai luas 0,113 m². Dimisalkan permitivitas mika sebesar 10.

7. Sumber soal [3 : 32]

Jika arus sebesar,

$$i = 120\cos(314t + 30^\circ) \text{ A}$$

mengalir dalam sebuah kapasitor sebesar 22 pF, tentukanlah berapa tegangan di antara kutub-kutubnya.

8. Sumber soal [3 : 32]

Kapasitansi sebesar 100 μF menyimpan tenaga 60 J. Berapa lamakah waktu yang diperlukan untuk mengisi tenaga sebesar itu ke dalam kapasitor tersebut dengan arus sebesar 2 mA?

9. Sumber soal [3 : 32]

Suatu tegangan berbentuk

$$v = 0 \text{ V} \quad \text{untuk} \quad t < 0$$

$$v = t \text{ V} \quad \text{untuk} \quad 0 \leq t < 1$$

$$v = 1/t \text{ V} \quad \text{untuk} \quad 1 \leq t$$

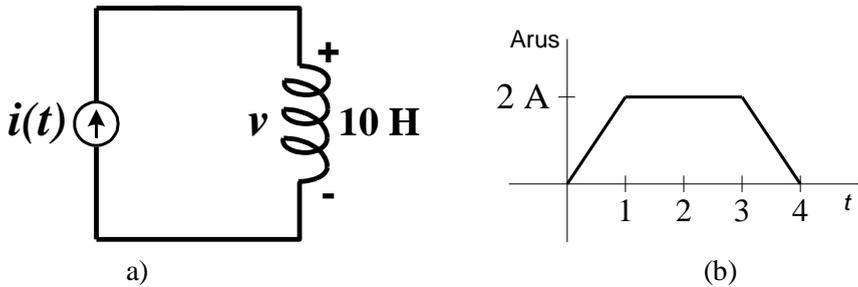
dikenakan pada kapasitor sebesar 5 μF . Hitung arus yang mengalir selama masing-masing selang dan gambar tegangan dan arus tersebut sebagai fungsi t .

10. Sumber soal [3 : 33]

Apakah persamaan $w = \frac{1}{2} Li^2$ berlaku jika L merupakan fungsi waktu? Selidiki juga untuk persamaan $w = \frac{1}{2} Cv^2$ jika C merupakan fungsi waktu

11. Sumber soal [3 : 23]

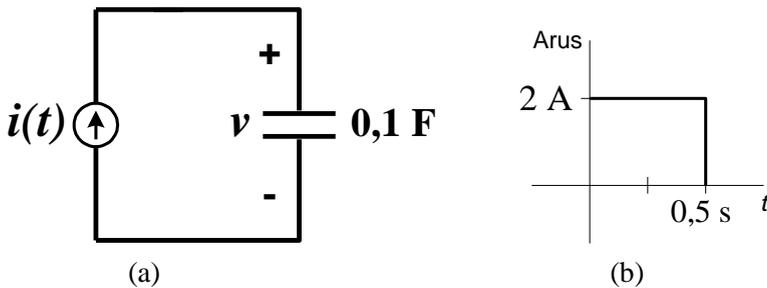
Induktansi pada gambar 2.14a dibangkitkan oleh suatu sumber arus sempurna. Lengkungan (yang dinamakan *bentuk-gelombang*) arus sebagai fungsi waktu diberikan pada gambar 2.14b. Lukislah bentuk gelombang tegangan v , daya sesaat p , dan tenaga yang tersimpan w sebagai fungsi waktu.



Gambar 2.14 Lihat Soal 11

12. Sumber soal [3 : 28]

Kapasitansi 0,1 F pada gambar 2.15a, mempunyai sumber arus sempurna sebagai pembangkitnya. Bentuk gelombang sumber itu berupa pulsa yang bernilai 2 A dalam selang waktu antara 0 dan 0,5 detik, dan 0 A (nol) untuk waktu lainnya (gambar 2.15b). Lukis bentuk gelombang tegangan kapasitansi v , muatan q , daya p , dan tenaga w yang tersimpan dalam kapasitor sebagai fungsi waktu.



Gambar 2.15 Lihat Soal 12

BAB III

HUKUM DASAR RANGKAIAN

3.1 Tujuan Instruksional Umum

Setelah mengikuti mata kuliah Rangkaian Listrik 1 ini mahasiswa akan dapat:

- Menguasai teori dari materi yang diberikan sebagai bahan untuk pemahaman materi selanjutnya.
- Menganalisis konsep, definisi, dan rumus-rumus yang diberikan.
- Memahami dan menjelaskan konsep-konsep, pengertian dan ikhtisar rangkaian listrik.
- Memahami dan menjelaskan hukum dan kaidah rangkaian listrik.
- Memahami, menjelaskan dan membuat gambar/grafik persamaan rangkaian listrik untuk ilustrasi arus, tegangan, energi dan daya pada rangkaian listrik.
- Memahami persoalan, metode pemecahan dan menyelesaikannya.

3.2 Tujuan Instruksional Khusus

Pada akhir perkuliahan ini mahasiswa akan dapat:

- Memahami dan menjelaskan tentang Hukum Kirchhoff I dan Hukum Kirchhoff II.
- Memahami dan menjelaskan tentang Hukum Ohm.
- Dapat mengaplikasikan Hukum Kirchhoff I untuk membuat persamaan arus atau tegangan di suatu simpul rangkaian listrik.
- Dapat mengaplikasikan Hukum Kirchhoff II untuk membuat persamaan arus atau tegangan di suatu loop tertutup pada rangkaian listrik.
- Dapat mengaplikasikan Hukum Ohm, Hukum Kirchhoff I dan Hukum Kirchhoff I untuk menyelesaikan persoalan dalam persamaan arus atau tegangan di suatu rangkaian.

3.3 Pendahuluan

Dalam bab ini akan dibahas bagaimana hukum dasar rangkaian mendasari gabungan dan interkoneksi beberapa unsur atau komponen dalam suatu rangkaian listrik. Akan dijumpai dua hukum dasar, yang satu menguraikan tentang bagaimana hubungan arus bila beberapa komponen rangkaian bertemu di satu titik dan yang kedua mengenai bagaimana beberapa tegangan bergabung bila semua komponen rangkaian dihubungkan secara berurutan.

Hukum dasar rangkaian secara rasional mengikuti sifat besaran listrik yang telah dibahas dalam bab satu. Hukum ini secara langsung memberikan tuntunan menuju cara yang sistematis dalam pembahasan masalah rangkaian listrik.

3.4 Hukum Kirchhoff

Hukum Kirchhoff diambil dari nama orang yang menemukannya, yaitu seorang guru besar berkebangsaan Jerman, Gustav Robert Kirchhoff.

3.4.1. Hukum Kirchhoff I: Hukum Arus

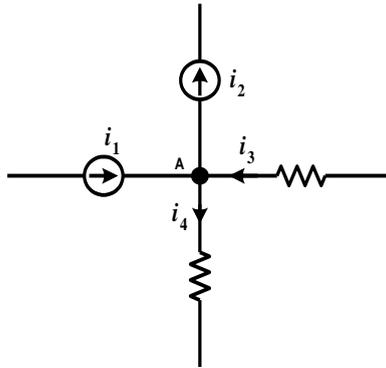
Jumlah aljabar semua arus yang menuju ke suatu titik-hubung adalah 0 (nol)

(Mismail, 1995: 34)

Secara matematika, hukum ini dituliskan sebagai [3 : 34]:

$$i_1 + i_2 + i_3 + \dots + i_n = 0 \quad (3.1)$$

Dalam rangkaian, titik-hubung ini digambarkan sebagai **titik** dan disebut sebagai **simpul**. Penetapan tanda (+) dan (-) sesuai dengan arah tanda panah terserah kita yang menentukan.



Gambar 3.1 Titik-hubung (simpul) rangkaian
(Mismail, 1995:36)

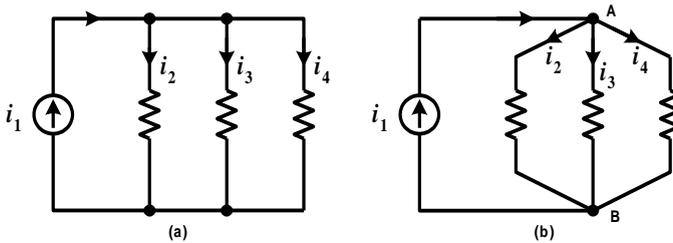
Perjanjian tanda untuk arus dalam rangkaian adalah sebagai berikut:

- Tetapkan suatu arah sebarang dengan pertolongan anak-panah dalam cabang tempat arus itu mengalir dan katakana arus itu positif.
- Jika ternyata arus yang sebenarnya mengalir berlawanan arah dengan tanda anak-panah itu maka dikatakan bahwa arus itu **arus negatif**.
- Pada gambar 3.1, menurut Hukum Kirchhoff I:

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

(arus masuk dianggap + dan arus keluar dianggap -) atau sebaliknya,
 $-i_1 + i_2 - i_3 + i_4 = 0$

Perhatikan gambar berikut:



Gambar 3.2 Rangkaian 4 simpul (a) yang bisa digambar kembali sebagai rangkaian 2 simpul (b)

Gambar 3.2(a) adalah gambar rangkaian 4 simpul yang bisa digambar kembali sebagai rangkaian 2 simpul seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.2(b).

3.4.2. Hukum Kirchhoff II: Hukum Tegangan

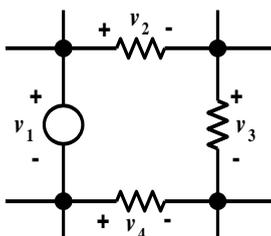
Jumlah aljabar semua tegangan yang diambil menurut arah tertentu mengelilingi sebuah jalur tertutup dalam sebuah rangkaian adalah 0 (nol)

(Mismail, 1995: 37)

Secara matematika, hukum ini dituliskan sebagai [3 : 37]:

$$v_1 + v_2 + v_3 + \dots + v_n = 0 \quad (3.2)$$

Tanda (-) dan (+) sesuai dengan polaritas tegangan yang ditentukan seperti yang dipelajari di pokok bahasan 1. Perhatikan gambar berikut:



Gambar 3.3 Loop tertutup jala listrik dalam suatu rangkaian listrik

Pada gambar 3.3, menurut Hukum Kirchhoff II:

$$v_1 - v_2 - v_3 + v_4 = 0$$

3.5 Hukum Ohm

Hukum Ohm diambil dari nama orang yang menemukannya, yaitu seorang ahli fisika berkebangsaan Jerman, George Simon Ohm. Hukum Ohm menyatakan bahwa:

Tegangan yang melintasi berbagai jenis bahan penghantar adalah berbanding lurus terhadap arus yang mengalir melalui bahan tersebut

Secara matematika, ditulis sebagai [2 : 21]:

$$\boxed{V = I.R} \tag{3.3}$$

V = tegangan, dalam satuan volt (V)

I = arus, dalam satuan ampere (A)

R = resistansi, dalam satuan ohm (Ω)

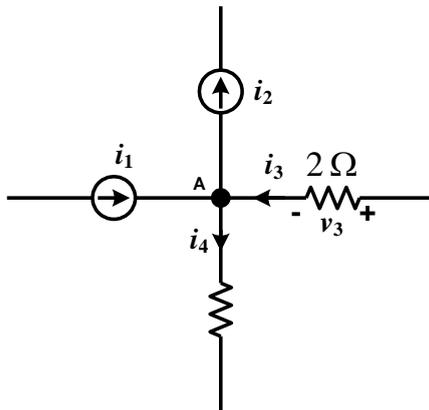
Resistansi R merupakan konstanta perbandingan. Perbandingan di antara arus dan tegangan adalah juga sebuah konstanta,

$$\frac{I}{V} = \frac{1}{R} = G$$

Konstanta G dinamai konduktansi, dengan satuan *mho* (\mathfrak{U})

Contoh Soal 3.1:

Arus-arus dan tegangan pada rangkaian yang terlukis pada gambar 3.4 adalah: $i_1 = 10 \text{ A}$; $i_2 = 4 \text{ A}$; $v_3 = 2 \text{ V}$. Tentukan nilai arus i_4 !



Gambar 3.4 Rangkaian untuk Contoh Soal 3.1

Penyelesaian:

Menurut Hukum Kirchhoff I:

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

Menurut Hukum Ohm:

$$i_3 = \frac{v_3}{2} = \frac{2}{2} = 1 \text{ A}$$

Jawab:

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

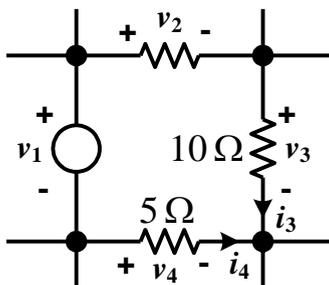
$$10 - 4 + 1 - i_4 = 0$$

$$7 - i_4 = 0$$

$$i_4 = 7 \text{ A}$$

Contoh Soal 3.2:

Rangkaian dalam gambar 3.5 memperlihatkan sebagian dari suatu jala listrik. Dalam rangkaian itu diketahui: $v_1 = 4 \text{ V}$; $v_2 = 3 \text{ V}$; dan $i_3 = 2 \text{ A}$. Tentukan besar arus i_4 !



Gambar 3.5 Rangkaian untuk contoh soal 3.2

Penyelesaian:

Menurut Hukum Kirchhoff II:

$$v_1 - v_2 - v_3 + v_4 = 0$$

Menurut Hukum Ohm:

$$v_3 = i_3 \times 10 = 2 \times 10 = 20 \text{ V}$$

Jawab:

$$v_1 - v_2 - v_3 + v_4 = 0$$

$$4 - 3 - 20 + v_4 = 0$$

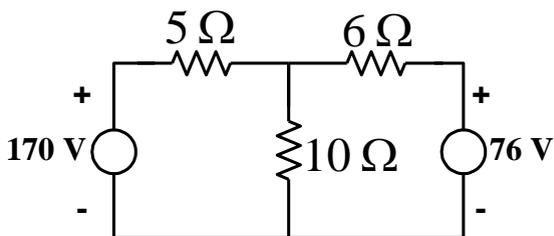
$$v_4 = 19 \text{ V}$$

$$i_4 = \frac{v_4}{5} = \frac{19}{5} = 3,8 \text{ A}$$

Soal-soal Latihan

1. Sumber soal [3 : 76]

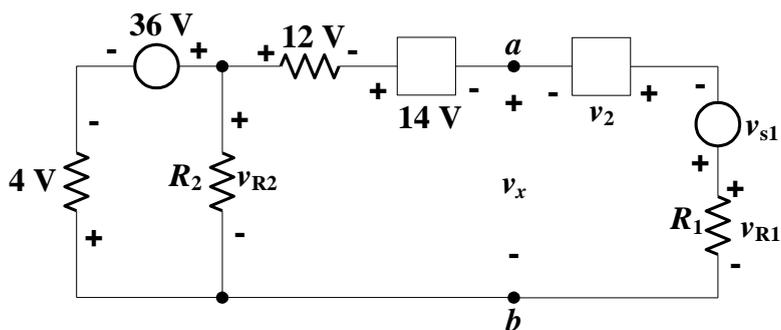
Dengan menggunakan Hukum Kirchhoff, tentukan tegangan V pada rangkaian dalam gambar 3.6.



Gambar 3.6 Lihat Soal 1

2. Sumber soal [2 : 25]

Untuk gambar 3.7, tentukan R_1 , R_2 , v_{R1} , v_{R2} , v_x dan v_{s1} .



Gambar 3.7 Lihat Soal 2

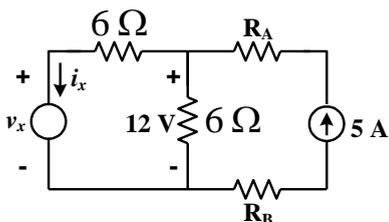
3. Sumber soal [2 : 26]

Tentukan jumlah cabang dan simpul pada tiap rangkaian pada gambar 3.8, 3.9 dan 3.10.

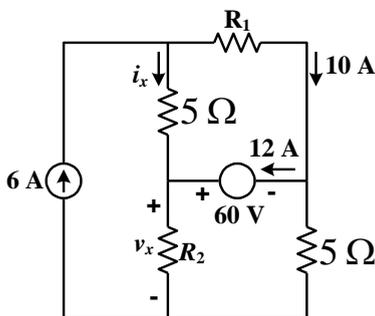
4. Sumber soal [2 : 26]

Tentukan i_x pada tiap rangkaian pada gambar 3.8, 3.9 dan 3.10.

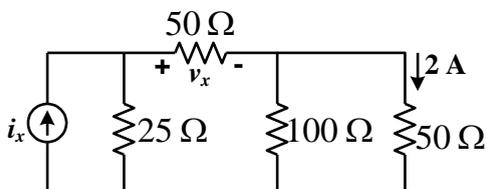
5. Sumber soal [2 : 26]
 Tentukan v_x pada tiap rangkaian pada gambar 3.8, 3.9 dan 3.10.



Gambar 3.8 Lihat Soal 3, 4, dan 5



Gambar 3.9 Lihat Soal 3, 4, dan 5



Gambar 3.10 Lihat Soal 3, 4, dan 5

BAB IV

PENGGUNAAN HUKUM DASAR PADA RANGKAIAN

4.1 Tujuan Instruksional Umum

Setelah mengikuti mata kuliah Rangkaian Listrik 1 ini mahasiswa akan dapat:

- Menguasai teori dari materi yang diberikan sebagai bahan untuk pemahaman materi selanjutnya.
- Menganalisis konsep, definisi, dan rumus-rumus yang diberikan.
- Memahami dan menjelaskan konsep-konsep, pengertian dan ikhtisar rangkaian listrik.
- Memahami dan menjelaskan hukum dan kaidah rangkaian listrik.
- Memahami, menjelaskan dan membuat gambar/grafik persamaan rangkaian listrik untuk ilustrasi arus, tegangan, energi dan daya pada rangkaian listrik.
- Memahami persoalan, metode pemecahan dan menyelesaikannya.

4.2 Tujuan Instruksional Khusus

Pada akhir perkuliahan ini mahasiswa akan dapat:

- Memahami dan menjelaskan definisi dari rangkaian seri dan rangkaian paralel.
- Memahami dan menjelaskan apa yang dimaksud dengan rangkaian ekuivalen.
- Memahami, menjelaskan dan membuat rangkaian ekuivalen seri dan rangkaian ekuivalen paralel pada suatu rangkaian resistor, rangkaian induktor dan rangkaian kapasitor.
- Memahami dan menjelaskan tentang persamaan pembagian tegangan dan pembagian arus.
- Memahami dan menjelaskan tentang transformasi $Y - \Delta$ (transformasi bintang – segitiga).

- Mentransformasikan rangkaian bintang Y menjadi rangkaian segitiga Δ , juga sebaliknya.
- Menerapkan hukum-hukum dasar rangkaian, sifat-sifat rangkaian seri dan paralel, persamaan pembagian tegangan dan pembagian arus, transformasi Y – Δ dan transformasi sumber untuk menyelesaikan persoalan yang ada.

4.3 Pendahuluan

Pada umumnya, suatu rangkaian listrik terdiri dari banyak rangkaian tertutup yang mempunyai banyak simpul dengan satu atau lebih sumber. Besaran yang diketahui pada umumnya berupa tegangan pada sumber tegangan atau arus dari sumber arusnya. Besaran yang tidak diketahui biasanya meliputi arus dan tegangan dalam unsur-unsur rangkaiannya. Persamaan yang digunakan dibuat berdasarkan hukum-hukum dasar rangkaian yang telah kita pelajari pada bab sebelumnya. Berdasarkan hukum matematika, jumlah persamaan bebas harus sama dengan jumlah variabel (besaran) yang tidak diketahui [3: 39].

Dari penjelasan di atas dapat kita tentukan, bahwa [3 : 39]:

1. Jumlah persamaan bebas berdasarkan Hukum Ohm adalah sama dengan jumlah unsur dalam rangkaian.
2. Jumlah persamaan bebas berdasarkan Hukum Kirchhoff I untuk arus adalah sama dengan jumlah simpul dalam rangkaian dikurang satu.
3. Jumlah persamaan bebas berdasarkan Hukum Kirchhoff II untuk tegangan adalah sama dengan jumlah loop tertutup bebas dalam rangkaian.

Rangkaian tertutup bebas adalah rangkaian yang persamaannya menurut hukum tegangan Kirchhoff mengandung paling sedikit salah satu tegangannya yang tidak termasuk dalam persamaan lain.

Jumlah persamaan bebas dan jumlah variabel dapat dikurangi dengan membuat suatu rangkaian ekuivalen yang lebih sederhana sehingga mempermudah dalam menyelesaikan persoalan. Rangkaian ekuivalen ini disebut sebagai **rangkaian ekuivalen seri** dan **rangkaian ekuivalen**

paralel. Penyederhanaan persamaan menjadi **persamaan pembagi arus** dan **pembagi tegangan** juga didapat dengan menerapkan sifat-sifat dari rangkaian seri dan paralel tersebut.

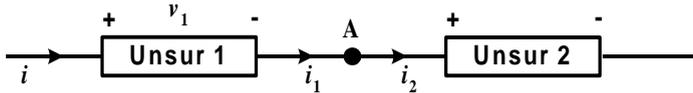
4.4 Definisi Rangkaian Seri dan Paralel

4.4.1. Definisi Rangkaian Seri

Dua unsur dikatakan terhubung seri jika dua unsur tersebut hanya mempunyai satu simpul bersama dan tidak ada unsur lain yang terhubung pada simpul itu.

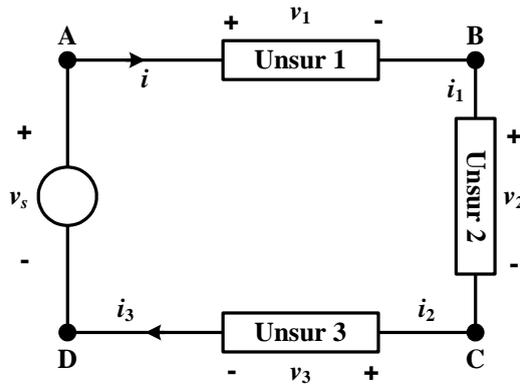
Penerapan Hukum Kirchoff I untuk hukum arus menunjukkan bahwa arus yang mengalir di kedua unsur yang terhubung seri adalah sama.

(Sudirham, 2002: 53)



Gambar 4.1 Dua unsur terhubung seri

Perhatikan gambar 4.1! Unsur 1 dan unsur 2 hanya mempunyai satu simpul bersama yaitu simpul A karena simpul A hanya menghubungkan dua buah unsur tersebut tanpa ada unsur lain yang terhubung.



Gambar 4.2 Satu sumber dan tiga unsur terhubung seri

$$i_1 = i_2 = i_3 = i$$

Penerapan Hukum Kirchhoff I pada simpul A, menghasilkan:

$$i_1 - i_2 = 0$$

$$i_1 = i_2 = i$$

Pada gambar 4.2, setiap titik hubung hanya menghubungkan dua unsur. Setiap unsur satu sama lain terhubung seri, sehingga arus yang melewatinya pun adalah sama.

4.4.2. Definisi Rangkaian Paralel

Dua unsur dikatakan terhubung paralel jika dua unsur tersebut terhubung pada dua simpul yang sama.

Penerapan Hukum Kirchhoff II untuk hukum tegangan pada loop tertutup yang dibentuk oleh dua unsur tersebut menunjukkan bahwa tegangan pada kedua unsur yang terhubung paralel adalah sama.

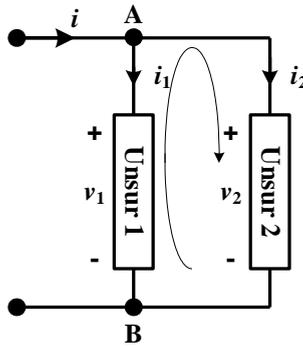
(Sudirham, 2002: 53)

Perhatikan gambar 4.3! Unsur 1 dan unsur 2 terhubung pada dua simpul yang sama yaitu simpul A dan simpul B.

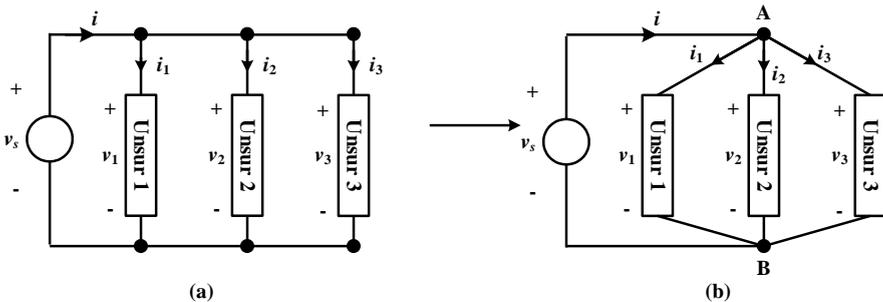
Penerapan Hukum Kirchhoff II pada loop tertutup, menghasilkan:

$$v_1 - v_2 = 0$$

$$v_1 = v_2$$



Gambar 4.3 Dua unsur terhubung paralel



Gambar 4.4 Tiga unsur terhubung paralel

$$v_1 = v_2 = v_3 = v$$

Pada gambar 4.4, gambar (a) menggambarkan tiga unsur yang terhubung dalam 6 simpul. Gambar (a) adalah gambar tiga unsur yang terhubung paralel dan dapat digambar kembali sebagai tiga unsur yang

terhubung hanya dalam 2 simpul seperti yang ditunjukkan pada gambar (b). Tegangan ketiga unsur adalah sama dengan v_s .

4.5 Rangkaian Ekuivalen (Rangkaian Pengganti)

Analisis terhadap suatu rangkaian sering akan menjadi lebih mudah dilaksanakan jika sebagian dari rangkaian dapat diganti dengan rangkaian lain yang ekuivalen dan lebih sederhana.

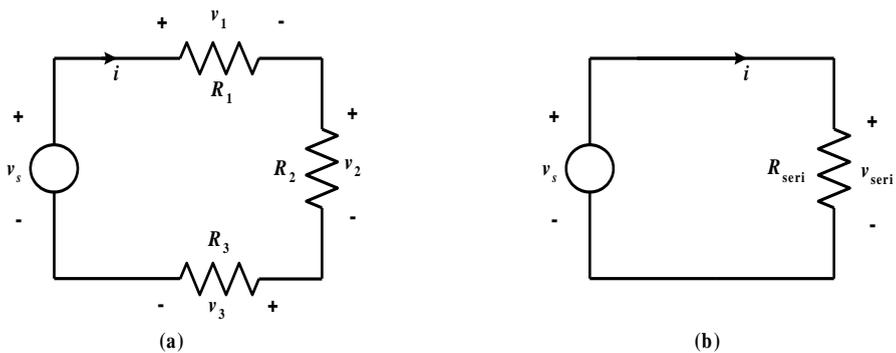
Dua rangkaian disebut ekuivalen jika kedua rangkaian tersebut di antara dua terminal tertentu mempunyai karakteristik $i - v$ yang sama

(Sudirham, 2002: 53)

4.5.1 Rangkaian Resistor

4.5.1.1 Rangkaian Ekuivalen Resistor terhubung Seri

Tujuan kita adalah untuk mendapatkan nilai ekuivalen resistor yang terhubung seri. Tinjau gambar 4.5 berikut [3 :40]:



Gambar 4.5 (a) Rangkaian resistor seri (b) rangkaian setara resistor seri

Dengan menggunakan Hukum Kirchoff II untuk loop tertutup rangkaian gambar 4.5(a), maka:

$$v_s - v_1 - v_2 - v_3 = 0$$

$$v_s = v_1 + v_2 + v_3$$

$$v_s = i.R_1 + i.R_2 + i.R_3$$

$$\boxed{v_s = i.(R_1 + R_2 + R_3)} \quad (4.1)$$

Perhatikan gambar 4.5(b). Kembali dengan menerapkan Hukum Kirchhoff II, didapat:

$$v_s = v_{\text{seri}}$$

$$\boxed{v_s = i.R_{\text{seri}}} \quad (4.2)$$

Dengan membandingkan persamaan (4.1) dan (4.2) diketahui bahwa nilai $(R_1 + R_2 + R_3)$ dapat digantikan sebagai R_{seri} :

$$\boxed{R_{\text{seri}} = R_1 + R_2 + R_3} \quad (4.3)$$

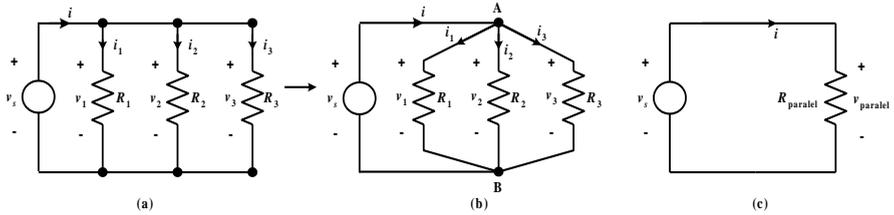
Dimana R_{seri} merupakan nilai resistansi setara resistor yang terhubung seri.

Secara umum, jika terdapat n buah resistor yang terhubung seri dalam suatu rangkaian, maka **resistansi setara serinya diperoleh dengan menjumlahkan masing-masing resistansi dalam rangkaian itu**. Secara matematika ditulis sebagai [3 : 41]:

$$\boxed{R_{\text{seri}} = R_1 + R_2 + R_3 + . . . + R_n} \quad (4.4)$$

4.5.1.2 Rangkaian Ekuivalen Resistor terhubung Paralel

Tinjau gambar 4.6 berikut:



Gambar 4.6 (a) & (b) Rangkaian resistor paralel (c) rangkaian setara resistor paralel

Dengan menggunakan Hukum Kirchoff I untuk simpul A rangkaian gambar 4.6(b), maka:

$$i - i_1 - i_2 - i_3 = 0$$

$$i = i_1 + i_2 + i_3$$

$$i = \frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} + \frac{v_3}{R_3} \rightarrow v_s = v_1 = v_2 = v_3 = v$$

$$i = \frac{v}{R_1} + \frac{v}{R_2} + \frac{v}{R_3} = v \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \quad (4.5)$$

Perhatikan gambar 4.6(c). Kembali dengan menerapkan Hukum Kirchoff II, didapat [3 : 42]:

$$v_s = v_{\text{paralel}} = v$$

$$v = i \cdot R_{\text{paralel}}$$

$$\boxed{i = \frac{v}{R_{\text{paralel}}}} \quad (4.6)$$

Dengan membandingkan persamaan (4.5) dan (4.6) diketahui bahwa nilai $\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right)$ dapat digantikan sebagai $\frac{1}{R_{\text{paralel}}}$, [3 : 42]:

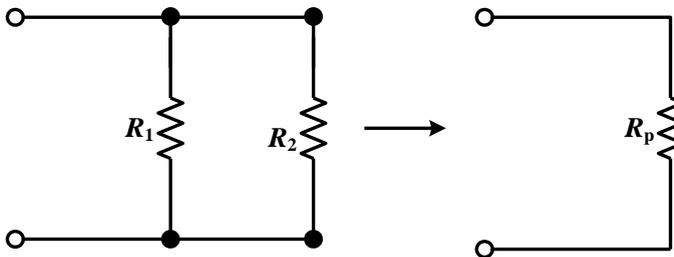
$$\frac{1}{R_{\text{paralel}}} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \quad (4.7)$$

Dimana R_{paralel} merupakan nilai resistansi setara resistor yang terhubung paralel.

Secara umum, jika terdapat n buah resistor yang terhubung paralel dalam suatu rangkaian, maka **resistansi setara paralelnya diperoleh dengan menjumlahkan kebalikan masing-masing resistansi dalam rangkaian itu**. Secara matematika ditulis sebagai [3 : 42]:

$$\frac{1}{R_{\text{paralel}}} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \right) \quad (4.8)$$

Suatu bentuk rangkaian yang sering dijumpai adalah kombinasi paralel dua buah resistor seperti yang tampak pada gambar 4.7:



Gambar 4.7 Dua resistor dalam hubungan paralel dengan R_p sebagai ekuivalennya

Penerapan persamaan (4.8) pada rangkaian ini memberikan [3 : 43]:

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$\frac{1}{R_p} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2}$$

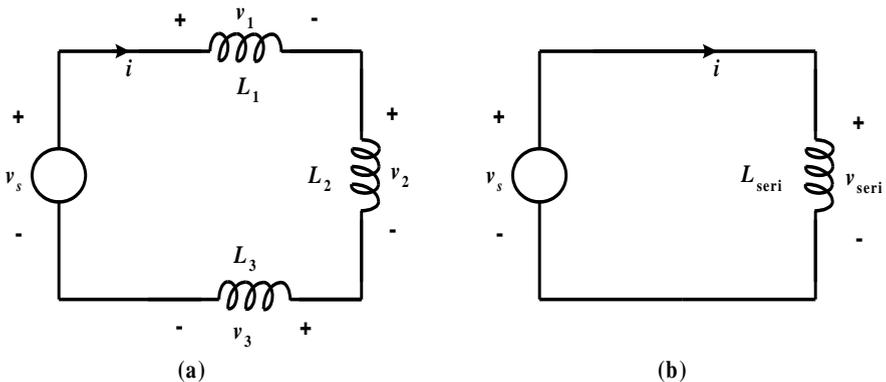
$$\boxed{R_p = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}} \quad (4.9)$$

Persamaan (4.9) hanya berlaku untuk rangkaian ekuivalen **dua resistor paralel**.

4.5.2. Rangkaian Induktor

4.5.2.1 Rangkaian Ekuivalen Induktor terhubung Seri

Tinjau gambar 4.8 berikut [3 : 46]:



Gambar 4.8 (a) Rangkaian induktor seri (b) rangkaian setara induktor seri

Dengan menggunakan Hukum Kirchhoff II untuk loop tertutup rangkaian gambar 4.8(a), maka:

$$v_s - v_1 - v_2 - v_3 = 0$$

$$v_s = v_1 + v_2 + v_3$$

$$v_s = L_1 \frac{di}{dt} + L_2 \frac{di}{dt} + L_3 \frac{di}{dt}$$

$$v_s = (L_1 + L_2 + L_3) \times \frac{di}{dt} \quad (4.10)$$

Perhatikan gambar 4.8(b). Kembali dengan menerapkan Hukum Kirchhoff II, didapat:

$$v_s = v_{\text{seri}}$$

$$\boxed{v_s = L_{\text{seri}} \frac{di}{dt}} \quad (4.11)$$

Dengan membandingkan persamaan (4.10) dan (4.11) diketahui bahwa nilai $(L_1 + L_2 + L_3)$ dapat digantikan sebagai L_{seri} :

$$\boxed{L_{\text{seri}} = L_1 + L_2 + L_3} \quad (4.12)$$

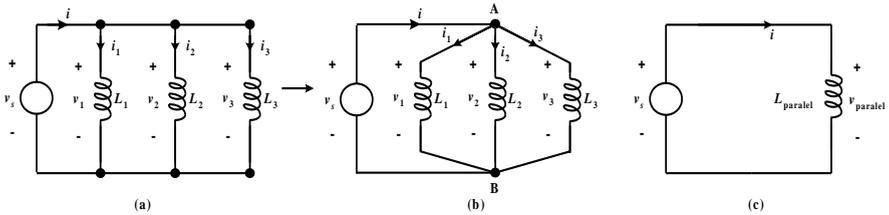
Dimana L_{seri} merupakan nilai induktansi setara induktor yang terhubung seri.

Secara umum, jika terdapat n buah induktor yang terhubung seri dalam suatu rangkaian, maka **induktansi setara serinya diperoleh dengan menjumlahkan masing-masing induktansi dalam rangkaian itu**. Secara matematika ditulis sebagai [3 : 47]:

$$\boxed{L_{\text{seri}} = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n} \quad (4.13)$$

4.5.2.2 Rangkaian Ekuivalen Induktor terhubung Paralel

Tinjau gambar 4.9 berikut:



Gambar 4.9 (a) & (b) Rangkaian induktor paralel (c) rangkaian setara induktor paralel

Dengan menggunakan Hukum Kirchhoff I untuk simpul A rangkaian gambar 4.9(b), maka:

$$i - i_1 - i_2 - i_3 = 0$$

$$i = i_1 + i_2 + i_3$$

$$i = \frac{1}{L_1} \int v_1 \cdot dt + \frac{1}{L_2} \int v_2 \cdot dt + \frac{1}{L_3} \int v_3 \cdot dt \rightarrow v_1 = v_2 = v_3 = v$$

$$i = \frac{1}{L_1} \int v \cdot dt + \frac{1}{L_2} \int v \cdot dt + \frac{1}{L_3} \int v \cdot dt$$

$$i = \left(\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} \right) \times \int v \cdot dt \tag{4.14}$$

Perhatikan gambar 4.9(c)! Untuk nilai arus i , didapat:

$$i = \frac{1}{L_{\text{paralel}}} \int v \cdot dt \tag{4.15}$$

Dengan membandingkan persamaan (4.14) dan (4.15) diketahui bahwa

nilai $\left(\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} \right)$ dapat digantikan sebagai $\frac{1}{L_{\text{paralel}}}$:

$$\frac{1}{L_{\text{paralel}}} = \left(\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} \right) \quad (4.16)$$

Dimana L_{paralel} merupakan nilai induktansi setara induktor yang terhubung paralel.

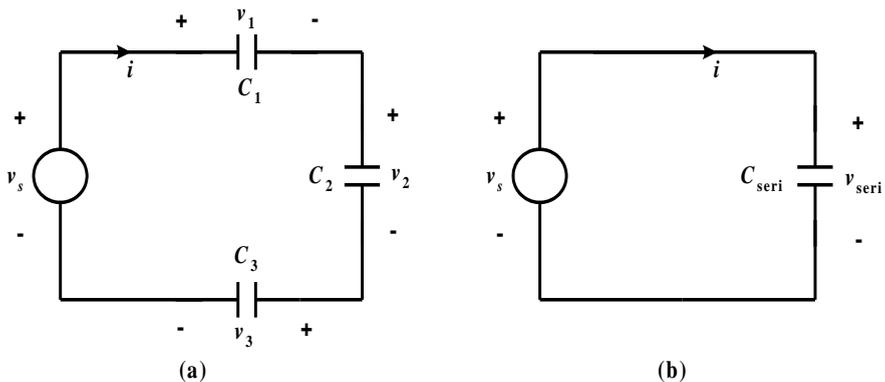
Secara umum, jika terdapat n buah induktor yang terhubung paralel dalam suatu rangkaian, maka **induktansi setara paralelnya diperoleh dengan menjumlahkan kebalikan masing-masing induktansi dalam rangkaian itu**. Secara matematika ditulis sebagai [3 : 48]:

$$\frac{1}{L_{\text{paralel}}} = \left(\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots + \frac{1}{L_n} \right) \quad (4.17)$$

4.5.3. Rangkaian Kapasitor

4.5.3.1 Rangkaian Ekuivalen Kapasitor terhubung Seri

Tinjau gambar 4.10 berikut:



Gambar 4.10 (a) Rangkaian kapasitor seri (b) rangkaian setara kapasitor seri

Dengan menggunakan Hukum Kirchhoff II untuk loop tertutup rangkaian gambar 4.10(a), maka:

$$v_s - v_1 - v_2 - v_3 = 0$$

$$v_s = v_1 + v_2 + v_3$$

$$v_s = \frac{1}{C_1} \int i \cdot dt + \frac{1}{C_2} \int i \cdot dt + \frac{1}{C_3} \int i \cdot dt$$

$$v_s = \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right) \times \int i \cdot dt \quad (4.18)$$

Perhatikan gambar 4.10(b). Kembali dengan menerapkan Hukum Kirchhoff II, didapat:

$$v_s = v_{\text{seri}}$$

$$\boxed{v_s = \frac{1}{C_{\text{seri}}} \int i \cdot dt} \quad (4.19)$$

Dengan membandingkan persamaan (4.18) dan (4.19) diketahui bahwa

nilai $\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right)$ dapat digantikan sebagai $\frac{1}{C_{\text{seri}}}$:

$$\boxed{\frac{1}{C_{\text{seri}}} = \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right)} \quad (4.20)$$

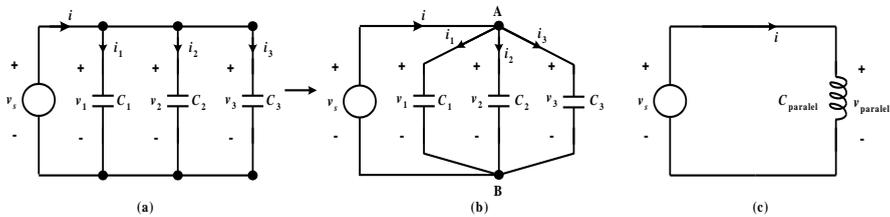
Dimana C_{seri} merupakan nilai kapasitansi setara kapasitor yang terhubung seri.

Secara umum, jika terdapat n buah kapasitor yang terhubung seri dalam suatu rangkaian, maka **kapasitansi setara serinya diperoleh dengan menjumlahkan kebalikan masing-masing kapasitansi dalam rangkaian itu**. Secara matematika ditulis sebagai [3 : 44]:

$$\frac{1}{C_{\text{seri}}} = \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n} \right) \quad (4.21)$$

4.5.3.2 Rangkaian Ekuivalen Kapasitor terhubung Paralel

Tinjau gambar 4.11 berikut:



Gambar 4.11 (a) Rangkaian kapasitor paralel (b) rangkaian setara kapasitor paralel

Dengan menggunakan Hukum Kirchhoff I untuk simpul A rangkaian gambar 4.11(b), maka:

$$i - i_1 - i_2 - i_3 = 0$$

$$i = i_1 + i_2 + i_3$$

$$i = C_1 \frac{dv_1}{dt} + C_2 \frac{dv_2}{dt} + C_3 \frac{dv_3}{dt} \rightarrow v_1 = v_2 = v_3 = v$$

$$i = C_1 \frac{dv}{dt} + C_2 \frac{dv}{dt} + C_3 \frac{dv}{dt}$$

$$i = (C_1 + C_2 + C_3) \times \frac{dv}{dt} \quad (4.22)$$

Perhatikan gambar 4.8(b). Untuk nilai arus i , didapat:

$$v_s = v_{\text{paralel}} = v$$

$$i = C_{\text{paralel}} \frac{dv}{dt} \quad (4.23)$$

Dengan membandingkan persamaan (4.22) dan (4.23) diketahui bahwa nilai $(C_1 + C_2 + C_3)$ dapat digantikan sebagai C_{paralel} :

$$C_{\text{paralel}} = C_1 + C_2 + C_3 \quad (4.24)$$

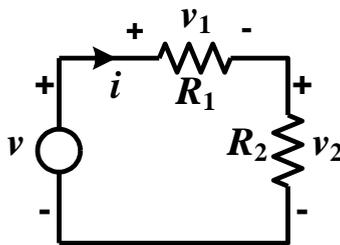
Dimana C_{paralel} merupakan nilai kapasitansi setarakapasi yang terhubung paralel.

Secara umum, jika terdapat n buah kapasitor yang terhubung paralel dalam suatu rangkaian, maka **kapasitansi setara paralelnya diperoleh dengan menjumlahkan masing-masing kapasitansi dalam rangkaian itu**. Secara matematika ditulis sebagai [3 : 45]:

$$C_{\text{paralel}} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n \quad (4.25)$$

4.6 Pembagian Tegangan dan Arus

4.6.1. Pembagian Tegangan



Gambar 4.12 Gambaran pembagian tegangan

Pembagian tegangan digunakan untuk menyatakan tegangan yang melintasi **salah satu di antara dua tahanan seri**. Perhatikan gambar 4.12. Dari gambar 4.12, [2 : 35]:

$$v - v_1 - v_2 = 0$$

$$v = v_1 + v_2$$

$$v = i.R_1 + i.R_2 = i(R_1 + R_2)$$

$$i = \frac{v}{(R_1 + R_2)} \quad (4.26)$$

$$v_1 = i.R_1 \rightarrow \text{substitusi persamaan (4.26)}$$

$$v_2 = i.R_2$$

$$\boxed{v_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot v} \quad \text{dan} \quad (4.27)$$

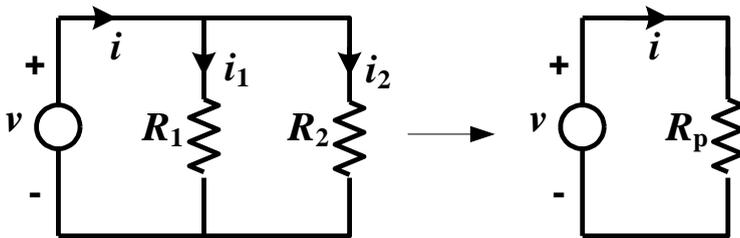
$$\boxed{v_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot v} \quad (4.28)$$

Bila jaringan pada gambar 4.12 digeneralisasi dengan menambah jumlah tahanan seri sebanyak N buah, maka dengan cara yang sama didapat persamaan umum pembagian tegangan yang melintasi suatu untaian N tahanan seri [2 : 36]:

$$\boxed{v_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_N} \cdot v} \quad \boxed{v_N = \frac{R_N}{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_N} \cdot v}$$

4.6.2. Pembagian Arus

Diberikan sebuah jaringan dengan arus total yang masuk ke dalam dua konduktansi paralel, seperti yang digambarkan oleh rangkaian pada gambar 4.13.



Gambar 4.13 Gambaran pembagian arus

Dari gambar 4.13, [2 : 36]:

$$i = i_1 + i_2$$

$$v = i \cdot R_p = i \cdot \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad (4.29)$$

$$v = i_1 \cdot R_1 = i_2 \cdot R_2$$

$$i_1 = \frac{v}{R_1} = i \cdot \frac{R_1 \cdot R_2}{(R_1 + R_2) \cdot R_1} \rightarrow \text{substitusi persamaan (4.29)}$$

$$i_1 = i \cdot \frac{R_2}{(R_1 + R_2)} \quad (4.30)$$

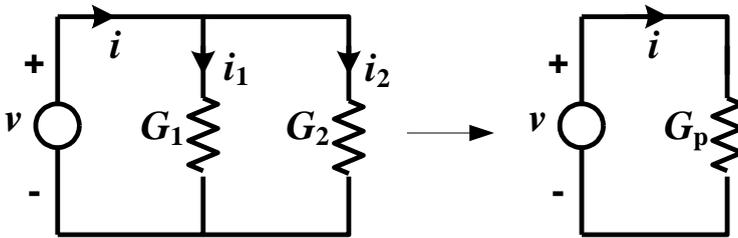
Dengan cara yang sama, [2 : 36]:

$$i_2 = i \cdot \frac{R_1}{(R_1 + R_2)} \quad (4.31)$$

Persamaan (4.30) dan (4.31) tidak bisa digeneralisasi begitu saja seperti halnya pembagian tegangan.

$$i_a = i \cdot \frac{R_b}{(R_1 + R_2 + \dots + R_n)} \quad \text{AWASS!!}$$

Persamaan (4.30) dan (4.31) hanya berlaku untuk rangkaian **dengan dua tahanan paralel**. Dengan mengetahui konduktansi $G = \frac{1}{R}$, liat kembali gambar 4.14.



Gambar 4.14 Gambaran pembagian arus dengan konduktansi

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$G_p = G_1 + G_2$$

$$v = i \cdot R_p = \frac{i}{G_p} = \frac{i}{G_1 + G_2} \quad (4.32)$$

Maka,

$$i_1 = \frac{v}{R_1} = G_1 \cdot v \rightarrow \text{substitusi persamaan (4.32)}$$

$$i_1 = G_1 \cdot \frac{i}{G_1 + G_2} \text{ atau } \boxed{i_1 = i \cdot \frac{G_1}{G_1 + G_2}} \quad (4.33)$$

dan, dengan cara yang sama

$$\boxed{i_2 = i \cdot \frac{G_2}{G_1 + G_2}} \quad (4.34)$$

Bila jaringan pada gambar 4.14 digeneralisasi dengan menambah jumlah tahanan paralel sebanyak N buah, maka dengan cara yang sama didapat persamaan umum pembagian arus yang melalui suatu N tahanan paralel [2 : 36]:

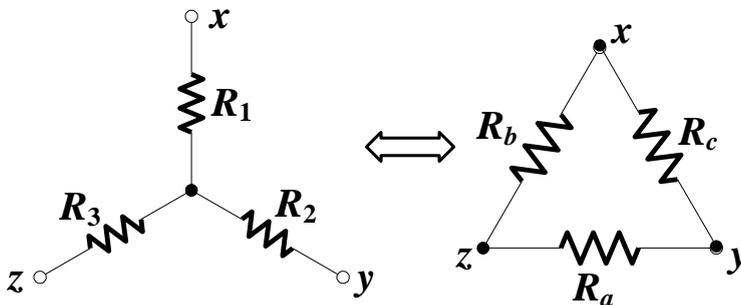
$$i_1 = \frac{G_1}{G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_N} \cdot i \quad (4.35)$$

atau jika dinyatakan dalam harga-harga tahanan, [2 : 37]:

$$i_1 = \frac{1/R_1}{1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots + 1/R_N} \cdot i \quad (4.36)$$

4.7 Transformasi Y – Δ (Bintang – Segitiga)

Dalam beberapa rangkaian, ada bentuk rangkaian tertentu yang tidak dapat dikategorikan sebagai rangkaian seri atau rangkaian paralel, sehingga persoalan tidak dapat diselesaikan dengan menggunakan sifat-sifat rangkaian seri atau paralel. Bentuk rangkaian semacam ini memiliki dua kemungkinan, mungkin terhubung **Y (bintang)** atau mungkin terhubung **Δ (segitiga)**.

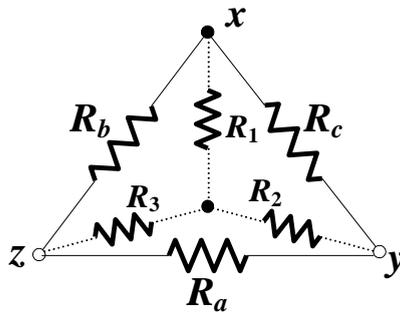


Gambar 4.15 Hubungan Y dan hubungan Δ

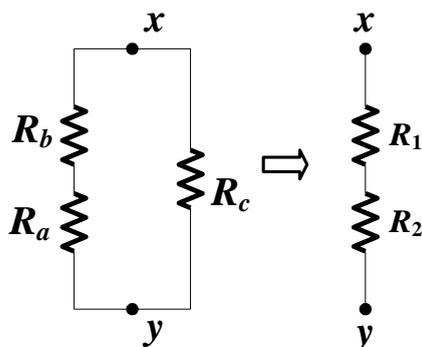
Konfigurasi Y dan Δ diselesaikan dengan metode transformasi Y- Δ . Transformasi ini memungkinkan tiga resistor yang dihubungkan dalam bentuk Y digantikan oleh tiga resistor lain dalam bentuk Δ , dan atau sebaliknya. Transformasi dapat mengubah rangkaian menjadi hubungan seri atau paralel.

Perhatikan gambar 4.15. Jika kedua rangkaian Y dan Δ tersebut harus sama, maka resistansi antara setiap pasangan kutubnya haruslah sama. Tiga persamaan serentak dapat ditulis untuk menyatakan kesetaraan ketiga pasang resistansi kutub tersebut [3 : 56].

Untuk pasangan kutub x dan y , resistansi setara Δ adalah R_c dalam hubungan paralel dengan kombinasi seri R_a dan R_b , dan resistansi setara untuk bentuk Y pada pasangan kutub tersebut adalah kombinasi seri R_1 dan R_2 . Liat gambar 4.16 dan 4.17.



Gambar 4.16 Rangkaian setara Y dan Δ



Gambar 4.17 Representasi rangkaian setara Y dan Δ pada kutub x dan y

Jadi dapat ditulis,

$$R_{xy} = R_1 + R_2 = \frac{R_c (R_a + R_b)}{R_a + R_b + R_c} \quad (4.37)$$

aljabar dari persamaan (4.37),

$$R_1 + R_2 = \frac{R_a R_c + R_b R_c}{R_a + R_b + R_c} = \frac{R_a R_c}{R_a + R_b + R_c} + \frac{R_b R_c}{R_a + R_b + R_c} \quad (4.38)$$

Dua persamaan pasangan kutub serupa dapat pula ditulis untuk kedua pasangan kutub yang lainnya dan dijabarkan,

$$R_{yz} = R_2 + R_3 = \frac{R_a (R_b + R_c)}{R_a + R_b + R_c} \quad (4.39)$$

$$R_2 + R_3 = \frac{R_a R_b + R_a R_c}{R_a + R_b + R_c} = \frac{R_a R_b}{R_a + R_b + R_c} + \frac{R_a R_c}{R_a + R_b + R_c} \quad (4.40)$$

$$R_{zx} = R_3 + R_1 = \frac{R_b (R_a + R_c)}{R_a + R_b + R_c} \quad (4.41)$$

$$R_3 + R_1 = \frac{R_a R_b + R_b R_c}{R_a + R_b + R_c} = \frac{R_a R_b}{R_a + R_b + R_c} + \frac{R_b R_c}{R_a + R_b + R_c} \quad (4.42)$$

Dengan membandingkan persamaan (4.38), (4.40) dan (4.42) di dapat persamaan transformasi dari Δ ke Y,

$$R_1 = \frac{R_b R_c}{R_a + R_b + R_c} \quad (4.43)$$

$$R_2 = \frac{R_a R_c}{R_a + R_b + R_c} \quad (4.44)$$

$$R_3 = \frac{R_a R_b}{R_a + R_b + R_c} \quad (4.45)$$

atau kembali dengan beberapa substitusi di dapat persamaan transformasi dari Y ke Δ ,

$$R_a = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_1} \quad (4.46)$$

$$R_b = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_2} \quad (4.47)$$

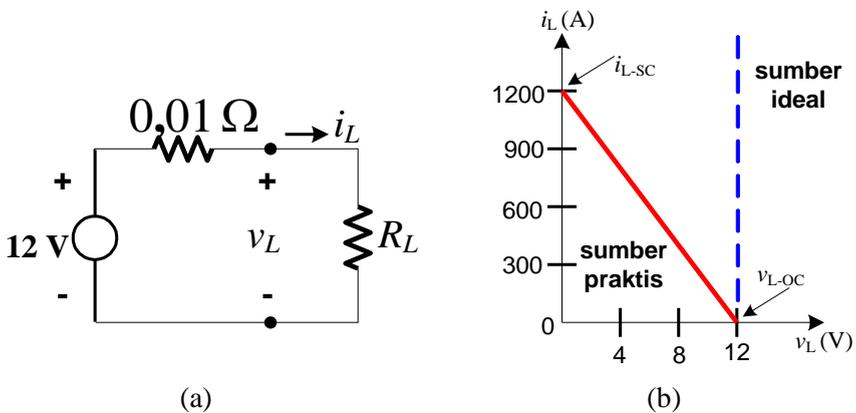
$$R_c = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_3} \quad (4.48)$$

4.8 Transformasi Sumber (Sumber dengan Rangkaian Setaranya)

Dalam pelajaran sebelumnya kita telah menggunakan terus menerus sumber-sumber arus dan tegangan ideal, sudah waktunya sekarang mengambil langkah yang lebih dekat kepada realitas dengan meninjau sumber-sumber praktis. Setelah mendefinisikan sumber-sumber praktis, kemudian kita akan mempelajari metode dimana sumber-sumber arus dan

tegangan praktis dapat dipertukarkan tanpa mempengaruhi sisa rangkaian. Sumber-sumber seperti itu dinamakan sumber ekuivalen [2 : 66].

Sumber tegangan ideal didefinisikan sebagai sebuah alat yang tegangan terminalnya tidak bergantung pada arus yang melaluinya. Menurut Hukum Ohm, Sumber DC 1 V menghasilkan arus sebesar 1 A apabila melalui tahanan 1 Ω . Namun jika arus melalui tahanan 1 $\mu\Omega$, maka arus bernilai 1000.000 ampere. Dengan nilai arus sebesar itu berarti sumber dapat memberikan daya yang sangat besar dimana daya $P = I^2.R$ (tak hingga) atau sekitar 10^{12} W. Padahal dalam kenyataannya tidak ada alat seperti itu [2 : 66].



Gambar 4.18 (a) Sebuah sumber praktis 12 V dihubungkan dengan beban R_L

(b) Hubungan antara i_L dan v_L adalah linear

(Hayt dan Kemmerly, 1991: 67)

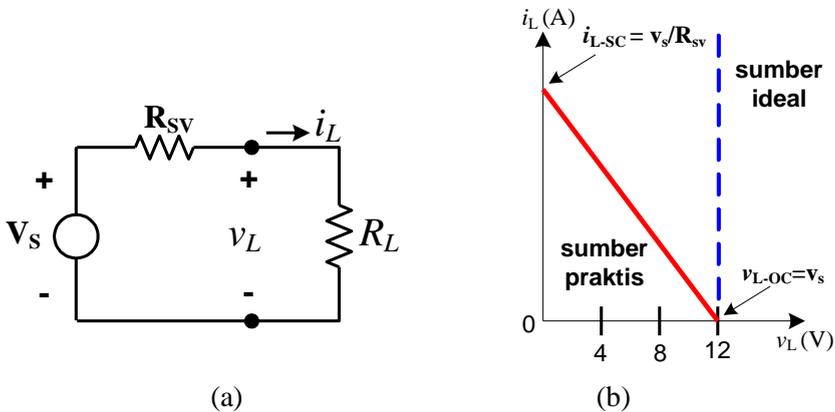
Pada gambar 4.18 (a) diperlihatkan sumber tegangan praktis yang dihubungkan dengan tahanan beban R_L . Menurut Hukum Kirchoff:

$$12 = 0,01i_L + v_L$$

Maka,
$$i_L = \frac{12 - v_L}{0,01} = 1200 - 100v_L$$

Hubungan antara i_L dan v_L diperlihatkan pada gambar 4.18(b), ditunjukkan dengan garis merah. Garis biru putus-putus vertical menunjukkan grafik $i_L - v_L$ bagi sumber tegangan ideal dimana tegangan terminal tetap konstan untuk harga arus beban berapa pun. Bagi sumber tegangan praktis, tegangan terminal mempunyai harga yang dekat dengan sumber ideal hanya bila arus beban relatif kecil.

Kita tinjau sekarang sebuah sumber tegangan praktis yang umum seperti diperlihatkan di dalam gambar 4.19.



Gambar 4.19 (a) Sebuah sumber tegangan praktis yang umum yang dihubungkan dengan beban R_L

(b) Tegangan terminal turun sedang i_L naik dan $R_L = v_L/i_L$
(Hayt dan Kemmerly, 1991: 68)

Lihat gambar 4.20. Hubungan linear antara v_L dan i_L adalah,

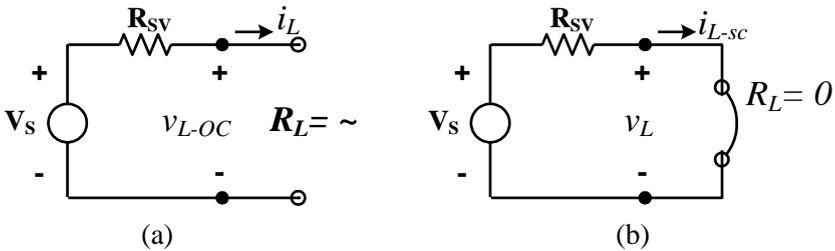
$$v_L = v_s - R_{sv}i_L \tag{4.49}$$

Jika $R_L = \infty$, maka $i_L = 0$, sehingga

$$v_{L-OC} = v_s \tag{4.50}$$

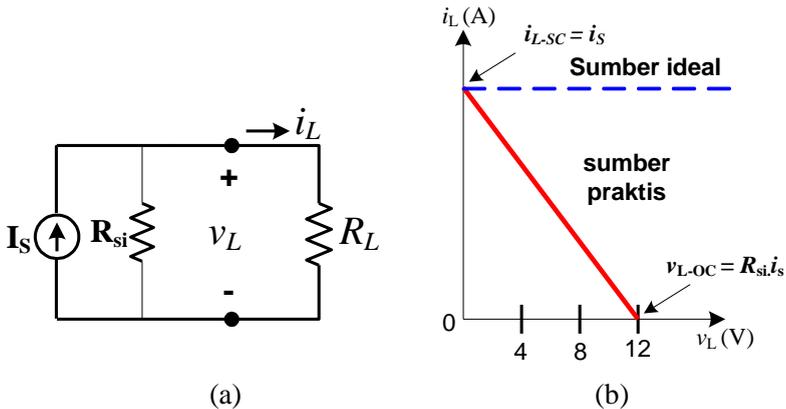
Jika $R_L = 0$, maka

$$i_{L-SC} = \frac{v_s}{R_{sv}} \quad (4.51)$$



Gambar 4.20 Sumber tegangan praktis dimana (a) $R_L = \sim$ dan (b) $R_L = 0$

Kembali suatu sumber arus praktis didefinisikan sebagai sumber arus praktis yang paralel dengan sebuah tahanan dalam R_{si} . Ditunjukkan pada gambar 4.21.



Gambar 4.21 Sebuah sumber arus praktis yang umum yang dihubungkan dengan beban R_L
(Hayt dan Kemmerly, 1991: 68)

Dari gambar 4.21, jelaslah bahwa,

$$i_L = i_s - \frac{v_L}{R_{si}} \quad (4.52)$$

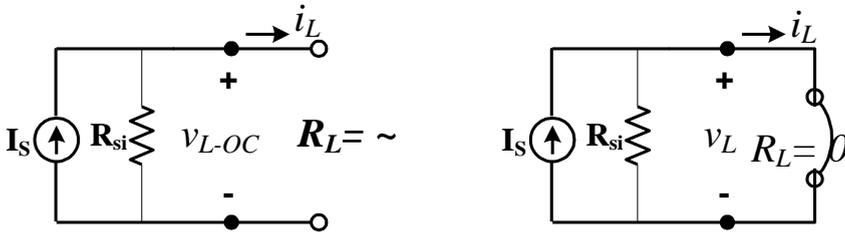
Jika $R_L = \infty$, maka

$$v_{L-OC} = R_{si} \times i_s \quad (4.53)$$

Jika $R_L = 0$, maka

$$i_{L-SC} = i_s \quad (4.54)$$

Lihat gambar 4.22



Gambar 4.22 Sumber arus praktis dimana (a) $R_L = \infty$ dan (b) $R_L = 0$

Dari persamaan (4.50) dan (4.53) didapat,

$$v_{L-OC} = v_s = R_{si} \times i_s \quad (4.55)$$

Dari persamaan (4.51) dan (4.54) didapat,

$$i_{L-SC} = \frac{v_s}{R_{sv}} = i_s \quad (4.56)$$

Akhirnya didapat,

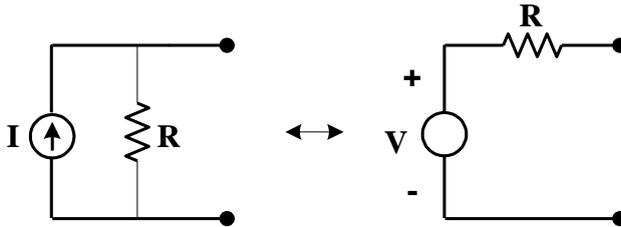
$$R_{sv} = R_{si} = R_s \quad (4.57)$$

$$\text{Dan } v_s = R_s \times i_s \quad (4.58)$$

Dari uraian di atas, maka rangkaian setara gambar 4.23 (a) adalah gambar 4.23 (b) dimana,

$$V = I.R$$

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



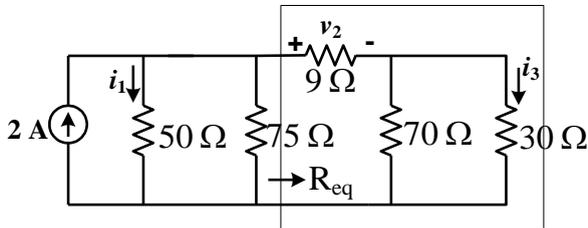
Gambar 4.23 Gambar rangkaian setara sumber

Soal-soal Latihan

1. Sumber soal [2 : 37]

Dalam rangkaian pada gambar 4.24:

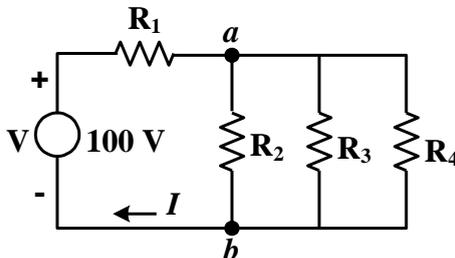
- (a) pakailah metode kombinasi tahanan seri paralel untuk mencari R_{eq} (dalam area kotak);
- (b) pakailah pembagian arus untuk mencari i_1 ;
- (c) pakailah pembagian tegangan untuk mencari v_2 ;
- (d) pakailah pembagian arus untuk mencari i_3 .



Gambar 4.24 Lihat Soal 1

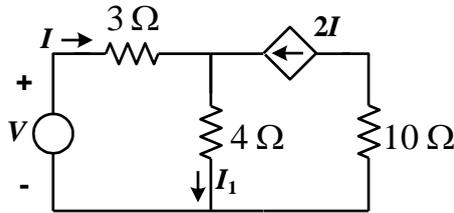
2. Sumber soal [3 : 77]

Rangkaian pada gambar 4.25 tersusun dari gabungan tiga buah resistor dalam hubungan paralel yang dihubungkan seri dengan resistor R_1 . $R_1 = 40 \Omega$; $R_2 = 20 \Omega$; $R_3 = 33,33 \Omega$; $R_4 = 50 \Omega$. Tentukan arus I .



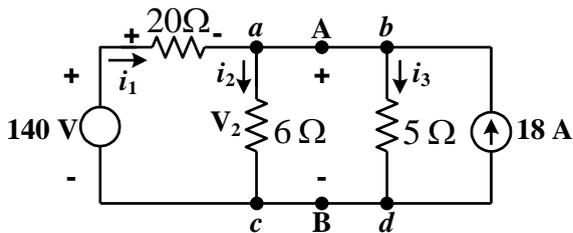
Gambar 4.25 Lihat Soal 2 dan 3

3. Sumber soal [3 : 77]
Tentukan beda potensial antara kutub $a - b$ dalam rangkaian pada gambar 4.25
4. Tentukan resistansi masukan dari rangkaian dalam gambar 4.26.



Gambar 4.26 Lihat Soal 4

5. Tentukan tegangan dan arus yang belum diketahui dalam rangkaian gambar 4.27. Tuliskan juga kesetimbangan daya yang menunjukkan banyaknya daya yang diserap oleh semua resistansinya sama dengan daya yang diberikan oleh kedua sumber.



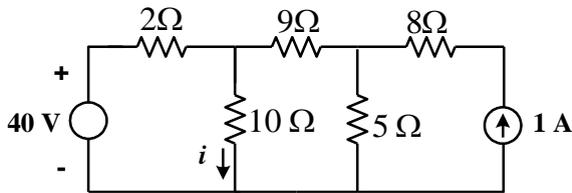
Gambar 4.27 Lihat Soal 5

6. Resistansi suatu miliammeter arus searah adalah 20Ω . Simpangan pada skala meternya sebanding dengan arus dalam kumparannya; simpangan maksimumnya dihasilkan oleh arus sebesar 10 mA. Miliammeter tersebut akan digunakan sebagai voltmeter arus searah

dengan memasang resistor yang sesuai (disebut *pengali – multiplier*). Tegangan untuk simpangan maksimum yang diinginkan adalah 300 V. Tentukan berapa resistansi pengali yang diperlukan itu.

7. Sumber soal [3 : 77]

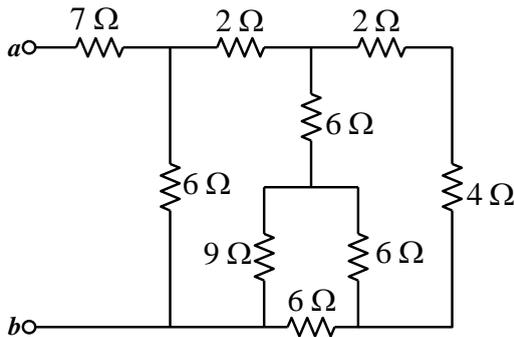
Untuk rangkaian pada gambar 4.28, hitunglah berapa besar arus i .



Gambar 4.28 Lihat Soal 7

8. Sumber soal [3 : 78]

Tentukan resistansi setara untuk rangkaian pada gambar 4.29.



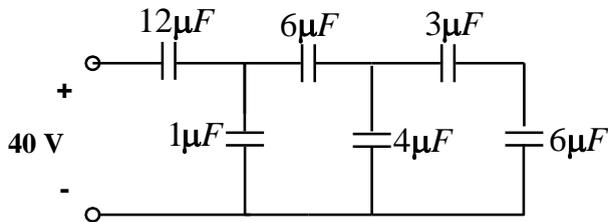
Gambar 4.29 Lihat Soal 8

9. Sumber soal [3 : 78]

Jika kutub $a - b$ dihubungkan ke suatu sumber tegangan sempurna sebesar 100 V, tentukan arus yang mengalir dalam resistor 4Ω pada gambar 4.29.

10. Sumber soal [3 : 79]

Tentukan kapasitansi setara pada gambar 4.30.



Gambar 4.29 Lihat Soal 10

BAB V

METODE ANALISIS RANGKAIAN

5.1 Tujuan Instruksional Umum

Setelah mengikuti mata kuliah Rangkaian Listrik 1 ini mahasiswa akan dapat:

- Menguasai teori dari materi yang diberikan sebagai bahan untuk pemahaman materi selanjutnya.
- Menganalisis konsep, definisi, dan rumus-rumus yang diberikan.
- Memahami dan menjelaskan konsep-konsep, pengertian dan ikhtisar rangkaian listrik.
- Memahami dan menjelaskan hukum dan kaidah rangkaian listrik.
- Memahami, menjelaskan dan membuat gambar/grafik persamaan rangkaian listrik untuk ilustrasi arus, tegangan, energi dan daya pada rangkaian listrik.
- Memahami persoalan, metode pemecahan dan menyelesaikannya.

5.2 Tujuan Instruksional Khusus

Pada akhir perkuliahan ini mahasiswa akan dapat:

- Memahami, menjelaskan dan memecahkan persoalan dengan metode arus mata jala (*mesh*).
- Memahami, menjelaskan dan memecahkan persoalan dengan metode tegangan simpul (*node*).
- Memahami, menjelaskan dan memecahkan persoalan dengan metode superposisi.
- Memahami, menjelaskan dan memecahkan persoalan dengan metode Thevenin.
- Memahami, menjelaskan dan memecahkan persoalan dengan metode Norton.

5.3 Pendahuluan

Bab-bab terdahulu sudah membahas tentang hukum-hukum dasar rangkaian meliputi Hukum Ohm, Hukum Kirchhoff, analisis rangkaian seri paralel beserta sifat-sifatnya, pembagian arus dan tegangan dan transformasi $Y - \Delta$. Persoalan rangkaian-rangkaian sederhana tentunya lebih mudah diselesaikan dengan analisis-analisis tersebut.

Pada bab ini kita akan mulai menganalisis rangkaian-rangkaian yang lebih sukar. Dalam membahas berbagai teknik analisis, akan dibatasi hanya pada rangkaian yang unsur rangkaiannya hanya terdiri dari resistor. Hal ini dilakukan agar pusat perhatian hanya tertuju pada teori rangkaian itu sendiri yang bebas dari berbagai kerumitan yang bakal timbul dengan adanya bilangan kompleks jika induktor dan kapasitor terlibat dalam rangkaian tersebut.

5.4 Metode Analisis Arus Mata Jala (*Mesh*)

Metode *mesh* merupakan cara lain yang digunakan untuk menyelesaikan persoalan rangkaian dimana persamaan-persamaan Hukum Kirchhoff I untuk arus terlukis secara implisit pada diagram rangkaiannya dan persamaan-persamaan untuk tegangan ditulis secara eksplisit serta harus diselesaikan untuk arus-arus yang tidak diketahui [3 : 88].

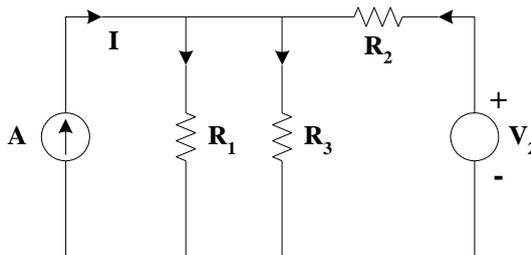
Mata jala (*mesh*) adalah suatu kasus khusus rangkaian tertutup, yaitu **rangkaian tertutup yang tidak mengandung unsur rangkaian lain di tengahnya**. Artinya analisis hanya dapat dipakai pada jaringan-jaringan yang terletak dalam satu bidang (*planar circuit*).

Prosedur formal yang harus dilakukan untuk menyelesaikan persoalan rangkaian listrik dengan metode arus mata jala adalah sbb [3 : 90]:

1. Pastikan bahwa rangkaian hanya mengandung sumber tegangan. Apabila ada sumber yang dinyatakan sebagai kombinasi hubungan paralel antara sumber arus sempurna dengan salah satu unsur rangkaian, maka sumber arus tersebut harus digantikan dengan kombinasi hubungan seri antara sumber tegangan sempurna dengan unsur rangkaian tersebut.

2. Arus mata jala dipilih menurut arah jarum jam. Pemilihan arah arus ini akan mengakibatkan arus unsur berupa arus mata jala atau selisih aljabar dua arus mata jala.
3. Tentukan arus mata jala yang bebas berdiri sendiri tidak terpengaruh oleh arus mata jala yang lainnya.
4. Persamaan-persamaan mata jala ditulis menurut Hukum Kirchhoff II untuk tegangan, ditulis secara berurutan untuk mata jala A, B, C, ... dst.
5. Persamaan-persamaan tersebut kemudian diselesaikan untuk arus mata jala yang diinginkan.
6. Arus dan tegangan yang lain dalam rangkaian dapat ditentukan dengan menggunakan hukum-hukum dasar rangkaian (Hukum Kirchhoff, Hukum Ohm dan analisis rangkaian seri paralel).

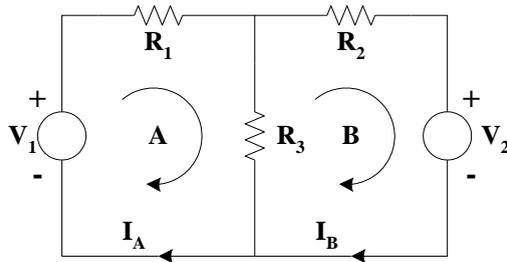
Contoh Analisis Rangkaian dengan Metode Arus Mata Jala:



Gambar 5.1 Rangkaian untuk contoh analisis dengan metode arus mata jala

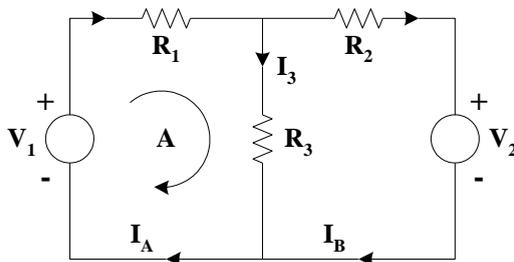
Langkah-langkah:

1. Sumber arus yang paralel dengan R_1 diubah dulu menjadi sumber tegangan V_1 yang seri dengan R_1 . Dimana $V_1 = I \times R_1$. Rangkaian ekuivalen diperlihatkan pada gambar 5.2.



Gambar 5.2 Rangkaian ekuivalen untuk rangkaian pada gambar 5.1

2. Tentukan arah arus mata jala A dan B (karena hanya ada dua loop tertutup).
3. Tentukan arus mata jala A dan B yang bebas berdiri sendiri yaitu I_A dan I_B (lihat kembali gambar 5.2).
4. Tentukan persamaan setiap mata jala:
 - a. Untuk mata jala A



Gambar 5.3

Perhatikan arah arus pada gambar 5.3: $I_A = I_3 + I_B$ sehingga $I_3 = I_A - I_B$

Menurut Hukum Kirchoff II untuk tegangan:

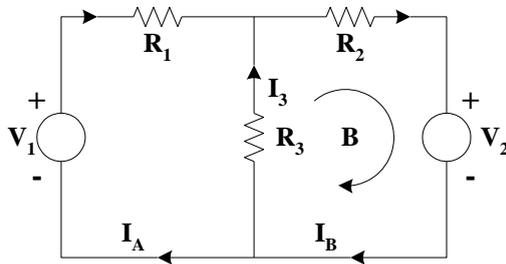
$$V_1 - I_A R_1 - I_3 R_3 = 0$$

$$V_1 = I_A R_1 + I_3 R_3$$

$$V_1 = I_A R_1 + (I_A - I_B) R_3$$

$$V_1 = I_A (R_1 + R_3) - I_B R_3 \quad (5.1)$$

b. Untuk mata jala B



Gambar 5.4

Perhatikan arah arus pada gambar 3.4: $I_B = I_3 + I_A$ sehingga $I_3 = I_B - I_A$

Menurut Hukum Kirchoff II untuk tegangan:

$$-V_2 - I_3 R_3 - I_B R_2 = 0$$

$$-V_2 = I_3 R_3 + I_B R_2$$

$$-V_2 = (I_B - I_A) R_3 + I_B R_2$$

$$-V_2 = I_B (R_2 + R_3) - I_A R_3 \quad (5.2)$$

Jika persamaan (5.1) dan (5.2) ditulis kembali:

$$A : V_1 = I_A (R_1 + R_3) - I_B R_3 \quad (5.3)$$

$$B : -V_2 = -I_A R_3 + I_B (R_2 + R_3) \quad (5.4)$$

Kedua persamaan (5.3) dan (5.4) membentuk pola khusus, dimana:

Untuk mata jala A

- Koefisien I_A adalah jumlah positif semua resistansi yang membentuk mata jala A
- Koefisien I_B adalah jumlah negatif semua resistansi yang dimiliki bersama antara mata jala A dan B
- V_1 adalah jumlah positif sumber tegangan naik yang diambil searah dengan jarum jam dalam mata jala itu

Untuk mata jala B

- Koefisien I_A adalah jumlah negatif semua resistansi yang dimiliki bersama antara mata jala A dan B
- Koefisien I_B adalah jumlah positif semua resistansi yang membentuk mata jala B
- V_2 adalah jumlah positif sumber tegangan naik yang diambil searah dengan jarum jam dalam mata jala itu (negatif karena tegangan naik berlawanan dengan arah jarum jam atau arah arus mata jala)

Dari analisis di atas, jika terdapat N buah loop tertutup, maka persamaan mata jala yang didapat adalah sebanyak N persamaan, yaitu [3 : 90]:

$A : R_{AA}I_A - R_{AB}I_B - \dots - R_{AN}I_N = V_A$	(5.5)
$B : -R_{BA}I_A + R_{BB}I_B - \dots - R_{BN}I_N = V_B$	
.....	
$N :- R_{NA}I_A - R_{NB}I_B - \dots + R_{NN}I_N = V_N$	

Dimana:

R_{XX} = Jumlah semua resistansi yang membentuk mata jala X

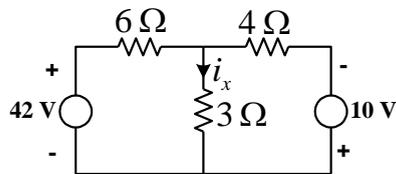
R_{XY} = Jumlah semua resistansi yang dimiliki bersama oleh mata jala X dan mata jala Y

V_X = Jumlah semua sumber tegangan naik dalam mata jala X searah dengan jarum jam

Langkah selanjutnya adalah menyelesaikan persamaan arus mata jala sesuai dengan hukum matematika dasar untuk penyelesaian persamaan linier (metode substitusi, eliminasi atau matriks determinan)

Contoh Soal 5.1, sumber [2 : 58]:

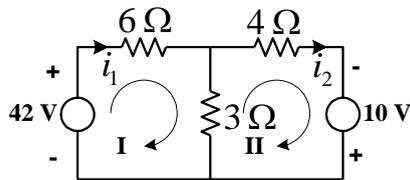
Diberikan rangkaian seperti yang ditunjukkan gambar 5.5. Tentukan nilai arus i_x !



Gambar 5.5 Rangkaian untuk contoh soal 5.1

Langkah-langkah penyelesaian:

- Rangkaian hanya mengandung sumber tegangan, sehingga kita dapat langsung menentukan arah arus mata jala I dan II.
- Menentukan arus mata jala I dan II yang bebas berdiri sendiri yaitu i_1 dan i_2 (gambar 5.6)



Gambar 5.6 Rangkaian untuk contoh soal 5.1 dengan arah mata jala I dan II

- Menentukan persamaan setiap mata jala.
Mata Jala I : $42 = (6 + 3)i_1 - 3i_2$

$$\text{Mata Jala II} \quad : 10 = -3i_1 + (4 + 3)i_2$$

Kalau ditulis ulang kedua persamaan di atas,

$$42 = 9i_1 - 3i_2 \quad (5.6)$$

$$10 = -3i_1 + 7i_2 \quad (5.7)$$

Untuk menentukan nilai arus i_x , perhatikan kembali gambar 5.5 dan 5.6. Jika dilihat dari titik pertemuan arus i_x , i_1 dan i_2 , berdasarkan Hukum Kirchhoff I untuk arus:

$$i_x = i_1 - i_2$$

dengan demikian kita harus mencari besar arus i_1 dan i_2 dulu dengan menyelesaikan persamaan (5.6) dan (5.7). Untuk contoh ini kita gunakan metode eliminasi,

$$\begin{array}{rcl} 42 = 9i_1 - 3i_2 & \left| \times 1 \right. & \rightarrow 42 = 9i_1 - 3i_2 \\ 10 = -3i_1 + 7i_2 & \left| \times 3 \right. & \rightarrow 30 = -9i_1 + 21i_2 \\ & & \hline & & 72 = 18i_2 \\ & & i_2 = 72/18 = 4A \end{array}$$

Jika i_2 sudah diketahui sebesar 4 ampere, maka dengan menyubstitusi ke salah satu persamaan kita dapatkan besar arus i_1 ,

$$42 = 9i_1 - 3i_2 = 9i_1 - 3(4) = 9i_1 - 12$$

$$42 + 12 = 9i_1$$

$$54 = 9i_1$$

$$i_1 = 54/9 = 6A$$

maka,

$$i_x = i_1 - i_2$$

$$i_x = 6 - 4 = 2A$$

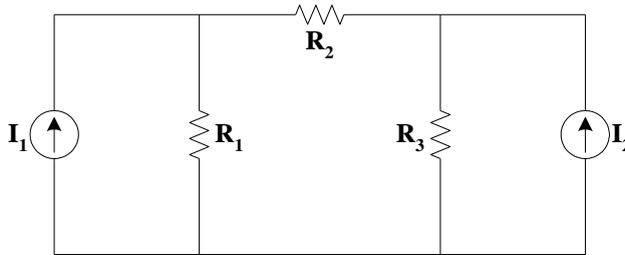
5.5 Metode Analisis Tegangan Simpul (*Node*)

Metode *node* merupakan cara lain yang digunakan untuk menyelesaikan persoalan rangkaian dimana persamaan-persamaan Hukum Kirchhoff II untuk tegangan terlukis secara implisit pada diagram rangkaiannya, sehingga hanya persamaan Hukum Kirchhoff I untuk arus saja yang perlu diselesaikan untuk tegangan yang tidak diketahui [3 : 83].

Prosedur formal yang harus dilakukan untuk menyelesaikan persoalan rangkaian listrik dengan metode tegangan simpul adalah sbb [3 : 85]:

1. Pastikan bahwa rangkaian hanya mengandung sumber arus. Apabila ada sumber yang dinyatakan sebagai kombinasi hubungan seri antara sumber tegangan sempurna dengan salah satu unsur rangkaian, maka sumber tegangan tersebut harus digantikan dengan kombinasi hubungan paralel antara sumber arus sempurna dengan unsur rangkaian tersebut.
2. Jika rangkaian mempunyai N buah simpul, pilih sebuah simpul acuan O (anggap sebagai *ground* dengan tegangan 0 volt).
3. Simpul-simpul lainnya diberi nama, misal: dengan huruf A, B, C, \dots, N
4. Tegangan-tegangan yang tidak diketahui diberi nama, misal: $V_A, V_B, V_C, \dots, V_N$
5. Persamaan-persamaan simpul ditulis menurut Hukum Kirchhoff I untuk arus, ditulis secara berurutan untuk simpul A, B, C, \dots dst.
6. Persamaan-persamaan tersebut kemudian diselesaikan untuk tegangan simpul yang diinginkan.
7. Arus dan tegangan yang lain dalam rangkaian dapat ditentukan dengan menggunakan hukum-hukum dasar rangkaian (Hukum Kirchhoff, Hukum Ohm dan analisis rangkaian seri paralel).

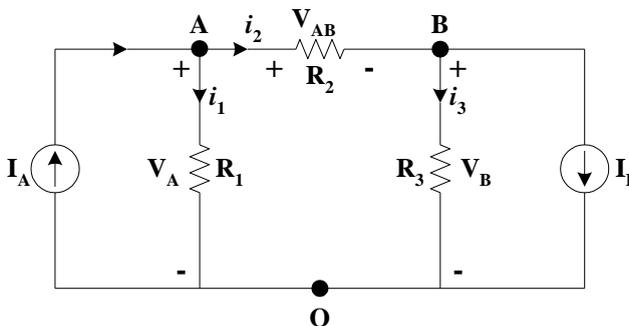
Contoh Analisis Rangkaian dengan Metode Tegangan Simpul:



Gambar 5.7 Rangkaian untuk contoh analisis dengan metode tegangan simpul

Langkah-langkah:

1. Rangkaian hanya mengandung sumber arus, sehingga kita dapat langsung menentukan simpul-simpul acuannya.
2. Tentukan sebuah simpul acuan O
3. Simpul-simpul lainnya diberi nama: Simpul A dan B
4. Tegangan-tegangan yang tidak diketahui diberi nama, yaitu: V_A , V_{AB} , dan V_B



Gambar 5.8 Rangkaian dengan simpul-simpul dan tegangan yang sudah diberi nama

Ketentuan penamaan tegangan:

- V_A dianggap sebagai tegangan naik dari simpul O ke simpul A.

$$\begin{aligned}V_{AO} &= V_A - V_O (V_O = 0 \text{ volt}) \\ &= V_A - 0 \\ &= V_A\end{aligned}$$

- Begitu pula perlakuan V_B sama dengan V_A , dimana V_B dianggap sebagai tegangan naik dari simpul O ke simpul B.
- V_{AB} sebagai tegangan antara simpul A dan B, sesuai dengan Hukum Kirchhoff II untuk tegangan,

$$\begin{aligned}V_A - V_{AB} - V_B &= 0 \\ V_A - V_B &= V_{AB}\end{aligned}$$

5. Tentukan persamaan setiap simpul (**Perhatikan arah arus pada gambar 5.8**):

- a. Untuk simpul A, menurut Hukum Kirchhoff I untuk arus

$$i_1 + i_2 = I_A$$

$$\frac{V_A}{R_1} + \frac{V_{AB}}{R_2} = I_A$$

$$\frac{V_A}{R_1} + \frac{V_A - V_B}{R_2} = I_A$$

$$(V_A) \frac{1}{R_1} + (V_A - V_B) \frac{1}{R_2} = I_A$$

$$V_A \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) - V_B \left(\frac{1}{R_2} \right) = I_A \rightarrow \frac{1}{R} = G \text{ (konduktansi)}$$

$$V_A (G_1 + G_2) - V_B (G_2) = I_A \tag{5.8}$$

- b. Untuk simpul B

$$i_3 + I_B = i_2$$

$$i_3 - i_2 = -I_B$$

$$\frac{V_B}{R_3} - \frac{V_{AB}}{R_2} = -I_B$$

$$\frac{V_B}{R_3} - \frac{V_A - V_B}{R_2} = -I_B$$

$$V_B \left(\frac{1}{R_3} \right) - (V_A - V_B) \frac{1}{R_2} = -I_B$$

$$-V_A \left(\frac{1}{R_2} \right) + V_B \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) = -I_B$$

$$-V_A(G_2) + V_B(G_2 + G_3) = -I_B \quad (5.9)$$

Jika persamaan (5.8) dan (5.9) ditulis kembali:

$$A : V_A(G_1 + G_2) - V_B(G_1) = I_A \quad (5.10)$$

$$B : -V_A(G_2) + V_B(G_2 + G_3) = -I_B \quad (5.11)$$

Kedua persamaan (5.10) dan (5.11) membentuk pola khusus, dimana:

Untuk simpul A

- Koefisien V_A adalah jumlah positif semua konduktansi yang terhubung ke simpul A
- Koefisien V_B adalah jumlah negatif semua konduktansi yang terhubung antara simpul A dan simpul B
- I_1 adalah jumlah semua sumber arus yang mencatu simpul A (positif jika menuju A atau negatif jika meninggalkan A)

Untuk simpul B

- Koefisien V_A adalah jumlah negatif semua konduktansi yang terhubung antara simpul A dan simpul B
- Koefisien V_B adalah jumlah positif semua konduktansi yang terhubung ke simpul B
- I_2 adalah jumlah semua sumber arus yang mencatu simpul B (positif jika menuju B atau negatif jika meninggalkan B)

Dari analisis di atas, jika terdapat N buah simpul, maka persamaan simpul yang didapat sejumlah $N - 1$ persamaan, yaitu [3 : 85]:

$$\begin{array}{l}
 A : G_{AA} V_A - G_{AB} V_B - \dots - G_{AN} V_N = I_A \\
 B : -G_{BA} V_A + G_{BB} V_B - \dots - G_{BN} V_N = I_B \\
 \dots \dots \dots \\
 N-1 : -G_{(N-1)A} V_A - G_{(N-1)B} V_B - \dots + G_{(N-1)N} V_N = I_{N-1}
 \end{array} \quad (5.12)$$

Dimana:

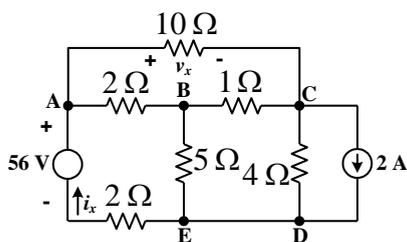
G_{XX} = Jumlah semua konduktansi yang terhubung ke simpul X

N_{XY} = Jumlah konduktansi yang terhubung antara simpul X dan simpul Y

I_X = Jumlah semua sumber arus yang mencatu simpul X

Langkah selanjutnya adalah menyelesaikan persamaan tegangan simpul sesuai dengan hukum matematika dasar untuk penyelesaian persamaan linier (metode substitusi, eliminasi atau matriks determinan).

Contoh Soal 5.2, sumber [3 : 86]:

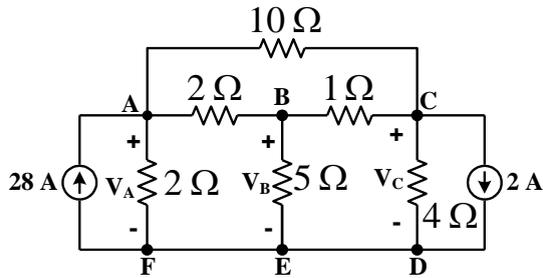


Gambar 5.9 Rangkaian untuk contoh soal 5.2

Diberikan rangkaian seperti yang ditunjukkan dalam gambar 5.9. Tentukan v_x dan i_x !

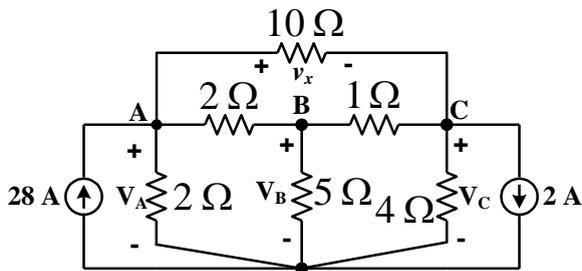
Langkah-langkah Penyelesaian:

- Pastikan bahwa rangkaian hanya mengandung sumber arus. Sumber tegangan 56 V yang seri dengan resistor 2Ω , diubah menjadi sumber arus 28 A yang paralel dengan resistor 2Ω .



Gambar 5.10 Rangkaian ekuivalen gambar 5.9 dimana sumber tegangan 56 V yang seri dengan resistor 2Ω , diubah menjadi sumber arus 28 A yang paralel dengan resistor 2Ω .

- Simpul-simpul diberi nama: simpul A, B dan C. Tiga buah simpul D, E dan F bisa digambar sebagai satu simpul dan dipilih sebagai simpul acuan O (tegangan 0 volt). Lihat gambar 5.11.



Gambar 5.11 Rangkaian ekuivalen gambar 5.9 dan 5.10. Simpul D, E, dan F adalah satu simpul, yaitu simpul O

- Menentukan persamaan-persamaan tegangan simpul. Karena ada 4 simpul, maka didapat 3 persamaan:

$$\begin{aligned} \text{Simpul A} &: \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{10}\right)V_A - \frac{1}{2}V_B - \frac{1}{10}V_C = 28 \\ &(0.5 + 0.5 + 0.1)V_A - (0.5)V_B - (0.1)V_C = 28 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Simpul B} &: \left(-\frac{1}{2}\right)V_A + \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{5} + \frac{1}{1}\right)V_B - \frac{1}{1}V_C = 0 \\ &(-0.5)V_A + (0.5 + 0.2 + 1.0)V_B - (1.0)V_C = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Simpul C} &: \left(-\frac{1}{10}\right)V_A - \frac{1}{1}V_B - \left(\frac{1}{10} + \frac{1}{1} + \frac{1}{4}\right)V_C = -2 \\ &(-0.1)V_A - (1.0)V_B + (0.1 + 1.0 + 0.25)V_C = -2 \end{aligned}$$

Atau,

$$A : (1,1)V_A - (0.5)V_B - (0.1)V_C = 28$$

$$B : (-0.5)V_A + (1.7)V_B - (1.0)V_C = 0$$

$$C : (-0.1)V_A - (1.0)V_B + (1.35)V_C = -2$$

- Dengan tiga variabel V_A , V_B , dan V_C , masing-masing variabel dapat dicari dengan menggunakan aturan *cramer*. Setiap variabel dapat diperoleh sebagai hasil bagi dua determinan, yaitu

$$V_A = \frac{\begin{vmatrix} 28 & -0.5 & -0.1 \\ 0 & 1.7 & -1.0 \\ -2 & -1.0 & 1.35 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1.1 & -0.5 & -0.1 \\ -0.5 & 1.7 & -1.0 \\ -0.1 & -1.0 & 1.35 \end{vmatrix}} = 36V \quad ;$$

$$V_B = \frac{\begin{vmatrix} 1.1 & 28 & -0.1 \\ -0.5 & 0 & -1.0 \\ -0.1 & -2 & 1.35 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1.1 & -0.5 & -0.1 \\ -0.5 & 1.7 & -1.0 \\ -0.1 & -1.0 & 1.35 \end{vmatrix}} = 20V ;$$

$$V_C = \frac{\begin{vmatrix} 1.1 & -0.5 & 28 \\ -0.5 & 1.7 & 0 \\ -0.1 & -1.0 & -2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1.1 & -0.5 & -0.1 \\ -0.5 & 1.7 & -1.0 \\ -0.1 & -1.0 & 1.35 \end{vmatrix}} = 16V$$

Aturan *cramer* hanyalah salah satu cara dalam ilmu matematika yang menggunakan metode determinan matriks untuk memecahkan persamaan linier dan tidak akan dibahas secara mendetail di sini.

Dengan diketahuinya harga ketiga tegangan simpul tersebut, dapatlah ditentukan harga tegangan atau arus yang lain. Tegangan v_x adalah:

$$v_x = V_{AC} = V_A - V_C = 36 - 16 = 20V$$

Arus i_x dalam rangkaian pada gambar 5.9 tidak terdapat dalam gambar 5.10 dan 5.11. Dengan mengingat bahwa tegangan V_{AO} antara simpul A dan O adalah sama, maka:

$$V_{AO} = V_A = 56 - 2i_x = 36$$

$$2i_x = 56 - 36 = 20$$

$$i_x = 10A$$

5.6 Metode Analisis Superposisi

Metode superposisi mengatakan bahwa respons (tegangan atau arus yang diinginkan) pada setiap titik di dalam rangkaian linear yang mempunyai lebih dari satu sumber bebas didapat sebagai jumlah respons yang disebabkan oleh setiap sumber bebas yang bekerja sendiri-sendiri.

Teorema superposisi menyatakan bahwa [2 : 64]:

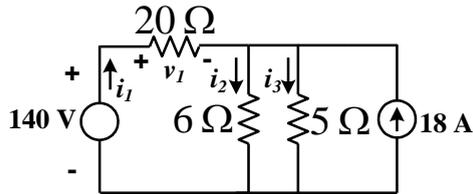
Di dalam setiap jaringan resistor linear yang mengandung beberapa sumber (sumber tegangan atau sumber arus) yang melalui setiap tahanan atau sumber dapat dihitung dengan melakukan penjumlahan aljabar dari semua tegangan atau arus sendiri-sendiri yang dihasilkan oleh setiap sumber bebas yang bekerja sendiri, dengan semua sumber tegangan bebas lain diganti oleh rangkaian-rangkaian pendek dihubung singkat) dan semua sumber arus bebas yang lain diganti oleh rangkaian terbuka (hubung buka).

Prosedur formal yang harus dilakukan:

- Pilih satu sumber yang dianggap aktif (menyala), buat nol (matikan) sumber yang lain. Aturan untuk me-nol-kan sumber, jika sumber tegangan dihubung singkat, maka sumber arus di hubung buka.
- Analisis rangkaian yang ada (setelah me-nol-kan sumber yang dianggap mati dan hanya ada satu sumber yang dianggap menyala).
- Hitung komponen arus dan tegangan yang ingin dicari.
- Pilih satu sumber yang lain yang dianggap aktif, dan nol kan kembali sumber yang lain. Ulangi prosedur di atas.
- Tanggapan atau nilai keseluruhan yang dihasilkan rangkaian adalah jumlah aljabar semua komponen tanggapannya.

Contoh Soal 5.3, Sumber [3 : 97]

Diberikan suatu rangkaian seperti yang ditunjukkan gambar 5.12.

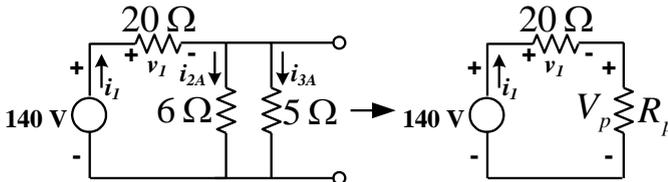


Gambar 5.12 Rangkaian untuk contoh soal 5.3

Tentukan nilai i_1 , i_2 , i_3 dan v_1 dengan metode superposisi!

Langkah-langkah penyelesaian:

- Dianggap hanya sumber tegangan 140 V yang aktif, maka sumber arus 18 A dimatikan dengan menghubungkan buka sumber (lihat gambar 5.13).



Gambar 5.13 Analisis rangkaian gambar 5.12 untuk contoh soal 5.3, dimana sumber arus dimatikan

$$R_p = \frac{6 \times 5}{6 + 5} = \frac{30}{11} \Omega$$

$$i_{1A} = \frac{140}{20 + R_p} = \frac{140}{20 + \frac{30}{11}} = \frac{140}{\frac{250}{11}} = 6,16 \text{ A}$$

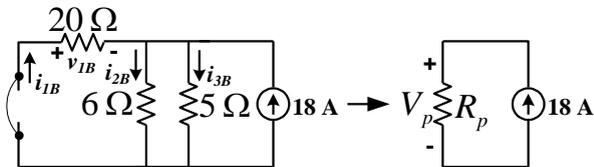
$$v_{1A} = i_{1A} \times 20 = 6,16 \times 20 = 123,2 \text{ V}$$

$$V_p = i_{1A} \times R_p = 6,16 \times \frac{30}{11} = 16,8 \text{ V}$$

$$i_{2A} = \frac{V_p}{6} = \frac{16,8}{6} = 2,8 \text{ A}$$

$$i_{3A} = \frac{V_p}{5} = \frac{16,8}{5} = 3,36 \text{ A}$$

- Kemudian dianggap hanya sumber arus 18 A yang aktif, maka sumber tegangan 140 V dimatikan dengan menghubungkan singkat (lihat gambar 5.14).



Gambar 5.14 Analisis rangkaian gambar 5.12 untuk contoh soal 5.3 dimana sumber tegangan dimatikan

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{20} + \frac{1}{6} + \frac{1}{5} = \frac{3+10+12}{60} = \frac{25}{60}$$

$$R_p = \frac{60}{25} = 2,4 \Omega$$

$$V_p = 18 \times R_p = 18 \times 2,4 = 43,2 \text{ V}$$

$$v_{1B} = -V_p = -43,2 \text{ V} \quad \rightarrow \text{Lihat arah arus dan polaritas}$$

$$i_{1B} = \frac{v_{1B}}{20} = \frac{-43,2}{20} = -2,16 \text{ A}$$

$$i_{2B} = \frac{V_p}{6} = \frac{43,2}{6} = 7,2 \text{ A}$$

$$i_{3B} = \frac{V_p}{5} = \frac{43,2}{5} = 8,64 \text{ A}$$

- Arus yang diperoleh dari penggunaan kedua sumber secara bersama-sama adalah jumlah dari semua komponen yang telah diperoleh di atas, yaitu:

$$v_1 = v_{1A} + v_{1B} = 123,2 - 43,2 = 80 \text{ V}$$

$$i_1 = i_{1A} + i_{1B} = 6,16 - 2,16 = 4 \text{ A}$$

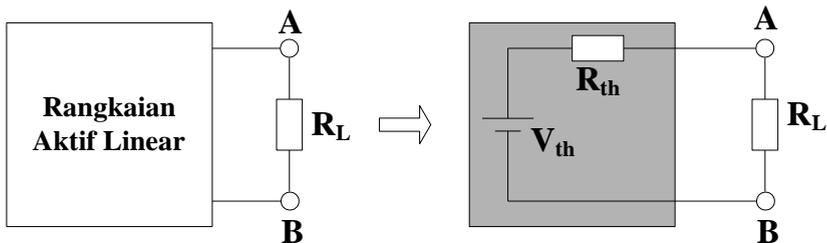
$$i_2 = i_{2A} + i_{2B} = 2,8 + 7,2 = 10 \text{ A}$$

$$i_3 = i_{3A} + i_{3B} = 3,36 + 8,64 = 12 \text{ A}$$

5.7 Metode Analisis Thevenin

Suatu rangkaian **aktif** (memakai sumber arus dan/atau sumber tegangan tetap maupun variabel), yang terdiri dari sumber-sumber dan tahanan-tahanan yang bersifat **linear**, dapat diganti dengan suatu sumber tegangan V_{th} yang seri dengan suatu tahanan R_{th} .

Secara skematis digambarkan sebagai:



Gambar 5.15 Skematis metode Thevenin

V_{th} = Tegangan pada terminal A – B dalam keadaan terbuka (tanpa beban)

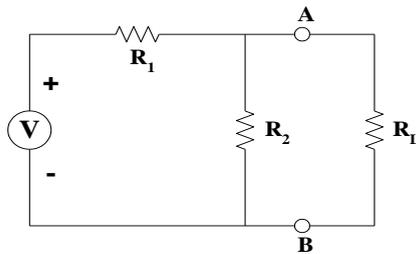
R_{th} = Tahanan pada rangkaian dilihat dari terminal A – B.

Prosedur formal yang harus dilakukan:

1. Unsur yang dicari nilainya dilepas/dibuka dari rangkaian dan dicari nilai tegangan rangkaian terbukanya (*open circuit voltage* atau V_{OC}). Nilai V_{OC} disebut sebagai tegangan setara Theveninnya (V_{th}).
2. Untuk menentukan resistansi setara Theveninnya (R_{th}), sumber-sumber dalam rangkaian dibuat sama dengan nol (sumber tegangan dihubung singkat dan sumber arus dihubung buka). R_{th} adalah resistansi yang dihitung terhadap resistansi rangkaian yang ingin dicari parameternya (arus atau tegangan).
3. Nilai V_{th} dan R_{th} dipasang kembali secara seri terhadap unsur rangkaian yang sebelumnya dibuka (unsur yang dicari nilai parameternya).
4. Selanjutnya arus dan tegangan yang dicari dalam unsur rangkaian dapat ditentukan dengan menggunakan hukum-hukum dasar rangkaian (Hukum Kirchoff, Hukum Ω , analisis rangkaian seri paralel, *mesh*, *node* atau superposisi).

Contoh Analisis Rangkaian dengan Metode Thevenin:

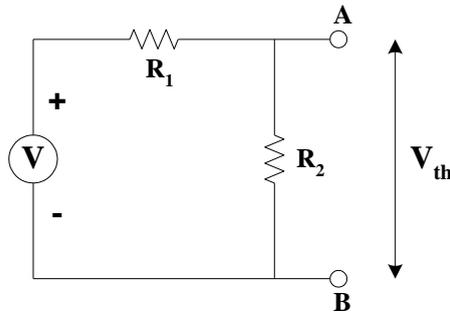
Suatu rangkaian listrik seperti gambar 5.16, akan dihitung arus yang mengalir pada tahanan R_L .



Gambar 5.16 Rangkaian untuk contoh analisis rangkaian dengan metode Thevenin

Langkah-langkah penyelesaian:

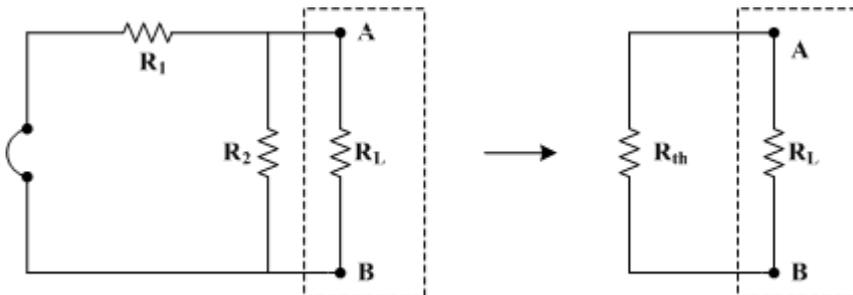
- Buka terminal A – B, sehingga rangkaian menjadi sebagai berikut:



Gambar 5.17 Gambar 5.16 yang dianalisis dengan metode Thevenin dimana terminal A – B sudah dibuka

$$V_{th} = V_{AB} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V$$

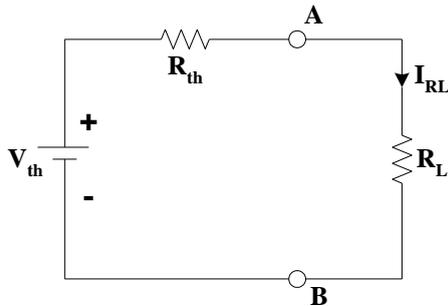
- Buat nol sumber tegangan dengan menghubungkan singkat, dan cari nilai R_{th} yaitu resistansi setara yang dihitung terhadap R_L . Rangkaian menjadi sebagai berikut:



Gambar 5.18 Gambar 5.16 yang dianalisis dengan metode Thevenin dimana sumber dinolkan untuk mencari R_{th}

$$R_{th} = R_{AB} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

- Maka rangkaian setara Theveninnya adalah:



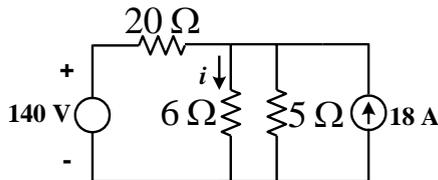
Gambar 5.19 Rangkaian Setara Thevenin untuk gambar 5.16

- Maka arus yang mengalir pada tahanan R_L adalah:

$$I_{RL} = \frac{V_{th}}{R_{th} + R_L}$$

Contoh Soal 5.4, sumber [3 : 105]

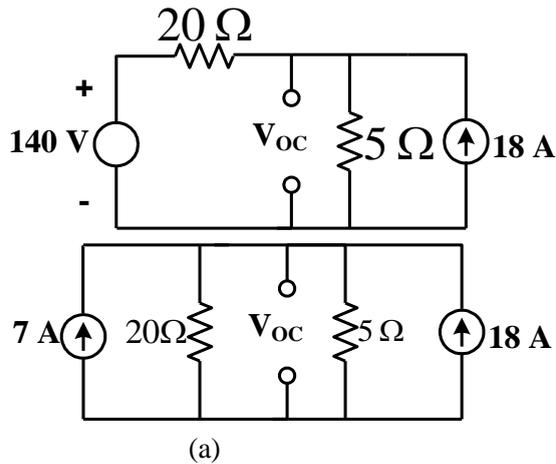
Diberikan gambar rangkaian seperti gambar 5.20. Tentukan i_2 dengan menggunakan metode Thevenin!



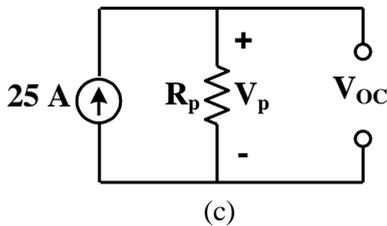
Gambar 5.20 Rangkaian untuk contoh soal 5.4 dan 5.5

Dengan mengikuti prosedur formal di atas, maka langkah-langkah penyelesaian:

1. Unsur yang dicari nilainya dilepas/dibuka dari rangkaian dan dicari nilai tegangan rangkaian terbukanya (*open circuit voltage* atau V_{OC}). Nilai V_{OC} disebut sebagai tegangan setara Theveninnya (V_{th}).



(b)

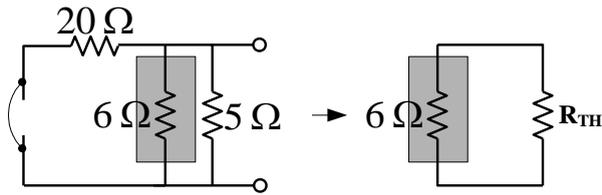


Gambar 5.21 Rangkaian pada gambar 5.20 dalam proses mencari V_{TH} untuk rangkaian Thevenin

$$R_p = \frac{20 \times 5}{20 + 5} = \frac{100}{25} = 4 \Omega$$

$$V_{OC} = V_p = 25 \times 4 = 100 V$$

- Untuk menentukan resistansi setara Theveninnya (R_{th}), sumber-sumber dalam rangkaian dibuat sama dengan nol (sumber tegangan dihubung singkat dan sumber arus dihubung buka). R_{th} adalah resistansi yang dihitung terhadap resistansi rangkaian yang ingin dicari parameternya (arus atau tegangan).

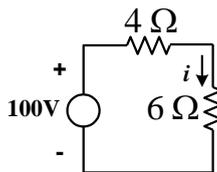


Gambar 5.22 Rangkaian pada gambar 5.20 dalam proses mencari R_{TH} untuk rangkaian Thevenin

R_{TH} adalah paralel antara resistor 20Ω dan 5Ω .

$$R_{TH} = \frac{20 \times 5}{20 + 5} = \frac{100}{25} = 4 \Omega$$

3. Nilai V_{th} dan R_{th} dipasang kembali secara seri terhadap unsur rangkaian yang sebelumnya dibuka (unsur yang dicari nilai parameternya).



Gambar 5.23 Rangkaian setara Thevenin untuk Rangkaian pada gambar 5.20

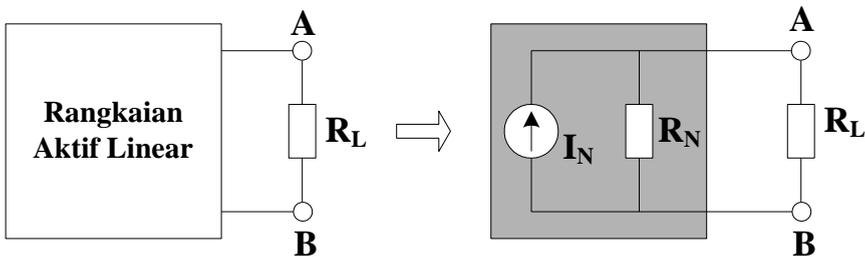
$$i = \frac{100}{4 + 6} = \frac{100}{10} = 10 \text{ A}$$

Hasil perhitungan Thevenin dimana $i = 10 \text{ A}$ adalah sama dengan hasil perhitungan superposisi untuk rangkaian yang sama.

5.8 Metode Analisis Norton

Suatu rangkaian **aktif** (memakai sumber arus dan/atau sumber tegangan tetap maupun variabel), yang terdiri dari sumber-sumber dan tahanan-tahanan yang bersifat **linear**, dapat diganti dengan suatu sumber arus I_N yang paralel dengan suatu tahanan R_N .

Secara skematis digambarkan sebagai:



Gambar 5.24 Skematis metode Norton

I_N = Arus yang melalui R_L dalam keadaan hubung singkat

R_N = Tahanan pada rangkaian dilihat dari terminal A – B dengan semua sumber dibuat nol.

Prosedur formal yang harus dilakukan:

1. Unsur yang dicari nilainya dihubung singkat dan dicari nilai arus yang melewatinya (I_N).
2. Untuk menentukan resistansi setara Norton-nya (R_N), sumber-sumber dalam rangkaian dibuat sama dengan nol (sumber tegangan dihubung singkat dan sumber arus dihubung buka). R_N adalah resistansi yang dihitung terhadap resistansi unsur rangkaian yang dicari dengan melepas unsur tersebut dari rangkaian.
3. Nilai I_N dan R_N dipasang kembali secara paralel terhadap unsur rangkaian yang dicari nilainya.
4. Selanjutnya arus dan tegangan yang dicari dalam unsur rangkaian tersebut di atas dapat ditentukan dengan menggunakan hukum-

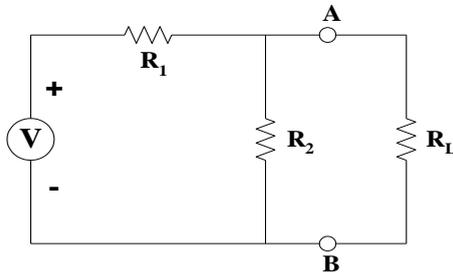
hukum dasar rangkaian (Hukum Kirchhoff, Hukum Ohm dan analisis rangkaian seri paralel).

Secara prosedural: $R_N = R_{th} = \frac{V_{th}}{I_N}$ dan $I_N = \frac{V_{th}}{R_{th}}$

Rangkaian Thevenin adalah rangkaian setara untuk rangkaian Norton

Contoh Analisis Rangkaian dengan Metode Norton:

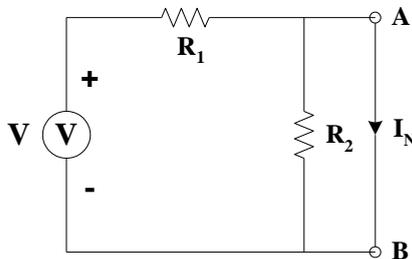
Suatu rangkaian listrik seperti gambar 5.15, akan dihitung arus yang mengalir pada tahanan R_L .



Gambar 5.25 Gambar rangkaian untuk contoh analisis rangkaian dengan metode Norton

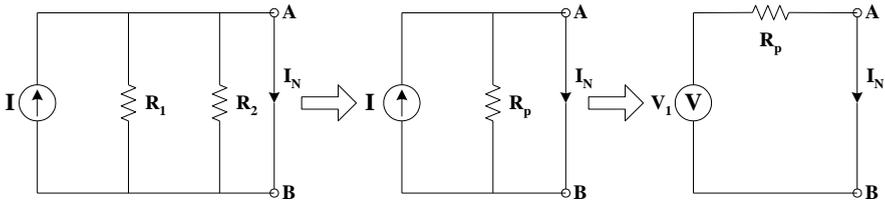
Langkah-langkah penyelesaian:

- Hubung singkat terminal A – B, sehingga rangkaian menjadi sebagai berikut:



Gambar 5.26 Gambar 5.25 yang dianalisis dengan metode Norton dimana terminal A – B di hubung singkat

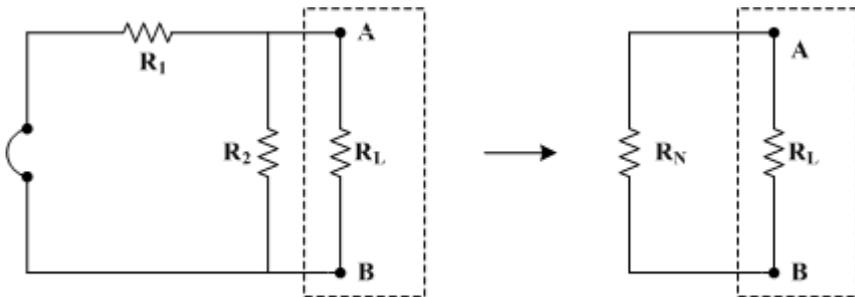
- Untuk mencari nilai arus I_N , buat ekuivalen rangkaian sebagai berikut:



Gambar 5.27 Ekuivalen rangkaian gambar 5.26

$$I = \frac{V}{R_1} \quad ; \quad R_p = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} \quad ; \quad V_1 = I \times R_p \quad ; \quad I_N = \frac{V_1}{R_p}$$

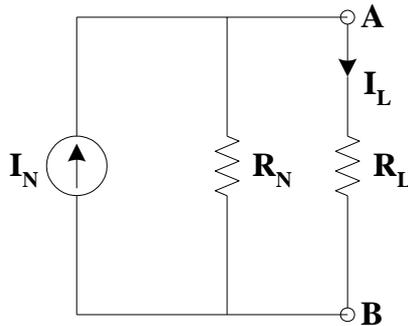
- Buat nol sumber tegangan dengan menghubungkan singkat, dan cari nilai R_N yaitu resistansi setara yang dihitung terhadap R_L . Rangkaian menjadi sebagai berikut:



Gambar 5.28 Gambar 5.25 yang dianalisis dengan metode Norton dimana sumber dinolkan untuk mencari R_N

$$R_N = R_{AB} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

- Maka rangkaian setara Norton-nya adalah:



Gambar 5.29 Rangkaian Setara Norton untuk gambar 5.25

- Maka arus yang mengalir pada tahanan R_L adalah:

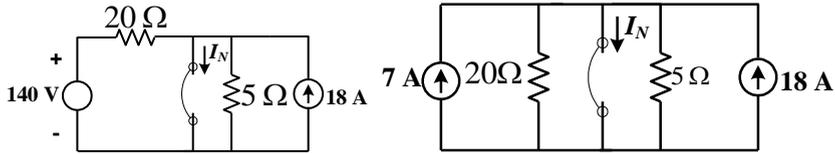
$$I_L = \frac{R_N}{R_N + R_L} \times I_N$$

Contoh Soal 5.5:

Dengan menggunakan gambar rangkaian 5.20, tentukan i dengan metode Norton

Dengan mengikuti prosedur formal di atas, maka langkah-langkah penyelesaian:

1. Unsur yang dicari nilainya dihubung singkat dan dicari nilai arus yang melewatinya (I_N).

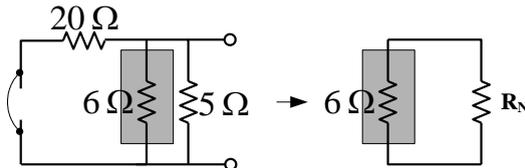


Gambar 5.30 Rangkaian pada gambar 5.20 dalam proses mencari I_N untuk rangkaian Norton

Dari gambar 5.30, dapat langsung kita tentukan bahwa,

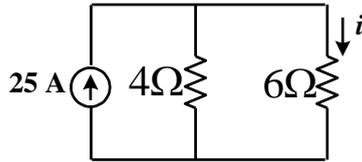
$$I_N = 18 + 7 = 25 \text{ A}$$

- Untuk menentukan resistansi setara Norton-nya (R_N), sumber-sumber dalam rangkaian dibuat sama dengan nol (sumber tegangan dihubung singkat dan sumber arus dihubung buka). R_N adalah resistansi yang dihitung terhadap resistansi unsur rangkaian yang dicari dengan melepas unsur tersebut dari rangkaian.



Gambar 5.31 Rangkaian pada gambar 5.20 dalam proses mencari R_N untuk rangkaian Norton

- Nilai I_N dan R_N dipasang kembali secara paralel terhadap unsur rangkaian yang dicari nilainya.



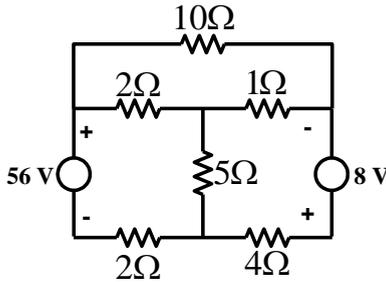
Gambar 5.32 Rangkaian setara Norton untuk Rangkaian pada gambar 5.20

Menurut persamaan pembagi arus:

$$i = \frac{4}{4+6} \times 25 = 10\text{A}$$

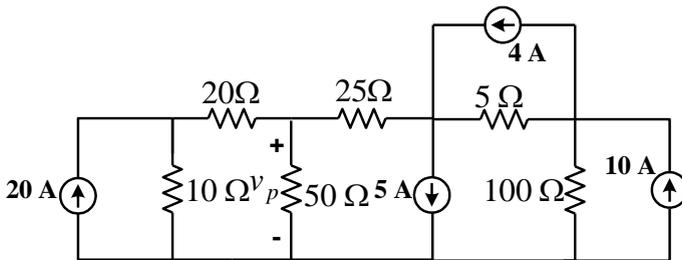
Soal-Soal Latihan

1. Cari nilai arus dan tegangan yang melintasi setiap resistor pada rangkaian gambar 5.33.



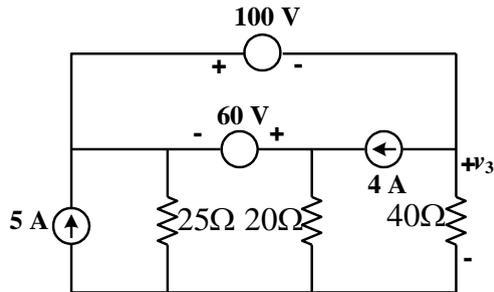
Gambar 5.33 Lihat Soal 1

2. Sumber soal [2 : 87]
Pakailah analisis simpul untuk mencari v_p dalam rangkaian yang terlihat pada gambar 5.34



Gambar 5.34 Lihat Soal 2

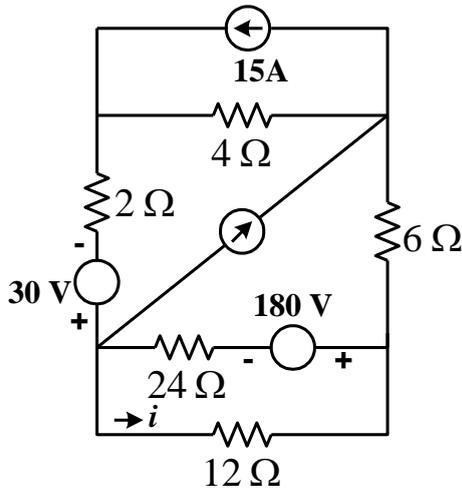
3. Sumber soal [2 : 87]
Pakailah analisis simpul dalam rangkaian yang diberikan pada Gambar 5.35 untuk mencari: (a) v_3 ; (b) daya yang dicatu oleh sumber 5 A.



Gambar 5.35 Lihat Soal 3

4. Sumber soal [2 : 90]

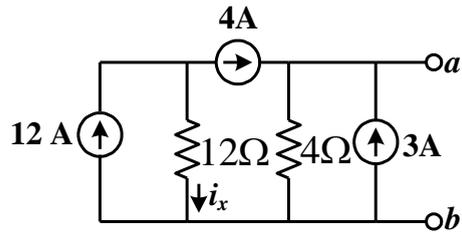
Gunakan teorema superposisi dalam rangkaian yang terlihat pada gambar 5.36 untuk mencari i



Gambar 5.36 Lihat Soal 4

5. Sumber soal [2 : 91]

Carilah rangkaian ekuivalen Thevenin terhadap terminal $a - b$ bagi rangkaian yang terlihat pada gambar 5.37.



Gambar 5.37 Lihat Soal 5

DAFTAR PUSTAKA

- Edminister, Joseph A, Mahmood Nahvi. 2004. *Rangkaian Listrik*. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Hayt, William H, Jack E. Kemmerly. 1991. *Rangkaian Listrik Jilid 1*. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Mismail, Budiono. 1995. *Rangkaian Listrik Jilid Pertama*. Bandung : Penerbit ITB.
- Ramdhani, Mohamad. 2008. *Rangkaian Listrik*. Bandung : Penerbit Erlangga.
- Sudirham, Sudaryatno. 2002. *Analisis Rangkaian Listrik*. Bandung : Penerbit ITB.

BIODATA PENULIS



Khairunnisa adalah dosen pada Jurusan Teknik Elektro, Program Studi Teknik Elektronika, Politeknik Negeri Banjarmasin (Sejak 2004). Lulus dari SMU Negeri 1 Banjarmasin (1998), penulis memilih melanjutkan pendidikan S-1 di Jurusan Teknik Elektro (lulus tahun 2003) dan pendidikan S-2 di Program Studi Manajemen Industri (lulus tahun 2010) di Universitas Brawijaya Malang.

Sejak di bangku sekolah, penulis memang gemar dengan pelajaran IPA dan Matematika. Semasa kuliah S-1 penulis banyak mendapatkan materi mata kuliah yang berhubungan dengan rumus IPA dan Matematika. Salah satu mata kuliah yang dianggap penulis paling sulit dan menantang adalah Rangkaian Listrik. Karena itulah, setelah menjadi dosen di Politeknik Negeri Banjarmasin (Poliban) penulis berusaha membuat beberapa modul mata kuliah yang penulis anggap mudah dipahami mahasiswa dari sudut pandang penulis, salah satunya adalah Modul Mata Kuliah Rangkaian Listrik yang ke depannya diharapkan bisa diterbitkan dalam bentuk sebuah buku.

Pemrosesan sinyal, pengolahan sinyal suara, dan berbagai aplikasinya merupakan bidang penelitian yang saat ini dirintis oleh penulis. Penulis pernah menulis beberapa artikel penelitian pada beberapa jurnal lokal dan nasional. Penulis dapat dihubungi melalui email khairunnisa@poliban.ac.id.

RANGKAIAN LISTRIK

KHAIRUNNISA

Buku ini merupakan kompilasi dari beberapa materi yang pernah didapatkan penulis selama kuliah di Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya. Dalam buku ini, penulis berusaha menyusun materi secara sistematis dan berurutan dilihat dari sudut pemahaman penulis. Materi dibatasi hanya pada tahap yang penulis anggap bisa dipahami oleh mahasiswa tingkat Diploma di Politeknik. Pada setiap bab disertai dengan contoh soal dan pembahasan sehingga diharapkan mahasiswa dapat lebih memahami materi secara keseluruhan.

Agar dapat memahami materi dalam buku ini, mahasiswa perlu memiliki pengetahuan fisika dasar (listrik dan magnet) dan matematika dasar (persamaan sinusoida, matriks, determinan, diferensial, dan integral).

Tidak lupa penulis ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu hingga buku ini bisa diselesaikan. Kritik dan saran penulis terima dengan tangan terbuka demi tercapainya kesempurnaan untuk kebaikan kita bersama.



Penerbit Poliban Press
Redaksi :
Politeknik Negeri Banjarmasin, Jl. Brigjen H. Hasan Basry,
Pangeran, Komp. Kampus ULM, Banjarmasin Utara
Telp : (0511)3305052
Email : press@poliban.ac.id

