



TENTANG PENULIS



Dr. Ir. Ija Darmana, MT,

adalah dosen tetap di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri Universitas Bung Hatta Padang, Lahir di Tanjung Karang Pada Tanggal 5 Oktober 1963.

Menyelesaikan Pendidikan Sarjana (S1) Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik di Universitas Bung Hatta.

Pascasarjana selesai tahun 1996 Jurusan Elektroteknik Institut

Teknologi Bandung. Program Doktor (S3) selesai tahun 2018 Pendidikan Teknologi, Kejuruan dan Vokasi Universitas Negeri Padang.

Sebagai Staf Pengajar pada bidang sistem tenaga (Power System) mata kuliah: Sistem Proteksi, Rangkaian Listrik, Metode Numerik, Material Elektro dan Pratikum Rangkaian Listrik dan Elektronika pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri Universitas Bung Hatta.

Jabatan-struktural yang pernah di jabat adalah: Kepala Labor Rangkaian Listrik, Wakil Dekan, dan Dekan Fakultas Teknik Industri Universitas Bung Hatta.

Buku Ajar Teori dan Pratikum Rangkaian Listrik berkaitan



BUKU AJAR TEORI DAN PRATIKUM RANGKAIAN LISTRIK

Dr. Ir. Ija Darmana, MT
Erliwati, ST, MT



2023

BUKU AJAR
TEORI DAN PRATIKUM RANGKAIAN LISTRIK



LPPM Universitas Bung Hatta

Sanksi pelanggaran pasal 44: Undang-undang No. 7 Tahun 1987 tentang Perubahan atas Undang-undang No. 6 Tahun 1982 tentang hak cipta.

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu ciptaan atau memberi izin untuk itu dipidana dengan pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 100.000.000,- (seratus juta rupiah)
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta sebagaimana dimaksud dalam ayat 1 (satu), dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 50.000.000,- (lima puluh juta rupiah)

BUKU AJAR
TEORI DAN PRATIKUM RANGKAIAN LISTRIK

Dr.Ir. Ija Darmana, MT
Erliwati, ST., MT

Penerbit
LPPM Universitas Bung Hatta 2023

Judul : **BUKU AJAR TEORI DAN PRATIKUM RANGKAIAN LISTRIK**
Penulis : **Dr.Ir. Ija Darmana, MT**
Erliwati, ST., MT

Sampul : **Dr.Ir. Ija Darmana, MT**
Perwajahan: LPPM Universitas Bung Hatta
Diterbitkan oleh LPPM Universitas Bung Hatta Maret 2023

Alamat Penerbit:

Badan Penerbit Universitas Bung Hatta
LPPM Universitas Bung Hatta Gedung Rektorat Lt.III
(LPPM) Universitas Bung Hatta
Jl. Sumatra Ulak Karang Padang, Sumbar, Indonesia
Telp.(0751) 7051678 Ext.323, Fax. (0751) 7055475
e-mail: lppm_bunghatta@yahoo.co.id

Hak Cipta dilindungi Undang-undang
Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau seluruhnya
isi buku ini tanpa izin tertulis penerbit
Isi diluar tanggung jawab percetakan

Cetakan Pertama : Maret 2023
Perpustakaan Nasional RI: Katalog Dalam Terbitan (KDT)

Dr.Ir. Ija Darmana, MT
Erliwati, ST., MT

BUKU AJAR TEORI DAN PRATIKUM RANGKAIAN
LISTRIK, Oleh : **Dr.Ir. Ija Darmana, MT, dan**
Erliwati, ST., MT, LPPM Universitas Bung Hatta, Maret
2023

7 8 Hlm + XII; 18,2 cm x 25,7 cm

ISBN 978-623-5797-31-1

SAMBUTAN REKTOR UNIVERSITAS BUNG HATTA

Visi Universitas Bung Hatta adalah Menjadikan Universitas Bung Hatta Bermutu dan Terkemuka serta Berkelas Dunia dengan Misi utamanya meningkatkan mutu sumberdaya manusia yang berada dalam jangkauan fungsinya. Mencermati betapa beratnya tantangan Universitas Bung Hatta terhadap dampak globalisasi, baik yang bersumber dari tuntutan internal dan eksternal dalam meningkatkan daya saing lulusan perguruan tinggi, maka upaya peningkatan kualitas lulusan Universitas Bung Hatta adalah suatu hal yang harus dilakukan dengan terencana dan terukur. Untuk mewujudkan hal itu, Universitas Bung Hatta melalui Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat merancang program kerja kepada dosen untuk menulis buku. Kita dituntut untuk memahami elemen kompetensi yang biasa diaplikasikan dalam proses pembelajaran, melakukan riset dan menuangkan dalam bentuk buku.

Saya ingin menyampaikan penghargaan kepada saudara Dr.Ir. Ija Darmana, MT dan Saudari Erliwati, ST., MT yang telah menulis buku "***Buku Ajar Teori Dan Pratikum Rangkaian Listrik***". Harapan saya buku ini akan tetap eksis sebagai wahana komunikasi bagi kelompok dosen dalam bidang Teknik Elektro, sehingga dapat dijadikan sebagai sumber bahan ajar untuk mata kuliah yang diampu dan menambah khasanah ilmu pengetahuan mahasiswa.

Tantangan kedepan tentu lebih berat lagi, karena kendala yang sering dihadapi dalam penulisan buku adalah tidak dipunyai hasil-hasil riset yang bernas. Kesemuanya itu menjadi tantangan kita bersama terutama para dosen di Universitas Bung Hatta.

Demikian sambutan saya, sekali lagi saya ucapkan selamat atas penerbitan buku ini. Semoga Tuhan Yang Maha Kuasa meridhoi segala upaya yang kita perbuat bagi memajukan pendidikan di Universitas Bung Hatta.

Padang, 3 Maret 2023

Rektor

Prof. Dr. Tafdil Husni, SE., M.B.A

KATA PENGANTAR

Buku ajar teori dan praktikum rangkaian listrik merupakan penjabaran dari mata kuliah Rangkaian Listrik dan dapat diimplementasikan untuk praktikum rangkaian listrik pada Jurusan Teknik Elektro secara umum dan khususnya pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Bung Hatta.

Mata kuliah rangkaian listrik dengan pelaksanaan 2 (dua) SKS dan praktikum rangkaian listrik dengan pelaksanaan 1 (satu) SKS. Materi rangkaian listrik adalah: hukum-hukum dan teori-teori kelistrikan yang merupakan pondasi bagi ilmu teknik elektro. Pembahasan dimulai dari fenomena listrik statis (*electrostatic*) hingga *electromagnetism* dan bahan listrik. Disamping pembentukan dasar yang kokoh mengenai prinsip-prinsip kelistrikan klasik, ditekankan pula mengenai penerapan praktisnya dalam praktikum rangkaian listrik jurusan teknik elektro. Teori-teori modern serta kemampuan dalam memecahkan masalah. Dengan pemberian contoh fenomena alam atau kejadian sehari-hari yang berhubungan dengan kelistrikan, mahasiswa akan lebih memiliki rasa ingin tahu (*curiosity*) dan termotivasi untuk belajar.

Selain materi secara teori, materi di implementasikan dalam bentuk praktikum dengan menerapkan metode seperti: 1) Penerapan hukum Ohm dan hukum *Kirchhoff*, 2) Penerapan metode *Mesh Current*, 3) Penerapan metode *Node Voltage*, 4) Penerapan metode *Superposisi*, 5) Penerapan metode *Thevenin*, dan 6) Penerapan metode *Norton*.

Ucapan terimakasih kepada semua pihak terutama LPPM Universitas Bung Hatta atas kerjasama yang baik serta masukan-masukan dalam penyelesaian bahan ajar ini.

Padang, Maret 2023

Penulis

DAFTAR ISI

	<u>Halaman</u>
SAMBUTAN REKTOR.....	v
PRAKATA.....	vii
DAFTAR ISI	ix
BAB I TEORI DASAR	1
I.1. Tujuan Instruksional Umum.....	1
I.2. Tujuan Instruksional Khusus.....	1
A. Teori Elektron.....	1
B. Teori Lorenz	2
1. Listrik.....	3
2. Arus Listrik.....	3
2.1 Timbulnya Arus Listrik.....	3
2.2 Macam Macam Arus Listrik.....	4
2.3 Arah Arus Listrik.....	4
3. Tegangan Listrik	5
4. Energi.....	8
5. Daya.....	9
6. Elemen Rangkaian Luistik.....	11
6.1 Elemen aktif.....	12
6.2 Elemen pasif.....	14
7. Hukum Ohm	15
7.1. Tahanan tetap (fixed resistor)	18
7.2. Tahanan variabel (variable resistor)	20
8. Kode Warna.....	20
9. Kapasitor (C)	22
10. Induktor (L)	27
11. Transformasi	30
11.1. Rangkaian bintang.....	32
11.2. Rangkaian delta.....	33
11.3. Transformasi bintang ke delta.....	34
11.4. Transformasi delta ke bintang.....	35

BAB II PENERAPAN HUKUM KIRCHHOFF	37
II.1. Tujuan Instruksional Umum	37
II.2. Tujuan Instruksional Khusus	37
A. Tujuan Percobaan	37
B. Hukum Arus Kirchhoff	37
C. Hukum Tegangan Kirchhoff	38
D. Peralatan yang Digunakan	39
E. Rangkaian Percobaan	40
F. Prosedur Percobaan	40
BAB III PENERAPAN METODE MESH CURRENT	41
III.1. Tujuan Instruksional Umum	41
III.2. Tujuan Instruksional Khusus	41
A. Tujuan Percobaan	41
B. Teori Dasar	41
C. Peralatan yang digunakan	43
D. Rangkaian Percobaan	43
E. Prosedur Percobaan	43
BAB IV PENERAPAN METODE NODE VOLTAGE (NV)	45
IV.1. Tujuan Instruksional Umum	45
IV.2. Tujuan Instruksional Khusus	45
A. Tujuan Percobaan	45
B. Teori Dasar	45
C. Peralatan yang digunakan	47
D. Rangkaian Percobaan	47
E. Prosedur Percobaan	47
BAB V PENERAPAN TEOREMA SUPERPOSISI	49
V.1. Tujuan Instruksional Umum	49
V.2. Tujuan Instruksional Khusus	49
A. Tujuan Percobaan	49
B. Teori Dasar	49
B.1. Metode Superposisi sumber bebas	50
B.2. Metode Superposisi sumber tak bebas	55
C. Peralatan yang Digunakan	60
D. Rangkaian Percobaan	60

E. Prosedur Percobaan.....	61
BAB VI PENERAPAN TEOREMA THEVENIN	63
VI.1. Tujuan Instruksional Umum.....	63
VI.2. Tujuan Instruksional Khusus.....	63
A. Tujuan Percobaan.....	63
B. Teori Dasar	63
C. Peralatan yang Digunakan	69
D. Rangkaian Percobaan	70
E. Prosedur Percobaan.....	70
BAB VII PENERAPAN TEOREMA NORTON	71
VII.1. Tujuan Instruksional Umum	71
VII.2. Tujuan Instruksional Khusus	71
A. Tujuan Percobaan.....	71
B. Teori Dasar	71
C. Peralatan yang Digunakan	75
D. Rangkaian Percobaan	75
E. Prosedur Percobaan.....	75

DAFTAR PUSTAKA

BAB I

TEORI DASAR

1.1. Tujuan Instruksional Umum (TIU):

Tujuan instruksional umum dari teori dasar ini untuk memberikan pemahaman yang mendalam dan kuat mengenai fenomena-fenomena, hukum-hukum dan teori-teori kelistrikan yang merupakan pondasi bagi ilmu teknik elektro. Pembahasan dimulai dari fenomena listrik statis (*electrostatic*) hingga *electromagnetism* dan bahan listrik. Disamping pembentukan dasar yang kokoh mengenai prinsip-prinsip kelistrikan klasik, ditekankan pula mengenai penerapan praktisnya dalam aplikasi teknik elektro, teori-teori modern serta kemampuan dalam memecahkan masalah.

1.2. Tujuan Instruksional Khusus (TIK):

Tujuan instruksional khusus dari teori dasar ini agar mahasiswa mampu menjelaskan listrik statis, Hukum Coulomb, prinsip superposisi, medan listrik, gaya listrik, flux listrik, Hukum Gauss dan konduktor melalui fenomena alam. Fenomena alam atau kejadian sehari-hari yang berhubungan dengan kelistrikan, mahasiswa akan lebih memiliki rasa ingin tahu (*curiosity*) dan termotivasi untuk belajar.

Apabila sebatang plastik/ebonite kita gosok dengan rambut, setelah itu dekatkan pada potongan-potongan kertas kecil, maka tertariklah potongan kertas tersebut. Demikian pula halnya jika sebatangkaca kita gosok dengan sutera, maka batang kaca tersebut dapat menarik potongan kertas. Batang kaca maupun pelastik itu dapat menarik potongan kertas oleh karena setelah digosok menjadi bermuatan listrik.

A. Teori Elektron

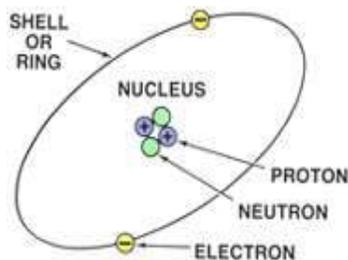
Teori elektron secara ringkas dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Tiap-tiap zat terdiri atas molekul-molekul. Molekul itu masih mempunyai

sifat yang sama dengan zatnya. Contoh : molekul air memiliki sifat yang sama dengan air.

2. Atom adalah bagian dari molekul yang lebih kecil. Sifat atom tidak sama dengan zat aslinya. Satu molekul air terdiri dari 2 (dua) atom hydrogen (zat air) dan 1 (satu) atom oksigen (zat asam). Sifat dari atom hydrogen dan oksigen sangat berlainan dengan sifat dari molekul air maupun air. Hydrogen dan oksigen adalah gas yang apabila dicampur dan dinyalakan dapat meledak dengan hebat disertai dengan pengeluaran panas yang tinggi.

Perpindahan elektron tersebut, disebut arus listrik, mengalir dari negatif ke positif



Gambar 1. Atom dan partikel

Atom adalah satuan yang amat kecil dalam setiap bahan yang ada di sekitar kita. Atom terdiri atas tiga jenis partikel subatom:

- elektron yang memiliki muatan negatif;
- proton, yang memiliki muatan positif;
- neutron, yang tidak bermuatan.

B. Teori Lorenz

Atom menurut teori Lorenz tahun 1853-1928 adalah sebagai berikut:

1. Suatu benda terdiri dari molekul-molekul dan molekul terdiri dari atom-atom.
2. Atom diurai menjadi inti atom, bermuatan listrik positif dan disekeliling proton tersebut bergerak satu atau lebih elektron-elektron yang bermuatan listrik negatif.

3. Elektron berpindah (meloncat) dari atom yang satu ke atom yang lain, sedangkan intinya tetap.

1. Listrik

Secara sederhana listrik dapat digambarkan sebagai berikut :

- 1) Seperti zat air yang tidak dapat diraba, ditimbang maupun dipadatkan.
- 2) Mudah bergerak leluasa pada penghantar dan tidak leluasa bergerak pada isolator.
- 3) Listrik yang bergerak pada penghantar, disebut “arus atau aliran” dan diberi tanda I dengan satuan Ampere.

2. Arus Listrik

Arus digambarkan dengan simbol i (berasal dari bahasa Prancis : intensite) didefinisikan sebagai perubahan kecepatan muatan terhadap waktu, atau pengertian lainnya adalah perubahan muatan yang mengalir dalam satuan waktu.

Muatan adalah satuan terkecil dari atom didalam teori atom modern dinyatakan atom terdiri dari partikel inti (proton yang bermuatan positif dan neutron yang bersifat netral yang dikelilingi oleh muatan elektron).

2.1. Timbulnya arus listrik

- 1) Arus listrik timbul karena adanya “perbedaan tekanan” antara dua titik (dua tempat) dalam penghantar.
- 2) Perbedaan tekanan ini menyebabkan “terjadinya tegangan” dan selanjutnya mengalirkan arus listrik.
- 3) Jadi listrik hanya dapat mengalir jika “antara dua titik terdapat tegangan listrik atau terdapat perbedaan tekanan”.
- 4) Penghantar yang dialiri listrik :
Pada penghantar yang dialiri listrik tiap detik, disebut kekuatan arus listrik atau kuat arus, dengan satuan Coulomb.

Untuk menghitung besarnya arus dipergunakan persamaan sebagai berikut :

$$I = \frac{Q}{t} \text{ Ampere} \quad (1)$$

atau :

$$t = \frac{Q}{I} \text{ detik} \quad (2)$$

atau :

$$Q = i \times t \text{ Coulomb} \quad (3)$$

Dimana :

I = kekuatan arus dalam Ampere.

Q = banyaknya listrik yang mengalir dalam Coulomb.

t = waktu dalam detik.

Perpindahan elektron tersebut disebut arus listrik, mengalir dari negatif kepositif.

2.2. Macam–macam arus

1) Arus searah (*Direct Current*)

Arus DC adalah arus yang mempunyai nilai polaritas yang tetap dan konstan terhadap satuan waktu, artinya dimanapun kita menijaaau arus tersebut pada waktu berbeda akan mendapatkan polaritas yang sama. Nilai polaritas bisa bernilai positif dan bisa bernilai negatif.

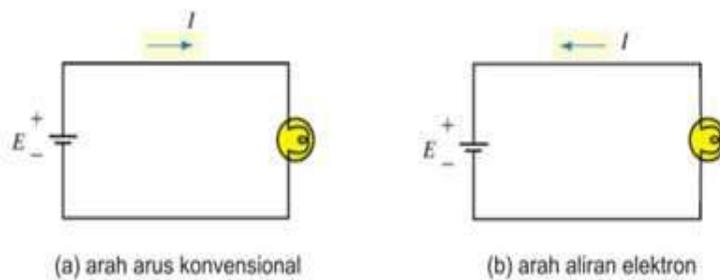
2) Arus bolak–balik (*Alternating Current*)

Arus yang mempunyai polaritas yang berubah ubah terhadap satuan waktu, pada satu waktu nilai polaritasnya positif tetapi pada selang waktu lain nilai polaritasnya bernilai negatif.

2.3. Arah arus listrik

Awalnya dipercaya bahwa arus adalah pergerakan dari muatan positif dan muatan positif tersebut bergerak mengitari rangkaian dari terminal positif baterai menuju terminal negatifnya.

Seperti ditunjukkan pada gambar 2, dari sinilah hukum, teori, dan simbol dari rangkaian dikembangkan. (Arah arus seperti ini disebut aliran konvensional yang lebih umum dipakai). Namun setelah penemuan struktur atom, diketahui bahwa sebenarnya pergerakan elektron pada konduktor logam seperti pada gambar b. Namun, karena sudah terlanjur menggunakan arah arus konvensional, maka kebanyakan menggunakan arah arus konvensional. Sehingga, semua pembahasan di buku ini juga menggunakan kesepakatan arah arus konvensional.



Gambar 2. Arah arus dan arah aliran elektron

3. Tegangan Listrik

Seperti halnya dengan air, listrik itu dapat mengalir bila ada tekanan. Air mengalir dari tempat yang bertekanan tinggi ke tempat bertekanan rendah. Semakin kuat tekanannya semakin kuat air itu mengalir. Listrik dapat mengalir karena adanya tekanan listrik atau tegangan listrik. Sepotong kawat tembaga dihubungkan dengan kutub-kutub sebuah battery. Listrik mengalir pada kawat tembaga tersebut karena tegangan listrik yang disediakan oleh battery. Battery adalah sumber listrik, sumber listrik lain adalah dynamo, aki.

Tegangan listrik diberi symbol E atau V . Besar kecilnya tegangan listrik dapat diukur dengan satuan Volt, disingkat V . Alat untuk mengukur tegangan listrik disebut Volt meter.

Ukuran lain :

kV (Kilo Volt) = 1000 Volt

mV (mili Volt) = 0,001 Volt

MV (Mega Volt) = 1.000.000 Volt

Dalam istilah kelistrikan, energi beda potensial didefinisikan sebagai tegangan. Secara umum, sejumlah energi dibutuhkan untuk memisahkan muatan tergantung pada tegangan yang dihasilkan dan jumlah muatan yang dialirkan. Maka diperoleh definisi, tegangan diantara dua titik adalah sebesar satu volt bila ia membutuhkan energi sebesar 1 Joule untuk menggerakkan muatan 1 coulomb dari satu titik ke titik lainnya. Dalam persamaan dituliskan

$$V = \frac{W}{Q} \text{ Volt} \quad (4)$$

Dimana :

W adalah energi dalam Joule,

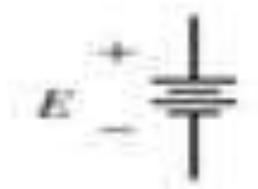
Q adalah muatan dalam coulomb,

V adalah tegangan yang dihasilkan dalam volt.

Perlu diperhatikan bahwasannya tegangan adalah perbedaan potensial diantara dua titik. Contoh pada baterai, tegangan tampak pada terminal-terminalnya. Sehingga, tegangan tidak akan ada bila dilihat dari satu titik saja, dengan kata lain harus ditentukan dari titik lainnya (beda potensial antara dua titik). Prinsip ini juga berlaku untuk sumber tegangan yang lainnya seperti generator dan solar cell.

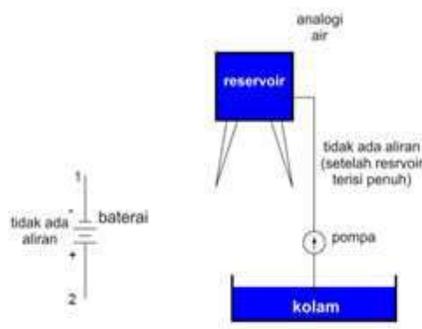
Baterai adalah sumber energi listrik yang menyebabkan muatan berjalan mengitari rangkaian. Perpindahan muatan ini, selanjutnya disebut dengan arus listrik. Karena salah satu dari terminal baterai adalah selalu positif dan yang lainnya adalah negatif, aliran arus selalu mempunyai arah yang sama dan tetap. Arus yang bergerak satu arah ini disebut DC atau direct current (dalam bahasa Indonesia arus searah), dan baterai disebut dengan sumber dc. Simbol untuk sumber dc ditunjukkan pada gambar. Garis yang lebih panjang menyatakan

terminal positif (+) dan yang lebih pendek negatif (-).



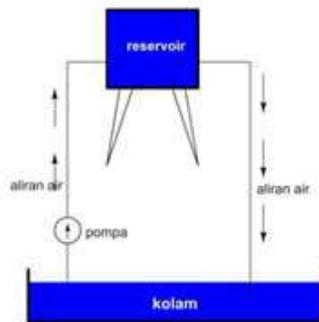
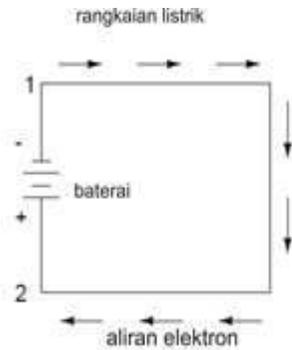
Gambar 3. Simbol baterai

Selama tanda “+” dan “-“ dari baterai tidak terhubung pada apapun, akan selalu ada tegangan di antara dua titik, tetapi tidak akan ada aliran elektron yang melewati baterai, karena tidak ada jalur yang kontinu yang bisa dilewati elektron.



Gambar 4. Elektron tidak mengalir pada rangkaian terbuka

Prinsip yang sama juga terjadi pada reservoir air dan analogi pompa: tanpa jalur pipa dari reservoir ke kolam, energi yang tersimpan dalam reservoir tidak dapat dilepaskan (dalam bentuk aliran air). Begitu reservoir telah diisi penuh, tidak akan ada aliran yang terjadi, tidak peduli seberapa besar tekanan dari pompa yang dihasilkan. Yang dibutuhkan hanyalah jalur (rangkaian) bagi air untuk mengalir dari kolam, ke reservoir, dan kembali ke kolam lagi sehingga terjadi aliran yang kontinu.



Gambar 5. Elektron mengalir pada rangkaian tertutup

Kita dapat menyediakan jalur seperti ini pada baterai yaitu dengan menghubungkan sepotong kawat yang menghubungkan kedua terminal baterai. Membentuk suatu putaran tertutup, kita akan melihat aliran kontinu dari elektron seperti gambar 5.

4. Energi

Energi dalah kerja yang dilakukan oleh gaya sebesar satuan Newton, jadi energi dalah satu kerja dimana kita memindahkan sesuatu dengan mengeluarkan gaya sebesar satu Newton, dengan jarak tempuh pemindahan sebesar satu meter.

Berdasarkan energi yang dihasilkan, element listrik dibagi menjadi:

1) Element yang menyerap energi

Jika arus positif meninggalkan terminal positif (terminal positif berada diluar element tersebut) atau arus positif memasuki terminal positif (terminal tersebut berada diujung terminal tersebut) maka dikatakan element tersebut menyerap energi dari luar, atau energi dari luar dikirim ke element tersebut.

2) Element yang mengirim energi

Jika arus positif memasuki terminal positif (terminal positif berada diluar element tersebut) atau arus positif meninggalkan terminal positif (terminal positif berada pada ujung terminal tersebut), maka dikatakan element tersebut mengirim energi keluar atau energi dari element dikirim keluar. Satuan energi adalah Joule (J)

5. Daya

Daya merupakan rata kerja yang dilakukan, satuan daya adalah Watt (W). Kata-kata daya sudah tidak asing lagi. Contohnya pemanas elektrik, lampu, dan TV, selalu dinyatakan dalam Watt (W).

Selain itu ada juga motor yang biasanya dinyatakan dalam satuan horsepower (disingkat HP) atau dalam bahasa Indonesia adalah tenaga kuda. Kita tahu bahwa semakin besar rating Watt suatu peralatan, maka semakin besar energi yang dibutuhkan per satuan waktu. Gambar 1-6 adalah contohnya. Pada (a), semakin besar rating daya dari lampu, semakin banyak energi cahaya yang dihasilkan per detik. Pada (b), semakin besar rating daya suatu pemanas, semakin banyak energi panas yang dihasilkan per detik. Pada (c), semakin besar nilai rating daya suatu motor, semakin besar kerja mekanis yang dapat dihasilkan per detik.



Gambar 6. Konversi energi

Seperti yang anda ketahui, daya berhubungan dengan energi, yang merupakan kapasitas untuk melakukan kerja. Secara umum, daya didefinisikan sebagai laju dalam mengerjakan sesuatu, sama dengan, laju transfer energi. Simbol daya adalah P . Ditulis :

$$P = \frac{W}{t} \text{ Watt} \quad (5)$$

dimana :

W adalah kerja (atau energi) dalam Joule
 t adalah selang waktu dalam detik.

Satuan SI untuk daya adalah Watt. Dari persamaan 5, bahwa P juga memiliki satuan Joule per detik. Jika kita mensubsitusikan $W = 1 \text{ J}$ dan $t = 1 \text{ detik}$, anda akan mendapatkan $P = 1 \text{ J} / 1 \text{detik}$. Dari sini, kita dapatkan bahwa satu Watt adalah satu Joule per detik. Ada juga satuan daya yang lainnya yaitu horsepower, dimana $1 \text{ hp} = 746 \text{ Watt}$.

Karena pembahasan kita tentang listrik, maka kita mengekspresikan P dalam besaran listrik. Dari pembahasan sebelumnya diketahui bahwa tegangan adalah kerja per satuan muatan dan arus adalah laju transfer muatan (persamaan 4).

Dari persamaan 4 disubsitusikan ke persamaan 5 menghasilkan:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{QV}{t} = V \left(\frac{Q}{t} \right) \text{ Watt} \quad (6)$$

Substitusi persamaan 1 ke persamaan 6 menghasilkan :

$$P = V \times I \text{ Watt} \quad (7)$$

atau :

$$P = I^2 \times R \text{ Watt} \quad (8)$$

atau :

$$P = \frac{V^2}{R} \text{ Watt} \quad (9)$$

6. Elemen Rangkaian Listrik

Rangkaian listrik tidak dapat dipisahkan dari penyusunnya, yaitu berupa elemen atau komponen. Pada bab ini akan dibahas elemen atau komponen listrik aktif dan pasif. Sebuah rangkaian listrik merupakan kombinasi dari sejumlah sumber dan beban yang dihubungkan dalam susunan tertentu sehingga muatan dapat mengalir.

Rangkaian listrik bisa sederhana, seperti rangkaian yang hanya terdiri dari baterai dan lampu. Atau rangkaian bisa saja sangat kompleks, seperti rangkaian listrik pada televisi, microwave, atau komputer. Namun, tidak peduli seberapa kompleks, semua bentuk rangkaian memiliki aturan sederhana yang bisa dipelajari. Satu saja aturan ini dapat kita pahami, maka rangkaian yang lain dapat kita analisa dalam berbagai kondisi. Elemen listrik dapat di kelompokkan berdasarkan jumlah terminalnya yaitu :

1) Elemen listrik dua terminal

- a. sumber tegangan
- b. sumber arus
- c. resistor
- d. inductor
- e. kapasitor

- 2) Elemen listrik lebih dari dua terminal
 - a. transistor
 - b. IC

Elemen yang akan dibahas pada buku rangkain listrik terbalas pada elemen yang memiliki dua buah terminal pada kedua ujungnya seperti disebutkan diatas. Elemen-elemen listrik pada rangkain listrik dapat dikelompokkan kedalam dua bagian., yaitu elemen aktif, dan elemen pasif.

6.1. Elemen aktif

Elemen aktif adalah elemen yang menghasilkan energi. Pada mata kuliah Rangkaian Listrik, yang akan dibahas pada elemen aktif adalah sumber tegangan dan sumber arus. Pada pembahasan selanjutnya, kita akan membicarakan semua yang berkaitan dengan elemen atau komponen ideal. Yang dimaksud dengan kondisi ideal disini adalah segala sesuatunya berdasarkan sifat karakteristik dari elemen atau komponen tersebut tanpa terpengaruh oleh lingkungan luar. Jadi, elemen-elemen listrik seperti sumber tegangan, sumber arus, komponen resistor, inductor, dan kapasitor yang dibahas pada mata kuliah ini diasumsikan memiliki kondisi ideal. Elemen aktif dibagi menjadi 2, yaitu sumber tegangan dan sumber arus.

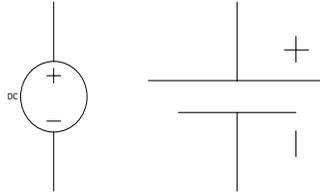
1) Sumber tegangan (Voltage Source)

Sumber tegangan ideal adalah suatu sumber yang menghasilkan tegangan yang tetap, tidak tergantung pada arus yang mengalir di sumber tersebut, meskipun tegangan tersebut merupakan fungsi dari waktu (t).

Sifat lain dari sumber tegangan adalah bahwa sumber tegangan mempunyai nilai resistansi dalam $R_d = 0$ (sumber teangan ideal). Sumber tegangan terbagi menjadi:

a. Sumber tegangan bebas (Independent Voltage Source)

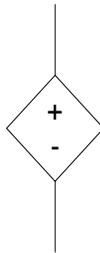
Sumber yang menghasilkan tegangan tetap tetapi mempunyai sifat khusus yaitu bahwa harga tegangannya tidak bergantung pada harga tegangan atau arus lainnya, artinya nilai tersebut berasal dari sumber tegangan itu sendiri. Simbol :



Gambar 7. Simbol sumber tegangan bebas

b. Sumber tegangan tidak bebas (Dependent Voltage Source)

Mempunyai sifat khusus yaitu harga teangan bergantung pada harga tegangan atau arus lainnya. Simbol:



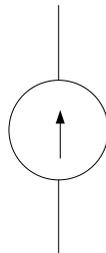
Gambar 8. Simbol sumber tegangan tidak bebas

2) Sumber arus (Current Source)

Sumber arus ideal adalah sumber yang menghasilkan arus yang tetap, tidak bergantung pada tegangan dari sumber arus tersebut. Sifat lain dari sumber arus adalah bahwa sumber arus mempunyai nilai hambatan dalam atau $Rd = \infty$ (sumber arus ideal). Sumber arus terbagi menjadi:

a. Sumber arus bebas (Independent Current Source)

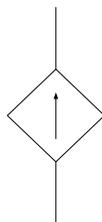
Mempunyai sifat khusus yaitu harga arus tidak bergantung pada harga tegangan atau arus lainnya. Simbol:



Gambar 9. Simbol sumber arus bebas

b. Sumber Arus Tidak Bebas (Dependent Current Source)

Mempunyai sifat khusus yaitu harga arus bergantung pada harga tegangan atau arus lainnya. Simbol



Gambar 10. Simbol sumber arus tidak bebas

6.2. Elemen pasif

Elemen pasif adalah elemen yang tidak menghasilkan energi. Elemen ini hanya menerima energi dalam bentuk menyerap dan menyimpan energi. Elemen pasif yang dibahas pada mata buku ini adalah elemen resistor, inductor, dan kapasitor.

1) Tahanan (R)

Elemen ini menerima energi dengan cara menyerap sehingga menimbulkan panas. Sering juga disebut tahanan, hambatan, penghantar, atau resistansi, dimana tahanan mempunyai fungsi penghambat arus, pembagi arus, dan pembagi tegangan.

Tahanan dilambangkan dengan huruf R (gambar 2-5) dan diukur dalam Ohm (karena ditemukan oleh Georg Simon Ohm). Simbol Ohm dalam huruf Yunani adalah Omega (Ω). Alat untuk mengukur hambatan listrik disebut Ohm meter.

$$1 \text{ Mega Ohm} = 1.000.000 \text{ Ohm}$$

$$1 \text{ kilo Ohm} = 1000 \text{ Ohm}$$

Selama elektron bergerak dalam material, elektron yang bergerak memeberikan energi dalam bentuk panas. Komponen yang bernama resistor dibuat khusus untuk menghasilkan proses menghambat (melawan gerakan muatan) dan banyak dipakai pada rangkaian listrik

dan elektronika. Walaupun resistor merupakan komponen paling sederhana dalam rangkaian listrik, namun pengaruhnya

sangat penting dalam pengoperasian dalam suatu rangkaian. Nilai resistor tergantung dari hambatan jenis bahan resistor (yang tergantung dari bahan pembuatnya), panjang resistor, dan luas penampang itu sendiri. Secara matematis :

$$R = \frac{\rho \times l}{A} \quad \Omega \quad (10)$$

Dimana :

R = Tahanan dalam Ohm

l = Panjang kawat / penghantar dalam meter.

ρ = Tahanan jenis kawat / penghantar.

A = Luas penampang kawat dalam mm².

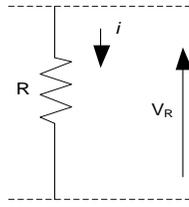
7. Hukum Ohm

Hukum Ohm menyatakan bahwa kuat arus listrik yang mengalir pada suatu bahan berbanding lurus dengan beda potensial / tegangan di antara terminalnya dan berbanding terbalik dengan tahanan bahan tersebut.

$$I = \frac{V}{R} \quad \text{Ampere} \quad (11)$$

Jika suatu resistor dilewati oleh sebuah arus maka pada kedua ujung resistor tersebut akan timbul beda potensial atau tegangan V_R seperti pada Gambar 11, dengan menerapkan hukum Ohm, maka :

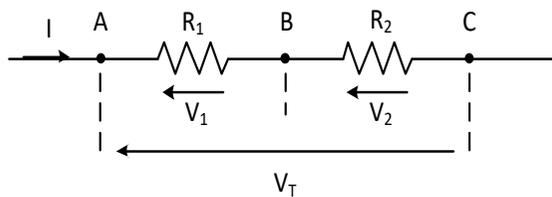
$$V_R = I \times R \quad \text{Volt} \quad (12)$$



Gambar 11. Simbol resistor

Suatu tahanan dapat dihubungkan (dirangkaikan) menjadi hubungan seri (deret), hubungan paralel (sejajar) dan hubungan seri paralel (campuran). Tahanan hubung seri (deret) adalah hubungan dari beberapa tahanan yang dihubungkan berturut-turut atau berderet, sehingga tidak ada arus yang dicabangkan (Gambar 12).

Apabila arus melalui tahanan R_1 dan R_2 seperti gambar 2-6, maka pada tahanan tersebut akan ada energi potensial V_1 dan V_2 dengan arah berlawanan dengan arah arus.



Gambar 12. Tahanan hubung deret

Pada hubungan seri ini besarnya arus yang mengalir pada tiap-tiap tahanan sama besarnya. Besarnya tegangan antara titik A dan C adalah

$$V_{Total} = (V_1 + V_2) \text{ Volt} \quad (13)$$

Dalam tiap tahanan berlaku hukum Ohm :

$$V_1 = I \times R_1 \text{ Volt}$$

$$V_2 = I \times R_2 \text{ Volt}$$

Dimana : $V_1 \neq V_2$

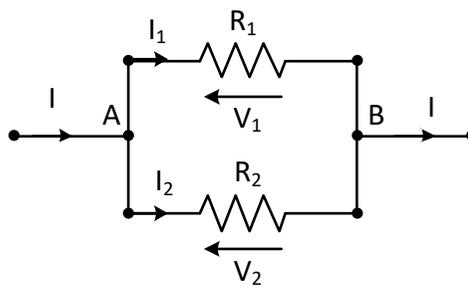
Sehingga :

$$V_{total} = (V_1 + V_2) \text{ Volt}$$

$$V_{total} = (IxR_1) + (IxR_2)$$

$$V_{total} = I(R_1 + R_2)$$

Tahanan hubung paralel (sejajar) adalah beberapa tahanan yang dihubungkan sejajar satu sama lainnya, sehingga hanya mempunyai dua titik hubung yang sama dan terjadi pencabangan arus (Gambar 13).



Gambar 13. Tahanan hubung paralel (sejajar)

Hukum Arus Kirchhoff atau Kirchhoff Current Law's (KCL) menyatakan bahwa :

Jumlah aljabar semua arus yang masuk kesuatu simpul (sambungan) sama dengan arus yang meninggalkan simpul tersebut, atau penjumlahan semua arus pada satu simpul = 0

Hukum Tegangan Kirchhoff atau Kirchhoff Voltage Law's (KVL) menyatakan bahwa :

Jumlah aljabar semua tegangan pada rangkaian tertutup = 0

Berdasarkan Gambar 13, dengan menerapkan KCL dimana :

$$I_1 \neq I_2$$

$$I = I_1 + I_2$$

atau :

$$I - I_1 - I_2 = 0$$

$$V_1 = V_2 = V_{AB}$$

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{V_{AB}}{R_1} \text{ Ampere}$$

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{V_{AB}}{R_2} \text{ Ampere}$$

Sehingga :

$$V_{AB} = I_1 \times R_1 \text{ Volt}$$

atau :

$$V_{AB} = I_2 \times R_2 \text{ Volt}$$

Maka :

$$I = \frac{V_{AB}}{R_1} + \frac{V_{AB}}{R_2} \text{ Ampere}$$

$$I = V_{AB} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \text{ Ampere}$$

7.1. Tahanan tetap (fixed resistor)

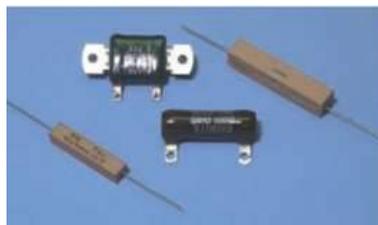
Seperti namanya, resistor tetap adalah resistor yang mempunyai nilai resistansi (hambatan) yang tetap / konstan. Ada banyak jenis resistor tetap, mulai dari seukuran mikroskopis (digunakan pada IC) hingga ukuran besar yang mampu menyerap daya Watt yang besar. Gambar 14 menunjukkan struktur dasar dari resistor komposisi karbon



Gambar 14. Struktur dasar dari resistor

Seperti ditunjukkan gambar 14, resistor komposisi karbon terdiri dari inti karbon yang dicampur dengan bahan insulator (bahan yang susah menghantar listrik) sebagai pengisinya. Rasio dari bahan karbon dengan pengisinya menentukan nilai resistansi dari resistor tersebut : semakin banyak bahan karbonnya, semakin kecil nilai resistansinya.

Batang logam dimasukkan kedalam inti karbon, kemudian seluruh bagian resistor tersebut dikapsulisasi dengan lapisan isolator. Resistor komposisi karbon tersedia dalam berbagai nilai resistansi mulai dari 1Ω hingga $100\text{ M}\Omega$ dan biasanya mempunyai rating daya dari $1/8\text{ W}$ hingga 2 W . Semakin besar ukuran resistor, maka semakin mampu untuk menyerap daya yang lebih besar dibanding resistor ukuran yang lebih kecil. Terkadang sebuah rangkaian membutuhkan resistor yang mampu menyerap panas dalam jumlah yang besar. Pada kasus seperti ini, resistor sayatan kawat (wire-wound) bisa digunakan. Resistor ini dibentuk dari sayatan campuran logam disekitar lubang inti porselen yang dapat menyerap panas dengan cepat akibat arus yang mengalir melalui kawat. Gambar 15 menunjukkan berbagai macam resistor daya.



Gambar 15. Macam macam resistor

7.2. Tahanan variabel (variable resistor)

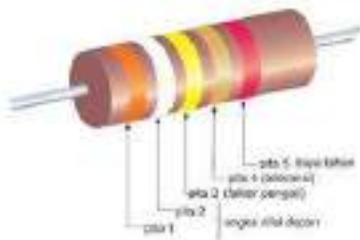
Resistor variabel banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Komponen ini digunakan untuk menyetel volume radio, mengatur tingkat kecerahan lampu, dan menyetel panas dari.



Gambar 16. Resistor variabel

8. Kode Warna

Banyak tahanan atau resistor jenis sayatan–kawat (wire–wound) dan jenis penutup keramik (ceramic encased) mempunyai nilai dan toleransi yang langsung dicetak pada casisnya. Tetapi, untuk resistor jenis komposisi karbon dan resistor film, ukurannya terlalu kecil, sehingga tidak mungkin nilai resistansi dan toleransinya dicetak di casisnya. Tetapi resistor jenis ini, biasanya mempunyai cetakan berupa gelang-gelang atau pita warna secara melingkar pada badan resistornya seperti pada gambar 17.



Gambar 17. Gelang-gelang atau pita resistor

Dua pita pertama menunjukkan digit pertama dan kedua dari nilai resistansi. Pita ketiga disebut dengan faktor pengali dan merupakan angka nol

dibelakang angka kedua (kelipatan sepuluh). Pita keempat menunjukkan toleransi pada resistor, dan pita kelima (bila ada) menunjukkan daya tahan (keawetan) dari komponen tersebut.

Daya tahan adalah indikasi statistik dari sekumpulan komponen dimana nilai resistansinya kemungkinan dapat berubah setelah pemakaian 1000 jam. Sebagai contoh, bila suatu resistor mempunyai daya tahan 1% untuk pemakaian setelah 1000 jam, maka tidak lebih satu dari seratus resistor yang telah dibuat kemungkinan nilai resistansinya akan berubah dari nilai resistansi yang ditunjukkan oleh pita warnanya. Tabel-1 menunjukkan bermacam pita warna yang dicocokkan dengan nilai-nilainya

Tabel-1. Kode warna resistor

Warna	Pita-1	Pita-2	Pita-3 Fakto Pengali	Pita-4 Toleransi	Pita-5 Daya Tahan
Hitam		0	$10^0 = 1$		
Coklat	1	1	$10^1 = 10$		1 %
Merah	2	2	$10^2 = 100$		0,1 %
Oranye	3	3	$10^3 = 1000$		0,01 %
Kuning	4	4	$10^4 = 10.000$		0,001 %
Hijau	5	5	$10^5 = 100.000$		
Biru	6	6	$10^6 = 1.000.000$		
Violet	7	7	$10^7 = 10000000$		
Abu-abu	8	8			
Putih	9	9			
Emas			0,1	5 %	
Silver			0,01	10 %	
Tanpa Warna				20 %	

Berdasarkan gambar 17, dimana warna gelang nya sebagai berikut :

- Gelang-1 warna oranye, nilai (3)
- Gelang-2 warna putih, nilai (9)
- Gelang-3 warna kuning, nilai ($\times 10^4$)
- Gelang-4 warna emas, toleransi 5 %
- Gelang-5 warna merah, daya tahan 0,1 %

Dari warna gelang gambar 17 dan tabel-1, kita lihat bahwa resistor tersebut mempunyai nilai sbb :

$$R = 39 \times 10^4 \Omega \pm 5\% = 390 \text{ k}\Omega \pm 195 \text{ k}\Omega \text{ dengan daya tahan sebesar } 0,1 \%$$

Artinya :

$$\text{Minimum } R = 370.500 \text{ Ohm atau } 370,5 \text{ k}\Omega$$

$$\text{Maksimum } R = 409.500 \text{ Ohm atau } 409,5 \text{ k}\Omega$$

dengan daya tahan sebesar 0,1 %

Angka ini menunjukkan bahwa resistansi jatuh pada selang antara 370,5 k Ω hingga 409,5 k Ω . Setelah pemakaian 1000 jam, tidak akan lebih satu dari 1000 resistor yang telah dibuat pabrik tersebut akan jatuh nilainya diluar 370,5 k Ω – 409,5 k Ω .

9. Kapasitor (C)

Sering juga disebut dengan kondensator. Elemen ini mempunyai fungsi untuk membatasi arus DC yang mengalir pada kapasitor tersebut, dan dapat menyimpan energi dalam bentuk medan listrik.

Nilai suatu kapasitor tergantung dari nilai permivitas bahan pembuat kapasitor, dan jarak antara dua keping penyusun kapasitor tersebut.

Secara matematis:

$$C = \varepsilon \frac{A}{d} \tag{13}$$

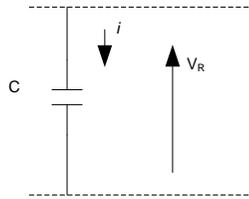
Dimana:

ε = permitivitas bahan

A = luas penampang bahan

d = jarak dua keping

Jika sebuah kapasitor dilewati oleh sebuah arus, maka pada kedua ujung kapasitor tersebut akan muncul beda potensial atau tegangan.



Gambar 18. Simbol kapasitor

Secara matematis dinyatakan :

$$i_c = C \frac{dv_c}{dt} \quad (14)$$

Penurunan rumus :

$$Q = CV$$
$$dq = Cdv$$

Dimana :

$$i = \frac{dq}{dt}$$
$$dq = i \cdot dt$$

Sehingga :

$$i \cdot dt = Cdv$$
$$i = C \frac{dv}{dt} \quad (15)$$

Energi yang disimpan pada kapasitor dalam bentuk medan listrik :

$$p = \frac{dw}{dt}$$
$$dw = p \cdot dt$$
$$\int dw = \int p \cdot dt$$

$$w = \int p \cdot dt = \int vi \cdot dt = \int vC \frac{dv}{dt} dt = \int Cv dv$$

Misalkan :

Pada saat $t = 0$, maka $v = 0$

Pada saat $t = t$, maka $v = V$

Sehingga :

$$w = \int_0^v Cv \cdot dv = \frac{1}{2} CV^2 \quad (16)$$

Jika kapasitor dipasang tegangan konstan/DC, maka arus sama dengan nol. Sehingga kapasitor bertindak sebagai rangkaian terbuka (*open circuit*) untuk tegangan DC.

Rangkaian terbuka (*open circuit*) mempunyai sifat bahwa arus yang melalui rangkaian tersebut sama dengan 0, sehingga nilai tahanan rangkaian tersebut besar sekali. Rangkaian terbuka tidak tergantung dari nilai tegangan pada kedua titik rangkaian tersebut.

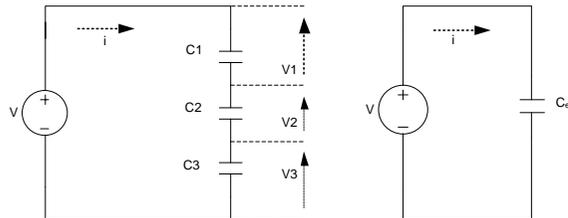
$$I = 0$$

$$R_d = \infty$$



Gambar 19. Rangkaian terbuka

1). Hubungan seri dan pembagi tegangan pada kapasitor



Gambar 20. Hubungan seri kapasitor

KVL:

$$\sum V = 0$$

$$V_1 + V_2 + V_3 - V = 0$$

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V = \frac{1}{C_1} \int idt + \frac{1}{C_2} \int idt + \frac{1}{C_3} \int idt$$

$$\frac{1}{C_{ek}} \int idt = \frac{1}{C_1} \int idt + \frac{1}{C_2} \int idt + \frac{1}{C_3} \int idt$$

$$\frac{1}{C_{ek}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad (17)$$

Pembagi tegangan:

$$V_1 = \frac{1}{C_1} \int idt$$

$$V_2 = \frac{1}{C_2} \int idt$$

$$V_3 = \frac{1}{C_3} \int idt$$

dimana $\rightarrow V = \frac{1}{C_{ek}} \int idt$

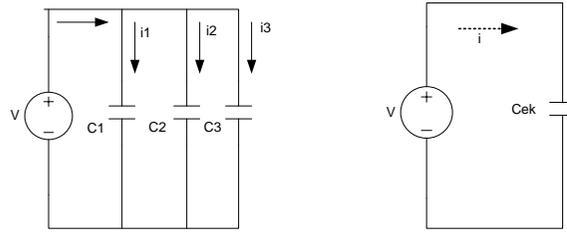
sehingga :

$$V_1 = \frac{C_{ek}}{C_1} V$$

$$V_2 = \frac{C_{ek}}{C_2} V$$

$$V_3 = \frac{C_{ek}}{C_3} V$$

2). Hubungan paralel dan pembagi arus pada kapasitor



Gambar 21. Hubungan paralel kapasitor

KCL :

$$\sum i = 0$$

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

$$i = i_1 + i_2 + i_3$$

$$C_{ek} \frac{dV}{dt} = C_1 \frac{dV}{dt} + C_2 \frac{dV}{dt} + C_3 \frac{dV}{dt}$$

$$C_{ek} = C_1 + C_2 + C_3 \quad (18)$$

Pembagi arus :

$$i_1 = C_1 \frac{dV}{dt}$$

$$i_2 = C_2 \frac{dV}{dt}$$

$$i_3 = C_3 \frac{dV}{dt}$$

$$\text{Dimana: } \rightarrow i = C_{ek} \frac{dV}{dt} \rightarrow \frac{dV}{dt} = \frac{i}{C_{ek}}$$

Sehingga:

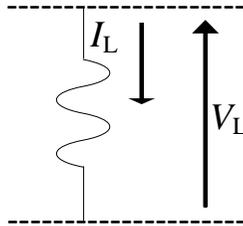
$$i_1 = \frac{C_1}{C_{ek}} i \quad i_2 = \frac{C_2}{C_{ek}} i \quad i_3 = \frac{C_3}{C_{ek}} i$$

10. Induktor (L)

Sering kali disebut sebagai lilitan, kumparan atau belitan. Induktor mempunyai sifat dapat menyimpan energi dalam bentuk medan magnet. Satuan induktor : Henry (H)

Arus yang mengalir pada induktor akan menghasilkan fluks magnetik (Φ) yang membentuk *loop* yang melingkupi kumparan. Jika terdapat N lilitan maka total fluks adalah :

$$\begin{aligned}\lambda &= L \times I \\ L &= \frac{\lambda}{I} \\ v &= \frac{d\lambda}{dt} = L \frac{di}{dt}\end{aligned}\tag{19}$$



Gambar 22. Simbol Induktor

Dari karakteristik $v-i$, dapat diturunkan sifat penyimpanan energi pada induktor.

$$\begin{aligned}p &= \frac{dw}{dt} \\ dw &= p \cdot dt \\ \int dw &= \int p \cdot dt \\ w &= \int p \cdot dt = \int v \cdot i \cdot dt = \int L \frac{di}{dt} \cdot i \cdot dt \\ w &= \int L \cdot i \cdot di\end{aligned}$$

Misalkan :

Pada saat $t = 0$ maka $i = 0$

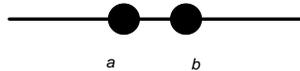
Pada saat $t = t$ maka $i = I$

Sehingga :

$$w = \int_0^I L \cdot i \cdot di = \frac{1}{2} L \cdot I^2$$

Jika induktor dipasang arus konstan / DC, maka tegangan sama dengan nol. Sehingga induktor bertindak sebagai rangkaian hubung singkat (*short circuit*).

Rangkaian hubungan singkat (*short circuit*) mempunyai sifat bahwa nilai tegangan pada kedua titik tersebut selalu sama dengan 0, sehingga nilai tahanan pada rangkaian tersebut kecil sekali. Rangkaian hubung singkat tidak tergantung dari arus I yang mengalir pada rangkaian tersebut.

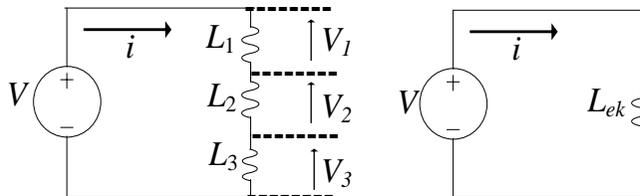


Gambar 23. Simbol rangkaian hubung singkat

$$V_{ab} = 0$$

$$R_d = 0$$

1) Hubungan seri dan pembagi tegangan pada induktor



Gambar 24. Hubungan seri induktor

KVL :

$$\sum_{L=1}^3 V_L = 0$$

$$V - (V_1 + V_2 + V_3) = 0$$

$$\begin{aligned}
 V &= V_1 + V_2 + V_3 \\
 V &= L_1 \frac{di}{dt} + L_2 \frac{di}{dt} + L_3 \frac{di}{dt} \\
 L_{ek} &= L_1 + L_2 + L_3
 \end{aligned}
 \tag{20}$$

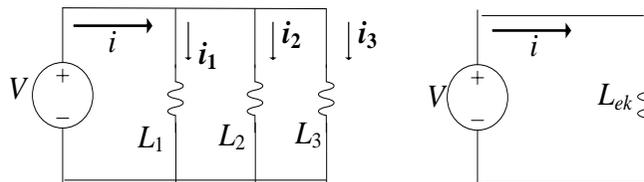
Pembagi tegangan :

$$\begin{aligned}
 V_1 &= L_1 \frac{di}{dt} \\
 V_1 &= \frac{L_1}{L_{ek}} V \\
 V_2 &= L_2 \frac{di}{dt} & V_2 &= \frac{L_2}{L_{ek}} V \\
 V_3 &= L_3 \frac{di}{dt} & V_3 &= \frac{L_3}{L_{ek}} V
 \end{aligned}$$

Dimana :

$$V = L_{ek} \frac{di}{dt} \qquad \frac{di}{dt} = \frac{V}{L_{ek}}$$

2) Hubungan paralel dan pembagi arus pada induktor



Gambar 25. Hubungan paralel induktor

KCL :

$$\begin{aligned}
 \sum i &= 0 \\
 i - i_1 - i_2 - i_3 &= 0 \\
 i &= i_1 + i_2 + i_3 \\
 \frac{1}{L_{ek}} \int V dt &= \frac{1}{L_1} \int V dt + \frac{1}{L_2} \int V dt + \frac{1}{L_3} \int V dt \\
 \frac{1}{L_{ek}} &= \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}
 \end{aligned}$$

Pembagi arus :

$$i_1 = \frac{1}{L_1} \int V dt$$

$$i_2 = \frac{1}{L_2} \int V dt$$

$$i_3 = \frac{1}{L_3} \int V dt$$

Dimana:

$$i = \frac{1}{L_{ek}} \int V dt$$

$$\int V dt = L_{ek} i$$

Sehingga :

$$i_1 = \frac{L_{ek}}{L_1} i$$

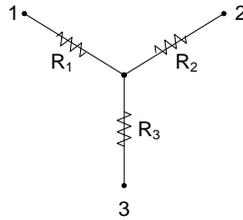
$$i_2 = \frac{L_{ek}}{L_2} i$$

$$i_3 = \frac{L_{ek}}{L_3} i$$

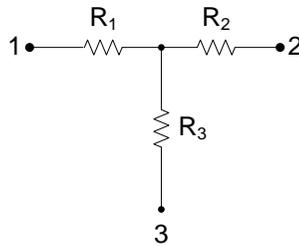
11. Transformasi

Jika sekumpulan resistansi saat dianalisis ternyata tidak membentuk hubungan seri ataupun parallel seperti yang telah dibahas pada bab sebelumnya, melainkan membentuk hubungan Star (gambar-26) dan hubungan Delta (gambar-27). Untuk menyelesaikannya harus di transformasi.

Hubungan *Star* atau *wye* disebut juga \rightarrow hubungan *bintang* (**Y**) atau hubungan **T**, rangkaian *wye* sebagai berikut :

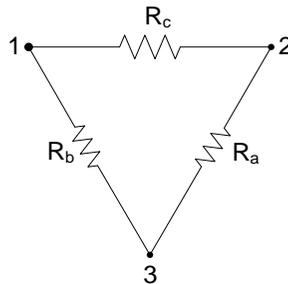


Gambar 26. Rangkaian Hubungan Bintang (Y)

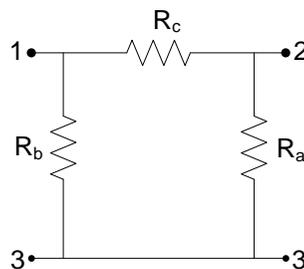


Gambar 27. Rangkaian hubungan T, ekivalen Y

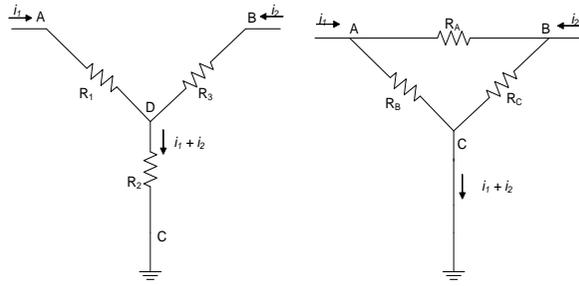
Hubungan *delta* disebut juga → hubungan *segitiga* atau hubungan *pi*, rangkaian delta sebagai berikut :



Gambar 28. Rangkaian hubungan Delta



Gambar 29. Rangkaian hubungan PI, ekivalen Delta



Gambar 30. Rangkaian hubungan bintang dan delta

11.1. Rangkaian bintang.

Tinjau node D dengan analisis node di mana node C sebagai ground:

$$\frac{V_D - V_A}{R_1} + \frac{V_D - V_B}{R_3} + \frac{V_D}{R_2} = 0 \quad (21)$$

$$V_D \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{V_A}{R_1} + \frac{V_B}{R_3}$$

$$V_D \left(\frac{R_2 R_3 + R_1 R_2 + R_1 R_3}{R_1 R_2 R_3} \right) = \frac{V_A}{R_1} + \frac{V_B}{R_3}$$

$$V_D = \frac{R_2 R_3}{R_2 R_3 + R_1 R_2 + R_1 R_3} V_A + \frac{R_1 R_2}{R_2 R_3 + R_1 R_2 + R_1 R_3} V_B \quad (22)$$

$$i_1 = \frac{V_A - V_D}{R_1} = \frac{V_A}{R_1} - \frac{V_D}{R_1}$$

$$i_1 = \frac{V_A}{R_1} - \frac{1}{R_1} \left(\frac{R_2 R_3}{R_2 R_3 + R_1 R_2 + R_1 R_3} V_A + \frac{R_1 R_2}{R_2 R_3 + R_1 R_2 + R_1 R_3} V_B \right)$$

$$i_1 = \frac{R_2 + R_3}{R_2 R_3 + R_1 R_2 + R_1 R_3} V_A - \frac{R_2}{R_2 R_3 + R_1 R_2 + R_1 R_3} V_B \quad (23)$$

$$i_2 = \frac{V_B - V_D}{R_3} = \frac{V_B}{R_3} - \frac{V_D}{R_3}$$

$$i_2 = \frac{V_B}{R_3} - \frac{1}{R_3} \left(\frac{R_2 R_3}{R_2 R_3 + R_1 R_2 + R_1 R_3} V_A + \frac{R_1 R_2}{R_2 R_3 + R_1 R_2 + R_1 R_3} V_B \right)$$

$$i_2 = \frac{R_1 R_2 + R_1 R_3}{R_3 (R_2 R_3 + R_1 R_2 + R_1 R_3)} V_A - \frac{R_1 R_2}{R_3 (R_2 R_3 + R_1 R_2 + R_1 R_3)} V_B \quad (24)$$

11.2. Rangkaian delta.

Tinjau node A dengan analisis node di mana node C sebagai ground:

$$\frac{V_A - V_B}{R_A} + \frac{V_A}{R_B} = i_1 \quad (25)$$

$$\left(\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} \right) V_A - \frac{1}{R_A} V_B = i_1$$

Bandingkan dengan persamaan (22) pada rangkaian bintang :

$$\frac{R_2 + R_3}{R_2 R_3 + R_1 R_2 + R_1 R_3} V_A - \frac{R_2}{R_2 R_3 + R_1 R_2 + R_1 R_3} V_B = i_1$$

$$\left(\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} \right) V_A - \frac{1}{R_A} V_B = i_1$$

Sehingga :

$$\frac{1}{R_A} = \frac{R_2}{R_2 R_3 + R_1 R_2 + R_1 R_3}$$

$$R_A = \frac{R_2 R_3 + R_1 R_2 + R_1 R_3}{R_2} \quad (26)$$

$$\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} = \frac{R_2 + R_3}{R_2 R_3 + R_1 R_2 + R_1 R_3}$$

$$\frac{1}{R_B} = \frac{R_2 + R_3}{R_2 R_3 + R_1 R_2 + R_1 R_3} - \frac{1}{R_A}$$

$$\frac{1}{R_B} = \frac{R_2 + R_3}{R_2 R_3 + R_1 R_2 + R_1 R_3} - \frac{R_2}{R_2 R_3 + R_1 R_2 + R_1 R_3}$$

$$\frac{1}{R_B} = \frac{R_3}{R_2 R_3 + R_1 R_2 + R_1 R_3}$$

$$R_B = \frac{R_2 R_3 + R_1 R_2 + R_1 R_3}{R_3} \quad (27)$$

Tinjau node B :

$$\frac{V_B - V_A}{R_A} + \frac{V_B}{R_C} = i_2$$

$$-\frac{1}{R_A}V_A + \left(\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_C}\right)V_B = i_2$$

Bandingkan dengan persamaan (3.4) pada rangkaian bintang :

$$\frac{R_1R_2 + R_1R_3}{R_3(R_2R_3 + R_1R_2 + R_1R_3)}V_A - \frac{R_1R_2}{R_3(R_2R_3 + R_1R_2 + R_1R_3)}V_B = i_2$$

$$-\frac{1}{R_A}V_A + \left(\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_C}\right)V_B = i_2$$

Sehingga :

$$\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_C} = -\frac{R_1R_2}{R_3(R_2R_3 + R_1R_2 + R_1R_3)}$$

$$\frac{1}{R_C} = -\frac{R_1R_2}{R_3(R_2R_3 + R_1R_2 + R_1R_3)} - \frac{1}{R_A}$$

$$\frac{1}{R_C} = -\frac{R_1R_2}{R_3(R_2R_3 + R_1R_2 + R_1R_3)}$$

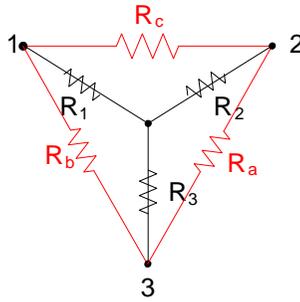
$$R_C = \frac{R_2R_3 + R_1R_2 + R_1R_3}{R_1} \quad (28)$$

Transformasi dapat dilakukan dengan 2 (dua) cara, yaitu :

1. Transformasi dari Bintang ke Delta,
2. Transformasi dari Delta ke Bintang.

11.3. Transformasi bintang ke delta.

Hubungan rangkaian berbentuk bintang atau T akan kita transformasi ke bentuk delta, seperti gambar 3-6 dibawah ini.



Gambar 31. Transformasi rangkaian bintang ke delta

Persamaannya sebagai berikut :

$$R_Y = \frac{\text{Hasil kali dua sisi } \Delta \text{ yang mengapit}}{\text{Jumlah ketiga sisi } \Delta} \quad (29)$$

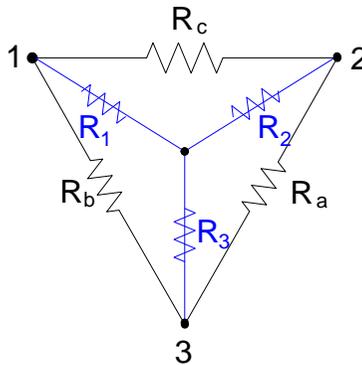
$$R_a = \frac{(R_1 \times R_2) + (R_2 \times R_3) + (R_3 \times R_1)}{R_1} \quad (30)$$

$$R_b = \frac{(R_1 \times R_2) + (R_2 \times R_3) + (R_3 \times R_1)}{R_2} \quad (31)$$

$$R_c = \frac{(R_1 \times R_2) + (R_2 \times R_3) + (R_3 \times R_1)}{R_3} \quad (32)$$

11.4. Transformasi delta ke bintang.

Hubungan rangkaian berbentuk delta atau pi akan kita transformasi ke bentuk bintang atau T, seperti gambar 3-7 dibawah ini.



Gambar 32. Transformasi rangkaian delta ke bintang

Persamaannya sebagai berikut :

$$R_{\Delta} = \frac{\text{Jumlah hasil kali dua sisi Y}}{\text{Sisi yang didepannya}} \quad (33)$$

$$R_1 = \frac{R_b \times R_c}{R_a + R_b + R_c} \quad (34)$$

$$R_2 = \frac{R_a \times R_c}{R_a + R_b + R_c} \quad (35)$$

$$R_3 = \frac{R_a \times R_b}{R_a + R_b + R_c} \quad (36)$$

BAB II

PENERAPAN HUKUM KIRCHHOFF

II.1. Tujuan Instruksional Umum (TIU):

Tujuan instruksional umum dari unit kompetensi ini untuk memberikan pemahaman yang spesifik serta dapat melakukan kegiatan praktikum dengan menerapkan hukum arus *Kirchhoff* dan hukum tegangan *Kirchhoff*.

II.2. Tujuan Instruksional Khusus (TIK):

Tujuan instruksional khusus dari penerapan hukum Kirchhoff agar mahasiswa mampu menerapkan dan menjelaskan hukum arus *Kirchhoff* dan hukum tegangan *Kirchhoff*.

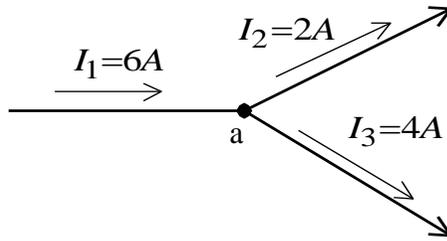
A. Tujuan Percobaan

1. Mahasiswa mampu membuktikan persamaan hukum arus *Kirchhoff*
2. Mahasiswa mampu menganalisa hubungan antara arus dan tegangan pada tahanan yang terhubung paralel

B. Hukum Arus Kirchhoff

Hukum Arus Kirchhoff (*Kirchhoff's Current Law*) disingkat KCL menyatakan bahwa jumlah aljabar arus yang masuk atau menuju pada sebuah titik percabangan sama dengan jumlah arus yang keluar atau meninggalkan titik percabangan tersebut. Gambar 2.1 membuktikan penerapan hukum arus Kirchhoff, dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$\sum I_{masuk} = \sum I_{keluar} \quad (2.1)$$



Gambar 2.1. Hukum Arus Kirchhoff

Gambar 2.1. Merupakan contoh sederhana dari penggunaan hukum arus Kirchhoff. Apabila kita lihat titik percabangan sebagai titik a , maka besar arus yang masuk ke titik a sama dengan besar arus yang keluar dari titik a. Bila dijabarkan, adalah sebagai berikut :

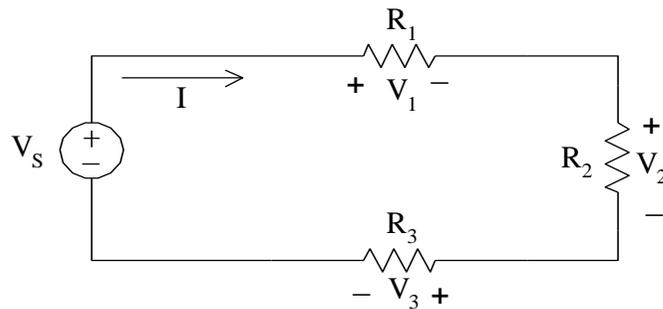
Jumlah arus yang menuju titik cabang (titik a) = Jumlah arus yang meninggalkan titik cabang

$$\begin{aligned}
 I_1 &= I_2 + I_3 \\
 6A &= 2A + 4A \\
 6A &= 6A \quad (\text{terbukti})
 \end{aligned}$$

C. Hukum Tegangan Kirchhoff

Hukum tegangan Kirchhoff (*Kirchhoff's Voltage Law*) disingkat KVL menyatakan bahwa jumlah aljabar energi potensial pada suatu rangkaian tertutup (loop) sama dengan nol. Gambar 2.2 menerapkan Hukum tegangan *Kirchhoff* pada elemen R hubungan seri.

Dalam bentuk persamaan :



$$\Sigma V_{(loop\ tertutup)} = 0 \quad (2.2)$$

Gambar 2.2. Elemen R Hubungan Seri

Rangkaian pada Gambar 2.2 merupakan satu rangkaian tertutup (loop), dengan penggunaan hukum tegangan *Kirchhoff*, tegangan pada loop tersebut sama dengan nol. Jika arus melewati suatu tahanan maka akan ada energi potensial (V) yang arahnya berlawanan dengan arah arus (I), pada Gambar 2.2 energi potensial adalah V_1 , V_2 , dan V_3 .

Dengan penjabaran adalah sebagai berikut :

Jumlah tegangan pada suatu loop tertutup = nol

$$V_S = (V_1 + V_2 + V_3) = 0 \quad (2.3)$$

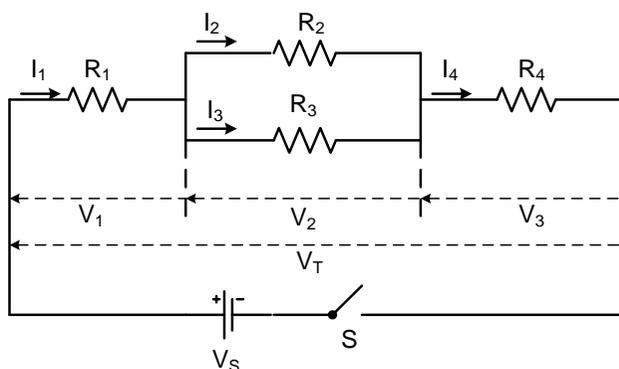
atau:

$$V_S = V_1 + V_2 + V_3 \quad (2.4)$$

D. Peralatan yang Digunakan

1. Sumber tegangan DC variabel
2. Voltmeter DC
3. Amperemeter DC
4. *Breadboard* (project board)
5. Saklar/*switch*
6. 4 (empat) macam resistor
7. Jumper secukupnya

E. Rangkaian Percobaan



Gambar 2.3. Elemen R Hubungan Campuran

F. Prosedur Percobaan

1. Buatlah rangkaian percobaan seperti Gambar 1.3 (yang diberikan oleh asisten) dan gunakan resistor yang tersedia.
2. Aturilah sumber tegangan DC sesuai dengan petunjuk asisten dan dijaga konstan
3. Untuk menerapkan hukum arus *Kirchhoff* (KCL), pasang alat ukur arus secara bergantian di setiap resistor, kemudian amati dan catat nilai arus yang terbaca, seperti arus: I_1 , I_2 , I_3 , I_4
4. Untuk menerapkan hukum tegangan *Kirchhoff* (KVL), pasang alat ukur tegangan secara bergantian pada setiap resistor kemudian amati dan catat nilai tegangan yang terukur seperti: V_1 , V_2 , V_3 dan V_T
5. Ulangi cara seperti diatas, dengan merubah nilai sumber tegangan yang berbeda (diskusikan sama asisten).

BAB III

PENERAPAN METODE MESH CURRENT

III.1. Tujuan Instruksional Umum (TIU):

Tujuan instruksional umum dari unit kompetensi ini untuk memberikan pemahaman yang spesifik serta dapat melakukan kegiatan praktikum dengan menerapkan metode *Mesh Current*.

III.2. Tujuan Instruksional Khusus (TIK):

Tujuan instruksional khusus dari penerapan metode *Mesh Current* agar mahasiswa mampu menerapkan dan menjelaskan metode *Mesh Current*.

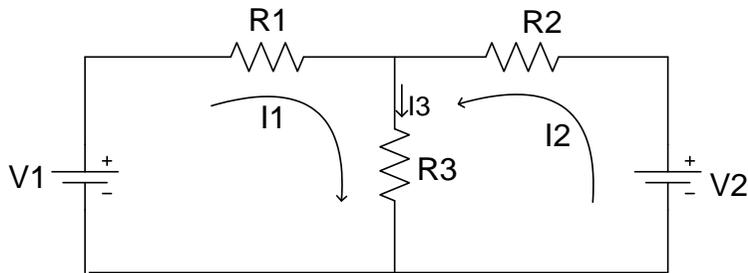
A. Tujuan Percobaan

1. Mahasiswa mampu memahami prinsip dari metode *mesh current*
2. Mahasiswa mampu menganalisa arus *mesh current* dan dapat membuktikan percobaan terhadap teori rangkaian *mesh current*.

B. Teori Dasar

Metode *mesh current* adalah metode yang digunakan untuk menyelesaikan suatu rangkaian listrik melalui proses penyelesaian masing-masing loop. Walaupun cara ini tidak dapat dipakai pada setiap jaringan, teknik ini dapat diterapkan pada sebagian besar jaringan yang perlu kita analisis dan barangkali digunakan lebih sering dari semestinya. Metode *mesh current* dapat dipakai hanya pada jaringan yang terletak dalam suatu bidang.

Metode arus mesh pada dasarnya adalah mencari persamaan linier dengan arus mesh sebagai peubah, yang secara lengkap merupakan deskripsi dari rangkaian. Dasar metode arus mesh, seperti halnya metode tegangan simpul, berbasis pada persyaratan elemen dan persyaratan rangkaian yang harus dipenuhi dalam analisis rangkaian listrik. Gambar 3.1 penerapan metode mesh current.



Gambar 3.1. Rangkaian Mesh Current

Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam penyelesaian suatu rangkaian dengan metode mesh current, diantaranya :

- 1) Buatlah arus disetiap loop tertutup dengan arah searah jarum jam (tanpa melihat polaritas sumber). Setiap proses analisa harus diterapkan secara KVL
- 2) Tentukan besar arus pada loop tertutup/*mesh* dengan cara eliminasi atau secara matrik determinan
- 3) Apabila jumlah loop lebih dari dua maka penyelesaian maka penyelesaian sebaiknya dilakukan secara matrik determinan
- 4) Berikutnya kita dapat menentukan besar arus yang lewat pada suatu elemen tertentu dengan menggunakan Hukum *Kirchoff*

Berdasarkan Gambar 3.1 diperoleh persamaan tegangan sebagai berikut:

Loop 1:

$$I_1(R_1 + R_3) + I_2R_3 = V_1 \quad (3.1)$$

Loop 2:

$$I_2(R_2 + R_3) + I_1R_3 = V_2 \quad (3.2)$$

atau:

$$I_1R_3 + I_2(R_2 + R_3) = V_2 \quad (3.3)$$

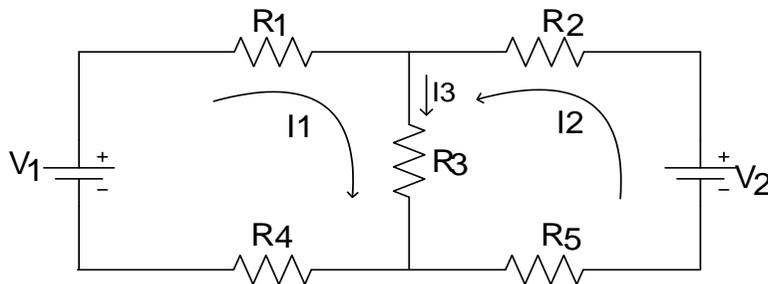
Untuk menentukan arus I_1 dan I_2 dapat dilakukan secara eliminasi maupun matrik 2×2 . Besar arus I_3 dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$I_3 = I_1 + I_2 \quad (\text{Persmaan ini berlaku berdasarkan Gambar 3.1})$$

C. Peralatan yang Digunakan

1. Kit modul praktikum *mesh current*
2. 2 (dua) buah sumber tegangan DC variable
3. Voltmeter DC
4. Amperemeter DC
5. 5 (lima) buah resistor berdasarkan arahan asisten
6. Jumper secukupnya

D. Rangkaian Percobaan



Gambar 3.2. Rangkaian *Mesh Current*

E. Prosedur Percobaan

1. Buatlah rangkaian percobaan seperti Gambar 3.2 (berdasarkan petunjuk dari asisten) dan gunakan resistor yang tersedia.
2. Atur sumber tegangan V_1 dan V_2 (sesuai dengan petunjuk asisten)
3. Ukur dan catat nilai arus yang terukur, seperti arus: I_1 , I_2 , I_3
4. Buat kesimpulan saudara berdasarkan teori dan hasil pengukuran arus I_3 .
5. Ulangi cara seperti diatas untuk besar sumber tegangan yang berbeda berdasarkan arahan asisten.

BAB IV

PENERAPAN METODE NODE VOLTAGE (NV)

IV.1. Tujuan Instruksional Umum (TIU):

Tujuan instruksional umum dari unit kompetensi ini untuk memberikan pemahaman yang spesifik serta dapat melakukan kegiatan praktikum dengan menerapkan metode *Node Voltage*.

IV.2. Tujuan Instruksional Khusus (TIK):

Tujuan instruksional khusus dari penerapan metode *Node Voltage* agar mahasiswa mampu menerapkan dan menjelaskan metode *Node Voltage*.

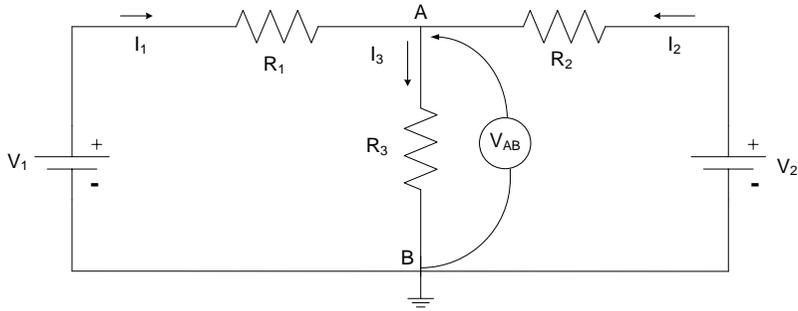
A. Tujuan Percobaan

1. Mahasiswa mampu memahami prinsip dari metode *Node Voltage*
2. Mahasiswa mampu menganalisa dan membuktikan percobaan terhadap teori *Node Voltage*.

B. Teori Dasar

Node atau titik simpul adalah titik pertemuan dari dua atau lebih elemen rangkaian. Junction atau titik simpul utama atau titik percabangan adalah titik pertemuan dari tiga atau lebih elemen rangkaian.

Node berprinsip pada Hukum Arus Kirchoff (HAK atau KCL) dimana jumlah arus yang masuk dan keluar dari titik percabangan akan samadengan nol, dimana nilai tegangan merupakan parameter yang tergantung terhadap nilai arus. Analisis node lebih mudah jika pencatunya semuanya adalah sumber arus. Analisis ini dapat diterapkan pada sumber searah (DC) maupun sumber bolak-balik (AC). Untuk lebih jelasnya perhatikan Gambar 4.1 berikut ini :



Gambar 4.1. Rangkaian *Node Voltage*

Dari gambar 4.1 dengan menerapkan Hukum Arus *Kirchoff* diperoleh persamaan arus sebagai berikut:

$$I_1 + I_2 = I_3 \quad \text{atau:} \quad I_1 + I_2 - I_3 = 0 \quad (4.1)$$

dimana:

$$I_1 = \frac{V_1 - V_{AB}}{R_1} \quad (4.2)$$

$$I_2 = \frac{V_2 - V_{AB}}{R_2} \quad (4.3)$$

$$I_3 = \frac{V_{AB}}{R_3} \quad (4.4)$$

dengan mensubtitusi persamaan (4.2), (4.3), dan (4.4) ke persamaan (4.1) sehingga:

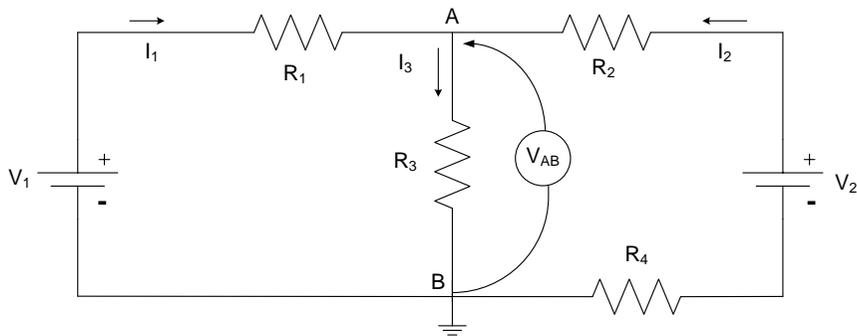
$$\frac{V_1 - V_{AB}}{R_1} + \frac{V_2 - V_{AB}}{R_2} - \frac{V_{AB}}{R_3} = 0 \quad (4.5)$$

Dengan menyelesaikan persamaan (4.5), maka nilai tegangan V_{AB} dapat diketahui.

C. Peralatan yang Digunakan

1. 2 (dua) buah Sumber tegangan DC variable
2. Voltmeter DC
3. Amperemeter DC
4. 3 (tiga) buah resistor
5. Jumper secukupnya

D. Rangkaian Percobaan



Gambar 4.2. Penerapan Metode *Node Voltage*

E. Prosedur Percobaan

1. Buatlah rangkaian percobaan seperti Gambar 4.2. (berdasarkan arahan dari asisten) dan gunakan resistor yang tersedia.
2. Aturilah sumber tegangan V_1 dan V_2 (sesuai dengan petunjuk asisten)
3. Pada setiap kali perubahan tegangan, ukur dan catat penunjukan I_1 , I_2 dan I_3
4. Gunakan alat ukur Voltmeter untuk mengetahui besar tegangan V_{AB} , (catat tegangan terukur).
5. Ulangi cara seperti diatas untuk besar tegangan V_1 dan V_2 yang berbeda.
6. Buat kesimpulan berdasarkan teori dan hasil praktek di lapangan.
7. Setelah selesai praktikum, rapikan peralatan dan letakkan di tempat semula

BAB V

PENERAPAN TEOREMA SUPERPOSISI

V.1. Tujuan Instruksional Umum (TIU):

Tujuan instruksional umum dari unit kompetensi ini untuk memberikan pemahaman yang spesifik serta dapat melakukan kegiatan praktikum dengan menerapkan metode *Superposisi*.

V.2. Tujuan Instruksional Khusus (TIK):

Tujuan instruksional khusus dari penerapan metode *Superposisi* agar mahasiswa mampu menerapkan dan menjelaskan metode *Superposisi*.

A. Tujuan Percobaan

1. Mahasiswa mampu memahami prinsip dari metode *Superposisi*
2. Mahasiswa mampu menganalisa dan membuktikan percobaan terhadap teori *Superposisi*.

B. Teori Dasar

Teorema ini hanya berlaku untuk rangkaian yang bersifat linier. Rangkaian linier adalah suatu rangkaian di mana persamaan yang muncul akan terpenuhi jika $y = kx$, di mana $k =$ konstanta dan $x =$ variable.

Dalam setiap rangkaian linier dengan beberapa buah sumber arus, perhitungannya dapat dilakukan dengan cara: *Menjumlahkan secara aljabar tegangan atau arus yang disebabkan oleh tiap sumber bebas yang bekerja sendiri, dengan semua sumber tegangan dihubung singkat atau sumber arus di buka (open circuit)*.

Langkah langkah penyelesaian atau menganalisa rangkaian secara superposisi dengan mengaktifkan (menggunakan) salah satu sumber dari jumlah sumber ayang ada, dengan syarat :

1. Bila salah satu sumber tegangan digunakan (di aktifkan), sumber tegangan yang lain dihubung singkat, bila ada sumber arus, di hubung terbuka (open circuit)
2. Bila salah satu sumber arus digunakan, sumber arus lain dibuka (tidak diaktifkan), sedangkan bila ada sumber tegangan, harus dihubung singkat.
3. Setiap langkah (step), tentukan persamaan arus berdasarkan arah arus dengan menerapkan hukum Ohm, maupun hukum Kirchhoff
4. Bila point 3 sudah didapat, untuk menentukan arus pada elemen, perhatikan arah arus disetiap step (langkah)

B.1. Metode Superposisi untuk sumber bebas.

Contoh 1.

Rangkaian dengan dua sumber tegangan. Pada rangkaian dibawah ini, tentukan besar arus I_x yang mengalir pada R_3 .

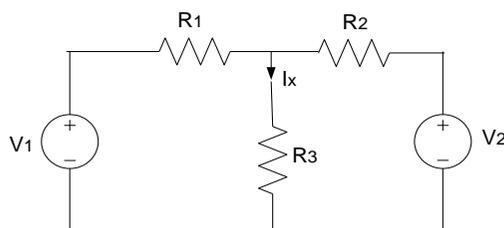
Diketahui :

$$V_1 = 12\text{Volt} \quad R_1 = 2\ \Omega$$

$$V_2 = 11\text{Volt} \quad R_2 = 4\ \Omega$$

$$R_3 = 6\ \Omega$$

Rangkaiannya adalah sebagai berikut :

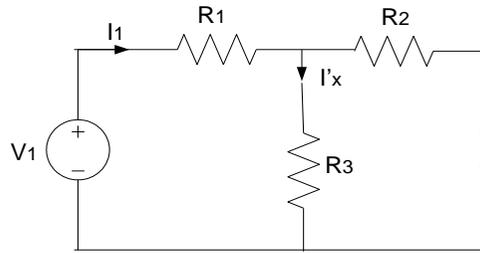


Gambar 5-1. Rangkaian dengan 2 sumber tegangan

Jawab 1

Step 1

Sumber tegangan V_1 digunakan (aktif), sumber tegangan V_2 dihubung singkat. Rangkaiannya adalah sebagai berikut :



Gambar 5-2. Rangkaian ekivalen sumber tegangan V_2 dihubung singkat

Dari rangkaian diatas didapat :

$$I_1 = \frac{V_1}{R_T} \quad (5.1)$$

Karena R_T belum diketahui, maka kita cari nilai R_T nya. Nilai R_T nya adalah sebagai berikut :

$$R_T = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = 2 + \frac{4 \times 6}{4 + 6} = 4,4 \quad \Omega \quad (5.2)$$

Berdasarkan persamaan (5.1), maka persamaan (5.2.) diperoleh :

$$I_1 = \frac{V_1}{R_T} = \frac{12}{4,4} = 2,727 \quad \text{Ampere} \quad (5.3)$$

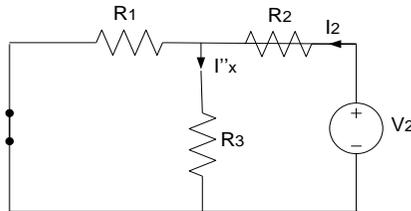
Karena nilai I_1 telah didapat, maka nilai I'_x dapat kita cari. Persamaan yang digunakan untuk mencari nilai I'_x adalah sebagai berikut :

$$I'_x = \frac{R_2}{R_2 + R_3} \times I_1 \quad (5.4)$$

$$I'_x = \frac{R_2}{R_2 + R_3} \times I_1 = \frac{4}{4 + 6} \times 2,727 = 1,1 \quad \text{Ampere} \quad (5.5)$$

Step 2

Sumber tegangan V_2 digunakan (aktif), sumber tegangan V_1 dihubung singkat. Rangkaianannya adalah sebagai berikut :



Gambar 5-3. Rangkaian ekivalen sumber tegangan V_1 dihubung singkat

Dari rangkaian diatas didapat :

$$I_2 = \frac{V_2}{R_T} \quad (5.6)$$

Karena R_T belum diketahui, maka kita cari nilai R_T nya sebagai berikut :

$$R_T = R_2 + \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} = 4 + \frac{2 \times 6}{2 + 6} = 5,5 \Omega \quad (5.7)$$

Berdasarkan persamaan sebelumnya, maka persamaan (5.6) diperoleh :

$$I_2 = \frac{V_2}{R_T} = \frac{11}{5,5} = 2 \text{ Ampere} \quad (5.8)$$

Karena nilai I_2 telah didapat, maka nilai I''_x dapat kita cari. Persamaan yang digunakan untuk mencari nilai I''_x adalah sebagai berikut :

$$I''_x = \frac{R_1}{R_1 + R_3} \times I_2 \quad (5.9)$$

$$I''_x = \frac{R_1}{R_1 + R_3} \times I_2 = \frac{2}{2 + 6} \times 2 = 0,5 \text{ Ampere} \quad (5.10)$$

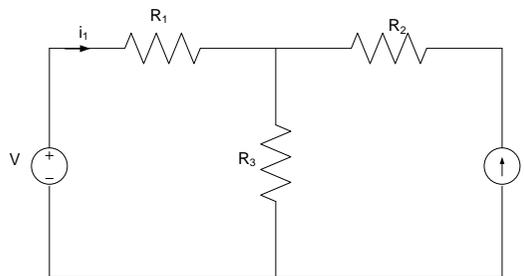
Berdasarkan gambar (5-1), dan persamaan (5.5) dan (5.10), besar arus I_x adalah :

$$I_x = I'_x + I''_x$$

$$I_x = 1,0908 + 0,5 = 1,5908 \text{ Ampere}$$

Contoh 2.

Berapakah besar arus i_1 dengan menerapkan metode atau teorema superposisi?



Gambar 5-4. Rangkaian dengan sumber tegangan

Diketahui :

$$V = 20 \text{ Volt} \quad R_1 = 10 \Omega$$

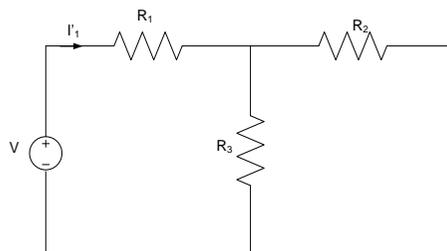
$$I = 1 \text{ Ampere} \quad R_2 = 15 \Omega$$

$$R_3 = 10 \Omega$$

Step 1

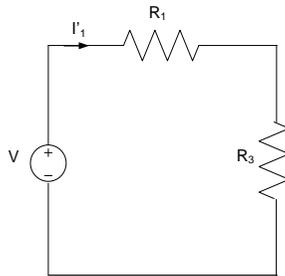
Sumber tegangan V_1 digunakan (aktif), sumber tegangan V_2 dihubung singkat.

Rangkaiannya adalah sebagai berikut :



Gambar 5-5. Rangkaian ekivalen, sumber arus I di buka

Berdasarkan gambar 5-5, dimana arus tidak akan melewati tahanan R_2 , karena rangkaian terbuka. Dengan demikian $R_2 = 0$, sehingga rangkaian ekivalennya sebagai berikut :



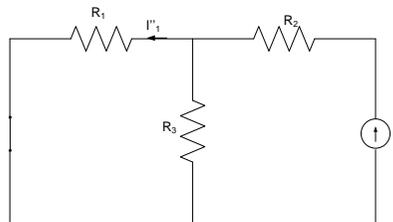
Gambar 5-6. Rangkaian ekivalen, sumber arus I di buka

Dari rangkaian diatas didapat :

$$I'_1 = \frac{V}{R_T} = \frac{V}{R_1 + R_3} = \frac{20}{10+10} = 1 \text{ Ampere} \quad (5.11)$$

Step 2

Sumber arus I digunakan (aktif), sumber tegangan V dihubung singkat. Rangkaianya adalah sebagai berikut :



Gambar 5-7. Rangkaian ekivalen sumber tegangan V dihubung singkat

Karena sumber arus nilai I diketahui, maka nilai I''_1 dapat kita cari. Persamaan yang digunakan untuk mencari nilai arus I''_1 adalah sebagai berikut :

$$I''_1 = \frac{R_3}{R_3 + R_1} \times I \quad (5.12)$$

$$I''_1 = \frac{R_3}{R_3 + R_1} \times I = \frac{10}{10+10} \times 1 = 0,5 \text{ Ampere} \quad (5.13)$$

Berdasarkan gambar (5-4), dan persamaan (5.11) dan (5.13), besar arus I_1 adalah :

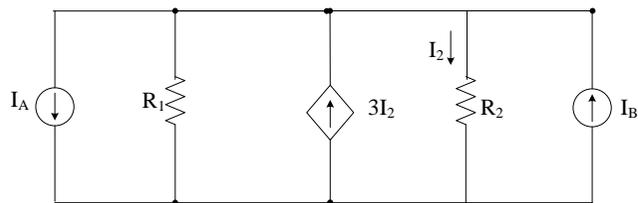
$$I_1 = I'_1 - I''_1$$

$$I_x = 1 - 0,5 = 0,5 \text{ Ampere}$$

B.2. Metode Superposisi untuk sumber tak bebas.

Contoh 3.

Tentukan nilai I_2 dengan metode superposisi!



Gambar 5-8. Rangkaian dengan sumber arus bebas dan tak bebas

Diketahui :

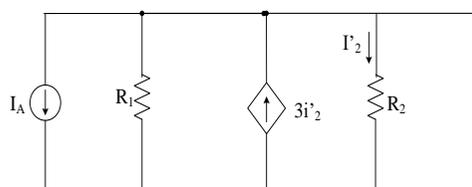
$$I_A = 8 \text{ Ampere} \quad R_1 = 3 \Omega$$

$$I_B = 4 \text{ Ampere} \quad R_2 = 2 \Omega$$

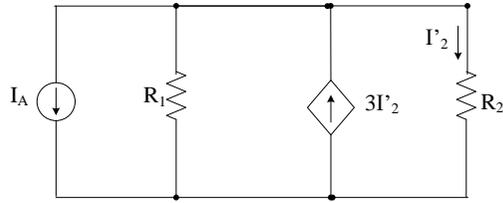
Jawab 3.

Step 1

Sumber arus I_A digunakan (aktif), sumber arus I_B dihubung terbuka atau diganti dengan tahanan dalamnya yaitu tak hingga atau *open circuit*. Rangkaiannya adalah sebagai berikut :



Gambar 5-9. Rangkaian ekivalen, sumber arus I_B di buka



Gambar 5-10. Rangkaian ekivalen gambar 5-9

Dari rangkaian diatas didapat :

$$I'_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} x(3I'_2 - I_A) \quad (5.14)$$

$$I'_2 = \frac{3}{3+2} x(3I'_2 - 8) = \frac{3}{5} x(3I'_2 - 8)$$

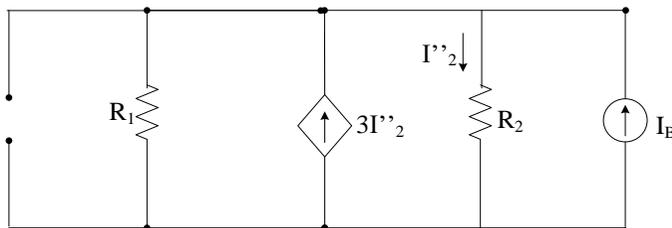
$$5I'_2 - 9I'_2 = -24$$

$$-4I'_2 = -24$$

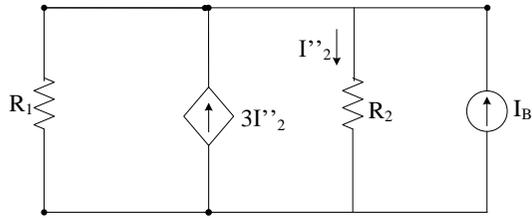
$$I'_2 = \frac{-24}{-4} = 6 \text{ Ampere} \quad (5.15)$$

Step 2

Sumber arus I_B digunakan (aktif), sumber arus I_A dihubung terbuka atau diganti dengan tahanan dalamnya yaitu tak hingga atau *open circuit*. Rangkaianya adalah sebagai berikut :



Gambar 5-11. Rangkaian ekivalen, sumber arus I_1 di buka



Gambar 5-12. Rangkaian ekivalen gambar 5-11

Dari rangkaian diatas didapat :

$$I''_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times (3I''_2 + I_B) \quad (5.16)$$

$$I''_2 = \frac{3}{3+2} \times (3I''_2 + 4) = \frac{3}{5} \times (3I''_2 + 4)$$

$$5I''_2 = 9I''_2 + 12$$

$$5I''_2 - 9I''_2 = 12$$

$$-4I''_2 = 12$$

$$I''_2 = \frac{12}{-4} = -3 \text{ Ampere} \quad (5.17)$$

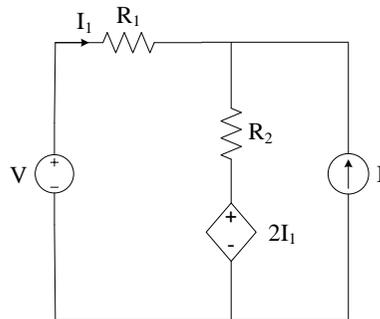
Berdasarkan gambar (5-12), dan persamaan (5.15) dan (5.17), besar arus I_2 adalah :

$$I_2 = I'_2 + I''_2$$

$$I_2 = 6 + (-3) = 3 \text{ Ampere}$$

Contoh 4.

Tentukan nilai I_I dengan metode superposisi!



Gambar 5-13. Rangkaian dengan sumber bebas dan tak bebas

Diketahui :

$$V = 12 \text{ Volt} \qquad R_1 = 1 \Omega$$

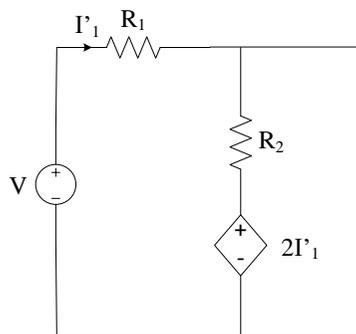
$$I = 6 \text{ Ampere} \qquad R_2 = 3 \Omega$$

Jawab 4.

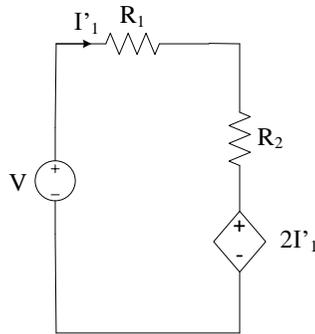
Step 1

Sumber tegangan V digunakan (aktif), sumber arus I dihubung terbuka atau diganti dengan tahanan dalamnya yaitu tak hingga atau *open circuit*.

Rangkaiannya adalah sebagai berikut :



Gambar 5-14. Rangkaian ekuivalen, sumber arus I di buka



Gambar 5-15. Rangkaian ekivalen gambar 5-58

Dari rangkaian diatas didapat :

KVL :

$$V - V_1 - V_2 - 2I_1 = 0 \quad (4.18)$$

$$V - I'_1 R_1 - I'_1 R_2 - 2I'_1 = 0$$

$$V - I'_1 1 - I'_1 3 - 2I'_1 = 0$$

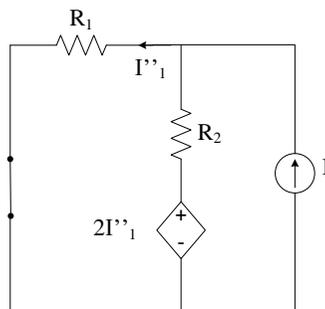
$$12 - I'_1 6 = 0$$

$$I'_1 = \frac{12}{6} = 2 \text{ Ampere} \quad (5.19)$$

Step 2

Sumber arus I digunakan (aktif), sumber tegangan V dihubung singkat.

Rangkaiannya adalah sebagai berikut :



Gambar 5-16. Rangkaian ekivalen sumber tegangan dihubung singkat

KVL :

$$\begin{aligned}
 -V_1 - R_2(I + I''_1) + 2I''_1 &= 0 & (5.20) \\
 -I''_1 R_1 - R_2(I + I''_1) + 2I''_1 &= 0 \\
 -I''_1 \cdot 1 - 3(6 + I''_1) + 2I''_1 &= 0 \\
 -I''_1 - 18 - 3I''_1 + 2I''_1 &= 0 \\
 -2I''_1 &= 18
 \end{aligned}$$

$$I''_1 = \frac{18}{-2} = -9 \text{ Ampere} \quad (5.21)$$

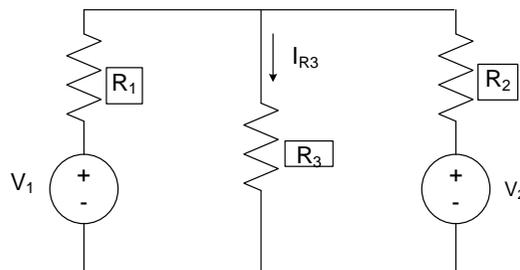
Berdasarkan gambar (5-16), dan persamaan (5.19) dan (5.21), besar arus I_1 adalah :

$$\begin{aligned}
 I_1 &= I'_1 - I''_1 \\
 I_1 &= 2 - (-9) = 11 \text{ Ampere}
 \end{aligned}$$

C. Peralatan yang Digunakan

1. 2 (dua) buah sumber tegangan DC variable
2. Voltmeter DC
3. Amperemeter DC
4. Ohm meter
5. 3 (tiga) buah resistor
6. Jumper secukupnya

D. Rangkaian Percobaan



Gambar 5.6. Rangkaian dengan Dua Sumber Tegangan

E. Prosedur Percobaan

1. Buatlah rangkaian percobaan seperti Gambar 5.6. (berdasarkan arahan dari asisten) dan gunakan resistor yang tersedia.
2. Aturlah sumber tegangan V_1 dan V_2 (sesuai dengan arahan asisten)
3. Pasang alat ukur arus (Ampermeter) untuk mendapatkan arus I_{R3}

Step-1

- 1) Buka sumber tegangan V_2 dan hubungsingkat rangkaian tersebut.
- 2) Catat arus I_{R3} yang tertera pada alat ukur arus (Ampermeter).

Step-2

- 1) Buka sumber tegangan V_1 dan hubungsingkat rangkaian tersebut.
- 2) Catat arus I_{R3} yang tertera pada alat ukur arus (Amper meter)
- 3) Ulangi cara seperti diatas untuk besar sumber tegangan yang berbeda.
- 4) Buat kesimpulan antara teori dan praktek.
- 5) Setelah selesai praktikum, rapikan peralatan dan letakkan di tempat semula

BAB VI

PENERAPAN TEOREMA THEVENIN

VI.1. Tujuan Instruksional Umum (TIU):

Tujuan instruksional umum dari unit kompetensi ini untuk memberikan pemahaman yang spesifik serta dapat melakukan kegiatan praktikum dengan menerapkan metode Thevenin.

VI.2. Tujuan Instruksional Khusus (TIK):

Tujuan instruksional khusus dari penerapan metode Thevenin agar mahasiswa mampu menerapkan dan menjelaskan metode Thevenin.

A. Tujuan Percobaan

1. Mahasiswa mampu memahami prinsip dari teorema Thevenin
2. Mahasiswa mampu menganalisa dan membuktikan percobaan tentang teorema Thevenin

B. Teori Dasar

Teorema thevenin adalah suatu teorema yang menyederhanakan suatu rangkaian yang sulit menjadi suatu rangkaian yang sederhana. Teorema ini mengikuti nama M. L. Thevenin, seorang insinyur Prancis yang bekerja dibidang telegrafi, ia pertama kali mengumumkan teorema ini tahun 1883.

Teorema Thevenin mengatakan bahwa adalah mungkin mengganti semuanya (terceuali tahanan beban) dengan sebuah rangkaian ekuivalen yang mengandung hanya sebuah sumber tegangan bebas yang seri dengan sebuah tahanan beban.

Langkah langkah penyelesaian teorema Thevenin.

1. Tambahkan sebuah saklar dalam kondisi terbuka pada tahanan yang akan ditentukan arusnya.

2. Terapkan KVL untuk menentukan arus pada loop tertutup dengan arah arus searah jarum jam.
3. Tentukan nilai tahanan Thevenin (R_{Th}) ketentuan sebagai berikut :
 - a. Bila ada sumber tegangan, sumber tegangan tersebut harus dihubungkan singkat (short circuit)
 - b. Bila ada sumber arus, sumber arus tersebut harus dibuka (open circuit)
 - c. Tentukan besar tahanan Thevenin (R_{TH})
 - Point 1) dan 2) diatas, tidak berlaku untuk sumber tak bebas.
4. Pada tahanan kita berikan saklar, dimana arus tidak akan lewat karena keadaan open circuit (saklar dalam kondisi terbuka), oleh karena itu kita tentukan tegangan open circuit pada tahanan tersebut (V_{oc} atau $V_{Thevenin}$).
5. Tegangan V_{Th} dapat ditentukan dengan dua cara (hasilnya harus sama) sebagai berikut;
 - a. Rangkaian dipandang dari sisi kiri (sebagai generator)
 - b. Rangkaian dipandang dari sisi kanan (sebagai motor)
6. Apabila nilai V_{Th} dan R_{Th} telah diketahui, saklar ditutup, dengan demikian arus akan lewat pada tahanan tersebut.
7. Persamaannya sebagai berikut :

$$I_x = \frac{V_{TH}}{R_{th} + R_x} \quad \text{Ampere} \quad (6.1)$$

Dimana :

I_x = arus yang akan ditentukan pada tahanan x

V_{TH} = Tegangan Thevenin atau tegangan open circuit

R_{TH} = Tahanan Thevenin

R_x = Tahanan X

Metode Thevenin untuk sumber bebas.

Contoh 1

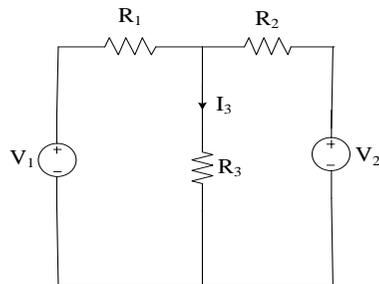
Pada gambar 6-1 merupakan rangkaian dengan dua sumber tegangan bebas. Terapkan teorema Thevenin untuk menentukan besar arus I_3 yang mengalir pada R_3 .

Diketahui :

$$V_1 = 12\text{Volt} \quad R_1 = 2\ \Omega$$

$$V_2 = 11\text{Volt} \quad R_2 = 4\ \Omega$$

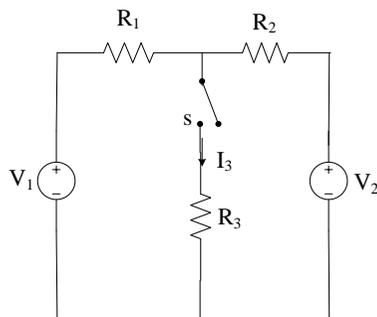
$$R_3 = 6\ \Omega$$



Gambar 6-1. Rangkaian dengan dua sumber tegangan bebas

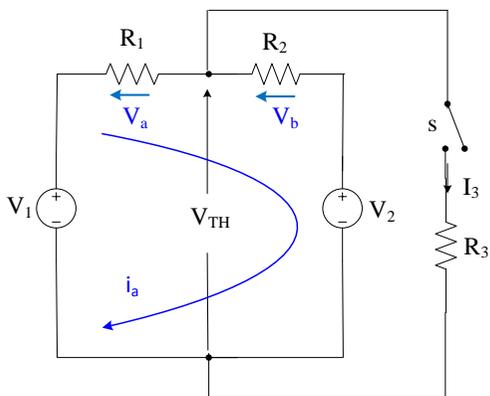
Jawab 1.

Pertama dilakukan adalah menambahkan sebuah saklar dalam kondisi saklar terbuka (gambar 6-1). Atau memindahkan keluar rangkaian elemen atau tahanan yang akan ditentukan nilai arusnya (R_3) seperti rangkaian gambar 5-2 dibawah ini.



Gambar 6-2. Rangkaian terbuka pada tahanan R_3

Apabila arus melewati sebuah tahanan, maka pada tahanan tersebut akan ada energi potensial yang arahnya berlawanan dengan arah arus tersebut, pada gambar 6-3 energi potensial di buat dalam bentuk V_a dan V_b .



Gambar 6-3. Rangkaian ekivalen gambar 6-2

Untuk menentukan arus loop (I_a) pada gambar 6-3, dengan menerapkan KVL.

➤ *Menentukan arus loop dengan menerapkan KVL*

$$V_1 - V_a - V_b - V_2 = 0 \quad (6.2)$$

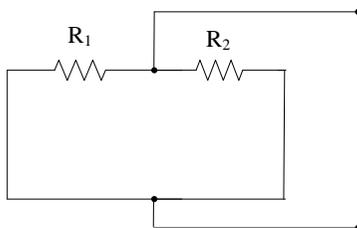
$$V_1 - I_a R_1 - I_a R_2 - V_2 = 0$$

$$I_a (R_1 + R_2) = V_1 - V_2$$

$$I_a = \frac{V_1 - V_2}{R_1 + R_2} = \frac{12 - 11}{2 + 4} = 0,167 \text{ Ampere} \quad (6.3)$$

➤ *Menentukan tahanan Thevenin*

Sumber tegangan V_1 dan V_2 di hubung singkat

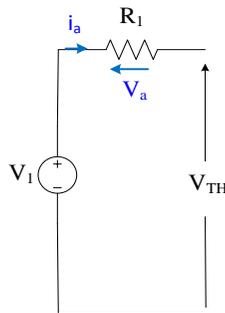


Gambar 6-4. Rangkaian tahanan Thevenin

$$R_{TH} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{2 \times 4}{2 + 4} = \frac{8}{6} = 1,33 \Omega \quad (6.4)$$

➤ *Menentukan tegangan Thevenin*

Pandang sebagai generator, rangkaian ekivalennya



Gambar 6-5. Rangkaian ekivalen V_{TH} sebagai generator

KVL :

$$V_1 - V_a - V_{TH} = 0$$

(4.127)

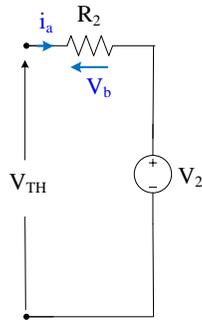
$$V_1 - I_a R_1 - V_{TH} = 0$$

$$V_{TH} = V_1 - I_a R_1 \quad (6.5)$$

Substitusi persamaan (6.3) ke persamaan (6.5)

$$V_{TH} = 12 - (0,167 \times 2) = 12 - 0,334 = 11,67 \text{ Volt} \quad (6.6)$$

Pandang sebagai motor, rangkaian ekivalennya :



Gambar 6-6. Rangkaian ekivalen V_{TH} sebagai motor

KVL :

$$V_{TH} - V_b - V_2 = 0 \quad (6.7)$$

$$V_{TH} - I_a R_2 - V_2 = 0$$

$$V_{TH} = V_2 + I_a R_2 \quad (6.8)$$

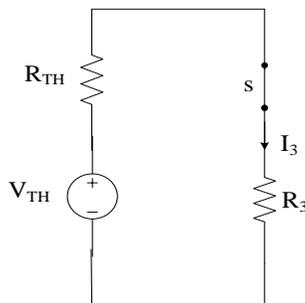
Substitusi persamaan (6.3) ke persamaan (6.8)

$$V_{TH} = 11 + (0,167 \times 4) = 11 + 0,668 = 11,67 \text{ Volt} \quad (6.9)$$

Dimana nilai V_{TH} hasilnya sama, baik dari sisi kanan maupun dari sisi kiri (persamaan 6.6 dan 6.9)

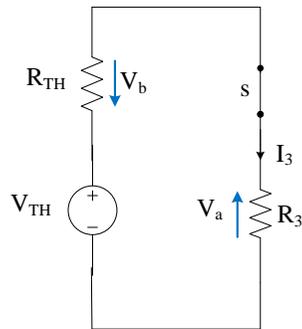
Saklar ditutup.

Rangkaian ekivalennya sebagai berikut :



Gambar 6-7. Rangkaian ekivalen Thevenin

Dengan menerapkan KVL, sehingga rangkaiannya sbb :



Gambar 6-8. Rangkaian ekivalen Thevenin dengan KVL

Berdasarkan gambar 5-8, dimana dengan menerapkan KVL di dapat :

$$V_{TH} - V_b - V_a = 0 \quad (6.0)$$

$$V_{TH} - I_3 R_{TH} - I_3 R_3 = 0$$

$$V_{TH} - I_3 (R_{TH} + R_3) = 0$$

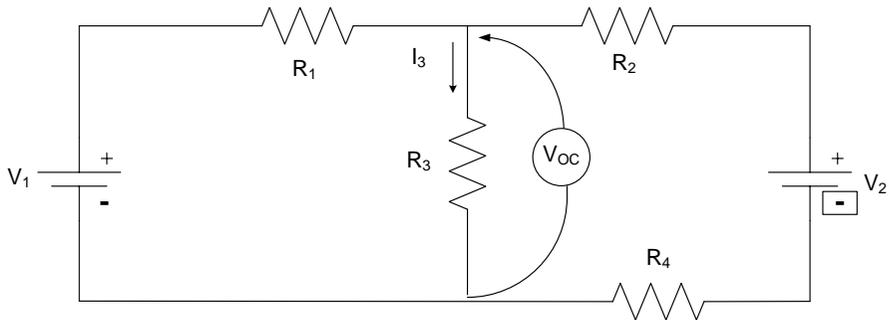
$$V_{TH} = I_3 (R_{TH} + R_3)$$

$$I_3 = \frac{V_{TH}}{(R_{TH} + R_3)} = \frac{11,67}{1,33 + 6} = 1,592 \text{ Ampere} \quad (6.1)$$

C. Peralatan yang digunakan

1. Kit praktikum metode Thevenin
2. 2 (dua) buah sumber tegangan DC (kapasitas arus sama)
3. Multimeter
4. Voltmeter DC
5. Amperemeter DC
6. 4 (Empat) buah resistor
7. Jumper secukupnya

D. Rangkaian percobaan



Gambar 6.9. Rangkaian Percobaan Thevenin

E. Prosedur Percobaan

1. Buat rangkaian percobaan seperti pada gambar 6.9 (berdasarkan arahan dari asisten) gunakan resistor yang tersedia.
2. Masukkan sumber tegangan DC, buka beban pada tahanan R_3 kemudian ukur I_1 .
3. Tentukan tegangan Thevenin atau tegangan *open circuit* dengan menggunakan alat ukur Voltmeter, beban pada tahanan R_3 pada kondisi dibuka.
4. Tanpa sumber V_1 dan V_2 , tanpa R_3 , ukur tahanan Thevenin (R_{TH}) dengan menggunakan multimeter.
5. Kemudian rangkaian percobaan dibuat seperti gambar 6.9 dan tentukan arus I_3 dengan menggunakan alat ukur Amperemeter.
6. Buat kesimpulan antara teori dengan praktek
7. Bersihkan dan rapikan kembali peralatan.

BAB VII

PENERAPAN TEOREMA NORTHON

VII.1. Tujuan Instruksional Umum (TIU):

Tujuan instruksional umum dari unit kompetensi ini untuk memberikan pemahaman yang spesifik serta dapat melakukan kegiatan praktikum dengan menerapkan metode Norton.

VII.2. Tujuan Instruksional Khusus (TIK):

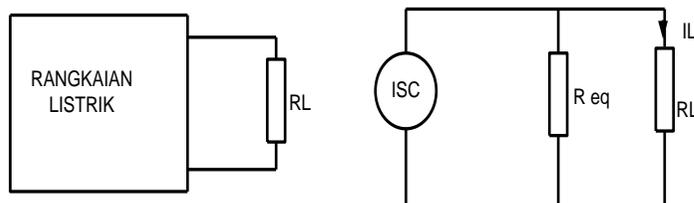
Tujuan instruksional khusus dari penerapan metode Norton agar mahasiswa mampu menerapkan dan menjelaskan metode Norton.

A. Tujuan Percobaan

1. Mahasiswa mampu memahami prinsip dari teorema Norton
2. Mahasiswa mampu menganalisa dan membuktikan percobaan tentang teorema Norton

B. Teori Dasar

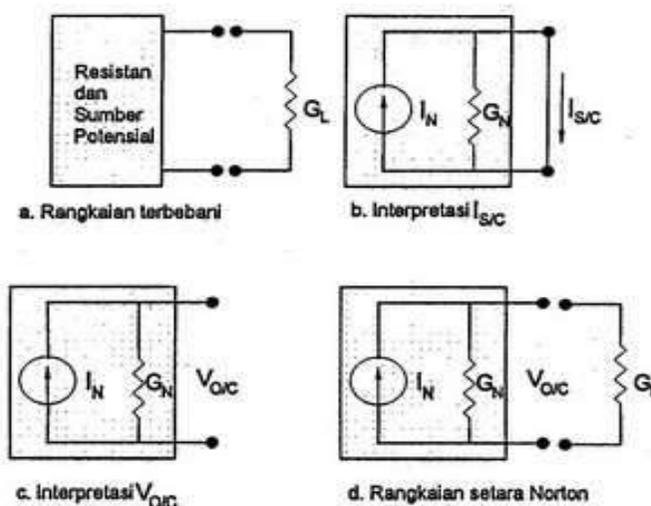
Teori Norton mengatakan bahwa: Suatu rangkaian elektrik yang mempunyai dua kutub dapat diganti dengan sumber arus dan paralel dengan impedansi dalam



Gambar 7-1. Teorema Norton

Teorema Norton merupakan salah satu hukum listrik yang menganalisa suatu rangkaian elektronika arus searah pada rangkaian tertutup dan dianalisa

berdasarkan konsep pembagi arus (*current divider*). Pada hukum norton atau lebih dikenal sebagai teorema norton, suatu rangkaian elektronika arus searah dengan sumber tegangan dan resistansi pada rangkaian loop tertutup dapat dianalisa dengan membuat rangkaian sumber arus yang setara dengan rangkaian tersebut. Rangkaian pengganti ini dikenal dengan nama rangkaian setara Norton kemudian sumber arus pengganti disebut sebagai sumber arus Norton. Teorema ini merupakan suatu pendekatan analisa rangkaian arus searah yang secara singkat dapat dikatakan sebagai berikut. “Jika suatu kumpulan rangkaian sumber tegangan dan resistor dihubungkan dengan dua terminal keluaran, maka rangkaian tersebut dapat digantikan dengan sebuah rangkaian paralel dari sebuah sumber arus rangkaian hubung singkat I_N dan sebuah konduktansi G_N “. Gambar proses terbentuknya rangkaian setara Norton



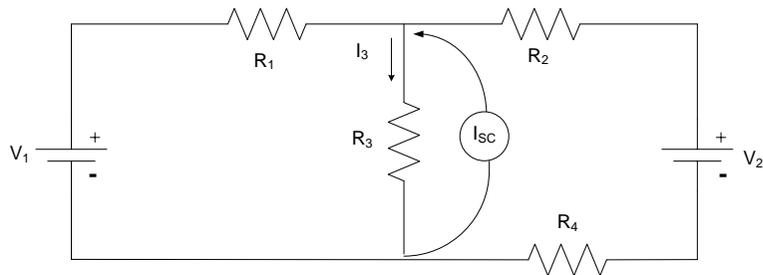
Gambar 7-2. Rangkaian Ekuivalen Norton

Pada gambar rangkaian diatas merupakan proses menentukan rangkaian setara norton, rangkaian setara Norton digambarkan dengan kombinasi paralel antara sebuah sumber arus I_N dan sebuah konduktan G_N (seperti pada gambar 7-2). Jika rangkaian ini akan dibebani dengan sebuah beban konduktan G_L , maka ada dua harga ekstrem yaitu $G_L = \infty$ dan $G_L = 0$. Harga $G_L = \infty$ (atau $R_L = 0$) berada pada kondisi hubung singkat dan arus hubung singkat I_{SC} sama dengan I_N . Sedangkan harga $G_L = 0$ (atau $R_L = \infty$) berada pada kondisi

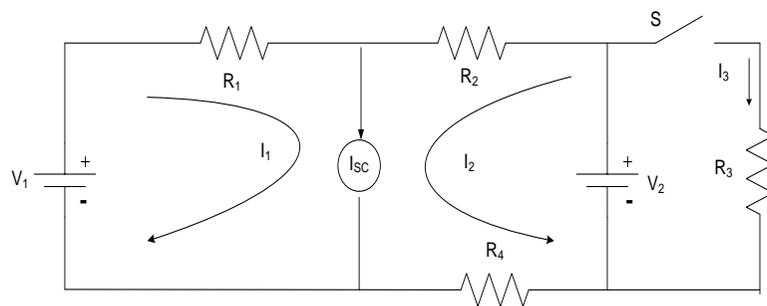
rangkaian terbuka, dimana terlihat bahwa V_{OC} merupakan tegangan rangkaian terbuka. Dengan demikian untuk rangkaian setara Norton berlaku :

$$L_N = I_{SC} \quad (7.1)$$

$$G_N = \frac{I_N}{V_{OC}} \quad (7.2)$$



Gambar 7-3. Rangkaian Percobaan Norton



Gambar 7-4. Rangkaian Pengganti Norton

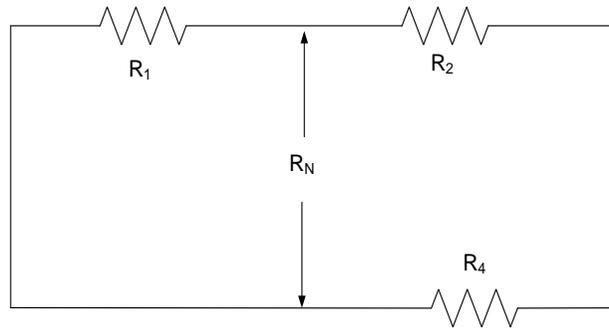
Menentukan arus I_1 dan arus I_2 berdasarkan Gambar 7-4 sebagai berikut:

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} \quad (7.1)$$

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2 + R_4} \quad (7.2)$$

$$I_{SC} = I_1 + I_2 \quad (7.3)$$

Menentukan tahanan Norton sama seperti menentukan tahanan Thevenin dengan menghubungkan singkat sumber tegangan V_1 dan V_2 seperti Gambar 7-5. berikut ini:

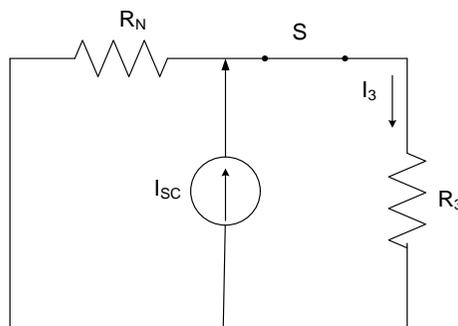


Gambar 7-5. Rangkaian Ekivalan Tahanan Thevenin

Menentukan tahanan Thevenin (R_{TH}) berdasarkan Gambar 7.5 sebagai berikut:

$$R_N = \frac{R_1 \times (R_2 + R_4)}{R_1 + R_2 + R_4} \quad (7.4)$$

Menentukan I_3 dengan membuat rangkaian ekivalen Norton dan menutup saklar seperti Gambar 7-6 berikut ini



Gambar 7-6. Rangkaian Ekivalen Norton

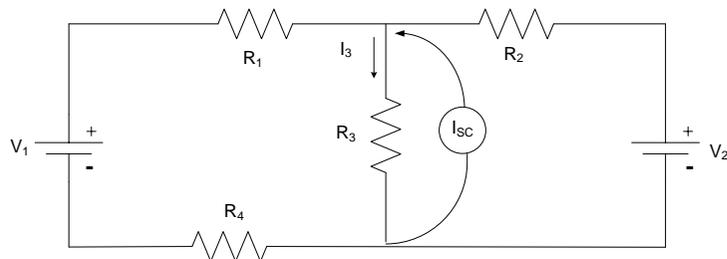
Berdasarkan Gambar 7-6 maka besar arus I_3 adalah sebagai berikut:

$$I_3 = \frac{R_N}{R_N + R_3} \times I_{SC} \quad (7.5)$$

C. Peralatan yang digunakan

1. 2 (dua) buah sumber tegangan DC (kapasitas arus sama)
2. Multimeter
3. Voltmeter DC
4. Amperemeter DC
5. 4 (empat) buah resistor
6. Jumper secukupnya

D. Rangkaian percobaan



Gambar 7-7. Rangkaian Percobaan Teorema Norton

E. Prosedur Percobaan

1. Buat rangkaian percobaan seperti pada gambar 7-7 (berdasarkan arahan dari asisten) gunakan resistor yang tersedia.
2. Masukkan sumber arus DC dan lepaskan beban, lalu ukur arus *short circuit* (I_{SC}).
3. Dengan menggunakan multimeter, ukur tahanan Norton, dan catat berapa besar tahanan tersebut.
4. Pasang alat ukur amperemeter untuk menentukan arus I_3 seperti Gambar 7-7. catat berapa besar arus tersebut.
5. Buat kesimpulan antara teori dan praktek.
6. Bersihkan dan rapikan kembali peralatan.

DAFTAR PUSTAKA

1. B.L. Theraja, “*Electrical Technology*”, New Delhi, 1984.
2. David E. Johnson, “*Electric Circuit Analysis*”, Second Edition, Prentice Hall International, Inc., 1992.
3. Harmonyati, “*Diktat Rangkaian Listrik I*”, ITB Bandung, 1988.
4. <http://airlangga25.wordpress.com>.
5. Ija Darmana, “*Instalasi Listrik*”, cetakan pertama, Bung Hatta University Press, 2012.
6. Mohamad Ramdhani, “*Rangkaian Listrik*”, ITB Bandung, penerbit Erlangga, 2008
7. William H. Hayt, Jr., “*Rangkaian Listrik*”, edisi keenam, jilid 1, penerbit Erlangga, 2005.

