

PENUNTUN PRAKTIKUM RANGKAIAN LISTRIK



LABORATORIUM RANGKAIAN LISTRIK
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SUMATERA UTARA
MEDAN
2016

LABORATORIUM RANGKAIAN LISTRIK

PERCOBAAN 1 “HUKUM KIRCHOFF”

ASISTEN :
ANDIKA YOGY PRADANA



LABORATORIUM RANGKAIAN LISTRIK
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SUMATERA UTARA
MEDAN

2016

LABORATORIUM RANGKAIAN LISTRIK

PERCOBAAN 2
“TEORI SUPERPOSISI DAN ARUS LOOP”

ASISTEN :
ANDIKA YOGY PRADANA



LABORATORIUM RANGKAIAN LISTRIK
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SUMATERA UTARA
MEDAN
2016

LABORATORIUM RANGKAIAN LISTRIK

PERCOBAAN 3 “TEORI THEVENIN DAN NORTON”

ASISTEN :
FAUZIAH NUR SIREGAR



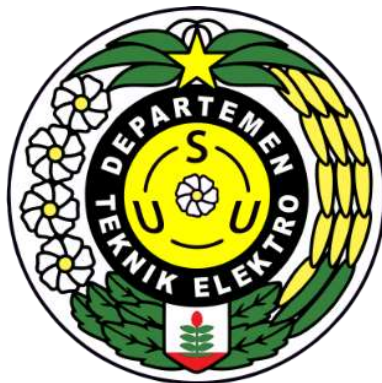
LABORATORIUM RANGKAIAN LISTRIK
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SUMATERA UTARA
MEDAN

2016

LABORATORIUM RANGKAIAN LISTRIK

PERCOBAAN 4 “TEORI RESIPROCAL”

ASISTEN :
FAUZIAH NUR SIREGAR



LABORATORIUM RANGKAIAN LISTRIK
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SUMATERA UTARA
MEDAN

2016

LABORATORIUM RANGKAIAN LISTRIK

PERCOBAAN 5 “TEORI DAYA MAKSIMUM”

ASISTEN :
FAUZI ARIF PRATAMA



LABORATORIUM RANGKAIAN LISTRIK
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SUMATERA UTARA
MEDAN

2016

LABORATORIUM RANGKAIAN LISTRIK

PERCOBAAN 6 “KUTUB EMPAT”

ASISTEN :
FAUZI ARIF PRATAMA



LABORATORIUM RANGKAIAN LISTRIK
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SUMATERA UTARA
MEDAN

2016

PERCOBAAN 1

HUKUM KHIRCHOFF

I. Tujuan

Tujuan dari percobaan Hukum Khirchoff adalah :

1. Mengetahui teknik pemasangan alat ukur
2. Mengukur arus tegangan pada percobaan Hukum Khirchoff

II. Teori

Hukum Kirchhoff merupakan salah satu hukum dalam ilmu elektronika yang berfungsi untuk menganalisis arus dan tegangan dalam rangkaian. Hukum Kirchhoff pertama kali diperkenalkan oleh seorang ahli fisika Jerman yang bernama Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) pada tahun 1845.

Gustav Robert Kirchhoff (lahir di Königsberg, Prusia, 12 Maret 1824 – meninggal di Berlin, Jerman, 17 Oktober 1887 pada umur 63 tahun) dia adalah seorang fisikawan Jerman yang berkontribusi pada pemahaman konsep dasar teori rangkaian listrik, spektroskopi, dan emisi radiasi benda hitam yang dihasilkan oleh benda-benda yang dipanaskan. Dia menciptakan istilah radiasi “benda hitam” pada tahun 1862. Gustav Robert pernah menggambarkan komposisi spektrum optik obyek-obyek pijar.

Hukum Kirchhoff ada 2 (dua) yaitu :

1. Hukum Kirchhoff I, yang dinamakan juga Hukum Arus Kirchhoff (Kirchhoff Current Law = KCL)
2. Hukum Kirchhoff II, yang dinamakan juga Hukum Tegangan Kirchhoff (Kirchhoff Voltage Law = KVL)

2.1. Hukum Arus Khirchoff

Hukum ini menyatakan : Jumlah aljabar semua arus pada suatu titik sambung (simpul) adalah sama dengan nol. Atau dengan kata lain “jumlah semua arus yang

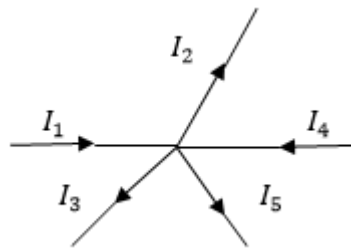
memasuki sebuah titik sambung adalah sama dengan jumlah arus yang meninggalkan titik tersebut” seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 1.1

$$\sum I_n = 0 \dots\dots\dots(1.1)$$

Arah setiap arus ditunjukkan dengan anak panah, jika arus berharga positif maka arus mengalir searah dengan anak panah, demikian sebaliknya. Dengan demikian untuk rangkaian seperti pada Gambar 1.1 dapat dituliskan persamaan matematik berdasarkan Hukum Arus Khirchoff seperti pada Persamaan 1.2.

$$-I_1 + I_2 + I_3 = 0 \dots\dots\dots(1.2)$$

Tanda negatif pada I_1 menunjukkan bahwa arus keluar dari titik cabang dan jika arus masuk titik cabang diberi tanda positif.



Gambar 1.1. Hukum Arus Kirchoff

Secara matematis dapat dituliskan seperti Persamaan 1.3 dan Persamaan 1.4.

$$\sum_{n=1}^5 I_n = 0 \dots\dots\dots(1.3)$$

atau

$$I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 = 0 \dots\dots\dots(1.4)$$

Sebagai konvensi (perjanjian) tanda dibuat sebagai berikut :

- a. Arus yang memasuki titik sambung bertanda positif
- b. Arus yang meninggalkan titik sambung bertanda negatif

2.2. Hukum Tegangan Khirchoff

Hukum Tegangan Kirchoff menyatakan bahwa : Jumlah Aljabar semua emf (sumber) pada suatu rangkaian tertutup adalah sama dengan jumlah drop tegangan yang terdapat pada resistansi dalam rangkaian tersebut” dan secara matematika ditulis dengan Persamaan 1.5

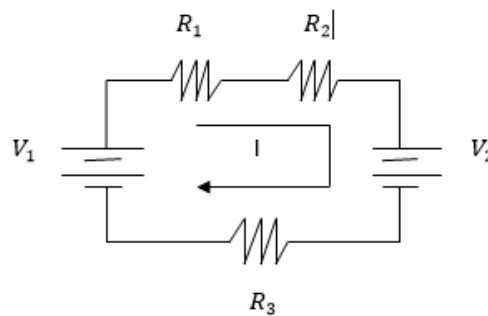
$$\sum V = \sum IR \dots\dots\dots(1.5)$$

Dimana :

$\Sigma V =$ Jumlah aljabar dari semua emf

$\Sigma IR =$ Jumlah aljabar dari semua drop

Bila arah arus searah dengan arah arus yang keluar dari sumber maka sumber bertanda positif dan sebaliknya bila arah arus melawan arah arus yang keluar dari sumber maka sumber bertanda negative. Sebelum melakukan perhitungan diambil sembarang arah arus, bila diperoleh arus negatif, maka arah arus berlawanan dengan pemisalan arah arus seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.2.

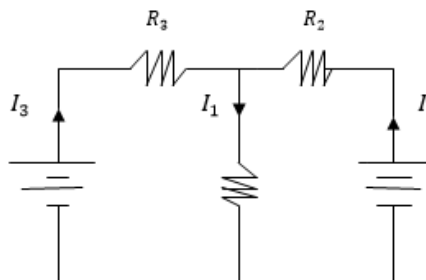


Gambar 1.2. Hukum Tegangan Kirchoff

Dari gambar 1.2 diperoleh :

$$V_1 - V_2 = IR_1 + IR_2 + IR_3$$

Hukum Kirchoff ini berlaku untuk analisis rangkaian loop tertutup seperti Gambar 1.3 :



Gambar 1.3. Rangkaian Loop Tertutup

Dari contoh rangkaian pada Gambar 1.3 dengan hukum kirchoff dapat dituliskan beberapa persamaan matematis untuk menyatakan hukum kirchoff tegangan sesuai loop sebagai berikut :

Loop kiri : $-E_1 + R_3I_3 + R_1I_1 = 0$

Loop kanan : $-E_2 + R_2I_2 + R_1I_1 = 0$

Loop luar : $-E_1 + R_3I_3 - R_2I_2 + E_2 = 0$

Semua komponen pada contoh Gambar 1.3 dilewati arus sehingga sesuai hokum kirchoff tegangan berlaku Persamaan 1.5 dan 1.6.

$$\sum V_n = 0 \dots\dots\dots(1.5)$$

$$-E + I_r + IR = 0 \dots\dots\dots(1.6)$$

Dengan r adalah resistansi internal baterai maka besarnya arus yang mengalir dapat dituliskan seperti Persamaan 1.7 dan 1.8.

$$I = \frac{E}{R+r} \dots\dots\dots(1.7)$$

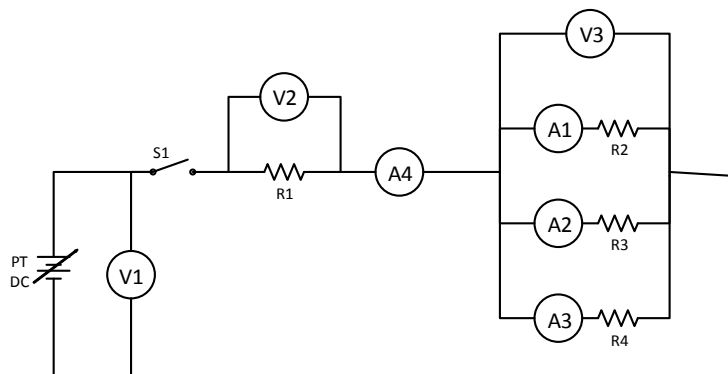
$$V = E - I_R \dots\dots\dots(1.8)$$

Persamaan diatas memperlihatkan bahwa tegangan V merupakan hasil penurunan tegangan akibat adanya beban yang dialiri arus. Terlihat dalam Hukum Tegangan Khirchoff bahwa V merupakan bagian dari E.

III. Percobaan Hukum Arus Khirchoff

3.1. Rangkaian Percobaan

Rangkaian percobaan Hukum Arus Khirchoff ditunjukkan oleh Gambar 1.4.



Gambar 1.4. Rangkaian Percobaan Hukum Arus Khirchoff

3.2. Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan yaitu :

- | | | |
|----|---|--------|
| 1. | Voltmeter DC digital | 3 buah |
| 2. | Ampermeter DC digital | 4 buah |
| 3. | Catu daya DC (Pengatur Tegangan DC = PT DC) | 1 buah |
| 4. | Modul Percobaan Arus Kirchoff | 1 unit |

3.3. Prosedur Percobaan

Langkah – langkah dalam melakukan percobaan Hukum Arus Khirchoff yaitu:

1. Hubungkan catu daya ke modul percobaan dan pastikan dalam keadaan belum menyala.
2. Atur nilai resistansi R1, R2, R3, dan R4.
3. Nyalakan catu daya dan tutup saklar S, kemudian naikkan tegangan PT DC setingkat demi setingkat, catatlah untuk setiap keadaan pembacaan pada V1, V2, V3, A1, A2, A3, dan A4.
4. Dari hasil pembacaan tersebut, buatlah tabel seperti berikut:

R1 = R2 = R3 = R4 =

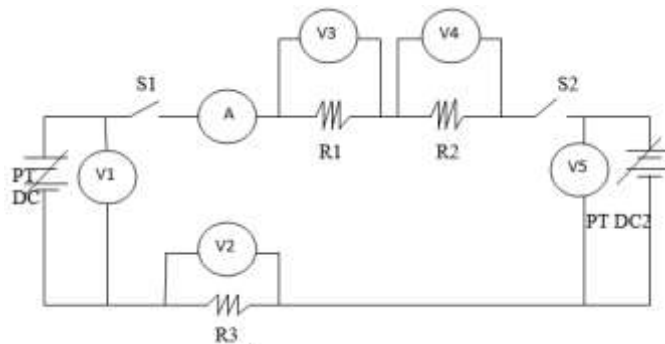
No	V1 (volt)	V2 (volt)	V3 (volt)	A1 (ampere)	A2 (ampere)	A3 (ampere)	A4 (ampere)
1							
2							
3							
4							

5. Turunkan tegangan PT DC buka saklar S.
6. Ulangi percobaan diatas untuk nilai resistansi yang lain.

IV. Percobaan Hukum Tegangan Khirchoff

4.1. Rangkaian Percobaan

Rangkaian percobaan Hukum Tegangan Khirchoff dapat ditunjukkan oleh Gambar 1.5.



Gambar 1.5. Rangkaian Percobaan Hukum Tegangan Khirchoff

4.2. Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan yaitu :

- | | | |
|----|---|--------|
| 1. | Voltmeter DC digital | 5 buah |
| 2. | Ampermeter DC digital | 1 buah |
| 3. | Catu daya DC (Pengatur Tegangan DC = PT DC) | 2 buah |
| 4. | Modul Percobaan Tegangan Kirchoff | 1 unit |

4.3. Prosedur Percobaan

Langkah – langkah dalam melakukan percobaan Hukum Tegangan Khirchoff yaitu:

1. Hubungkan catu daya ke modul percobaan dan pastikan dalam keadaan belum menyala.
2. Atur nilai resistansi R1, R2, R3, dan R4.
3. Nyalakan catu daya dan tutup saklar S₁ dan S₂, kemudian naikkan tegangan PT DC 1(V₁) dan tegangan PT DC 2(V₂).
4. Catatlah untuk setiap keadaan pembacaan pada V1, V2, V3, V4, V5 dan A.
5. Ulangi percobaan diatas untuk nilai V₁ dan V₂ yang lain.
6. Dari hasil pembacaan tersebut, buatlah tabel seperti berikut :

R1 = R2 = R3 = R4 =

NO	V1 (VOLT)	V2 (VOLT)	V3 (VOLT)	V4 (VOLT)	V5 (VOLT)	A (AMPERE)
1						
2						
3						
4						

7. Turunkan tegangan PT DC buka saklar S.

V. Tugas dan Pertanyaan

1. Tentukan besarnya :
 - a. $A_4 - (A_1 + A_2 + A_3)$ dari percobaan A
 - b. $V_1 - V_2 - (V_3 + V_4 + V_5)$ dari percobaan B
2. Bandingkanlah hasilnya dengan teori yang sdr. Ketahui. Bila ternyata berbeda buatlah alasan sdr.
3. Apakah ada pengaruh pembalikan polaritas PT DC terhadap arus dan tegangan pada masing-masing komponen pada percobaan 2.
4. Apa yang menjadi perbedaan utama penggunaan hukum Kirchoff pada rangkaian DC dan AC?
5. Berikan kesimpulan dari hasil praktikum yang sdr. Lakukan.

PERCOBAAN 2

TEORI SUPERPOSISI DAN ARUS LOOP

1. Tujuan

Tujuan dari percobaan Teori Superposisi dan Arus Loop adalah :

1. Menganalisa dan mengukur arus pada suatu rangkaian dengan teori superposisi
2. Menganalisa dan mengukur arus pada suatu rangkaian dengan teori arus loop

II. Teori

2.1. Teori Superposisi

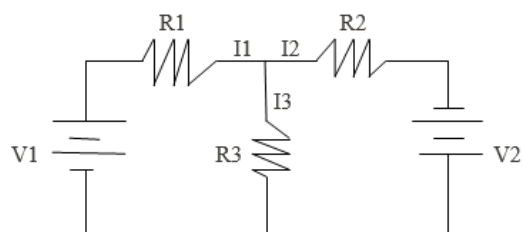
Teorema superposisi adalah salah satu cara pintar yang membuat suatu rangkaian yang terlihat kompleks dijadikan lebih sederhana. Strategi yang digunakan pada teorema Superposisi adalah mengeliminasi semua sumber tetapi hanya disisakan satu sumber yang hanya bekerja pada waktu itu juga dan menganalisa rangkaian itu dengan konsep rangkaian seri-paralel masing-masing saat sumber bekerja sendiri-sendiri. Lalu setelah masing-masing tegangan dan/atau arus yang tidak diketahui telah dihitung saat sumber bekerja sendiri-sendiri, masing-masing nilai yang telah diperoleh tadi dijumlahkan sehingga diperoleh nilai tegangan/arus yang sebenarnya. Teorema Superposisi adalah metode yang memungkinkan kita untuk menentukan arus yang melalui atau tegangan di resistor atau cabang dalam jaringan.

Teori superposisi ini hanya berlaku untuk rangkaian yang bersifat linier. Rangkaian linier adalah suatu rangkaian dimana persamaan yang muncul akan memenuhi jika $y = kx$, dimana k = konstanta dan x = variabel. Pada setiap rangkaian linier dengan beberapa buah sumber tegangan/ sumber arus dapat dihitung dengan cara menjumlah aljabarkan tegangan/ arus yang disebabkan tiap sumber yang bekerja sendiri-sendiri

Teorema Superposisi Menjumlahkan aljabarkan tegangan/ arus yang disebabkan tiap sumber bebas yang bekerja sendiri, dengan semua sumber tegangan/ arus bebas lainnya diganti dengan tahanan dalamnya. Teorema Superposisi untuk Sumber Bebas Untuk penerapan teorema superposisi pada sumber bebas, jika terdapat n buah sumber bebas maka terdapat n buah keadaan yang dihasilkan pada saat masing-masing sumber bebas tersebut aktif. Teorema Superposisi untuk Sumber Tak Bebas Untuk penerapan teorema superposisi jika terdapat sumber tak bebas, maka penjumlahan aljabar sumber yang aktif adalah sejumlah sumber bebasnya, atau jika terdapat n buah sumber bebas dan terdapat minimal satu sumber tak bebasnya, maka teorema superposisinya adalah menjumlahkan keadaan masing-masing sumber bebasnya.

Pengertian dari teori diatas bahwa jika terdapat n buah sumber maka dengan teori superposisi sama dengan n buah keadaan rangkaian yang dianalisis, dimana nantinya n buah keadaan tersebut akan dijumlahkan. Ini berarti bahwa bila terpasang dua atau lebih sumber tegangan/sumber arus, maka setiap kali hanya satu sumber yang terpasang secara bergantian. Sumber tegangan dihilangkan dengan cara menghubungsingkatkan ujung-ujungnya (*short circuit*), sedangkan sumber arus dihilangkan dengan cara membuka hubungannya (*open circuit*).

Pada setiap rangkaian listrik, arus yang mengalir pada setiap komponen disebabkan adanyasumber tegangan/arus. Bila rangkaian mempunyai beberapa sumber, maka arus pada setiap komponen dapat dianggap terdiri dari arus-arus yang berasal dari beberapa sumber tegangan yang ada pada rangkaian. Teori super posisi menyatakan bahwa arus yang mengalir pada setiap komponen rangkaian yang mempunyai beberapa sumber adalah jumlah aljabar dari arus pada komponen tersebut. Apabila sumber bekerja secara individu (masing-masing). Contoh rangkaian seperti yang terlihat pada Gambar 2.1. arus pada $I_1, I_2,$ dan I_3 adalah sumber arus yang berasal dari sumber V_1 dan V_2



Gambar 2.1. Contoh Rangkaian Superposisi

Untuk menggunakan teorema tersebut ada dua aturan yang dapat digunakan, sehingga diperoleh besaran yang diinginkan. Aturan-aturan tersebut adalah sebagai berikut :

1. **Aturan 1** : suatu sumber yang tidak bekerja memiliki tegangan nol. Ini berarti dapat diganti dengan suatu hubungan singkat (closed circuit).
2. **Aturan 2** : suatu sumber yang tidak bekerja dan memiliki arus nol berarti dapat diganti dengan suatu hubungan terbuka (open circuit).

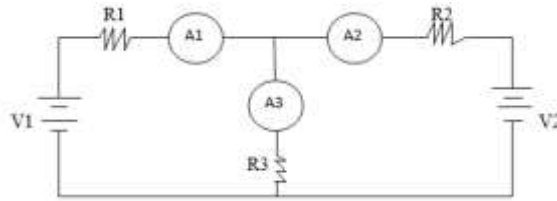
Teorema superposisi sangat berguna untuk menentukan besarnya response dari suatu rangkaian apabila dihubungkan pada banyak sumber masukan.

Langkah – langkah penyelesaiannya adalah dengan menggantikan semua sumber tegangan dengan rangkaian hubung singkat dan hubung terbuka untuk sumber arus, kecuali satu sumber yang dipilih sebagai sumber. Arus dihitung berdasarkan hukum kirchoff dan selanjutnya dengan cara yang sama dilakukan untuk sumber yang lain. Jumlah aljabar arus dari semua sumber merupakan arus yang sebenarnya.

2.2. Teori lain untuk menghitung arus pada rangkaian adalah dengan menggunakan teori arus loop

Arus dalam rangkaian tertutup digambarkan dengan arus loop yang dapat diberi arah sembarang. Jika hasil perhitungan menghasilkan nilai negatif maka arah arus terbalik. Jika pada suatu cabang rangkaian ada dua arus loop maka arus riil dari cabang tersebut merupakan jumlah dari arus loop sesuai dengan tandanya.

Yang dimaksud dengan arus loop adalah arus yang mengalir pada suatu rangkaian tertutup. Arah arus dimisalkan sembarang, asalkan dalam loop tertutup. Untuk menuliskan persamaan arus loop ini haruslah sesuai dengan ketentuan Hukum Tegangan Khirchoff (KVL), sedangkan untuk arus digunakan Hukum Arus Khirchoff (KCL), untuk lebih jelas dapat dilihat contoh seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Contoh Arus Loop

Pada loop 1 :

$$\begin{aligned}
 V_1 &= I_1 R_1 + I_1 R_3 - I_2 R_2 \\
 V_1 &= I_1 (R_1 + R_3) - I_2 R_2
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

Pada loop 2 :

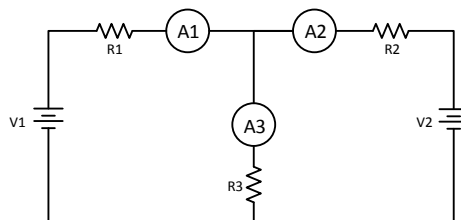
$$\begin{aligned}
 V_2 &= I_2 R_2 + I_2 R_3 - I_1 R_3 \\
 V_2 &= I_2 (R_2 + R_3) - I_1 R_3
 \end{aligned}
 \tag{2.2}$$

Dari persamaan 2.1 dan 2.2 dapat dihitung I_1 dan I_2

III. Percobaan Teori Superposisi dan Arus Loop

3.1. Rangkaian Percobaan

Rangkaian percobaan Teori Superposisi dan Arus Loop ditunjukkan oleh Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Rangkaian Percobaan Teori Superposisi dan Arus Loop

3.2. Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan yaitu :

- | | | |
|----|---|--------|
| 1. | Voltmeter DC digital | 1 buah |
| 2. | Ampermeter DC digital | 2 buah |
| 3. | Catu daya DC (Pengatur Tegangan DC = PT DC) | 2 buah |
| 4. | Modul Percobaan | 1 unit |

3.3. Prosedur Percobaan

Langkah – langkah dalam melakukan percobaan Teori Superposisi dan Arus Loop yaitu:

1. Hubungkan catu daya ke modul percobaan dan pastikan dalam keadaan belum menyala.
2. Atur nilai resistansi R1, R2, dan R3.
3. Nyalakan catu daya kemudian naikkan tegangan PT DC 1(V₁) dan tegangan PT DC 2 (V₂) serta dijaga agar tetap konstan.
4. Catatlah untuk setiap keadaan pembacaan pada A1, A2 dan A3.
5. Dari hasil pembacaan tersebut, buatlah tabel 1 seperti berikut :

$$R1 = \dots\dots\dots \quad R2 = \dots\dots\dots \quad R3 = \dots\dots\dots$$

Tabel 1

V1 (Volt)	V2 (Volt)	I1		I2		I3	
		(mAmp)	Arah	(mAmp)	Arah	(mAmp)	Arah

6. Dengan tegangan PT DC 1 (V₁) tetap dan PT DC 2 dilepas, kemudian digantikan dengan rangkaian *short circuit*, catatlah pembacaan arus dan arah arus I1, I2, dan I3 masing masing pada A1, A2 dan A3.
7. Buatlah tabel berikut :

Tabel 2

V1 (Volt)	I1		I2		I3	
	(mAmp)	(mAmp)	(mAmp)	(mAmp)	(mAmp)	(mAmp)

8. Ulangi percobaan PT DC 2 (V₂) tetap dan PT DC 1 dilepas, kemudian digantikan dengan rangkaian *short circuit*.
9. Buatlah tabel seperti berikut :

Tabel 3

V2 (Volt)	I1		I2		I3	
	(mAmp)	(mAmp)	(mAmp)	(mAmp)	(mAmp)	(mAmp)

10. Dari tabel 2 dan 3 tentukan besar dan arah arus I1, I2 dan I3 yang sebenarnya.
11. Turunkan tegangan PT DC buka saklar S, percobaan selesai.

IV. Tugas dan Pertanyaan

1. Jelaskan secara ringkas metode lain untuk menghitung arus pada suatu komponen?
2. Berdasarkan data yang ada, tentukanlah besar dan arah arus I_1 , I_2 , dan I_3 yang sebenarnya dengan metode arus loop?
3. Apa yang menyebabkan terjadi perbedaan pengukuran dan perhitungan?
4. Berikan kesimpulan dari hasil percobaan yang saudara lakukan!

PERCOBAAN 3

TEORI THEVENIN DAN NORTON

I. Tujuan

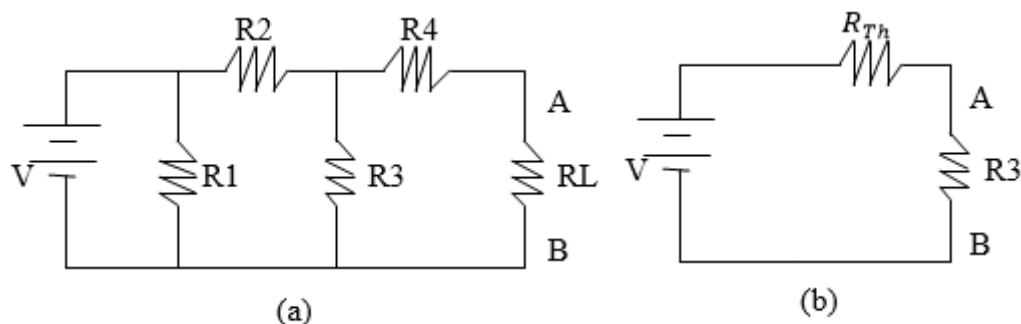
Tujuan dari percobaan Teori Thevenin dan Norton adalah mencoba rangkaian Thevenin dan Norton dan membandingkan dengan hasil yang diperoleh dengan metode analisa rangkaian yang lain.

II. Teori

2.1. Teori Thevenin

Teori Thevenin mengatakan bahwa sebuah rangkaian yang mengandung beberapa sumber tegangan dan hambatan dapat diganti dengan sebuah sumber tegangan yang dipasang seri dengan sebuah hambatan (resistor). Dengan kata lain rangkaian elektronika yang rumit dapat disederhanakan menjadi sebuah rangkaian hambatan linier yang terdiri dari satu sumber arus dengan satu resistor.

Menurut teori Thevenin suatu rangkaian dengan dua terminal dapat digantikan dengan satu sumber tegangan yang disebut dengan tegangan Thevenin (V_{Th}) dan satu tahanan ekivalen Thevenin (R_{Th}) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Penyederhanaan rangkaian (a) Rangkaian awal (b) Rangkaian Ekivalen Thevenin

Tegangan Thevenin, V_{Th} adalah besarnya tegangan antara titik A dan B bila R_L dilepas, sedangkan resistansi Thevenin adalah besarnya tahanan ekivalen antara

titik A dan B dalam keadaan R_L dilepas dan sumber tegangan V dilepas dan dihubung-singkat (tahanan dalam sumber dapat diabaikan). Dari rangkaian ekivalen Thevenin diperoleh tegangan antara A dan B seperti pada persamaan 3.1

$$V_{AB} = \frac{R_L}{R_{Th}+R_L} V_{Th} \dots\dots\dots(3.1)$$

Dimana :

V_{AB} : tegangan antara A dan B

V_{Th} : tegangan thevenin

R_{Th} : hambatan thevenin

R_L : hambatan beban

Tegangan Thevenin, V_{Th} adalah tegangan yang diukur atau dihitung pada terminal beban, ketika beban dilepas dari rangkaian. Karena diukur atau dihitung ketika beban dilepas, maka tegangan ini sering disebut tegangan rangkaian terbuka.

R_{Th} disebut hambatan Thevenin. Hambatan Thevein adalah hambatan yang diukur atau dihitung pada terminal beban ketika beban dilepas dari rangkaian dan sumber arus dibuat menjadi nol atau dihubung-singkatkan. Untuk mengukur tahanan Thevenin kita harus mengurangi tegangan sumber arus hingga nol. Untuk sumber tegangan dapat di-nol-kan dengan menghubung-singkatkan terminal tegangan atau melepas sumber tegangan dan menggantikannya dengan sebuah penghantar.

Rangkaian hambatan linier adalah rangkaian yang hambatannya tidak berubah ketika tegangan dinaikkan atau diturunkan. Thevenin dapat membuktikan bahwa tidak peduli seperti apa bentuk rangkaian linier tersebut, tetapi semua rangkaian hambatan linier akan menghasilkan arus bebanyang sama yang mengikuti persamaan 3.2

$$I_L = \frac{V_{Th}}{R_{Th}+R_L} \dots\dots\dots(3.2)$$

Dimana :

I_L : arus beban

V_{Th} : tegangan thevenin

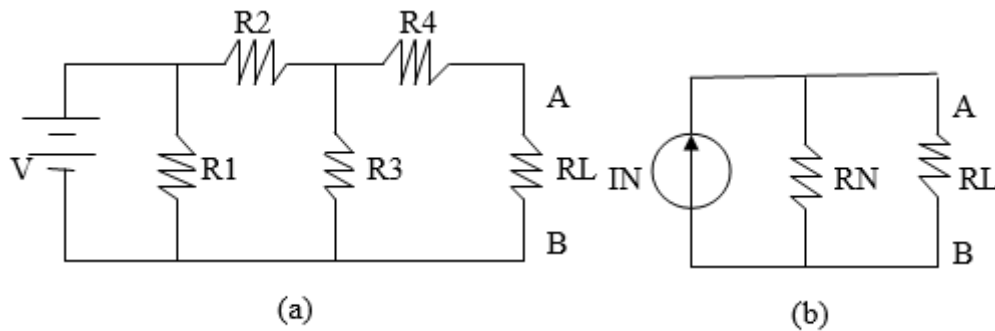
R_{Th} : hambatan thevenin

R_L : hambatan beban

2.2. Teori Norton

Teori Norton hampir sama dengan teori Thevenin yang membedakan teori Norton dengan teori Thevenin adalah pada penggunaan sumber arus pada teori Norton dan sumber tegangan pada teori Thevenin.

Teori ini digunakan pada suatu rangkaian untuk menghitung/mengukur arus atau tegangan dari komponen yang ada dalam rangkaian dengan menggantikan sumber tegangan pada teori Thevenin (V_{Th}) dengan sumber arus Norton (I_N) dan resistansi Norton yang paralel dengan arus Norton I_N . Sebagai contoh akan diukur tegangan / arus pada A-B seperti pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Penyederhanaan rangkaian (a) Rangkaian awal (b) Rangkaian Ekvivalen Norton

Arus Norton (I_N) diperoleh dengan mengukur arus hubung singkat antara A dan B, sedangkan resistansi Norton (R_N) adalah besarnya tahanan ekivalen antara titik A dan B dalam keadaan R_L dilepas dan sumber tegangan V dilepas dan dihubung-singkatkan (tahanan dalam sumber dapat diabaikan). Tegangan titik A-B adalah ditunjukkan oleh Persamaan 3.3.

$$V_{AB} = I_N \times \frac{R_N \times R_L}{R_N + R_L} \dots \dots \dots (3.3)$$

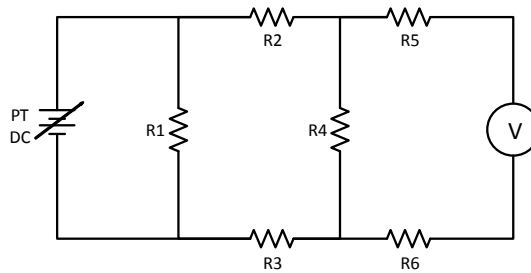
Dimana :

- V_{AB} : tegangan antara A dan B
- I_N : arus Norton
- R_N : hambatan Norton
- R_L : hambatan beban

III. Percobaan Teori Thevenin

3.1. Rangkaian Percobaan

Rangkaian percobaan Teori Thevenin ditunjukkan oleh Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Rangkaian Percobaan Teori Thevenin

3.2. Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan yaitu :

- | | | |
|----|---|--------|
| 1. | Voltmeter DC digital | 1 buah |
| 2. | Ampermeter DC digital | 1 buah |
| 3. | Catu daya DC (Pengatur Tegangan DC = PT DC) | 1 buah |
| 4. | Modul Percobaan Teori Thevenin | 1 unit |

3.3. Prosedur Percobaan

Langkah – langkah dalam melakukan percobaan Teori Thevenin yaitu:

1. Hubungkan catu daya ke modul percobaan dan pastikan dalam keadaan belum menyala.
2. Atur nilai resistansi R1, R2, R3, R4, R5, R6 dan RL.
3. Nyalakan catu daya kemudian naikan tegangan PT DC setingkat demi setingkat, catatlah untuk setiap keadaan pembacaan pada V_{AB} .
4. Untuk mengukur besar tegangan Thevenin lepaskan RL dan ukur tegangan antara A dan B dan catatlah $V_{th} = \dots\dots$ Volt. Ulangi untuk besar tegangan yang lain, buat tabel sebagai berikut :

Tabel 1

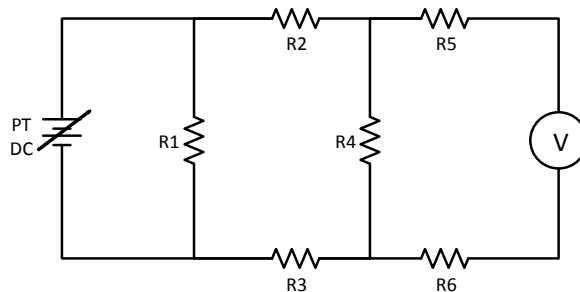
No	Tegangan Sumber (Volt)	Tegangan Thevenin (Volt)
1		
2		
3		

- Untuk mengukur besar tahanan Thevenin lepaskan PT DC dan kemudian dihubungkan singkat. Dengan R_L terbuka ukurlah tahanan antara A dan B dengan menggunakan ohmmeter digital atau dengan memberikan tegangan tertentu antara A dan B kemudian mengukur arus yang keluar dari sumber tegangan tersebut resistansi dihitung berdasarkan hukum Ohm.
- Percobaan selesai.

IV. Percobaan Teori Norton

4.1. Rangkaian Percobaan

Rangkaian percobaan Teori Norton dapat ditunjukkan oleh Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Rangkaian Percobaan Teori Norton

4.2. Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan yaitu :

- | | | |
|----|---|--------|
| 1. | Voltmeter DC digital | 1 buah |
| 2. | Ampermeter DC digital | 1 buah |
| 3. | Catu daya DC (Pengatur Tegangan DC = PT DC) | 1 buah |
| 4. | Modul Percobaan Teori Norton | 1 unit |

4.3. Prosedur Percobaan

Langkah – langkah dalam melakukan percobaan Teori Norton yaitu:

1. Hubungkan catu daya ke modul percobaan dan pastikan dalam keadaan belum menyala.
2. Atur nilai resistansi R1, R2, R3, R4, R5, R6 dan RL.
3. Nyalakan catu daya kemudian naikkan tegangan PT DC setingkat demi setingkat, catatlah untuk setiap keadaan pembacaan pada V_{AB} .
4. Untuk mengukur arus Norton hubungkan singkat titik A dan B dengan menggunakan amperemeter, catatlah $I_N = \dots\dots$ mA. Ulangi percobaan untuk besar tegangan PT DC yang lain, buat tabel sebagai berikut :

Tabel 2

No	Tegangan Sumber (Volt)	Arus Norton (mA)
1		
2		
3		

5. Resistansi Norton R_N diukur sesuai dengan percobaan untuk mengukur resistansi Thevenin (point 5 percobaan teori Thevenin)
6. Percobaan selesai.

V. Tugas dan Pertanyaan

1. Dengan menggunakan rangkaian pengganti sesuai dengan data yang diperoleh (V_{TH} dan R_{TH}) hitunglah tegangan V_{AB} dengan menggunakan teori Thevenin.
2. Dengan cara yang sama lakukan juga untuk rangkaian pengganti Norton
3. Bandingkanlah hasil yang diperoleh dari kedua percobaan dan juga hasil pengukuran langsung V_{AB} dan juga perhitungan secara teori
4. Apa keuntungan pemakaian teori Thevenin dan Norton dalam menentukan arus maupun tegangan
5. Berikan kesimpulan saudara dari hasil praktikum yang saudara lakukan.

PERCOBAAN 4

TEORI RECIPROCAL (TEORI TIMBAL BALIK)

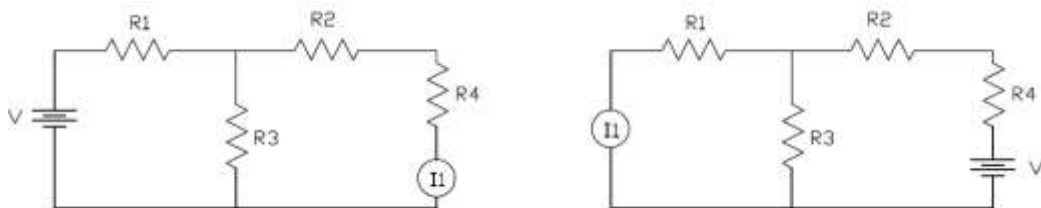
1. Tujuan

Tujuan dari percobaan Teori Reciprocal adalah :

1. Memahami teori reciprocal (teori timbal balik) secara praktek
2. Mengukur resistansi transfer berdasarkan pengukuran arus dan tegangan

II. Teori

Sumber tegangan dan suatu rangkaian akan menimbulkan arus pada setiap cabang-cabangnya. Bila sumber tegangan dan tempat pengukuran arus saling dipertukarkan posisinya, maka arus yang diukur akan tetap sama seperti pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Contoh Rangkaian Reciprocal

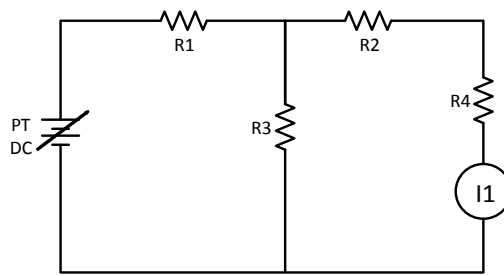
Setelah posisi sumber tegangan dan amperemeter dipertukarkan, maka pembacaan $I_1=I_2$. Perbandingan antara arus dan tegangan disebut dengan resistansi transfer (R_T) atau impedansi transfer untuk arus bolak balik bernilai konstan,

$$R_T = \frac{V}{I_1} \quad \text{atau} \quad R_T = \frac{V}{I_2}$$

III. Percobaan Teori Reciprocal (Teori Timbal Balik)

3.1. Rangkaian Percobaan

Rangkaian percobaan Teori Reciprocal (Teori Timbal Balik) ditunjukkan oleh Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Rangkaian Percobaan Teori Reciprocal (Teori Timbal Balik)

3.2. Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan yaitu :

- | | | |
|----|---|--------|
| 1. | Voltmeter DC digital | 1 buah |
| 2. | Amperemeter DC digital | 1 buah |
| 3. | Catu daya DC (Pengatur Tegangan DC = PT DC) | 1 buah |
| 4. | Modul Percobaan | 1 unit |

3.3. Prosedur Percobaan

Langkah – langkah dalam melakukan percobaan Teori Reciprocal (Teori Timbal Balik) yaitu:

1. Hubungkan catu daya ke modul percobaan dan pastikan dalam keadaan belum menyala.
2. Atur nilai resistansi R1, R2, R3, R4, R5, R6 dan RL.
3. Nyalakan catu daya kemudian naikkan tegangan PT DC hingga mencapaivolt dan kemudian dijaga agar tetap konstan.
4. Catatlah pembacaan miliamperemeter pada posisi 1 sebelum dipertukarkan dengan sumber tegangan (arus I_1)
5. Dengan tegangan yang sama seperti poin 4, pindahkan sumber tegangan ke posisi miliamperemeter dan miliamperemeter menggantikan posisi sumber tegangan.
6. Catatlah pembacaan miliamperemeter (arus I_2)
7. Ulangi untuk besar tegangan yang lain, buatlah tabel sebagai berikut :

Tabel 1

No.	1	2	3	4	5
V (Volt)					
I1 (mA)					
I2 (mA)					
V/I1 (ohm)					
V/I2 (ohm)					

8. Turunkan tegangan PT DC, percobaan selesai.

IV. Tugas dan Pertanyaan

1. Hitunglah resistansi transfer berdasarkan data komponen yang ada
2. Dari tabel yang diperoleh hitunglah resistansi transfer dan bandingkan hasilnya dengan apa yang diperoleh pada poin 1.
3. Sebutkan beberapa penggunaan metode reciprocal ini.
4. Berikan kesimpulan atas hasil percobaan yang sdr. Lakukan.

PERCOBAAN 5

TEORI DAYA MAKSIMUM

I. Tujuan

Tujuan dari percobaan Teori Daya Maksimum adalah :

1. Mengukur daya maksimum yang dapat dihasilkan oleh sumber
2. Mengukur resistansi dalam suatu sumber
3. Menggambarkan karakteristik daya maksimum

II. Teori

Daya adalah energi listrik yang diberikan oleh suatu sumber tegangan per satuan waktu. Di dalam listrik bolak balik ada tiga jenis daya yaitu:

1. Daya semu S (satuan VA Volt Ampere) = $V.I$
2. Daya aktif P (satuan W Watt) = $V.I \cos \phi$
3. Daya reaktif Q (satuan VAR Volt Ampere Reaktif) = $V.I \sin \phi$

Daya semu dinyatakan dalam satuan Volt Ampere, menyatakan kapasitas. Peralatan listrik seperti yang tertera pada peralatan listrik.

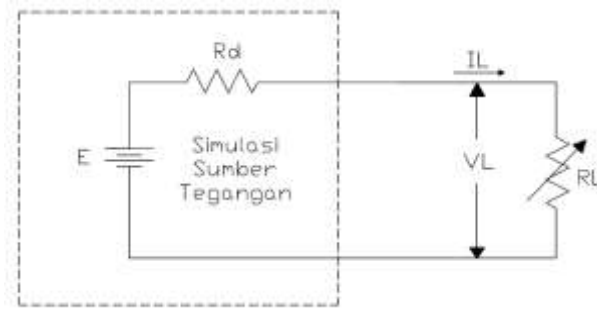
Daya reaktif adalah daya yang dipakai sebagai energi pembangkit arus magnetic, sehingga timbulnya magnetisasi dan daya ini dikembalikan ke sistem. Karena adanya efek induksi magnetic itu sendiri daya ini sebenarnya merupakan beban pada suatu sistem listrik.

Faktor daya adalah perbandingan antara daya rata-rata dengan daya semu, atau cosinus sudut antara daya aktif dan daya semu. Faktor daya selalu lebih kecil atau sama dengan satu. Factor daya menggambarkan sudut fasa antara daya aktif dan daya semu. Terdapat 3 jenis faktor daya yaitu

1. Faktor daya Unity ($\cos \phi = 1$)
2. Faktor daya Lagging ($\cos \phi$). Arus tertinggal dari tegangan sebesar ϕ .
3. Faktor daya Leading ($\cos \phi$). Arus mendahului tegangan sebesar ϕ

Suatu sumber daya pada umumnya mempunyai tahanan-dalam, sehingga penyaluran daya dari sumber daya tersebut sangat tergantung pada tahanan dalam.

Rangkaian ekivalen dari sumber daya dapat dilihat seperti Gambar 5.1



Gambar 5.1 Sumber daya dengan beban

Dari Gambar 5.1 diperoleh:

$$V_L = E - I \cdot R_d$$

$$I = \frac{E}{R_d + R_L}$$

$$P_L = V_L \cdot I_L$$

$$P_s = E \cdot I_L$$

Dimana :

E = Tegangan emf sumber

V_L = Tegangan beban

R_d = Tahanan dalam sumber

R_L = Tahanan beban

I_L = Arus beban

P_L = Daya beban

P_s = Daya dari sumber

Daya yang ditransfer dari sumber daya ke beban akan maksimum bila $R_L = R_d$. Besarnya daya maksimum yang ditransfer disebut :

$$P_L \text{ maks} = \frac{E^2}{4 R_L}$$

$$I_L \text{ maks} = \frac{E}{2 R_L} \text{ dan}$$

$$V_L = \frac{1}{2} E$$

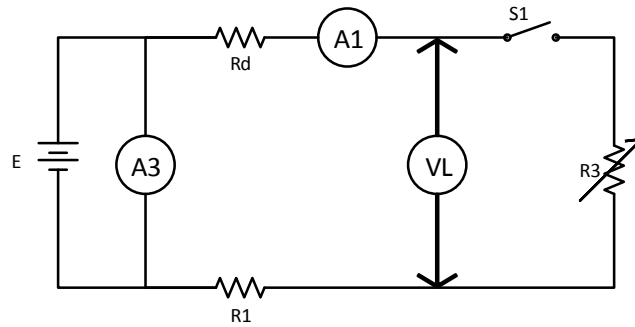
$$\eta = \frac{P_L}{P_s} \times 100 \%$$

dimana η = efisiensi

III. Percobaan Teori Daya Maksimum

3.1. Rangkaian Percobaan

Rangkaian percobaan Teori Daya Maksimum ditunjukkan oleh Gambar 5.1.



Gambar 5.1. Rangkaian Percobaan Teori Daya Maksimum

3.2. Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan yaitu :

- | | | |
|----|---|--------|
| 1. | Voltmeter DC digital | 2 buah |
| 2. | Ampermeter DC digital | 1 buah |
| 3. | Catu daya DC (Pengatur Tegangan DC = PT DC) | 1 buah |
| 4. | Modul Percobaan Teori Daya Maksimum | 1 unit |

3.3. Prosedur Percobaan

Langkah – langkah dalam melakukan percobaan Teori Daya Maksimum yaitu:

1. Hubungkan catu daya ke modul percobaan dan pastikan dalam keadaan belum menyala.
2. Catatlah nilai komponen R_d digunakan, minta petunjuk pelaksanaan praktikum..
3. Aturilah $E = \dots$ Volt (konstan) dan R_L pada kondisi maksimum.
4. Tutup saklar S dan catatlah besar arus I_L dan tegangan V_L .

5. Turunkan nilai resistansi setingkat demi setingkat dan pada setiap keadaan catatlah nilai I_L dan V_L .
6. Dari data tersebut buatlah tabel seperti berikut :

Tabel 1

No.	V_L (volt)	I_L (ampere)	R_L (ohm)	P_L (mwatt)	P_s (mwatt)	Efisiensi(η)
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Catatan: R_L ; P_L dan P_s dihitung berdasarkan data hasil pengukuran yang diperoleh

7. Ulangi untuk besar E atau R_d yang lain.

IV. Tugas dan Pertanyaan

1. Buktikan bahwa daya maksimum diperoleh pada saat $R_L = R_d$ dan daya maksimumnya adalah $P_{L\text{ mak}} = \frac{E^2}{4 R_L}$
2. Buatlah perhitungan dari hasil percobaan yang saudara lakukan dan lukiskan
 - i) Grafik P_L sebagai fungsi R_L ; grafik I_L sebagai fungsi R_L dan grafik V_L sebagai fungsi R_L dalam satu sumbu salib
 - ii) Grafik V_L sebagai fungsi I_L untuk harga R_d yang berbeda pada satu sumbu salib
 - iii) Grafik efisiensi (η) sebagai fungsi R_L . Dapatkah saudara menentukan berapa besarnya tahanan beban R_L berdasarkan grafik yang diperoleh sehingga diperoleh daya maksimum ?
3. Coba saudara jelaskan teori daya maksimum untuk arus bolak – balik !
4. Jelaskan antara daya nominal dan daya maksimum dari suatu generator !
5. Berikan kesimpulan dari hasil percobaan yang saudara lakukan !

PERCOBAAN 6 KUTUB EMPAT

1. Tujuan

Tujuan dari percobaan Kutub Empat adalah :

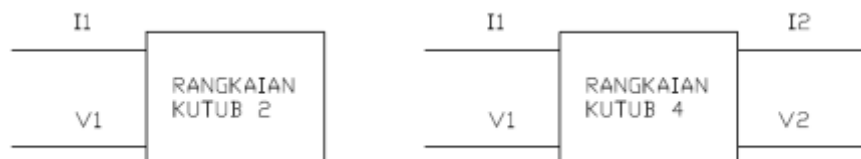
1. Mengenal jenis parameter kutub empat
2. Menentukan konstanta kutub empat berdasarkan pengukuran

II. Teori

Ditinjau dari banyaknya terminal suatu rangkaian listrik dapat terdiri dari:

- a. Rangkaian dengan satu pasang terminal
- b. Rangkaian dengan dua pasang terminal
- c. Rangkaian dengan lebih dari dua pasang terminal

Rangkaian dengan dua pasang terminal disebut juga rangkaian kutub empat, karena kedua pasang terminal tersebut masing-masing terdiri dari dua kutub. Pasangan terminal pertama disebut terminal input dan yang lain disebut terminal output. Untuk melihat penerapan rangkaian jenis ini pada sistem tenaga listrik dan perbedaannya dengan rangkaian lain dapat dilihat seperti pada Gambar 6.1



Gambar 6.1 Rangkaian kutub 2 dan kutub 4

Kutub Empat mempunyai berbagai parameter (konstanta), yaitu :

- a. Parameter Z (parameter impedansi)
- b. Parameter Y (parameter admitansi)
- c. Parameter G (parameter konduktansi)
- d. Parameter H (parameter hybrid)
- e. Parameter ABCD (konstanta ABCD)

Untuk mengukur parameter ini dilakukan dengan mengukur besar arus dan tegangan dari tiap-tiap terminal dengan salah satu terminal terbuka atau hubung singkat. Dalam praktikum diambil dua contoh pengukuran parameter yaitu parameter Z dan parameter ABCD (konstanta ABCD)

2.1. Parameter Z

Jaringan kerja kutub empat biasanya digambarkan seperti pada Gambar 6.2 dengan V_1 , V_2 , I_1 dan I_2 diukur sesuai arah yang terlihat pada gambar.



Gambar 6.2 Rangkaian parameter Z

Hubungan antara tegangan / arus pada output dan input dengan parameter-parameter Z dinyatakan dengan :

$$V_1 = Z_{11} I_1 + Z_{12} I_2 \quad (1)$$

$$V_2 = Z_{21} I_1 + Z_{22} I_2 \quad (2)$$

Dalam bentuk matriks dinyatakan dengan :

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

Untuk persamaan parameter Z, maka terminal output dan input dibuka bergantian. Dari persamaan (1) dan (2), bila terminal output dibuka $I_2 = 0$, maka :

$$Z_{11} = \left. \frac{V_1}{I_1} \right|_{I_2 = 0} \text{ ohm, } Z_{11} = \text{Impedansi input rangkaian terbuka}$$

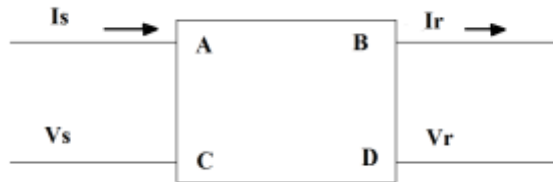
$$Z_{21} = \left. \frac{V_2}{I_1} \right|_{I_2 = 0} \text{ ohm, } Z_{21} = \text{Impedansi transfer maju rangkaian terbuka}$$

$$Z_{12} = \left. \frac{V_1}{I_2} \right|_{I_1 = 0} \text{ ohm, } Z_{12} = \text{Impedansi transfer balik rangkaian terbuka}$$

$$Z_{22} = \left. \frac{V_2}{I_2} \right|_{I_1 = 0} \text{ ohm, } Z_{22} = \text{Impedansi output rangkaian terbuka}$$

2.2. Parameter ABCD

Parameter ABCD sering digunakan pada sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik. Rangkaian parameter ABCD dapat dilihat seperti pada Gambar 6.3.



Gambar 6.3 Rangkaian parameter ABCD

Hubungan antara tegangan/arus kirim (sending end) dan tegangan/arus sisi penerima (receiving end) dinyatakan dengan:

$$V_S = AV_R + BI_R \quad (4)$$

$$I_S = CV_R + DI_R \quad (5)$$

Dimana :

V_S, I_S = Tegangan dan arus sisi pengirim

V_R, I_R = Tegangan dan arus sisi penerima

Dalam bentuk matriks:

Untuk mengukur parameter ABCD dilakukan dengan membuka dan menutup (menghubung singkat) terminal output. Dari persamaan 4 dan 5

$$A = \left. \frac{V_S}{I_R} \right|_{I_R = 0}, \quad A = \text{Inverse open circuit gain}$$

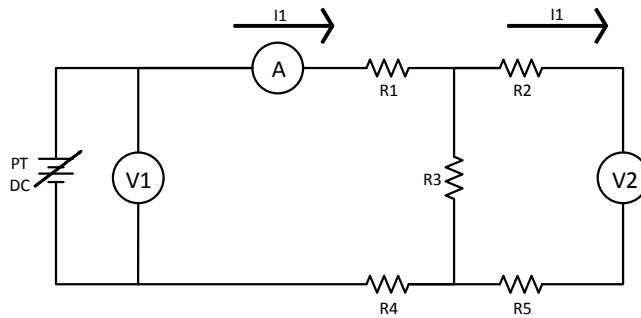
$$C = \left. \frac{I_S}{V_R} \right|_{I_R = 0}, \quad C = \text{Open circuit forward transfer admittance}$$

$$B = \left. \frac{V_S}{I_R} \right|_{I_R = 0}, \quad B = \text{Short circuit reverse transfer impedance}$$

III. Percobaan Parameter Z

3.1. Rangkaian Percobaan

Rangkaian percobaan Parameter Z ditunjukkan oleh Gambar 6.4.



Gambar 6.4. Rangkaian Percobaan Parameter Z.

3.2. Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan yaitu :

- | | | |
|----|---|--------|
| 1. | Voltmeter DC digital | 2 buah |
| 2. | Ampermeter DC digital | 1 buah |
| 3. | Catu daya DC (Pengatur Tegangan DC = PT DC) | 1 buah |
| 4. | Modul Percobaan Parameter Z | 1 unit |

3.3. Prosedur Percobaan

Langkah – langkah dalam melakukan percobaan Parameter Z yaitu:

1. Hubungkan catu daya ke modul percobaan dan pastikan dalam keadaan belum menyala.
2. Atur nilai resistansi R1, R2, R3, R4, dan R5 sesuai dengan tabel percobaan.
3. Aturlah tegangan pada A-A' melalui PT DC sehingga $V_1 = \dots$ volt. B-B' dalam keadaan terbuka catatlah arus I_1 pada pembesaran A_1 dan tegangan B-B' pada pembacaan V_2
4. Pindahkan PT DC ke posisi B-B', lepaskan A_1 dan pasang A_2 untuk mengukur arus I_2
5. Aturlah tegangan pada B-B' melalui PT DC sehingga $V_2 = \dots$ volt. A-A' dalam keadaan terbuka, catatlah arus I_2 pada pembacaan A_2 dan tegangan A-A' pada pembacaan V_1
6. Ulangi point 2 s/d 4 untuk tegangan V_1 dan V_2 yang lain.
7. Buatlah tabel sebagai berikut :

Tabel 1

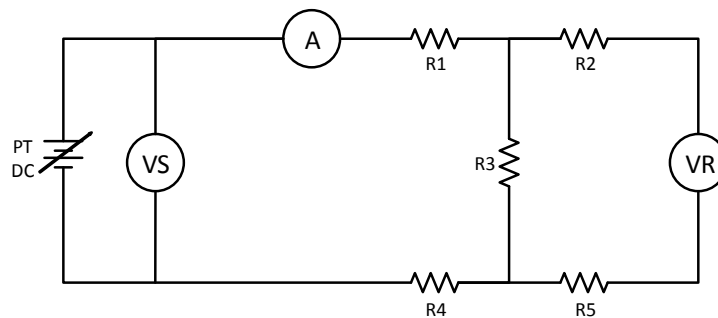
No.		1	2	3
Sumber pada A-A'	V ₁ (volt)			
	I ₁ (mA)			
	V ₂ (mA)			
Sumber pada B-B'	V ₂ (volt)			
	I ₂ (mA)			
	V ₁ (volt)			
Parameter Z	Z ₁₁ (ohm)			
	Z ₁₂ (ohm)			
	Z ₂₁ (ohm)			
	Z ₂₂ (ohm)			

8. Percobaan selesai

IV. Percobaan Parameter ABCD

4.1. Rangkaian Percobaan

Rangkaian percobaan Parameter ABCD ditunjukkan oleh Gambar 6.5.



Gambar 6.5. Rangkaian Percobaan Parameter ABCD

4.2. Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan yaitu :

- | | |
|--|--------|
| 1. Voltmeter DC digital | 2 buah |
| 2. Ampermeter DC digital | 1 buah |
| 3. Catu daya DC (Pengatur Tegangan DC = PT DC) | 1 buah |
| 4. Modul Percobaan Parameter ABCD | 1 unit |

4.3. Prosedur Percobaan

Langkah – langkah dalam melakukan percobaan Parameter ABCD yaitu:

1. Hubungkan catu daya ke modul percobaan dan pastikan dalam keadaan belum menyala.
2. Atur nilai resistansi R1, R2, R3, R4, dan R5 sesuai dengan tabel percobaan.
3. Aturlah tegangan PT DC sehingga $V_S = \dots$ volt. A-A' dalam keadaan terbuka catatlah arus I_S dan tegangan V_R
4. Pada V_S konstan hubung singkat A-A' dengan menggantikan voltmeter (V_R) dengan ampere-meter I_S . Catatlah I_R
5. Ulangi point 2 s/d 3 untuk tegangan V_S yang lain
6. Buatlah tabel sebagai berikut :

Tabel 2

No.	A-A' Hubungan terbuka		A-A' hubung singkat	A (no unit)	B (ohm)	C (mho)	D (no unit)
	V_R (volt)	I_S (mA)	I_R (mA)				
1.							
2.							
3.							

7. Percobaan selesai.

V. Tugas dan Pertanyaan

1. Jelaskan parameter kutub empat yang lain (Y, G, dan H) dan bagaimana mendapatkannya !
2. Apa manfaat mengetahui parameter dari kutub empat ?
3. Bagaimana bila kutub empat diserikan dan diparalelkan ?
4. Apakah ada hubungan antara parameter Z dengan parameter ABCD ?
5. Dari hasil pengukuran yang saudara lakukan tentukan parameter Z dan parameter ABCD ?
6. Berikan kesimpulan dari hasil percobaan yang saudara lakukan !