



LABORATORIUM ELEKTRONIKA MIKRO DAN SISTEM TERTANAM
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO · FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

Teorema Superposisi, Thevenin, Norton, dan Transfer Daya



NAMA : Ikhwanul Abiyu
NRP : 5024211048

MODUL II

TEOREMA SUPERPOSISI, THEVENIN/NORTON, TRANSFER DAYA

1. Tujuan Percobaan

- 1) Untuk mempelajari aplikasi konsep superposisi pada rangkaian linier.
- 2) Untuk membandingkan hasil perhitungan dan pengukuran kedua teknik analisa.
- 3) Untuk mempelajari metode penyederhanaan rangkaian untuk mencari arus yang mengalir pada salah satu cabang rangkaian.

2. Peralatan yang dibutuhkan

- 1) Board
- 2) DC Power Supply
- 3) Multimeter
- 4) Resistor 100 Ω , 220 Ω , 330 Ω , 470 Ω , 680 Ω , 1 k Ω , 2.2 k Ω

3. Referensi

Buku "Rangkaian Listrik I" dan "Rangkaian Listrik II" oleh William Hyat

4. Teori Dasar

Linearitas dan Teorema Superposisi

Rangkaian linier terdiri atas elemen-elemen linier sehingga berlaku hubungan linier pada setiap tegangan/arus di rangkaian tersebut. Pada rangkaian linier yang memiliki sumber (tegangan/arus) lebih dari satu, untuk menghitung nilai-nilai tegangan/arusnya dapat dilakukan dengan mematikan sumber-sumber tersebut secara bergantian sehingga yang aktif hanya satu sumber saja, kemudian dihitung nilai arus/tegangannya. Masing-masing nilai arus/tegangan yang didapat kemudian dijumlahkan.

Rangkaian pengganti thevenin/norton dan transfer daya maksimum.

Sebuah rangkaian kompleks yang tersusun dari banyak elemen rangkaian dapat diganti dengan sebuah sumber tegangan (V_{TH}) yang terhubung seri sebuah resistor (R_{TH}) yang disebut dengan rangkaian pengganti thevenin, atau dapat diganti dengan sebuah sumber arus (I_N) yang terhubung paralel sebuah resistor (R_{TH}) yang disebut dengan rangkaian pengganti norton. Perpindahan daya dari suatu rangkaian menuju beban (R_L) akan maksimum bila besarnya beban sama dengan resistansi R_{TH} dari rangkaian tersebut.

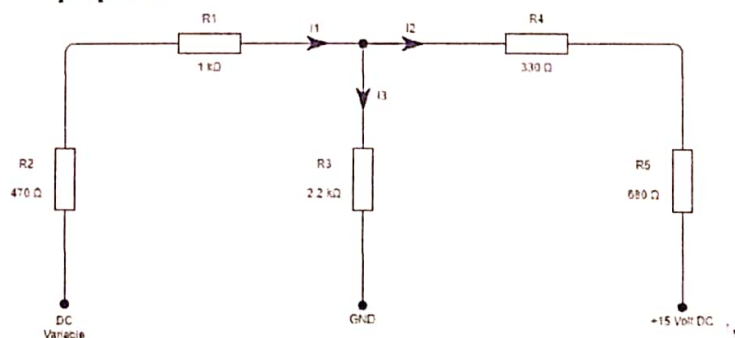
5. Tugas Pendahuluan

Jelaskan cara mencari nilai $V_{Thevenin}$, I_{Norton} , dan $R_{Thevenin/Norton}$

6. Prosedur Percobaan

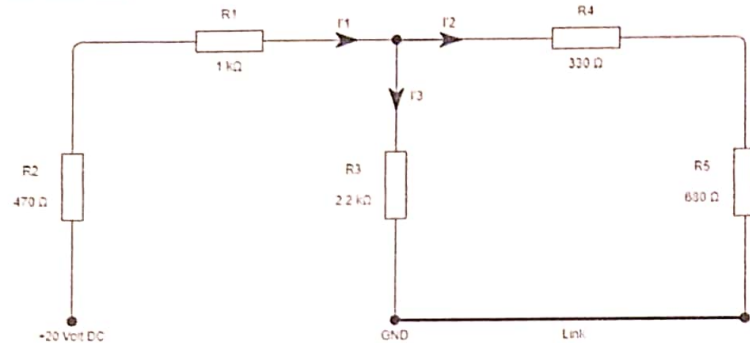
PERHATIAN: WAJIB MENGHUBUNGI ASISTEN SEBELUM MENYALAKAN POWER SUPPLY

A. Teorema Superposisi



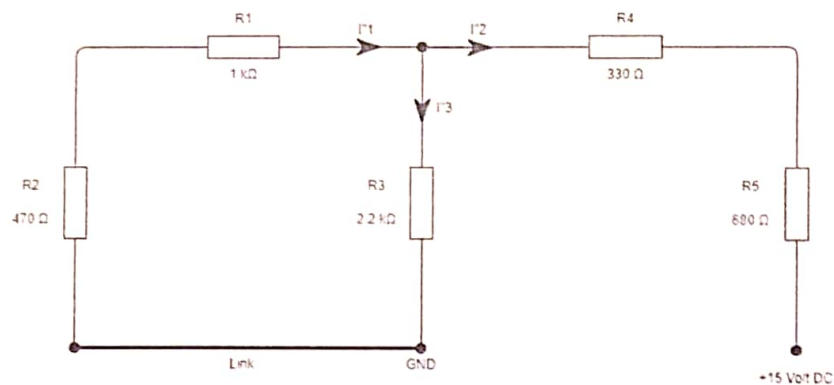
Gambar 2.1

1. Buat rangkaian seperti Gambar 2.1. Sebelum dipasang, ukur resistansi dari semua resistor dengan multimeter. Catat hasilnya pada laporan sementara.
2. Hidupkan DC power supply atur DC Variabel pada nilai 20 Volt.
3. Ukur nilai arus pada masing-masing cabang dengan menggunakan multimeter pada skala 0-10 mA. Catat nilai arus yang mengalir pada I_1 , I_2 , I_3 . Perhatikan besar dan arah arus.
4. Sekarang putuskan sumber tegangan +15 Volt dan sambungkan resistor R_3 dan R_5 (Gambar 2.2). Ukur dan catat besarnya arus I'_1 , I'_2 , I'_3 pada Tabel 2.1.



Gambar 2.2

5. Hubungkan kembali sumber tegangan +15 Volt dan putuskan sumber tegangan 20 Volt (short circuit, lihat Gambar 2.3). Ukur dan catat nilai arus I''_1 , I''_2 , I''_3 pada Tabel 2.1.

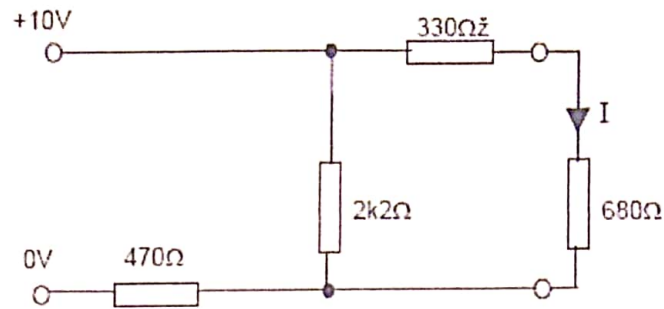


Gambar 2.3

Tugas Analisa

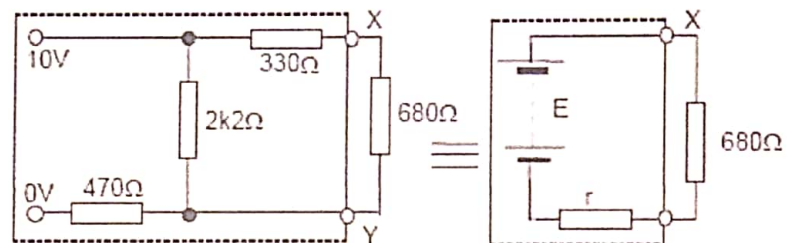
1. Cari hubungan antara I_1 , I'_1 , I''_1 , dan I_2 , I'_2 , I''_2 serta I_3 , I'_3 , I''_3 .
2. Gunakan hasil perhitungan secara teoritis (gunakan nilai resistansi hasil pengukuran) dan bandingkan dengan hasil pengukuran.

B. Thevenin dan Norton



Gambar 2.4

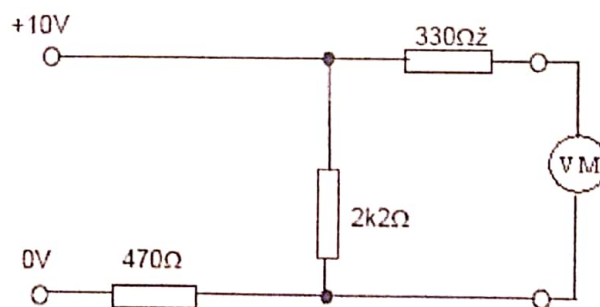
1. Buat rangkaian seperti gambar 2.4.
2. Set tegangan output power supply sebesar 10 Volt. Hitung arus yang melalui Resistor $680\ \Omega$ dengan menggunakan multimeter. Catat hasilnya pada lembar data.
3. Menurut teorema thevenin rangkaian dapat disederhanakan seperti berikut.



Gambar 2.5

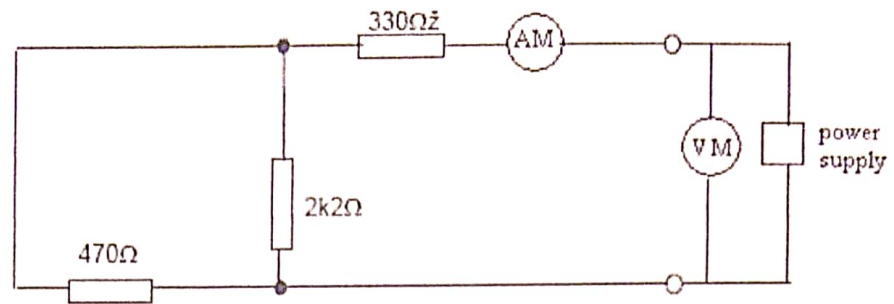
Terlihat bahwa rangkaian menjadi seperti sebuah sumber tegangan E dengan tahanan dalam r yang dihubungkan ke beban $R = 680\ \Omega$.

4. Untuk mencari E , ganti resistor $680\ \Omega$ dengan multimeter sehingga rangkaian seperti Gambar 2.6 berikut, catat nilai tegangannya.
5. Untuk mencari r , matikan power supply, dan lepas terminalnya dari rangkaian. Sambungkan kedua terminal rangkaian yang tadinya merupakan input dari power supply.



Gambar 2.6

6. Buat rangkaian seperti Gambar 2.7 berikut ini.



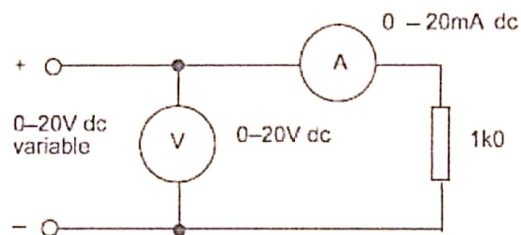
Gambar 2.7

7. Catat hasil pengukuran untuk beberapa nilai tegangan power supply pada data percobaan dalam Tabel 2.2.
8. Dapatkan nilai rata-rata dari r.

Tugas Analisa

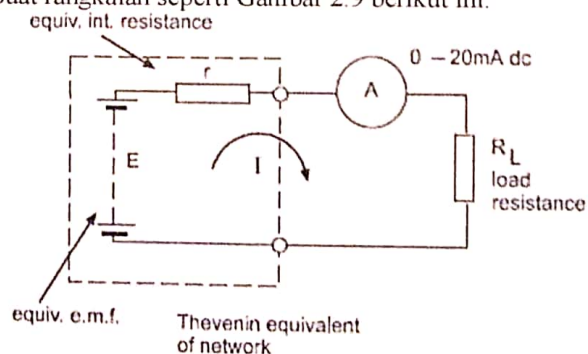
1. Cari arus yang melalui $680\ \Omega$ dari rangkaian yang telah disederhanakan dengan teorema thevenin. Apakah hasilnya sama dengan pengukuran?
2. Cari arus dengan menggunakan hukum kirchoff?
3. Bandingkan kedua hasil diatas!

C. Daya



Gambar 2.8

1. Buat rangkaian seperti Gambar 2.8.
2. Ukur nilai tegangan dan arus kemudian catat nilainya pada data percobaan Tabel 2.3. Lakukan untuk beberapa tegangan supply yang berbeda.
3. Kemudian buat rangkaian seperti Gambar 2.9 berikut ini.



Gambar 2.9

Atur $E = 10$ Volt dan $r = 470 \Omega$, kemudian isi Tabel 2.4 pada data percobaan.
Lakukan untuk beban R_L yang berbeda-beda sesuai tabel.

Tugas Analisa

1. Dari tabel pertama buat grafik P terhadap V dan P terhadap I , analisislah grafik tersebut.
2. Dari tabel kedua buat grafik P terhadap R_L dan P terhadap I .

DATA PERCOBAAN MODUL II

A. Teorema Superposisi

$R_1 = 987 \, \Omega$ $R_2 = 465 \, \Omega$ $R_3 = 2170 \, \Omega$ $R_4 = 328 \, \Omega$ $R_5 = 674 \, \Omega$

Tabel 2.1

$I_1 = 4,5 \, \text{mA}$	$I'_1 = 9,3 \, \text{mA}$	$I''_1 = -4,7 \, \text{mA}$
$I_2 = -1,5 \, \text{mA}$	$I'_2 = 6,3 \, \text{mA}$	$I''_2 = -7,9 \, \text{mA}$
$I_3 = 6,1 \, \text{mA}$	$I'_3 = 2,9 \, \text{mA}$	$I''_3 = 3,1 \, \text{mA}$

B. Thevenin

I (pada $R \, 680 \, \Omega$) = ... $5,19 \, \text{mA}$
ohm

$E = 8,27 \, \text{V}$ $r = 730,11$

Tabel 2.2

Tegangan Power Supply/VM (V)	AM (ampere)	$r = V_M/AM$
2	$2,7 \, \text{mA}$	$740,74$
4	$5,5 \, \text{mA}$	$727,27$
6	$8,2 \, \text{mA}$	$731,707$
8	$11,1 \, \text{mA}$	$720,72$

C. Daya

Tabel 2.3

Tegangan (V)	Arus (mA)	$P = V \cdot I \, (\text{mW})$
2	$1,9$	$3,8$
4	$3,9$	$15,6$
6	$5,9$	$35,4$
8	8	64
10	10	100

Tabel 2.4

Beban (R_L) ohm	Arus (I) mA	$P = I^2 \cdot R_L \, (\text{mW})$
100	$17,7$	$0,0313 \, \text{W}$
220	$14,6$	$0,0469 \, \text{W}$
330	$12,6$	$0,0524 \, \text{W}$
470	$10,6$	$0,0528 \, \text{W}$
680	$8,7$	$0,0513 \, \text{W}$
1k	$6,8$	$0,0462 \, \text{W}$

TUGAS PENDAHULUAN

1. Jelaskan cara mencari nilai V_{th} , I_N , R_{th}/R_N !

Jawab:

Tegangan thevenin dapat dicari dengan melepas beban pada rangkaian sehingga menjadi open circuit dengan 2 ujung. Arus Norton dicari dengan melepas beban yang terdapat pada rangkaian dan menjadikannya short circuit. Resistansi thevenin maupun norton dapat dicari dengan cara melepas sumber bebas dan beban yang terdapat pada rangkaian. Setelah itu didapatkan rangkaian baru yang hanya berisi resistor. Resistor tersebut digabungkan sehingga menjadi R_{th} maupun R_N dari rangkaian tersebut.



DASAR TEORI

Dalam artian sederhana, teorema superposisi merupakan salah satu cara yang membuat suatu rangkaian yang terlihat kompleks menjadi lebih sederhana. Teorema ini memiliki prinsip bahwa respon tegangan / arus yang diinginkan pada setiap titik di dalam rangkaian linier yang memiliki lebih dari 1 sumber bebas di dapat sebagai jumlah respon yang disebabkan oleh setiap sumber bebas yang bekerja sendiri-sendiri. Apabila suatu rangkaian memiliki sumber bebas yang lebih dari 1, maka salah satu cara untuk menentukan nilai dari variabel tertentu, baik tegangan / arus, dapat menggunakan analisa mesh dan analisa node. Sedangkan pada teorema superposisi kita akan menentukan peran dari setiap sumber bebas dan menjumlahkannya. ~~Karena~~ Syarat agar dapat menggunakan teorema superposisi dengan tepat, yaitu yang pertama, digunakan 1 sumber bebas pada satu waktu serta menonaktifkan sumber bebas lainnya yang tidak dipilih. Dengan men-short circuit-kan sumber tegangan yang dipilih dan meng-open circuit-kan sumber tegangan yang tidak dipilih. Kedua, sumber tak bebas harus tetap diaktifkan karena nilainya yang bergantung pada variabel dalam rangkaian. Kekurangan analisa rangkaian menggunakan superposisi adalah, terdapat banyak vari-

inabel Sehingga lebih banyak pada penjumlahan al-
~~jabarnya~~. Kelebihan dari teorema superposisi adalah k-
ita dapat mengubah rangkaian yang kompleks, menjadi
rangkain yang lebih sederhana melalui penggantian sumber
bebas, baik short circuit untuk sumber tegangan, dan
open circuit untuk sumber arus. Selanjutnya yaitu teo-
rema Thevenin yang mengatakan bahwa suatu rangkaian
linier 2 terminal dapat diganti dengan suatu rangkaian
ekuivalen yang terdiri dari sumber tegangan Thevenin
(V_{th}) yang terhubung secara seri dengan resistor Thevenin
(R_{th}). Dimana V_{th} merupakan tegangan terbuka pada
terminal dan resistor thevenin (R_{th}) resistansi ekuivalen
pada terminal apabila semua sumber listrik bebas
dimatikan. Cara menganalisis rangkaian linier menggunakan
teorema thevenin ini, pertama-tama resistor beban dile-
paskan. lalu dilanjutkan dengan mengukur rangkaian terbuka
nya, nilai tegangan ini nantinya dipakai sebagai tegangan
thevenin. Lalu, sumber arus dilepaskan dan sumber te-
gangan diubah menjadi short circuit dan sumber arus
menjadi open circuit. Resistansi yang diukur, akan m-
enjadi ~~Resistansi~~ Resistansi Thevenin (R_{th}). Jika sudah ~~ditemukan~~
 R_{th} dan V_{th} nya, maka arus listrik dapat dicari
menggunakan hukum Ohm. Teorema norton menyatakan
bahwa suatu rangkaian linier 2 terminal, dapat d-

iganti dengan suatu rangkaian ekuivalen yang terdiri dari sumber arus norton (I_N) yang terhubung secara paralel dengan suatu resistor norton (R_N), dimana arus norton merupakan arus hubung singkat yang mengalir pada terminal dan resistansi norton merupakan resistansi ekuivalen pada terminal jika semua sumber listrik bebas pada rangkaian linier tersebut dipadamkan. Yang terakhir ada Transfer Daya Maksimum. Transfer daya akan terjadi apabila nilai resistansi beban sama dengan nilai resistansi sumber, baik dipasang seri dengan sumber tegangan ataupun dipasang paralel dengan sumber arus dan nilai reaktansi sumber merupakan negatif dari nilai reaktansi beban. Daya listrik ditransfer dari satu tempat ke tempat yang lainnya melalui saluran transmisi yang ~~meliputi~~ meliputi impedansi. Oleh sebab itu arus listrik yang mengalir akan menimbulkan rugi daya sepanjang saluran. Pada umumnya, rugi daya tersebut dapat diminimalisir sehingga daya yang sampai ke tujuan lebih maksimal, caranya adalah dengan menaikkan tegangan saluran ~~transmisi~~ sehingga untuk menyalurkan suatu daya tertentu, ~~besar~~ besar arus turun, sehingga rugi daya turun sebanding dengan kuadrat arus. Transfer daya maksimum terjadi saat kondisi $R_L = R_{th}$ atau resistansi beban bernilai sama dengan

Resistansi Theveninnya. Untuk persamaan dalam mencari daya maksimum adalah $P_{\max} = \frac{1}{4} \cdot \frac{V_{th}^2}{R_{th}}$, di mana V_{th} merupakan tegangan thevenin, dan R_{th} merupakan Resistansi thevenin.



DATA PERCOBAAN

A. Teorema Superposisi

$$R_1 = 87 \, \Omega, \quad R_2 = 465 \, \Omega, \quad R_3 = 2170 \, \Omega, \quad R_4 = 328 \, \Omega$$

$$R_5 = 674 \, \Omega$$

Tabel 2.1

$I_1 = 4,5 \, \text{mA}$	$I'_1 = 9,5 \, \text{mA}$	$I''_1 = -9,7 \, \text{mA}$
$I_2 = -1,5 \, \text{mA}$	$I'_2 = 6,3 \, \text{mA}$	$I''_2 = -7,9 \, \text{mA}$
$I_3 = 6,1 \, \text{mA}$	$I'_3 = 2,9 \, \text{mA}$	$I''_3 = 3,1 \, \text{mA}$

B. Thevenin

Tabel 2.2

Tegangan Power Supply (V_M) (V)	AM (Ampere)	r (V_M/AM)
2	1,9	740,74
4	3,9	727,27
6	5,9	731,707
8	8	720,72

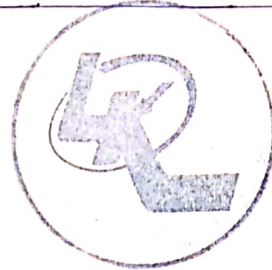
C. Daya

Tabel 2.3

Tegangan (V)	Arus (mA)	$P = VI$ (mW)
2	1,9	3,8
4	3,9	15,6
6	5,9	35,4
8	8	64
10	10	100

Tabel 2.4

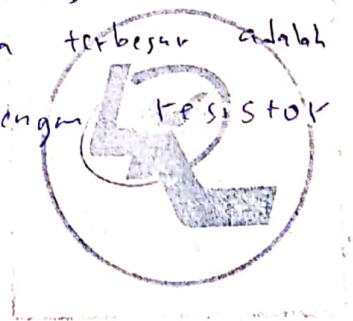
Beban (R_L)	Arus (I)	$P = I^2 \cdot R_L$
0hm	mA	mW
100	17,7	31,33
220	14,6	46,9
330	12,6	52,39
470	10,6	52,81
680	8,7	51,47
1000	6,8	46,24



ANALISA DATA

Pada percobaan pertama, yaitu teorema superposisi, percobaan ini menggunakan 5 buah resistor, R_1 bernilai 987Ω , R_2 bernilai 465Ω , R_3 bernilai 2170Ω , R_4 bernilai 328Ω , R_5 bernilai 674Ω . Berdasarkan data percobaan pada tabel 2.1, dapat disimpulkan bahwa I_1 merupakan hasil penjumlahan I_1' dan I_1'' , begitu pula I_2 dan I_3 . Hasil penjumlahannya mendekati I_1, I_2 , maupun I_3 . Percobaan kedua adalah percobaan dengan menggunakan teorema thevenin & norton. Dalam percobaan ini didapatkan besar arus pada resistor 680Ω adalah $5,9 \text{ mA}$ dan E yang bernilai $8,27 \text{ Volt}$, serta nilai R ekuivalensinya $1401,69 \Omega$. Hasil tersebut bisa dibuktikan dengan mengganti rangkaian tersebut dengan resistansi penggantinya. Percobaan ketiga mengenai daya. Dari tabel 2.3 dapat disimpulkan bahwa daya berbanding lurus dengan tegangan maupun arus. Pada percobaan daya yang kedua, dilakukan pengukuran nilai arus dengan R atau nilai beban yang telah ditentukan. Dari situ dapat ditarik kesimpulan bahwa daya berbanding lurus dengan resistor maupun arus. Khusus arus, menjadi $2x$ lipat, karena di dalam rumusnya dikuadratkan.

Didapatkan, dari beberapa hasil percobaan, terdapat selisih nilai dari hasil percobaan, dan hasil perhitungan. Hal ini disebabkan oleh alat pengukuran yang kurang teliti dan hanya support hingga 2 angka di belakang koma. Hal ini juga disebabkan oleh error alat, dimana kabel kutang tertancap dengan sempurna. Didapatkan juga grafik P terhadap V dan I bersifat kuadratik dan logaritmik, hal ini dikarenakan P berhubungan sebanding lurus dengan V dan I . Sedangkan P akan membentuk grafik yang seperti bukit pada I dan R_L . Hal ini disebabkan oleh P yang berbanding lurus kuadratik dengan I , dan berbanding lurus dengan R_L . Namun karena I kuadrat, maka R_L akan berbanding terbalik secara kuadrat juga. Hal ini yang menjadi dasar bahwa daya terbesar adalah ketika tegangan sama besarnya dengan resistansi beban.



TUGAS ANALISA

Percobaan 1 :

1. Cari hubungan antara I_1, I'_1, I''_1 , dan I_2, I'_2, I''_2 , serta I_3, I'_3, I''_3 .

Jawab :

Hubungan antara ketiganya berdasarkan hasil percobaan di tabel 2.1, yaitu setiap dari I_1, I_2 , maupun I_3 , merupakan penjumlahan dari I'_1 dan I''_1, I'_2 dengan I''_2 , dan I'_3 dengan I''_3 . Contohnya kita ambil I_1 yang bernilai 4,5 mA, I'_1 adalah 9,3 mA, dan I''_1 bernilai -4,7 mA. Dengan perhitungan sederhana, hal ini dapat dibuktikan dengan :

$$I_1 = 4,5 \text{ mA}; I'_1 = 9,3 \text{ mA}; I''_1 = -4,7 \text{ mA}.$$

$$I'_1 + I''_1 = I_1$$

$$9,3 - 4,7 = 4,5$$

$$4,6 \approx 4,5 \text{ mA}$$

2. Gunakan hasil perhitungan secara teoritis (Gunakan nilai resistensi hasil pengukuran) dan bandingkan dengan hasil pengukuran.

Jawab :

Menggunakan analisis mesh, didapatkan persamaan sebagai berikut (pada rangkaian dengan sumber tegangan 20 Volt):



$$(987 + 465 + 2170) i'_1 + 2170 i'_2 = 20$$

$$(2170 + 328 + 674) i'_1 - 2170 i'_2 = 0$$

Hasil yang didapat adalah $i'_1 = 9,58 \text{ mA}$ dan $i'_2 = 6,55 \text{ mA}$, dan $i'_3 = 3,03 \text{ mA}$. Pada tegangan 15 volt didapatkan persamaan

$$(987 + 465 + 2170) i''_1 - 2170 i''_2 = 15$$

$$(2170 + 328 + 674) i''_1 - 2170 i''_2 = 0$$

Hasil yang didapat adalah $i''_1 = -4,8 \text{ mA}$, $i''_2 = -8,01 \text{ mA}$, dan $i''_3 = 3,21 \text{ mA}$. Dari hasil perbandingan antara perhitungan secara teoritis dengan hasil pengukuran didapat perbedaan sebesar 0,1 hingga 0,2 mA, sehingga hal ini bisa dibilang perbedaannya tidak jauh.

Percobaan 2 :

1. Cari arus yang melalui 680Ω dari rangkaian yang telah disederhanakan dengan teorema thevenin. Apakah hasilnya sama?

Jawab:

Dengan menggunakan teorema thevenin, diketahui $V_{th} : 8,27 \text{ V}$ dan $R_{th} : 730,11 \Omega$. Dengan menggunakan KVL, didapatkan hasil ($R = 674 \Omega$ yang digunakan pada saat praktikum): $-8,27 + 0,674 I + 0,73011 I = 0$. Dan didapatkan I sebesar $5,88 \text{ mA}$. Jika diban

dingkan dengan hasil Pengukuran, hasil yang didapatkan berbeda 0,02 mA, dan bisa dikatakan sudah benar.

2. Cari arus menggunakan hukum kirchoff!

Jawab :

Dengan menggunakan hukum kirchoff, didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$(2170 + 465) i_1 - 2170 i_2 = 10$$

$$(-2170 + 328 + 674) i_2 + 465 i_1 = 10$$

hasil yang didapatkan adalah $i_1 = 8,77 \text{ mA}$ dan $i_2 = 6,00 \text{ mA}$.

3. Bandingkan 2 hasil di atas!

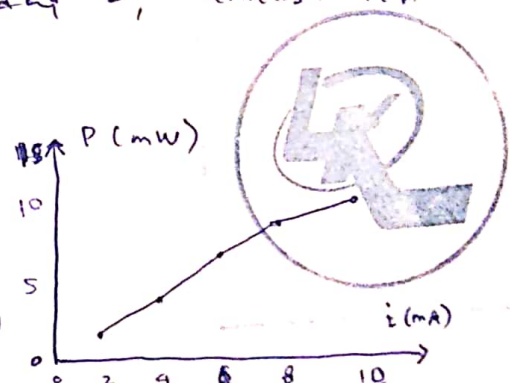
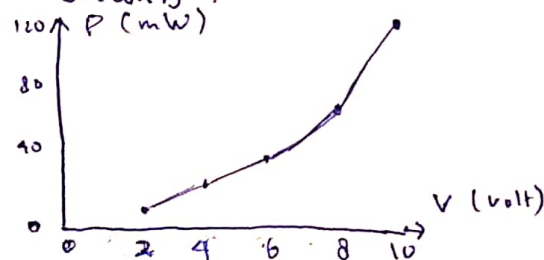
Jawab :

Dari kedua hasil di atas, didapatkan perbedaan antara teorema thevenin dan hukum kirchoff sangat kecil, sehingga bisa dianggap keduanya menghasilkan jawaban yang sama.

Percobaan 3 :

2. Dari tabel pertama, buat grafik P terhadap V, dan P terhadap I, analisa lah grafik tersebut

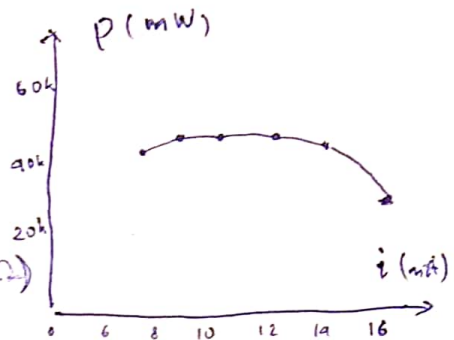
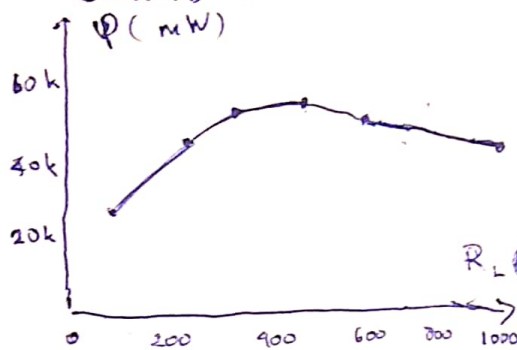
Jawab :



kedua grafik memiliki bentuk yang mirip seperti garis yang melengkung ke atas. Hal ini sesuai dengan rumus $P = V \cdot I$ dimana P berbanding lurus dengan V dan I .

2. Dari tabel kedua, buat grafik P terhadap R_L dan P terhadap I .

Jawab :



TUGAS ASISTENSI

1. Apakah teorema superposisi dapat diterapkan pada sumber AC? Jelaskan secara singkat mengapa iya / tidak?

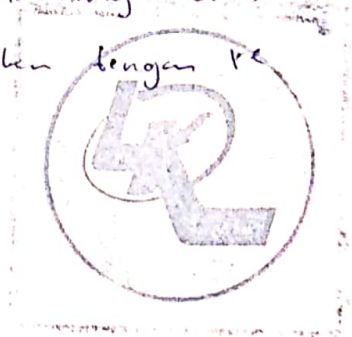
Jawab :

Teorema superposisi hanya dapat ~~diterapkan~~ diterapkan di rangkaian linear. Karena rangkaian AC juga linear, maka superposisi bisa diterapkan juga pada rangkaian sumber AC.



KESIMPULAN

Dari praktikum ini, dapat disimpulkan bahwa teorema superposisi memiliki hasil yang sama dengan Hukum Kirchhoff. Yang mana ini menjadi bukti kebenaran dari hukum / teorema superposisi. Lalu juga didapat bahwa teorema Thevenin dan Norton merupakan teorema yang valid, karena jika dihitung menggunakan Hukum Kirchhoff, hasilnya hanya berbeda sedikit dengan hukum Kirchhoff. Terakhir, pada percobaan daya, dapat disimpulkan jika daya akan berbanding lurus dengan tegangan dan arus, lalu daya juga berbanding lurus kuadratik dengan arus jika dikalikan dengan resistansinya.



LAMPIRAN



Keterangan : Foto dengan aslab saat asistensi.