



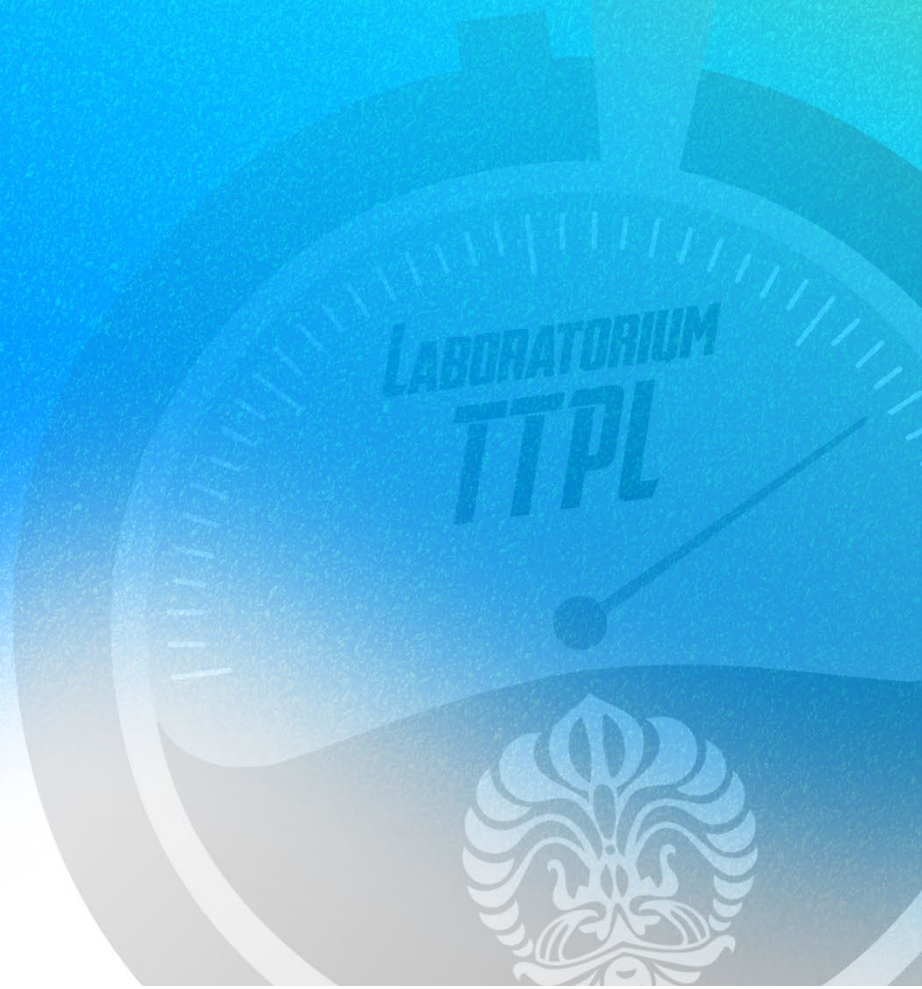
UNIVERSITAS
INDONESIA

Veritas, Probitas, Iustitia

MODUL PRAKTIKUM RANGKAIAN LISTRIK 2025/2026

Laboratorium Tegangan Tinggi dan Pengukuran Listrik

@lttppl.ui
TTPL FTUI
#UnleashYourPower





DAFTAR ISI

MODUL 1 PRE-TEST – DASAR RANGKAIAN LISTRIK	7
MODUL 2 DASAR KELISTRIKAN DAN ANALISIS MESH.....	20
MODUL 3 LINEARITAS DAN ANALISIS NODE	24
MODUL 4 ANALISIS SUPERPOSISI DAN THEVENIN	27
MODUL 5 ANALISIS NORTON	33
MODUL 6 RANGKAIAN KUTUB EMPAT (TWO-PORT NETWORK)	35
MODUL 7 RANGKAIAN AC.....	47
MODUL 8 RANGKAIAN TIGA FASA	52





DAFTAR GAMBAR

Gambar 1-1 – Listrik Statis dan Listrik Dinamis.....	7
Gambar 1-2 – Muatan Listrik.....	8
Gambar 1-3 – Arus Listrik	8
Gambar 1-4 – Tegangan Listrik	9
Gambar 1-5 – Resistansi atau Tahanan Listrik	9
Gambar 1-6 – Grafik Hukum Ohm (Hubungan Arus terhadap Tegangan)	10
Gambar 1-7 – Rangkaian Listrik Sederhana	10
Gambar 1-8 – Hubungan Beban Seri dan Paralel.....	11
Gambar 1-9 – Infografis Bahaya Arus Listrik	15
Gambar 1-10 – Tabel efek yang ditimbulkan Arus Listrik terhadap Tubuh Manusia berdasarkan jenis kelamin, jenis arus listrik, (dan frekuensinya).....	15
Gambar 1-11 – Contoh Voltmeter Analog	17
Gambar 1-12 – Diagram Penggunaan Voltmeter	18
Gambar 1-13 – Contoh Amperemeter Analog	18
Gambar 1-14 – Diagram Penggunaan Amperemeter	19
Gambar 2-1 – Rangkaian Percobaan Analisis Mesh	23
Gambar 3-1 – Rangkaian Percobaan Analisis Node.....	25
Gambar 4-1 – Rangkaian Beban Seri Voltage Divider	27
Gambar 4-2 – Rangkaian Beban Paralel Current Divider	28
Gambar 4-3 – Rangkaian Asli Superposisi	30
Gambar 4-4 – Sumber Arus Diganti dengan Open Circuit.....	30
Gambar 4-5 – Sumber Tegangan Diganti dengan Short Circuit.....	30
Gambar 4-6 – Rangkaian Asli Thevenin	31
Gambar 4-7 – Beban R_2 dan RL Dilepas dari Sistem.....	31
Gambar 4-8 – Rangkaian Pengganti Thevenin	32
Gambar 4-9 – Rangkaian Percobaan Thevenin.....	32
Gambar 5-1 – Rangkaian Asli Norton	33
Gambar 5-2 – Beban R_{14} Diganti dengan Short Circuit	33
Gambar 5-3 – Rangkaian Pengganti Norton	34
Gambar 5-4 – Rangkaian Percobaan Norton.....	34
Gambar 6-1 – Ilustrasi Terminal, Network, dan Port.....	35
Gambar 6-2 – Ilustrasi Port Condition.....	36





Gambar 6-3– Ilustrasi One Port Network	36
Gambar 6-4 – Ilustrasi Jaringan Two Port Network, Kutub Empat	36
Gambar 6-5 – Deskripsi Hambatan dan Parameter Z	37
Gambar 6-6 – Parameter Impedansi	37
Gambar 6-7 – Parameter Admitansi	37
Gambar 6-8 – Parameter Hibrida	37
Gambar 6-9 – Parameter Invers Hibrida	38
Gambar 6-10 – Parameter Transmisi	38
Gambar 6-11 – Parameter Scattering.....	38
Gambar 6-12 – Parameter Scattering Transfer	38
Gambar 6-13 – Ilustrasi Kondisi Kesimetrisan	39
Gambar 6-14 – Ilustrasi Kondisi Resiprokal	39
Gambar 6-15 – Ilustrasi Parameter Impedansi.....	40
Gambar 6-16 – Ilustrasi Parameter Admitansi	40
Gambar 6-17 – Korelasi Antara Parameter Admitansi dan Impedansi.....	41
Gambar 6-18– Rangkaian Ekuivalen Resiprok untuk Parameter Impedansi dan Admitansi pada Jaringan Kutub Empat.....	41
Gambar 6-19 – Rangkaian Ekuivalen Thevenin/Norton untuk Parameter Impedansi dan Admitansi pada Jaringan Kutub Empat	41
Gambar 6-20 – Ilustrasi Interkoneksi Hubung Seri-Seri	42
Gambar 6-21 – Ilustrasi Interkoneksi Hubung Paralel-Paralel.....	42
Gambar 6-22 – Ilustrasi Interkoneksi Hubung Seri-Paralel	42
Gambar 6-23 – Ilustrasi Interkoneksi Hubung Paralel-Seri	42
Gambar 6-24 – Ilustrasi Interkoneksi Hubung Cascade	43
Gambar 6-25 – Contoh Model Jaringan Kutub Empat	43
Gambar 6-26 – Rangkaian Filter dalam Bentuk Kutub Empat	43
Gambar 6-27 – Rangkaian Amplifier dalam Bentuk Kutub Empat	44
Gambar 6-28 – Rangkaian Percobaan Parameter Admitansi	44
Gambar 6-29 – Rangkaian Percobaan Parameter Impedansi	45
Gambar 7-1 – Sinyal AC.....	47
Gambar 7-2 – Contoh Komponen Induktor	48
Gambar 7-3 – Contoh Komponen Kapasitor	48
Gambar 7-4 – Segitiga Daya	49
Gambar 7-5 – Power Factor Correction	50





LABORATORIUM TEGANGAN TINGGI DAN PENGUKURAN LISTRIK

MODUL PRAKTIKUM RANGKAIAN LISTRIK

Gedung Departemen Teknik Elektro, Lt.2
Kampus Baru UI, Depok 16424

Gambar 7-6 – Rangkaian Percobaan AC.....	51
Gambar 8-1 – Fasa dan Sistem Polifasa.....	52
Gambar 8-2 – Ilustrasi Generator Tiga Fasa	53
Gambar 8-3 – Model Sumber Tegangan Tiga Fasa	54
Gambar 8-4 – Struktur Umum Rangkaian Tiga Fasa.....	54
Gambar 8-5 – Positive Sequence	55
Gambar 8-6 – Negative Sequence	55
Gambar 8-7 – Beban Hubung Y	56
Gambar 8-8 – Konfigurasi Beban Hubung Y	56
Gambar 8-9 – Beban Hubung Δ	57
Gambar 8-10 – Konfigurasi Beban Hubung Δ	57
Gambar 8-11 – Rumus Untuk Hubung Delta dan Wye.....	58
Gambar 8-12 – Hubungan karakteristik Arus dan Tegangan pada Beban Y dan Δ	58
Gambar 8-13 – Hubungan Arus dan Tegangan pada Empat Kombinasi Rangkaian Tiga Fasa	59
Gambar 8-14 – Beban Simetris	60
Gambar 8-15 – Beban Asimetris	60
Gambar 8-16 – Konversi Hubung Y- Δ	61
Gambar 8-17 – Rangkaian Tiga Fasa Hubung Y-Y	61
Gambar 8-18 – Percobaan Hubung Wye	62
Gambar 8-19 – Percobaan Hubung Δ	63





DAFTAR TABEL

Tabel 1-1 – Rumus Kuantitas Rangkaian Listrik.....	11
Tabel 1-2 – Komponen Dasar Rangkaian Listrik	14
Tabel 6-1 – Kondisi Kesimetrisan dan Resiprositas pada Setiap Parameter	39
Tabel 8-1 – Karakteristik Hubung Wye Delta	58





MODUL 1 | PRE-TEST – DASAR RANGKAIAN LISTRIK

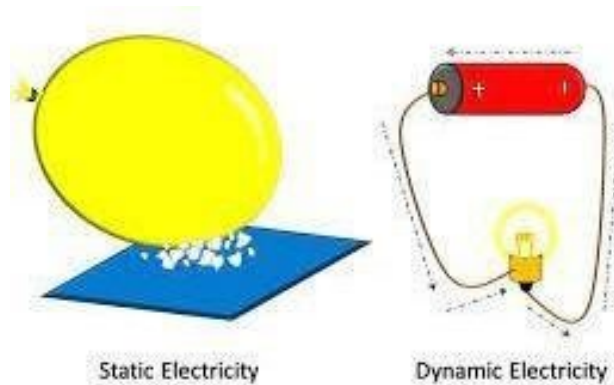
1.1. TUJUAN PRAKTIKUM

- Memahami pengertian kelistrikan
- Mengetahui penyusun dasar kelistrikan
- Memahami hukum ohm dan implementasinya
- Memahami pengertian rangkaian listrik
- Mengetahui komponen dasar rangkaian listrik beserta fungsinya
- Memahami bahaya kelistrikan dan mitigasinya
- Memahami dasar penggunaan alat pengukuran listrik

1.2. DASAR TEORI

1.2.1. Pengertian Kelistrikan

Listrik atau kelistrikan adalah peristiwa perpindahan elektron. Elektron mengandung muatan yang dapat “dipanen” untuk melakukan kerja. Berbagai komponen yang membutuhkan listrik seperti bola lampu, speaker, telepon genggam, laptop, dan lain-lain, membutuhkan pergerakan elektron untuk bekerja. Sehingga pada esensinya, pembicaraan mengenai kelistrikan berarti membicarakan mengenai peristiwa perpindahan elektron.



Gambar 1-1 – Listrik Statis dan Listrik Dinamis

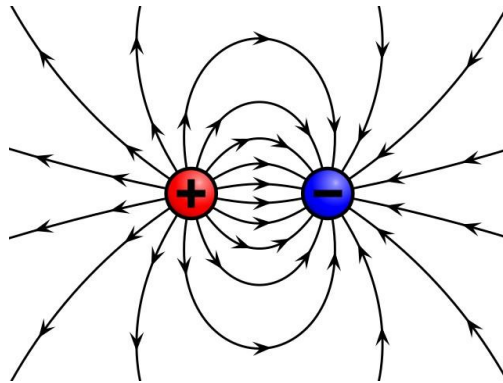
Ada dua jenis fenomena kelistrikan, yaitu listrik statis dan listrik dinamis. Listrik statis adalah listrik yang tidak mengalir (diam) dan perpindahan arusnya terbatas, sedangkan listrik dinamis adalah listrik yang bergerak atau mengalir. Listrik statis dihasilkan dari gesekan benda, sedangkan listrik dinamis dihasilkan dari sumber listrik atau pembangkit listrik. Listrik statis tidak bisa dialirkan dalam suatu rangkaian, sedangkan listrik dinamis bisa mengalir dalam suatu rangkaian listrik.





1.2.2. Penyusun Dasar Kelistrikan

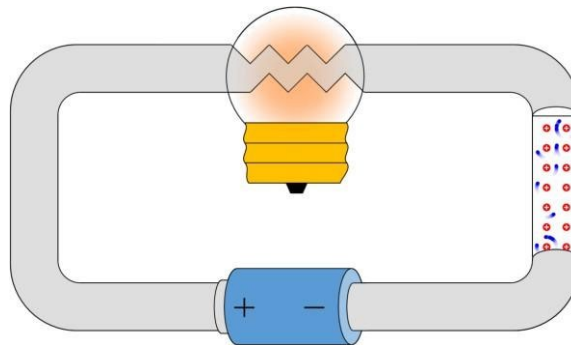
1.2.2.1. Muatan Listrik



Gambar 1-2 – Muatan Listrik

Muatan (Q) adalah satuan terkecil dari atom atau sub bagian dari atom, diukur dengan Coulomb (C). Coulomb adalah besaran yang besar untuk muatan. **Pada setiap Coulomb muatan, terdapat 6.24×10^{18} elektron.** Berdasarkan penelitian, satu-satunya muatan yang terdapat di alam secara alami adalah muatan listrik $e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$. Adapun hukum kekekalan energi mengatakan bahwa muatan tidak dapat dibuat maupun dimusnahkan, hanya dapat ditransfer. Sehingga penjumlahan aljabar muatan listrik pada sistem tidak berubah.

1.2.2.2. Arus Listrik



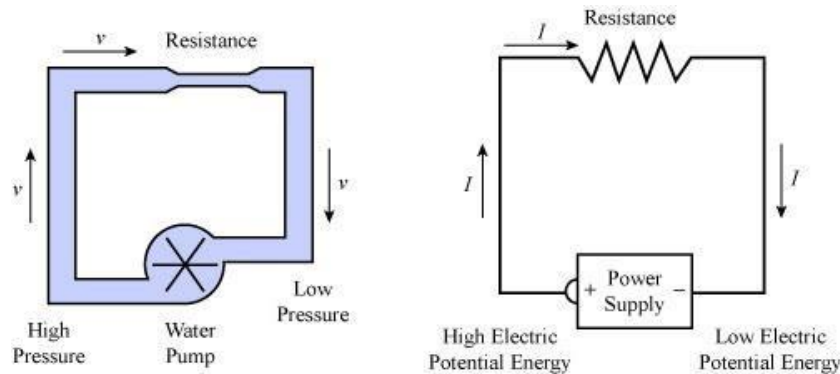
Gambar 1-3 – Arus Listrik

Arus listrik (i) adalah jumlah muatan listrik yang mengalir per satuan waktu. Arus listrik juga dapat dibahasakan dengan persamaan $i = dQ/dt$, dengan satuan arus listrik adalah Ampere (A). Satu Ampere berarti mengalir satu Coulomb muatan tiap satu detik.





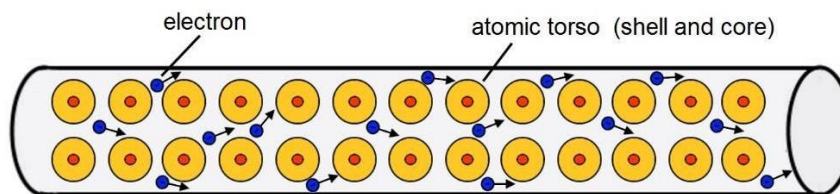
1.2.2.3. Tegangan Listrik (Beda Potensial)



Gambar 1-4 – Tegangan Listrik

Tegangan listrik (V) adalah perubahan usaha untuk memindahkan muatan listrik 1 Coulomb dan diukur dalam satuan Volt (V). Secara matematis dapat dibahasakan sebagai $V = dW/dQ$, dengan W adalah usaha dan Q adalah muatan listrik.

1.2.2.4. Resistansi Listrik



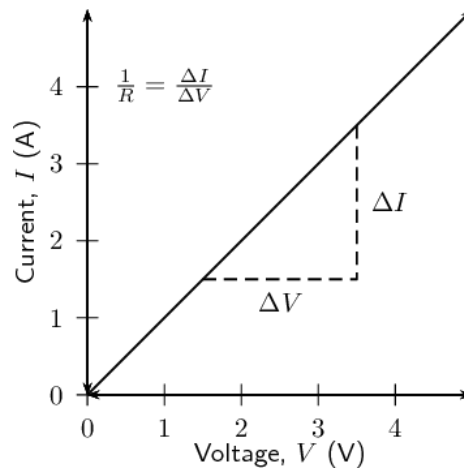
Gambar 1-5 – Resistansi atau Tahanan Listrik

Resistansi Listrik (R) adalah kemampuan bahan untuk membatasi arus listrik, dan diberi satuan Ohm (Ω). Resistansi juga dapat diartikan sebagai tabrakan antara elektron bebas yang mengalir pada penghantar dengan muatan tak bebas yang ada pada ikatan atom bahan. Nilai resistansi bergantung pada resistivitas bahan, panjang, dan luas penampang bahan. Resistansi dapat dirumuskan sebagai $R = \rho l/A$, dengan ρ adalah resistivitas bahan, l adalah panjang bahan dan A adalah luas penampang bahan.

1.2.3. Hukum Ohm

Hubungan dasar yang dapat digunakan untuk mendeskripsikan fenomena kelistrikan pada sebuah rangkaian listrik salah satunya adalah hukum Ohm, yang ditemukan oleh Georg Simon Ohm, seorang peneliti Bavaria pada tahun 1827 di buku berjudul “Die galvanische Kette, mathematisch bearbeitet” atau “The Galvanic Circuit Investigated Mathematically”.





Gambar 1-6 – Grafik Hukum Ohm (Hubungan Arus terhadap Tegangan)

Hukum Ohm menyatakan bahwa arus sebanding dengan tegangan tetapi berbanding terbalik dengan hambatan. Definisi lain dari Hukum Ohm menyatakan bahwa tegangan pada resistor sebanding dengan arus yang mengalir melaluinya. Hukum Ohm menyatakan bahwa beda potensial (tegangan) antara dua titik sebanding dengan arus yang mengalir melalui resistor, dan juga sebanding dengan resistansi rangkaian. Ringkasnya, rumus hukum Ohm: **$V = iR$** .

1.2.4. Pengertian Rangkaian Listrik

Rangkaian Listrik adalah sebuah jalur atau rangkaian sehingga elektron dapat mengalir dari sumber tegangan atau arus listrik. Proses perpindahan elektron inilah yang kita kenal sebagai listrik (dinamis). Elektron dapat mengalir pada material penghantar arus listrik yakni konduktor. Oleh karena itu kabel yang dipakai pada rangkaian listrik terbuat dari tembaga yang dapat menghantarkan arus listrik.



Gambar 1-7 – Rangkaian Listrik Sederhana



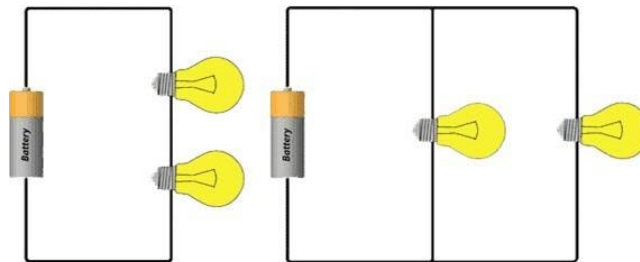


LABORATORIUM TEGANGAN TINGGI DAN PENGUKURAN LISTRIK

MODUL PRAKTIKUM RANGKAIAN LISTRIK

Gedung Departemen Teknik Elektro, Lt.2
Kampus Baru UI, Depok 16424

Pada sebuah rangkaian listrik sederhana, dipasang sebuah sumber daya berupa sumber tegangan atau arus (misalnya baterai) yang dikoneksikan dengan beban yang akan menyerap daya dari sumber daya tersebut untuk berfungsi, contohnya seperti bola lampu. Beban-bekan ini dapat dikoneksikan secara seri, yaitu beban-bekan dikoneksikan satu sama lain secara bersebelahan atau sejajar, dan paralel, yaitu beban-bekan disusun secara bertingkat atau bercabang.



Gambar 1-8 – Hubungan Beban Seri dan Paralel

Setiap beban-bekan memiliki tahanan atau resistansi internalnya sendiri, sehingga akan terjadi disipasi daya yang akan meregulasikan jumlah arus atau tegangan pada beban, yang dapat dihitung dengan menggunakan hukum Ohm. Dengan menggunakan turunan hukum Ohm pula, akan ditemukan beberapa hubungan resistansi pada konfigurasi seri dan paralel yaitu sebagai berikut:

Kuantitas	Seri	Paralel
Tegangan	$V_{tot} = V_1 + V_2 + \dots$	$V_{tot} = V_1 = V_2 = \dots$
Arus	$I_{tot} = I_1 = I_2 = \dots$	$I_{tot} = I_1 + I_2 + \dots$
Resistansi	$R_{tot} = R_1 + R_2 + \dots$	$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$

Tabel 1-1 – Rumus Kuantitas Rangkaian Listrik

1.2.5. Komponen Dasar Rangkaian Listrik

Beberapa komponen dasar dalam sebuah rangkaian listrik berikut simbol-simbol pada rangkaian dan deskripsinya dirangkum dalam tabel berikut.

Komponen	Simbol Rangkaian	Fungsi
Kabel (Wire)		Sebagai konduktor yang menghantarkan arus listrik
Kabel Terkoneksi		Merepresentasikan koneksi antara dua konduktor, dengan titik dot adalah titik percabangan.



LABORATORIUM TEGANGAN TINGGI DAN PENGUKURAN LISTRIK

MODUL PRAKTIKUM RANGKAIAN LISTRIK

Gedung Departemen Teknik Elektro, Lt.2
Kampus Baru UI, Depok 16424

Kabel Tak Terkoneksi		Merepresentasikan dua kabel yang tidak terkoneksi.
Terminal		Merepresentasikan titik mulai dan titik akhir.
Sumber Tegangan AC		Merepresentasikan sumber tegangan bolak balik (Alternating Current).
Sumber Tegangan DC		Merepresentasikan sumber tegangan searah (Direct Current).
Sumber Arus		Merepresentasikan sumber arus independen (yang tidak bergantung pada parameter lain).
Sumber Arus Dependen		Merepresentasikan sumber arus yang dependen terhadap parameter lain seperti tegangan atau arus tertentu.
Sumber Tegangan Dependen		Merepresentasikan sumber tegangan yang dependen terhadap parameter lain seperti tegangan atau arus tertentu.
Baterai Satu Sel		Memberikan suplai daya kepada rangkaian listrik.
Baterai Multi Sel		Gabungan beberapa sel baterai yang dapat menciptakan tegangan baterai yang lebih tinggi.
Ground/Tanah		Titik pada rangkaian yang ekuivalen secara teoritis sebagai titik 0V, atau potensial dari tanah/bumi yang konduktif secara ideal.

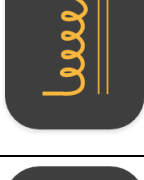
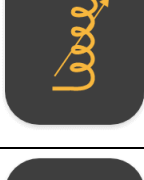
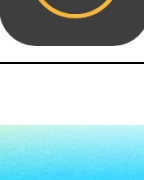




LABORATORIUM TEGANGAN TINGGI DAN PENGUKURAN LISTRIK

MODUL PRAKTIKUM RANGKAIAN LISTRIK

Gedung Departemen Teknik Elektro, Lt.2
Kampus Baru UI, Depok 16424

Resistor		Komponen yang digunakan untuk meregulasikan jumlah arus yang mengalir di dalam suatu rangkaian listrik.
Rheostat		Sebuah resistor yang dapat diatur-aturlah nilainya.
Kapasitor		Sebuah komponen listrik yang dapat menyimpan energi listrik dalam bentuk muatan listrik, memiliki bentuk besar dengan kapasitas yang kecil, dan digunakan pada rangkaian DC dan AC.
Kapasitor Polar		Kapasitor yang terpolarisasi, memiliki bentuk yang kecil namun tinggi dalam kapasitansinya, digunakan pada rangkaian DC dan dapat difungsikan sebagai filter sinyal.
Kapasitor Variabel		Kapasitor yang dapat diubah-ubah nilai kapasitansinya.
Induktor (Inti Besi)		Sebuah komponen yang digunakan untuk menyimpan energi listrik dalam bentuk medan magnet.
Induktor Variabel		Induktor yang dapat diubah-ubah nilai induktansinya.
Dioda		Digunakan sebagai penyearah arus yang menggunakan prinsip PN junction, sehingga arus listrik hanya dapat mengalir pada satu arah tertentu.
Photodioda		Komponen yang digunakan untuk mendeteksi energi cahaya dan mengubahnya menjadi arus maupun tegangan melalui mekanisme efek fotoelektrik.





LABORATORIUM TEGANGAN TINGGI DAN PENGUKURAN LISTRIK

MODUL PRAKTIKUM RANGKAIAN LISTRIK

Gedung Departemen Teknik Elektro, Lt.2
Kampus Baru UI, Depok 16424

LED (Light Emitting Diode)		Sebuah dioda yang akan memancarkan energi dalam bentuk cahaya dibandingkan panas pada dioda konvensional.
Operational Amplifier (Op-Amp)		Komponen rangkaian listrik yang terdiri atas berbagai susunan komponen-komponen elektronika lainnya seperti Dioda dan Transistor, yang berfungsi untuk mengamplifikasi sinyal input pada outputnya.
Transformer		Alat kelistrikan yang dapat mengirimkan energi pada suatu rangkaian ke rangkaian lain melalui induksi elektromagnetik, dan sering digunakan untuk meningkatkan atau menurunkan tegangan atau listrik AC.
Lampu		Sebuah contoh beban pada rangkaian listrik, dalam hal ini mengonversi energi listrik menjadi energi cahaya.
Voltmeter		Digunakan untuk mengukur tegangan listrik atau beda potensial, dan dibedakan berdasarkan jenis listrik yang digunakan (AC/DC).
Ammeter		Digunakan untuk mengukur arus listrik, dan dibedakan berdasarkan jenis listrik yang digunakan (AC/DC)
Galvanometer		Ammeter yang sangat sensitif dan digunakan untuk mengukur arus listrik yang sangat kecil, biasanya $\leq 1\text{mA}$.
Ohmmeter		Alat ukur yang digunakan untuk mengukur besar tahanan suatu komponen, dan tersedia di banyak multimeter.
Wattmeter		Alat ukur yang digunakan untuk mengukur daya aktif yang didisipasikan pada suatu komponen atau bagian pada rangkaian listrik.

Tabel 1-2 – Komponen Dasar Rangkaian Listrik¹

¹ Hewes, J. (2020). Electronics Club - Circuit Symbols. Electronicsclub.info.
<https://electronicsclub.info/circuitsymbols.htm>



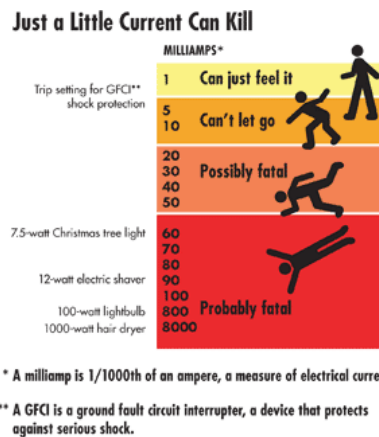
LABORATORIUM TEGANGAN TINGGI DAN PENGUKURAN LISTRIK

MODUL PRAKTIKUM RANGKAIAN LISTRIK

Gedung Departemen Teknik Elektro, Lt.2
Kampus Baru UI, Depok 16424

1.2.6. Bahaya Kelistrikan

Tegangan listrik dan arus listrik yang tersedia baik di tempat bisnis dan rumah biasa memiliki daya yang cukup untuk menyebabkan kematian karena tersengat listrik. Bahkan mengganti bola lampu tanpa mencabut colokan lampu dapat berbahaya karena bersentuhan dengan bagian soket yang "panas", "berenergi", atau "hidup" dapat membunuh seseorang.



Gambar 1-9 – Infografis Bahaya Arus Listrik

Bodily effect	Gender	DC	60 Hz AC	10 kHz AC
Slight sensation at point(s) of contact	Men	1 mA	0.4 mA	7 mA
	Women	0.6 mA	0.3 mA	5 mA
Threshold of bodily perception	Men	5.2 mA	1.1 mA	12 mA
	Women	3.5 mA	0.7 mA	8 mA
Pain, with voluntary muscle control maintained	Men	62 mA	9 mA	55 mA
	Women	41 mA	6 mA	37 mA
Pain, with loss of voluntary muscle control	Men	76 mA	16 mA	75 mA
	Women	51 mA	10.5 mA	50 mA
Severe pain, difficulty breathing	Men	90 mA	23 mA	94 mA
	Women	60 mA	15 mA	63 mA
Possible heart fibrillation after three seconds	Men	500 mA	100 mA	
	Women	500 mA	100 mA	

Gambar 1-10 – Tabel efek yang ditimbulkan Arus Listrik terhadap Tubuh Manusia berdasarkan jenis kelamin, jenis arus listrik, (dan frekuensinya)

Orang-orang terluka ketika mereka menjadi bagian dari sirkuit listrik. Manusia lebih konduktif daripada bumi (tanah tempat kita berdiri) yang berarti jika tidak ada jalan lain yang mudah, listrik akan mencoba mengalir melalui tubuh kita. Ada empat jenis cedera utama: sengatan listrik (fatal), sengatan listrik karena tersentuh konduktor listrik, luka bakar karena busur listrik, dan jatuh karena kontraksi otot dan reaksi kaget atas kejutan listrik.

Beberapa saran pen jagaan keselamatan umum untuk bekerja dengan atau di dekat listrik adalah sebagai berikut:



LABORATORIUM TEGANGAN TINGGI DAN PENGUKURAN LISTRIK MODUL PRAKTIKUM RANGKAIAN LISTRIK

Gedung Departemen Teknik Elektro, Lt.2
Kampus Baru UI, Depok 16424

- Periksa peralatan terhubung kabel dan steker portabel, kabel ekstensi, batang listrik, dan perlengkapan listrik dari kerusakan atau keausan sebelum digunakan.
- Gunakan kabel ekstensi atau peralatan yang sesuai dengan tingkat arus listrik atau watt yang Anda gunakan.
- Ketahuilah bahwa stopkontak atau kabel yang hangat atau panas yang tidak biasa mungkin merupakan tanda bahwa ada kondisi kabel yang tidak aman. Cabut semua kabel atau kabel ekstensi dari stopkontak ini dan jangan gunakan sampai teknisi listrik yang memenuhi syarat telah memeriksa kabelnya.
- Risiko sengatan listrik lebih besar di area yang basah atau lembab. Jangan gunakan stop kontak atau kabel yang memiliki kabel terbuka.
- Ketahui dimana panel dan pemutus sirkuit berada dalam keadaan darurat dengan memberi labeling yang jelas, tidak menghalangi akses ke panel dan pemutus sirkuit atau kotak sekering, serta mempertahankan etika dan disiplin ruang kerja yang bersih dari bahan asing seperti buku, kertas, dan pakaian.

Mengenai pekerjaan dengan menggunakan perkakas listrik juga kabel listrik, beberapa hal yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut:

Matikan semua alat sebelum menghubungkannya ke catu daya.

- Putuskan sambungan dan kunci catu daya sebelum menyelesaikan tugas pekerjaan pemeliharaan atau melakukan penyesuaian.
- Jangan mengabaikan sakelar hidup/mati dan mengoperasikan alat dengan menyambungkan dan melepaskan daya
- Jangan bersihkan alat dengan pelarut yang mudah terbakar atau beracun.
- Jauhkan kabel daya dari alat selama penggunaan.
- Tangguhkan kabel ekstensi sementara selama digunakan di atas gang atau area kerja untuk menghilangkan bahaya tersandung atau tersandung.
- Jangan membawa atau mengangkat peralatan listrik dengan menggunakan kabel listrik.

Listrik statis, utamanya percikan api juga dapat menyebabkan ledakan di area dimana cairan yang mudah terbakar berada, dan oleh karena itu diperlukan pentanahan yang tepat untuk peralatan dan wadah. Beberapa sumber potensial percikan api yang umum adalah:

- Pembuatan dan perusakan rangkaian listrik saat rangkaian diberi energi.
- Tangki dan wadah logam.
- Celemek lab plastik.





LABORATORIUM TEGANGAN TINGGI DAN PENGUKURAN LISTRIK MODUL PRAKTIKUM RANGKAIAN LISTRIK

Gedung Departemen Teknik Elektro, Lt.2
Kampus Baru UI, Depok 16424

- Klem logam atau kawat yang digunakan dengan selang non-konduktor.
- Tabung gas bertekanan tinggi saat dikeluarkan.

1.2.7. Tata Cara Penggunaan Alat Pengukuran Kelistrikan Dasar

Alat pengukuran kelistrikan dasar terdiri dari dua alat, yaitu Voltmeter serta Ammeter. Sesuai namanya, Voltmeter digunakan untuk mengukur besar dari tegangan listrik antara dua titik tertentu, sedangkan Ammeter digunakan untuk mengukur arus listrik yang mengalir pada suatu komponen kelistrikan. Pada modul ini, kita akan mempelajari mengenai Voltmeter serta Amperemeter analog serta tata cara penggunaannya.

1.2.7.1. Voltmeter



Gambar 1-11 – Contoh Voltmeter Analog

Voltmeter dihubungkan secara paralel pada komponen yang diukur dan Voltmeter analog memiliki beberapa port yang dapat kita gunakan, seperti pada Gambar 1-11:

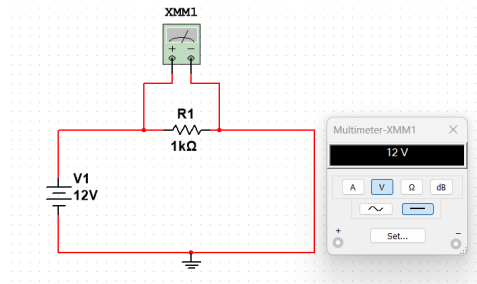
- Port bertanda positif digunakan untuk menyambungkan probe yang dipasangkan pada salah satu terminal komponen yang hendak diukur.
- Port dengan beberapa angka seperti 3, 30, 100, dan 300 (nilai angka dapat bervariasi pada alat yang berbeda), digunakan untuk menyambungkan probe yang dipasangkan pada terminal lain pada komponen yang hendak diukur. Nilai pada port tersebut menentukan jangkauan maksimal nilai yang terukur pada Voltmeter.
- Untuk menentukan nilai yang terbaca, kita perlu mencatat nilai yang ditunjukkan oleh jarum penunjuk, kemudian dibagi dengan nilai maksimal yang terdapat pada skala Voltmeter, kemudian dikalikan dengan nilai pada port yang kita gunakan. Dimana jika dirumuskan maka akan seperti berikut:





$$\text{Voltage Value} = \frac{\text{Pointed Value}}{\text{Maximal Value on Scale}} \times \text{Value on Port}$$

Untuk memperjelas cara penggunaan sebuah Voltmeter, berikut adalah sebuah diagram sederhana pengukuran tegangan pada sebuah resistor:



Gambar 1-12 – Diagram Penggunaan Voltmeter

1.2.7.2. Ammeter



Gambar 1-13 – Contoh Amperemeter Analog

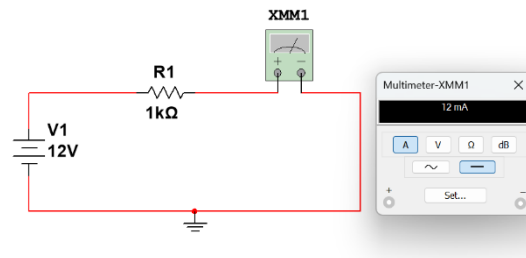
Amperemeter (atau biasa juga disebut sebagai ammeter) dihubungkan secara seri pada rangkaian yang hendak diukur arusnya. Ammeter memiliki beberapa port yang dapat kita gunakan, yaitu:

- Port bertanda positif digunakan untuk menyambungkan probe yang dipasangkan pada salah satu terminal komponen yang hendak diukur.
- Port dengan beberapa angka seperti 100 mA, 300 mA, 1A, dan 3A (nilai angka dapat bervariasi pada alat yang berbeda), digunakan untuk menyambungkan probe yang dipasangkan pada terminal lain pada komponen yang hendak diukur. Nilai pada port tersebut menentukan jangkauan maksimal nilai yang terukur pada Ammeter.
- Untuk menentukan nilai yang terbaca, kita perlu mencatat nilai yang ditunjukkan oleh jarum penunjuk, kemudian dibagi dengan nilai maksimal yang terdapat pada skala Ammeter, kemudian dikalikan dengan nilai pada port yang kita gunakan. Dimana jika dirumuskan maka akan seperti berikut:



$$\text{Current Value} = \frac{\text{Pointed Value}}{\text{Maximal Value on Scale}} \times \text{Value on Port}$$

Untuk memperjelas cara penggunaan sebuah Ammeter, berikut adalah sebuah diagram sederhana pengukuran arus pada sebuah resistor:



Gambar 1-14 – Diagram Penggunaan Amperemeter





MODUL 2 | DASAR KELISTRIKAN DAN ANALISIS MESH

2.1. TUJUAN PRAKTIKUM

- Praktikan dapat mengetahui pengertian listrik, arus, dan tegangan.
- Praktikan dapat mengetahui elemen-elemen listrik.
- Praktikan dapat mengetahui dan memahami hukum dasar kelistrikan.
- Praktikan dapat menggunakan analisis **MESH** dalam suatu rangkaian listrik.
- Praktikan dapat memahami penggunaan **SUPERMESH**.
- Praktikan dapat menyederhanakan penyelesaian persamaan tegangan dan arus dari suatu rangkaian listrik.

2.2. DASAR TEORI

2.2.1. Dasar Kelistrikan

Listrik merupakan salah satu bentuk energi yang diakibatkan adanya perpindahan muatan listrik. Dalam membahas dasar kelistrikan, terdapat kaitan erat dengan tegangan, arus dan hambatan.

Tegangan (V) didefinisikan sebagai perubahan usaha yang dibutuhkan untuk memindahkan muatan sebesar 1 C, yang dapat dirumuskan dalam suatu persamaan

$$V = \frac{dW}{dQ} \text{ (Volt)}$$

Arus (I) didefinisikan sebagai banyaknya muatan yang mengalir per satuan waktu, yang dapat dirumuskan dalam suatu persamaan

$$I = \frac{dQ}{dt} \text{ (Ampere)}$$

Syarat arus dapat mengalir yaitu adanya sumber tegangan, adanya hambatan dan adanya kawat penghantar (rangkai tertutup).

Hambatan (resistansi) merupakan parameter setiap bahan dalam membatasi arus listrik. Resistansi dapat juga didefinisikan sebagai tabrakan antara elektron bebas (yang mengalir pada penghantar) dengan muatan tak bebas yang ada di ikatan atom bahan. Besarnya resistansi bergantung pada bahan jenis, panjang dan luas penampang bahan tersebut.

Resistansi dapat dirumuskan dalam suatu persamaan





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

2.2.2. Elemen Listrik

Elemen listrik dapat dibagi menjadi dua jenis berdasarkan sifat keaktifannya, yaitu elemen aktif dan elemen pasif.

Elemen aktif memiliki ciri-ciri yaitu dapat menyuplai daya, dapat mengontrol arus/tegangan pada rangkaian, serta memiliki fungsi gain. Contohnya adalah baterai, aki, diode dan transistor.

Elemen pasif memiliki ciri-ciri yaitu hanya dapat menyerap daya, tidak dapat mengontrol arus/tegangan, serta tidak memiliki fungsi gain. Contohnya adalah resistor, induktor dan kapasitor.

Sumber daya dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu sumber bebas (independent sources) dan sumber tak bebas (dependent sources).

- *Independent Sources*: suatu sumber yang besaran dan sifatnya tidak dipengaruhi oleh elemen lainnya.
- *Dependent Sources*: suatu sumber yang besaran dan sifatnya dipengaruhi oleh elemen lainnya.

Sumber dependent dibagi menjadi empat jenis, yaitu:

- *Voltage-Controlled Voltage Source* (VCVS)
- *Voltage-Controlled Current Source* (VCCS)
- *Current-Controlled Current Source* (CCCS)
- *Current-Controlled Voltage Source* (CCVS)

2.2.3. Hukum-Hukum Dasar

2.2.3.1. Hukum Ohm

“Besarnya arus listrik (I) yang mengalir melalui sebuah penghantar atau Konduktor akan berbanding lurus dengan beda potensial / tegangan (V) yang diterapkan kepadanya dan berbanding terbalik dengan hambatannya (R)” atau dapat juga dikatakan bahwa tegangan yang ada di suatu penghambat berbanding lurus dengan arus yang ada di penghambat tersebut.

Hukum Ohm dirumuskan dalam suatu persamaan:

$$V = I \cdot R$$

Dengan V adalah tegangan, I adalah arus yang mengalir dan R adalah hambatan dalam suatu rangkaian.





2.2.3.2. Hukum Kirchoff I (*Kirchoff's Current Law, KCL*)

“Jumlah kuat arus yang masuk dalam titik percabangan sama dengan jumlah kuat arus yang keluar dari titik percabangan”

Hukum Kirchoff I dirumuskan dalam suatu persamaan:

$$\Sigma I_{masuk} = \Sigma I_{keluar}$$

2.2.3.3. Hukum Kirchoff II (*Kirchoff's Voltage Law, KVL*)

“Dalam rangkaian tertutup, jumlah aljabar GGL (E) dan jumlah penurunan potensial sama dengan nol”

Hukum Kirchoff II dirumuskan dalam suatu persamaan:

$$\Sigma V = 0$$

2.2.4. Analisis Mesh

Pada analisis *Mesh*, perlu diperhatikan beberapa hal, yaitu:

- Rangkaian harus sebidang
- Elemen aktif yang digunakan merupakan sumber tegangan
- Elemen pasif yang digunakan merupakan impedansi
- Menggunakan hukum Ohm dan Kirchoff II
- Menentukan arus setiap rangkaian tertutup
- Membuat persamaan tegangan

Cara mendapatkan persamaan *Mesh*:

- Tentukan harga setiap elemen dan sumber
- Buat arus Mesh searah jarum jam pada setiap Mesh
- Jika rangkaian hanya mengandung sumber tegangan, gunakan hukum tegangan Kirchoff mengelilingi setiap Mesh
- Jika rangkaian mengandung sumber arus, untuk sementara ubahlah rangkaian yang diberikan dengan mengganti setiap sumber seperti itu dengan rangkaian Open-Circuit. Dengan menggunakan arus – arus Mesh yang ditentukan ini, pakailah hukum Kirchoff II mengelilingi setiap Mesh atau super Mesh di dalam rangkaian ini.

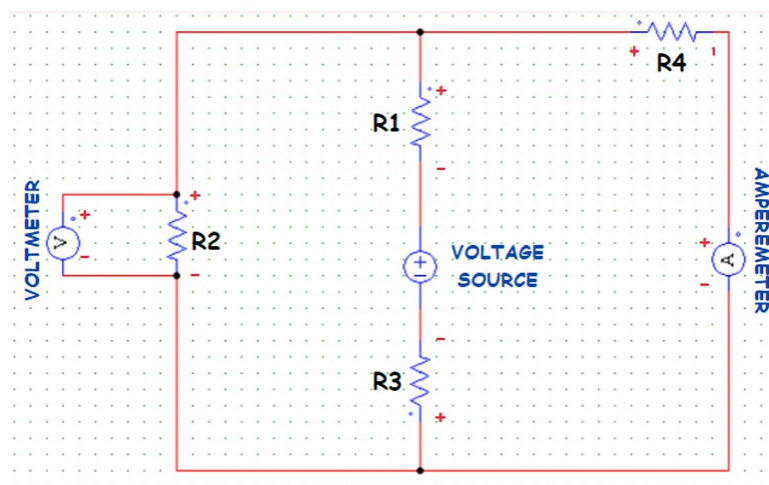




2.3. PERALATAN PERCOBAAN

- Sumber Tegangan DC = 1 buah
- Voltmeter DC = 1 buah
- Ammeter DC = 1 buah
- Resistansi = 4 buah
- Kabel

2.4. RANGKAIAN PERCOBAAN



Gambar 2-1 – Rangkaian Percobaan Analisis Mesh

2.5. PROSEDUR PERCOBAAN

- Susunlah rangkaian percobaan seperti pada Gambar 2-1
- Catat nilai tegangan di voltmeter
- Lakukan hal yang sama untuk variasi sumber tegangan sesuai dengan table percobaan





MODUL 3 | LINEARITAS DAN ANALISIS NODE

3.1. TUJUAN PRAKTIKUM

- Praktikan dapat menyelidiki rangkaian yang bersifat linear
- Praktikan dapat menggunakan analisis **NODE** dalam suatu rangkaian listrik
- Praktikan dapat memahami penggunaan **SUPERNODE**
- Praktikan dapat menyederhanakan penyelesaian persamaan tegangan dan arus dari suatu rangkaian listrik

3.2. DASAR TEORI

3.2.1. Linearitas

Suatu fungsi atau persamaan matematis dapat dikatakan linear apabila kedua kuantitas saling berbanding lurus dengan satu sama lain. Ada dua cara untuk membuktikan sebuah persamaan/fungsi linear, yaitu aditivitas dan homogenitas.

$$\text{Aditivitas} = f(x + y) = f(x) + f(y)$$

$$\text{Homogenitas} = f(ax) = a f(x) \text{ untuk semua } a$$

Rangkaian linear dapat dibentuk dari sumber-sumber bebas, sumber tak bebas linear dan elemen linear. Besarnya tegangan yang diberikan pada suatu rangkaian linear akan sebanding dengan besarnya arus yang mengalir dalam rangkaian tersebut.

Contoh dari elemen linear adalah resistor, inductor, dan kapasitor. Sedangkan contoh dari non-linear ialah BJT, Dioda, Transistor.

3.2.2. Analisis Node

Pada analisis *Node*, perlu diperhatikan beberapa, yaitu:

- Elemen aktif yang digunakan merupakan sumber arus
- Elemen pasif yang digunakan merupakan admitansi
- Menggunakan hukum Ohm dan Kirchoff I
- Menentukan tegangan tiap NODE
- Membuat persamaan arus

Cara untuk mendapatkan persamaan *Node*:





LABORATORIUM TEGANGAN TINGGI DAN PENGUKURAN LISTRIK

MODUL PRAKTIKUM RANGKAIAN LISTRIK

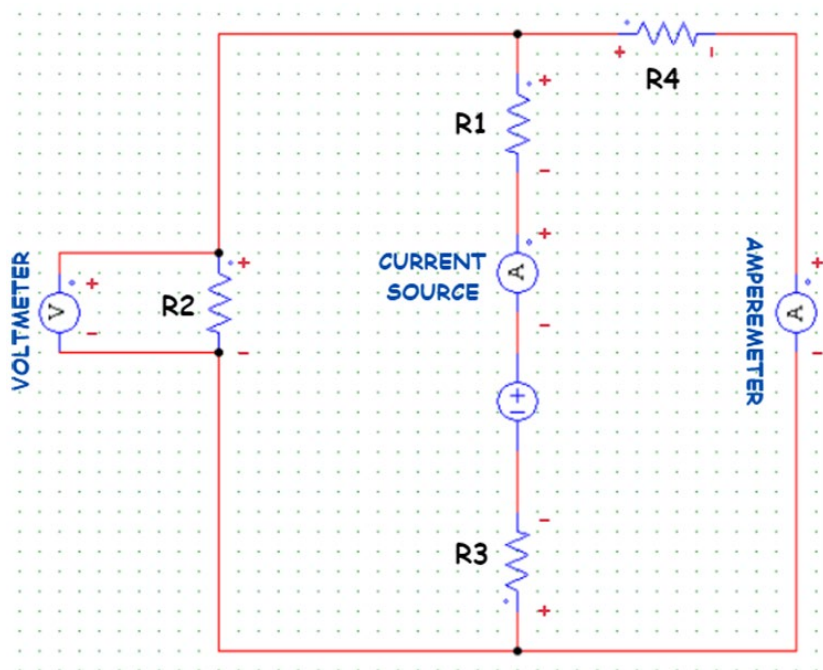
Gedung Departemen Teknik Elektro, Lt.2
Kampus Baru UI, Depok 16424

- Tunjukkan semua nilai elemen dan sumber. Setiap sumber arus harus mempunyai nilai referensinya.
- Pilih salah satu Node sebagai referensi. Tuliskan tegangan Node pada setiap Node yang besarnya diukur terhadap referensi.
- Jika hanya mengandung sumber arus, gunakan hukum Kirchoff I pada setiap Node non referensi.
- Jika rangkaian mengandung sumber tegangan, ubahlah sementara rangkaian yang diberikan dengan mengganti setiap sumber semacam itu dengan sebuah rangkaian Short-Circuit. Dengan menggunakan tegangan Node ke referensi yang ditetapkan. Pakailah hukum Kirchoff I pada setiap Node atau Supernode dalam rangkaian yang diubah ini.

3.3. PERALATAN PERCOBAAN

- Sumber Tegangan DC = 1 buah
- Voltmeter DC = 1 buah
- Ammeter DC = 2 buah
- Resistansi = 4 buah
- Kabel

3.4. RANGKAIAN PERCOBAAN



Gambar 3-1 – Rangkaian Percobaan Analisis Node





3.5. PROSEDUR PERCOBAAN

- Susunlah rangkaian percobaan seperti pada Gambar 3-1
- Ubahlah nilai pada sumber tegangan sehingga nilainya sesuai dengan table percobaan
- Catatlah nilai tegangan dan arus pada masing-masing voltmeter dan ammeter sesuai pada
- Lakukanlah hal yang sama untuk variasi nilai sumber tegangan sesuai dengan tabel percobaan





MODUL 4 | ANALISIS SUPERPOSISI DAN THEVENIN

4.1. TUJUAN PRAKTIKUM

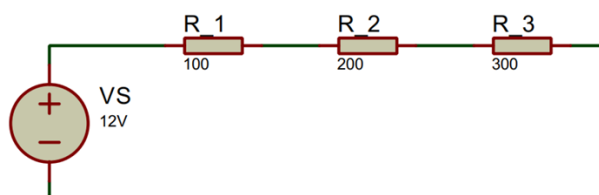
- Memahami aplikasi dari metode voltage & current divider.
- Mampu menganalisis suatu rangkaian listrik dengan teorema superposisi.
- Memahami penggunaan teorema Thevenin pada suatu rangkaian.
- Mampu menyederhanakan suatu rangkaian menggunakan teorema Thevenin.

4.2. DASAR TEORI

Dalam kelistrikan, terdapat dua buah metode yang dapat digunakan untuk mencari parameter listrik. Kedua metode ini disebut dengan metode voltage divider dan current divider. Berikut ini adalah penjelasan dari kedua metode tersebut:

4.2.1. Voltage Divider

Sesuai dengan namanya, voltage divider adalah rangkaian pembagi tegangan yang digunakan untuk mempermudah perhitungan untuk mencari nilai tegangan pada suatu rangkaian listrik tertutup yang disusun secara seri. Metode ini berguna untuk mencari nilai tegangan pada beban-beban yang terpasang seri karena nilainya yang berbeda-beda. Misalkan kita memiliki rangkaian yang terdiri atas satu sumber tegangan dan tiga resistor yang terpasang secara seri seperti pada Gambar 4-1:



Gambar 4-1 – Rangkaian Beban Seri Voltage Divider

Untuk menggunakan metode ini, pertama-tama kita perlu menerapkan KVL pada rangkaian sehingga diperoleh persamaan berikut:

$$-VS + IR_1 + IR_2 + IR_3 = 0$$

$$VS = IR_1 + IR_2 + IR_3$$

$$VS = I(R_1 + R_2 + R_3)$$

$$VS = IR_{eq}$$

$$I = \frac{VS}{R_{eq}}$$



Setelah itu kita tahu bahwa:

$$V = IR$$

Maka,

$$V_1 = IR_1$$

Substitusikan nilai I sehingga didapat

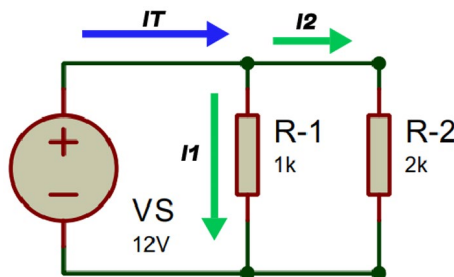
$$V_1 = \frac{VS}{R_{eq}} R_1$$

$$V_1 = \frac{VS}{R_1 + R_2 + R_3} R_1$$

$$V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} VS$$

4.2.2. Current Divider

Current divider adalah metode rangkaian pembagi arus listrik yang digunakan untuk mempermudah perhitungan untuk mencari nilai arus pada suatu rangkaian tertutup yang disusun secara paralel. Misalkan kita memiliki sebuah rangkaian listrik yang terdiri dari sebuah sumber tegangan dan dua buah resistor yang terpasang secara paralel seperti demikian:



Gambar 4-2 – Rangkaian Beban Paralel Current Divider

Pertama-tama, lakukan analisis node sehingga diperoleh persamaan:

$$I_T = I_1 + I_2$$

Setelah itu, kita tahu bahwa:

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

Maka,

$$I_T = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2}$$



Beban R_1 dan R_2 tersusun secara paralel sehingga memiliki nilai tegangan yang sama, maka:

$$I_T = \frac{VS}{R_1} + \frac{VS}{R_2}$$
$$I_T = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) VS$$

Nilai resistansi ekuivalen untuk rangkaian paralel adalah:

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

Maka:

$$I_T = \frac{1}{R_{eq}} VS$$
$$I_T = \frac{1}{R_1 || R_2} VS$$
$$VS = I_T (R_1 || R_2)$$
$$VS = I_T \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

Kita tahu bahwa:

$$I_1 = \frac{VS}{R_1}$$

Substitusikan nilai VS sehingga diperoleh:

$$I_1 = \frac{I_T \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \right)}{R_1}$$
$$I_1 = I_T \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

4.2.3. Superposisi

Di dalam setiap jaringan penahan linear yang mengandung beberapa sumber, tegangan atau arus yang melewati setiap tahanan atau sumber dapat dihitung dengan melakukan penjumlahan aljabar dari semua tegangan atau arus masing-masing yang dihasilkan oleh setiap sumber bebas yang bekerja sendiri, dengan semua tegangan bebas lain diganti oleh rangkaian hubung singkat dan semua sumber arus yang lain diganti oleh rangkaian terbuka. Misalkan kita memiliki sebuah rangkaian berikut:

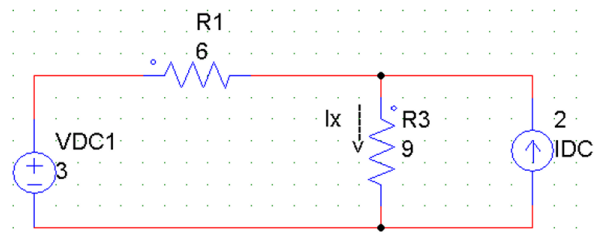




LABORATORIUM TEGANGAN TINGGI DAN PENGUKURAN LISTRIK

MODUL PRAKTIKUM RANGKAIAN LISTRIK

Gedung Departemen Teknik Elektro, Lt.2
Kampus Baru UI, Depok 16424

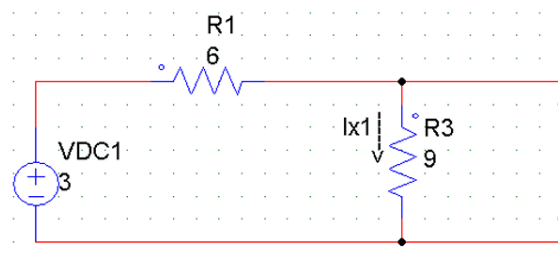


Gambar 4-3 – Rangkaian Asli Superposisi

Rangkaian di atas memiliki dua buah sumber, yaitu sumber tegangan dan sumber arus. Pertama-tama kita harus menghilangkan salah satu sumber terlebih dahulu sehingga rangkaian hanya memiliki satu sumber saja. Untuk sumber tegangan akan menjadi rangkaian hubung singkat (short circuit), sedangkan sumber arus menjadi rangkaian terbuka (open circuit). Hal ini didasari oleh Hukum Ohm demikian:

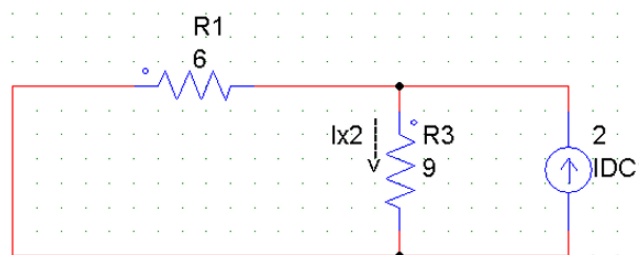
$$R = \frac{V}{I}$$

Ketika sumber tegangan dimatikan (bernilai 0), maka resistansinya akan bernilai 0 juga atau setara dengan rangkaian hubung singkat karena tidak adanya resistansi. Namun, ketika sumber arus dimatikan, nilai dari resistansi akan menjadi tak hingga (sangat besar) sehingga sumber arus dapat digantikan dengan rangkaian terbuka karena nilai resistansi yang sangat besar.



Gambar 4-4 – Sumber Arus Diganti dengan Open Circuit

Setelah itu, kita dapat mencari nilai I_{x1} hanya dengan menggunakan sumber tegangan. Selanjutnya, kita hilangkan sumber tegangan dan gunakan sumber arus.



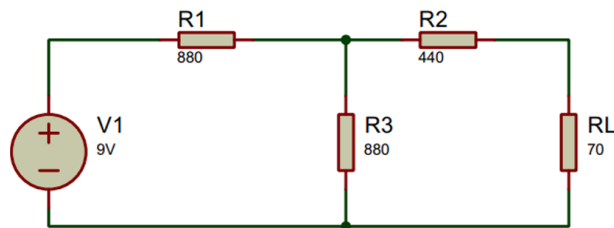
Gambar 4-5 – Sumber Tegangan Diganti dengan Short Circuit



Setelah itu, kita dapat mencair nilai I_{x_2} hanya dengan menggunakan sumber arus. Terakhir, jumlahkan nilai I_{x_1} dengan I_{x_2} sehingga diperoleh nilai I_x .

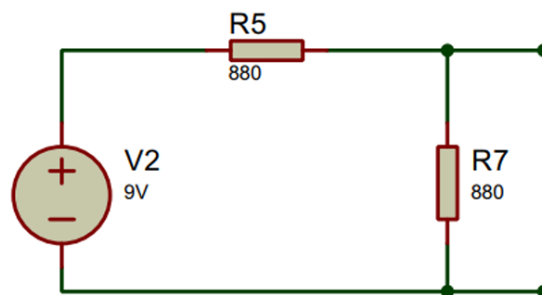
4.2.4. Teorema Thevenin

Teorema Thevenin merupakan sebuah metode untuk mengubah rangkaian kompleks yang terdiri atas beberapa sumber/beban menjadi sebuah rangkaian sederhana yang terdiri atas satu sumber tegangan yang terpasang seri dengan sebuah resistansi ekuivalen dan beban. Misalkan kita memiliki sebuah rangkaian berikut:



Gambar 4-6 – Rangkaian Asli Thevenin

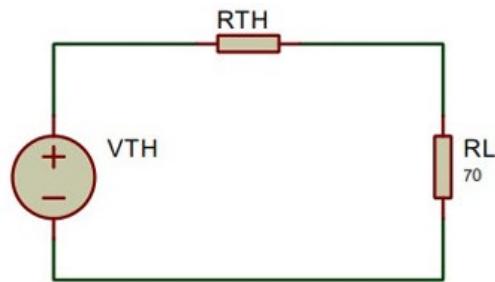
Untuk membuat rangkaian ekuivalen Thevenin, kita dapat melepas beban yang terpasang pada rangkaian kompleks dan kemudian mencari V open circuit atau tegangan yang paralel (V_{th}) terhadap rangkaian terbuka.



Gambar 4-7 – Beban R2 dan RL Dilepas dari Sistem

Setelah mendapatkan nilai V open circuit (V_{th}), kita dapat mencari nilai resistansi ekuivalen Thevenin (R_{th}) dengan cara mematikan sumber pada rangkaian. Sumber tegangan akan menjadi short circuit, sedangkan sumber arus akan menjadi open circuit.



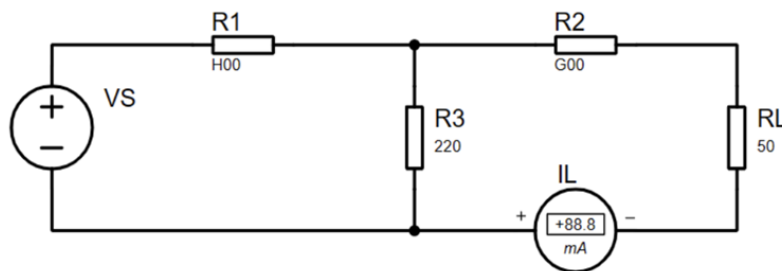


Gambar 4-8 – Rangkaian Pengganti Thevenin

4.3. PERALATAN PERCOBAAN

- Resistor = 4 buah
- Power Supply = 1 buah
- Multimeter = 1 buah
- Kabel

4.4. RANGKAIAN PERCOBAAN



Gambar 4-9 – Rangkaian Percobaan Thevenin

4.5. PROSEDUR PERCOBAAN

- Buatlah rangkaian seperti pada Gambar 4-9 dan catat nilai I_L ! Nilai sumber tegangan dan resistansi dapat divariasikan
- Matikan sumber tegangan, lepas beban R_L , dan cari nilai resistansi Thevenin (R_{th}), kemudian catat hasil yang didapatkan!
- Nyalakan sumber tegangan dan catat nilai pada multimeter untuk mendapatkan tegangan Thevenin (V_{Th})!





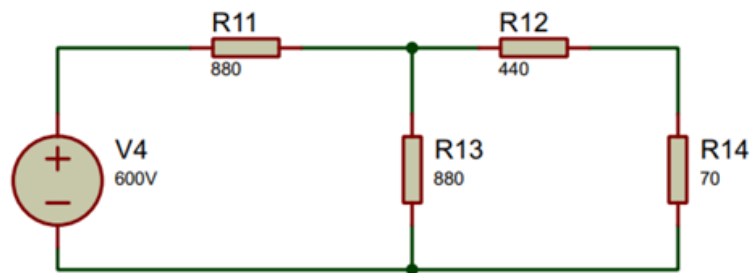
MODUL 5 | ANALISIS NORTON

5.1. TUJUAN PRAKTIKUM

- Memahami penggunaan teorema Norton
- Memahami penggunaan teorema Norton pada suatu rangkaian
- Mampu menyederhanakan suatu rangkaian menggunakan teorema Norton

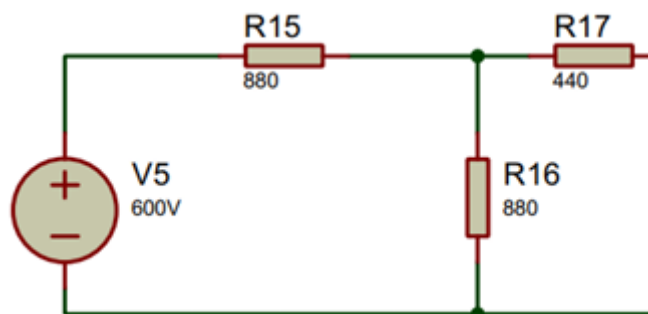
5.2. DASAR TEORI

Teorema Norton memiliki prinsip yang sama dengan teorema Thevenin yang sudah dipelajari di modul 4. Namun, hal yang membedakan adalah teorema ini akan menggantikan rangkaian kompleks menjadi rangkaian sederhana yang terdiri atas sebuah sumber arus yang terpasang secara paralel dengan resistansi ekuivalen Norton (R_N) yang juga akan terhubung dengan beban. Misalkan kita memiliki sebuah rangkaian berikut:



Gambar 5-1 – Rangkaian Asli Norton

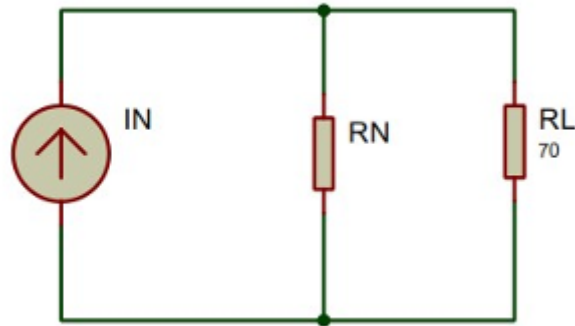
Untuk membuat rangkaian ekuivalen Norton, kita dapat mengganti beban yang terpasang pada rangkaian kompleks dengan rangkaian hubung singkat, lalu mencari I_N atau arus yang melewati beban yang telah diubah menjadi rangkaian hubung singkat.



Gambar 5-2 – Beban R14 Diganti dengan Short Circuit



Setelah mendapatkan nilai I_N , kita dapat mencari nilai resistansi ekuivalen Norton (R_N) dengan cara mematikan sumber pada rangkaian. Sumber tegangan akan menjadi short circuit, sedangkan sumber arus akan menjadi open circuit.

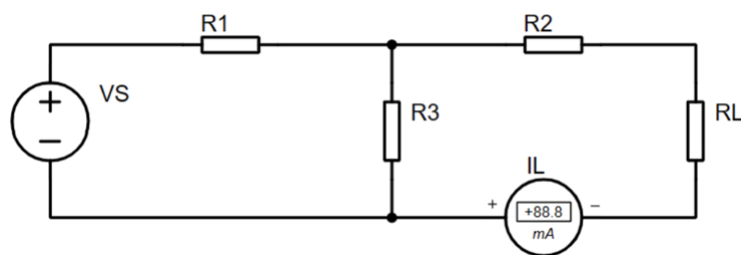


Gambar 5-3 – Rangkaian Pengganti Norton

5.3. PERALATAN PERCOBAAN

- Resistor = 4 buah
- Power Supply = 1 buah
- Multimeter = 1 buah
- Kabel

5.4. RANGKAIAN PERCOBAAN



Gambar 5-4 – Rangkaian Percobaan Norton

5.5. PROSEDUR PERCOBAAN

- Buat rangkaian seperti pada Gambar 5-4 dan catat nilai I_L ! (Nilai sumber tegangan dan resistansi dapat divariasikan)
- Matikan sumber tegangan, lepas beban R_L , dan cari nilai resistansi Norton (R_N), kemudian catat hasil yang didapatkan!
- Nyalakan sumber tegangan dan catat nilai pada multimeter untuk mendapatkan arus Norton (I_N)!



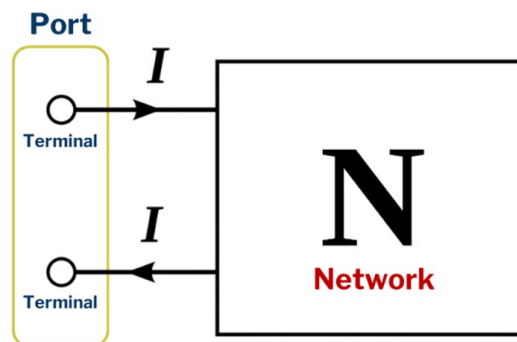
MODUL 6 | RANGKAIAN KUTUB EMPAT (TWO-PORT NETWORK)

6.1. TUJUAN PRAKTIKUM

- Menentukan parameter admitansi dan impedansi dari suatu rangkaian kutub empat
- Menggunakan parameter rangkaian tersebut untuk menyederhanakan dan mensistematisasikan analisis jaringan dengan dua titik singgah yang linear

6.2. DASAR TEORI

6.2.1. Terminal, Port, dan Network



Gambar 6-1 – Ilustrasi Terminal, Network, dan Port

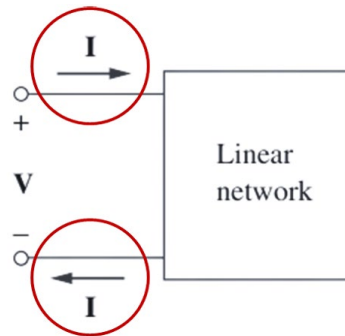
Terminal atau kutub adalah titik pada sebuah jaringan rangkaian listrik di mana arus dapat mengalir ke dalam maupun ke luar jaringan rangkaian listrik tersebut. Port adalah serangkaian terminal yang menghubungkan sebuah jaringan rangkaian listrik dengan jaringan rangkaian listrik eksternal. Maka, untuk mempermudah pemahamannya, dapat diartikan bahwa terminal adalah bagian dari sebuah port. Namun, serangkaian terminal hanya bisa dikatakan menjadi bagian dari sebuah port apabila memenuhi kondisi port condition atau port-KCL.

Network atau jaringan adalah representasi sebuah rangkaian kompleks dalam bentuk sederhana sehingga mempermudah analisis rangkaian listrik yang dimodelkan dengan parameter dasar kelistrikan. Representasi ini dalam analisis rangkaian listrik disebut sebagai metode “black box analysis”, di mana komponen individual pada rangkaian tidak diketahui secara detail.





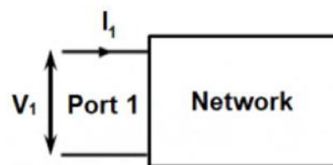
6.2.2. Port Condition



Gambar 6-2 – Ilustrasi Port Condition

Port Condition adalah kondisi dimana total arus yang masuk ke terminal input pada sebuah port harus sama dengan total arus yang keluar dari terminal output port tersebut. Jika kondisi ini terpenuhi, maka serangkaian terminal tersebut menyusun sebuah port.

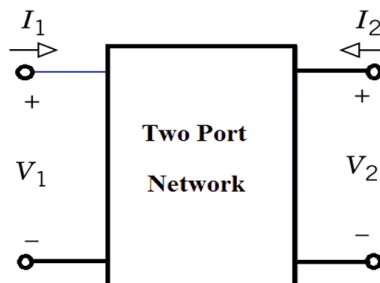
6.2.3. One-Port Network



Gambar 6-3– Ilustrasi One Port Network

Sebuah rangkaian one-port memiliki satu port yang terdiri dari dua terminal dimana selalu memenuhi Port Condition karena memenuhi Kirchoff's Current Law (KCL). Contohnya sebuah resistor, kapasitor, induktor, dan sumber daya

6.2.4. Two-Port Network



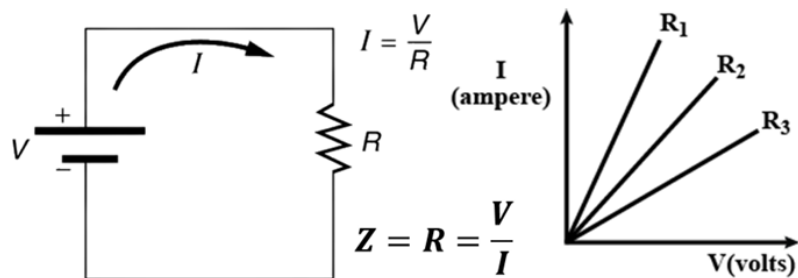
Gambar 6-4 – Ilustrasi Jaringan Two Port Network, Kutub Empat





Sebuah rangkaian two-port memiliki dua port (empat terminal) dan memenuhi Port Condition apabila berlaku Kirchoff's Current Law (KCL) di port 1 dan port 2. Contohnya adalah rangkaian amplifier (op-amp, transistor, transformer), attenuator (supplied power limiter), dan filter (low-pass, high-pass, band-pass, band-stop).

6.2.5. Parameter



Gambar 6-5 – Deskripsi Hambatan dan Parameter Z

Parameter adalah kuantitas yang menggambarkan hubungan antara tegangan dan arus pada sebuah port pada rangkaian. Dalam rangkaian two-port, parameter menghubungkan dua variabel independen terhadap dua variabel dependen.

Ada beberapa jenis parameter, yaitu:

6.2.5.1. Parameter Impedansi (z, Ohm)

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

Gambar 6-6 – Parameter Impedansi

6.2.5.2. Parameter Admitansi (y, Siemens)

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

Gambar 6-7 – Parameter Admitansi

6.2.5.3. Parameter Hibrida/Seri-Paralel (h)

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

Gambar 6-8 – Parameter Hibrida



6.2.5.4. Parameter Invers Hibrida (g)

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

Gambar 6-9 – Parameter Invers Hibrida

Parameter hibrida dan invers hibrida akan sering dijumpai di rangkaian elektronika (khususnya pada datasheet yang menunjukkan karakteristik dari berbagai jenis konfigurasi transistor).

6.2.5.5. Parameter ABCD/Rantai/Cascade/Transmisi

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ -I_2 \end{bmatrix} \quad \begin{aligned} A &\stackrel{\text{def}}{=} \left. \frac{V_1}{V_2} \right|_{I_2=0} & B &\stackrel{\text{def}}{=} \left. -\frac{V_1}{I_2} \right|_{V_2=0} \\ C &\stackrel{\text{def}}{=} \left. \frac{I_1}{V_2} \right|_{I_2=0} & D &\stackrel{\text{def}}{=} \left. -\frac{I_1}{I_2} \right|_{V_2=0} \end{aligned} \quad [\mathbf{a}] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} V_2 \\ -I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A' & B' \\ C' & D' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} \quad \begin{aligned} A' &\stackrel{\text{def}}{=} \left. \frac{V_2}{V_1} \right|_{I_1=0} & B' &\stackrel{\text{def}}{=} \left. \frac{V_2}{I_1} \right|_{V_1=0} \\ C' &\stackrel{\text{def}}{=} \left. -\frac{I_2}{V_1} \right|_{I_1=0} & D' &\stackrel{\text{def}}{=} \left. -\frac{I_2}{I_1} \right|_{V_1=0} \end{aligned} \quad [\mathbf{b}] = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A' & B' \\ C' & D' \end{bmatrix}$$

Gambar 6-10 – Parameter Transmisi

Definisi ABCD lebih sering digunakan untuk merepresentasikan hubungan cascade antar rangkaian Two-Port. Selain itu, digunakan pula notasi amn dan bmn sebagai pembeda keduanya.

6.2.5.6. Parameter Scattering (S)

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix}$$

Gambar 6-11 – Parameter Scattering

6.2.5.7. Parameter Scattering Transfer (T)

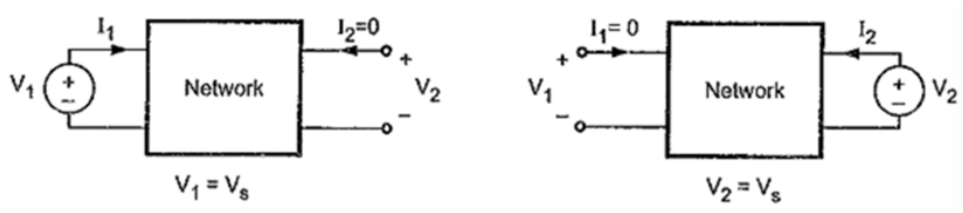
$$\begin{bmatrix} a_1 \\ b_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_2 \\ a_2 \end{bmatrix}$$

Gambar 6-12 – Parameter Scattering Transfer

Parameter-parameter ini berbeda karena didefinisikan atas gelombang datang dan refleksi, sehingga pengaplikasiannya lebih banyak pada utilitas yang memanfaatkan gelombang UHF dan Microwave, yang dimana sukar untuk diukur arus dan tegangannya secara langsung.

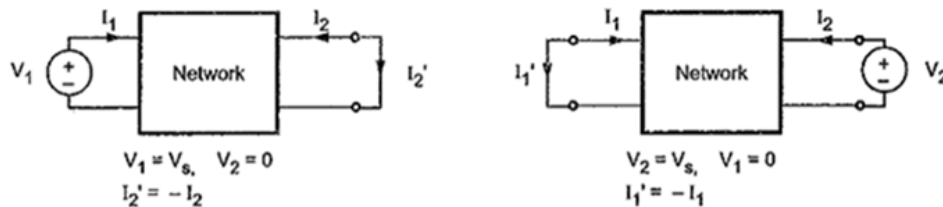


6.2.6. Kesimetrisan dan Resiprositas



Gambar 6-13 – Ilustrasi Kondisi Kesimetrisan

Pada rangkaian Two-Port, apabila impedansi yang diukur pada suatu port ekuivalen dengan impedansi yang diukur pada port lainnya dengan port selain itu dibuat open-circuit, maka rangkaian memenuhi kondisi kesimetrisan.



Gambar 6-14 – Ilustrasi Kondisi Resiprokal

Pada rangkaian Two-Port, apabila rasio antara tegangan dan arus pada suatu port sama dengan rasio jika posisi tegangan dan arus saling ditukar, maka rangkaian bersifat resiprokal dan memenuhi syarat resiprositas. Properti ini berguna untuk menganalisis perilaku jaringan dengan komponen pasif linier, seperti resistor, kapasitor, dan induktor.

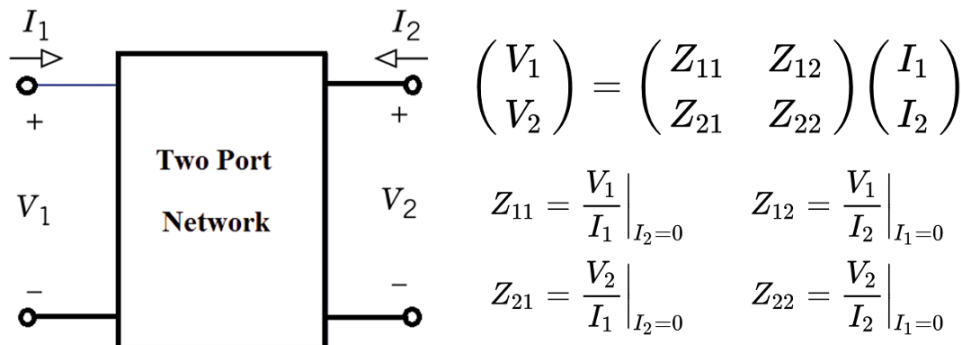
Syarat sebuah rangkaian two-port simetris maupun resiprokal adalah:

Parameter	Simetris	Resiprokal
Impedansi	$z_{11} = z_{22}$	$z_{12} = z_{21}$
Admitansi	$y_{11} = y_{22}$	$y_{12} = y_{21}$
Hibrida	$\det(h) = 1$	$h_{12} = -h_{21}$
Transmisi	$A = D$	$\det(ABCD) = 1$
Scattering	$s_{11} = s_{22}$	$s_{12} = s_{21}$

Tabel 6-1 – Kondisi Kesimetrisan dan Resiprositas pada Setiap Parameter

6.2.7. Parameter Immitance (Impedansi dan Admitansi)

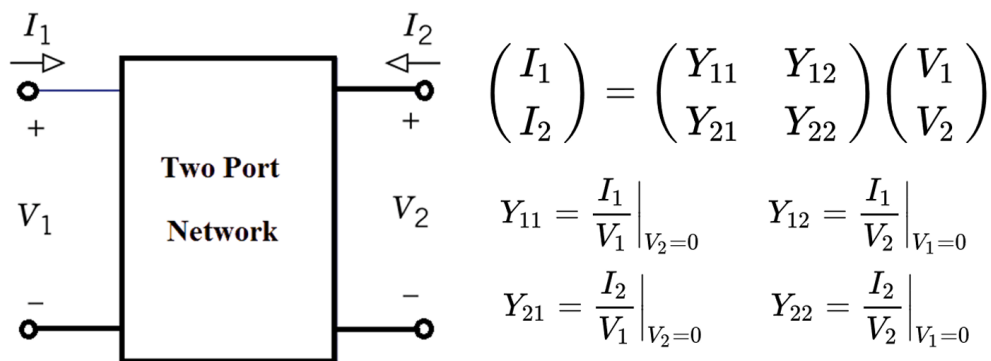
6.2.7.1. Parameter Impedansi



Gambar 6-15 – Ilustrasi Parameter Impedansi

Impedansi adalah rasio kompleks antara tegangan dan arus. Parameter Impedansi juga dikenal dengan istilah Open-Circuit Impedance Parameter. Parameter Impedansi pada rangkaian two-port direpresentasikan dengan sebuah matriks Z berorde dua, dengan satuan elemen/dimensi Ohm. Elemen matriks Z_{11} dan Z_{22} dikenal sebagai driving-point impedances atau input/output impedances. Elemen matriks Z_{12} dan Z_{21} dikenal sebagai transfer impedances.

6.2.7.2. Parameter Admitansi



Gambar 6-16 – Ilustrasi Parameter Admitansi

Admitansi adalah rasio kompleks antara arus dan tegangan. Parameter Admitansi juga dikenal dengan istilah Short-Circuit Admittance Parameter. Parameter Admitansi pada rangkaian two-port direpresentasikan dengan sebuah matriks Y berorde dua, dengan satuan elemen/dimensi Siemens. Elemen matriks Y_{11} dan Y_{22} dikenal sebagai driving-point admittances atau input/output admittances. Elemen matriks Y_{12} dan Y_{21} dikenal sebagai transfer admittances.



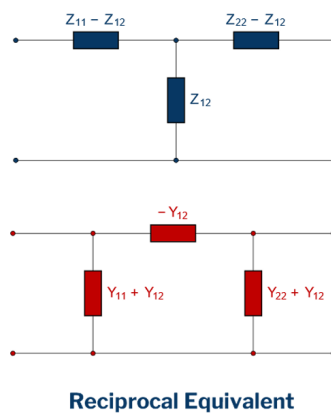
6.2.7.3. Hubungan Timbal Balik

	$[z]$	$[y]$
$[z]$	$\begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{bmatrix}$	$\frac{1}{\Delta[y]} \begin{bmatrix} y_{22} & -y_{12} \\ -y_{21} & y_{11} \end{bmatrix}$
$[y]$	$\frac{1}{\Delta[z]} \begin{bmatrix} z_{22} & -z_{12} \\ -z_{21} & z_{11} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{bmatrix}$

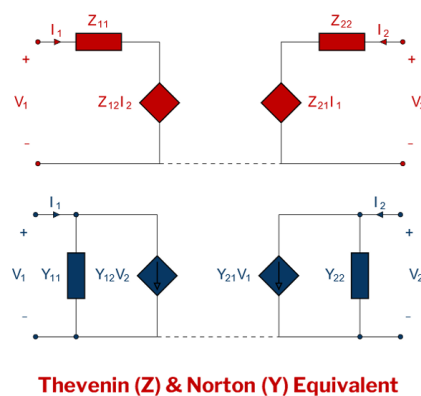
Gambar 6-17 – Korelasi Antara Parameter Admitansi dan Impedansi

Parameter Admitansi adalah invers dari Parameter Impedansi, dan sebaliknya.

6.2.7.4. Rangkaian Ekuivalen



Gambar 6-18– Rangkaian Ekuivalen Resiprok untuk Parameter Impedansi dan Admitansi pada Jaringan Kutub Empat



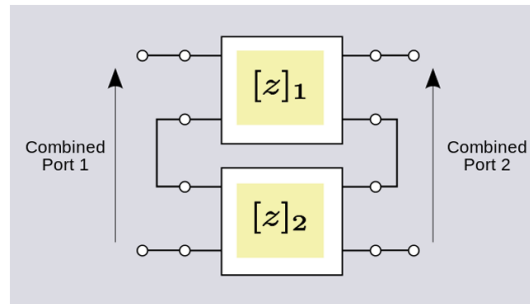
Gambar 6-19 – Rangkaian Ekuivalen Thevenin/Norton untuk Parameter Impedansi dan Admitansi pada Jaringan Kutub Empat

6.2.8. Interkoneksi atau Kombinasi

Hubungan antar rangkaian kutub empat disebut interkoneksi dan terdapat tiga jenis interkoneksi pada rangkaian kutub empat, yaitu:

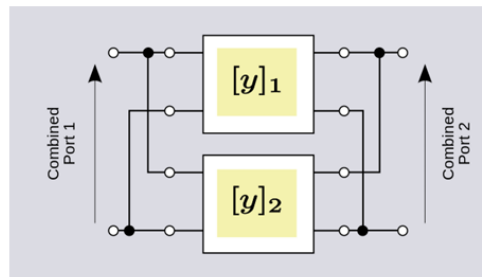


6.2.8.1. Interkoneksi Hubung Seri-Seri ($[z] = [z]_1 + [z]_2$)



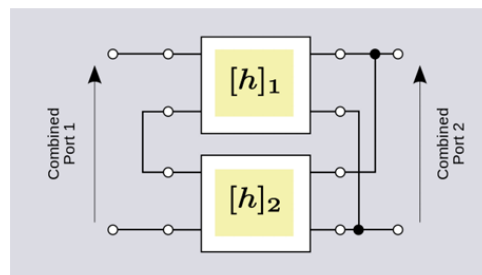
Gambar 6-20 – Ilustrasi Interkoneksi Hubung Seri-Seri

6.2.8.2. Interkoneksi Hubung Paralel ($[y] = [y]_1 + [y]_2$)



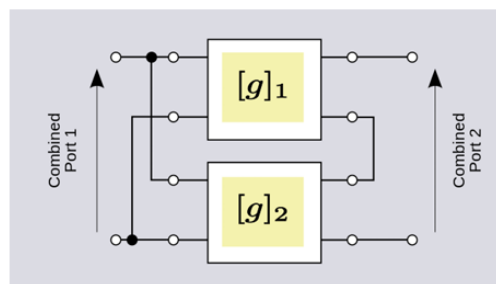
Gambar 6-21 – Ilustrasi Interkoneksi Hubung Paralel-Paralel

6.2.8.3. Interkoneksi Hubung Seri-Paralel ($[h] = [h]_1 + [h]_2$)



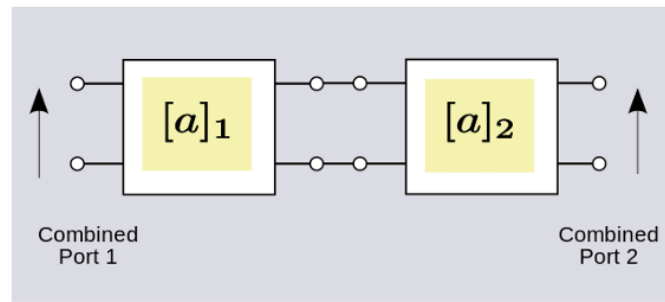
Gambar 6-22 – Ilustrasi Interkoneksi Hubung Seri-Paralel

6.2.8.4. Interkoneksi Hubung Paralel-Seri ($[g] = [g]_1 + [g]_2$)



Gambar 6-23 – Ilustrasi Interkoneksi Hubung Paralel-Seri

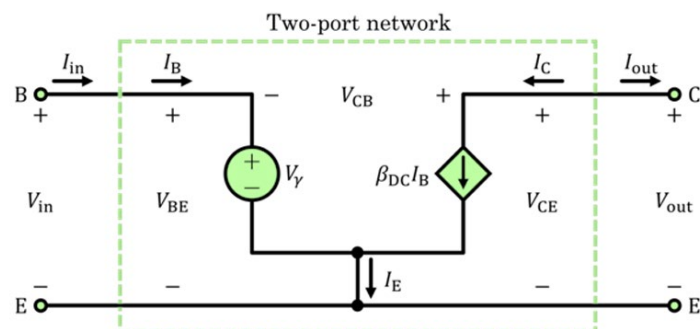
6.2.8.5. Interkoneksi Hubung Cascade ($[a] = [a]_1 [a]_2$ atau $[b] = [b]_1 [b]_2$)



Gambar 6-24 – Ilustrasi Interkoneksi Hubung Cascade

6.2.9. Aplikasi

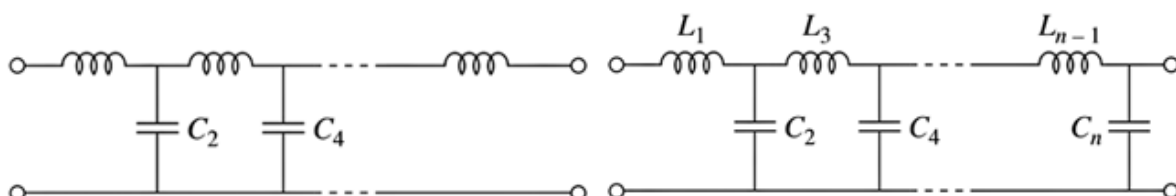
Model Two-Port Network digunakan pada teknik analisis rangkaian matematis untuk mengisolasi bagian-bagian dari rangkaian yang lebih besar. Isolasi tersebut kemudian dianggap sebagai sebuah “black box” untuk kemudian propertinya direpresentasikan dengan matriks berisi angka-angka. Ini akan memudahkan kalkulasi respons rangkaian terhadap sinyal yang diberikan pada port-portnya, tanpa perlu menghitung tegangan dan arus internal pada rangkaian.



Gambar 6-25 – Contoh Model Jaringan Kutub Empat

Analisis rangkaian Two-Port adalah pada rangkaian-rangkaian seperti:

- Rangkaian Filter



Gambar 6-26 – Rangkaian Filter dalam Bentuk Kutub Empat

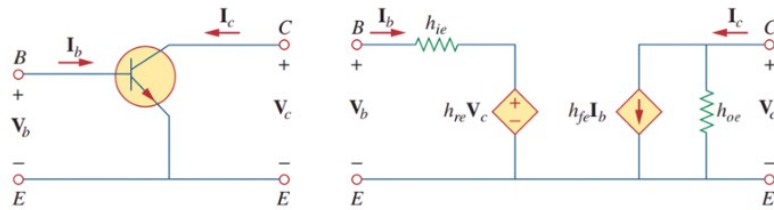


LABORATORIUM TEGANGAN TINGGI DAN PENGUKURAN LISTRIK

MODUL PRAKTIKUM RANGKAIAN LISTRIK

Gedung Departemen Teknik Elektro, Lt.2
Kampus Baru UI, Depok 16424

- Rangkaian Amplifier



Gambar 6-27 – Rangkaian Amplifier dalam Bentuk Kutub Empat

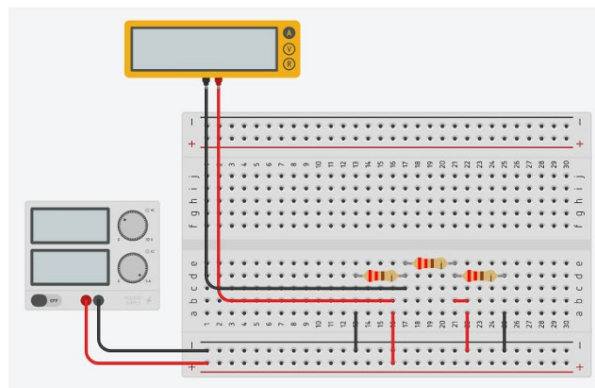
- Rangkaian Atenuator
- Jalur Transmisi
- Transformer
- Model Sinyal Kecil Transistor
- Sistem Telekomunikasi
- etc.

6.3. PERALATAN PERCOBAAN

- | | |
|---|----------|
| • Breadboard | = 1 buah |
| • Modul Power Supply 3.3. V atau 5 V | = 1 buah |
| • Resistor 100 Ω | = 3 buah |
| • Multimeter Digital dengan Probe Khusus untuk Pengukuran pada Breadboard | = 1 buah |
| • Kabel Jumper Male-Male | |

6.4. RANGKAIAN PERCOBAAN

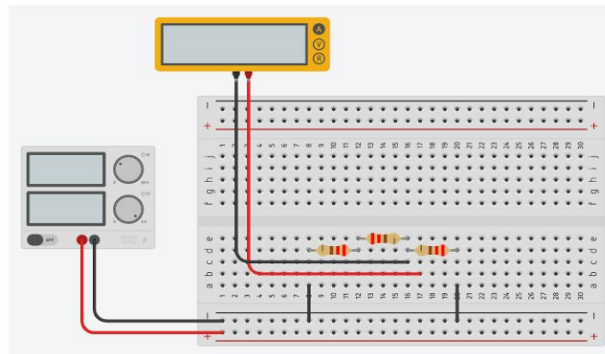
- Parameter Admitansi



Gambar 6-28 – Rangkaian Percobaan Parameter Admitansi



- Parameter Impedansi



Gambar 6-29 – Rangkaian Percobaan Parameter Impedansi

6.5. PROSEDUR PERCOBAAN

- Parameter Admitansi
 - Susun rangkaian pada breadboard seperti pada Gambar 6-28
 - Konfigurasi rangkaian hingga port 2 bersifat short circuit ($V_2 = 0$).
 - Hidupkan power supply module dengan tegangan tertentu (5 V atau 3.3 V).
 - Ukur tegangan dan arus dengan multimeter, pastikan arus mengalir melalui multimeter tersebut!
 - Catat besar arus I_1 , I_2 dan tegangan input V_1 .
 - Matikan power supply.
 - Konfigurasi rangkaian hingga port 1 bersifat short circuit ($V_1 = 0$).
 - Hidupkan power supply module dengan tegangan seperti pada langkah ketiga.
 - Ukur tegangan dan arus dengan multimeter, pastikan arus mengalir melalui multimeter tersebut!
 - Catat besar arus I_1 , I_2 dan tegangan input V_2 .
 - Matikan power supply.
- Parameter Impedansi
 - Susun rangkaian pada breadboard seperti pada Gambar 6-29.
 - Konfigurasi rangkaian hingga port 2 bersifat open circuit ($I_2 = 0$).
 - Hidupkan power supply module dengan tegangan pada percobaan parameter admitansi.
 - Ukur tegangan dan arus dengan multimeter, pastikan arus mengalir melalui multimeter tersebut!
 - Catat besar tegangan input V_1 , tegangan open circuit V_2 , dan arus I_1 .
 - Matikan power supply.



LABORATORIUM TEGANGAN TINGGI DAN PENGUKURAN LISTRIK MODUL PRAKTIKUM RANGKAIAN LISTRIK

Gedung Departemen Teknik Elektro, Lt.2
Kampus Baru UI, Depok 16424

- Konfigurasi rangkaian hingga port 1 bersifat open circuit ($I_1 = 0$).
- Hidupkan power supply module dengan tegangan tertentu.
- Ukur tegangan dan arus dengan multimeter, pastikan arus mengalir melalui multimeter tersebut!
- Catat besar tegangan open circuit V_1 , tegangan input V_2 , dan arus I_2 .
- Matikan power supply.





MODUL 7 | RANGKAIAN AC

7.1. TUJUAN PRAKTIKUM

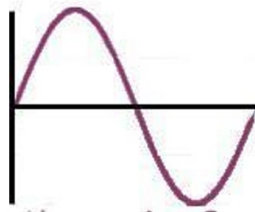
- Menganalisis perbedaan AC dan DC
- Menganalisis rangkaian AC
- Menganalisis sifat-sifat elemen-elemen aktif maupun pasif dalam rangkaian AC
- Menganalisis pengaruh induktor dan kapasitor terhadap faktor daya dan segitiga daya

7.2. DASAR TEORI

7.2.1. Rangkaian AC (Alternating Current)

Arus AC merupakan arus yang arahnya berubah secara bolak-balik terhadap waktu. Perubahan arah dari arus AC biasanya berbentuk sinusoidal dengan frekuensi tertentu. Umumnya, arus AC berasal dari induksi elektromagnetik generator AC yang mana di Indonesia dikendalikan eksklusif oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN). Terdapat beberapa karakteristik yang menjadi pembeda dari arus AC dan arus DC, antara lain:

- Polaritas yang selalu berubah-ubah
- Memiliki frekuensi
- Memiliki tiga jenis daya
- Bentuk gelombang baik $I(\text{arus})$ vs t (waktu) maupun V (tegangan) vs t (waktu) berbentuk sinusoidal, di mana nilai V maupun I selalu berubah-ubah terhadap perubahan waktu



Gambar 7-1 – Sinyal AC

7.2.2. Komponen Reaktif

7.2.2.1. Induktor

Induktor merupakan elemen pasif yang dapat menyimpan energi dalam bentuk medan magnet. Energi tersebut dihasilkan apabila induktor dialiri sebuah arus listrik.





Kemampuan induktor untuk menyimpan energi magnet ditentukan oleh induktansinya, yaitu dalam satuan Henry. Biasanya sebuah induktor adalah sebuah kawat penghantar yang dibentuk menjadi kumparan atau lilitan. Kumparan tersebut berfungsi sebagai media agar medan magnet yang dihasilkan menjadi kuat menurut hukum induksi Faraday.

Apabila suatu induktor ditambahkan ke dalam rangkaian AC, maka akan terjadi fenomena dimana fasa arus tertinggal sebesar 90° dari fasa tegangannya. Fenomena ini disebut sebagai lagging current. Hal tersebut dapat disebabkan gelombang arus yang mengalir pada induktor akan terhambat karena dipakai untuk GGL induksi.



Gambar 7-2 – Contoh Komponen Induktor

7.2.2.2. Kapasitor

Kapasitor adalah komponen elektrik umumnya yang secara fisik terdiri dari dua konduktor yang dipisahkan bahan isolator atau dielektrik. Kapasitansi adalah ukuran kemampuan kapasitor menyimpan energi dalam medan listrik. Kapasitansi dinyatakan dalam farad. 1 farad berarti kemampuan kapasitor untuk menyimpan muatan listrik 1 coulomb apabila diberi tegangan 1 volt.

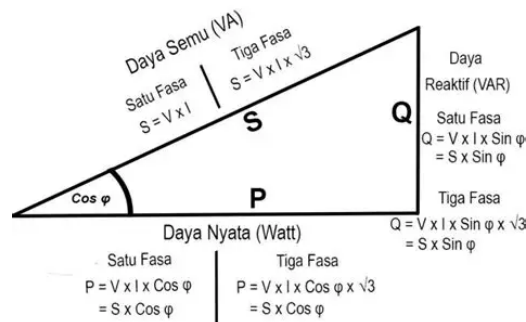
Berlawanan dengan induktor, jika sebuah kapasitor ditambahkan ke dalam rangkaian AC, maka akan terjadi peristiwa dimana fasa arus justru akan mendahului fasa tegangan sebesar 90° . Peristiwa ini disebut sebagai leading current. Hal tersebut dapat disebabkan gelombang tegangan akan terhambat akibat adanya kondisi charging pada kapasitor.



Gambar 7-3 – Contoh Komponen Kapasitor

7.2.3. Daya pada Rangkaian AC

Daya dalam ilmu elektro dapat didefinisikan sebagai banyaknya energi listrik yang ditransfer pada suatu rangkaian listrik dalam satu satuan waktu (energi per waktu). Berbeda dengan rangkaian arus searah, pada rangkaian arus bolak-balik terdapat 3 jenis daya antara lain daya nyata (True Power), daya reaktif (Reactive Power), serta daya semu (Apparent Power). Ketiga jenis daya ini memiliki relasi erat yang biasa digambarkan sebagai suatu segitiga, yaitu segitiga daya.



Gambar 7-4 – Segitiga Daya

- Daya Aktif (P)

Daya terpakai untuk menghasilkan energi sebenarnya yang diterima oleh konsumen. Satuannya adalah Watt.

- Daya Reaktif (Q)

Daya yang timbul akibat adanya komponen reaktif yaitu induktif dan kapasitif. Satuannya adalah VAR.

- Daya Semu (S)

Daya yang dibangkitkan dan ditransmisikan oleh pembangkit listrik dan merupakan hasil perkalian antara tegangan rms dan arus rms dalam suatu jaringan. Satuannya adalah VA.

Ketiga daya tersebut memberikan pengaruh dalam kualitas daya yang dihasilkan pada rangkaian AC. Adapun kualitas daya tersebut dikenal dengan sebutan power factor (faktor daya) atau $\cos \phi$. Power factor merupakan tingkat efisiensi dari sebuah sistem kelistrikan. Semakin baik nilai power factor-nya maka daya yang dihasilkan pada rangkaian AC akan semakin bagus. Nilai power factor sendiri dihitung dari rasio antara daya aktif dengan daya semu.

$$PF = \frac{P}{S}$$

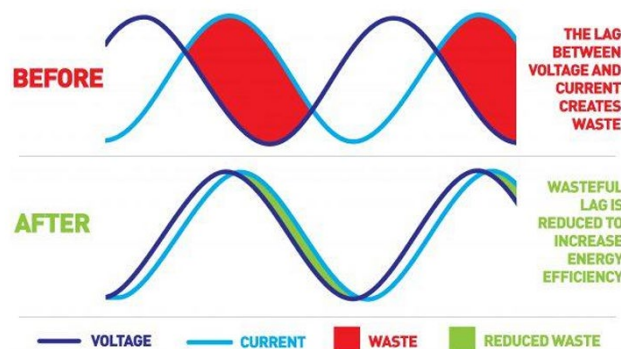
$$\cos \Phi = \frac{P}{S}$$

Nilai PF atau Power Factor berkisar antara 0 hingga 1





Penggunaan dari komponen-komponen reaktif seperti induktor dan kapasitor akan sangat berpengaruh terhadap kualitas daya dari rangkaian AC. Komponen tersebut menghasilkan daya reaktif yang akan mengurangi efisiensi daya suatu sistem kelistrikan. Maka dari itu, perlu dilakukan adanya PFC atau Power Factor Correction. PFC sendiri berfungsi agar perbedaan fasa arus dan tegangan tidak terlalu jauh sehingga daya reaktif yang dihasilkan sedikit. PFC bisa dilakukan dengan menambahkan suatu beban induktif ke dalam rangkaian AC apabila rangkaian tersebut cenderung bersifat kapasitif. Sebaliknya, apabila suatu rangkaian AC cenderung bersifat induktif maka harus ditambahkan beban kapasitif.



Gambar 7-5 – Power Factor Correction

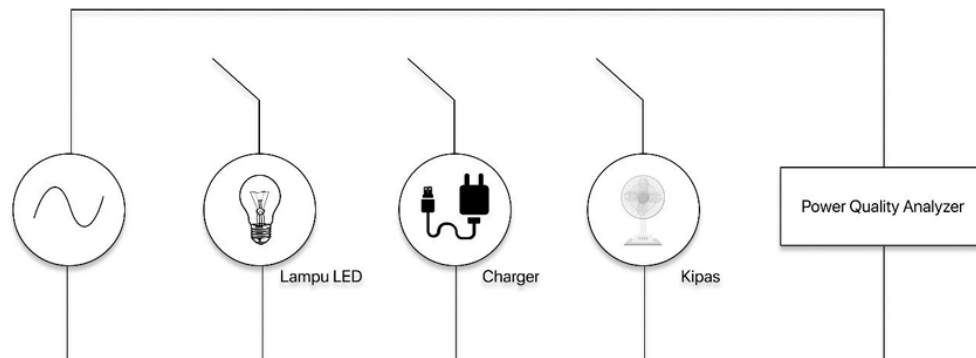
7.3. PERALATAN PERCOBAAN

- Power Supply AC = 1 buah
- Lampu LED 20 W = 1 buah
- Lampu Helix 45 W = 1 buah
- Kipas 20 W = 1 buah
- Power Quality Analyzer = 1 buah
- Kabel





7.4. RANGKAIAN PERCOBAAN



Gambar 7-6 – Rangkaian Percobaan AC

7.5. PROSEDUR PERCOBAAN

- Susunlah rangkaian percobaan seperti pada Gambar 7-6
- Catatlah nilai arus dan tegangan percobaan yang terukur pada Power Quality Analyzer.
- Perhatikan besaran nilai daya aktif, daya reaktif, dan daya semu percobaan yang terukur pada Power Quality Analyzer.
- Amatilah sudut faktor daya pada rangkaian tersebut, analisis apakah rangkaian tersebut leading / lagging current.
- Analisis perhitungan pada pengolahan data pada setiap kondisi beban dengan mengaitkan teori dan rumus yang ada pada lembar data percobaan
- Ulangi langkah sebelumnya dengan beban yang berbeda-beda.





MODUL 8 | RANGKAIAN TIGA FASA

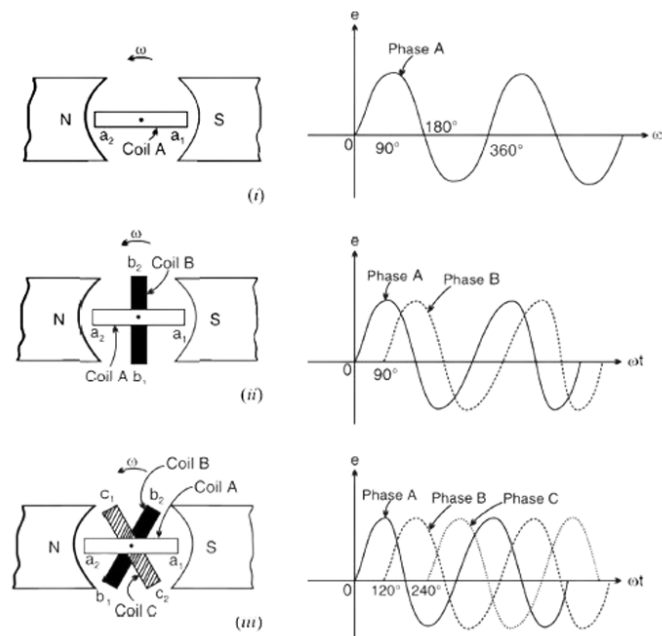
8.1. TUJUAN PRAKTIKUM

- Memahami Definisi Fasa, Sistem Polifasa, dan Keunggulan Sistem Tiga Fasa.
- Mengetahui Konfigurasi Sistem Tiga Fasa Wye-Delta dan Karakteristiknya.
- Memahami hubungan-hubungan Wye-Delta pada Rangkaian Tiga Fasa Simetris.
- Mengetahui Perbedaan Beban Simetris dan Asimetris.
- Memahami Konversi Hubungan Wye-Delta untuk Analisis Rangkaian Tiga Fasa Asimetris.
- Mengetahui dasar-dasar Daya Listrik Tiga Fasa dalam Sistem Beban Simetris.

8.2. DASAR TEORI

8.2.1. Fasa dan Sistem Polifasa

Secara matematis, fasa merupakan ukuran dari perbedaan waktu relatif antara dua gelombang sinusoidal (AC). Dalam kelistrikan, fasa merupakan perubahan tegangan atau arus terhadap waktu yang direpresentasikan dalam bentuk sudut. Walaupun fasa dalam definisi ini menggunakan perbedaan waktu, tetapi fasa selalu diukur menggunakan sudut, baik derajat maupun radian. Perbedaan fasa antara dua gelombang sinusoidal tersebut sering disebut sebagai pergeseran fasa.



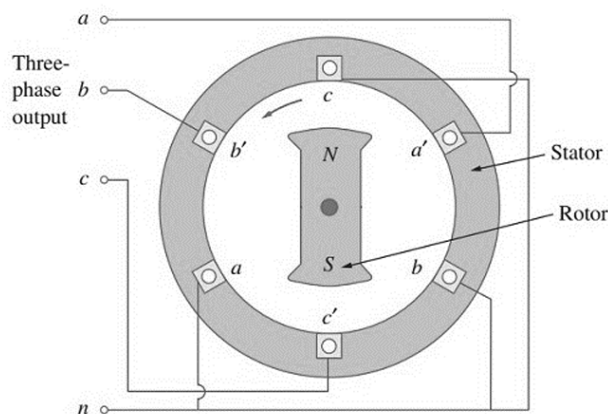
Gambar 8-1 – Fasa dan Sistem Polifasa



Sistem polifasa merupakan kombinasi antara dua atau lebih tegangan dengan besar dan frekuensi yang sama, tetapi terpisah satu sama lain dengan sudut pisah (fasa) yang sama. Sudut pisah atau yang dapat disebut dengan perbedaan fasa ini bergantung pada jumlah fasa yang ada pada suatu rangkaian, dan dapat dirumuskan dengan:

$$\text{Perbedaan Sudut Fasa} = \frac{360^\circ}{\text{Jumlah Fasa}}$$

Namun, persamaan tersebut tidak berlaku untuk sistem dua fasa, dengan tegangan antar fasa terpisahkan dengan sudut listrik 90 derajat. Jadi, dapat didefinisikan kembali bahwa sistem polifasa adalah sistem AC yang memiliki sekelompok tegangan yang sama baik dari besar maupun frekuensinya, yang disusun agar memiliki perbedaan fasa yang sama dan sebanding. Pada suatu sistem kelistrikan, umumnya digunakan rangkaian tiga fasa pada transmisi dan pendistribusian daya. Dipilih rangkaian tiga fasa karena memperhitungkan segi ekonomis dan optimalisasi sistem listrik tersebut. Dalam pembangunan tiga fasa dibutuhkan suatu generator AC tiga fasa.



Gambar 8-2 – Ilustrasi Generator Tiga Fasa

Sistem tiga fasa lebih sering digunakan untuk aplikasi generasi, transmisi, dan distribusi daya listrik karena memiliki berbagai keuntungan dibandingkan dengan menggunakan sistem satu fasa, dua fasa, dan sistem polifasa lainnya. Beberapa keunggulan sistem tiga fasa dibandingkan dengan sistem satu fasa adalah sebagai berikut:

- Sistem pengiriman daya yang lebih stabil.
- Untuk generator/alternator, dapat meningkatkan rasio antara daya dan berat.
- Beban listrik yang lebih seimbang.
- Vibrasi yang lebih kecil.
- Penggunaan konduktor dan transformer yang lebih ekonomis.



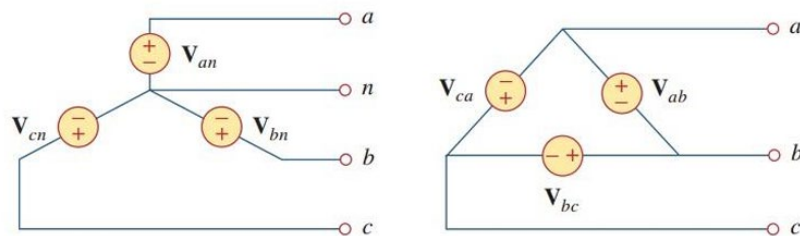


- Efisien untuk pengiriman daya dan/atau arus yang lebih tinggi.
- Untuk pengiriman daya yang sama, jumlah arus yang diperlukan jauh lebih kecil.

8.2.2. Konfigurasi Sistem Tiga Fasa

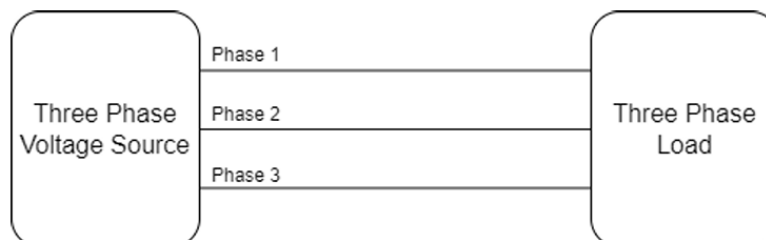
8.2.2.1. Struktur Umum Rangkaian Tiga Fasa

Pada dasarnya, rangkaian tiga fasa memiliki sebuah sumber tegangan yang dapat menghasilkan tegangan dengan besar dan frekuensi yang sama pada tiap fasa, tetapi memiliki perbedaan fasa 120° satu sama lain. Namun, apabila dimodelkan untuk analisis, rangkaian tiga fasa umumnya dimodelkan memiliki tiga buah sumber tegangan dengan besar dan frekuensi yang sama, tetapi dengan perbedaan sudut fasa 120° satu sama lain.



Gambar 8-3 – Model Sumber Tegangan Tiga Fasa

Gambar 8-3 merupakan rangkaian sumber tegangan tiga fasa. Di sisi lain, terdapat sekelompok beban yang terpasang pada masing-masing fasa.



Gambar 8-4 – Struktur Umum Rangkaian Tiga Fasa

Karena tiap fasa tegangan terpisah sebesar 120° satu sama lain, terdapat dua buah kombinasi urutan fasa yang mungkin terjadi. Kombinasi ini disebut sebagai phase sequence (urutan di mana tegangan per fasa melewati nilai maksimumnya masing-masing).



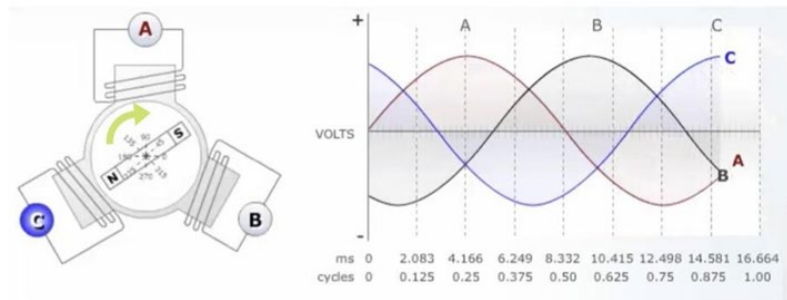


LABORATORIUM TEGANGAN TINGGI DAN PENGUKURAN LISTRIK

MODUL PRAKTIKUM RANGKAIAN LISTRIK

Gedung Departemen Teknik Elektro, Lt.2
Kampus Baru UI, Depok 16424

- Positive Sequence



Gambar 8-5 – Positive Sequence

Positive sequence merupakan phase sequence di mana fasa tegangan pertama (V_{an}) mendahului fasa tegangan kedua (V_{bn}) yang mana fasa tegangan kedua juga mendahului fasa tegangan ketiga (V_{cn}). Secara matematis, positive sequence dapat ditulis sebagai berikut:

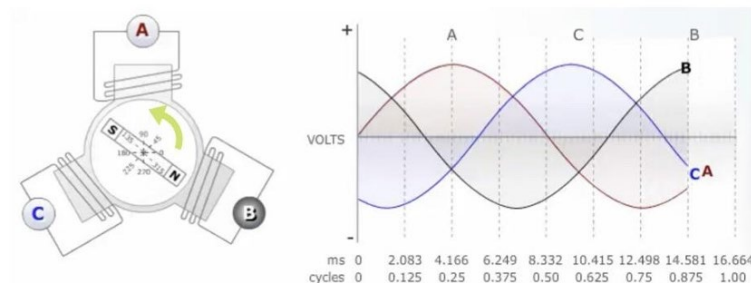
$$V_{an} = V_p \angle 0^\circ$$

$$V_{bn} = V_p \angle -120^\circ$$

$$V_{cn} = V_p \angle -240^\circ = V_p \angle 120^\circ$$

Di mana V_p adalah nilai tegangan efektif (rms) dari tegangan fasa. Positive sequence juga disebut sebagai abc sequence.

- Negative Sequence



Gambar 8-6 – Negative Sequence

Berkebalikan dengan positive sequence, negative sequence merupakan phase sequence di mana fasa tegangan pertama (V_{an}) mendahului fasa tegangan ketiga (V_{cn}) yang mana fasa tegangan ketiga juga mendahului fasa tegangan kedua (V_{bn}). Secara matematis, negative sequence dapat ditulis sebagai berikut:

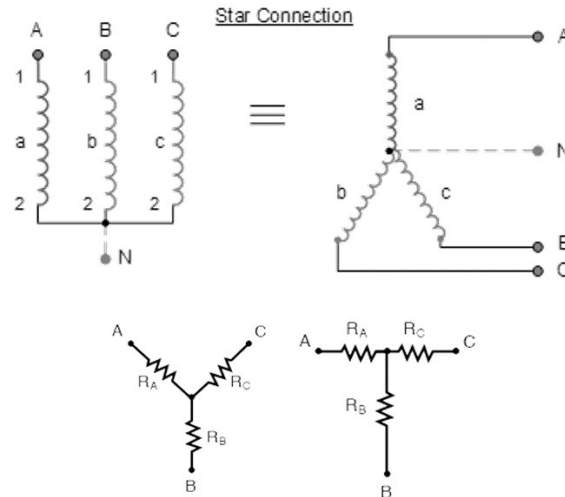
$$V_{an} = V_p \angle 0^\circ$$

$$V_{cn} = V_p \angle -120^\circ$$

$$V_{bn} = V_p \angle -240^\circ = V_p \angle 120^\circ$$

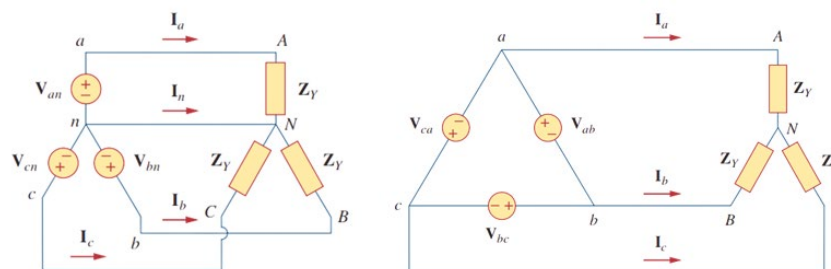
Negative sequence juga disebut sebagai acb sequence. Phase sequence ini dipengaruhi oleh arah berputarnya rotor.

8.2.2.2. Rangkaian beban hubung Wye (Y) / Tee (T) / Star (Bintang)



Gambar 8-7 – Beban Hubung Y

Dalam rangkaian beban Y, ujung-ujung dari ketiga beban dari masing-masing fasa terhubung dalam satu titik dimana kawat netral terhubung (dapat dianalogikan bahwa setiap fasa memiliki titik netral yang sama). Masing-masing fasa dari beban tersebut di ujung satunya dihubungkan dengan line/jalur/saluran yang merupakan line fasa A, B, dan C. Terdapat dua jenis konfigurasi beban Y, yaitu konfigurasi Y-Y dan konfigurasi Δ -Y.



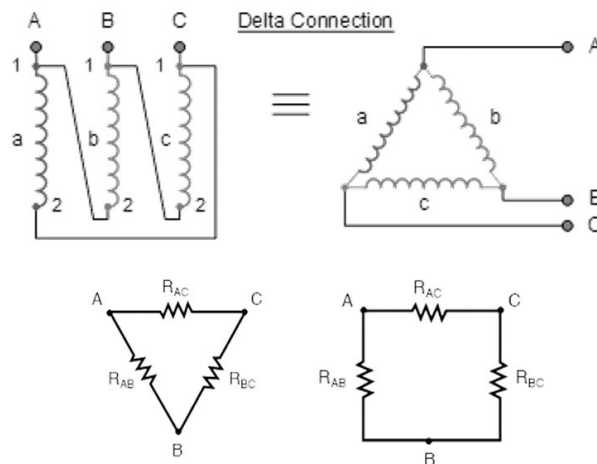
Gambar 8-8 – Konfigurasi Beban Hubung Y

Keterangan

- V_{an}, V_{bn}, V_{cn} = Sumber tegangan tiga fasa dalam konfigurasi Y
- V_{ab}, V_{bc}, V_{ca} = Sumber tegangan tiga fasa dalam konfigurasi Δ
- Z_Y = Beban konfigurasi Y
- I_a, I_b, I_c = Arus line (I_L)
- I_n = Arus netral

Dapat diperhatikan pula bahwa line netral hanya dapat dipasang apabila konfigurasi sumber tegangan dan beban sama-sama Y.

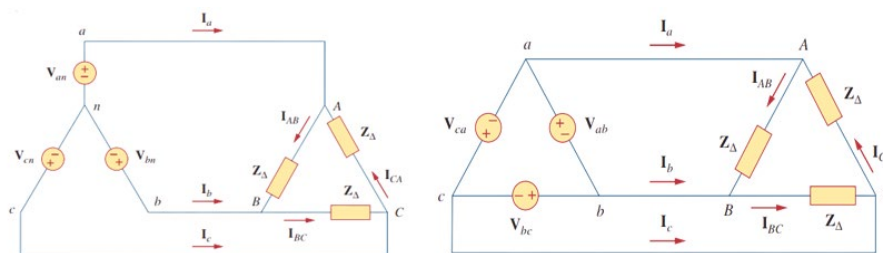
8.2.2.3. Hubung Delta (Δ)/Pi (π)



Gambar 8-9 – Beban Hubung Δ

Pada hubung delta, ketiga impedansi pada beban saling dihubungkan secara seri dan membentuk suatu loop tertutup. Kemudian, ketiga line/jalur/saluran fasa masing-masing dihubungkan dengan node/simpul antara dua beban. Misalnya, line B dihubungkan ke node yang merupakan titik temu antara beban b dan c.

Terdapat dua jenis konfigurasi beban Δ , yaitu konfigurasi Y- Δ dan konfigurasi Δ - Δ .



Gambar 8-10 – Konfigurasi Beban Hubung Δ

Keterangan:

- V_{an} , V_{bn} , V_{cn} = Sumber tegangan tiga fasa dalam konfigurasi Y
- V_{ab} , V_{bc} , V_{ca} = Sumber tegangan tiga fasa dalam konfigurasi Δ
- Z_{Δ} = Beban konfigurasi Δ
- I_a , I_b , I_c = Arus line (I_L)
- I_{AB} , I_{BC} , I_{CA} = Aris Fasa (I_p)

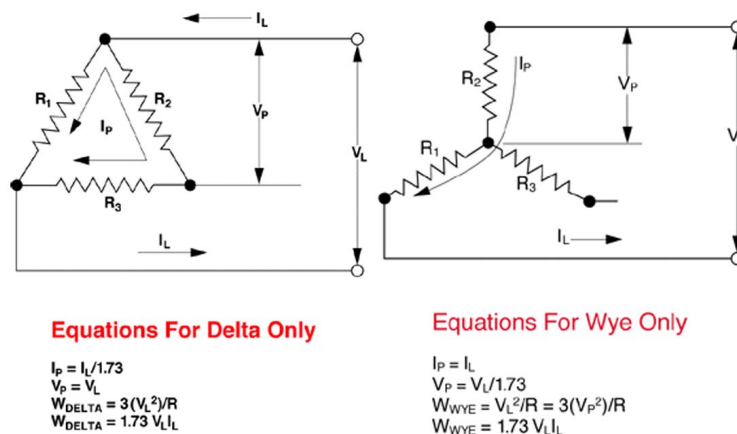
8.2.2.4. Karakteristik Hubung Wye dan Delta

Hubung Wye	Hubung Delta
Direkomendasikan untuk distribusi daya karena mendukung beban polifasa.	Direkomendasikan untuk digunakan pada generasi dan transmisi daya listrik
Adanya titik netral untuk stabilitas pendistribusian sehingga cocok untuk beban tidak seimbang.	Membentuk hubungan 3 beban secara tertutup.
Membutuhkan insulasi yang lebih sedikit untuk rating yang sama.	Konfigurasi proteksi yang mudah, dapat didesain untuk aplikasi yang berat.

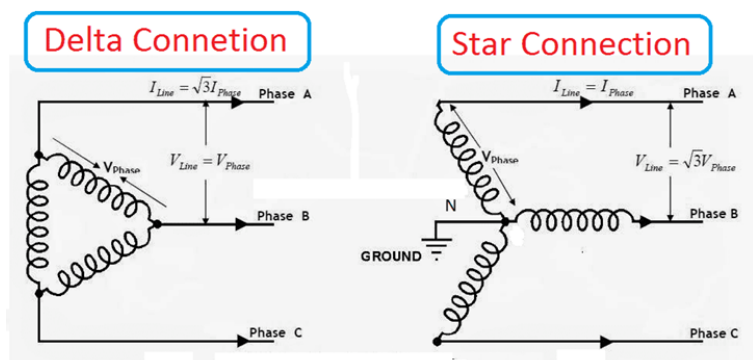
Tabel 8-1 – Karakteristik Hubung Wye Delta

8.2.3. Hubungan-Hubungan pada Rangkaian Beban Tiga Fasa Simetris

Pada sebuah rangkaian tiga fasa yang simetris, dapat diturunkan beberapa hubungan arus dan tegangan pada rangkaian sebagai berikut:



Gambar 8-11– Rumus Untuk Hubung Delta dan Wye



Gambar 8-12 – Hubungan karakteristik Arus dan Tegangan pada Beban Y dan Δ



Hubungan wye dan delta memiliki keunikannya masing-masing, utamanya dalam analisis rangkaian dan pengaplikasiannya. Pada rangkaian Y-Y dapat dianalisis bahwa arus yang mengalir pada saluran/arus line (I_l) akan sama dengan arus yang mengalir pada tiap-tiap fasa yang mengalir dari saluran tersebut/arus fasa (I_p), sedangkan tegangan tiap fasa (V_p) akan bernilai $\frac{1}{\sqrt{3}}$ dari nilai tegangan line (V_l) pada saluran transmisi.

Pada rangkaian Δ - Δ dapat pula dianalisis bahwa tegangan antar line (V_l) akan sama dengan tegangan pada tiap-tiap fasa (V_p) pada rangkaian, sedangkan arus yang mengalir pada tiap-tiap fasa (I_p) akan bernilai $\frac{1}{\sqrt{3}}$ dari arus yang mengalir pada saluran/line transmisi (I_l).

Adapun hubungan-hubungan tersebut terlihat dari sisi besarannya saja, namun belum dilihat dari sisi pergeseran sudut fasanya, karena penurunan hubungan-hubungan tersebut adalah dengan menggunakan analisis vektor yang pasti memiliki komponen sudut. Hubungan penuh rangkaian wye dan delta dapat dirangkum dalam tabel berikut (diasumsikan urutan fasa adalah “abc”/positif):

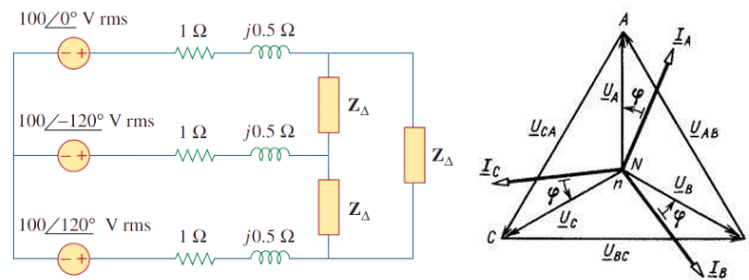
TABLE 12.1		
Summary of phase and line voltages/currents for balanced three-phase systems. ¹		
Connection	Phase voltages/currents	Line voltages/currents
Y-Y	$V_{an} = V_p/0^\circ$ $V_{bn} = V_p/-120^\circ$ $V_{cn} = V_p/+120^\circ$ Same as line currents	$V_{ab} = \sqrt{3}V_p/30^\circ$ $V_{bc} = V_{ab}/-120^\circ$ $V_{ca} = V_{ab}/+120^\circ$ $I_a = V_{an}/Z_Y$ $I_b = I_a/-120^\circ$ $I_c = I_a/+120^\circ$
Y- Δ	$V_{an} = V_p/0^\circ$ $V_{bn} = V_p/-120^\circ$ $V_{cn} = V_p/+120^\circ$ $I_{AB} = V_{AB}/Z_\Delta$ $I_{BC} = V_{BC}/Z_\Delta$ $I_{CA} = V_{CA}/Z_\Delta$	$V_{ab} = V_{AB} = \sqrt{3}V_p/30^\circ$ $V_{bc} = V_{BC} = V_{ab}/-120^\circ$ $V_{ca} = V_{CA} = V_{ab}/+120^\circ$ $I_a = I_{AB}\sqrt{3}/-30^\circ$ $I_b = I_a/-120^\circ$ $I_c = I_a/+120^\circ$
Δ - Δ	$V_{ab} = V_p/0^\circ$ $V_{bc} = V_p/-120^\circ$ $V_{ca} = V_p/+120^\circ$ $I_{AB} = V_{ab}/Z_\Delta$ $I_{BC} = V_{bc}/Z_\Delta$ $I_{CA} = V_{ca}/Z_\Delta$	Same as phase voltages $I_a = I_{AB}\sqrt{3}/-30^\circ$ $I_b = I_a/-120^\circ$ $I_c = I_a/+120^\circ$
Δ -Y	$V_{ab} = V_p/0^\circ$ $V_{bc} = V_p/-120^\circ$ $V_{ca} = V_p/+120^\circ$ Same as line currents	Same as phase voltages $I_a = \frac{V_p/-30^\circ}{\sqrt{3}Z_Y}$ $I_b = I_a/-120^\circ$ $I_c = I_a/+120^\circ$

¹ Positive or abc sequence is assumed.

Gambar 8-13 – Hubungan Arus dan Tegangan pada Empat Kombinasi Rangkaian Tiga Fasa

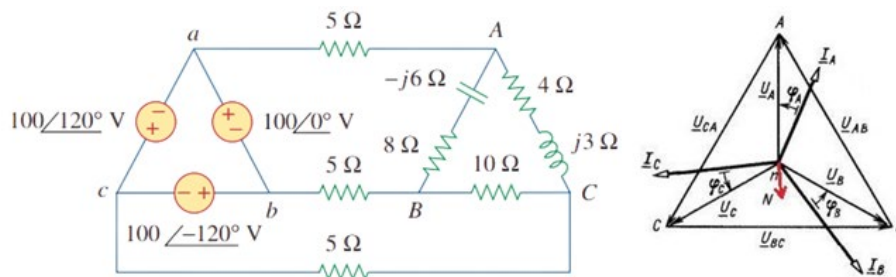
8.2.4. Beban Simetris dan Asimetris

Beban pada suatu sistem tiga fasa dapat diklasifikasikan sebagai beban seimbang/simetris dan beban tidak seimbang/asimetris. ada sebuah sistem tegangan tiga fasa yang simetris dan berfungsi normal, tegangan antara dua pasang fasa dari sistem tiga fasa tersebut memiliki besar yang sama dengan perbedaan fasa yaitu 120° , sehingga tegangan fasa (tegangan antarfasa dan tegangan fasa ke netral) juga memiliki besar dan perbedaan fasa yang sama.



Gambar 8-14 – Beban Simetris

Suatu kelompok beban dikatakan simetris apabila beban tersebut memiliki nilai dan fasa yang sama ($Z_a = Z_b = Z_c$) sehingga arus yang mengalir pada setiap beban tersebut memiliki nilai dan sudut yang sama. Jika digambarkan secara vektor seperti pada Gambar 8-14, resultan pada seluruh komponen arus adalah nol. Contoh dari beban yang simetris adalah motor induksi tiga fasa, lampu pijar identik dengan fasanya masing-masing, transformer tiga fasa berbeban simetris, dan lain-lain.

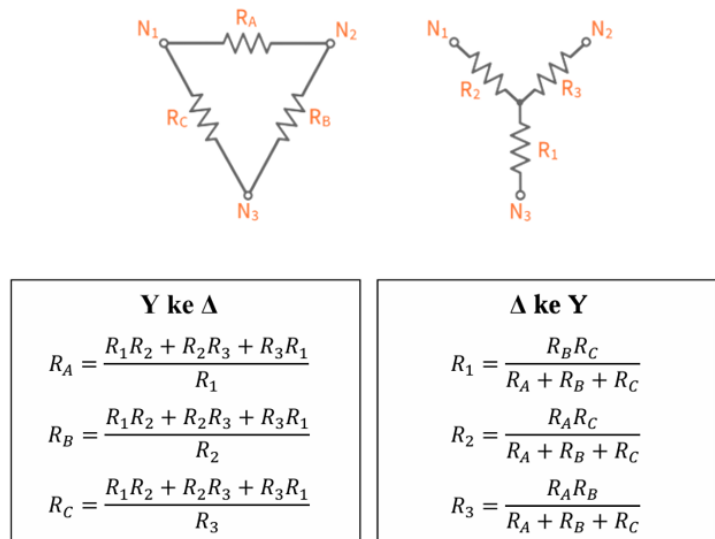


Gambar 8-15 – Beban Asimetris

Namun, jika hal yang telah disebutkan di atas tidak tercapai, yakni sistem arus yang tidak simetris satu dengan yang lainnya, maka suatu kelompok beban tersebut dikatakan tidak simetris (asimetris). Hal ini mungkin jika di seluruh fasa pada beban memiliki impedansi (yaitu resistansi dan reaktansi) yang tidak identik, sebut saja $Z_a \neq Z_b \neq Z_c$.

Jika digambarkan secara vektor seperti pada Gambar 8-15, resultan pada seluruh komponen arus adalah bukan nol (lihat vektor resultan yang berwarna merah). Contoh dari beban yang tidak simetris adalah lampu pijar tidak identik dengan fasanya masing-masing, transformer tiga fasa berbeban asimetris, beban dengan faktor daya yang berbeda-beda, dan lain-lain.

8.2.5. Konversi Hubung Wye-Delta

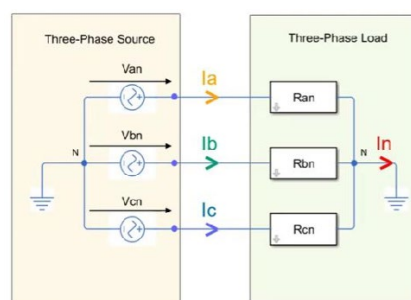


Gambar 8-16 – Konversi Hubung Y-Δ

Suatu rangkaian Δ dapat diubah menjadi rangkaian Y, begitu pula sebaliknya. Hal ini dapat digunakan untuk menganalisis rangkaian tiga fasa dengan beban yang tidak simetris. Bentuk dari Y dan Δ tidak selalu dalam bentuk yang baku, bisa saja bentuk Y pada rangkaian adalah seperti bentuk Tee (T), dan bentuk Δ pada rangkaian adalah dalam bentuk Pi (π).

8.2.6. Daya Tiga Fasa Beban Simetris

Konfigurasi listrik tiga fasa pada umumnya digunakan untuk mengalirkan energi listrik yang cukup besar dari pembangkit menuju ke konsumen atau beban listrik. Maka dari itu, perlu diketahui daya listrik konfigurasi listrik tiga fasa.



Gambar 8-17 – Rangkaian Tiga Fasa Hubung Y-Y



Anggaplah terdapat suatu rangkaian tiga fasa konfigurasi Y-Y. Daya dapat dihitung dengan menjumlahkan seluruh daya pada masing-masing fasa.

$$P_{TOT} = P_A + P_B + P_C$$

Di mana daya masing-masing fasa merupakan perkalian antara tegangan fasa dengan arus line,

$$P_A = V_{AN} \times I_A$$

$$P_B = V_{BN} \times I_B$$

$$P_C = V_{CN} \times I_C$$

Pada rangkaian tiga fasa berbeban simetris, daya ketiga fasa sama ($P_A = P_B = P_C = P_p$). Setelah melalui berbagai proses matematis, didapat bahwa pada sistem beban simetris,

$$P_{TOT} = 3P_p = 3V_p I_p \cos\theta = \sqrt{3}V_L I_L \cos\theta$$

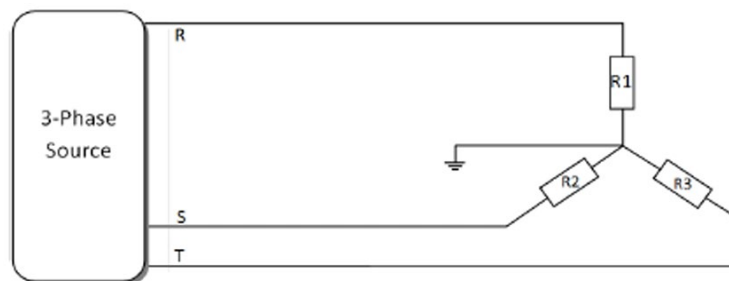
Di mana V_p dan I_p adalah tegangan dan arus fasa, sedangkan V_L dan I_L adalah tegangan dan arus line.

8.3. PERALATAN PERCOBAAN

- Sumber Tegangan Tiga Fasa = 1 buah
- Resistor Variabel = 3 buah
- Multimeter Digital = 1 buah
- Kabel

8.4. RANGKAIAN PERCOBAAN

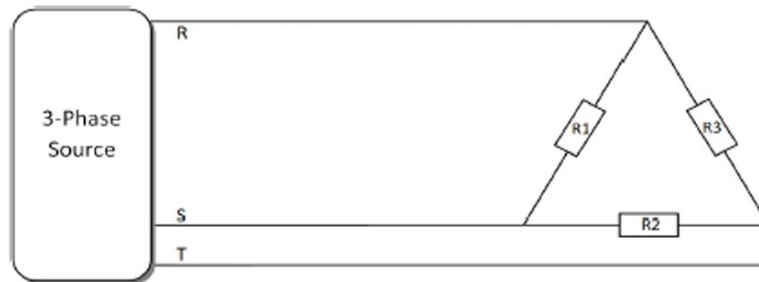
- Hubung Wye



Gambar 8-18 – Percobaan Hubung Wye



- Hubung Delta



Gambar 8-19 – Percobaan Hubung Δ

8.5. PROSEDUR PERCOBAAN

- Hubung Wye
 - Susun komponen dalam konfigurasi wye seperti pada Gambar 8-18.
 - Pastikan kembali koneksi antara sumber, beban, dan antar-beban sesuai dengan ketentuan yang diberikan.
 - Nyalakan resistor (nilai resistansi akan ditentukan oleh asisten) untuk memberikan karakteristik beban simetris.
 - Nyalakan sumber tegangan pada meja laboratorium.
 - Asisten laboratorium akan mengukur data-data yang diperlukan, yaitu arus line, arus fasa, arus netral, tegangan antar-line dan tegangan fasa. Catat pada lembar data percobaan!
 - Matikan sumber tegangan.
 - Ubah satu beban resistansi agar berbeda dari beban-beban lainnya.
 - Kembali nyalakan sumber tegangan dan catat kembali data-data yang diperlukan selama asisten laboratorium melakukan pengukuran!
 - Matikan sumber tegangan pada meja laboratorium.
- Hubung Delta
 - Susun komponen dalam konfigurasi delta seperti pada gambar.
 - Pastikan kembali koneksi antara sumber, beban, dan antar-beban sesuai dengan ketentuan yang diberikan.
 - Nyalakan resistansi S (nilai resistansi ditentukan oleh asisten) pada ketiga beban untuk memberikan karakteristik beban simetris.
 - Nyalakan sumber tegangan pada meja laboratorium.
 - Asisten laboratorium akan mengukur data-data yang diperlukan, yaitu arus line, arus fasa, tegangan antar-line dan tegangan fasa. Catat pada lembar data percobaan!



LABORATORIUM TEGANGAN TINGGI DAN PENGUKURAN LISTRIK MODUL PRAKTIKUM RANGKAIAN LISTRIK

Gedung Departemen Teknik Elektro, Lt.2
Kampus Baru UI, Depok 16424

- Matikan sumber tegangan.
- Ubah satu beban resistansi agar berbeda dari beban-beban lainnya.
- Kembali nyalakan sumber tegangan dan catat kembali data-data yang diperlukan selama asisten laboratorium melakukan pengukuran!
- Matikan sumber tegangan pada meja laboratorium.

