

Alat Ukur Listrik

Drs. Purwanto Fadjar, H.M.
Dwa Desa Warnana, M.Si.



PENDAHULUAN

Kita sudah biasa menggunakan peralatan teknik, yang sebagian besar terdiri dari alat-alat listrik. Listrik yang kita pakai dalam kehidupan sehari-hari terbagi atas 2 bagian besar, yaitu listrik bolak-balik dan listrik searah. Dalam menggunakan listrik, kita harus selalu hati-hati, karena listrik meskipun merupakan sarana yang sangat penting dalam membantu kehidupan manusia, mempunyai satu segi yang sangat berbahaya. Jadi di samping sangat diharapkan keberadaannya, listrik juga ditakuti. Oleh karena itu, Anda diharapkan mempunyai pengetahuan dasar tentang penggunaan kelistrikan yang berguna bagi Anda sebagai seorang pendidik atau praktisi elektronik.

Setelah modul ini Anda pelajari, kami mengharapkan Anda memiliki kemampuan untuk memahami konsep-konsep dasar cara mengukur besaran-besaran listrik. Di samping pemahaman konsep, diharapkan pengetahuan pengukuran listrik dapat membantu kehidupan Anda sehari-hari. Sebagai seorang guru, dengan pengetahuan pengukuran kelistrikan ini, Anda diharapkan dapat memberikan pengetahuan kepada anak didik Anda, untuk mendalami pengetahuan kelistrikan dan membiasakan kepada anak didik Anda untuk bertindak sangat hati-hati jika bekerja dengan semua peralatan yang menggunakan listrik.

Tujuan yang diharapkan dari Anda setelah mempelajari modul Alat Ukur Listrik ini adalah:

1. membedakan macam-macam alat ukur listrik;
2. menjelaskan penggunaan alat pengukur arus listrik;
3. menjelaskan penggunaan alat pengukur tegangan listrik;
4. menjelaskan penggunaan alat pengukur hambatan;
5. membedakan pengukuran antara tegangan bolak-balik dan tegangan searah;
6. menggunakan osiloskop.

Agar Anda dapat mempelajari modul ini dengan lancar ikutilah petunjuk singkat berikut ini:

1. Baca uraian materi pada tiap-tiap Kegiatan Belajar dengan baik.
2. Gunakan alat bantu yang diperlukan dalam mempelajari modul ini, misalnya: voltmeter, ohmmeter dan ampermeter.
3. Kerjakan semua latihan dan tes formatif yang terdapat pada modul.
4. Janganlah melihat kunci jawaban sebelum Anda selesai mengerjakan latihan/tes formatif.
5. Catatlah bagian-bagian yang belum Anda pahami, kemudian diskusikan dengan teman Anda atau tanyakan kepada guru bina atau orang yang Anda anggap mampu.
6. Bila Anda belum menguasai 70% dari tiap kegiatan, maka ulangi kembali langkah-langkah di atas dengan seksama.

Selamat Belajar, semoga berhasil dan sukses untuk Anda.

KEGIATAN BELAJAR 1

Pengukuran Besaran Listrik

Listrik yang kita kenal sehari-hari terdiri dari 2 jenis, yaitu listrik searah (*Direct Current* – DC) dan listrik bolak-balik (*Alternating Current* – AC). Berbicara mengenai listrik kita harus selalu ingat dengan hukum kelistrikan yang dikemukakan oleh ilmuwan Jerman, George Simon Ohm (1789 – 1854). Hukum kelistrikan ini dikenal sebagai hukum Ohm, yang kemudian berkembang dan dirumuskan sebagai $V = iR$. Hukum ini menjadi dasar semua pengukuran listrik, yaitu pengukuran besaran tegangan, besaran arus dan besaran hambatan. Satuan dasar menurut Sistem Internasional (SI), untuk menyatakan besaran tegangan adalah **volt**; menyatakan besaran kuat arus adalah **ampere** dan besaran hambatan adalah **ohm**.

Kadangkala kita perlu mengetahui adanya arus dan tegangan dalam suatu rangkaian, sedangkan panca indera kita tidak dapat meraba besaran tersebut secara kuantitatif. Oleh karenanya harus dibuat instrumen untuk menterjemahkan besaran tersebut ke dalam bentuk penunjukan audio atau visual. Instrumen-instrumen yang disebut sebagai alat ukur ini memainkan peranan penting dalam bidang kelistrikan dengan menghasilkan pengukuran yang tidak dapat dilakukan dengan indera normal kita. Oleh karena itu pengertian tentang cara kerja alat ukur sangat penting bagi praktisi elektronika.

Alat ukur umumnya dibuat dengan dasar sebuah '*meter*'. Meter didefinisikan sebagai alat yang menterjemahkan besaran listrik tertentu menjadi sebuah indikasi atau penunjukan secara akurat. Penunjukan ini dapat diartikan secara visual, biasanya dalam bentuk simpangan jarum atau petunjuk di atas skala yang telah dikalibrasikan. Dalam era digital ini simpangan jarum dan skala telah diganti dengan tampilan angka/numerik pada layar. Dalam analisa dan pengukuran rangkaian, meter didesain secara akurat mengukur besaran dasar dari tegangan, arus dan tahanan.

Nah sebelum kita mempelajari alat ukur dan pengukuran besaran listrik, ada beberapa istilah yang harus perlu dipahami berkaitan dengan keakuratan pengukuran yakni *ketepatan*, *ketelitian*, *kepekaan*, *daya pisah* dan *kesalahan*.

1. **Ketepatan** (akurasi): menyatakan seberapa dekat angka yang terbaca pada alat ukur dengan nilai besaran berdasarkan teori yang diukur

tersebut. Alat ukur dengan ketepatan tinggi menunjukkan angka yang terbaca dan sangat dekat dengan nilai sebenarnya besaran yang di ukur.

2. **Ketelitian** (presisi): menyatakan seberapa dekat nilai bacaan alat ukur jika digunakan untuk mengukur suatu besaran berkali-kali. Alat dengan ketelitian yang tinggi memberikan taburan hasil pengukuran yang sangat berdekatan (sempit). Alat dengan ketelitian tinggi belum tentu mempunyai ketepatan tinggi, karena mungkin alat ini mempunyai kesalahan sistematis.
3. **Kepekaan** (sensitivitas): menyatakan perbandingan pengeluaran terhadap perubahan pada besaran yang diukur. Suatu alat yang peka akan memberikan tanggapan atau respon yang besar jika besaran yang diukur berubah sedikit. Pada meter kumparan putar (*moving coil meter*), kepekaan arus dinyatakan oleh arus yang menyebabkan simpangan penuh. Meter dengan kepekaan arus 100 mA berarti bila kumparan dilalui arus 100 mA, jarum akan memberikan simpangan penuh.
4. **Daya Pisah** (resolusi): perubahan terkecil daripada besaran yang diukur, untuk mana alat ukur masih memberikan tanggapan.
5. **Kesalahan**: simpangan terhadap nilai sebenarnya besaran yang diukur.

Banyak alat ukur listrik menggunakan jarum penunjuk yang bergerak jika dialiri arus listrik. Alat ukur listrik ini termasuk **alat ukur analog**, karena hasil pengukurannya dinyatakan oleh besar tanggapan alat ukur, dalam hal ini besar simpangan. Alat ukur modern banyak menggunakan penunjuk berupa angka (tanpa jarum); alat ukur semacam ini disebut **alat ukur digital**.

Pada alat ukur analog, secara umum 'simpangan' berdasarkan prinsip elektromagnetik: dimana arus listrik mengalir pada konduktor menghasilkan medan magnet yang arahnya tegak lurus terhadap arah arus. Arus yang besar akan menghasilkan medan magnet yang besar pula, begitu sebaliknya. Jika medan magnet yang dihasilkan oleh konduktor berinteraksi dengan medan magnet lainnya, maka gaya interaksi akan muncul antara dua sumber medan tersebut. Jika salah satu sumber bebas bergerak terhadap yang satunya, seperti halnya arus yang mengalir pada konduktor, maka pergerakan (biasanya identik dengan resistansi pegas) akan sebanding dengan besarnya arus.

Alat ukur analog dengan jarum petunjuk yang dibuat pertama kali dikenal sebagai '**Galvanometer**' dan biasanya didesain dengan *sensitivitas* maksimum sesuai dengan kemampuan pola pikir saat itu. *Galvanometer* yang



Gambar 1.1.
Contoh model galvanometer pertama kali

sederhana dibuat dari jarum termagnetisasi (seperti jarum kompas) yang terikat pada kawat/senar dan diletakkan di tengah-tengah kumparan. Arus mengalir dalam kumparan akan menghasilkan medan magnet sehingga jarum akan bergerak dari posisi awalnya yang menunjukkan arah medan magnet bumi. Salah satu contoh galvanometer yang dibuat pada tahun 1910 dapat dilihat pada Gambar 1.1 berikut.

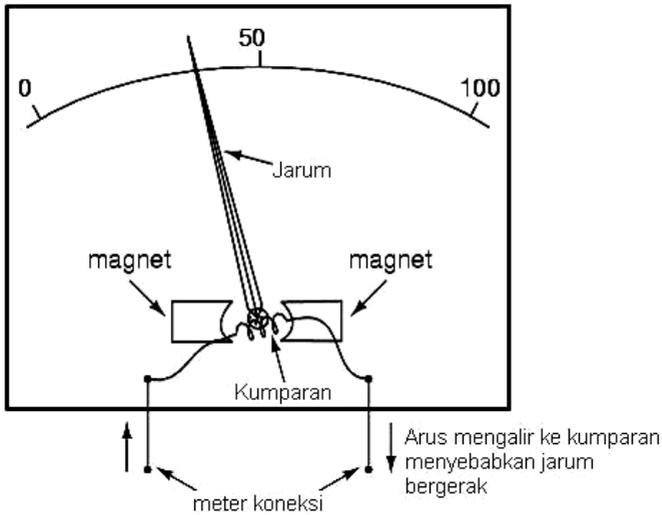
Alat ukur seperti Gambar 1.1 ini, banyak digunakan pada jamannya tetapi sekarang tidak

terpakai lagi dan hanya dipergunakan untuk kepentingan pendidikan dalam menjelaskan konsep dari galvanometer. Alat tersebut sangat mudah mengalami guncangan dari luar dan gangguan dari medan magnet bumi. Sekarang istilah ‘galvanometer’ dipakai untuk alat ukur yang menggunakan prinsip elektromagnetik dengan jarum penunjuk, dengan sensitivitas dan kepraktisan lebih tinggi. Alat ukur sekarang dibuat dari jarum yang diikatkan pada kumparan yang berada dalam medan magnet besar, dan terlindungi dari pengaruh gangguan luar. Prinsip ini juga dikenal sebagai ‘*Permanent Magnet – Moving Coil*’ atau *PMMC*.

Meter kumparan putar ini banyak digunakan pada amperemeter, voltmeter, ohmmeter, dan lain-lain. Dalam sesi ini akan kita pelajari prinsip kerja Galvanometer dan penerapannya sebagai amperemeter, voltmeter, dan ohmmeter khususnya pada arus listrik searah (DC).

A. GALVANOMETER

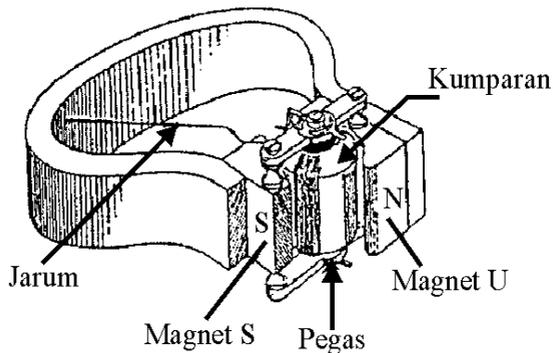
Prinsip dari suatu galvanometer adalah adanya simpangan kumparan yang dilalui arus listrik dalam medan magnet, seperti yang terlihat pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2.
Prinsip Galvanometer

Pada Gambar 1.2 di atas, "jarum penunjuk" menunjukkan titik tertentu sekitar 35% dari skala penuh, dimana nol penuh berada di sebelah kiri busur dan skala penuh berada di sebelah kanan. Kenaikan arus yang diukur akan menyebabkan jarum bergerak ke kanan dan penurunan arus menyebabkan jarum akan bergerak kembali ke kiri. Busur pada skala tampilan diberi label dengan angka untuk menunjukkan besaran kuantitas yang akan diukur, apapun besaran tersebut. Dengan kata lain, jika dibutuhkan arus sebesar $50 \mu\text{A}$ untuk menggerakkan jarum ke arah kanan dengan skala penuh maka angka 0 ditulis pada ujung sebelah kiri, $50 \mu\text{A}$ di ujung sebelah kanan dan $25 \mu\text{A}$ berada ditengah-tengah skala. Demikian seterusnya, skala kita buat semakin kecil (misalkan tiap $5 \mu\text{A}$ atau $1 \mu\text{A}$) untuk memudahkan pengamatan dan ketelitian dari pergerakan atau posisi jarum.

Seperti yang terlihat pada Gambar 1.2, galvanometer mempunyai sepasang meter koneksi untuk arus masuk dan arus keluar. Kebanyakan galvanometer sensitif terhadap polaritas (pengkutuban) sehingga arus yang masuk ke meter koneksi bisa membuat jarum bergerak ke kanan ataupun sebaliknya jarum bergerak ke kiri. Mungkin Anda bertanya bagaimana jarum bisa bergerak ke kanan atau ke kiri dan tergantung pada polaritas arus yang mengalir? Mari kita lihat Gambar 1.3 dimensi dari Gambar 1.2 berikut.



Gambar 1.3.
Konstruksi dari Galvanometer

Seperti yang telah dijelaskan di muka, prinsip kerja yang digunakan adalah elektromagnetik. Arus listrik yang akan diukur dilewati kumparan dimana kumparan sendiri berada dalam medan magnet (terinduksi magnet). Induksi magnet yang ditimbulkan oleh medan permanen memiliki arah induksi magnet dari kutub U ke kutub S. Akibatnya pada kumparan terdapat dua buah gaya yang sama besar tetapi arahnya berlawanan dan tidak dalam satu garis kerja, sehingga membentuk suatu momen kopel yang akan memutar kumparan, besarnya momen kopel tersebut adalah:

$$\tau = B I A N \tag{1.1}$$

dimana,

τ = Momen kopel (weber ampere)

B = Induksi magnet permanen (weber/m²)

I = Arus listrik (ampere)

A = Luas penampang kumparan (m^2)

N = Jumlah lilitan kumparan

Karena ada pegas spiral sebagai imbalan, maka bekerjalah momen gaya pegas sebesar:

$$\tau = k \theta \quad (1.2)$$

dimana; k adalah konstanta pegas dan θ adalah sudut simpangan dari kumparan. Dari persamaan (1.1) dan (1.2) maka dapat kita peroleh hubungan untuk menentukan simpangan sudut θ , yakni:

$$k \theta = N B I A \quad (1.3)$$

atau

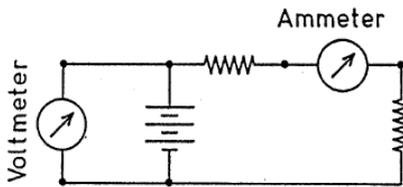
$$\theta = \frac{N B I A}{k} = s I, \quad (1.4)$$

dengan; $s = \frac{N B A}{k}$ dikenal sebagai kepekaan arus galvanometer (*Current sensitivity of galvanometer*).

Induksi magnet B biasanya mempunyai nilai antara 1 hingga 5 gauss. Simpangan penuh (sp), biasanya dibuat untuk $\theta_{sp} = 90^\circ$. Kita lihat selama pegas mengikuti hukum Hooke, simpangan θ sebanding dengan arus listrik.

B. AMPEREMETER (AMMETER)

Pemakaian terpenting dari galvanometer adalah sebagai alat ukur arus listrik (amperemeter atau ammeter) dan alat ukur tegangan (voltmeter). Pada pemakaian sebagai amperemeter (ammeter), diupayakan semua arus listrik pada suatu titik cabang yang diukur dapat melalui ammeter. Tujuannya adalah pada titik cabang tersebut seolah-olah terjadi hubungan singkat, yaitu mempunyai resistansi rendah dan penurunan tegangan yang rendah. Untuk pemakaian sebagai voltmeter (dipasang di antara dua titik), diupayakan agar arus listrik yang lewat ke meter (voltmeter) sekecil mungkin. Tujuannya adalah agar di kedua titik sambungan seolah-olah merupakan rangkaian terbuka, yaitu memiliki resistansi yang sangat besar atau dilewati arus listrik yang sangat kecil. Agar Anda dapat lebih memahami uraian di atas, ditunjukkan Gambar 1.4 bagaimana kedua galvanometer tersebut dipasang pada rangkaian sebagai amperemeter dan voltmeter.



Gambar 1.4.
Pemasangan galvanometer sebagai amperemeter dan voltmeter pada rangkaian

Suatu galvanometer umumnya memerlukan arus listrik sebesar 1 mA (dan sekitar 0,1 V) untuk membuat defleksi skala penuh (*full-scale deflection*). Karenanya, galvanometer hanya untuk mengukur arus dalam satuan mikroampere, sedangkan sehari-hari kita memerlukan arus listrik dalam satuan ampere, karena itu perlu alat

ukur arus yang mampu mengukur arus dalam orde ampere, alat ukur ini disebut **amperemeter**.

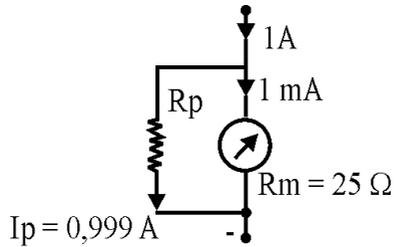
Suatu amperemeter adalah suatu galvanometer yang diberi tahanan luar paralel dengan tahanan galvanometer (disebut tahanan *shunt*). Fungsi dari tahanan *shunt* adalah untuk mengalirkan arus sedemikian hingga arus maksimum yang lewat galvanometer tetap dalam satuan mikroampere. Sebagai contoh suatu galvanometer dengan tahanan 25 ohm hanya mampu dialiri arus 1 mA pada simpangan maksimum, galvanometer ini akan dijadikan amperemeter yang mampu mengukur arus sebesar 1 Ampere pada simpangan maksimum

Pada Gambar 1.5, Anda dapat melihat bahwa arus sebesar $1 \text{ A} - 1 \text{ mA} = 0,999 \text{ A}$ harus dilewatkan pada tahanan *shunt* (R_p). Besarnya tahanan *shunt* yang harus dipasang pada galvanometer agar mampu menjadi amperemeter dengan batas ukur 1 A (simpangan maksimum bila dilalui arus 1 A) dapat di hitung dengan prinsip pembagi arus sebagai berikut:

$$R_p = \frac{R_m}{n - 1} \tag{1.5}$$

dimana, n adalah perbesaran batas ukur amperemeter. Pada kasus di atas perbesaran yang dilakukan adalah sebesar $n = 1000$ kali, sehingga tahanan shunt (R_p) adalah :

$$R_p = \frac{R_m}{n - 1} = \frac{25 \Omega}{1000 - 1} = \frac{25 \Omega}{999} = 0,025 \Omega$$



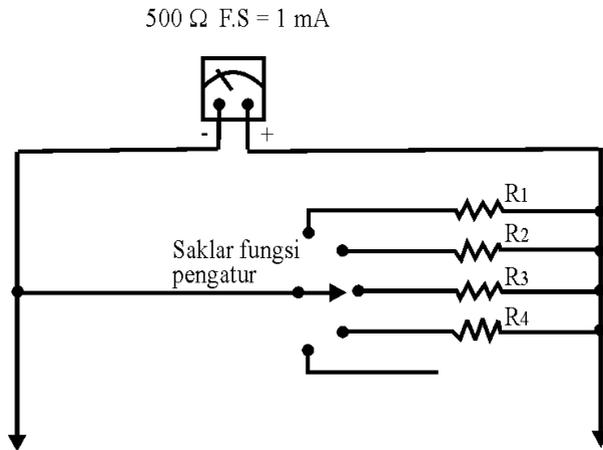
Gambar 1.5.
Amperemeter dengan Batas Ukur 1 A

Dalam kehidupan sehari-hari tahanan shunt bersama galvanometer pada amperemeter biasanya telah berada di dalamnya dan terlindungi oleh wadah dan tidak terlihat oleh mata. Contoh amperemeter ditunjukkan Gambar 1.6 berikut ini:



Gambar 1.6.
Contoh Amperemeter

Amperemeter juga dapat dibuat multi-skala dengan memasang beberapa tahanan shunt dan saklar pengatur fungsi pengukuran. Amperemeter multi skala ini dapat dijumpai dalam multimeter yang akan dibahas pada Modul 1 Kegiatan Belajar 2. Rangkaian amperemeter multi skala dapat dilihat pada Gambar 1.7 berikut ini:



Gambar 1.7.
Rangkaian Amperemeter multi skala

Anda harus ingat bahwa, pemasangan beberapa tahanan (R_1 , R_2 , R_3 dan R_4) yang terkoneksi dengan saklar fungsi pengatur haruslah selalu paralel dengan galvanometer. Tentunya hanya satu tahanan yang terhubung pada saat melakukan pengukuran. Besar tahanan yang diberikan tergantung pada jangkauan skala yang akan dibuat, berdasarkan karakteristik galvanometer (pada gambar 1.7 dicantumkan tahanan galvanometer $R_m = 500 \Omega$ dan hanya mampu dialiri arus 1 mA pada simpangan maksimum).

Contoh Soal:

Jika amperemeter di buat skala untuk pengukuran 100 mA, 1 A, 10 A dan 100 A maka berapa tahanan shunt masing-masing skala?

Penyelesaian:

Dapat dihitung sesuai dengan persamaan (1.5).

- a. Pada 100 mA, $n = 100$ kali, maka

$$R_p = \frac{R_m}{(n-1)} = \frac{500 \Omega}{(100-1)} = \frac{500 \Omega}{99} = 5,05 \Omega$$

- b. Pada 1 A, $n = 1000$ kali, maka

$$R_p = \frac{R_m}{(n-1)} = \frac{500 \Omega}{(1000-1)} = \frac{500 \Omega}{999} = 0,5 \Omega = 500 \text{ m}\Omega$$

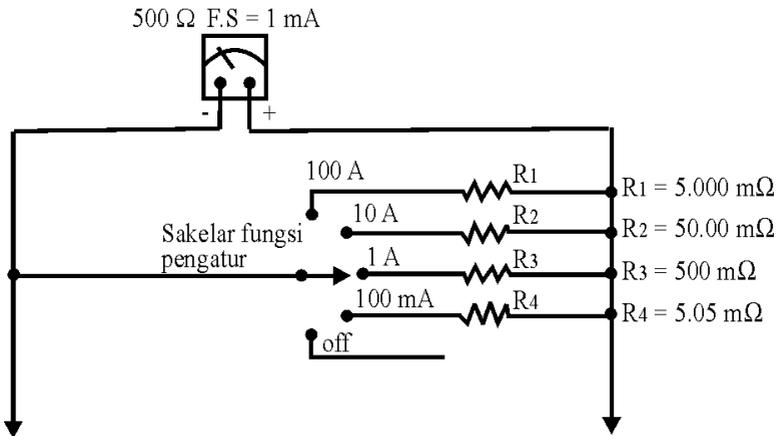
c. Pada 10 A, $n = 10.000$ kali, maka

$$R_p = \frac{R_m}{(n-1)} = \frac{500\ \Omega}{(10000-1)} = \frac{500\ \Omega}{9999} = 0,05\ \Omega = 50\ m\Omega$$

d. Pada 100 A, $n = 100.000$ kali, maka

$$R_p = \frac{R_m}{(n-1)} = \frac{500\ \Omega}{(100000-1)} = \frac{500\ \Omega}{99999} = 0,005\ \Omega = 5\ m\Omega$$

Dengan demikian rangkaian amperemeter untuk multi skala ini, seperti yang ditunjukkan gambar 1.8 berikut ini:



Gambar 1.8.
Rangkaian amperemeter untuk pengukuran
arus 100 mA, 1 A, 10 A dan 100 A

Di dalam penggunaan amperemeter, ada beberapa hal yang harus selalu diingat yaitu:

- (1) jangan sekali-kali menghubungkan amperemeter antara dua kutub sumber ggl. Karena hambatan dalam sumber ggl sangat kecil, arus listrik yang melalui meter menjadi sangat besar dan dapat merusak amperemeter.
- (2) selalu perhatikan kekutuban amperemeter. Tanda + (biasanya ditandai warna merah) pada amperemeter dihubungkan dengan titik berpotensi tinggi, sedangkan tanda - (biasanya ditandai warna hitam) dengan titik berpotensi rendah.

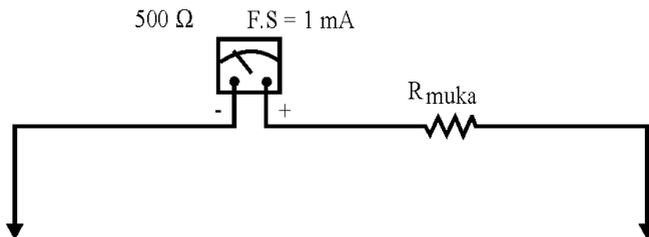
- (3) Dalam menggunakan amperemeter multi skala, jika kita tidak yakin besar arus listrik yang akan diukur gunakan skala arus terbesar lebih dahulu, kemudian turunkan skala menurut keperluan.

C. VOLTMETER

Telah dijelaskan di awal bahwa pemakaian galvanometer sebagai voltmeter diupayakan agar arus yang lewat ke galvanometer sekecil mungkin. Tujuannya adalah agar di kedua titik sambungan seolah-olah merupakan rangkaian terbuka, yaitu memiliki resistansi yang sangat besar atau dilewati arus yang sangat kecil. Penggunaan galvanometer sebagai voltmeter telah ditunjukkan pula pada Gambar 1.4.

Dilain pihak galvanometer merupakan piranti yang sensitif, dimana arus untuk defleksi penuh sekitar $50 \mu\text{A}$ dengan tahanan dalam (R_m) kurang dari 1.000Ω . Ini artinya untuk menjadi voltmeter dengan skala penuh hanya sampai batas 50 milivolt ($50 \mu\text{A} \times 1000 \text{ A}$)! Karenanya untuk membuat voltmeter yang praktis (mengukur tegangan yang lebih tinggi) dari galvanometer, kita harus mencari cara bagaimana menurunkan tegangan yang akan diukur menjadi tegangan yang dapat diukur oleh galvanometer.

Untuk memecahkan permasalahan di atas maka diperlukan rangkaian '*pembagi tegangan*' sehingga tegangan total yang akan diukur sebanding dengan tegangan pada galvanometer. Rangkaian pembagi tegangan ini adalah dengan memberi *tahanan muka* yakni tahanan luar yang diseri dengan tahanan galvanometer, seperti Gambar 1.9 berikut ini.



Gambar 1.9.
Prinsip suatu voltmeter

Sebagai contoh pada Gambar 1.9, tahanan galvanometer 500 ohm , simpangan maksimum galvanometer terjadi bila dilalui arus 1 mA . Galvanometer akan dijadikan voltmeter dengan batas ukur 10 volt , tahanan

muka yang dipasang adalah R_s harus sedemikian rupa sehingga bila diukur, arus listrik yang lewat galvanometer 1 mA. Tahanan seri pada galvanometer agar dapat dipakai sebagai voltmeter dengan batas ukur 10 volt dapat dihitung sebagai berikut.

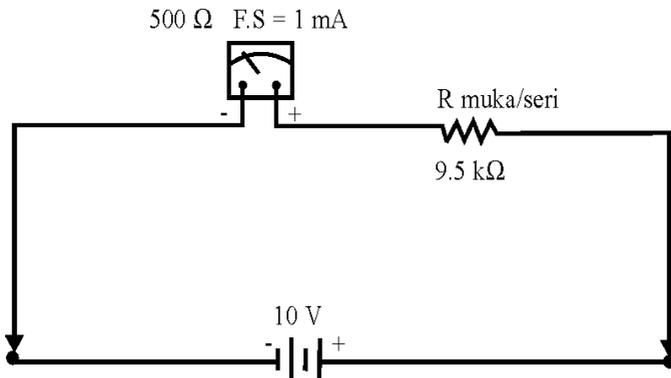
Dari hukum ohm, $I R = V$

$$10^{-3} \text{ A} \times (R_s + 500) \Omega = 10 \text{ volt}$$

$$R_s = (10 \times 10^3) - 500 \Omega$$

$$R_s = 9500 \Omega$$

$$R_s = 9,5 \text{ k}\Omega$$



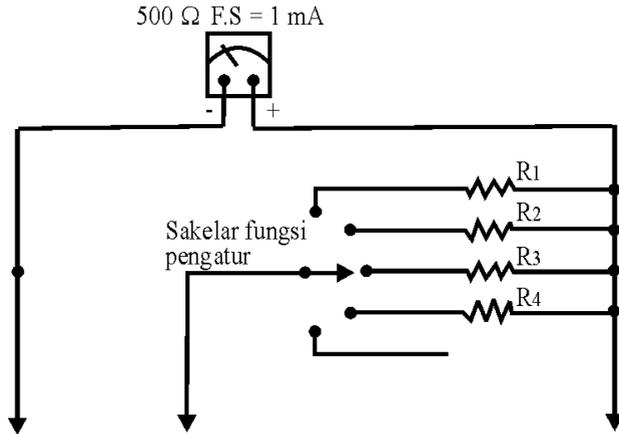
10 Volt memberikan defleksi

Gambar 1.10.
Voltmeter dengan batas ukur 10 volt

Dengan memberikan tegangan 10 volt yang sebenarnya (bisa dari baterai atau catu daya yang presisi) maka arus 1 mA akan mengalir ke galvanometer dan tahanan muka. Secara eksak tegangan pada galvanometer sebesar 0,5 volt ($1 \text{ mA} \times 500 \Omega$) dan jarum penunjuk memberikan penyimpangan secara penuh. Dengan memberikan pelabelan baru dari 0 sampai 10 volt pada penunjuk skala maka setiap orang akan menginterpretasikan pengukuran tersebut sebesar 10 volt (bukan 0,5 volt).

Uraian di atas adalah bagaimana cara mendesain dan menggunakan alat ukur tegangan. Galvanometer yang sensitif dan dirancang pada tegangan dan arus listrik yang kecil dapat diakali dengan memberikan tahanan seri sebagai pembagi tegangan. Seperti halnya alat ukur amperemeter, pada alat ukur tegangan ini dapat dimungkinkan rancangan pengukuran tegangan multi

skala/skala yang lebar dengan menggunakan hanya satu galvanometer. Gambar 1.11 merupakan contoh voltmeter dengan multi-skala.



Gambar 1.11.
Voltmeter multi skala

Adanya saklar fungsi pengatur membuat kontak hanya pada satu tahanan pada saat pengukuran. Masing-masing tahanan mempunyai besaran yang berbeda sesuai skala yang ingin dibuat, berdasarkan karakteristik dari galvanometer (pada Gambar 1.11 galvanometer mempunyai arus defleksi penuh 1 mA dan tahanan dalam 500 Ω). Hasil akhir dari voltmeter multi skala ini adalah 4 jangkauan skala yang berbeda.

Seperti mendesain voltmeter satu skala, penentuan masing-masing nilai resistor dihitung dengan teknik yang sama, menggunakan hubungan dari tegangan total yang diketahui, arus defleksi penuh dan tahanan dalam dari galvanometer.

Contoh Soal:

Didesain voltmeter multi skala dengan 4 jangkauan skala yakni 1 volt, 10 volt, 100 volt dan 1000 volt. Carilah R_s untuk 1 volt, 10 volt, 100 volt dan 1000 volt?

Penyelesaian:

a. Untuk 1 volt:

$$R_s = (1 \times 10^3) - 500 \Omega = 500 \Omega$$

b. Untuk 10 volt:

$$R_s = (10 \times 10^3) - 500 \Omega = 9500 \Omega = 9,5 \text{ k}\Omega$$

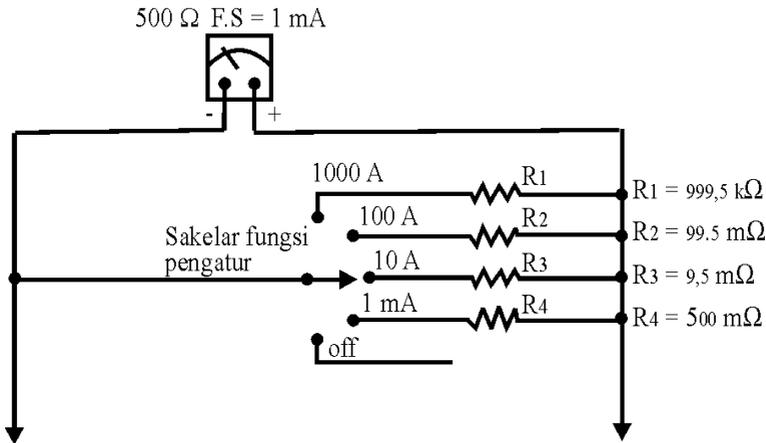
c. Untuk 100 volt:

$$R_s = (100 \times 10^3) - 500 \Omega = 99500 \Omega = 99,5 \text{ k}\Omega$$

d. Untuk 1000 volt:

$$R_s = (1000 \times 10^3) - 500 \Omega = 999500 \Omega = 999,5 \text{ k}\Omega$$

Dengan demikian rangkaian voltmeter untuk multi skala ini, seperti yang ditunjukkan Gambar 1.12 di bawah ini:



Gambar 1.12.

Rangkaian voltmeter untuk pengukuran tegangan 1 volt, 10 volt, 100 volt dan 1000 volt

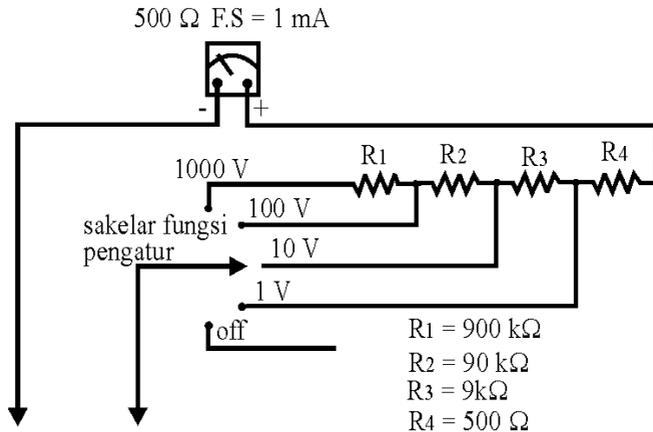
Dari hasil perhitungan dan Gambar 1.12 terlihat bahwa tahanan muka yang digunakan semuanya bernilai ganjil sehingga relatif sulit untuk mencari harga resistor tersebut di pasaran. Karenanya untuk memudahkan dalam mendesain dan merakit voltmeter desain tersebut dapat diganti dengan model seperti Gambar 1.13. Dalam desain baru ini tahanan mukanya disusun secara seri dan pada pengukuran 1000 volt tetap memerlukan tahanan muka sebesar 999,5 kΩ, sehingga akan diperoleh:

$$R_{\text{Total}} = R_4 + R_3 + R_2 + R_1$$

$$R_{\text{Total}} = 900 \text{ k}\Omega + 90 \text{ k}\Omega + 9 \text{ k}\Omega + 500 \Omega$$

$$R_{\text{Total}} = 999,5 \text{ k}\Omega$$

Keuntungan desain ini tentunya masing-masing resistor (900k, 90k, 9k) lebih mudah diperoleh dibandingkan dengan resistor dari desain sebelumnya.



Gambar 1.13.
Desain baru voltmeter untuk pengukuran tegangan
1 volt, 10 volt, 100 volt dan 1000 volt

Untuk jangkauan tegangan yang kecil, maka diperlukan hambatan dalam (R_G) yang relatif besar dan tidak mungkin dicapai dengan voltmeter biasa, tetapi harus digunakan voltmeter elektronik, yaitu voltmeter tabung hampa (*vacuum tube voltmeter*, VTVM), voltmeter FET, atau voltmeter digital. Untuk mengukur beda potensial antara dua ujung resistor 10 M Ω , haruslah digunakan voltmeter dengan hambatan dalam hingga 10 G Ω (10^{10} Ω). voltmeter semacam ini disebut *electrometer*.

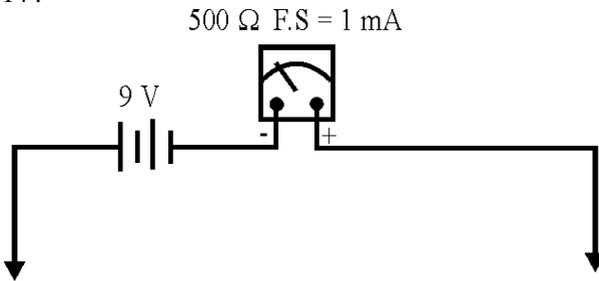
Seperti halnya dalam penggunaan amperemeter, dan menggunakan voltmeter hendaklah Anda ingat beberapa hal berikut di bawah ini, yaitu:

- a. Kekutuban tegangan, yaitu tanda + pada voltmeter DC dihubungkan dengan tegangan yang lebih tinggi, sedangkan tanda - dihubungkan dengan tegangan yang lebih rendah.

- b. Biasakan untuk menyentuh dulu hubungan antara voltmeter dengan rangkaian, sebelum menghubungkan dengan kuat arus.
- c. Gunakan skala tegangan besar dulu, baru turunkan pada skala yang diinginkan.
- d. Lihat dulu berapa besar hambatan yang akan diukur beda tegangannya, dan bandingkan dengan tahanan dalam voltmeter. Jangan voltmeter membebani tegangan rangkaian yang diukur.

D. OHMMETER

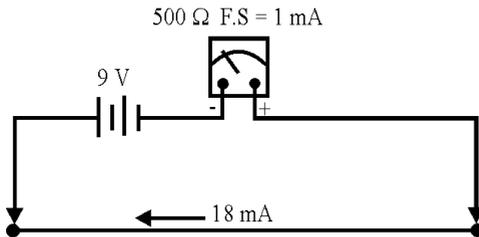
Meskipun ohmmeter analog jarang digunakan saat ini, karena telah ada ohmmeter digital, tetapi untuk pengetahuan tidak ada salahnya untuk pelajari juga. Penggunaan ohmmeter tentunya untuk mengukur hambatan dari dua titik yang akan diukur. Pembacaan tahanan diindikasikan dengan pergerakan jarum galvanometer akibat dialiri arus. Karenanya dalam pengukuran ohmmeter ini haruslah ada sumber tegangan internal (baterai) untuk menghasilkan arus listrik yang mengalir ke galvanometer, seperti Gambar 1.14.



Gambar 1.14.
Rangkaian ohmmeter

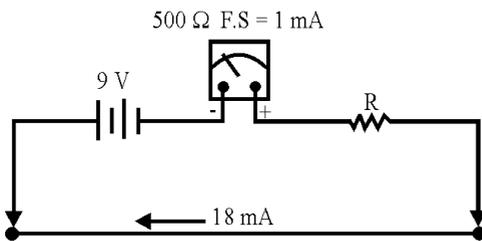
Jika tidak ada beban (kedua ujung tes terbuka) seperti pada Gambar 1.14, maka tidak ada arus yang mengalir menuju galvanometer dan jarum penunjuk tetap berada di sebelah kiri. Ini menandakan harga resistor adalah tidak hingga (∞). Perlu diingat oleh Anda bahwa pengukuran skala untuk ohmmeter berbeda dengan amperemeter dan voltmeter. Pada pengukuran ohmmeter, jarum bergerak ke kanan, maka harga resistor semakin kecil dan pada simpangan maksimum harga resistor adalah nol. Pada alat ukur

amperemeter dan voltmeter, simpangan bergerak ke kanan menandakan harga arus dan tegangan yang diukur semakin besar.



Gambar 1.15.
Ohmmeter berharga nol jika kedua ujung tes ditempel

Gambar 1.15, maka arus maksimum sebesar 18 mA (9 volt/500 ohm) dan harga tahanan sebesar nol ohm.



Gambar 1.16.
Ohmmeter seri

memudahkan pengukuran maka diberikan tahanan yang dipasang seri terhadap galvanometer. Alat ini dikenal sebagai ohmmeter seri, seperti yang Anda lihat pada Gambar 1.16.

Untuk menghitung nilai R, terlebih dahulu dihitung total tahanan yang diperlukan untuk dilewati arus 1 mA (arus yang diperlukan untuk defleksi penuh pada kasus Gambar 1.16) dengan tegangan 9 volt dari baterai. Dengan menggunakan hukum ohm, diperoleh:

$$R_{\text{total}} = \frac{V}{I} = \frac{9\text{V}}{1\text{mA}} = 9\text{k}\Omega$$

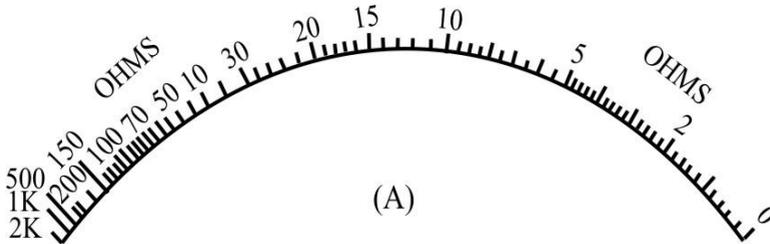
$$R = R_{\text{total}} - 500\Omega = 8.5\text{ k}\Omega$$

Beban mempunyai harga tahanan sebesar 0 Ω, maka arus yang mengalir pada galvanometer berharga maksimum dan besarnya arus hanya bergantung pada tegangan baterai dan tahanan dalam galvanometer. Dengan menempelkan kedua ujung tes ohmmeter, seperti pada

Dengan kondisi jangkauan yang sangat lebar, rangkaian ini tidaklah bagus. Jika skala penuh pada alat ukur pada sebelah kiri, menunjukkan sesuatu yang memiliki tahanan yang tak terhingga, kemudian skala penuh pada sebelah kanan menunjukkan tahanan sama dengan nol. Untuk

Sekarang, R telah dapat kita hitung dengan benar, tetapi kendala kita masih belum dapat kita pecahkan dengan baik. Penskalaan dari 0 ohm hingga tak hingga bukanlah soal yang mudah. Nilai tak hingga bukan sekedar nilai yang sangat besar nilai ini merupakan kuantitas yang tidak dapat dihitung. Sebagai contoh kita belum bisa menjawab pertanyaan ini: dimanakah letak titik tengah pengukuran?

Untuk menyelesaikan persoalan di atas, maka digunakan *skala logaritmik*. Artinya kenaikan skala yang diberikan tidak linier, seperti contoh pada Gambar 1.17 berikut ini.



Gambar 1.17.
Penskalaan pada ohmmeter

Untuk pembuatan skala, jika diketahui jarum akan bergerak maksimum pada saat dialiri arus listrik 1 mA, maka untuk membuat jarum bergerak ke titik tengah (1/2 skala defleksi penuh) galvanometer harus dialiri arus listrik sebesar 0,5 mA (500 μ A). Dengan mengacu rangkaian di atas, dimana baterai 9 V digunakan sebagai sumber maka besar R adalah:

$$R_{\text{total}} = \frac{V}{I} = \frac{9 \text{ V}}{0,5 \text{ mA}} = 18 \text{ k}\Omega$$

Karena pada rangkaian telah terdapat hambatan dalam galvanometer 500 ohm dan R seri yang dipasang (rangkaian Gambar 1.16) adalah 8,5 k Ω dengan total hambatan = 9 k Ω maka sisa tahanan adalah sebesar 9 k Ω yang ditunjukkan pada $\frac{1}{2}$ skala penuh. Dengan demikian untuk membuat $\frac{1}{4}$ skala penuh dan $\frac{3}{4}$ skala penuh, dapat ditentukan skala R_{test} -nya.

Untuk $\frac{1}{4}$ skala penuh, arus yang harus mengalir pada galvanometer sebesar 0,25 mA maka R_{test} adalah:

$$R_{\text{total}} = \frac{V}{I} = \frac{9\text{V}}{0,25\text{mA}} = 36\text{k}\Omega$$

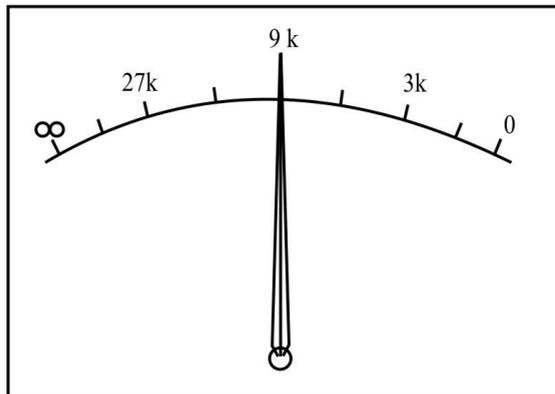
$$\begin{aligned} R_{\text{test}} &= R_{\text{total}} - R_{\text{internal}} \\ &= 36\text{ k}\Omega - 9\text{ k}\Omega \\ &= 27\text{ k}\Omega \end{aligned}$$

Untuk $\frac{3}{4}$ skala penuh, arus yang harus mengalir pada galvanometer sebesar 0.75 mA maka R_{test} adalah:

$$R_{\text{total}} = \frac{V}{I} = \frac{9\text{V}}{0,75\text{mA}} = 12\text{k}\Omega$$

$$\begin{aligned} R_{\text{test}} &= R_{\text{total}} - R_{\text{internal}} \\ &= 12\text{ k}\Omega - 9\text{ k}\Omega \\ &= 3\text{ k}\Omega \end{aligned}$$

Sehingga skala dari ohmmeter terlihat seperti Gambar 1.18 berikut ini.



Gambar 1.18
Skala ohmmeter untuk rangkaian Gambar 1.16

Permasalahan utama untuk desain ini adalah kestabilan dari tegangan baterai untuk keakurasian membaca hambatan. Jika tegangan baterai berkurang maka penskalaan ohmmeter kehilangan keakurasian. Dengan tahanan seri konstan sebesar $8.5 \text{ k}\Omega$ dan tegangan menurun, galvanometer tidak akan defleksi penuh ketika dua ujung tes ditempel. Karenanya dalam alat ukur ohmmeter yang harus kita perhatikan adalah sumber tegangan harus stabil.

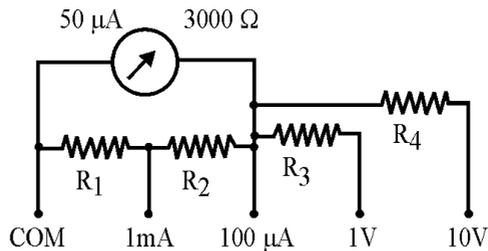


LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Sebutkan salah satu faktor yang mempengaruhi penyimpangan kumparan sebuah galvanometer? Berikan penjelasannya!
- 2) Apa hubungan antara kepekaan arus listrik s dengan penyimpangan jarum galvanometer?
- 3) Jelaskan fungsi dari tahanan shunt dalam ampermeter!
- 4) Suatu galvanometer mempunyai arus listrik defleksi penuh sebesar 10 mA , berapakah besar sudut θ apabila arus listrik yang mengalir 5 mA ?
- 5) Jika hambatan kumparan galvanometer adalah $1 \text{ k}\Omega$, dan arus listrik defleksi penuh adalah 10 mA , dibuat untuk mengukur arus listrik sebesar 1 A , maka berapakah besar tahanan shunt yang harus diberikan?
- 6) Jika hambatan kumparan galvanometer adalah 500Ω , dan arus listrik defleksi penuh 10 mA . Pada penunjukan skala 5 mA , hitung tegangan yang terbaca!
- 7) Nilai hambatan R_s yang dipasangkan pada suatu voltmeter adalah $4,9 \text{ k}\Omega$. Jika tahanan galvanometer 100 ohm dan simpangan maksimum galvanometer terjadi bila dilalui arus listrik 1 mA , hitung batas ukur tegangan dari voltmeter tersebut!
- 8) Jika suatu hambatan dengan nilai 50Ω diukur dengan sebuah ohmmeter, maka jarum penunjuk akan menyimpang ke angka 50 pada skala ohm. Berapa penyimpangan jarum penunjuk pada skala ohm, jika dua buah hambatan dengan nilai 100Ω terhubung secara paralel?

- 9) Suatu ohmmeter dihubungkan dengan suatu kawat yang diketahui nilainya sama dengan 0Ω . Mengapa jarum penunjuk pada skala ohm menyimpang pada skala nol?
- 10) Misalkan sebuah meter dasar $50 \mu\text{A}$ memiliki hambatan sebesar 3000Ω . Coba desain sebuah multimeter yang dapat digunakan untuk pengukuran sampai pada batas ukur $100 \mu\text{A}$, 1 mA , 1 V dan 10 V . Rangkaian yang sesuai diperlihatkan pada gambar berikut ini.



Petunjuk Jawaban Latihan

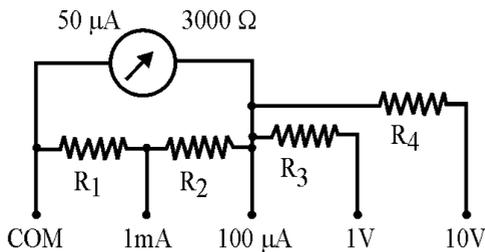
Setelah Anda menyelesaikan soal-soal latihan tersebut, bandingkan jawaban Anda dengan pedoman jawaban berikut:

- 1) Dengan memperbanyak jumlah lilitan (N) kumparan K , maka sudut penyimpangan kumparan semakin besar. Dari rumus $\theta = \text{NBAI}/k$, maka θ semakin besar jika N nilainya diperbesar.
- 2) Dari rumus $\theta = (\text{NBAI})/k$, dapat dituliskan $\theta = \frac{\text{NBA}}{k} I$, di mana $(\text{NBA})/k = s$ adalah kepekaan arus listrik, maka $\theta = sI$. Sehingga arus listrik yang mengalir akan sebanding dengan sudut penyimpangan kumparan, yang sebanding pula dengan penyimpangan jarum penunjuk. Jadi makin besar s , maka makin telitilah galvanometer membaca perubahan arus listrik.
- 3) Fungsi dari tahanan *shunt* adalah untuk mengalirkan arus listrik sedemikian hingga arus listrik maksimum yang lewat galvanometer tetap dalam orde mikroampere.
- 4) Besarnya sudut $\theta = 90^\circ$ jika arus listrik yang mengalir 10 mA . Apabila arus listrik yang mengalir adalah 5 mA , maka penyimpangan jarum penunjuk membentuk sudut $(5 \text{ mA}/10 \text{ mA}) \times 90^\circ = 45^\circ$ dari simpangan penuh.

- 5) Pada 1 A, $n = 100$ kali, maka

$$R_p = \frac{R_m}{n-1} = \frac{1000\Omega}{100-1} = \frac{1000\Omega}{99} = 10.10\Omega$$

- 6) Pada penunjukan skala penuh, galvanometer mengukur arus listrik sebesar $I = 10$ mA atau tegangan sebesar $10 \text{ mA} \times 500 \Omega = 5 \text{ V}$. Jika nilai yang ditunjukkan oleh galvanometer adalah 5 mA, maka tegangan yang terbaca pada skala adalah setara dengan $5 \text{ mA} \times 500 \Omega = 2,5 \text{ volt}$.
- 7) Dari hukum ohm, $I R = V$
 $10^{-3} \text{ A} \times (4900 + 100) \Omega = 5 \text{ volt}$
 Jadi batas ukur tegangan dari voltmeter adalah 5 volt.
- 8) Penyimpangan jarum penunjuk berada pada angka 50 Ω pada skala ohm.
- 9) Jika nilai hambatan yang dipasangkan adalah 0 Ω , maka arus yang mengalir pada amperemeter adalah arus listrik maksimum. Arus listrik ini menyebabkan jarum penunjuk menyimpang pada skala arus listrik simpangan penuh. Skala ini setara dengan skala nol ohm.
- 10) Perhatikan Gambar berikut ini.



Pada batas ukur 100 μA , arus listrik 50 μA masing-masing akan melewati galvanometer dan R_1 serta R_2 , jadi:

$$(R_1 + R_2) = 3000 \Omega \quad (\text{i})$$

Pada batas ukur 1 mA, arus listrik 50 μA akan melewati $(R_2 + 3000 \Omega)$ dan sisanya 950 μA akan melewati R_1 . Dengan demikian tegangan jepitnya adalah :

$$950 \mu\text{A} \times R_1 = 50 \mu\text{A} \times (R_2 + 3000 \Omega) \quad (\text{ii})$$

Persamaan (i) disubstitusikan ke persamaan (ii) diperoleh:

$$950 \mu\text{A} \times R_1 = 50 \mu\text{A} \times (3000 - R_1 + 3000)$$

$$19 R_1 = 6000 - R_1$$

$$R_1 = (6000/20) = 300 \Omega \text{ dan}$$

$$\begin{aligned} R_2 &= 3000 \Omega - 300 \Omega \\ &= 2700 \Omega \end{aligned}$$

Pada batas ukur 1 V, total arus listrik yang mengalir adalah 100 μA dan pada galvanometer arus listrik yang mengalir sebesar 50 μA dengan tegangan jepitnya adalah:

$$50 \mu\text{A} \times 3000 \Omega = 0,15 \text{ V}$$

Karena tegangan total adalah 1 V, maka tegangan jepit pada R_3 adalah:
 $1 \text{ V} - 0,15 \text{ V} = 0,85 \text{ V}$.

Dengan demikian nilai tahanan R_3 adalah :

$$\begin{aligned} R_3 &= (0,85 \text{ V}) / (100 \mu\text{A}) \\ &= 8500 \Omega = 8,5 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

Pada batas ukur 10 V, total arus listrik yang mengalir juga 100 μA dengan arus listrik yang mengalir pada galvanometer sebesar 50 μA dan tegangan jepit adalah 0,15 V.

Karena tegangan total adalah 10 V maka tegangan jepit pada R_4 adalah :
 $10 \text{ V} - 0,15 \text{ V} = 9,85 \text{ V}$.

Dengan demikian nilai tahanan R_4 adalah:

$$\begin{aligned} R_3 &= (9,85 \text{ V}) / (100 \mu\text{A}) \\ &= 98500 \Omega = 98,5 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$



RANGKUMAN

”Simpangan” merupakan mekanisme penunjukan meter dan secara umum berdasarkan prinsip elektromagnetik. Amperemeter adalah suatu meter untuk mengukur arus listrik dengan cara memberikan tahanan luar yang dipasang paralel dengan tahanan galvanometer (disebut tahanan *shunt- R_p*). Untuk mendapatkan hasil pengukuran arus yang mendekati nilai sebenarnya maka meter harus mempunyai R_p yang cukup kecil.

Voltmeter adalah suatu meter untuk mengukur tegangan listrik. Prinsip suatu voltmeter adalah galvanometer yang diberi tahanan muka (tahanan luar yang diseri dengan tahanan galvanometer- R_s) dan meter harus mempunyai R_s yang cukup besar agar diperoleh hasil pengukuran yang benar.

Alat yang digunakan untuk mengukur hambatan disebut ohmmeter. ohmmeter yang biasa digunakan adalah ohmmeter seri dimana penyimpangan jarum penunjuk pada suatu ohmmeter, berlawanan arah

dengan penyimpangan jarum penunjuk pada pengukuran arus atau tegangan.



TES FORMATIF 1 _____

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Susunan rangkaian hambatan pada amperemeter adalah ...
 - A. seri
 - B. seri dengan tahanan galvanometer
 - C. paralel
 - D. paralel dengan tahanan galvanometer

- 2) Nilai hambatan R_p yang dipasangkan pada suatu galvanometer dengan hambatan R_g , agar batas ukur arusnya menjadi lebih besar adalah
 - A. $R_p = R_g$
 - B. $R_g > R_p$
 - C. $R_p > R_g$
 - D. $R_p < R_g$

- 3) Susunan rangkaian hambatan pada voltmeter adalah
 - A. seri
 - B. seri dengan tahanan galvanometer
 - C. paralel
 - D. paralel dengan tahanan galvanometer

- 4) Nilai hambatan R_s yang dipasangkan pada suatu galvanometer dengan hambatan R_g , agar batas ukur tegangannya menjadi lebih besar adalah
 - A. $R_g = R_s$
 - B. $R_s > R_g$
 - C. $R_g > R_s$
 - D. $R_s < R_g$

- 5) Jika suatu galvanometer mempunyai I_{fsd} sebesar $100 \mu A$, maka besar sudut θ apabila arus listrik yang mengalir $20 \mu A$ adalah
 - A. 52°
 - B. 40°
 - C. 20°
 - D. 18°

- 6) Galvanometer dengan tahanan 25Ω hanya mampu dialiri arus listrik $100 \mu\text{A}$ pada simpangan maksimum, galvanometer ini akan dijadikan amperemeter yang mampu mengukur arus listrik sebesar 100 A pada simpangan maksimum, maka besarnya tahanan shunt yang dipasang pada galvanometer tersebut adalah
- A. $0,25 \times 10^{-5} \Omega$
 - B. $2,5 \times 10^{-5} \Omega$
 - C. $25 \times 10^{-5} \Omega$
 - D. $250 \times 10^{-5} \Omega$
- 7) Jika galvanometer dengan kepekaan arus $100 \mu\text{A}$ dan hambatan $R_G = 100 \Omega$ hendak digunakan sebagai voltmeter dengan simpangan penuh 10 volt , maka hambatan R_P yang dipasang seri sebesar
- A. $110 \text{ K}\Omega$
 - B. 100Ω
 - C. $99.9 \text{ K}\Omega$
 - D. 82.5Ω
- 8) Pada penunjukan skala penuh galvanometer mengukur arus listrik sebesar $I_{\text{fsd}} = 200 \text{ mA}$, dan $R_g = 10 \Omega$. Jika galvanometer menunjukkan nilai 100 mA , maka tegangan yang terbaca pada skala adalah setara dengan
- A. 10 volt
 - B. $0,5 \text{ volt}$
 - C. 1 volt
 - D. 2 volt
- 9) Jarum petunjuk suatu ohmmeter menyimpang ke titik 0 ohm , keadaan ini menunjukkan bahwa
- A. ohmmeter dalam keadaan rusak
 - B. arus listrik yang terbaca amperemeter adalah I_{fsd}
 - C. arus listrik yang mengalir lebih kecil dari I_{fsd}
 - D. tidak ada arus listrik yang mengalir
- 10) Jika amperemeter dari suatu ohmmeter menunjuk angka nol arus listrik maka
- A. nilai hambatannya sama dengan nol
 - B. alat pengukur kalibrasi yang menyebabkan arus listrik amperemeter sama dengan I_{fsd}
 - C. alat pengukur kalibrasi menyebabkan arus listrik amperemeter nol
 - D. nilai hambatan yang diukur amperemeter adalah \sim

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 1 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 1.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali
80 - 89% = baik
70 - 79% = cukup
< 70% = kurang

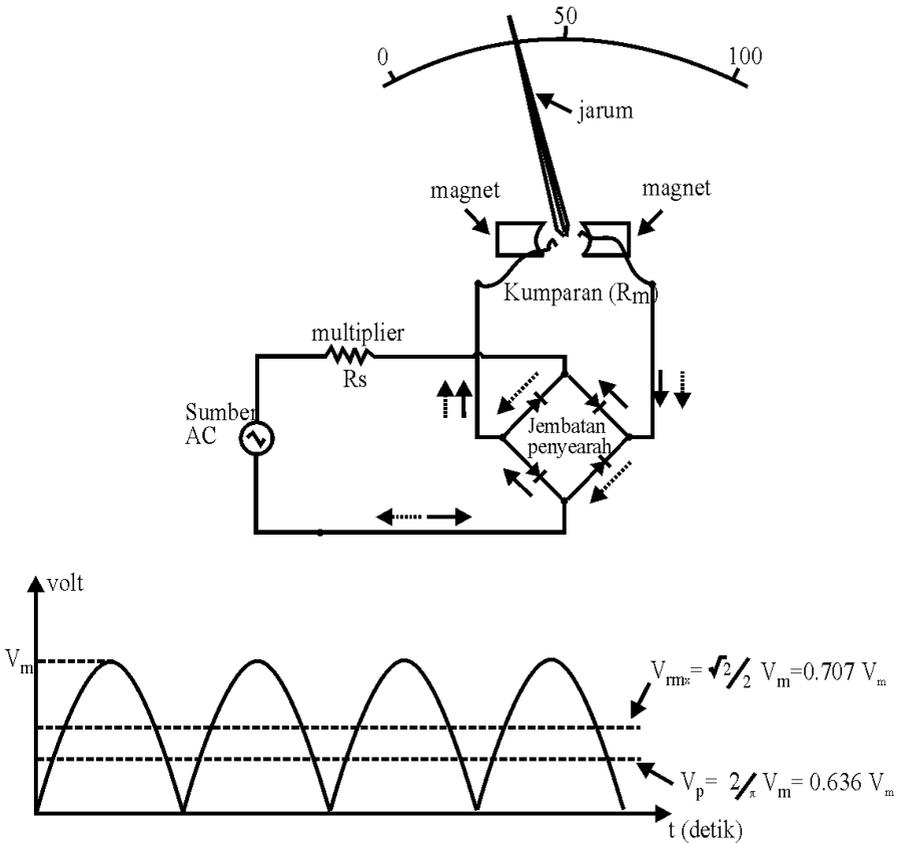
Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 2. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 1, terutama bagian yang belum dikuasai.

KEGIATAN BELAJAR 2

Peralatan Pengukuran Listrik

Pengukuran besaran listrik yang sudah dibahas dalam Kegiatan Belajar 1 adalah proses pengukuran besaran potensial (tegangan), arus dan hambatan pada listrik searah (*DC*). Tegangan atau potensial pada setiap komponen atau di antara berbagai titik hubung pada saat peralatan bekerja dilakukan pengukuran dalam besaran volt dengan menggunakan **voltmeter**. Arus yang mengalir berbagai bagian rangkaian pada saat peralatan bekerja biasanya diukur dalam satuan miliAmpere (mA) atau Ampere (A) dengan menggunakan alat yang disebut **miliamperemeter** atau **amperemeter**. Tahanan di antara komponen atau titik hubung biasanya diukur pada saat peralatan tidak beroperasi. Tahanan diukur dalam satuan ohm atau perkalian desimalnya dengan menggunakan **ohmmeter**.

Bagaimana proses pengukuran tegangan/arus listrik bolak-balik? Listrik bolak-balik atau listrik AC (*alternating current*) seperti listrik PLN yang menggunakan listrik bolak-balik yang berbentuk sinusoida. Pada dasarnya pengukuran besaran listrik bolak-balik tidak berbeda dengan pengukuran besaran listrik searah. Di dalam mengukur tegangan bolak-balik dengan voltmeter analog digunakan dioda untuk membuatnya searah sehingga dihasilkan tegangan berbentuk nilai mutlak dari bentuk sinusoida, seperti ditunjukkan Gambar 1.19 berikut ini.



Gambar 1.19.

(a) Rangkaian Penyearah AC (b) Nilai mutlak dari tegangan pada Gambar (a)

Akibatnya jarum voltmeter analog akan bergetar sangat cepat pada nilai tegangan sama dengan nilai rata-rata dari bentuk Gambar 1.19(b). Nilai rata-rata ini dapat diperoleh dengan menghitung luas bagian yang diarsir pada Gambar 1.19(b), dibagi dengan T/2 dimana T adalah periode tegangan. Sehingga diperoleh hubungan:

$$V_{rata-rata} = (2/\pi) V_{puncak} = 0,636 V_{puncak} \tag{1.6}$$

Jarum voltmeter akan bergetar atau menunjukkan pada nilai $V_{\text{rata-rata}}$ ini. Jika kita bandingkan dengan nilai *rms* (*root means square* – akar rata-rata kuadrat) maka diperoleh hubungan:

$$V_{\text{rms}} : V_{\text{rata-rata}} = 0,707 V_{\text{puncak}} : 0,636 V_{\text{puncak}} = 1,11 \quad (1.7)$$

atau

$$V_{\text{rata-rata}} = 0,901 V_{\text{rms}} \quad (1.8)$$

V_{rms} disebut juga tegangan efektif (V_{eff}) yakni tegangan yang harus diberikan pada hambatan R agar menghasilkan daya seperti pada tegangan searah. Seperti yang telah kita kemukakan sebelumnya, pengukuran dengan Voltmeter analog akan menyebabkan jarum langsung menunjuk pada $V_{\text{rata-rata}}$. Namun tentunya kita akan lebih menyukai nilai *rms*, dan ingin agar voltmeter menunjukkan nilai *rms* (seperti nilai V_{DC}) sehingga pada Voltmeter AC skala dibuat agar menyatakan nilai *rms* untuk tegangan AC. Jika jarum menunjukkan $0,901 V_{\text{rata-rata}}$, skala ditulis sebagai 1 V (*rms*).

Di lain pihak pengukuran besaran listrik (DC dan AC) pada umumnya adalah proses kerja yang selalu berpindah tempat. Tentunya untuk dapat melakukan aktivitas yang praktis, diperlukan peralatan yang kompak, serta mudah dipindah-pindah. Proses pengukuran listrik dengan peralatan yang berbeda akan menghambat kerja yang dilakukan. Untuk kelancaran kerja, maka diperlukan peralatan yang mudah untuk dipindahkan.

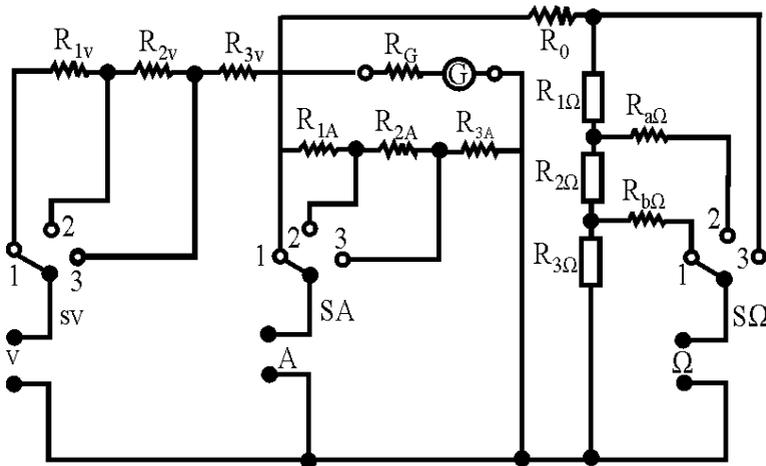
Pada Kegiatan Belajar ini, Anda akan mempelajari peralatan pengukuran besaran listrik yang sering digunakan oleh praktisi elektronika yakni Multimeter dan Osiloskop.

A. MULTIMETER

Peralatan pengukuran listrik yang kompak yang terdiri dari Amperemeter, Voltmeter dan Ohmmeter disebut sebagai **Multitester**, **Multimeter** atau **VOM** (*Singkatan dari Volt-Ohm-Mili Amperemeter*). Multimeter ini meskipun dapat mengukur arus listrik, tegangan dan hambatan, hanya menggunakan satu buah galvanometer kumparan putar sebagai alat untuk membaca arus listrik, tegangan ataupun hambatan.

Mari kita amati rangkaian Gambar 1.20. Rangkaian bagan Gambar 1.20. melukiskan suatu alat ukur arus listrik searah, tegangan dan hambatan. Sebagai suatu voltmeter maka kedudukan saklar SV-1 mempunyai

batas pengukuran tegangan yang lebih besar dibandingkan dengan kedudukan saklar SV-2. Demikian pula kedudukan saklar SV-2 batas ukurnya lebih besar daripada kedudukan saklar SV-3. Pada pengukuran sebagai amperemeter, kedudukan saklar SA-3. Mempunyai batas ukur yang lebih besar dari kedudukan saklar SA-2. Batas ukur saklar SA-2 lebih besar dari saklar SA-1. Sedangkan untuk pengukuran sebagai ohmmeter, kedudukan saklar SΩ-3 mempunyai batas ukur lebih besar dari saklar SΩ-2. Kedudukan saklar SΩ-2 lebih besar batas ukurnya dari kedudukan saklar SΩ-1.

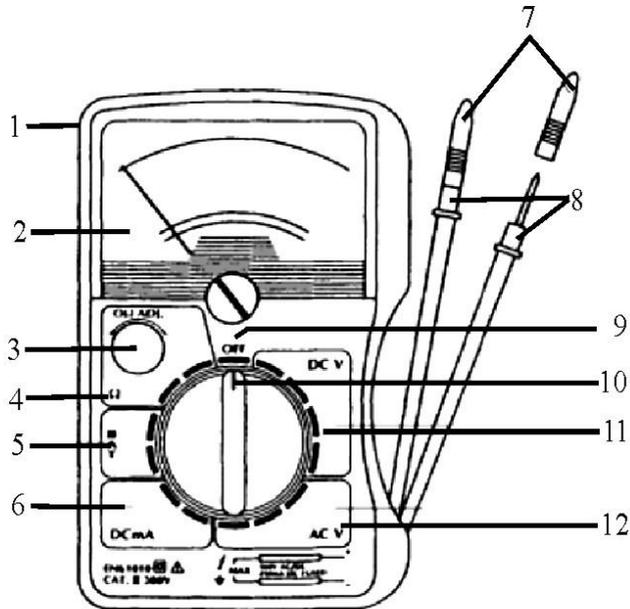


Gambar 1.20.
Bagan Multimeter

Pada umumnya multimeter dirancang untuk besaran listrik arus searah, tegangan searah, hambatan dan besaran tegangan listrik bolak-balik. Bentuk dari multimeter dilukiskan seperti Gambar 1.21, dimana terlihat bahwa alat ini terdiri dari 12 bagian, yaitu:

1. kotak pelindung,
2. busur skala penyimpangan jarum penunjuk,
3. penyesuaian jarum penunjuk pada angka nol ohm,
4. skala pengukuran resistansi (ohm),
5. skala untuk tes baterai,
6. skala pengukuran arus DC,
7. pelindung alat tes ukur,

8. kabel tes positif (+) dan negatif (-) yang dihubungkan ke titik terminal,
9. saklar "off",
10. saklar pengatur fungsi pengukuran,
11. skala pengukuran tegangan DC, dan
12. skala pengukuran tegangan AC.

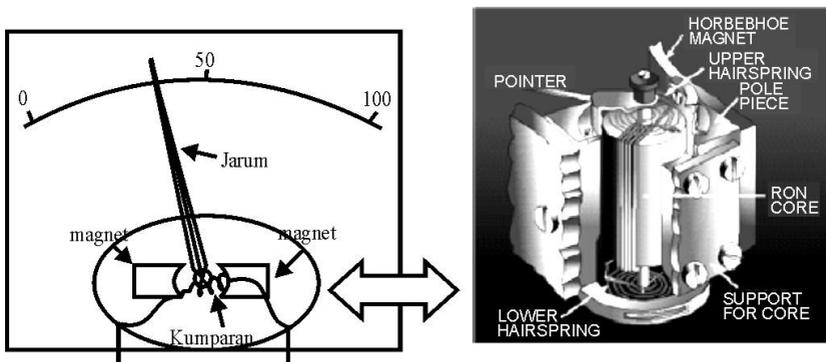


Gambar 1.21.
Multimeter Analog (model Sanwa AP31)

Bagian utama dari semua multimeter analog adalah jarum penunjuknya (No. 2 pada Gambar 1.21). Konstruksi dasar diperlihatkan dalam Gambar 1.22. Satu magnet tetap/permanen, dua kutub dan satu inti membentuk celah udara silindris yang mempunyai medan magnet kuat. Di dalam celah itu, ditopang oleh poros, ada gulungan kecil kawat pada rangka persegi. Pegas spiral kecil di antara dua poros dihubungkan dengan gulungan dan membentuk alur logam dimana arus bisa mengalir ke gulungan. Jika arus searah mengalir pada gulungan, di sekitarnya akan timbul medan magnet, dan medan magnet ini akan berinteraksi dengan medan magnet tetap dari magnet permanen. Akibatnya gulungan cenderung berputar pada porosnya. Putaran

ini dilawan oleh pegas dan akhirnya gulungan bergerak sampai gaya pegas tepat sama dengan gaya putaran karena medan magnet.

Pada gulungan terdapat sistem penyeimbang dan jarum yang dihubungkan dengan skala yang tentunya telah dikalibrasi dengan banyaknya arus yang mengalir pada gulungan. Pembacaan skala akhirnya menunjukkan besar arus yang mengalir. Pada multimeter diharuskan jarum penunjuk mempunyai kepekaan yang tinggi, karenanya secara umum multimeter memiliki defleksi penuh sebesar 100 mikroAmpere (0,1 mA) atau 50 mikro Ampere (0,05 mA).



Gambar 1.22.

Konstruksi dasar jarum penunjuk multimeter

Dalam pemakaian multimeter, salah satu hal yang perlu diperhatikan benar adalah menjaga kerusakan karena pemakaian skala yang tidak tepat. Di bawah ini adalah beberapa langkah yang harus Anda perhatikan setiap kali Anda menggunakan multimeter dalam pengukuran listrik yaitu:

1. Jika kedudukan jarum penunjuk tidak berimpit dengan angka nol pada busur skala, atur kedudukan jarum penunjuk dengan cara memutar bagian (3) sampai berimpit dengan angka nol pada bagian kiri dari busur skala.
2. Putar saklar pengatur fungsi bagian (10), sampai tanda panah pada saklar berada pada kedudukan (a) fungsi pengukuran dan (b) batas ukur tertinggi. Jika Anda ingin mengukur hambatan maka letakkan saklar pengatur ke fungsi pengukuran hambatan (sebagai ohmmeter- Ω) yang terletak pada panel (4) pada Gambar 1.21. Jika Anda ingin mengukur

arus DC maka letakkan saklar pengatur ke fungsi pengukuran arus DC (sebagai amperemeter), letakkan saklar pengatur ke fungsi pengukuran tegangan DC jika Anda mengukur tegangan DC dan letakkan saklar pengatur ke fungsi pengukuran tegangan AC jika Anda ingin mengukur tegangan AC.

3. Letakkan saklar pengatur fungsi pada batas ukur tertinggi dari besaran yang akan diukur.
4. Baterai yang terpasang pada bagian belakang kotak multimeter diuji apakah masih baik atau sudah harus diganti. Caranya adalah putar saklar fungsi kedudukan pengukuran hambatan pada batas ukur xl. Masing-masing ujung soket kabel tes merah dan kabel tes hitam dihubungkan (disatukan). Putar tombol penyesuaian bagian (3) ke kiri atau ke kanan, sehingga jarum penunjuk menyimpang pada angka nol pada skala ohm. Jika penyimpangan jarum penunjuk tidak dapat mencapai skala nol ohm, berarti baterai harus segera diganti, tentu saja di ganti dengan baterai yang masih baru.

1. Multimeter sebagai Voltmeter Searah (Tegangan DC)

Yang pertama dibahas dalam penggunaan multimeter adalah sebagai voltmeter searah. Anda harus tahu pasti bahwa tegangan yang di ukur adalah tegangan searah. Putar saklar pengatur fungsi pada kedudukan DCV pada batas ukur tertinggi. Letakkan kabel tes merah pada titik tegangan positif dan kabel tes hitam pada titik tegangan negatif. Misalkan hendak mengukur tegangan satu buah batu baterai. Atur saklar pengatur fungsi pada batas ukur 10, ini batas ukur tertinggi yang kita pilih untuk tegangan yang diketahui mempunyai besaran di bawah 10 volt. Baca penyimpangan jarum penunjuk, jika baterai masih baik maka jarum penunjuk menyimpang dan berimpit dengan angka 7,5. Batas ukur 10 volt terdiri dari 50 skala, sehingga 7,5 skala setara dengan $(7,5 \text{ skala}/50 \text{ skala}) \times 10 \text{ volt} = 1,5 \text{ volt}$. Jadi secara umum persamaan yang digunakan dalam penentuan pengukuran adalah:

$$\frac{\text{skala penyimpangan jarum penunjuk}}{\text{skala maksimum}} \times \text{batas ukur} = \text{tegangan terbaca} \quad (2.4)$$

Anda harus cukup banyak berlatih, sehingga tanpa melakukan perbandingan skala dikalikan dengan batas ukur, Anda dapat langsung membaca nilai tegangan yang diukur. Pengukuran tegangan searah ini

biasanya mempunyai batas ukur 10 volt, 50 volt, 250 volt, 500 volt dan 1000 volt. Kalau kita amati pada busur skala, maka skala maksimum tegangan searah yang dicantumkan adalah skala 10, 50 dan 250. Bagaimana kita menggunakan batas ukur 500 dan 1000 sedangkan skala maksimum hanya 250. Marilah dilihat contoh berikut ini, cara pembacaan tegangan yang mempunyai besaran di atas 250 volt.

Contoh Soal:

Pada saat mengukur tegangan 400 volt, pada skala berapa jarum penunjuk menyimpang?

Penyelesaian:

Ada 3 buah skala yang dapat kita pakai.

- a. skala 10, batas ukur diletakkan pada 500 volt. Maka penyimpangan maksimum pada angka 10 menunjukkan tegangan 500 volt. Dengan menggunakan persamaan di atas maka diperoleh:

$$= (400 \text{ volt} \times 10 \text{ skala}) / 500 \text{ volt}$$

$$= 8$$

Jadi jarum penunjuk menyimpang pada skala 8.

- b. skala 50, batas ukur diletakkan pada 500 volt. Maka penyimpangan maksimum pada angka 50 menunjukkan tegangan 500 volt. Jadi skala penyimpangan jarum penunjuk:

$$= (400 \text{ volt} \times 50 \text{ skala}) / 500 \text{ volt}$$

$$= 40$$

Jadi jarum penunjuk menyimpang pada skala 40.

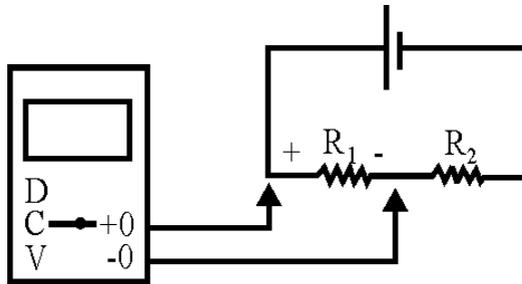
- c. skala 250, batas ukur diletakkan pada 500 volt. Maka penyimpangan maksimum pada angka 250 menunjukkan tegangan 500 volt. Skala penyimpangan jarum penunjuk:

$$= (400 \text{ volt} \times 250 \text{ skala}) / 500 \text{ volt}$$

$$= 200$$

Jadi jarum penunjuk menyimpang pada skala 200.

Pemasangan multimeter pada pengukuran tegangan adalah terhubung paralel dengan rangkaian, seperti dilukiskan pada Gambar 1.23 berikut ini.



Gambar 1.23.
Cara Pengukuran Tegangan Searah (DC)

2. Multimeter sebagai Voltmeter Bolak-balik (Tegangan AC)

Penggunaan kedua dari multimeter adalah sebagai alat pengukur tegangan bolak-balik (sebagai voltmeter bolak-balik). Proses pembacaan sama dengan proses pembacaan pada pengukuran tegangan searah. Anda harus memperhatikan bahwa saklar pengatur fungsi pengukur bagian (10) terlebih dahulu dipindahkan ke pengukuran VAC dan jangan sampai Anda menyentuh salah satu ujung kabel tes. Hal ini disebabkan tegangan bolak-balik sangat berbahaya, jangan biarkan kabel tes terhubung terus. Cabutlah kabel tes jika Anda selesai membaca nilai tegangan.

Jika Anda tidak tahu persis jangkauan tegangan yang akan diukur, maka letakkan fungsi pengukur pada skala yang terbesar terlebih dahulu.

3. Multimeter sebagai Amperemeter Searah

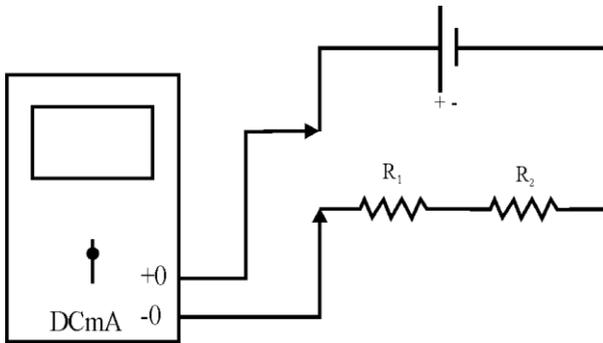
Bahasan yang ketiga adalah penggunaan multimeter sebagai alat pengukur arus searah (sebagai amperemeter searah). Pada pengukuran arus searah, batas ukur yang dimiliki oleh multimeter ini biasanya adalah 0,25 mA, 25 mA dan 500 mA. Pada busur skala untuk pengukuran arus searah terdapat skala 10, 50 dan 250 (sama dengan skala pengukuran tegangan). Persamaan yang digunakan dalam penentuan arus yang diukur adalah:

$$\frac{\text{skala penyimpanan jarum penunjuk}}{\text{skala maksimum}} \times \text{batas ukur} = \text{arus terbaca} \quad (2.5)$$

Sebagai contoh misal pemilihan batas ukur 500 mA dan pada pengukuran arus searah jarum penunjuk menyimpang pada skala 6. Skala 6 ini terletak pada skala maksimum 10. Sehingga arus listrik searah yang mengalir dalam rangkaian adalah: $(6 \text{ skala}/10 \text{ skala}) \times 500 \text{ mA} = 300 \text{ mA}$.

Dalam situasi normal dimana akan diukur arus searah, meter juga harus dihubungkan sedemikian rupa sehingga jarumnya bergerak maju. Jika hubungan ini terbalik, jarum akan bergerak ke arah yang berlawanan.

Pemasangan multimeter pada pengukuran arus searah ini harus terhubung secara seri dengan rangkaian, seperti Gambar 1.24 berikut ini.



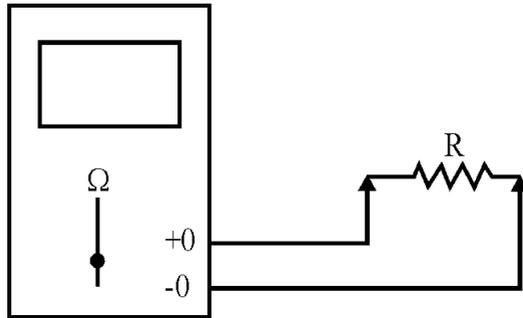
Gambar 1.24.
Cara Pengukuran Arus

4. Multimeter sebagai ohmmeter

Yang keempat adalah penggunaan multimeter sebagai alat pengukur hambatan (sebagai ohmmeter). Dalam pengukuran sebagai ohmmeter juga bisa menunjukkan apakah rangkaian 'kontinu/tersambung' atau 'terbuka'.

Jika ujung kabel pada multimeter tidak saling bersentuhan atau dihubungkan dengan titik yang tidak mengandung rangkaian, maka multimeter tidak akan menyimpang; menunjukkan rangkaian 'terbuka' atau ohm tidak terhingga. Jika ujung kabel saling bersentuhan atau dihubungkan dengan konduktor listrik yang sama, multimeter akan menyimpang penuh menunjukkan 'hubungan singkat' atau 0 ohm di antara titik tes. Jika ujung dihubungkan antara titik komponen yang mempunyai tahanan (bukan rangkaian terbuka atau hubung singkat) multimeter akan menunjukkan pembacaan menengah.

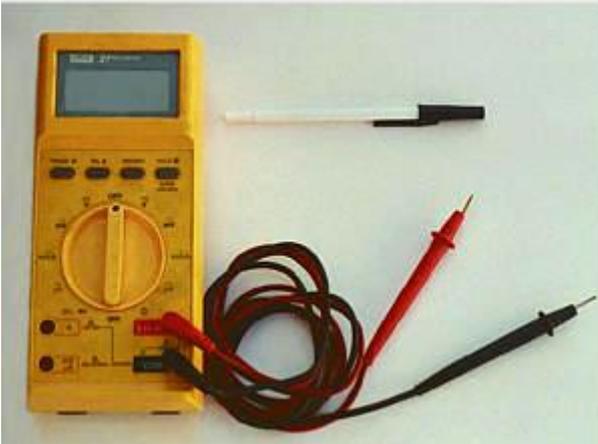
Mengukur hambatan diharuskan pada saat alat tidak beroperasi, atau lebih disukai lagi jika dilepas dari sumber daya. Hambatan yang hendak diukur dihubungkan dengan kabel tes, seperti Gambar 1.25 berikut ini.



Gambar 1.25.
Cara Pengukuran Hambatan

Skala hambatan di dalam busur skala terbagi atas 2 bagian yaitu skala Ω dan skala $k\Omega$. Untuk nilai hambatan di bawah $1 k\Omega$, penggunaan skala Ω dan untuk pengukuran nilai hambatan di atas $1 k\Omega$ penggunaan skala $k\Omega$. Biasanya batas pengukuran hambatan pada batas ukur $\times 1$ adalah antara 0 sampai dengan 500Ω , batas ukur $\times 10$ adalah antara 0 sampai dengan $5 k\Omega$ dan batas ukur $k\Omega$ adalah antara 0 sampai dengan $1 M\Omega$. Penggunaan multimeter dalam pengukuran hambatan tidaklah sesulit untuk pengukuran arus dan tegangan. Yang perlu diperhatikan adalah pengaturan penyesuaian jarum penunjuk pada angka nol ohm, yang harus di uji setiap kali hendak melakukan pengukuran hambatan.

Sekarang telah beredar di pasaran multimeter digital, dimana jarum penunjuk diganti dengan layar '*gray-colored display*'. Ketika dinyalakan, angka digital pengukuran akan muncul di layar, tergantung pengukuran yang akan dilakukan apakah pengukuran tegangan, arus atau tahanan. Contoh multimeter digital dapat Anda lihat pada Gambar 1.26. Pada contoh multimeter digital ini terdapat saklar fungsi skala pengukuran dan 4 (empat) terminal dimana jarum tes dapat dimasukkan ke lubang tersebut. Dua jarum tes – warna merah dan warna hitam, pada Gambar 1.26 telah dihubungkan ke multimeter.



Gambar 1.26.
Contoh multimeter digital

Biasanya dalam penggunaan multimeter digital, pada 4 terminal tersebut satu terminal yang disebut “*Common Jack*” ditempatkan oleh jarum tes warna hitam dan tiga sisanya digunakan oleh jarum tes warna merah. Terminal untuk jarum tes warna merah telah diberi label sesuai penggunaannya, yakni untuk pengukuran tegangan, pengukuran tahanan dan pengukuran arus (A, mA dan μ A).

B. OSILOSKOP

Osiloskop sesuai dengan namanya *oscilloscope* (*oscillations dan scope*) adalah alat yang dapat melukiskan bentuk suatu osilasi. Dengan kata lain osiloskop merupakan instrumen (peralatan) yang digunakan secara visual mengamati bentuk gelombang dan melakukan pengukurannya. Contoh beberapa aplikasi yang sering digunakan dalam pengukuran osiloskop adalah:

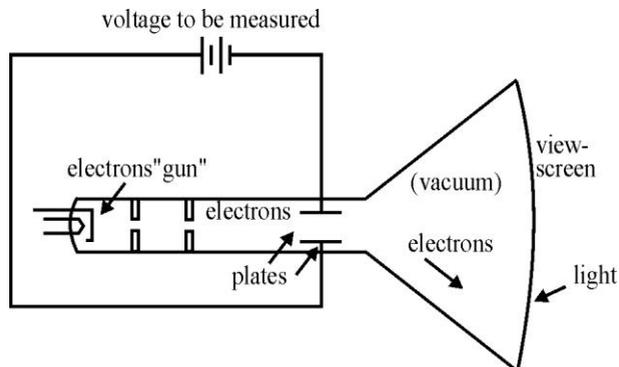
1. menentukan nilai waktu dan tegangan dari sebuah sinyal;
2. menghitung frekuensi dari sebuah sinyal yang berosilasi;
3. melihat “*moving parts*” dari rangkaian yang dinyatakan oleh sinyal;
4. bercerita jika sebuah komponen mengalami kegagalan pemakaian maka ada sebuah sinyal yang mengalami perubahan (*distorting*) dalam tampilan;

5. menentukan berapa besar sinyal dari DC (*Direct Current*) atau AC (*Alternating Current*);
6. bercerita berapa besar gangguan (*noise*) dari sinyal dan bagaimana gangguan (*noise*) tersebut berubah dengan waktu.

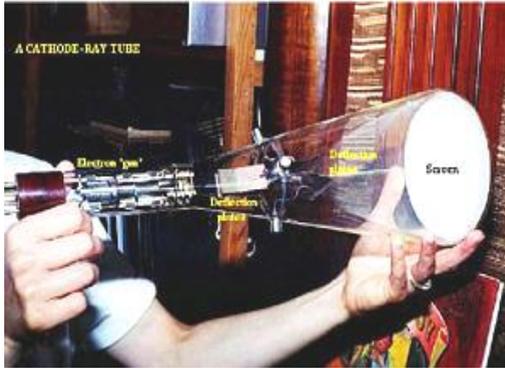
Komponen utama dari osiloskop ini adalah Tabung sinar Katoda (*Cathode Ray Tube* disingkat CRT). Dalam pembahasan kali ini yang pertama akan kita pelajari adalah CRT kemudian dilanjutkan tentang osiloskop sendiri.

1. Tabung Sinar Katoda (CRT)

Susunan dasar sebuah tabung sinar katoda (CRT) seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 1.27. CRT terdiri dari tabung gelas yang sangat hampa berbentuk buah terung. Elektron dipancarkan dari suatu katoda dan dipancarkan dalam berkas elektron berkecepatan tinggi (sinar katoda) oleh sejumlah elektroda. Berkas elektron tersebut kemudian bergerak lewat ruang hampa dari tabung dan membentur layar pendar (fluoresen) sehingga titik cahaya timbul di tempat pada layar, dimana elektron membentur. Perlu diketahui bahwa, elektron ini dapat dibelokkan oleh tegangan yang diberikan. Pembelokan ini bisa menurut arah vertikal dan arah horisontal sehingga peragaan visual dari sinyal dapat dimungkinkan.



Gambar 1.27a
Susunan Dasar CRT



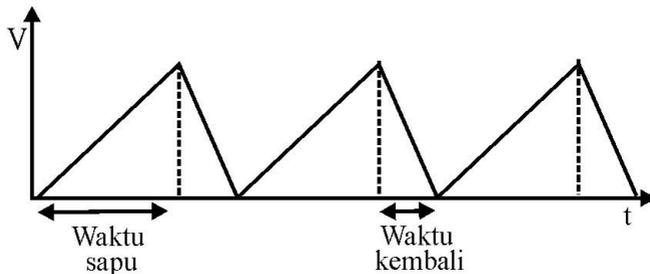
Gambar 1.27b
Tabung Sinar Katoda (CRT)

CRT ini terdiri dari tiga bagian utama yakni: (1) penembak elektron (*elektron gun*), (2) layar pendar (*view-screen*), dan (3) sistem pembelok. Berikut ini akan dibahas tiga bagian tersebut dengan singkat.

- a. Penembak elektron: bagian ini memancarkan elektron, memusatkannya menjadi berkas sempit dan memfokuskan berkas pada layar pendar. Penembak elektron ini terdiri dari katoda yang dipanasi tidak langsung, kisi kendali dan elektron pemercepat, anoda pemfokus dan anoda pemercepat akhir. Elektroda-elektroda berbentuk silinder dan dihubungkan ke kaki-kaki basis.
- b. Layar pendar: Bagian permukaan datar CRT di bagian dalam dilapisi dengan bahan yang dapat memendar (*fluoresen*), juga dikenal sebagai fosfor. Maksud dari fosfor ini adalah menghasilkan titik cahaya tampak di tempat dimana berkas elektron membentur layar. Warna cahaya tampak ditentukan oleh fosfor. Untuk fosfor yang sering digunakan pada CRT yakni P31, cahaya yang dihasilkan akan turun sampai ke suatu harga yang masih dapat dilihat dengan nyaman dalam ruang yang bercahaya sedang, dalam waktu 38 mikrodetik. Jika laju kecepatan pancaran elektron untuk mengeksitasi ulang terjadi di bawah $1/38$ mikrodetik atau 26 kHz, maka akan terjadi penurunan cahaya secara dramatis di layar. Untuk osiloskop serba guna dibuat cahaya kuning-hijau, karena untuk cahaya ini kepekaan mata manusia tinggi.
- c. Sistem pembelok (*defleksi*): sistem pembelok terdiri dari pelat (*plates*) pembelok horizontal dan sepasang pelat pembelok vertikal. Sistem ini

membelokkan berkas elektron dan menyapu titik pada layar sesuai dengan tegangan yang diberikan pelat-pelat. Dari Gambar 1.27, berkas elektron melewati dua pelat sejajar. Elektron membawa muatan negatif, sehingga secara konsep listrik, muatan tersebut akan ditarik oleh pelat positif (+) dan ditolak oleh pelat negatif (-). Jika mula-mula berkas elektron difokuskan ke titik tengah layar maka sekarang berkas akan membelok ke bawah. Defleksi ini tentunya sebanding dengan tegangan pelat yang diberikan. Kalau polaritas pada pelat dibalik maka berkas elektron akan terdefleksi ke atas.

Agar bentuk gelombang sinyal dapat diperagakan pada layar CRT, diperlukan pembangkit (generator) berdasarkan waktu. Pembangkit ini menghasilkan bentuk gelombang tegangan gigi-gergaji, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 1.28. Bentuk gelombang ini terdiri dari bagian yang naik lurus berlangsung selama apa yang dinamakan '*waktu sapu*' dan bagian lurus kembali ke keadaan awal selama '*waktu kembali*' atau '*waktu flyback*'. Waktu kembali ini lebih kecil dibandingkan waktu sapu. Tegangan gigi-gergaji atau tegangan sapu ini diberikan ke pelat-pelat pembelokan horisontal dari CRT.

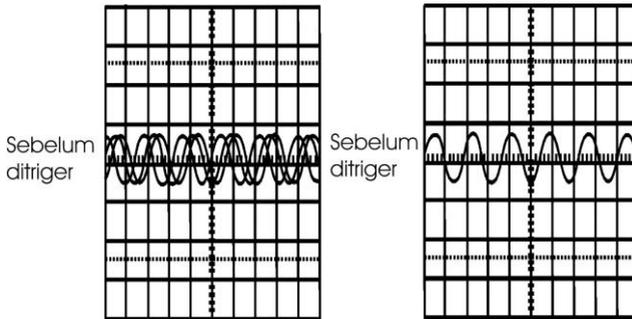


Gambar 1.28.
Bentuk gelombang gigi-gergaji

Titik-titik tersebut bergerak dengan kecepatan tetap dari salah satu layar ke sisi lainnya kemudian titik tersebut dengan cepat kembali ke titik awal gerakan, demikian seterusnya – siklus ini berulang-ulang.

Untuk pengukuran waktu, pergeseran horisontal pada layar CRT akan dikalibrasikan menurut waktu. Sumbu horisontal karenanya disebut sebagai

sumbu *basis-waktu*. Sumbu vertikal dikalibrasikan dalam volt untuk pengukuran amplitudo. Untuk peragaan yang stabil di layar, awal dari setiap sapuan harus terkunci atau disinkronkan dengan sinyal yang diperagakan. Hal ini dapat dilakukan dengan memulai sapuan dengan pertolongan pulsa penyulut (*trigger*) yang diperoleh pada titik terpilih dari bentuk gelombang yang diperagakan, seperti yang tersaji dalam Gambar 1.29. Agar dengan tepat memperkuat sapuan dan sinyal maka dilewatkan ke pelat pembelok yang dikenal sebagai penguat horisontal (*amplifier horisontal*) dan penguat vertikal (*amplifier vertikal*).



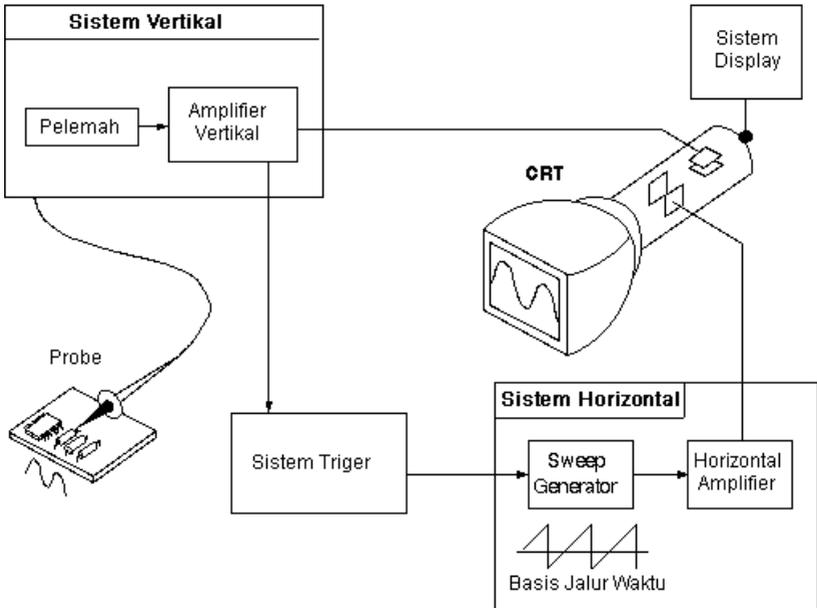
Gambar 1.29.

Penggunaan trigger untuk menstabilkan sinyal berulang

2. Osiloskop Sinar Katoda (CRO)

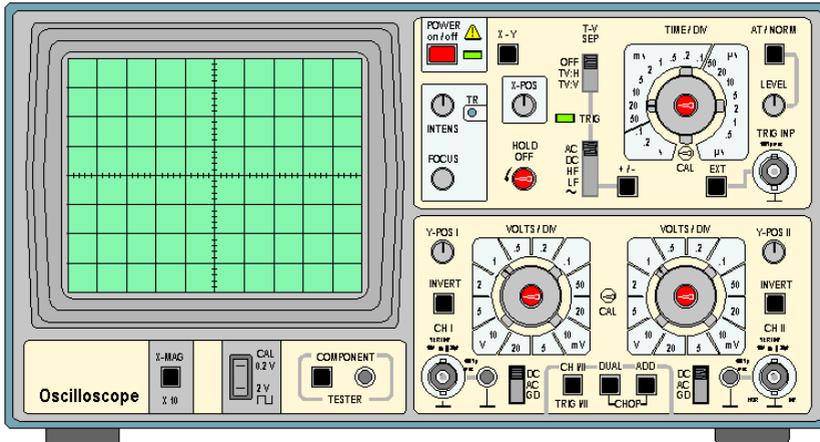
Blok diagram pada komponen-komponen dasar dari suatu osiloskop sinar katoda ditunjukkan pada Gambar 1.30. Sinyal yang diberikan ke terminal masuk vertikal menentukan pergerakan vertikal berkas. Pergeseran horisontal dari berkas diperoleh baik dengan sinyal luar yang diberikan ke terminal-terminal masuk horisontal atau oleh pembangkit sapuan yang berada dalam CRO. Perolehan penguat vertikal biasanya dapat diubah-ubah, tetapi untuk pengukuran kuantitatif perolehan ini diatur sama dengan harga yang dikalibrasikan. Makin besar lebar pita penguat, makin besar daerah frekuensi yang dapat dicakup oleh osiloskop. Biasanya, penguat horisontal mempunyai perolehan lebih rendah dan lebar pita lebih sempit dibandingkan penguat vertikal. Rangkaian triger dari pembangkit sapuan dapat dirangsang baik oleh sinyal yang diberikan ke terminal masuk vertikal. Osiloskop juga dilengkapi catu daya untuk menyimpan tegangan yang diperlukan ke berbagai blok. Pada Gambar 1.30, unit catu daya tidak ditampilkan demi penyederhanaan blok diagram ini.

Impedansi masuk CRO menunjukkan impedansi yang diberikan ke sinyal pada terminal masuk. Kebanyakan resistansi $1\text{ M}\Omega$ sejajar dengan kapasitansi 20 sampai 60 pF. Ketelitian pengukuran dengan CRO sekitar 3 sampai 5%, tetapi dalam osiloskop sekitar 1 %.



Gambar 1.30.
Blok diagram dari CRO

Secara visual, sebuah osiloskop terlihat seperti sebuah televisi kecil, hanya mempunyai banyak kontrol dalam panelnya dan mempunyai layar yang mempunyai kisi (*grid*) untuk tampilan gambarnya. Pada Gambar 1.31, Anda dapat melihat panel depan dari osiloskop analog "Hameg HM 203-6 oscilloscope". Tampilan osiloskop tiap produsen osiloskop mungkin berbeda, tetapi mempunyai panel kontrol yang sama.



Gambar 1.31.
Panel depan Osiloskop Analog Hameg HM 203-6

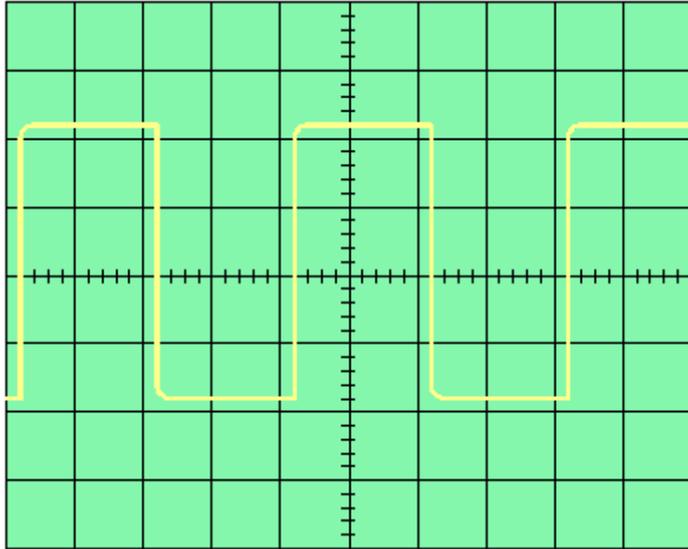
Penggunaan panel osiloskop dan cara mengoperasikannya (men-*setup* dan mengetahui kontrol dasar) secara detail dapat Anda baca dalam Buku Materi Pokok (BMP) PEFI 4205 – Alat Ukur dan Metode Pengukuran, khususnya Modul 8. Pada modul ini kita langsung membahas penggunaan CRO.

3. Penggunaan CRO

Seperti yang telah dijelaskan di awal dalam pembahasan osiloskop, aplikasi dari alat ini cukuplah banyak. Berikut ini akan kita bahas aplikasi atau penggunaan CRO sebagai salah satu alat ukur dalam elektronika.

a. Peragaan visual dan pengujian kualitatif bentuk gelombang

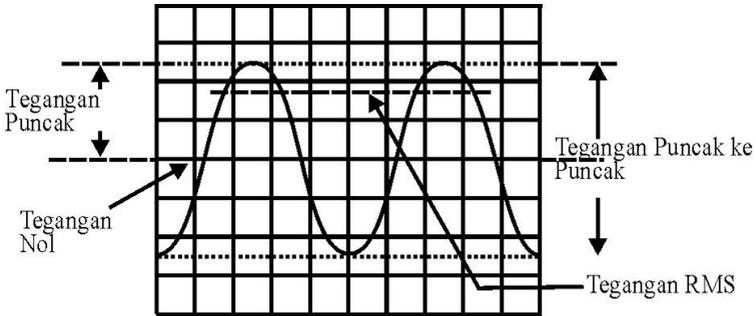
Penggunaan utama osiloskop adalah memperagakan tegangan yang berubah menurut waktu. Untuk maksud tersebut sinyal yang diperagakan diberikan ke masukan vertikal. Pergeseran horizontal dari titik dilaksanakan oleh pembangkit sapuan (*sweep-generator*). Dari citra visual yang diperagakan maka sinyal dapat diinterpretasikan dan diuji secara kualitatif. Gambar 1.32 adalah contoh tegangan 2 V dengan gelombang kotak, yang dapat diamati bentuk gelombangnya.



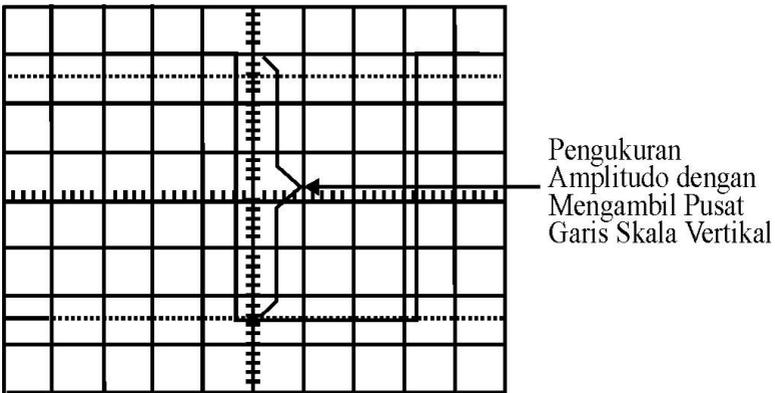
Gambar 1.32.
Gelombang kotak dengan tegangan 2 V

b. Pengukuran tegangan

Tegangan yang berkaitan dengan bentuk gelombang yang diperagakan dapat diukur dari kalibrasi skala vertikal. Dari pembelokan (penyimpangan) vertikal dari titik, besarnya tegangan DC atau besarnya tegangan AC yang diberikan, dapat ditentukan. Sebagai contoh, pada Gambar 1.33, terlihat puncak satu tegangan dan tegangan puncak ke puncak (*peak-to-peak*), serta tegangan RMS (*root-mean-square*) biasa untuk sumber AC (arus bolak-balik). Anda dapat memperoleh perhitungan pengukuran, yaitu dengan mengamati sumbu vertikal berapa kotak dalam layar osiloskop yang dilalui oleh bentuk gelombang terukur. Kemudian mengalikan dengan batas ukur yang dipakai (berapa volts/div yang ter-setting - *catatan: volt/div = volt/cm, 1 kotak pada osiloskop = 1 cm × 1cm*). Pada Gambar 1.34, terlihat bagaimana mengukur tegangan dalam pusat garis skala vertikal.



Gambar 1.33.
Tegangan Puncak dan Tegangan Puncak-ke-Puncak (*peak-to-peak*)



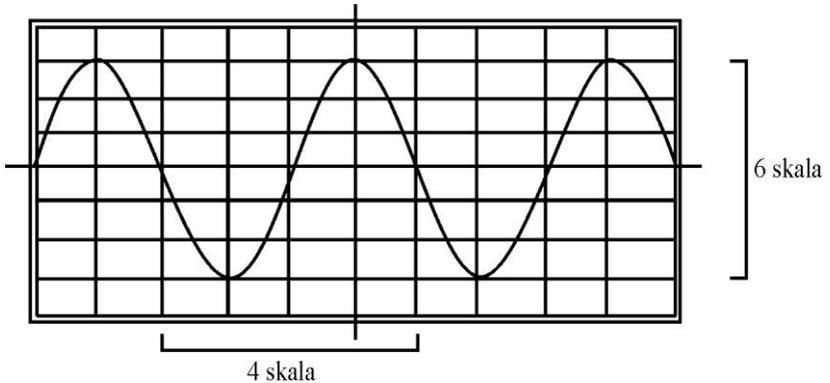
Gambar 1.34.
Mengukur Tegangan dalam Pusat Garis Skala Vertikal

c. *Pengukuran waktu dan frekuensi*

Frekuensi dari tegangan yang berubah menurut waktu yang diperagakan pada layar dapat diukur dengan menggunakan kalibrasi horisontal, yakni berdasarkan selang waktu. Kalau n gelombang penuh ada dalam selang waktu t , maka periode sinyal bolak-balik (AC) adalah sama dengan $T = t/n$ dan frekuensinya $f = 1/T$.

Contoh soal

Suatu tegangan bolak-balik dimasukkan ke osiloskop, dengan pengaturan perbandingan kabel tes pada 10:1. Batas ukur VOLTS/DIV adalah 0,2 volt dan batas ukur SWEEP TIME/DIV pada 1 ms. Hasil lukisan gelombangnya seperti terlihat pada Gambar 1.35. Berapakah amplitudo, periode dan frekuensi dari tegangan bolak-balik tersebut?



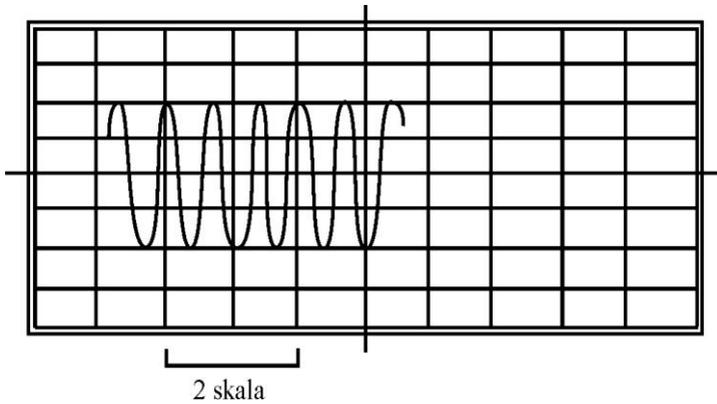
Gambar 1.35.
Bentuk Gelombang Tegangan 3 volt AC

Penyelesaian:

Tegangan terbaca adalah $6 \text{ skala} \times 0,2 \text{ volt/skala} \times 10 = 12 \text{ volt}$ dan periodenya adalah $4 \text{ skala} \times 1 \text{ ms} = 4 \times 10^{-3} \text{ detik}$ dan frekuensinya adalah $1/(4 \times 10^{-3}) \text{ detik} = 250 \text{ Hz}$.

Contoh Soal

Frekuensi dari suatu sumber tegangan dilukiskan seperti Gambar 1.36. Pada pembacaan 2 skala terdapat 3 gelombang. Batas ukur SWEEP TIME/DIV = 5 μ s. Hitung frekuensi gelombang yang terlukis!



Gambar 1.36.
Pengukuran Frekuensi Tinggi

Penyelesaian:

Cara perhitungan menggunakan aturan :

$$\text{frekuensi} = \frac{\text{banyak gelombang}}{\text{skala datar} \times \text{batas ukur}} = \frac{3 \text{ gelombang}}{2 \text{ skala} \times (5 \times 10^{-6}) \text{ detik}}$$

jadi nilai frekuensinya adalah : $3 \times 10^5 \text{ Hz} = 300 \text{ kHz}$

d. Pengukuran fase

Untuk mengukur sudut fase relatif antara dua tegangan sinusoidal dari amplitudo dan frekuensi yang sama, secara serentak diberikan kedua-duanya ke pelat-pelat pembelok horisontal dan vertikal dari CRO. Dimisalkan V_x dan V_y adalah harga-harga sesaat dari tegangan yang diberikan ke pasangan pelat-pelat tersebut, dan ω frekuensi angular dari sinyal dengan masing-masing amplitudo A , dapat dituliskan persamaannya:

$$V_x = A \sin \omega t, \quad (1.11)$$

dan

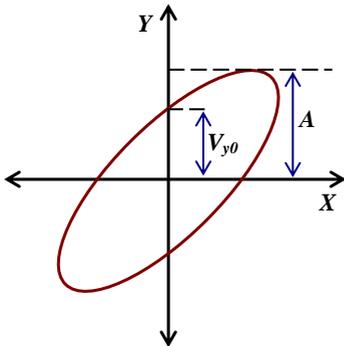
$$V_y = A \sin (\omega t + \theta) \quad (1.12)$$

Dimana θ adalah sudut fase dan V_y mendahului V_x - dengan menghilangkan fungsi t pada persamaan (1.11) dan (1.12) maka gabungan dari 2 persamaan tersebut adalah:

$$V_x^2 + V_y^2 - 2V_x V_y \cos \theta = A^2 \sin^2 \theta \tag{1.13}$$

Dari persamaan (1.13) dalam osilogram secara umum, akan berbentuk elips seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.37. Penentuan sudut fase θ dengan menggunakan persamaan:

$$\sin \theta = \frac{V_{y0}}{A} \tag{1.14}$$



Telah diketahui, berbagai pola muncul pada layar CRO tergantung pada amplitudo relatif, frekuensi, fase dan bentuk gelombang dari tegangan AC yang diberikan serentak ke dua set pelat pembelok. Pola demikian dikenal sebagai pola **Lissajous**, Gambar 1.37 merupakan pola Lissajous yang sederhana.

Gambar 1.37.

Bentuk ellips sesuai persamaan (1.13)

C. OSILOSKOP DIGITAL

Dewasa ini secara prinsip ada dua tipe osiloskop, yakni tipe analog (ART - *analog real time oscilloscope*,) dan tipe digital (DSO - *digital storage oscilloscope*), masing-masing memiliki kelebihan dan keterbatasan. Di bawah ini akan kita singgung juga prinsip kerja dari osiloskop Digital.

Jika dalam osiloskop analog gelombang yang akan ditampilkan langsung diberikan ke rangkaian vertikal sehingga berkesan "diambil" begitu saja (*real time*), maka dalam osiloskop digital, gelombang yang akan ditampilkan lebih dulu di sampling (dicuplik) dan didigitalisasikan. Osiloskop kemudian menyimpan nilai-nilai tegangan ini bersama sama dengan skala waktu gelombangnya di memori. Pada prinsipnya, osiloskop digital hanya mencuplik dan menyimpan demikian banyak nilai dan kemudian berhenti. Ia mengulang proses ini lagi dan lagi sampai dihentikan. Beberapa DSO

memungkinkan untuk memilih jumlah cuplikan yang disimpan dalam memori per akuisisi (pengambilan) gelombang yang akan diukur.

Seperti osiloskop analog, DSO melakukan akuisisinya dalam satu event pemicuan. Namun demikian ia secara rutin memperoleh, mengukur dan menyimpan sinyal masukan, mengalirkan nilainya melalui memori dalam suatu proses kerja dengan cara; pertama yang disimpan yang pertama pula yang akan dikeluarkan, sambil menanti picu terjadi. Sekali osiloskop ini mengenali event picu yang didefinisikan oleh penggunaanya, osiloskop mengambil sejumlah cuplikan yang kemudian mengirimkan informasi gelombangnya ke peraga (layar). Karena kerja pemicuan yang demikian ini, ia dapat menyimpan dan meragakan informasi yang diperoleh sebelum picu (*pretrigger*) sampai 100 persen dari lokasi memori yang disediakan.

DSO mempunyai dua cara untuk "menangkap" atau mencuplik gelombang, yakni dengan teknik *single shot* atau *real time sampling*. Dengan kedua teknik ini, osiloskop memperoleh semua cuplikan dengan satu *event* picu. Sayangnya laju cuplik DSO membatasi lebar pita osiloskop ketika beroperasi dalam waktu nyata (*real time*). Secara teori (sesuai dengan *Nyquist sampling theorem*), osiloskop digital membutuhkan masukan dengan sekurang-kurangnya dua cuplikan per periode gelombang untuk merekonstruksi suatu bentuk gelombang. Dalam praktek, tiga atau lebih cuplikan per periode menjamin akurasi akuisisi. Jika pencuplik tidak dapat sama cepat dengan sinyal masukannya, osiloskop tidak akan dapat mengumpulkan suatu jumlah yang cukup yang berakibat menghasilkan suatu peragaan yang lain dari bentuk gelombang aslinya, yaitu osiloskop akan menggambarkan struktur keseluruhan sinyal masukan pada suatu frekuensi yang jauh lebih rendah dari frekuensi sinyal sesungguhnya.

Ketika menangkap suatu gelombang bentuk tunggal (*single shot waveform*) dengan cuplikan waktu nyata, osiloskop digital harus secara akurat menangkap frekuensi sinyal masukan. Osiloskop digital biasanya menspesifikasikan dua lebar pita; *real time* dan analog. Lebar pita analog menyatakan frekuensi tertinggi jalur masukannya yang dapat lolos tanpa cacat yang serius pada sinyalnya. Lebar pita *real time* menunjukkan frekuensi maksimum dari osiloskop yang dapat secara akurat mencuplik menggunakan satu event picu. Bergantung dari osiloskopnya, kadang-kadang kedua lebar pita tersebut mempunyai harga yang sama, kadang mempunyai nilai yang berbeda jauh. Sebagai contoh misalnya lebar pita analog dari suatu DSO 350 MHz dan lebar pita *real time*-nya hanya 40 MHz.

Dengan metode alternatif yakni menggunakan *equivalent-time sampling* DSO secara akurat dapat menangkap sinyal-sinyal sampai pada lebar pita osiloskopnya, tetapi hanya pada sinyal-sinyal yang sifatnya repetitif. Dengan teknik ini, osiloskop digital menerima cuplikan-cuplikan pada banyak *event-event* picu yang kemudian secara berangsur-angsur mengonstruksi keseluruhan bentuk gelombangnya. Hanya lebar pita analog yang membatasi osiloskop pada frekuensi tertentu dapat menerima teknik ini.

Kebanyakan DSO, apakah ia menggunakan teknik *real time* atau *equivalent time* akan mencuplik pada laju maksimum tanpa mengacu berapa dasar waktu (*time base*) yang di pilih. Pada kecepatan sapuan yang lebih rendah osiloskop digital menerima jauh lebih banyak cuplikan daripada yang dapat disimpangnya. Bergantung kepada mode akuisisi yang kita pilih, suatu DSO akan membuang cuplikan ekstra atau menggunakannya untuk pemrosesan sinyal-sinyal tambahan seperti deteksi puncak gelombang (*peak detect*), maupun sampul gelombang (*envelope*).



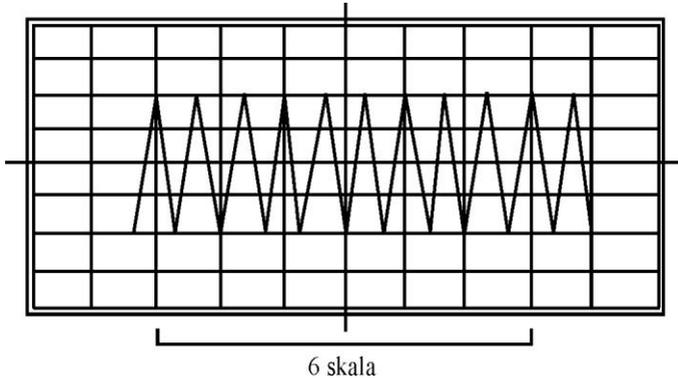
LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Pada pengukuran tegangan searah dengan batas ukur 10, jarum penunjuk menyimpang pada busur skala 30. Berapa nilai tegangan yang terbaca?
- 2) Jika suatu voltmeter mempunyai kepekaan 10k/volt, berapa hambatan dalamnya pada pengukuran tegangan searah dengan batas ukur 50 volt?
- 3) Pada pengukuran arus searah dengan batas ukur 25 mA, jarum penunjuk menyimpang tepat di tengah-tengah busur skala. Berapa nilai arus yang diukur?
- 4) Suatu ohmmeter diatur agar menunjukkan nilai nol ohm pada busur skala. Ternyata dengan memutar tombol pengatur nol ohm, penyimpangan jarum penunjuk tidak dapat mencapai simpangan pada nol ohm. Mengapa hal ini terjadi?
- 5) Kita mengukur hambatan, multimeter diatur pada kedudukan batas ukur xl. Ternyata penunjuk menyimpang pada angka mendekati angka ∞ . Apakah multimeter rusak atau baterainya sudah tidak baik?
- 6) Suatu hambatan diukur dengan multimeter pada batas ukur x10, jarum penunjuk menyimpang pada angka 200. Jika batas ukur diubah pada k Ω ,

berapa penyimpangan jarum penunjuk dan berapa nilai hambatan tersebut?

- 7) Pada batas ukur VOLTS/DIV = 0,1 volt dan perbandingan kabel tes adalah 10:1. Jika amplitudo puncak ke puncak adalah 3,8 skala, berapa nilai tegangan terukur?
- 8) Hitung frekuensi gelombang sinus, jika satu periode menunjukkan skala 4 dengan batas ukur SWEEP TIME/DIV = 0,5 ms!
- 9) Jika suatu gelombang dilukiskan seperti berikut ini, berapa frekuensinya! Dari gambar terbaca 9 buah gelombang dalam 6 skala. Batas ukur SWEEP TIME/DIV = 5 ms.



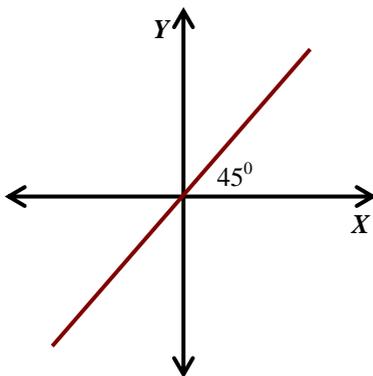
- 10) Dalam pengukuran fase, jika dalam persamaan (1.13) sudut fase $\theta = 0$, maka gambarkan pola Lissajous! Tentukan pula jika sudut fase $\theta = 90^\circ$!

Petunjuk Jawaban Latihan

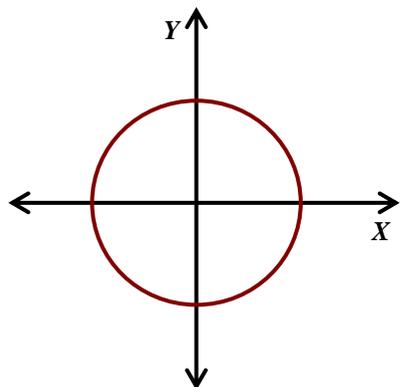
- 1) Batas ukur 10 volt terdiri dari 50 skala, maka penyimpangan jarum penunjuk pada skala 30 setara dengan tegangan:
 $(30 \text{ skala}/50 \text{ skala}) \times 10 \text{ volt} = 6 \text{ volt}$
- 2) Hambatan multimeter pada batas ukur 50 volt jika kepekaannya sama dengan 10 k Ω /volt, adalah 50 volt x 10 k Ω /volt = 500 k Ω
- 3) Pada batas ukur 25 mA, skala terbesar adalah angka 250. Jika jarum penunjuk menyimpang di tengah busur skala, yaitu pada skala 125, berarti nilai arus yang terbaca adalah $(125/250) \times 25 \text{ mA} = 12,5 \text{ mA}$.
- 4) Jika pada pengaturan nol ohm, jarum penunjuk tidak dapat menyimpang ke titik nol ohm, berarti baterai dari multimeter dalam keadaan kurang

baik. Cara penanggulangannya adalah baterai tersebut harus diganti dengan baterai yang baru.

- 5) Jika batas ukur diubah ke $\times 10$ jarum masih menunjukkan angka \sim , ubahlah batas ukur ke $k\Omega$, jika jarum masih menunjukkan angka \sim , maka ada beberapa kemungkinan:
 - a. multimeter rusak,
 - b. jika pada pengaturan nol ohm, jarum penunjuk menyimpang ke nol ohm, berarti nilai hambatan yang diukur besar sekali atau hambatan yang diukur rusak.
- 6) Pada batas ukur $k\Omega$, jarum penunjuk menyimpang ke angka 2 dan nilai hambatan adalah 2000 ohm atau 2 $k\Omega$.
- 7) Nilai tegangan terukur adalah:
 $4 \text{ skala} \times 0,1 \text{ volt/skala} \times 10 = 3,8 \text{ volt}$.
- 8) Nilai perioda terukur adalah:
 $4 \text{ skala} \times (0,5 \times 10^{-3}) \text{ detik/skala} = 2 \times 10^{-3} \text{ detik}$
 Nilai frekuensi adalah: $1/(2 \times 10^{-3}) \text{ detik} = 500 \text{ Hz}$
- 9) Frekuensi adalah: $9/(6 \times 5 \times 10^{-3}) \text{ Hz} = 300 \text{ Hz}$.
- 10) Kalau $\theta = 0$, dari persamaan (1.11) dan (1.12) diperoleh $V_x = V_y$, dalam hal ini osilogram akan berbentuk garis lurus dengan kemiringan 45° , sedangkan kalau sudut fase $\theta = 90^\circ$ maka persamaan (1.13) akan menjadi persamaan lingkaran dengan jari-jari = A. Pola Lissajous seperti berikut ini:



Osilogram jika $\theta = 0$



Osilogram jika $\theta = 90^\circ$



RANGKUMAN

Peralatan pengukuran besaran listrik yang sering digunakan oleh praktisi elektronika adalah multimeter dan osiloskop. Multimeter adalah suatu alat pengukur besaran listrik yang mempunyai fungsi pengukuran tegangan (DC dan AC), arus (DC dan AC) dan hambatan. Sebuah multimeter akan mempunyai unjuk kerja yang baik jika kepekaan arusnya makin besar.

Osiloskop adalah alat yang dapat melukiskan bentuk suatu osilasi dan dalam aplikasinya diantaranya dapat mengukur nilai tegangan (DC dan AC) serta dapat mengukur periode, frekuensi dan fase dari suatu tegangan AC. Secara prinsip ada dua tipe osiloskop, yakni tipe analog (ART - *analog real time oscilloscope*), dan tipe digital (DSO - *digital storage oscilloscope*), masing-masing memiliki kelebihan dan keterbatasan.



TES FORMATIF 2

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Tegangan bolak-balik yang terbaca oleh sebuah multimeter adalah 110 volt. Tegangan ini setara dengan
 - A. $V_M = 77$ volt
 - B. $V_{rata} = 70$ volt
 - C. $V_{rms} = 110$ volt
 - D. $V_{rata} = 155$ volt

- 2) Suatu multimeter dengan kepekaan $20 \text{ k}\Omega/\text{volt}$, mengandung arti
 - A. multimeter yang baik
 - B. arus simpangan penuhnya (I_{fad}) = $50 \mu\text{A}$
 - C. harga cukup mahal
 - D. hambatan dalam kecil sekali

- 3) Dengan kepekaan $5 \text{ k}\Omega/\text{volt}$, suatu multimeter dipergunakan sebagai pengukur tegangan 9 volt. Jika batas ukur yang dipilih adalah 10 volt, maka hambatan dalam dari multimeter tersebut adalah
 - A. $45 \text{ k}\Omega$
 - B. $50 \text{ k}\Omega$
 - C. $90 \text{ k}\Omega$
 - D. kecil sekali

- 4) Pada batas ukur 500 untuk pengukuran tegangan searah, skala terbesar yang terdapat pada busur skala adalah 250. Jika jarum penunjuk menyimpang pada angka 50, maka tegangan yang dibaca adalah
- A. 25 volt
 - B. 50 volt
 - C. 100 volt
 - D. 125 volt
- 5) Multitester dipergunakan sebagai pengukur hambatan pada batas ukur $\times 10$ jarum penunjuk menyimpang pada angka 500. Pada angka berapa jarum penunjuk menyimpang, jika batas ukur diubah menjadi $k\Omega$?
- A. 5000
 - B. 500
 - C. 50
 - D. 5
- 6) Suatu hambatan diketahui mempunyai nilai 200Ω , pada batas ukur $\times 10$ jarum penunjuk menyimpang pada angka
- A. 200
 - B. 20
 - C. 2
 - D. 0,2
- 7) Pada batas ukur $VOLTS/DIV = 0,1$ volt dan perbandingan kabel tes 10 : 1 tegangan puncak ke puncak terlukiskan 5,4 skala tegak, maka tegangan yang diukur adalah
- A. 0,054 volt
 - B. 0,54 volt
 - C. 5,4 volt
 - D. 54 volt
- 8) Jika frekuensi yang diukur adalah 10 kHz, pada kasus ukur SWEEP TIME/DIV = 0,01 ms, skala datar untuk lukisan satu gelombang dinyatakan dalam
- A. 100 skala
 - B. 10 skala
 - C. 1 skala
 - D. 0,1 skala

- 9) Pada 5 skala datar terbaca sebanyak 10 gelombang pada batas ukur SWEEP TIME/DIV = 1 ms, maka frekuensi yang diamati adalah
- 2 kHz-
 - 5 kHz
 - 200 Hz
 - 500 Hz
- 10) Tegangan sebesar 6 volt AC, pada batas ukur VOLTS/DIV = 1 volt akan dilukiskan pada skala tegak sebesar
- 0,6 skala
 - 1 skala
 - 3 skala
 - 6 skala

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 2 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 2.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali
 80 - 89% = baik
 70 - 79% = cukup
 < 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan modul selanjutnya. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 2, terutama bagian yang belum dikuasai.

Kunci Jawaban Tes Formatif

Tes Formatif 1

- 1) C Alasan: untuk mengukur arus yang lebih besar dari I_{fsd} maka pada galvanometer dipasang resistor paralel dengan galvanometer.
- 2) D Alasan: untuk mengalirkan arus sedemikian hingga arus maksimum yang lewat galvanometer (R_G) tetap dalam orde mikroampere maka R shunt (R_P) haruslah lebih kecil.
- 3) A Alasan: Prinsip suatu voltmeter adalah galvanometer yang diberi tahanan muka atau tahanan luar yang di seri dengan tahanan galvanometer.
- 4) B Alasan: agar tidak mengganggu arus pada rangkaian yang diukur, maka arus yang melewati galvanometer haruslah sangat kecil sehingga hambatan R_s bernilai besar dan dipasang seri dengan R_G .
- 5) D Alasan: $\theta = (20/100) \times 90^\circ = 18^\circ$.
- 6) B $2,5 \times 10^{-5} \Omega$, lihat cara perhitungan pada Gambar 1.2.
- 7) C Alasan: $(R_G + R_P) = 10 \text{ V} / (100 \times 10^{-6}) \text{ A} = 100 \text{ K}\Omega$ atau $R_P = (100 - 0.1) \text{ K}\Omega = 99.9 \text{ K}\Omega$.
- 8) C Alasan: $V = I R = 0.1 \text{ (A)} \times 10 \Omega = 1 \text{ volt}$.
- 9) B Alasan: jika ohmmeter menunjukkan ke titik 0 berarti $R_x = 0$ maka arus yang mengalir sama dengan arus $I_{fsd} =$ kepekaan arus galvanometer.
- 10) D Alasan: Jika amperemeter menunjukkan arus = 0 berarti tidak ada arus yang mengalir dalam ohmmeter. Hal ini terjadi jika hanya $R_x = \infty$ atau (ujung M dan H terbuka)

Tes Formatif 2

- 1) C Alasan : Pada multimeter tegangan AC yang terukur adalah V_{rms}
- 2) B Alasan : $I_{fsd} = 1 \text{ volt}/20 \text{ k}\Omega = 10^{-4} \text{ volt}/2 \Omega = 50 \mu\text{A}$
- 3) B Alasan : Hambatan = kepekaan x batas ukur = $5 \text{ k}\Omega/\text{volt} \times 10 \text{ volt} = 50 \text{ k}\Omega$
- 4) C Alasan : tegangan = $(50/250) \times 500 = 100 \text{ volt}$
- 5) D Alasan : simpangan = $(500 \times 10)/1000 = 5$
- 6) B Alasan : simpangan = $200 \Omega/10 = 20$
- 7) C Alasan : volt = $5,4 \times 0,1 \times 10 = 5,4 \text{ volt}$

- 8) B Alasan : $\text{Div} = 1/(10 \text{ kHz} \times 0.01 \text{ ms}) = 100/10 = 10$ skala
- 9) A Alasan : frekuensi = $10/(5 \times 1 \text{ ms}) = 2000 \text{ Hz} = 2 \text{ kHz}$
- 10) D Alasan : $\text{Div} = 6 \text{ volt} / 1 = 6$ skala

Glosarium

Akurasi	berapa dekat angka terbaca pada alat ukur dengan nilai sebenarnya besaran yang diukur tersebut.
Alat ukur	Alat untuk menentukan nilai suatu besaran.
Alternating Current	Disingkat AC – merupakan arus bolak balik/ tidak searah.
Ampere	Satuan arus, simbol A.
Amperemeter	Alat untuk mengukur arus.
Daya pisah	perubahan terkecil daripada besaran yang diukur.
Direct Current	Disingkat DC – merupakan arus searah.
Galvanometer	Alat ukur analog dengan jarum penunjuk menggunakan prinsip kumparan putar.
Ketepatan	Lihat definisi akurasi.
Ketelitian	berapa dekat nilai bacaan alat ukur jika digunakan untuk mengukur suatu besaran berkali-kali.
Kepekaan	perbandingan pengeluaran terhadap perubahan pada besaran yang diukur.
Kesalahan	simpangan terhadap nilai sebenarnya besaran yang diukur.
Multimeter	pengukuran listrik yang kompak yang terdiri dari Amperemeter, Voltmeter dan Ohmmeter.
Ohm	Satuan hambatan, simbol omega (Ω).
Ohmmeter	Alat untuk mengukur hambatan.
Osiloskop	alat yang dapat melukiskan bentuk suatu osilasi dan dalam aplikasinya diantaranya dapat mengukur nilai tegangan (DC dan AC) serta dapat mengukur periode dan frekuensi dari suatu tegangan AC.
Presisi	Lihat definisi ketelitian.
Resolusi	Lihat definisi daya pisah.
Sensitivitas	Lihat definisi kepekaan.
Volt	Satuan Tegangan, simbol V.
Voltmeter	Alat untuk mengukur tegangan.

Daftar Pustaka

David Buchla & Wayne McLachlan. (1992). *Applied Electronic Instrumentation and Measurement*, Prentice Hall.

Helfric & Cooper. (1995). *Modern Electronic Instrumentation and Measurement Techniques*, Prentice Hall.

Purwanto Wajar. (2005). *Elektronika*, Modul Ajar Universitas Terbuka, Jakarta.

_____, *Elektronika Dasar*, Universitas Negeri Jember.