

BAB 8

ALAT UKUR DAN PENGUKURAN LISTRIK

Daftar Isi :

8.1. Alat Ukur Listrik	8-2
8.2. Sistem Satuan	8-3
8.3. Ukuran Standar Kelistrikan	8-4
8.4. Sistem Pengukuran	8-4
8.5. Alat Ukur Listrik Analog	8-5
8.6. Multimeter Analog	8-7
8.7. Alat Ukur Digital	8-7
8.8. Alat Ukur Analog Kumparan Putar	8-8
8.9. Alat Ukur Besi Putar	8-9
8.10. Alat Ukur Elektrodinamik	8-10
8.11. Alat Ukur Piringan Putar	8-12
8.12. Pengukuran Tegangan DC	8-14
8.13. Pengukuran Arus DC	8-14
8.14. Pengukuran Tahan	8-16
8.15. Jembatan Wheatstone	8-17
8.16. Osiloskop	8-18
8.17. Data Teknik Osiloskop	8-19
8.18. Osiloskop Analog	8-19
8.19. Osiloskop Dua Kanal	8-21
8.20. Osiloskop Digital	8-22
8.21. Pengukuran Dengan Osiloskop	8-24
8.22. Metode Lissajous	8-28
8.23. Rangkuman	8-29
8.24. Soal-Soal	8-31

8.1. Alat Ukur Listrik

Untuk mengetahui besaran listrik DC maupun AC seperti tegangan, arus, resistansi, daya, faktor kerja, frekuensi kita menggunakan alat ukur listrik.

Awalnya dipakai alat-alat ukur analog dengan penunjukan menggunakan jarum dan membaca dari skala. Kini banyak dipakai alat ukur listrik digital yang praktis dan hasilnya tinggal membaca pada layar display **gambar-8.1**

Bahkan dalam satu alat ukur listrik dapat digunakan untuk mengukur beberapa besaran, misalnya tegangan AC dan DC, arus listrik DC dan AC, resistansi kita menyebutnya Multimeter. Untuk kebutuhan praktis tetap dipakai alat ukur tunggal, misalnya untuk mengukur tegangan saja, atau daya listrik saja.

Kedepan alat ukur analog masih tetap digunakan karena handal, ekonomis dan praktis **gambar-8.2**. Namun alat ukur digital makin luas dipakai, karena harganya makin terjangkau, praktis dalam pemakaian, penunjukannya makin akurat dan presisi.

Ada beberapa istilah dan definisi pengukuran listrik yang harus dipahami, diantaranya *alat ukur*, *akurasi*, *presisi*, *kepekaan*, *resolusi* dan *kesalahan*.

- Alat ukur**, adalah perangkat untuk menentukan nilai atau besaran dari kuantitas atau variabel.
- Akurasi**, kedekatan alat ukur membaca pada nilai yang sebenarnya dari variabel yang diukur.
- Presisi**, hasil pengukuran yang dihasilkan dari proses pengukuran, atau derajat untuk membedakan satu pengukuran dengan lainnya.
- Kepekaan**, ratio dari sinyal output atau tanggapan alat ukur perubahan input atau variabel yang diukur



Gambar 8.1 : Tampilan meter Digital



Gambar 8.2: Meter listrik Analog

- e. **Resolusi**, perubahan terkecil dari nilai pengukuran yang mampu ditanggapi oleh alat ukur.
- f. **Kesalahan**, angka penyimpangan dari nilai sebenarnya variabel yang diukur.

8.2. Sistem Satuan

Pada awal perkembangan teknik pengukuran mengenal dua sistem satuan, yaitu *sistem metrik* (dipelopori Perancis sejak 1795), Amerika Serikat dan Inggris juga menggunakan sistem metrik untuk kepentingan internasional, tapi untuk kebutuhan lokal menggunakan sistem CGS (centimeter-gram-second). Sejak tahun 1960 dikenalkan Sistem Internasional (SI Unit) sebagai kesepakatan internasional. Enam besaran yang dinyatakan dalam sistem SI, yaitu

Tabel 8.1. Besaran Sistem Internasional

Besaran	Satuan	Simbol
Panjang	<i>meter</i>	m
Massa	<i>kilogram</i>	kg
Waktu	<i>detik</i>	s
Arus listrik	<i>amper</i>	A
Temperatur termodinamika	<i>derajat kelvin</i>	^o K
Intensitas cahaya	<i>candela</i>	Cd

Secara praktis besaran listrik yang sering digunakan adalah volt, amper, ohm, henry dsb. Kini sistem SI sudah membuat daftar besaran, satuan dan simbol dibidang kelistrikan dan kemagnetan berlaku internasional.

Tabel 8.2. Besaran dan Simbol Kelistrikan

Besaran dan simbol	Nama dan simbol	Persamaan
Arus listrik, I	amper A	-
Gaya gerak listrik, E	volt, V V	-
Tegangan, V	volt, V V	-
Resistansi, R	ohm, Ω	R = V/I
Muatan listrik, Q	coulomb C	Q = It
Kapasitansi, C	farad F	C = Q/V
Kuat medan listrik, E	- V/m	E = V/l
Kerapatan fluk listrik, D	- C/m ²	D = Q/l ²
Permittivity, ε	- F/m	ε = D/E
Kuat medan magnet, H	- A/m	∫ Hdl = nI
Fluk magnet, Φ	weber Wb	E = dΦ/dt
Kerapatan medan magnet, B	tesla T	B = Φ/l ²
Induktansi, L, M	henry H	M = Φ/I
Permeability, μ	- H/m	μ = B/H

8.3. Ukuran Standar Kelistrikan

Ukuran standar dalam pengukuran sangat penting, karena sebagai acuan dalam peneraan alat ukur yang diakui oleh komunitas internasional. Ada enam besaran yang berhubungan dengan kelistrikan yang dibuat sebagai standart, yaitu standar amper, resistansi, tegangan, kapasitansi, induktansi, kemagnetan dan temperatur.

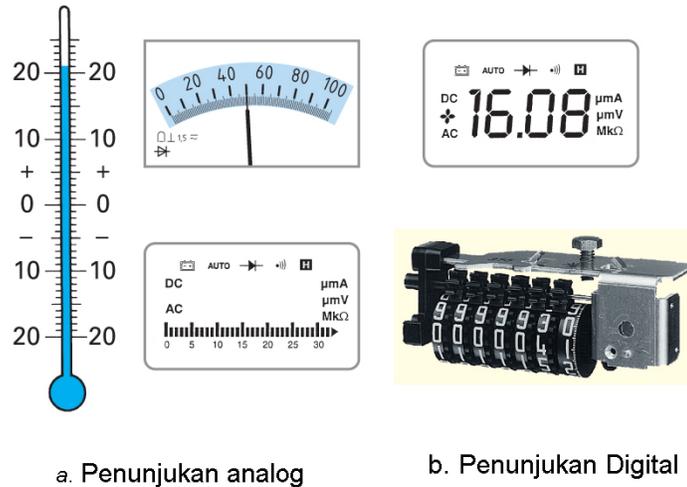
1. **Standar amper** menurut ketentuan Standar Internasional (SI) adalah *arus konstan yang dialirkan pada dua konduktor didalam ruang hampa udara dengan jarak 1 meter, diantara kedua penghantar menimbulkan gaya = 2×10^{-7} newton/m panjang.*
2. **Standar resistansi** menurut ketentuan SI adalah *kawat alloy manganin resistansi 1Ω yang memiliki tahanan listrik tinggi dan koefisien temperatur rendah, ditempatkan dalam tabung terisolasi yang menjaga dari perubahan temperatur atmospher.*
3. **Standar tegangan** ketentuan SI adalah *tabung gelas Weston mirip huruh H memiliki dua elektrode, tabung elektrode positif berisi elektrolit mercury dan tabung elektrode negatif diisi elektrolit cadmium, ditempatkan dalam suhu ruangan. Tegangan elektrode Weston pada suhu 20°C sebesar 1.01858 V.*
4. **Standar Kapasitansi** menurut ketentuan SI, diturunkan dari standart resistansi SI dan standar tegangan SI, dengan menggunakan sistem jembatan Maxwell, dengan diketahui resistansi dan frekuensi secara teliti akan diperoleh standar kapasitansi (Farad).
5. **Standar Induktansi** menurut ketentuan SI, diturunkan dari standar resistansi dan standar kapasitansi, dengan metode geometris, standar induktor akan diperoleh.
6. **Standart temperatur** menurut ketentuan SI, diukur dengan derajat Kelvin besaran derajat kelvin didasarkan pada tiga titik acuan air saat kondisi menjadi es, menjadi air dan saat air mendidih. Air menjadi es sama dengan $0^{\circ}\text{Celsius} = 273,16^{\circ}\text{Kelvin}$, air mendidih 100°C .
7. **Standar luminasi cahaya** menurut ketentuan SI,

8.4. Sistem Pengukuran

Ada dua sistem pengukuran yaitu sistem analog dan sistem digital. Sistem analog berhubungan dengan informasi dan data analog. Sinyal analog berbentuk fungsi kontinyu, misalnya penunjukan temperatur dalam ditunjukkan oleh skala, penunjuk jarum pada skala meter, atau penunjukan skala elektronik

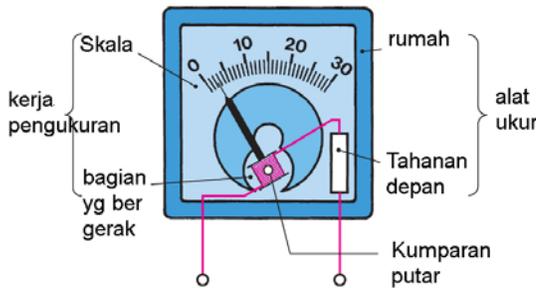
r-8.3a

Sistem digital berhubungan dengan informasi dan data digital. Penunjukan angka digital berupa angka diskret dan pulsa diskontinyu dberhubungan dengan waktu. Penunjukan display dari tegangan atau arus dari meter digital berupa angka tanpa harus membaca dari skala meter. Saklar pemindah frekuensi pada pesawat HT juga merupakan angka digital dalam bentuk digital **gambar-8.3b**



Gambar 8.3 Penunjukan meter analog dan meter digital

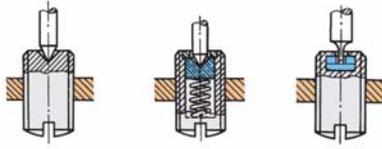
8.5. Alat Ukur Listrik Analog



Gambar 8.4 komponen alat ukur listrik analog

Alat ukur listrik analog merupakan alat ukur generasi awal dan sampai saat ini masih digunakan. Bagiannya banyak komponen listrik dan mekanik yang saling berhubungan. Bagian listrik yang penting adalah, magnet permanen, tahanan meter dan kumparan putar. Bagian mekanik meliputi jarum penunjuk, skala dan sekrup pengatur jarum penunjuk **gambar-8.4**

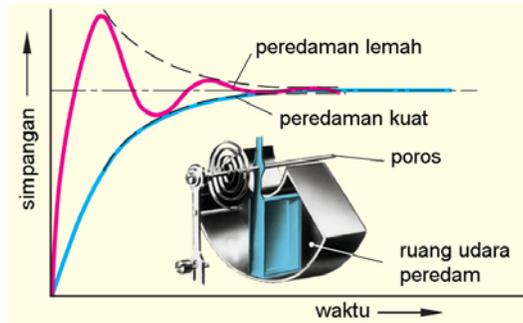
Mekanik pengatur jarum penunjuk merupakan dudukan poros kumparan putar yang diatur kekencangannya **gambar-8.5** Jika terlalu kencang jarum akan terhambat, jika terlalu kendur jarum akan mudah goncang. Pengaturan jarum penunjuk sekaligus untuk memposisikan jarum pada skala nol meter.



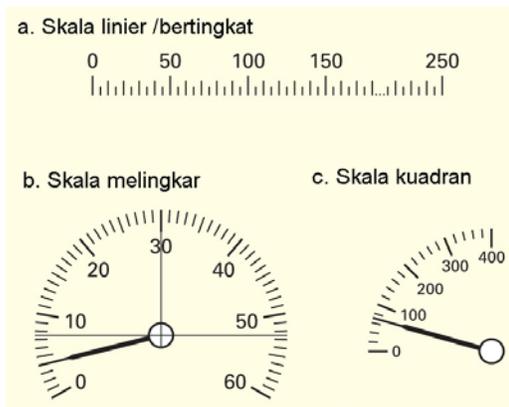
Gambar 8.5 : Dudukan poros jarum penunjuk

Alat ukur analog memiliki komponen putar yang akan bereaksi begitu mendapat sinyal listrik. Cara bereaksi jarum penunjuk ada yang menyimpang dulu baru menunjukkan angka pengukuran.

Atau jarum penunjuk bergerak ke angka penunjukan perlahan-lahan tanpa ada penyimpangan. Untuk itu digunakan peredam mekanik berupa pegas yang terpasang pada poros jarum atau bilah sebagai penahan gerakan jarum berupa bilah dalam ruang udara **gambar-8.6**. Pada meter dengan kelas industri baik dari jenis kumparan putar maupun jenis besi putar seperti meter yang dipasang pada panel meter banyak dipakai peredam jenis pegas.



Gambar 8.6 Pola penyimpangan jarum meter analog



Gambar 8.7 Jenis skala meter analog

Bentuk skala memanjang saat ini jarang ditemukan. Bentuk skala melingkar dan skala kuadran banyak dipakai untuk alat ukur Voltmeter dan Ampermeter pada panel meter **gambar 8.7**.

8.6. Multimeter Analog

Multimeter salah satu meter analog yang banyak dipakai untuk pekerjaan kelistrikan dan bidang elektronika **gambar-8.8**.



batas ukur teg 0...0,5V, 0...500V
 batas ukur teg 0...500V
 batas ukur arus 0...50 μA DC
 batas ukur arus 0...15 A DC/AC
 Tahanan dalam 1Ω...1 MΩ
 Klas 2,5

Multimeter memiliki tiga fungsi pengukuran, yaitu :

1. **Voltmeter** untuk tegangan AC dengan batas ukur 0-500 V, pengukuran tegangan DC dengan batas ukur 0-0,5V dan 0-500V.
2. **Ampermeter** untuk arus listrik DC dengan batas ukur 0-50μA dan 0-15A, pengukuran arus listrik AC 0-15A.
3. **Ohmmeter** dengan batas ukur dari 1Ω-1MΩ.

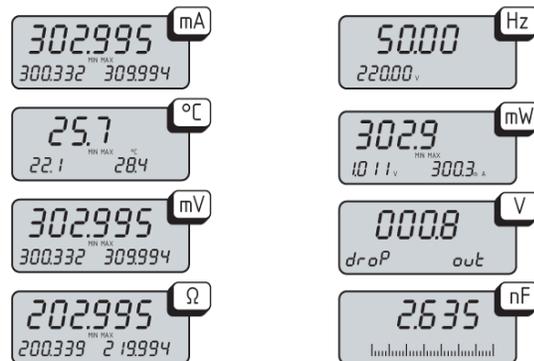
Gambar 8.8 : Multimeter analog

8.7. Alat Ukur Digital

Alat ukur digital saat sekarang banyak dipakai dengan berbagai kelebihanannya, murah, mudah dioperasikan dan praktis.

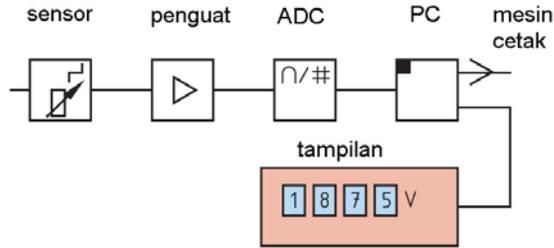
Multimeter digital mampu menampilkan beberapa pengukuran untuk arus *miliAmper*, *temperatur °C*, *tegangan miliVolt*, *resistansi Ohm*, *frekuensi Hz*, *daya listrik mW* sampai kapasitansi nF **gambar-8.9**

Pada dasarnya data /informasi yang akan diukur bersifat analog. Blok diagram alat ukur digital terdiri komponen sensor, penguat sinyal analog, Analog to Digital converter , mikroprosesor, alat cetak dan display digital **gambar-8.10**.



Gambar 8.9 : Tampilan penunjukan digital

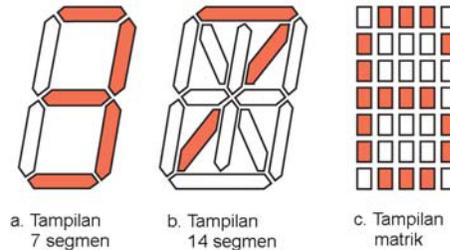
Sensor mengubah besaran listrik dan non elektrik menjadi tegangan, karena tegangan masih dalam orde mV perlu diperkuat oleh penguat input.



Gambar 8.10 : Prinsip kerja alat ukur digital

Sinyal input analog yang sudah diperkuat, dari sinyal analog diubah menjadi sinyal digital dengan (ADC) Analog to Digital akan diolah oleh perangkat PC atau mikroprocessor dengan program tertentu dan hasil pengolahan disimpan dalam sistem memori digital. Informasi digital ditampilkan dalam display atau dihubungkan dicetak dengan mesin cetak.

Display digital akan menampilkan angka diskrit dari 0 sampai angka 9 ada tiga jenis, yaitu 7-segmen, 14-segmen dan dot matrik 5x7 **gambar-8.11**. Sinyal digital terdiri atas 0 dan 1, ketika sinyal 0 tidak bertegangan atau OFF, ketika sinyal 1 bertegangan atau ON.



Gambar 8.11 : Tiga jenis display digital



Gambar 8.12 : Multimeter digital AC dan DC

Sebuah multimeter digital, terdiri dari tiga jenis alat ukur sekaligus, yaitu mengukur tegangan, arus dan tahanan. Mampu untuk mengukur besaran listrik DC maupun AC **gambar 8.12**.

Saklar pemilih mode digunakan untuk pemilihan jenis pengukuran, mencakup tegangan AC/DC, pengukuran arus AC/DC, pengukuran tahanan, pengukuran diode dan pengukuran kapasitor.

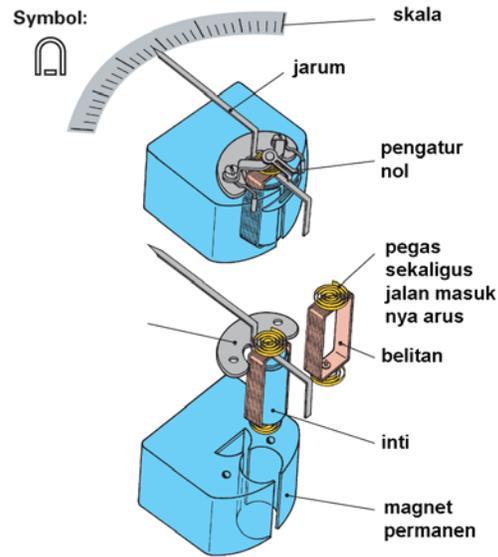
Terminal kabel untuk tegangan dengan arus berbeda. Terminal untuk pengukuran arus kecil 300mA dengan arus sampai 10A dibedakan.

8.8. Alat Ukur Analog Kumpanan Putar

Konstruksi alat ukur kumpanan putar terdiri dari permanen magnet, kumpanan putar dengan inti besi bulat, jarum penunjuk terikat dengan poros dan inti besi putar, skala linear, dan pegas spiral rambut, serta pengatur posisi nol **gambar-8.13**. Torsi yang dihasilkan dari interaksi elektromagnetik sesuai persamaan :

$$T = B \times A \times I \times N$$

- T Torsi (Nm)
- B kerapatan fluk magnet (Wb/m^2)
- A luas efektif koil (m^2)
- I arus ke kumpanan putar (A)
- N jumlah belitan



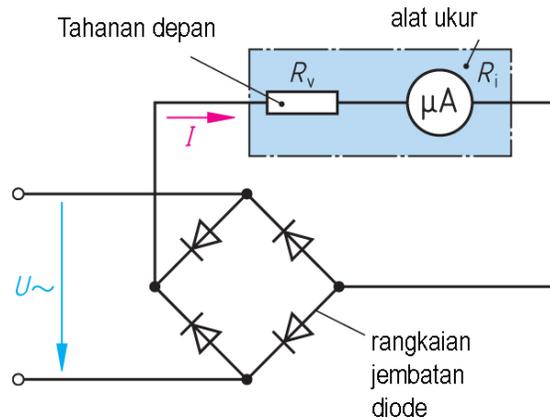
Gambar 8.13 : Prinsip Alat Ukur Kumpanan Putar

Dari persamaan diatas, komponen B , A dan N adalah konstan, sehingga torsi berbanding lurus dengan arus mengalir ke kumpanan putar. Data alat ukur kumpanan putar dengan dimensi 31/2 in, arus 1mA, simpangan skala penuh 100 derajat memiliki $A : 1,72 \text{ cm}^2$, $B : 2.000 \text{ G}(0,2Wb/m^2)$, $N: 84$ lilit, $T : 2,92 \times 10^{-6}Nm$ R kumpanan putar : 88Ω , disipasi daya : $88\mu W$.

Untuk pengukuran listrik AC alat ukur kumpanan putar ditambahkan komponen tambahan, yaitu diode bridge sebagai penyearah AC ke DC **gambar-8.14**.

$$EDC = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot V_{rms} = 0,9 V_{rms}$$

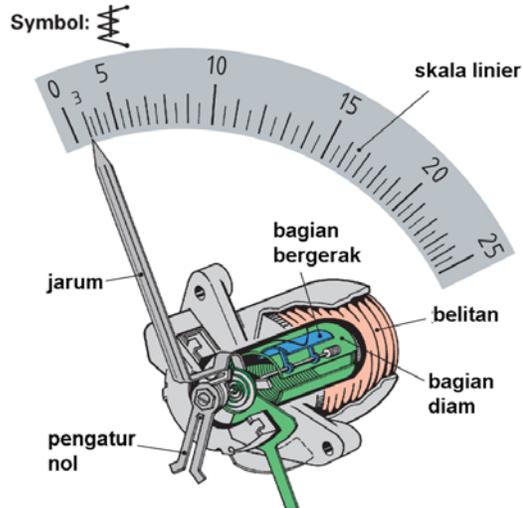
Tahanan seri R_V untuk mendrop tegangan sehingga batas ukur dan skala pengukuran sesuai. Sehingga tahanan total $R_T=R_V + R$. Multimeter menggunakan kumpanan putar sebagai penggerak jarum penunjuknya.



Gambar 8.14 : Meter kumpanan putar dengan diode penyearah

8.9. Alat Ukur Besi Putar

Alat ukur besi putar memiliki anatomi yang berbeda dengan kumparan putar. Sebuah belitan kawat dengan rongga tabung untuk menghasilkan medan elektromagnetik. **gambar-8.15.**

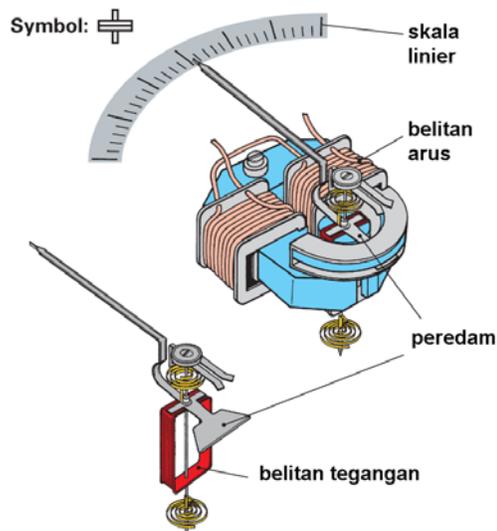


Gambar 8.15 : Prinsip alat ukur besi putar

Didalam rongga tabung dipasang sirip besi yang dihubungkan dengan poros dan jarum penunjuk skala meter. Jika arus melalui belitan kawat, timbul elektromagnetik dan sirip besi akan bergerak mengikuti hukum tarik menarik medan magnet.

Besarnya simpangan jarum sebanding dengan kuadrat arus yang melewati belitan. skala meter bukan linear tetapi jaraknya angka non-linear. Alat ukur besi putar sederhana bentuknya dan cukup handal.

8.10. Alat Ukur Elektrodinamik



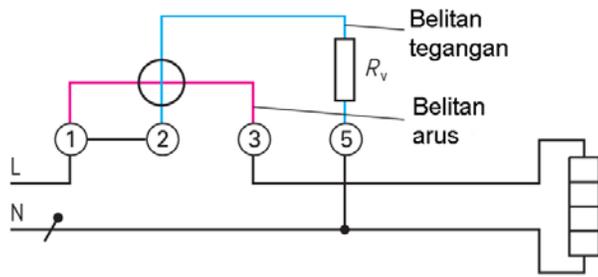
Gambar 8.16 : Prinsip elektrodinamik

Alat ukur elektrodinamik memiliki dua jenis belitan kawat, yaitu belitan kawat arus yang dipasang diam dua buah pada magnet permanen, dan belitan kawat tegangan sebagai kumparan putar terhubung dengan poros dan jarum penunjuk **gambar-8.16.**

Interaksi medan magnet belitan arus dan belitan tegangan menghasilkan sudut penyimpangan jarum penunjuk sebanding dengan daya yang dipakai beban :

$$P = V.I.\cos\theta$$

Pemakaian alat ukur elektrodinamik adalah sebagai *pengukur daya listrik* atau *Wattmeter*.



Gambar 8.17 : Pemasangan wattmeter

Pemasangan Wattmeter dengan notasi terminal 1,2,3 dan 5. Terminal 1-3 terhubung ke belitan arus Wattmeter, terhubung seri dengan beban. Terminal 2-5 terhubung ke belitan tegangan Wattmeter. Terminal 1-2 dikopel untuk mendapatkan catu tegangan supply tegangan **gambar-8.17**.

Pemasangan terminal meter tidak boleh tertukar, karena akibatnya meter tidak berfungsi. Untuk pengukuran daya besar, dimana arus beban besar dapat digunakan trafo CT untuk menurunkan arus yang mengalir belitan arus Wattmeter.



Gambar 8.18 : Pengawatan wattmeter dengan beban satu fasa

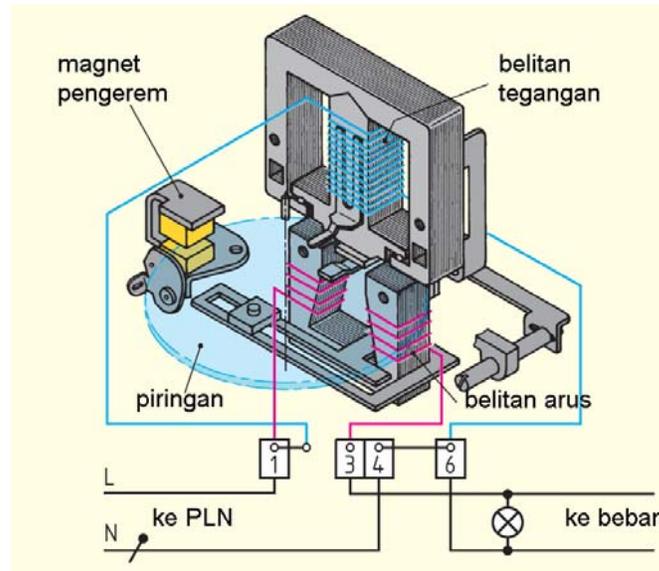
Misalkan daya motor 3 fasa 55 kW dengan tegangan 400V akan menarik arus jala-jala 100A. Kemampuan kWh meter maksimal dilalui arus hanya 10 A, maka digunakan trafo arus CT dengan rating 100/5A agar pengukuran daya motor dapat dilaksanakan.

Wattmeter portabel pengawatan dengan beban **gambar-8.18**. Ada tiga buah selektor switch, untuk pengaturan amper, pengaturan tegangan dan pemilihan skala batas ukur.

Untuk keamanan tempatkan selektor amper dan selektor tegangan pada batas ukur tertinggi. Jika jarum penunjuk sudut simpangannya masih kecil baru selektor switch arus atau tegangan diturunkan satu tahap.

8.11. Alat Ukur Piringan Putar

Alat ukur piringan putar tidak menggunakan jarum penunjuk. Konstruksi meter piringan putar memiliki dua inti besi **gambar 8.19**. Inti besi U dipasang dua buah belitan arus pada masing-masing kaki inti, menggunakan kawat berpenampang besar. Inti besi berbentuk E-I dengan satu belitan tegangan, dipasang pada kaki tengah inti besi, jumlah belitan tegangan lebih banyak dengan penampang kawat halus.



Gambar 8.19: Prinsip Alat ukur Piringan Putar (kWhmeter)



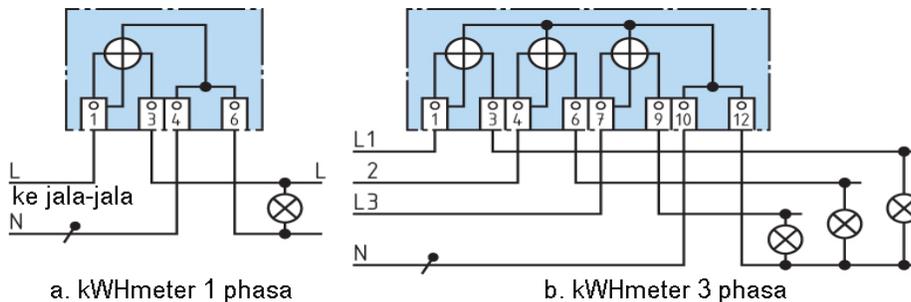
Gambar 8.20 : kWh meter

Piringan putar aluminium ditempatkan diantara dua inti besi U dan E-I. Akibat efek elektromagnetis kedua inti besi tersebut, pada piringan aluminium timbul arus eddy yang menyebabkan torsi putar pada piringan.

Piringan aluminium berputar bertumpu pada poros, kecepatan putaran sebanding dengan daya dari beban. Jumlah putaran sebanding dengan energi yang dipakai beban dalam rentang waktu tertentu. Meter piringan putar disebut *kilowatthours* (kWh) meter **gambar-8.20**.

Pengawatan kWhmeter satu fasa belitan arus dihubungkan ke terminal 1-3, belitan tegangan disambungkan terminal 2-6, Terminal 1-2 dikopel dan terminal 4-6 juga dikopel langsung. Pengawatan kWhmeter tiga fasa dengan empat kawat **gambar-8.21** L1, L2, L3 dan N memiliki tiga belitan arus dan tiga belitan tegangan.

1. Jala-jala L1, terminal-1 kebelitan arus-1 terminal-3 ke beban, terminal 1-2 dikopel untuk suply ke belitan tegangan-1.
2. Jala-jala L2, terminal-4 ke belitan arus-2 terminal 6 langsung beban, terminal 4-5 dikopel suply ke belitan tegangan-2.
3. Jala-jala L3, terminal-7 ke belitan arus-3 ke terminal 9 langsung beban, terminal 7-8 dikopel untuk suply ke belitan tegangan-3.
4. Terminal 10 dan 12, untuk penyambungan kawat netral N dan penyambungan dari ketiga belitan tegangan fasa 1,2 dan 3.



Gambar 8.21: Pengawatan kWh meter satu fasa dan tiga fasa

Bentuk fisik kWhmeter kita lihat disetiap rumah tinggal dengan instalasi dari PLN. Sebagai pengukur energi listrik kWhmeter mengukur daya pada interval waktu tertentu dalam konversi waktu jam. Setiap kWhmeter memiliki angka konstanta jumlah putaran /kWh.

$$Cz = \frac{n}{P}$$

Cz Konstanta jumlah putaran/kWh

n Putaran

P Daya listrik kW.

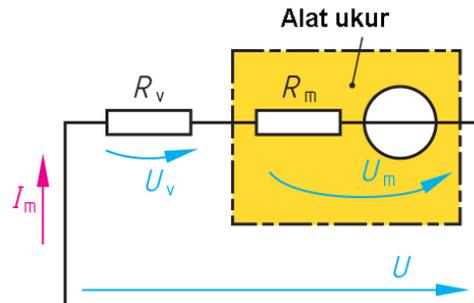
Contoh: kWhmeter satu fasa memiliki konstanta putaran 600 putaran/kWh dalam waktu 1 menit tercatat 33 putaran piringan. Hitunglah beban daya listrik dari ?

Jawaban :

$$P = \frac{n}{Cz} = \frac{60.33.1/h}{600.1/kWh} = \mathbf{33 \text{ kW}}$$

8.12. Pengukuran Tegangan DC

Pengukur tegangan Voltmeter memiliki tahanan meter R_m **gambar-8.22**. Tahanan dalam meter juga menunjukkan kepekaan meter, disebut I_{fsd} (*full scale deflection*) arus yang diperlukan untuk menggerakkan jarum meter pada skala penuh. Untuk menaikkan batas ukur Voltmeter harus dipasang tahanan seri sebesar R_v .



Gambar 8.22 :Tahanan seri R_v pada Voltmeter

Persamaan tahanan seri meter R_v :

$$R_v = \frac{U_v}{I_m} = \frac{U - U_m}{I_m}$$

$$R_v = \{n - 1\} \cdot R_m$$

- R_v Tahanan seri meter
- R_m Tahanan dalam meter
- U Tegangan
- U_m Tegangan meter
- I_m Arus meter
- n Faktor perkalian

Contoh : Pengukur tegangan Voltmeter memiliki arus meter 0,6mA, tegangan meter 0,3V. Voltmeter akan digunakan untuk mengukur tegangan 1,5V. Hitung besarnya tahanan seri meter R_v .

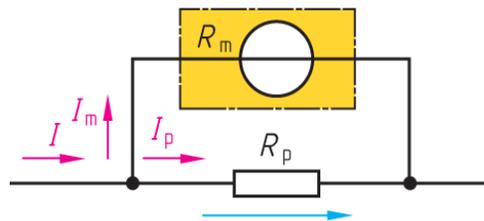
Jawaban :

$$R_v = \frac{U_v}{I_m} = \frac{U - U_m}{I_m}$$

$$= \frac{1,5V - 0,3V}{0,6mA} = 2k\Omega$$

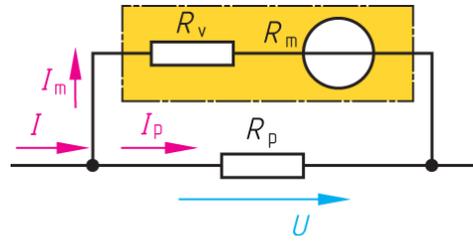
8.13. Pengukuran Arus DC

Pengukur arus listrik Ampermeter memiliki keterbatasan untuk dapat mengukur arus, tahanan dalam meter R_m membatasi kemampuan batas ukur. Menaikkan batas ukur dilakukan dengan memasang tahanan paralel R_p dengan Ampermeter **gambar-8.23**. Tahanan R_p akan dialiri arus sebesar I_p , arus yang melalui meter R_m sebesar I_m .



Gambar 8.23 :tahanan paralel ampermeter

Untuk menaikkan tahanan dalam meter, didepan tahanan meter R_m ditambah kan tahanan seri R_v . Sehingga tahanan dalam meter yang baru $(R_m + R_v)$ **gambar-8.24**. Tahanan paralel R_p tetap dialiri arus I_p , sedangkan arus yang melewati $(R_m + R_v)$ sebesar I_m .



Gambar 8.24 : Tahanan depan dan paralel ampermeter

Persamaan tahanan paralel R_p :

$$R_p = \frac{U}{I_p}; \quad R_p = \frac{U}{I - I_m}$$

$$R_p = R_m \cdot \frac{I_m}{I - I_m}$$

- R_p Tahanan paralel
- U Tegangan
- I Arus yang diukur
- I_m Arus melewati meter
- I_p Arus melewati tahanan paralel
- R_m Tahanan dalam meter

Contoh : Ampermeter dengan tahanan dalam $R_m=100\Omega$, arus yang diijinkan melewati meter $I_m=0,6mA$. Ampermeter akan mengukur arus $I = 6mA$. Hitung tahanan paralel R_p .

Jawaban :

$$U = I_m \cdot R_m = 0,6 \text{ mA} \cdot 100 \Omega = 60 \text{ mV}$$

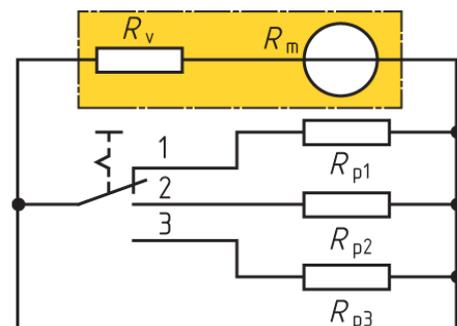
$$R_p = \frac{U}{I - I_m} = \frac{60 \text{ mV}}{6 \text{ mA} - 0,6 \text{ mA}} = 11,1\Omega$$

Atau dengan cara yang lain, didapatkan harga R_p yang sama

$$\frac{R_p}{R_m} = \frac{I_m}{I_p} = \frac{I_m}{I - I_m} \Rightarrow R_p = R_m \cdot \frac{I_m}{I - I_m}$$

$$R_p = 100\Omega \cdot \frac{0,6 \text{ mA}}{6 \text{ mA} - 0,6 \text{ mA}} = 11,1\Omega$$

Secara praktis untuk mendapatkan batas ukur yang lebar dibuat menjadi tiga tingkatan **gambar-8.25**. Batas ukur skala pertama, saklar pada posisi 1 dipakai tahanan paralel R_{p1} . Batas ukur dengan

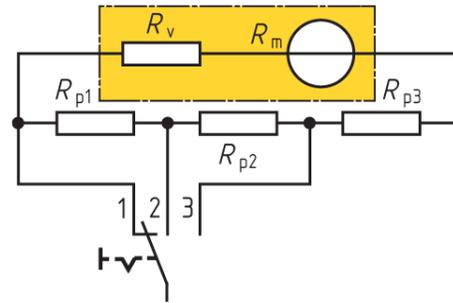


Gambar 8.25 : Batas ukur Ampermeter

Alat Ukur dan Pengukuran Listrik

skala2 posisi saklar 2 dipakai tahanan paralel R_{p2} . Batas ukur ketiga, posisi saklar 3 dipakai tahanan paralel R_{p3} .

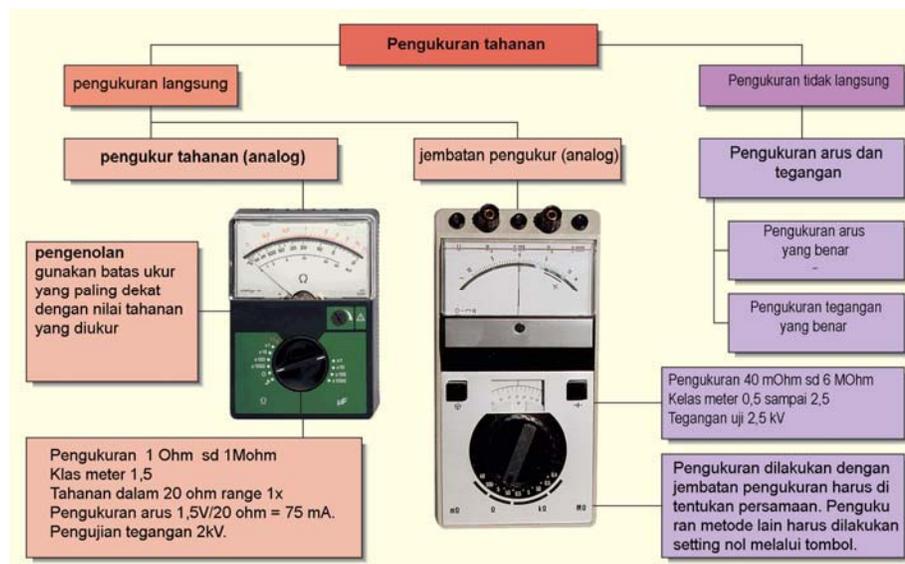
Dengan metoda berbeda dengan tujuan memperluas batas ukur, dipakai tiga tahanan paralel R_{p1} , R_{p2} dan R_{p3} yang ketiganya disambung seri ***gambar-8.26***. Saklar posisi 1, tahanan ($R_{p1}+R_{p2}+R_{p3}$) paralel dengan rangkaian (R_v+R_m). Saklar posisi 2, tahanan ($R_{p2}+R_{p3}$) paralel dengan rangkaian ($R_{p1}+R_v+R_m$). Saat saklar posisi 3, tahanan R_{p3} paralel dgn rangkaian ($R_{p1}+R_{p2}+R_v+R_m$).



Gambar 8.26 :
Penambahan Batas Ukur meter

8.14. Pengukuran Tahanan

Pengukuran tahanan dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu mengukur langsung nilai tahanan dan pengukuran tidak langsung dengan metode jembatan ***gambar-8.27***. Pengukuran tahanan secara langsung bisa menggunakan multimeter, dengan menempatkan selektor pemilih mode pada pengukuran tahanan. Resistor yang diukur dihubungkan dengan kedua kabel meter dan nilai tahanan terbaca pada skala meter. Pengukuran tidak langsung, menggunakan alat meter tahanan khusus dengan prinsip kerja seperti jembatan Wheatstone.



Gambar 8.28 : Jenis-jenis Pengukuran Tahanan

8.15. Jembatan Wheatstone

Pengembangan rangkaian resistor seri dan paralel menghasilkan prinsip Jembatan Wheatstone **gambar-8.29**. Sumber tegangan DC mencatu rangkaian empat buah resistor. R_1 seri dengan R_2 , dan R_3 seri dengan R_4 . Hukum Kirchoff tegangan menyatakan jumlah drop tegangan sama dengan tegangan sumber.

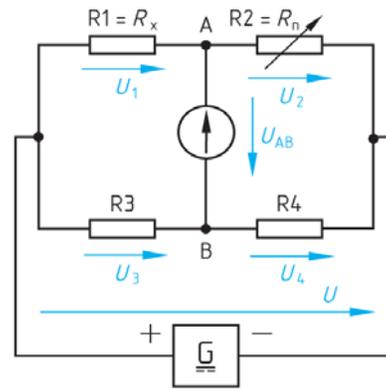
$$U = U_1 + U_2 \quad \text{dan} \quad U = U_3 + U_4$$

Titik A - B dipasang Voltmeter mengukur beda tegangan, jika meter menunjukkan nol, artinya tegangan $U_1 = U_3$ disebut kondisi seimbang. Jika $U_1 \neq U_3$ disebut kondisi tidak seimbang dan meter menunjukkan angka tertentu.

$$U_{AB} = 0V, \quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{U_3}{U_4}$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

- R_1, R_x Tahanan yang dicari
- R_2, R_n Tahanan variable
- R_3, R_4 Tahanan ditetapkan, konstan

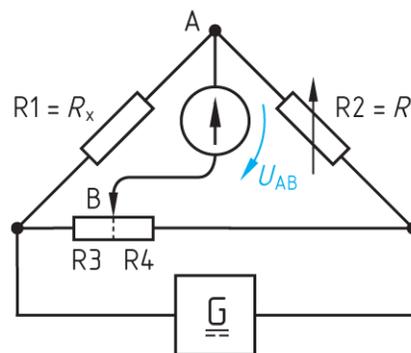


Gambar 8.29 : Rangkaian jembatan Wheatstone

Aplikasi praktis dipakai model **gambar-8.30**, $R_1=R_x$ merupakan tahanan yang dicari besarnya. $R_2 =R_n$ adalah tahanan yang bisa diatur besarnya. R_3 dan R_4 dari tahanan geser. Dengan mengatur posisi tahanan geser B, sampai Voltmeter posisi nol. Kondisi ini disebut setimbang, maka berlaku rumus kesetimbangan jembatan Wheatstone

Contoh :

Jembatan Wheatstone, diketahui besarnya nilai $R_2 = 40\Omega$, $R_3= 25\Omega$, $R_4 = 50\Omega$. Hitung besarnya R_1 dalam kondisi setimbang.



Gambar 8.30 : Pengembangan model Wheatstone

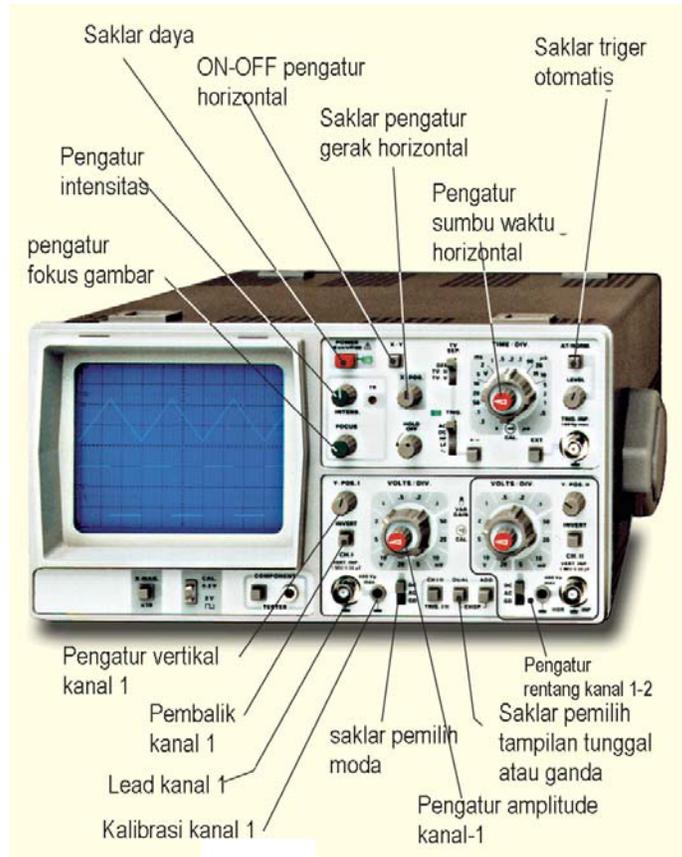
Jawaban :

$$U_{AB} = 0V$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \Rightarrow R_1 = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_4} = \frac{40\Omega \cdot 25\Omega}{50\Omega} = 20\Omega$$

8.16. Osiloskop

Osiloskop termasuk alat ukur elektronik, digunakan untuk melihat bentuk gelombang, menganalisis gelombang dan fenomena lain dalam rangkaian elektronika **gambar 8.31**. Dengan osiloskop dapat melihat amplitudo tegangan dan gelombang kotak, oleh karena itu harga rata – rata, puncak, RMS(root mean square), maupun harga puncak ke puncak atau V_{p-p} dari tegangan dapat kita ukur. Selain itu juga hubungan antara frekuensi dan fasa antara dua gelombang juga dapat dibandingkan. Ada dua jenis osiloskop, yaitu osiloskop analog dan osiloskop digital.



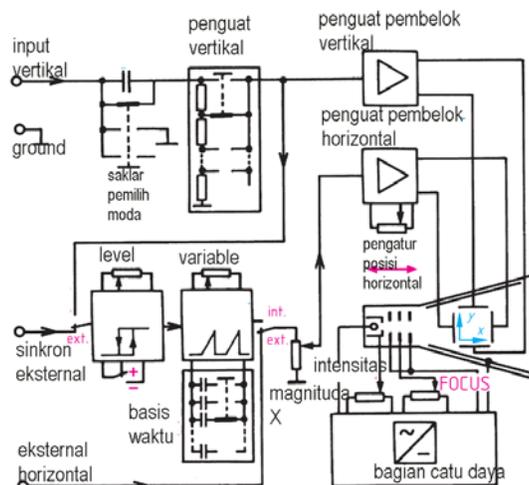
Gambar 8.31: Bentuk fisik Osiloskop

8.17. Data Teknik Osiloskop

- Arah Vertikal:**
 Menampilkan Kanal-1 (K-1) atau Kanal-2 (K-2), Kanal-1 dan Kanal-2 AC atau chop Menjumlah atau Mengurangkan nilai Kanal-1 dan Kanal-2
 Tampilan X-Y : Melalui K-1 dan K-2 (K-2 dapat dibalik/ diinvers)
 Lebar-Pita : 2 x 0.....40 MHz (-3dB)
 Kenaikan waktu : 7 ns, simpangan: < 1%
 Koefisien : di set 1 mV/cm...20V/cm \pm 3%
 Impedansi Input : 1 M Ω || 20 pF
 Kopel Input : DC-AC-GND (Ground)
 Tegangan Input maks: 400 V
- Arah Horisontal:**
 Koefisien waktu: 21 x 0,5 s sampai 100 ns/cm \pm 3% (1-2-5 bagian),
 Lebar-pita penguat-X: 0.....2,5 MHz (-3dB)
- Pembeda**
 Ukuran layar : 8 x 10 cm, raster dalam
 Tegangan akselarasi : 2000 V
 Kalibrator : generator kotak 1 kHz atau 1 MHz
 Output : 0,2 V \pm 1%

8.18. Osiloskop Analog

- Blok diagram dasar osiloskop yang terdiri dari Pemancar Elektron (Electron Beam), Pembelok Vertikal (Penguat-Y), Pembelok Horisontal (penguat-X), Generator basis waktu (Sweep Generator), Catu Daya, Tabung Hampa (CRT) **gambar 8.32.**

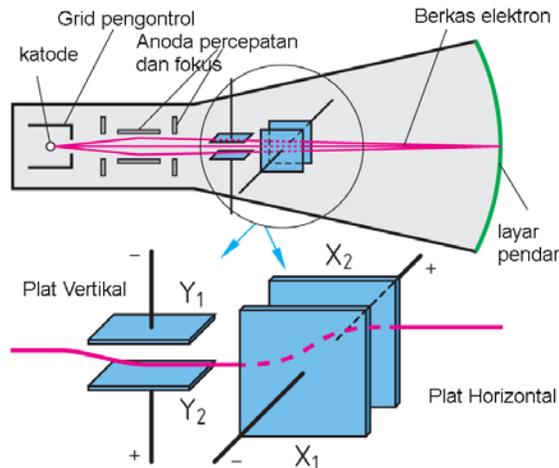


Gambar 8.32: Blok diagram sistem Osiloskop

Pemancar Elektron:

Merupakan bagian terpenting sebuah osiloskop. Katode di dalam CRT (*Cathode Ray Tube*) akan mengemisikan elektron-elektron ke layar CRT melalui elektrode-elektrode pemfokus. Intensitas pancaran elektron ditentukan oleh banyaknya elektron yang diemisikan oleh Katode ***gambar 8.33***.

Bahan yang memantulkan cahaya pada layar CRT dapat diperoleh dari Sulfid, Oksid atau silikat dari Kadmium, yang diaktifkan melalui bahan tambahan dari Perak, Emas atau Tembaga. Pada umumnya dipilih warna hijau untuk tampilan cahaya pada layar CRT, karena mata manusia pada umumnya peka terhadap warna ini.



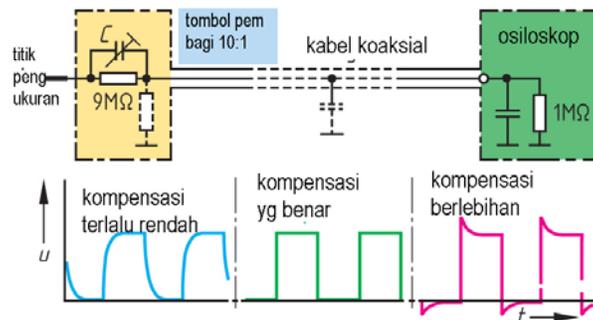
Gambar 8.33: Pancaran elektron ke layar pendar CRT

Penguat Vertikal:

Penguat ini dapat memberikan tegangan pada plat pengarah-Y hingga 100 V. Penguat ini harus dapat menguatkan tegangan DC maupun AC dengan penguatan yang sama. Pengukuran sinyal dapat diatur melalui tombol POS (position).

Input-Y (Vert. Input):

Bagian ini terhubung dengan tombol pembagi tegangan, untuk membagi tegangan yang akan diukur, dengan perbandingan 10:1 atau 100:1. ***gambar 8.34***. Tombol ini harus dibantu dengan sinyal kotak untuk kompensasi.



Gambar 8.34: Pembagi tegangan 10:1 pada Probe

Penguat Horizontal :

Penguat ini memiliki dua input, satu dari sweep generator, menghasilkan trace (sapuan) horizontal lewat CRT dan input yang lain menguatkan sinyal eksternal dan ditampilkan pada CRT hanya pada sumbu horizontal.

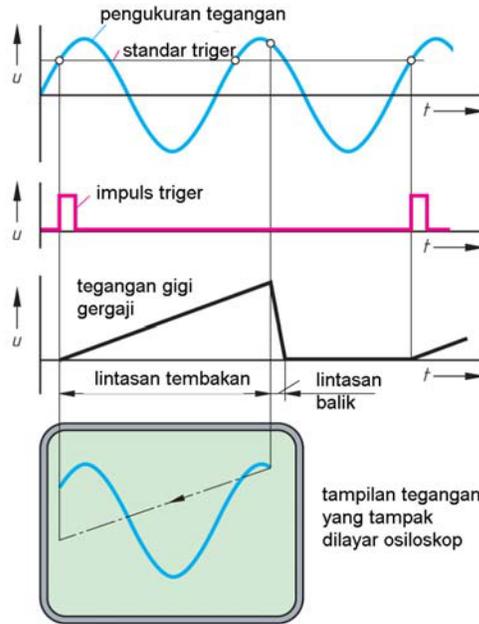
Skala pada sumbu Horizontal CRT Osiloskop, digunakan untuk mengukur waktu (periode) dari sinyal yang diukur, misalnya 2 ms/ divisi.

Generator-Waktu

Generator waktu menghasilkan sinyal gigi gergaji, yang frekuensinya dapat diatur, dengan cara mengatur periodenya melalui tombol **TIME BASE**. CRT akan menampilkan sinyal yang diukur (sinyal input) hanya jika periode sinyal tersebut persis sama dengan periode sinyal gigi gergaji ini atau merupakan kelipatan periodenya.

Triggering dan bias waktu

Sinyal gigi gergaji akan mulai muncul jika ada sinyal trigger **gambar 8.35**. Pada saat sinyal input melewati level Trigger, maka sinyal gigi gergaji mulai muncul.



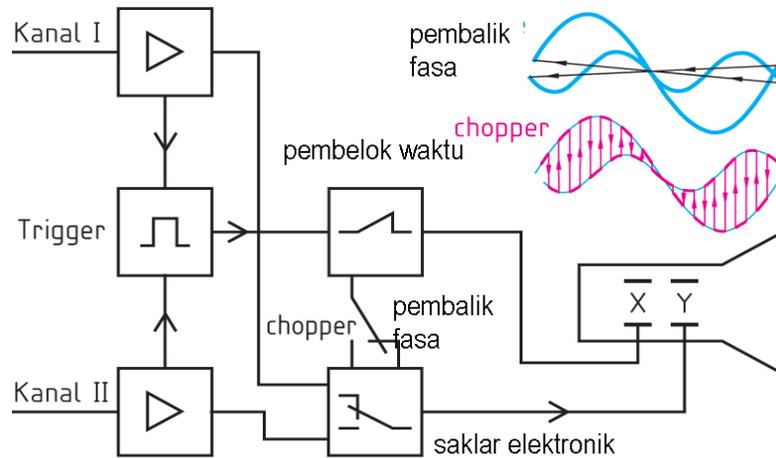
Gambar 8.35: Trigering memunculkan sinyal gigi gergaji

Catu Daya:

Kinerja catu daya ini sangat mempengaruhi kinerja bagian lainnya di dalam osiloskop. Catu daya yang tidak terregulasi dengan baik akan menyebabkan kesalahan pengukuran dan tampilan yang tidak baik pada CRT (fokus, kecerahan/ *brightness*, sensitifitas, dsb).

8.19. Osiloskop Dua Kanal

Seringkali orang perlu melakukan pengukuran dua sinyal AC yang berbeda dalam waktu yang sama. Misalnya kanal-1 mengukur sinyal input dan kanal-2 mengukur sinyal output secara bersamaan, maka osiloskop dua kanal mampu menampilkan dua sinyal dalam waktu bersamaan dalam satu layar.



Gambar 8.36: Blok diagram Osiloskop dua kanal

Blok diagram osiloskop dua kanal **gambar 8.36** mempunyai sebuah sistem pembangkit sinar (electron gun). Dua sinyal input dapat dimasukkan melalui kanal-1 dan kanal-2 (masing-masing penguat-Y). Pengaktifan kedua penguat-Y tsb dipilih secara elektronik, melalui frekuensi yang berbeda untuk tiap kanal. Kedua sinyal input tsb akan masuk melalui satu elektron-gun secara bergantian lalu ditampilkan pada CRT.

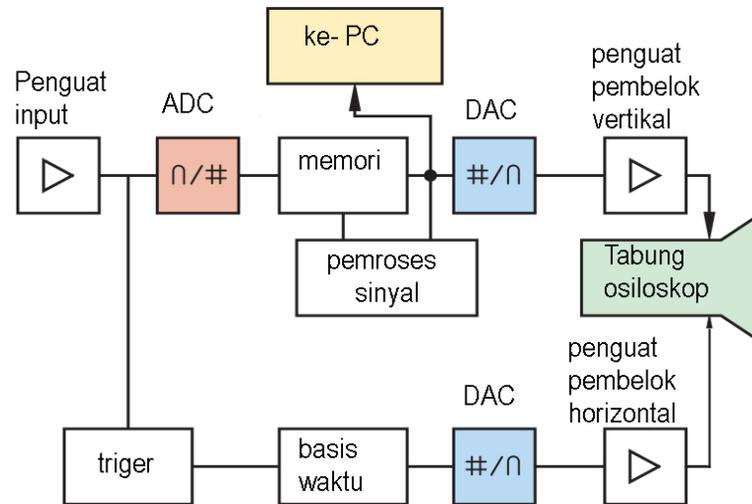
Jika sinyal input mempunyai frekuensi rendah, maka saklar elektronik akan mengaturnya pada frekuensi tinggi. Sebaliknya, jika input sinyal mempunyai frekuensi tinggi, maka saklar elektronik akan mengaturnya pada frekuensi yang lebih rendah.

Tampilan sapuan ganda (dual-trace) dari electron beam tunggal dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu *Chop time sharing* dan *alternate time sharing*. Pemilihan kanal dilakukan oleh multivibrator yang akan mengoperasikan saklar elektronik secara otomatis.

8.20. Osiloskop Digital

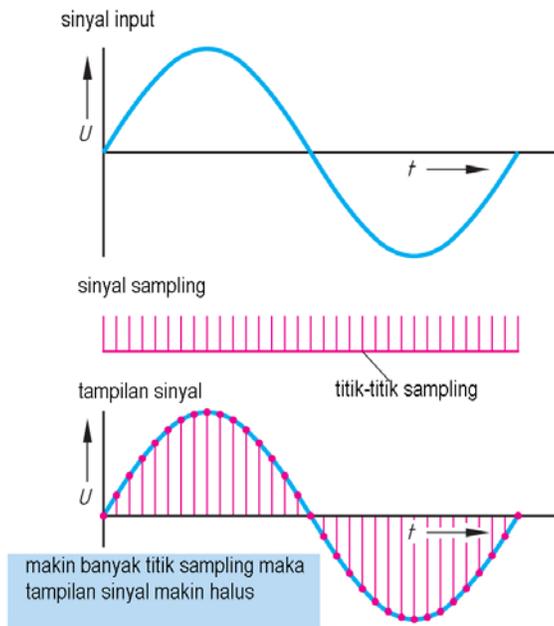
Blok diagram Osiloskop Digital **gambar 8.37** semua sinyal analog akan digitalisasi. Osiloskop digital, (misalnya *Storage Oscilloscope*) terdiri dari:

- ADC (Analog-to-Digital Converter)
- DAC (Digital-to-Analog Converter)
- Penyimpan Elektronik



Gambar 8.37: Blok diagram Osiloskop Digital

Pada osiloskop jenis ini, semua data yang akan ditampilkan disimpan di dalam RAM. Sinyal analog akan dicuplik (sampling), lalu dikuantisasi oleh ADC, yaitu diberi nilai (biner) sesuai dengan besarnya amplitudo ter-sampling **gambar**



8.38. Nilai ini dapat ditampilkan kembali secara langsung pada layar CRT atau monitor PC melalui kabel penghubung RS-232.

Perbedaan antara osiloskop analog dan digital hanya pada pemroses sinyal ADC. Pengarah pancaran elektron pada osiloskop ini sama dengan pengarah pancaran elektron pada osiloskop analog. Osiloskop digital ada yang dilengkapi dengan perangkat lunak matematik untuk analisa sinyal atau printer.

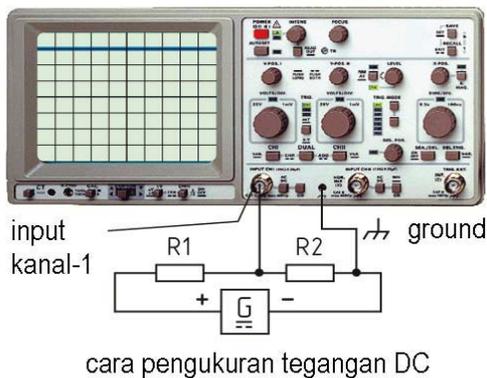
Gambar 8.38: Sampling sinyal analog oleh ADC

8.21. Pengukuran dengan Osiloskop

Berikut ini diberikan ilustrasi pengukuran dengan menggunakan osiloskop meliputi :

1. pengukuran tegangan DC,
2. mengukur tegangan AC, periode dan frekuensi,
3. mengukur arus listrik AC.
4. pengukuran beda phasa tegangan dengan arus listrik AC dan
5. pengukuran sudut penyalan thyristor.

1. Mengukur Tegangan DC,



Tahanan R1 dan R2 berfungsi sebagai pembagi tegangan. Ground osiloskop dihubungkan ke negatif catu daya DC. Probe kanal-1 dihubungkan ujung sambungan R1 dengan R2. Tegangan searah diukur pada mode DC.

Misalnya:

$$V_{DC} = 5V/div. 3div = 15 V$$

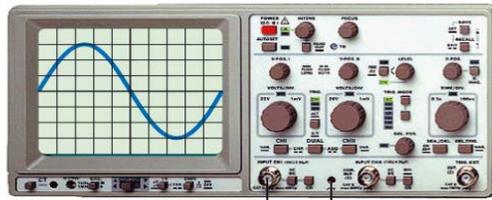


Bentuk tegangan DC merupakan garis tebal lurus pada layar CRT. Tegangan terukur diukur dari garis nol ke garis horizontal DC.

pengukuran tegangan DC (U)

Gambar 8.39 : Mengukur tegangan DC dengan Osiloskop

2. Mengukur Tegangan AC, periode T dan frekuensi F



pengukuran beban dgn tegangan AC menggunakan trafo isolasi

Trafo digunakan untuk meng isolasi antara listrik yang diukur dengan listrik pada osiloskop.

Jika menggunakan listrik PLN maka frekuensinya 50 Hz.

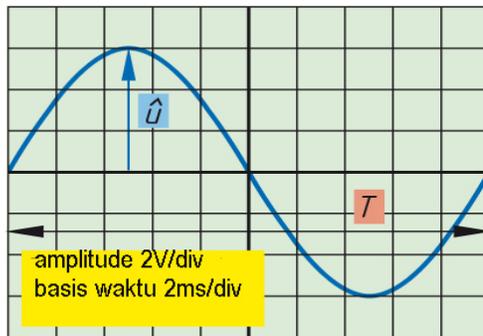
Misalnya:

$$V_p = 2V/div. 3 \text{ div} = 6 \text{ V}$$

$$V_{rms} = 6V/\sqrt{2} = 4,2 \text{ V}$$

$$T = 2ms/div. 10 \text{ div} = 20 \text{ ms}$$

$$f = 1/T = 1/20ms = 50 \text{ Hz}$$

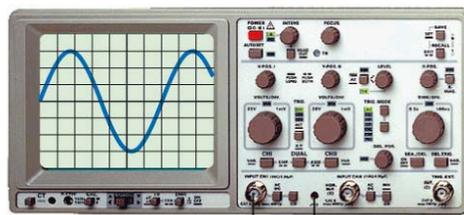


Pengukuran tegangan AC

Tegangan AC berbentuk sinusoida dengan tinggi U dan lebar periodenya T. Besarnya tegangan 6 V dan periodenya 20 milidetik dan frekuensinya 50 Hz.

Gambar 8.40 : Mengukur tegangan AC dengan Osiloskop

3. Mengukur Arus Listrik AC



Mengukur Arus (I)

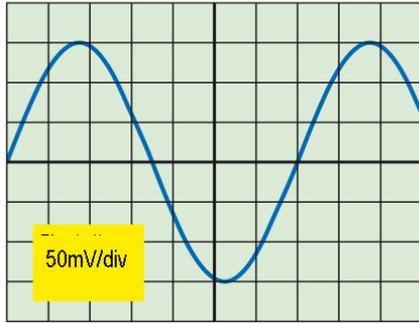
Pada dasarnya osiloskop hanya mengukur tegangan. untuk mengukur arus dilakukan secara tidak langsung dengan $R = 1\Omega$ untuk mengukur drop tegangan.

Misalnya :

$$V_p = 50 \text{ mV/div. } 3 \text{ div} \\ = 150 \text{ mV} = 0,15 \text{ V}$$

$$V_{rms} = 0,15 \text{ V}/\sqrt{2} = 0,1 \text{ V}$$

$$I = V_{rms}/R = 0,1 \text{ V} / 1\Omega \\ = 0,1 \text{ A}$$

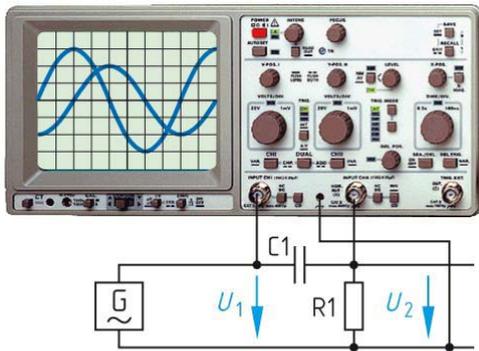


tampilan pengukuran tegangan 50mV/div

Bentuk sinyal arus yang melalui resistor R adalah sinusoida menyerupai tegangan. Pada beban resistor sinyal tegangan dan sinyal arus akan sefasa.

Gambar 8.41 : Mengukur Arus AC dengan Osiloskop

4. Mengukur Beda Fasa Tegangan dengan Arus Listrik AC.

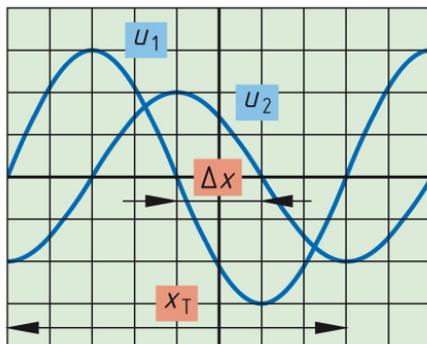


Pengukuran pergeseran fasa R dengan kapasitor C1

Beda fasa dapat diukur dengan rangkaian C1 dan R1. Tegangan U1 menampakkan tegangan catu dari generator AC. tegangan U2 dibagi dengan nilai resistor R1 representasi dari arus listrik AC. Pergeseran fasa U1 dengan U2 sebesar Δx .

Misalnya:

$$\begin{aligned} \varphi &= \Delta x \cdot 360^\circ / X_T \\ &= 2 \text{ div} \cdot 360^\circ / 8 \text{ div} = 90^\circ \end{aligned}$$



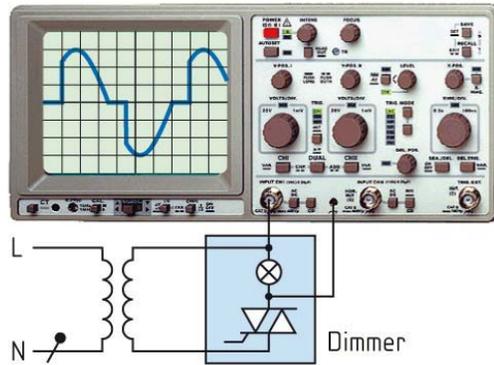
pengukuran pergeseran fasa U1-U2

Tampilan sinyal sinusoida tegangan U1 (tegangan catu daya) dan tegangan U2 (jika dibagi dengan R1, representasi dari arus AC).

Pergeseran fasa antara tegangan dan arus sebesar $\varphi = 90^\circ$

Gambar 8.42 : Mengukur beda fasa dengan Osiloskop

5. Mengukur Sudut Penyalan TRIAC

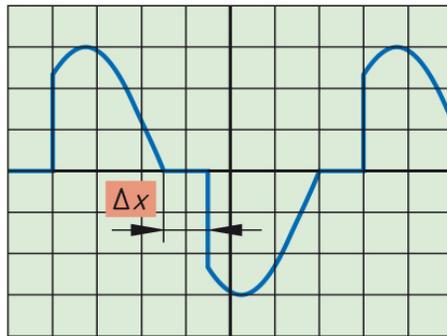


pengukuran sudut penyalan TRIAC menggunakan trafo isolasi.

Triac merupakan komponen elektronika daya yang dapat memotong sinyal sinusoida pada sisi positif dan negatif.

Trafo digunakan untuk isolasi tegangan Triac dengan tegangan catu daya osiloskop.

Dengan mengatur sudut penyalan triger α maka nyala lampu dimmer dapat diatur dari paling terang menjadi redup.



tampilan sudut penyalan TRIAC

Misalnya:

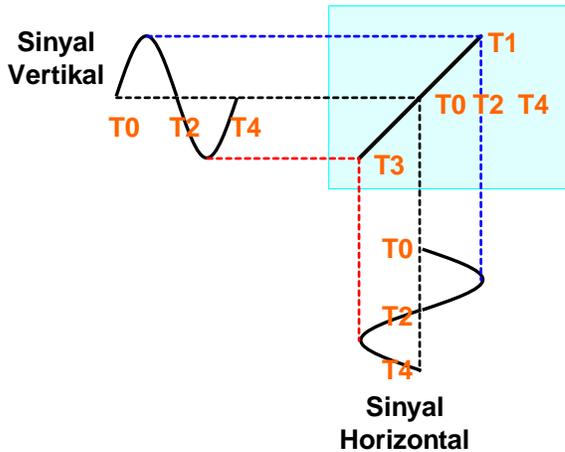
$$\begin{aligned} \alpha &= \Delta x \cdot 360^\circ / X_T \\ &= (1 \text{ div. } 360\%) : 7 = 5 \text{ V} \end{aligned}$$

Gambar 8.43 : Mengukur sudut penyalan TRIAC dengan Osiloskop

8.22. Metode Lissajous

Dua sinyal dapat diukur beda fasanya dengan memanfaatkan input vertikal (kanal Y) dan horizontal (kanal-X). Dengan menggunakan osiloskop dua kanal dapat ditampilkan beda fase yang dikenal dengan metode Lissajous.

a. Beda fase 0° atau 360°.

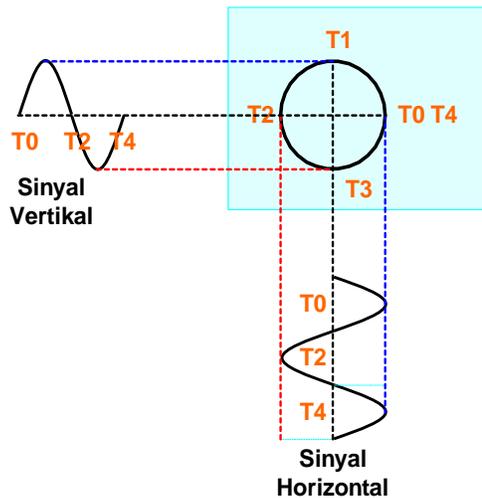


Dua sinyal yang berbeda, dalam hal ini sinyal input dan sinyal output jika dipadukan akan menghasilkan konfigurasi bentuk yang sama sekali berbeda.

Sinyal input dimasukkan ke kanal Y (vertikal) dan sinyal output dimasukkan ke kanal X (horizontal) berbeda 0°, dipadukan akan menghasilkan sinyal paduan berupa garis lurus yang membentuk sudut 45°. **gambar 8.44**

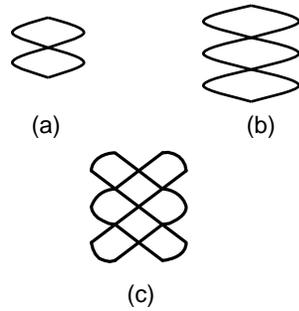
Gambar 8.44 : Mengukur sudut penyalan TRIAC dengan Osiloskop

b. Beda fase 90° atau 270°.



Sinyal vertikal berupa sinyal sinusoida. Sinyal horizontal yang berbeda fase 90° atau 270° dimasukkan. Hasil paduan yang tampil pada layar CRT adalah garis bulat. **gambar 8.45**

Gambar 8.45: Sinyal input berbeda fase 90° dg output



Pengukuran X-Y juga dapat digunakan untuk mengukur frekuensi yang tidak diketahui. Misalnya sinyal referensi dimasukkan ke input horizontal dan sinyal lainnya ke input vertikal.

Gambar 8.46: Lissajous untuk menentukan frekuensi

f_v = frekuensi yang tidak diketahui
 f_R = frekuensi referensi
 N_v = jumlah lup frekuensi yang tidak diketahui
 N_R = jumlah lup frekuensi referensi

Contoh Gambar 8.46 (c). Misalnya frekuensi referensi = 3 kHz, maka

$$f_v = 3 \cdot (2/3) \text{ kHz} = 2 \text{ kHz}$$

8.23. Rangkuman

- Untuk mengukur besaran listrik DC maupun AC seperti tegangan, arus, resistansi, daya, faktor kerja, frekuensi kita menggunakan alat ukur listrik.
- Multimeter untuk mengukur beberapa besaran listrik, misalnya tegangan AC dan DC, arus listrik DC dan AC, resistansi.
- Alat-alat ukur analog dengan penunjukan menggunakan jarum, juga dipakai alat ukur digital yang praktis dan membaca pada layar display.
- Parameter alat ukur listrik meliputi *akurasi, presisi, kepekaan, resolusi dan kesalahan*.
- Pada awal perkembangan teknik pengukuran mengenal dua sistem satuan, yaitu *sistem metrik* dan sistem CGS.
- Sejak 1960 dikenalkan Sistem Internasional (SI Unit) sebagai kesepakatan internasional.
- Besaran dan symbol parameter listrik meliputi Arus listrik, I. Gaya gerak listrik, E; Tegangan, V; Resistansi, R; Muatan listrik, Q; Kapasitansi, C; Kuat medan listrik, E; Kerapatan fluk listrik, D; Permittivity, ϵ ; Kuat medan

Alat Ukur dan Pengukuran Listrik

- magnet, H ; Fluk magnet, Φ ; Kerapatan medan magnet, B ; Induktansi, L , M ; Permeability, μ .
- Ada enam besaran kelistrikan yang dibuat standart, yaitu standar amper, resistansi, tegangan, kapasitansi, induktansi, kemagnetan dan temperatur.
 - Sistem analog berhubungan dengan informasi dan data analog. Sinyal analog berbentuk fungsi kontinyu.
 - Sistem digital berhubungan dengan informasi dan data digital.
 - Bagian listrik alat ukur analog yang penting adalah, magnet permanen, tahanan meter dan kumparan putar.
 - Bagian mekanik alat ukur analog meliputi jarum penunjuk, skala dan sekrup pengatur jarum penunjuk.
 - Blok diagram alat ukur digital terdiri komponen sensor, penguat sinyal analog, Analog to Digital converter, mikroprosesor, alat cetak dan display digital.
 - Tampilan display digital jenisnya 7-segmen, 14-segmen dan dot matrik 5x7
 - Alat ukur kumparan putar terdiri dari permanen magnet, kumparan putar dengan inti besi bulat, jarum penunjuk terikat dengan poros dan inti besi putar, skala linear, dan pegas spiral rambut, serta pengatur posisi nol. Dipakai untuk Voltmeter, Ampermeter. Multimeter.
 - Torsi yang dihasilkan alat ukur kumparan putar $T = B \times A \times I \times N$
 - Untuk pengukuran listrik AC alat ukur kumparan putar dipasang diode.
 - Alat ukur besi putar terdiri belitan, komponen diam, komponen putar, jarum penunjuk dan skala pengukuran. Pengukur Voltmeter, Ampermeter.
 - Alat ukur elektrodinamis, memiliki dua belitan kawat, yaitu belitan arus dan belitan tegangan berupa kumparan putar, pengukur Wattmeter.
 - Alat ukur piringan putar, memiliki belitan arus dan belitan tegangan terpasang dalam satu inti besi, dipakai pada KWhmeter.
 - KWhmeter satu phasa memiliki satu belitan arus dan satu belitan tegangan, KWhmeter 3 phasa memiliki tiga belitan arus dan tiga belitan tegangan.
 - Untuk menaikkan batas ukur tegangan dipasangkan tahanan seri dengan meter.
 - Untuk menaikkan batas ukur arus dipasangkan tahanan yang dipasangkan parallel dengan alat ukur.
 - Pengukuran tahanan dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu mengukur langsung nilai tahanan dan pengukuran tidak langsung dengan metode jembatan.
 - Jembatan Wheatstone bekerja berdasarkan prinsip keseimbangan.

- Osiloskop termasuk alat ukur elektronik, digunakan untuk melihat bentuk gelombang, menganalisis gelombang.
- Blok diagram dasar osiloskop yang terdiri dari Pemancar Elektron (Electron Beam), Pembelok Vertikal (Penguat-Y), Pembelok Horizontal (penguat-X), Generator basis waktu (Sweep Generator), Catu Daya, Tabung Hampa (CRT).
- Dengan menggunakan osiloskop dua kanal dapat ditampilkan beda fase yang dikenal dengan metode Lissajous

8.24. Soal-soal

1. Data alat ukur kumparan putar dengan dimensi $31/2$ in, arus 1mA , simpangan skala penuh 100 derajat memiliki $A : 1,70\text{ cm}^2$, $B : 1.800\text{ G}(0,2\text{Wb/m}^2)$, $N: 80$ lilit, Hitunglah torsi putar pada jarum penunjuk.
2. KWhmeter satu fasa memiliki konstanta putaran 600 putaran/kWh dalam waktu 2 menit tercatat 80 putaran piringan. Hitunglah beban daya listrik ?
3. Gambarkan skematik pengawatan pengukuran Kwh meter 3 fasa dengan menggunakan tiga buah trafo arus (CT) $200\text{A}/5\text{A}$. Jelaskan cara kerja pengukuran tsb.
4. Pengukur tegangan Voltmeter memiliki arus meter $0,5\text{mA}$, tegangan meter $0,25\text{V}$. Voltmeter akan digunakan untuk mengukur tegangan $2,5\text{V}$. Hitung besarnya tahanan seri meter R_v .
5. Ampermeter dengan tahanan dalam $R_m=200\Omega$, arus yang diijinkan melewati meter $I_m=0,5\text{mA}$. Ampermeter akan mengukur arus $I = 10\text{mA}$. Hitung tahanan paralel R_p .
6. Jembatan Wheatstone, diketahui besarnya nilai $R_2 = 400\Omega$, $R_3= 250\Omega$, $R_4 = 500\Omega$. Hitung besarnya R_1 dalam kondisi setimbang.
7. Gambarkan skematik pengukuran tegangan AC dengan menggunakan osiloskop, jelaskan urutan cara pengoperasiannya.