

TEKNIK PENGUKURAN DAN INSTRUMENTASI

RINGKASAN

Pengukuran dan Instrumentasi merupakan salah satu mata kuliah dasar yang wajib dikuasai oleh mahasiswa di Jurusan Teknik Elektro. Buku ini berisikan materi terkait konsep dasar pengukuran, tingkat kesalahan pengukuran, pengukuran tegangan dan arus, penggunaan AVO meter untuk pengukuran komponen elektronika, pengukuran sumber arus searah dan bolak balik serta rangkaian jembatana sumber arus searah dan bolak balik. Buku ini disusun sebagai bentuk luaran dalam pelaksanaan hibah buju ajar yang dibiayai sepenuhnya oleh Lembaga Penelitian Universitas Trisakti tahun anggaran 2021/2022. Buku ini dapat digunakan sebagai sumber bahan ajar khususnya untuk mata kuliah Teknik Pengukuran dan Instrumentasi di Jurusan Teknik Elektro.

 0823-7733-8990
 www.elmarkazi.com
 www.elmarkazistore.com
 @penerbitelmarkazi

 EL-MARKAZI
Quality your dream with a book

TEKNIK PENGUKURAN DAN INSTRUMENTASI | SYAH ALAM, S.PD, MT
PROF. DR. IR. INDRA SURJATI, MT, IPM

TEKNIK PENGUKURAN DAN INSTRUMENTASI

SYAH ALAM, S.PD, MT
PROF. DR. IR. INDRA SURJATI, MT, IPM

TEKNIK PENGUKURAN DAN INSTRUMENTASI

Edisi ke-1

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta

Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama **1 (satu) tahun** dan/atau pidana denda paling banyak **Rp100.000.000 (seratus juta rupiah)**.
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama **3 (tiga) tahun** dan/atau pidana denda paling banyak **Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah)**.
3. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama **4 (empat) tahun** dan/atau pidana denda paling banyak **Rp1.000.000.000,00** (satu miliar rupiah).
4. Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama **10 (sepuluh) tahun** dan/atau pidana denda paling banyak **Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah)**.

TEKNIK PENGUKURAN DAN INSTRUMENTASI

Edisi ke-1

**Syah Alam, S.Pd, M.T.
Prof. Dr. Ir. Indra Surjati, M.T., I.P.M.**



EL-MARKAZI
publish your dream with a book

TEKNIK PENGUKURAN DAN INSTRUMENSASI

Edisi ke-1

Penulis :

**Syah Alam, S.Pd, M.T.
Prof.Dr.Ir.Indra Surjati, M.T., I.P.M**

Desain Cover :

El - Markazi

Tata Letak :

El - Markazi

Ukuran :

xii, 151 hlm, Uk: 18,2 cm x 25,7 cm

ISBN : 978-623-331-316-2

Cetakan Pertama :

Mei 2022

Hak Cipta 2021, Pada Penulis

Isi diluar tanggung jawab percetakan

Copyright © 2021 by Elmarkazi Publisher

All Rights Reserved

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau
memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini
tanpa izin tertulis dari Penerbit.

PENERBIT ELMARKAZI

Anggota IKAPI

Jl.RE.Martadinata RT.26/05 No.43 Pagar Dewa,
Kota Bengkulu, Provinsi Bengkulu 38211

Website: www.elmarkazi.com dan www.elmarkazistore.com

E-mail: elmarkazipublisher@gmail.com

KATA PENGANTAR

Puji syukur penyusun haturkan kepada Tuhan Yang Maha Esa dengan penuh kerendahan hati karena hanya dengan berkat, rahmat, dan izin-Nya, penyusun dapat merampungkan Buku Ajar untuk sebagai penunjang pada mata kuliah Teknik Pengukuran dan Instrumentasi/IET 6313 (Program S1 – Teknik Elektro). Buku ini disusun sebagai bentuk luaran dalam pelaksanaan hibah buju ajar yang dibiayai sepenuhnya oleh Lembaga Penelitian Universitas Trisakti tahun anggaran 2021/2022. Buku ajar ini juga merupakan salah satu pelaksanaan atas tridharma perguruan tinggi pada Jurusan Teknik Elektro di Universitas Trisakti. Isi dari buku ini terkait dengan konsep dasar pengukuran, tingkat kesalahan pengukuran, pengukuran tegangan dan arus, penggunaan AVO meter untuk pengukuran komponenen elektronika, pengukuran sumber arus searah dan bolak-balik, serta rangkaian jembatan sumber arus searah dan bolak-balik. Buku ini dapat digunakan sebagai sumber bahan ajar, khususnya untuk mata kuliah Teknik Pengukuran dan Instrumentasi di Jurusan Teknik Elektro.

Dalam menyusun buku ajar ini penyusun mendapatkan banyak masukan dari beberapa rekan peneliti baik dari internal maupun eksternal kampus. Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada pimpinan universitas dan Fakultas Teknologi Industri Universitas Trisakti yang selalu memberikan dukungan dan motivasi untuk dapat terus berkarya. Semoga buku ajar ini memberikan manfaat bagi para mahasiswa dan tenaga pengajar yang menekuni bidang teknik pengukuran dan instrumentasi.

Jakarta, April 2022

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
BAB I KONSEP DASAR PENGUKURAN & INSTRUMEN PENGUKURAN.....	1
1.1 Konsep Dasar Pengukuran	1
1.2 Besaran dan Satuan Internasional	2
1.3 Konversi Satuan	4
1.4 Besaran dan Satuan dalam Pengukuran Listrik.....	5
1.4.1 Satuan Ampere.....	5
1.4.2 Standar Tegangan.....	5
1.4.3 Standar Resitansi.....	6
1.4.4 Standar Kapasitansi.....	6
1.4.5 Standar Induktansi	6
1.5 Instrumen Pengukuran.....	6
BAB II TINGKAT KESALAHAN DALAM PENGUKURAN	13
2.1 Akurasi dan Ketidaktepatan Pengukuran	13
2.2 Presisi/Pengulangan/Reproduksibilitas	14
2.3 Toleransi.....	16
2.4 Rentang Pengukuran (<i>Span</i>).....	17
2.5 Linearitas	17
2.6 Sensitivitas Pengukuran	18
2.7 Ambang Batas (<i>Threshold</i>)	20
2.8 Resolusi	20
2.9 Sensitivitas Terhadap Gangguan	21
BAB III PENGUKURAN HAMBATAN, TEGANGAN, DAN ARUS LISTRIK	31
3.1 Pengukuran Hambatan	31

3.1.1.	Sirkuit Jembatan DC	31
3.1.2.	Metode Voltmeter-Amperemeter	32
3.1.3.	Metode Substitusi Resistansi	32
3.1.4.	Penggunaan Voltmeter Digital untuk Mengukur Resistansi... 33	
3.1.5.	Ohmmeter	33
3.2	Pengukuran Tegangan	35
3.2.1.	Voltmeter Digital Konversi Tegangan-ke-Waktu.....	37
3.2.2.	Voltmeter Digital Potensiometrik	37
3.2.3.	Pengukur Tegangan Digital Integrasi <i>Dual Slope</i>	38
3.2.4.	Voltmeter Digital Konversi Tegangan-ke-Frekuensi.....	38
3.2.5.	Multimeter Digital	38
3.2.6.	Meter Analog	39
3.2.7.	Pengukur Koil Bergerak	40
3.3	Pengukuran Arus	42
3.3.1	Meter Clamp On	45
BAB IV PENGGUNAAN ALAT UKUR AVO METER UNTUK		
PENGECEKAN KOMPONEN ELEKTRONIKA		
4.1	Prinsip Kerja AVO Meter	51
4.1.1	Papan Ukur.....	52
4.1.2	Tombol Kalibrasi Tegangan dan Arus (<i>Voltage and Current Zero Adjustment</i>)	53
4.1.3	Selektor dan Batas Skala Ukur	53
4.1.4	Skala Ukur	54
4.1.5	Probe Merah.....	54
4.1.6	Probe Hitam	54
4.1.7	Tombol Kalibrasi Hambatan (0Ω Zero Adjustment).....	55
4.2	Penggunaan AVO Meter sebagai <i>Multimeter</i>	55
4.2.1	Pengukuran Tegangan AC	55
4.2.2	Pengukuran Tegangan DC	57

4.2.3	Pengukuran Hambatan	59
4.2.4	Pengukuran Arus DC	61
4.3	Pembacaan Skala pada AVO Meter	63
4.4	Penggunaan AVO Meter sebagai Multitester.....	67
4.4.1	Pengujian Komponen Kapasitor	68
4.4.2	Pengujian Komponen Transistor.....	70
BAB V PENGUKURAN LISTRIK UNTUK SUMBER ARUS SEARAH		77
5.1	Fungsi Pengukuran Arus	77
5.2	Pengukuran Arus Sumber Arus Searah	78
5.3	Pengukuran Daya Sumber Arus Searah	81
5.4	Pengukuran Daya dengan alat ukur Voltmeter dan Amperemeter	84
5.5	Metode Tiga Alat Pengukur Volt dan Tiga Alat Pengukur Ampere. ...	85
5.6	Kesalahan dalam Wattmeter.....	87
BAB VI OSILOSKOP DAN <i>FUNCTION GENERATOR</i>		95
6.1	Prinsip Kerja Osiloskop	95
6.2	<i>Cathoda Ray Tube (CRT)</i>	97
6.3	Bagian dari Osiloskop	99
6.3.1	Channel	99
6.3.2	Single Ended Input.....	99
6.3.3	Differential Input	100
6.3.4	Time Base Circuit	100
6.3.5	Vertical Sensitivity Control	101
6.3.6	Display Position Control.....	101
6.4	Fungsi dari Bagian Osiloskop Analog	102
6.5	Kalibrasi pada Osiloskop	107
6.6	Pengukuran Tegangan, Arus, dan Frekuensi dengan Osiloskop.	110
6.7	Function Generator.....	115
6.8	Bagian dari <i>Function Generator</i>	118
6.9	Cara Penggunaan Function Generator.....	120

BAB VII RANGKAIAN JEMBATAN ARUS SEARAH DAN BOLAK-BALIK	127
7.1 Rangkaian Jembatan Arus Searah	127
7.1.1 Jembatan Impedansi Tipe Nol	127
7.1.2 Jembatan Maxwell	128
7.1.3 Rangkaian Jembatan AC Tipe Defleksi	131
7.2 Rangkaian Jembatan Arus Searah	133
GLOSARIUM.....	147
RINGKASAN	149
BIODATA PENULIS	150

BAB I KONSEP DASAR PENGUKURAN & INSTRUMEN PENGUKURAN

1.1 Konsep Dasar Pengukuran

Mengukur pada hakikatnya adalah membandingkan suatu besaran dengan suatu besaran yang sudah distandar. Pengukuran (*measurement*) merupakan serangkaian kegiatan yang bertujuan untuk menentukan suatu nilai besaran yang dapat dihitung secara kuantitatif (berbentuk angka dan satuan). Konsep dasar pengukuran yaitu sebuah metode yang perlu diperhatikan dalam melakukan setiap proses pengukuran. Pengukuran panjang dapat dilakukan menggunakan mistar, jangka sorong, dan mikrometer sekrup. Pengukuran berat dapat dilakukan menggunakan neraca dengan berbagai ketelitian, mengukur waktu dengan *stopwatch*, mengukur suhu dengan termometer, dan lain sebagainya. Mistar, jangka sorong, mikrometer sekrup, neraca, *ampere meter*, *stopwatch* merupakan alat ukur yang sudah distandarkan. Penggunaan alat ukur yang distandar, maka siapapun yang melakukan pengukuran, kapanpun dan di manapun pengukuran dilaksanakan maka akan memberikan hasil yang relatif sama.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Gambar 1.1 Macam-macam alat ukur; (a) jangka sorong, (b) mistar ukur, (c) *stopwatch*, (d) neraca ukur, (e) mikrometer sekrup, (f) thermometer

1.2 Besaran dan Satuan Internasional

Besaran adalah sesuatu yang dapat ditentukan atau diukur dan hasil pengukurannya dinyatakan dengan satuan. Satuan adalah sesuatu yang digunakan sebagai pembanding dalam pengukuran. Besaran pokok adalah besaran yang satuannya telah ditetapkan terlebih dahulu dan tidak bergantung terhadap satuan-satuan besaran lain. Besaran pokok dalam satuan internasional terdiri dari 7 jenis dan ditunjukkan pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Besaran Pokok dalam Satuan Internasional

No.	Besaran	Lambang	Satuan	Lambang Satuan
1.	Panjang	l	Meter	m
2.	Massa	m	Kilogram	kg
3.	Waktu	t	Sekon	s
4.	Kuar arus listrik	i	Ampere	A
5.	Suhu	T	Kelvin	K
6.	Jumlah zat	N	Mol	mol
7.	Intensitas cahaya	I	Kandela	cd

Pada dasarnya satuan dari besaran dapat ditentukan secara sembarang. Tetapi, hal ini akan menyulitkan karena satu besaran dapat memiliki beberapa macam satuan. Satuan tersebut boleh berbeda antara satu daerah dengan daerah lainnya. Misalnya, satuan dari besaran panjang dapat menggunakan satuan meter, inci, depa, hasta dan jengkal. Oleh karena itu, diperlukan satuan standar secara umum agar lebih memudahkan dalam proses analisis dan pengukuran. Selanjutnya, untuk kepentingan ilmu pengetahuan dan kepentingan sosial diperlukan keseragaman dalam

pemakaian satuan, sehingga dibutuhkan standarisasi satuan. Namun, untuk menentukan standar dari satuan yang baik diperlukan kecermatan dan ketelitian yang tinggi. Suatu standar yang baik harus memenuhi beberapa kriteria antara lain:

1. Nilainya tetap, tidak dipengaruhi oleh perubahan-perubahan dari lingkungan.
2. Mudah untuk ditiru atau mudah diduplikasi.
3. Mudah untuk dilakukan prosedur konversi dan dikembalikan ke bentuk awal.

Di beberapa negara maupun diberbagai penerapan teknologi telah digunakan beberapa macam satuan untuk suatu besaran. Misalnya, di beberapa daerah menggunakan satuan meter, mil, sedangkan ada juga yang menggunakan satuan jengkal, tumbak, ataupun depa. Untuk mengatasi masalah dan perbedaan tersebut, perlu dilakukan perumusan agar diperlukan standar satuan yang berlaku umum untuk suatu besaran. Syarat utama dari satuan standar adalah:

1. Nilai satuannya harus sama.
2. Mudah diperoleh kembali.
3. Dapat diterima secara internasional.

Selanjutnya, besaran pokok dapat dikembangkan dan diturunkan menjadi besaran turunan. Adapun besaran turunan dari besaran pokok ditunjukkan pada Tabel 1.2.

Tabel 1.2 Besaran Turunan dalam Satuan Internasional

No.	Besaran	Lambang	Satuan	Lambang Satuan
1.	Luas	A	meter persegi	m^2
2.	Volume	V	meter kubik	m^3
3.	Kecepatan	v	meter per sekon	m/s
4.	Percepatan	a	meter per sekon kuadrat	m/s^2

5.	Gaya	F	Newton	$N = kg.m/s^2$
6.	Usaha	W	Joule	$J = kg.m^2/s^2$
7.	Daya	P	Watt	$P = kg.m^3/s^2$

1.3 Konversi Satuan

Pemakaian satuan dalam penyelesaian suatu persoalan terkadang menjadi masalah dikarenakan adanya perbedaan penafsiran untuk menentukan satuan dari suatu besaran tertentu. Untuk mengatasi permasalahan tersebut diperlukan suatu tahapan konversi untuk merubah satuan besaran ke satuan lainnya. Proses perubahan satuan memerlukan suatu faktor konversi yaitu terdiri dari bilangan pembilang dan penyebut yang memiliki satuan yang berbeda namun tetap memiliki besaran yang sama sehingga faktor konversinya bernilai satu.

Contoh 1:

Konversikan satuan dari 45 yard kedalam satuan meter!

Solusi:

$$\begin{aligned} 1 \text{ yard} &= 0,91114 \text{ meter} \\ s &= 45 \text{ yard} \\ &= 45 \times (0,91114) \\ &= \mathbf{41,1 \text{ meter}} \end{aligned}$$

Contoh 2:

Konversikan satuan dari 1325 kg kedalam satuan slug!

Solusi:

$$\begin{aligned} 1 \text{ slug} &= 14,59 \text{ kg} \\ s &= 1325 \text{ kg} \\ &= \frac{1325}{14,59} \\ &= \mathbf{90,81 \text{ slug}} \end{aligned}$$

Faktor konversi satuan dari beberapa besaran pokok dan besaran turunan ditunjukkan pada Tabel 1.3.

Tabel 1.3 Faktor Konversi Satuan

Panjang	Massa	Waktu
$1 \text{ in} = 2.54 \text{ cm}$ $1 \text{ m} = 13.59 \text{ cm} = 3,281 \text{ kaki}$ $1 \text{ yard} = 0,9114 \text{ m}$ $1 \text{ km} = 0,621 \text{ mil} = 10^3 \text{ m}$ $1 \text{ mil} = 5280 \text{ kaki}$ $1 \text{ A} = 10^{-10} \text{ m}$ $1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m}$	$1 \text{ slug} = 14.59 \text{ kg}$ $1 \text{ amu} = 1,66 \times 10^{-27} \text{ kg}$ $1 \text{ ton} = 1000 \text{ kg}$ $1 \text{ gram} = 10^{-3} \text{ kg}$	$1 \text{ jam} = 3600 \text{ s}$ $1 \text{ hari} = 86200 \text{ s}$ $1 \text{ tahun} = 3.16 \times 10^7 \text{ s}$

1.4 Besaran dan Satuan dalam Pengukuran Listrik

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 standar, yaitu standar amper, resistansi, tegangan, kapasitansi, induktansi, kemagnetan, dan temperatur.

1.4.1 Satuan Ampere

Menurut ketentuan Standar Internasional (SI) adalah *arus konstan yang dialirkan pada dua konduktor dalam ruang hampa udara dengan jarak 1 meter, di antara kedua penghantar menimbulkan gaya = 2×10^{-7} newton/m panjang.*

1.4.2 Standar Tegangan

Menurut ketentuan SI adalah *tabung gelas Weston mirip huruf H memiliki dua elektrode, tabung elektrode positif berisi elektrolit mercury dan tabung elektrode negatif diisi elektrolit cadmium, ditempatkan dalam suhu ruangan. Tegangan dari elektrode Weston pada suhu 20°C sebesar 1.01858 V.*

1.4.3 Standar Resitansi

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).*

1.4.4 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).*

1.4.5 Standar Induktansi

Menurut ketentuan SI, *diturunkan dari standar resistansi dan standar kapasitansi, dengan metode geometris, standar induktor akan diperoleh.*

1.5 Instrumen Pengukuran

Instrumen pengukuran adalah alat yang digunakan untuk melakukan pengukuran. Hasil akhir dari proses pengukuran ditentukan oleh kemampuan alat ukur yang digunakan. Kemampuan alat ukur dapat diketahui dari berbagai kriteria yang ditetapkan, di antaranya adalah:

1. *Akurasi*, adalah kemampuan alat ukur untuk memberikan hasil pengukuran yang mendekati hasil sebenarnya.
2. *Presisi*, adalah kemampuan alat ukur untuk memberikan hasil yang sama dari proses pengukuran yang dilakukan secara berulang-ulang.
3. *Sensitivitas*, adalah kepekaan alat ukur terhadap perubahan besaran yang diukur.
4. *Kesalahan (error)*, adalah penyimpangan hasil ukur terhadap hasil / nilai yang sebenarnya.

Secara umum alat ukur dibedakan menjadi 2 jenis sesuai dengan kebutuhan di lapangan, yaitu:

1. *Absolute Instruments*

Merupakan alat ukur standar yang sering digunakan di laboratorium-laboratorium dan jarang dijumpai dalam pemakaian di pasaran lagi pula alat ini tidak memerlukan pengkalibrasian dan digunakan sebagai standar. Adapun contoh alat ukur yang termasuk *absolute instruments* adalah Voltmeter dan Wattmeter merk Yokogawa yang ditunjukkan pada gambar 1.2.



(a)

(b)

Gambar 1.2 Contoh *absolute instruments*; (a) Voltmeter , (b) Wattmeter

2. *Secondary Instruments*

Merupakan alat ukur dimana harga yang ditunjukkan, karena adanya penyimpangan dari alat penunjuknya dan ternyata dalam penunjukan ada penyimpangan, maka alat ini harus lebih dulu disesuaikan/dikalibrasi dengan membandingkan dengan *absolute instruments* atau alat ukur yang telah lebih dulu disesuaikan. Adapun contoh alat ukur yang termasuk *secondary instruments* adalah AVO Meter merk SANWA YX 360 TRF dan *clamp meter* seperti yang ditunjukkan gambar 1.3.



Gambar 1.3 Contoh *secondary instruments*; (a) AVO meter , (b) Clamp meter

RANGKUMAN MATERI

1. Pengukuran (*measurement*) merupakan serangkaian kegiatan yang bertujuan untuk menentukan suatu nilai besaran yang dapat dihitung secara kuantitatif (berbentuk angka dan satuan). Konsep dasar pengukuran yaitu sebuah metode yang perlu diperhatikan dalam melakukan setiap proses pengukuran.
2. Penggunaan alat ukur yang distandar, maka siapapun yang melakukan pengukuran, kapanpun dan di manapun pengukuran dilaksanakan, maka akan memberikan hasil yang relatif sama
3. Besaran adalah sesuatu yang dapat ditentukan atau diukur dan hasil pengukurannya dinyatakan dengan satuan. Satuan adalah sesuatu yang digunakan sebagai pembanding dalam pengukuran. Besaran pokok adalah besaran yang satuannya telah ditetapkan terlebih dahulu dan tidak bergantung terhadap satuan-satuan besaran lain.

Besaran Pokok dalam Satuan Internasional

No.	Besaran	Lambang	Satuan	Lambang Satuan
1.	Panjang	l	Meter	m
2.	Massa	m	Kilogram	kg
3.	Waktu	t	Sekon	s
4.	Kuar arus listrik	i	Ampere	A
5.	Suhu	T	Kelvin	K
6.	Jumlah zat	N	Mol	mol
7.	Intensitas cahaya	I	Kandela	cd

4. Suatu standar yang baik harus memenuhi beberapa kriteria antara lain:
 - a. Nilainya tetap, tidak dipengaruhi oleh perubahan-perubahan dari lingkungan.
 - b. Mudah untuk ditiru atau mudah diduplikasi.
 - c. Mudah untuk dilakukan prosedur konversi dan dikembalikan ke bentuk awal.
5. Syarat utama dari satuan standar adalah:
 - a. Nilai satuannya harus sama.
 - b. Mudah diperoleh kembali.
 - c. Dapat diterima secara internasional.
6. Adapun besaran pokok dapat dikembangkan menjadi besaran turunan.

Besaran Turunan dalam Satuan Internasional

No.	Besaran	Lambang	Satuan	Lambang Satuan
1.	Luas	A	meter persegi	m^2
2.	Volume	V	meter kubik	m^3
3.	Kecepatan	v	meter per sekon	m/s
4.	Percepatan	a	meter per sekon kuadrat	m/s^2
5.	Gaya	F	Newton	$N = kg.m/s^2$
6.	Usaha	W	Joule	$J = kg.m^2/s^2$
7.	Daya	P	Watt	$P = kg.m^3/s^2$

7. Proses perubahan satuan memerlukan suatu faktor konversi yaitu terdiri dari bilangan pembilang dan penyebut yang memiliki satuan yang berbeda namun tetap memiliki besaran yang sama sehingga faktor konversinya bernilai satu. Faktor konversi satuan dari beberapa besaran pokok dan besaran turunan telah ditentukan berdasarkan standar yang ditetapkan.

Faktor Konversi Satuan

Panjang	Massa	Waktu
$1 \text{ in} = 2.54 \text{ cm}$	$1 \text{ slug} = 14.59 \text{ kg}$	$1 \text{ jam} = 3600 \text{ s}$
$1 \text{ m} = 39.37 \text{ in} = 3.281 \text{ kaki}$	$1 \text{ amu} = 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$	$1 \text{ hari} = 86400 \text{ s}$
$1 \text{ yard} = 0.9144 \text{ m}$		$1 \text{ tahun} = 3.16 \times 10^7 \text{ s}$
$1 \text{ km} = 0.621 \text{ mil} = 10^3 \text{ m}$	$1 \text{ ton} = 1000 \text{ kg}$	
$1 \text{ mil} = 5280 \text{ kaki}$	$1 \text{ gram} = 10^{-3} \text{ kg}$	
$1 \text{ A} = 10^{-10} \text{ m}$		
$1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m}$		

8. 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 standar, yaitu standar amper, resistansi, tegangan, kapasitansi, induktansi, kemagnetan, dan temperatur.
9. Kemampuan alat ukur dapat diketahui dari berbagai kriteria yang ditetapkan, di antaranya adalah: *akurasi*, *presisi*, *sensitivitas*, *kesalahan (error)*.
10. Secara kebutuhan dan keperluan di lapangan, alat ukur dibedakan menjadi dua jenis yaitu *absolute instruments* dan *secondary instruments*.

EVALUASI MATERI

BAB I – KONSEP DASAR PENGUKURAN & INSTRUMEN PENGUKURAN

Jawablah pertanyaan dibawah ini dengan benar sesuai dengan materi yang disampaikan dalam Bab 1!

Soal:

1. Jelaskan konsep dasar dari proses pengukuran!
2. Jelaskan konsep dasar dari besaran pokok dan besaran turunan!
3. Jelaskan dan tuliskan 7 besaran pokok dan besaran turunannya!
4. Jelaskan perbedaan dari *absolute instrument* dan *secondary instruments*!
5. Jelaskan 4 kriteria yang menentukan kualitas dari instrumen pengukuran!
6. Jelaskan perbedaan antara akurasi dan presisi dari instrumen pengukuran!
7. Jelaskan 3 syarat utama dalam menentukan standar suatu besaran dalam proses pengukuran!
8. Jelaskan mengapa diperlukan suatu persamaan persepsi dan keseragaman dalam menentukan satuan dan besaran dalam proses pengukuran!

BAB II TINGKAT KESALAHAN DALAM PENGUKURAN

2.1 Akurasi dan Ketidaktepatan Pengukuran

Keakuratan suatu instrumen adalah ukuran seberapa dekat pembacaan keluaran dari instrumen dengan nilai yang benar. Dalam praktiknya, lebih sering mengutip ketidakakuratan atau nilai ketidakpastian pengukuran daripada nilai akurasi untuk suatu instrumen. Ketidakakuratan atau ketidakpastian pengukuran adalah sejauh mana pembacaan mungkin salah dan sering dikutip sebagai persentase pembacaan skala penuh (*full scale*) dari suatu instrumen. Kesalahan pengukuran dalam suatu instrumen biasanya terkait dengan pembacaan instrumen skala penuh, mengukur jumlah yang secara substansial kurang dari pembacaan skala penuh berarti bahwa kemungkinan kesalahan pengukuran diperkuat.

Untuk alasan ini, ini adalah aturan desain sistem yang penting bahwa instrumen dipilih sedemikian rupa, sehingga jangkauannya sesuai dengan penyebaran nilai-nilai yang diukur agar akurasi terbaik dipertahankan dalam pembacaan instrumen. Untuk itu, jika kita mengukur tekanan dengan nilai yang diharapkan antara 0 dan 1 bar, kita tidak akan menggunakan sebuah instrumen dengan rentang skala pengukuran 0-10 bar.

Contoh soal 1:

Pengukur tekanan dengan rentang pengukuran 0 – 10 bar memiliki ketidakakuratan yang telah diketahui yaitu $\pm 1,0\%$ full scaled ($\pm 1\%$ dari pembacaan skala penuh).

Pertanyaan:

- a. Berapa kesalahan pengukuran maksimum yang diharapkan untuk instrumen ini?*

- b. *Berapa kemungkinan kesalahan pengukuran yang dinyatakan sebagai persentase dari output? dimisalkan jika pengukur tekanan ini mengukur tekanan 1 bar?*

Solusi:

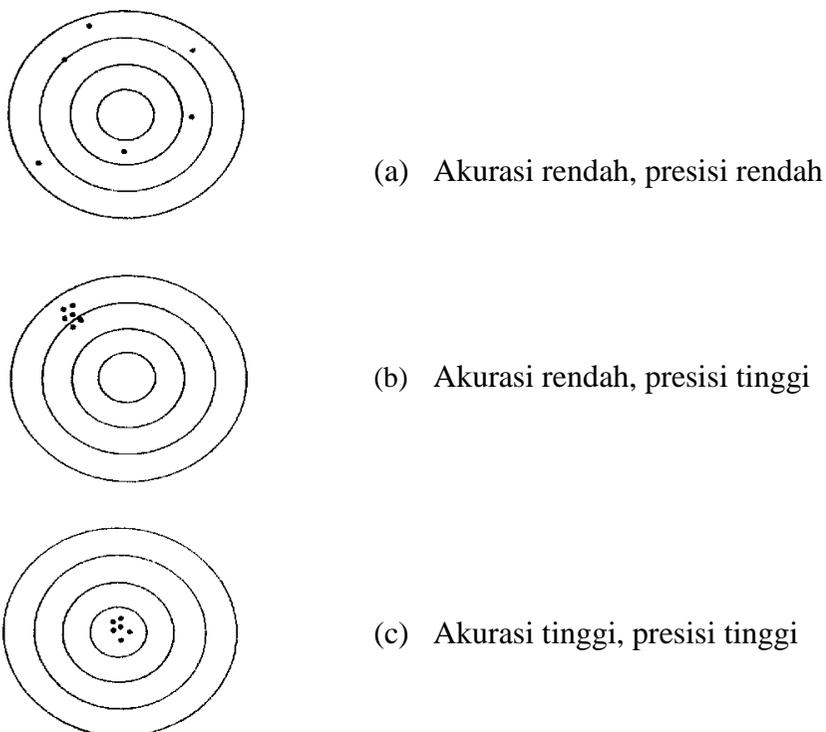
- a. *Kesalahan maksimum yang diharapkan dalam setiap pembacaan pengukuran adalah 1,0% dari skala penuh pembacaan, yaitu 10 bar untuk instrumen ini. Oleh karena itu, kemungkinan maksimum kesalahan adalah $1,0\% \times 10 \text{ bar} = 0,1 \text{ bar}$.*
- b. *Kesalahan pengukuran maksimum adalah nilai konstan yang terkait dengan skala penuh pembacaan instrumen, terlepas dari besarnya kuantitas yang instrumen sebenarnya mengukur. Dalam hal ini, seperti yang telah dikerjakan sebelumnya, besarnya dari kesalahan adalah 0,1 bar. Jadi, ketika mengukur tekanan 1 bar, maksimum yang mungkin kesalahan 0,1 bar adalah 10% dari nilai pengukuran.*

2.2 Presisi/Pengulangan/Reproduksibilitas

Presisi adalah istilah yang menggambarkan derajat kebebasan instrumen dari kesalahan acak. Jika sejumlah besar pembacaan dilakukan dengan jumlah yang sama oleh instrumen dengan presisi tinggi, maka penyebaran hasil pembacaan akan sangat kecil. Presisi sering disamakan dan dianalogikan dengan akurasi meskipun tidak sama. Presisi tinggi tidak selalu berkaitan dengan akurasi dari pengukuran. Instrumen presisi tinggi mungkin memiliki akurasi rendah. Pengukuran akurasi rendah dari instrumen presisi tinggi biasanya disebabkan oleh bias dalam pengukuran, yang dapat diselesaikan solusinya dengan melakukan kalibrasi ulang.

Istilah pengulangan dan reprodutivitas berarti kurang lebih sama, tetapi diterapkan dalam konteks yang berbeda, seperti yang dijelaskan selanjutnya. Pengulangan menggambarkan kedekatan pembacaan output ketika input yang sama diterapkan berulang-ulang selama periode waktu yang singkat, dengan kondisi pengukuran yang sama, instrumen dan pengamat yang sama, lokasi yang sama, dan kondisi penggunaan yang sama dipertahankan secara keseluruhan. Reprodutivitas menggambarkan kedekatan pembacaan keluaran untuk masukan yang sama ketika ada perubahan dalam metode pengukuran, pengamat, alat ukur, lokasi, kondisi penggunaan, dan waktu pengukuran. Kedua istilah tersebut menggambarkan penyebaran pembacaan output untuk input yang sama. Penyebaran ini disebut sebagai pengulangan jika kondisi pengukuran konstan dan sebagai reprodutivitas jika kondisi pengukuran bervariasi.

Tingkat pengulangan atau reprodutivitas dalam pengukuran dari instrumen adalah cara alternatif untuk mengekspresikan presisi. Gambar 2.1 menggambarkan hal ini lebih jelas dengan menunjukkan hasil pengujian pada tiga robot industri yang diprogram untuk menempatkan komponen pada titik tertentu di atas meja. Titik target berada di tengah lingkaran konsentris yang ditunjukkan dan titik hitam mewakili titik di mana setiap robot benar-benar meletakkan komponen pada setiap upaya. Akurasi dan presisi Robot 1 terbukti rendah dalam uji coba ini. Robot 2 secara konsisten meletakkan komponen di tempat yang kira-kira sama, tetapi ini adalah titik yang salah. Oleh karena itu, ia memiliki presisi tinggi tetapi akurasi rendah. Terakhir, Robot 3 memiliki presisi tinggi dan akurasi tinggi karena secara konsisten menempatkan komponen pada posisi target yang benar.



Gambar 2.1 Perbandingan akurasi dan presisi

2.3 Toleransi

Toleransi adalah istilah yang terkait erat dengan akurasi dan mendefinisikan kesalahan maksimum yang diharapkan dalam beberapa nilai yang didapatkan dari proses pengukuran. Meskipun sebenarnya bukan merupakan karakteristik statis dari alat ukur, hal ini disebutkan di sini karena keakuratan beberapa alat terkadang dinyatakan sebagai nilai toleransi. Ketika digunakan dengan benar, toleransi menggambarkan deviasi maksimum komponen yang diproduksi dari beberapa nilai yang ditentukan. Misalnya, *crankshaft* dikerjakan dengan toleransi diameter yang dikutip sebagai banyak mikrometer (10^{-6} m) dan komponen rangkaian listrik seperti resistor memiliki toleransi mungkin 5%.

Contoh soal 2:

Paket resistor yang dibeli di toko komponen elektronik memberikan nilai resistansi nominal 1000Ω dan toleransi manufaktur 5%. Jika satu resistor dipilih secara acak dari paket, berapakah nilai resistansi minimum dan maksimum yang mungkin dimiliki resistor tersebut?

Solusi:

*Nilai kemungkinan minimumnya adalah $1000 \Omega - (5\% * 1000 \Omega) = 950 \Omega$.*

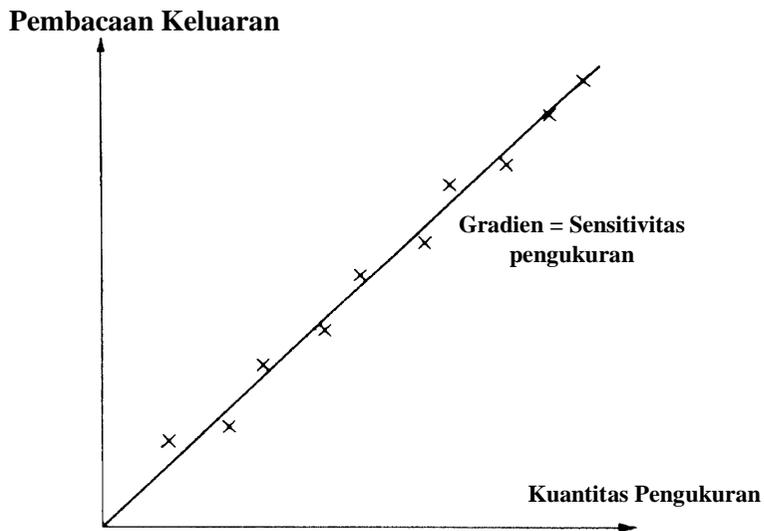
*Nilai kemungkinan maksimumnya adalah $1000 \Omega + (5\% * 1000 \Omega) = 1050 \Omega$.*

2.4 Rentang Pengukuran (*Span*)

Rentang atau *span* instrumen menentukan nilai minimum dan maksimum dari suatu kuantitas bahwa instrumen itu dirancang untuk diukur.

2.5 Linearitas

Umumnya pembacaan keluaran suatu instrumen berbanding lurus dengan kuantitas yang diukur. Tanda X_s yang ditandai pada Gambar 2.2 menunjukkan plot pembacaan keluaran khas suatu instrumen ketika urutan jumlah masukan diterapkan padanya. Prosedur normal adalah menggambar garis lurus yang sesuai melalui X_s , seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. (Meskipun hal ini sering dapat dilakukan dengan akurasi yang masuk akal dengan mata, selalu lebih baik untuk menerapkan teknik pencocokan garis kuadrat-terkecil matematis Nonlinier, kemudian didefinisikan sebagai deviasi maksimum dari setiap pembacaan keluaran ditandai X dari garis lurus ini. Nonlinier biasanya dinyatakan sebagai persentase pembacaan skala penuh.



Gambar 2.2 Karakteristik keluaran instrumen.

2.6 Sensitivitas Pengukuran

Sensitivitas pengukuran adalah ukuran perubahan keluaran dari alat ukur yang terjadi ketika besaran yang diukur berubah dengan jumlah tertentu. Jadi, sensitivitas adalah rasio:

$$\text{Sensivitas} = \frac{\text{penyimpangan skala}}{\text{nilai besaran yang menghasilkan penyimpangan}}$$

(2.1)

Sensitivitas pengukuran ditunjukkan dengan kemiringan garis lurus yang digambar pada Gambar 2.2. Jika, misalnya, tekanan 2 bar menghasilkan defleksi 10 derajat dalam transduser tekanan, sensitivitas instrumen adalah 5 derajat/bar (dengan asumsi bahwa defleksi nol dengan tekanan nol diterapkan).

Contoh soal 3:

Nilai resistansi berikut dari termometer resistansi platinum diukur pada kisaran suhu tertentu. Tentukan sensitivitas pengukuran instrumen dalam $\text{ohm}/^{\circ}\text{C}$.

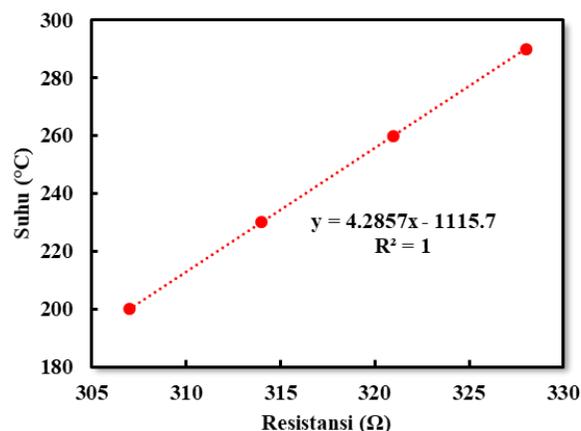
Resistansi (Ω)	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)
307	200
314	230
321	260
328	290

Solusi:

Jika nilai-nilai ini diplot pada grafik, hubungan garis lurus antara perubahan resistansi dan perubahan suhu terlihat jelas sangat berkaitan.

Untuk perubahan suhu 30°C , perubahan hambatan adalah 7Ω . Oleh karena itu, sensitivitas pengukuran = $7/30 = 0,233 \Omega/^{\circ}\text{C}$.

Korelasi antara kenaikan suhu dan perubahan resistansi ditunjukkan pada grafik yang ditunjukkan gambar 2.2 dengan nilai persamaan linearnya $y = 4.2857x - 1115,7$ dan nilai $R^2=1$ menunjukkan persamaan yang diusulkan memiliki akurasi yang sangat baik.



Gambar 2.3 Kurva korelasi antara kenaikan suhu dan perubahan resistansi.

2.7 Ambang Batas (*Threshold*)

Jika input ke instrumen dinaikkan secara bertahap dari nol, input harus mencapai level minimum tertentu sebelum perubahan pembacaan output instrumen cukup besar untuk dapat dideteksi. Tingkat input minimum ini dikenal sebagai ambang batas instrumen (*threshold*). Produsen dari alat ukur menentukan ambang batas dengan cara bervariasi untuk sebuah instrumen. Beberapa pendekatan mengutip nilai absolut, sedangkan yang lain mengutip ambang sebagai persentase pembacaan skala penuh. Sebagai gambaran, speedometer mobil biasanya memiliki ambang batas sekitar 15 km/jam. Artinya, jika kendaraan mulai dari keadaan diam dan berakselerasi, tidak ada pembacaan keluaran yang diamati pada speedometer hingga kecepatan mencapai 15 km/jam.

2.8 Resolusi

Ketika sebuah instrumen menunjukkan pembacaan output tertentu, ada batas bawah pada besarnya perubahan dalam kuantitas terukur input yang menghasilkan perubahan yang dapat diamati pada output instrumen. Seperti ambang batas, resolusi terkadang ditentukan sebagai nilai absolut dan terkadang sebagai persentase dari penyimpangan skala penuh (*full scaled deflection*). Salah satu faktor utama yang memengaruhi resolusi instrumen adalah seberapa halus skala outputnya dibagi menjadi subdivisi. Menggunakan speedometer mobil dapat digunakan sebagai contoh, umumnya pembagian biasanya 20 km/jam. Ini berarti bahwa ketika jarum berada di antara tanda skala, kita tidak dapat memperkirakan kecepatan lebih akurat daripada 5 km/jam terdekat. Nilai 5 km/jam ini dengan demikian mewakili resolusi instrumen.

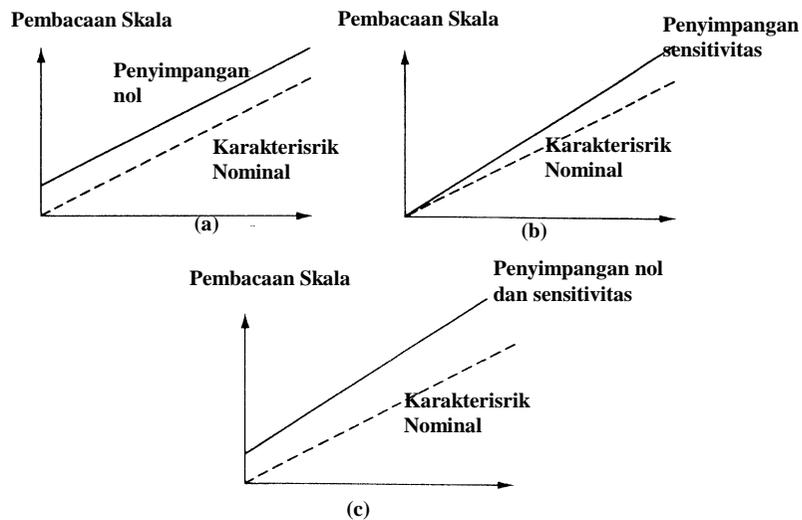
2.9 Sensitivitas Terhadap Gangguan

Semua kalibrasi dan spesifikasi instrumen hanya berlaku di bawah kondisi suhu, tekanan, dan sebagainya yang terkendali. Kondisi ambien standar ini biasanya ditentukan dalam spesifikasi instrumen. Ketika variasi terjadi pada suhu lingkungan, karakteristik instrumen statis tertentu berubah, dan kepekaan terhadap gangguan adalah ukuran besarnya perubahan ini. Perubahan lingkungan tersebut memengaruhi instrumen dalam dua cara utama, yang dikenal sebagai penyimpangan nol dan penyimpangan sensitivitas. Penyimpangan nol kadang-kadang dikenal dengan istilah alternatif, bias.

Penyimpangan nol atau bias menggambarkan efek di mana pembacaan nol instrumen dimodifikasi oleh perubahan kondisi sekitar. Hal ini menyebabkan kesalahan konstan yang ada di seluruh rentang pengukuran instrumen. Bentuk mekanis dari timbangan kamar mandi adalah contoh umum dari instrumen yang rentan terhadap penyimpangan nol. Sangat biasa untuk menemukan bahwa ada pembacaan mungkin 1 kg tanpa seorang pun pada skala. Jika seseorang yang diketahui beratnya 70 kg untuk mendapatkan timbangan, bacaannya akan menjadi 71 kg, dan jika seseorang yang diketahui beratnya 100 kg untuk mendapatkan timbangan, bacaannya adalah 101 kg. Penyimpangan nol biasanya dapat dihindari dengan kalibrasi. Dalam kasus timbangan kamar mandi yang baru saja dijelaskan, biasanya disediakan roda kalibrasi (*thumbwheel*) yang dapat diputar sampai pembacaan nol dengan timbangan diturunkan, sehingga menghilangkan penyimpangan nol.

Satuan yang digunakan untuk mengukur penyimpangan nol tersebut adalah $\text{volt}/^{\circ}\text{C}$. Ini sering disebut koefisien penyimpangan nol yang terkait dengan perubahan suhu. Jika karakteristik suatu instrumen sensitif terhadap beberapa parameter lingkungan, maka ia akan memiliki beberapa koefisien

penyimpangan nol, satu untuk setiap parameter lingkungan. Perubahan khas dalam karakteristik keluaran pengukur tekanan yang tunduk pada penyimpangan nol ditunjukkan pada Gambar 2.3 (a).



Gambar 2.4 Efek gangguan: (a) penyimpangan nol, (b) penyimpangan sensitivitas, dan (c) penyimpangan nol ditambah penyimpangan sensitivitas.

Penyimpangan sensitivitas (juga dikenal sebagai penyimpangan faktor skala) menentukan jumlah perubahan sensitivitas instrumen terhadap pengukuran saat kondisi sekitar berubah. Ini diukur dengan koefisien penyimpangan sensitivitas yang menentukan berapa banyak penyimpangan yang ada untuk perubahan unit di setiap parameter lingkungan yang karakteristik instrumennya sensitif. Banyak komponen dalam instrumen dipengaruhi oleh fluktuasi lingkungan, seperti perubahan suhu, misalnya modulus elastisitas pegas bergantung pada suhu. Gambar 2.2 (b) menunjukkan apa efeknya penyimpangan sensitivitas dapat terjadi pada karakteristik keluaran suatu instrumen. Penyimpangan sensitivitas diukur dalam satuan bentuk (derajat sudut/bar)/°C. Jika suatu instrumen mengalami

penyimpangan nol dan penyimpangan sensitivitas pada saat yang sama, maka modifikasi khas dari karakteristik output ditunjukkan pada Gambar 2.2 (c).

Contoh soal 4:

Tabel berikut menunjukkan pengukuran keluaran voltmeter dari dua set kondisi:

- (a) *Gunakan suhu lingkungan pada 20°C yang merupakan suhu yang dikalibrasi.*
- (b) *Gunakan di lingkungan pada suhu 50°C.*

<i>Pembacaan tegangan pada suhu kalibrasi dari 20°C (diasumsikan benar)</i>	<i>Pembacaan tegangan pada suhu 50°C</i>
10.2	10.5
20.3	20.6
30.7	40.0
40.8	50.1

Tentukan penyimpangan nol saat digunakan di lingkungan 50°C, dengan asumsi bahwa nilai pengukuran saat digunakan di lingkungan 20°C sudah benar. Hitung juga koefisien penyimpangan nol.

Solusi:

Penyimpangan nol pada suhu 50°C adalah perbedaan konstan antara pasangan pembacaan keluaran, yaitu 0,3 volt.

Koefisien drift nol adalah besarnya drift (0,3 volt) dibagi dengan besarnya perubahan suhu yang menyebabkan drift (30°C). Jadi koefisien penyimpangan nol adalah $0,3/30 = 0,01$ volt/°C.

Contoh soal 5:

Sebuah neraca pegas dikalibrasi dalam lingkungan pada suhu 20°C dan memiliki karakteristik defleksi/beban sebagai berikut.

<i>Beban (kg)</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
<i>Defleksi (mm)</i>	<i>0</i>	<i>20</i>	<i>40</i>	<i>60</i>

Kemudian digunakan dalam lingkungan pada suhu 30°C dan karakteristik defleksi/beban berikut diukur:

<i>Beban (kg)</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
<i>Defleksi (mm)</i>	<i>5</i>	<i>27</i>	<i>49</i>	<i>71</i>

Tentukan penyimpangan nol dan penyimpangan sensitivitas per °C perubahan suhu lingkungan.

Solusi:

Pada 20 °C, karakteristik defleksi/beban adalah garis lurus sehingga besar dari sensitivitas = 20 mm/kg.

Pada suhu 30 C, karakteristik defleksi/beban masih berupa garis lurus sehingga sensitivitas = 22 mm/kg.

Penyimpangan nol (bias)= 5 mm (defleksi tanpa beban)

Penyimpangan sensitivitas = 2 mm/kg

Penyimpangan nol/°C = 5/10 = 0,5 mm/°C

Penyimpangan sensitivitas/°C = 2/10 = 0,2 (mm/kg)/°C

RANGKUMAN MATERI

1. Keakuratan suatu instrumen adalah ukuran seberapa dekat pembacaan keluaran dari instrumen dengan nilai yang benar.
2. Ketidakakuratan atau ketidakpastian pengukuran adalah sejauh mana pembacaan mungkin salah dan sering dikutip sebagai persentase pembacaan skala penuh (*full scale*) dari suatu instrumen. Kesalahan pengukuran dalam suatu instrumen biasanya terkait dengan pembacaan instrumen skala penuh, mengukur jumlah yang secara substansial kurang dari pembacaan skala penuh berarti bahwa kemungkinan kesalahan pengukuran diperkuat.
3. Presisi adalah istilah yang menggambarkan derajat kebebasan instrumen dari kesalahan acak. Jika sejumlah besar pembacaan dilakukan dengan jumlah yang sama oleh instrumen dengan presisi tinggi, maka penyebaran hasil pembacaan akan sangat kecil.
4. Presisi sering disamakan dan dianalogikan dengan akurasi meskipun tidak sama. Presisi tinggi tidak selalu berkaitan dengan akurasi dari pengukuran. Instrumen presisi tinggi mungkin memiliki akurasi rendah. Pengukuran akurasi rendah dari instrumen presisi tinggi biasanya disebabkan oleh bias dalam pengukuran, yang dapat diselesaikan solusinya dengan melakukan kalibrasi ulang.
5. Pengulangan menggambarkan kedekatan pembacaan output ketika input yang sama diterapkan berulang-ulang selama periode waktu yang singkat, dengan kondisi pengukuran yang sama, instrumen dan pengamat yang sama, lokasi yang sama, dan kondisi penggunaan yang sama dipertahankan secara keseluruhan. Reproductivitas menggambarkan kedekatan pembacaan keluaran untuk masukan yang sama ketika ada perubahan dalam metode pengukuran, pengamat, alat ukur, lokasi, kondisi penggunaan, dan waktu pengukuran.

6. Toleransi adalah istilah yang terkait erat dengan akurasi dan mendefinisikan kesalahan maksimum yang diharapkan dalam beberapa nilai yang didapatkan dari proses pengukuran.
7. Rentang atau *span* instrumen menentukan nilai minimum dan maksimum dari suatu kuantitas bahwa instrumen itu dirancang untuk diukur.
8. Umumnya pembacaan keluaran suatu instrumen berbanding lurus dengan kuantitas yang diukur (linearitas).
9. Sensitivitas pengukuran adalah ukuran perubahan keluaran dari alat ukur yang terjadi ketika besaran yang diukur berubah dengan jumlah tertentu.
10. Beberapa pendekatan mengutip bahwa ambang batas (*threshold*) adalah nilai absolut, sedangkan yang lain mengutip ambang sebagai persentase pembacaan skala penuh.
11. Ketika sebuah instrumen menunjukkan pembacaan output tertentu, ada batas bawah pada besarnya perubahan dalam kuantitas terukur input yang menghasilkan perubahan yang dapat diamati pada output instrumen. Seperti ambang batas, resolusi terkadang ditentukan sebagai nilai absolut dan terkadang sebagai persentase dari penyimpangan skala penuh (*full scaled deflection*). Salah satu faktor utama yang memengaruhi resolusi instrumen adalah seberapa halus skala outputnya dibagi menjadi subdivisi.
12. Semua kalibrasi dan spesifikasi instrumen hanya berlaku di bawah kondisi suhu, tekanan, dan sebagainya yang terkendali. Ketika variasi terjadi pada suhu lingkungan, karakteristik instrumen statis tertentu berubah, dan kepekaan terhadap gangguan adalah ukuran besarnya perubahan ini.

13. Perubahan lingkungan tersebut memengaruhi instrumen dalam dua cara utama, yang dikenal sebagai penyimpangan nol dan penyimpangan sensitivitas.
14. Penyimpangan nol atau bias menggambarkan efek di mana pembacaan nol instrumen dimodifikasi oleh perubahan kondisi sekitar.
15. Penyimpangan sensitivitas (juga dikenal sebagai penyimpangan faktor skala) menentukan jumlah perubahan sensitivitas instrumen terhadap pengukuran saat kondisi sekitar berubah.
16. Satuan yang digunakan untuk mengukur penyimpangan nol tersebut adalah $\text{volt}/^{\circ}\text{C}$, sedangkan Penyimpangan sensitivitas diukur dalam satuan bentuk $(\text{derajat sudut}/\text{bar})/^{\circ}\text{C}$.

EVALUASI MATERI BAB II – TINGKAT KESALAHAN DALAM PENGUKURAN

Jawablah pertanyaan di bawah ini dengan benar sesuai dengan materi yang disampaikan dalam Bab II!

Soal:

1. Jelaskan konsep dasar dari ketidakakuratan atau ketidakpastian pengukuran!
2. Jelaskan penyebab terjadinya ketidakakuratan dalam pengukuran!
3. Jelaskan korelasi antara presisi dan akurasi pada alat ukur!
4. Jelaskan tujuan dari pengulangan dan reprodutivitas dari proses pengukuran!
5. Jelaskan efek dari sensitivitas dan toleransi pada alat ukur, jelaskan pula kondisi yang memengaruhinya!
6. Mengapa diperlukan kalibrasi pada alat ukur sebelum dilakukan proses pengukuran, berikan penjelasan dan kaitannya dengan parameter kesalahan alat ukur yang telah dibahas!
7. Nilai resistansi berikut dari termometer resistansi platinum diukur pada kisaran suhu tertentu.

Resistansi (Ω)	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)
110	300
130	330
150	360
170	390

Tentukan sensitivitas pengukuran instrumen dalam $\text{ohm}/^{\circ}\text{C}$.

8. Tabel berikut menunjukkan pengukuran keluaran voltmeter dari dua set kondisi:
 - (a) Gunakan suhu lingkungan pada 20°C yang merupakan suhu yang dikalibrasi.

(b) Gunakan di lingkungan pada suhu 50°C.

Pembacaan tegangan pada suhu kalibrasi dari 20°C (diasumsikan benar)	Pembacaan tegangan pada suhu 50°C
20.2	20.5
30.3	30.6
40.7	50.0
50.4	50.8

Tentukan penyimpangan nol saat digunakan di lingkungan 50°C, dengan asumsi bahwa nilai pengukuran saat digunakan di lingkungan 20°C sudah benar. Hitung juga koefisien penyimpangan nol.

9. Sebuah neraca pegas dikalibrasi dalam lingkungan pada suhu 20°C dan memiliki karakteristik defleksi/beban sebagai berikut.

Beban (kg)	0	1	2	3
Defleksi (mm)	0	30	50	70

Kemudian digunakan dalam lingkungan pada suhu 30 C dan karakteristik defleksi/beban berikut diukur:

Beban (kg)	0	1	2	3
Defleksi (mm)	4	20	36	42

Tentukan penyimpangan nol dan penyimpangan sensitivitas per °C perubahan suhu lingkungan.

10. Jelaskan perbedaan penyimpangan sensitivitas dan penyimpangan nol pada alat ukur!

BAB III

PENGUKURAN HAMBATAN, TEGANGAN, DAN ARUS LISTRIK

3.1 Pengukuran Hambatan

Perangkat yang mengubah besaran terukur menjadi perubahan resistansi termasuk resistansi termometer, termistor, pengukur tekanan kumparan kawat, dan pengukur regangan. Perangkat standar dan metode yang tersedia untuk mengukur perubahan resistansi, yang diukur dalam satuan ohm (Ω), termasuk rangkaian jembatan DC, metode voltmeter-ammeter, metode resistansi-substitusi, digital voltmeter, dan ohmmeter. Selain ohmmeter, instrumen ini biasanya hanya digunakan untuk mengukur nilai resistansi sedang dalam kisaran 1Ω hingga $1 M\Omega$, tetapi kisaran ini sepenuhnya memadai untuk semua sensor arus yang mengubah besaran terukur menjadi perubahan resistansi.

3.1.1. Sirkuit Jembatan DC

Sirkuit jembatan DC, menyediakan metode pengukuran yang paling umum digunakan nilai resistansi nilai sedang. Akurasi pengukuran terbaik disediakan oleh tipe keluaran nol Jembatan Wheatstone dan nilai ketidaktepatan kurang dari 0,02% dapat dicapai dengan instrumen yang tersedia secara komersial. Sirkuit jembatan tipe defleksi lebih mudah digunakan dalam praktik daripada tipe keluaran nol, tetapi akurasi pengukurannya lebih rendah dan nonlinier hubungan output adalah kesulitan tambahan. Sirkuit jembatan sangat berguna dalam mengubah perubahan resistansi menjadi sinyal tegangan yang dapat dimasukkan langsung menjadi otomatis sistem kontrol.

3.1.2. Metode Voltmeter-Amperemeter

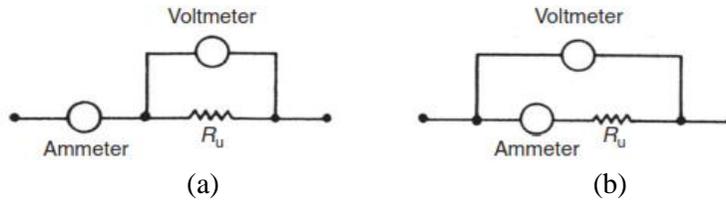
Metode voltmeter-ampere-meter terdiri dari penerapan DC terukur. Tegangan melintasi resistansi yang tidak diketahui dan mengukur arus yang mengalir sebagai pendekatannya. Ada dua alternatif untuk menghubungkan dua meter, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1. Pada Gambar 3.1a, ammeter mengukur arus yang mengalir di voltmeter dan resistansi. Kesalahan karena ini diminimalkan ketika resistansi yang diukur relatif kecil terhadap resistansi voltmeter. Dalam bentuk sambungan alternatif, Gambar 3.1b, voltmeter mengukur penurunan tegangan pada resistansi yang tidak diketahui dan ammeter. Di sini, kesalahan pengukuran diminimalkan ketika resistansi yang tidak diketahui besar sehubungan dengan resistansi ammeter. Jadi, metode (a) paling baik untuk pengukuran hambatan kecil dan metode (b) untuk hambatan besar.

Setelah mengukur tegangan dan arus, nilai resistansi kemudian dihitung dengan menggunakan hukum Ohm. Ini adalah metode yang cocok di mana ketidakakuratan pengukuran hingga 1% yang diberikannya dapat diterima.

3.1.3. Metode Substitusi Resistansi

Dalam metode voltmeter-ammeter yang baru saja diberikan, voltmeter mengukur tegangan melintasi ammeter, serta melintasi resistansi, atau ammeter mengukur aliran arus melalui voltmeter, serta melalui resistansi. Kesalahan pengukuran yang disebabkan oleh ini dihindari dalam teknik substitusi resistensi. Dalam metode ini, resistansi yang tidak diketahui dalam rangkaian digantikan sementara oleh resistansi variabel. Resistansi variabel disesuaikan sampai tegangan dan arus rangkaian yang diukur sama dengan

yang ada dengan resistansi yang tidak diketahui pada tempatnya. Resistansi variabel pada titik ini sama nilainya dengan resistansi yang tidak diketahui.



Gambar 3.1 Metode voltmeter-ammeter untuk mengukur resistansi

3.1.4. Penggunaan Voltmeter Digital untuk Mengukur Resistansi

Sebuah voltmeter digital juga dapat digunakan untuk mengukur resistansi jika sumber arus yang akurat adalah termasuk di dalamnya yang melewati arus melalui resistansi. Ini dapat memberikan pengukuran ketidakakuratan sekecil $\pm 0,1\%$.

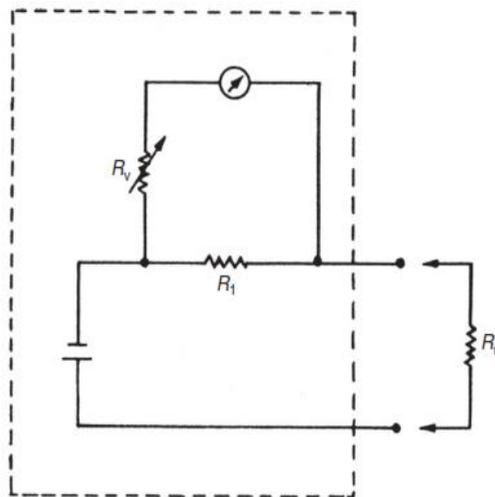
3.1.5. Ohmmeter

Ohmmeter digunakan untuk mengukur resistansi pada rentang yang luas dari beberapa miliohm hingga $50 \text{ M}\Omega$. Generasi pertama ohmmeter berisi baterai yang menerapkan tegangan yang diketahui melintasi kombinasi resistansi yang tidak diketahui dan resistansi yang diketahui secara seri, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1. Pengukuran tegangan, V_m , melintasi resistansi yang diketahui (R), memungkinkan resistansi yang tidak diketahui (R_u) dihitung dari:

$$R_u = \frac{R (V_b - V_m)}{V_m} \quad (3.1)$$

Di mana V_b adalah tegangan baterai. Sayangnya, mode pengukuran resistansi ini memberikan ketidakakuratan tipikal sebesar $\pm 2\%$, yang hanya

dapat diterima dalam jumlah aplikasi yang sangat terbatas. Karena itu, ohmmeter generasi pertama sebagian besar telah digantikan oleh ohmmeter elektronik jenis baru. Ohmmeter elektronik terdiri dari dua sirkuit. Rangkaian pertama menghasilkan arus konstan (I) yang dilewatkan melalui resistansi yang tidak diketahui. Sirkuit kedua mengukur tegangan (V) melintasi resistansi. Hambatan kemudian diberikan oleh hukum Ohm sebagai $R = V/I$. Ohmmeter elektronik dapat mencapai ketidakakuratan pengukuran serendah $\pm 0,02\%$.



Gambar 3.2 Skema Ohm meter

Kebanyakan multimeter digital dan analog seperti yang ditunjukkan gambar 3.3 mengandung sirkuit dengan bentuk yang sama seperti pada ohmmeter dan karenanya dapat digunakan dengan cara yang sama untuk mendapatkan pengukuran resistansi.



Gambar 3.3 Multimeter; (a) digital, (b) analog

3.2 Pengukuran Tegangan

Semua jenis meter digital pada dasarnya adalah bentuk modifikasi dari voltmeter digital (DVM), terlepas dari kuantitas yang dirancang untuk diukur. Pengukur digital dirancang untuk mengukur jumlah selain tegangan, pada kenyataannya, voltmeter digital yang berisi rangkaian listrik untuk mengubah sinyal pengukuran arus atau hambatan menjadi sinyal tegangan.

Multimeter digital juga pada dasarnya voltmeter digital yang berisi beberapa konversi sirkuit, sehingga memungkinkan pengukuran tegangan, arus, dan resistansi dalam satu instrumen. Meter digital telah dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan akan akurasi pengukuran yang lebih tinggi dan kecepatan respons yang lebih cepat terhadap perubahan tegangan daripada yang dapat dicapai dengan instrumen analog.

Mereka secara teknis lebih unggul dari meter analog di hampir segala hal. Sifat biner dari pembacaan output dari instrumen digital dapat diterapkan dengan mudah ke tampilan yang berbentuk dari angka diskrit. Di mana operator manusia diharuskan mengukur dan merekam tegangan sinyal tingkat, bentuk output ini memberikan kontribusi penting untuk keandalan pengukuran dan akurasi, karena masalah kesalahan paralaks meter analog dihilangkan dan kemungkinan kesalahan kotor melalui salah membaca

output meteran sangat berkurang. Ketersediaan di banyak instrumen output langsung dalam bentuk digital juga sangat berguna dalam berkembang pesat berbagai aplikasi kontrol komputer. Nilai ketidakakuratan yang dikutip adalah antara $\pm 0,005\%$ (mengukur tegangan d.c.) dan $\pm 2\%$.

Meter digital juga memiliki impedansi input yang sangat tinggi ($10\text{ M}\Omega$ dibandingkan dengan $1\text{--}20\text{ K}\Omega$ untuk meter analog), yang menghindari sistem pengukuran masalah pembebanan yang sering terjadi ketika meter analog digunakan.

Keuntungan tambahan dari meter digital adalah kemampuannya untuk mengukur sinyal frekuensi hingga 1 MHz dan penyertaan fitur umum seperti rentang otomatis, yang mencegah kelebihan beban dan koneksi polaritas terbalik, dll.

Bagian utama dari voltmeter digital adalah sirkuit yang mengubah tegangan analog menjadi diukur menjadi besaran digital. Sebagai instrumen hanya mengukur d.c. besaran dalam mode dasarnya, komponen lain yang diperlukan di dalamnya adalah komponen yang melakukan konversi dari AC ke DC dan dengan demikian memberikannya kemampuan untuk mengukur a.c. sinyal. Setelah konversi, nilai tegangan ditampilkan oleh alat penunjuk tabung atau satu set dioda pemancar cahaya keadaan padat. Empat, lima, atau genap tampilan keluaran enam angka biasanya digunakan, dan meskipun instrumen itu sendiri mungkin tidak secara inheren lebih akurat daripada beberapa jenis analog, bentuk tampilan ini memungkinkan pengukuran untuk direkam dengan akurasi yang jauh lebih besar daripada yang dapat diperoleh dengan membaca skala meter analog.

Voltmeter digital berbeda terutama dalam teknik yang digunakan untuk memengaruhi analog-ke-digital konversi antara tegangan analog terukur dan pembacaan digital keluaran. Secara umum, metode konversi yang lebih

mahal dan rumit mencapai konversi yang lebih cepat. Beberapa jenis DVM yang umum dibahas di sini.

3.2.1. Voltmeter Digital Konversi Tegangan-ke-Waktu

Ini adalah bentuk DVM yang paling sederhana dan merupakan jenis instrumen ramp. Ketika tegangan tidak diketahui sinyal diterapkan ke terminal input instrumen, bentuk gelombang kemiringan lereng negatif adalah dihasilkan secara internal dan dibandingkan dengan sinyal input. Ketika keduanya sama, pulsa adalah dihasilkan yang membuka gerbang dan di kemudian hari pulsa kedua menutup gerbang ketika tegangan jalan negatif mencapai nol. Lamanya waktu antara pembukaan gerbang dan penutupan dipantau oleh penghitung elektronik, yang menghasilkan tampilan digital sesuai dengan tingkat sinyal tegangan input. Kelemahan utamanya adalah nonlinier dalam bentuk bentuk gelombang jalan yang digunakan dan kurangnya penolakan kebisingan; masalah ini menyebabkan ketidakakuratan yang khas dari $\pm 0,05\%$.

3.2.2. Voltmeter Digital Potensiometrik

Voltmeter Digital Potensiometrik menggunakan prinsip servo, di mana kesalahan antara level tegangan input yang tidak diketahui dan tegangan referensi diterapkan ke potensiometer yang digerakkan servo yang menyesuaikan tegangan referensi hingga menyeimbangkan tegangan yang tidak diketahui. Pembacaan output dihasilkan oleh tampilan digital tipe drum mekanis yang digerakkan oleh potensiometer. Ini juga merupakan bentuk yang relatif murah dari DVM yang memberikan kinerja luar biasa untuk harganya.

3.2.3. Pengukur Tegangan Digital Integrasi *Dual Slope*

Ini adalah bentuk lain yang relatif sederhana dari DVM yang memiliki kemampuan penolakan yang lebih baik daripada banyak jenis lainnya dan memberikan akurasi pengukuran yang lebih baik (ketidakakuratan $\pm 0,005\%$). Sayangnya, harganya cukup mahal. Tegangan yang tidak diketahui diterapkan ke integrator untuk waktu yang tetap, T_1 , setelah itu tegangan referensi dari tanda yang berlawanan diterapkan ke integrator, yang melepaskan ke keluaran nol dalam interval, T_2 , diukur dengan pencacah. Hubungan output-waktu untuk integrator ditunjukkan pada Gambar 3.4, dari mana tegangan yang tidak diketahui, V_i , dapat dihitung secara geometris dari segitiga dengan persamaan berikut.

$$V_i = V_{ref} (T_1 - T_2) \quad (3.2)$$

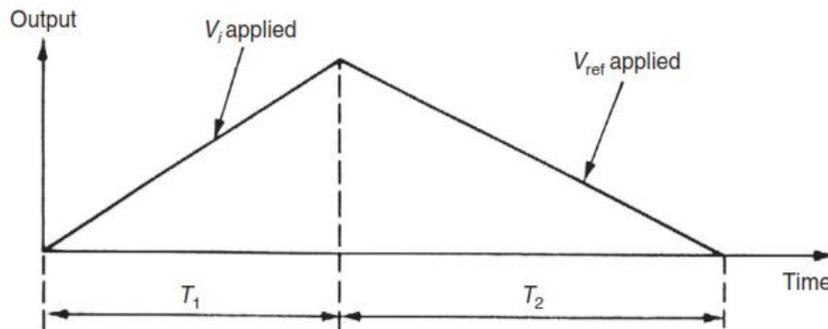
3.2.4. Voltmeter Digital Konversi Tegangan-ke-Frekuensi

Dalam instrumen ini, sinyal tegangan yang tidak diketahui diumpankan melalui sakelar jangkauan dan penguat ke dalam rangkaian konverter yang outputnya berupa rangkaian pulsa tegangan pada frekuensi yang sebanding dengan besarnya sinyal input. Keuntungan utama dari jenis DVM ini adalah kemampuannya untuk menolak gangguan dari tegangan AC.

3.2.5. Multimeter Digital

Ini adalah perpanjangan dari DVM. Itu bisa mengukur keduanya tegangan AC dan DC pada sejumlah rentang melalui penyertaan di dalamnya dari satu set amplifier dan attenuator yang dapat dialihkan. Ini digunakan secara luas dalam aplikasi uji sirkuit sebagai alternatif multimeter analog dan

termasuk sirkuit perlindungan yang mencegah kerusakan jika tegangan tinggi diterapkan pada rentang yang salah.

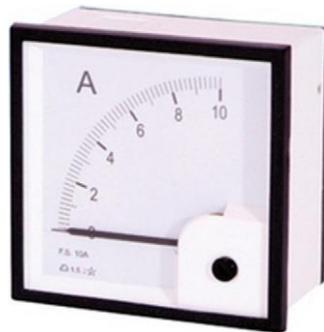


Gambar 3.4 Hubungan keluaran-waktu untuk integrator dalam voltmeter digital *dual slope*.

3.2.6. Meter Analog

Terlepas dari keunggulan teknis meter digital, terutama dalam hal akurasi yang lebih besar dan impedansi input yang jauh lebih tinggi, meter analog terus digunakan dalam jumlah yang signifikan dari aplikasi. Pertama, mereka sering lebih disukai sebagai indikator di panel kontrol sistem. Ini karena penyimpangan parameter terkontrol jauh dari kisaran normal yang diharapkan terlihat lebih mudah dengan penunjuk yang bergerak melawan skala dalam meter analog daripada dengan variasi dalam tampilan keluaran numerik dari meteran digital. Panel analog yang tersedia secara komersial meter ditunjukkan pada Gambar 3.5. Instrumen analog juga cenderung lebih sedikit mengalami noise dan masalah isolasi, yang mendukung penggunaannya dalam beberapa aplikasi. Selain itu, karena analog instrumen biasanya instrumen pasif yang tidak memerlukan catu daya, ini sering sangat berguna dalam aplikasi pengukuran di mana catu daya utama yang sesuai tidak tersedia. Banyak contoh meter analog juga tetap digunakan karena alasan historis. Pengukur analog adalah perangkat elektromekanis yang

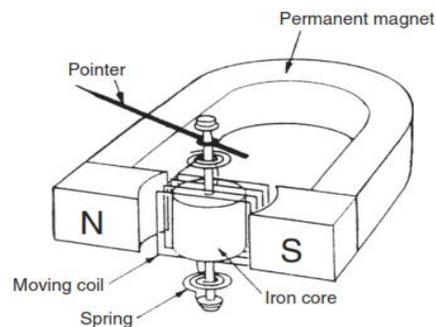
mengarahkan penunjuk ke skala. Mereka rentan terhadap kesalahan pengukuran dari sejumlah sumber yang mencakup penandaan skala yang tidak akurat selama pembuatan, gesekan bantalan, penunjuk bengkok, dan variasi suhu sekitar. Kesalahan manusia lebih lanjut diperkenalkan melalui kesalahan paralaks (tidak membaca skala secara langsung di atas) dan kesalahan dalam interpolasi antara tanda skala. Nilai ketidaktepatan yang dikutip adalah antara $\pm 0,1\%$ dan $\pm 3\%$. Berbagai jenis meter analog digunakan seperti yang dibahas di sini.



Gambar 3.5 Pengukur panel analog *Eltime* (direproduksi dengan izin Kontrol *Eltime*).

3.2.7. Pengukur Koil Bergerak

Pengukur kumparan bergerak adalah bentuk voltmeter analog yang sangat umum digunakan karena sensitivitas, akurasi, dan skala liniernya, meskipun hanya merespon arus searah. sinyal. Seperti yang ditunjukkan secara skema pada Gambar 3.6, yaitu terdiri dari kumparan persegi panjang yang dililitkan di sekitar inti besi lunak yang digantung di medan magnet permanen.



Gambar 3.6 Mekanisme meter kumparan bergerak.

Sinyal yang diukur diterapkan pada koil, yang menghasilkan medan magnet radial. Interaksi antara medan induksi ini dan medan yang dihasilkan oleh magnet permanen menyebabkan torsi, yang menghasilkan putaran kumparan. Jumlah putaran kumparan diukur dengan menempelkan penunjuk yang bergerak melewati skala bertingkat. Torsi teoritis yang dihasilkan dapat ditentukan dengan persamaan:

$$T = B \cdot I \cdot h \cdot w \cdot n \quad (3.3)$$

di mana B adalah rapat fluks medan radial, I adalah arus yang mengalir dalam kumparan, h adalah tinggi kumparan, w adalah lebar kumparan, dan N adalah jumlah lilitan dalam kumparan. Jika inti besi berbentuk silinder dan celah udara antara permukaan kumparan dan kutub magnet permanen seragam, maka kerapatan fluks B adalah konstan dan Persamaan (3.4) dapat ditulis ulang sebagai berikut.

$$T = K \cdot I \quad (3.4)$$

yaitu, torsi sebanding dengan arus kumparan dan skala instrumen linier.

Karena instrumen dasar beroperasi pada level arus rendah sekitar satu miliampere, instrumen ini hanya cocok untuk mengukur voltase hingga

sekitar 2 volt. Jika ada persyaratan untuk mengukur voltase yang lebih tinggi, rentang pengukuran instrumen dapat ditingkatkan dengan menempatkan resistansi secara seri dengan koil, sehingga hanya sebagian voltase yang diketahui yang diukur oleh meteran. Dalam situasi ini resistansi tambahan dikenal sebagai resistor *shunting*.

Sementara gambar 3.4 menunjukkan instrumen kumparan bergerak tradisional dengan magnet permanen berbentuk U yang panjang, banyak instrumen yang lebih baru menggunakan magnet yang jauh lebih pendek yang terbuat dari bahan magnet yang baru dikembangkan seperti Alnico dan Alcomax. Bahan-bahan ini menghasilkan kerapatan fluks yang jauh lebih besar, yang selain memungkinkan magnet menjadi lebih kecil, memiliki keuntungan tambahan dalam memungkinkan pengurangan ukuran koil dan dalam meningkatkan rentang defleksi koil yang dapat digunakan hingga sekitar 120°. Beberapa versi instrumen juga memiliki inti berbentuk khusus atau permukaan kutub magnet berbentuk khusus untuk memenuhi situasi khusus di mana skala nonlinier, seperti skala logaritmik sangat diperlukan.

3.3 Pengukuran Arus

Pengukuran arus diperlukan untuk perangkat seperti sensor tekanan pengukur termokopel dan pengukur ionisasi yang memiliki keluaran berupa arus listrik yang bervariasi. Ini sering juga diperlukan dalam sistem transmisi sinyal yang mengubah sinyal yang diukur menjadi arus yang bervariasi. Setiap voltmeter digital dan analog dapat mengukur arus jika meter ditempatkan secara seri dengan rangkaian pembawa arus dan batas frekuensi yang sama berlaku untuk sinyal yang diukur seperti yang mereka lakukan untuk pengukuran tegangan. Batas frekuensi atas untuk pengukuran arus AC dapat dinaikkan dengan memperbaiki arus sebelum pengukuran. Untuk

meminimalkan efek pembebanan pada sistem yang diukur, setiap alat ukur arus harus mempunyai hambatan yang kecil. Ini kebalikan dari kasus untuk pengukuran tegangan di mana instrumen diharuskan memiliki resistansi tinggi untuk minimal pembebanan sirkuit.

Selain persyaratan untuk mengukur arus level sinyal, banyak aplikasi pengukuran juga memerlukan arus listrik dengan magnitudo yang lebih tinggi untuk diukur. Oleh karena itu, pembahasan berikut mencakup pengukuran arus pada level sinyal dan magnitudo yang lebih tinggi. Pengukur analog berguna dalam aplikasi di mana ada kebutuhan untuk menampilkan nilai terukur pada panel kontrol. Instrumen kumparan bergerak digunakan sebagai panel meter untuk mengukur d.c. arus dalam kisaran milliamp hingga satu ampere. Meteran besi yang bergerak dapat mengukur baik DC dan AC hingga beberapa ratus ampere secara langsung. Untuk mengukur arus yang lebih besar dengan meter elektromekanis, perlu untuk memasukkan resistansi shunt ke dalam rangkaian dan mengukur penurunan tegangan di atasnya.

Terlepas dari gangguan yang nyata dari sistem yang diukur, satu kesulitan khusus yang dihasilkan dari teknik ini adalah disipasi daya yang besar pada *shunt*. Dalam kasus pengukuran AC, perhatian juga harus diberikan untuk mencocokkan resistansi dan reaktansi shunt dengan alat ukur sehingga distorsi frekuensi dan bentuk gelombang pada sinyal yang diukur dapat dihindari.

Trafo arus menyediakan metode alternatif untuk mengukur arus berkekuatan tinggi, yang menghindari kesulitan merancang shunt yang sesuai. Versi yang berbeda dari ini ada untuk mengubah kedua d.c. dan a.c. arus. sebuah d.c. transformator arus ditunjukkan pada Gambar 3.5. DC pusat konduktor dalam instrumen diulir melalui dua inti magnetik yang membawa dua belitan impedansi tinggi yang terhubung dalam oposisi seri. Dapat

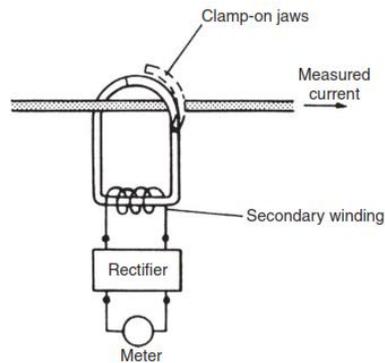
ditunjukkan bahwa arus yang mengalir pada belitan ketika dieksitasi dengan tegangan AC sebanding dengan arus DC pada konduktor pusat. Arus keluaran ini biasanya disearahkan dan kemudian diukur dengan DC voltmeter.

Sebuah AC Trafo arus biasanya memiliki belitan primer yang hanya terdiri dari beberapa lilitan tembaga yang dililitkan pada inti persegi panjang atau berbentuk cincin. Belitan sekunder, bagaimanapun, biasanya memiliki beberapa ratus putaran sesuai dengan rasio *step-down* saat ini yang diperlukan. Keluaran belitan sekunder diukur dengan instrumen pengukur arus yang sesuai. Desain transformator arus secara substansial berbeda dari transformator tegangan. Kekakuan konstruksi mekanisnya harus cukup untuk menahan gaya besar yang timbul dari arus hubung singkat dan perhatian khusus harus diberikan pada insulasi antara belitannya untuk alasan yang sama. Bahan inti dengan rugi-rugi rendah digunakan dan kerapatan fluks dijaga sekecil mungkin untuk mengurangi rugi-rugi. Dalam kasus arus yang sangat tinggi, belitan primer sering kali terdiri dari batang tembaga tunggal yang berperilaku sebagai belitan satu putaran. Pengukur penjepit, adalah contoh yang baik untuk ini. Semua instrumen lain untuk mengukur tegangan yang dibahas dalam bab ini dapat diterapkan pada pengukuran arus dengan menggunakannya untuk mengukur jatuh tegangan pada resistansi yang diketahui yang ditempatkan secara seri dengan rangkaian pembawa arus. Voltmeter digital digunakan secara luas untuk mengukur arus secara akurat dengan metode ini dan osiloskop sering digunakan untuk memperoleh perkiraan pengukuran dalam aplikasi uji rangkaian. Terakhir, harus disebutkan juga penggunaan multimeter digital dan analog untuk pengukuran arus, khususnya dalam aplikasi uji sirkuit. Instrumen ini mencakup satu set resistor yang dapat dilepas sehingga dapat mengukur arus pada rentang yang

luas. Sirkuit pelindung dalam instrumen tersebut mencegah kerusakan saat arus tinggi diterapkan pada rentang input yang salah.

3.3.1 Meter Clamp On

Meter *Clamp on* digunakan untuk mengukur arus dan tegangan sirkuit dengan cara non-invasif yang menghindari pemutusan sirkuit yang sedang diukur. Meteran menjepit ke konduktor pembawa arus dan pembacaan output diperoleh dengan tindakan transformator.



Gambar 3.5 Skema meter penjepit.

Prinsip operasi diilustrasikan pada Gambar 3.7, di mana dapat dilihat bahwa penjepit pada rahang instrumen bertindak sebagai inti transformator dan konduktor pembawa arus bertindak sebagai belitan primer. Saat ini diinduksi dalam gulungan sekunder diperbaiki dan diterapkan pada meteran kumparan bergerak. Meskipun merupakan instrumen yang sangat nyaman untuk digunakan, meter penjepit memiliki sensitivitas rendah dan minimum arus terukur biasanya sekitar 1 amp.

RANGKUMAN MATERI

1. Perangkat yang mengubah besaran terukur menjadi perubahan resistansi termasuk resistansi termometer, termistor, pengukur tekanan kumparan kawat, dan pengukur regangan. Perangkat standar dan metode yang tersedia untuk mengukur perubahan resistansi, yang diukur dalam satuan ohm (Ω), termasuk rangkaian jembatan DC, metode voltmeter-ammeter, metode resistansi-substitusi, digital voltmeter, dan ohmmeter.
2. Sirkuit jembatan DC, menyediakan metode pengukuran yang paling umum digunakan nilai resistansi nilai sedang. Akurasi pengukuran terbaik disediakan oleh tipe keluaran nol Jembatan Wheatstone, dan nilai ketidaktepatan kurang dari 0,02% dapat dicapai dengan instrumen yang tersedia secara komersial.
3. Metode voltmeter-ampere-meter terdiri dari penerapan DC terukur. Tegangan melintasi resistansi yang tidak diketahui dan mengukur arus yang mengalir sebagai pendekatannya. Ada dua alternatif untuk menghubungkan dua meter, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1. Pada Gambar 3.1a, ammeter mengukur arus yang mengalir di voltmeter dan resistansi. Kesalahan karena ini diminimalkan ketika resistansi yang diukur relatif kecil terhadap resistansi voltmeter.



4. Dalam metode substitusi resistansi, resistansi yang tidak diketahui dalam rangkaian digantikan sementara oleh resistansi variabel. Resistansi variabel disesuaikan sampai tegangan dan arus rangkaian yang diukur sama dengan yang ada dengan resistansi yang tidak

- diketahui pada tempatnya. Resistansi variabel pada titik ini sama nilainya dengan resistansi yang tidak diketahui.
5. Sebuah voltmeter digital juga dapat digunakan untuk mengukur resistansi jika sumber arus yang akurat adalah termasuk di dalamnya yang melewati arus melalui resistansi. Ini dapat memberikan pengukuran ketidakakuratan sekecil $\pm 0,1\%$.
 6. Ohmmeter digunakan untuk mengukur resistansi pada rentang yang luas dari beberapa miliohm hingga $50\text{ M}\Omega$. Generasi pertama ohmmeter berisi baterai yang menerapkan tegangan yang diketahui melintasi kombinasi resistansi yang tidak diketahui dan resistansi yang diketahui secara seri.
 7. Semua jenis meter digital pada dasarnya adalah bentuk modifikasi dari voltmeter digital (DVM), terlepas dari kuantitas yang dirancang untuk diukur. Pengukur digital dirancang untuk mengukur jumlah selain tegangan, pada kenyataannya, voltmeter digital yang berisi rangkaian listrik untuk mengubah sinyal pengukuran arus atau hambatan menjadi sinyal tegangan.
 8. Multimeter digital juga pada dasarnya voltmeter digital yang berisi beberapa konversi sirkuit, sehingga memungkinkan pengukuran tegangan, arus, dan resistansi dalam satu instrumen.
 9. Meter digital juga memiliki impedansi input yang sangat tinggi ($10\text{ M}\Omega$ dibandingkan dengan $1\text{--}20\text{ K}\Omega$ untuk meter analog), yang menghindari sistem pengukuran masalah pembebanan yang sering terjadi ketika meter analog digunakan.
 10. Keuntungan tambahan dari meter digital adalah kemampuannya untuk mengukur sinyal frekuensi hingga 1 MHz dan penyertaan fitur umum seperti rentang otomatis, yang mencegah kelebihan beban dan koneksi polaritas terbalik, dll.

11. Pengukur analog adalah perangkat elektromekanis yang mengarahkan penunjuk ke skala. Mereka rentan terhadap kesalahan pengukuran dari sejumlah sumber yang mencakup penandaan skala yang tidak akurat selama pembuatan, gesekan bantalan, penunjuk bengkok, dan variasi suhu sekitar. Kesalahan manusia lebih lanjut diperkenalkan melalui kesalahan paralaks (tidak membaca skala secara langsung di atas) dan kesalahan dalam interpolasi antara tanda skala. Nilai ketidaktepatan yang dikutip adalah antara $\pm 0,1\%$ dan $\pm 3\%$.
12. Pengukuran arus diperlukan untuk perangkat seperti sensor tekanan pengukur termokopel dan pengukur ionisasi yang memiliki keluaran berupa arus listrik yang bervariasi. Ini sering juga diperlukan dalam sistem transmisi sinyal yang mengubah sinyal yang diukur menjadi arus yang bervariasi.
13. Setiap voltmeter digital dan analog dapat mengukur arus jika meter ditempatkan secara seri dengan rangkaian pembawa arus dan batas frekuensi yang sama berlaku untuk sinyal yang diukur seperti yang mereka lakukan untuk pengukuran tegangan.
14. Meter *Clamp on* digunakan untuk mengukur arus dan tegangan sirkuit dengan cara non-invasif yang menghindari pemutusan sirkuit yang sedang diukur. Meteran menjepit ke konduktor pembawa arus dan pembacaan output diperoleh dengan tindakan transformator.

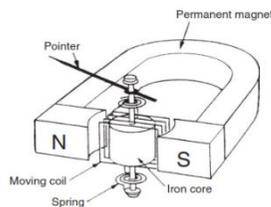
EVALUASI MATERI

BAB III – PENGUKURAN HAMBATAN, TEGANGAN DAN ARUS LISTRIK

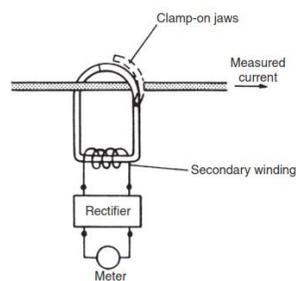
Jawablah pertanyaan dibawah ini dengan benar sesuai dengan materi yang disampaikan dalam Bab III!

Soal:

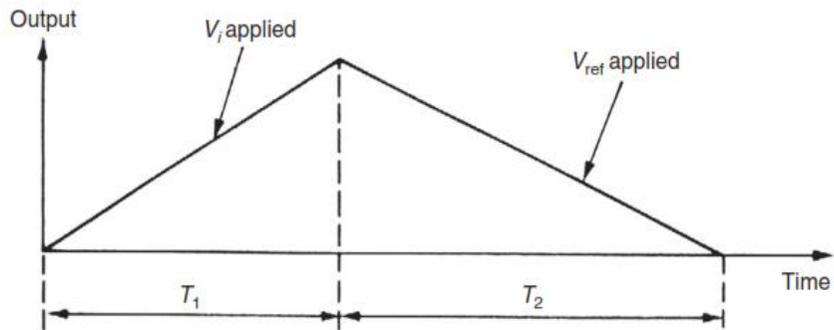
1. Jelaskan fungsi sirkuit jembatan DC untuk pengukuran hambatan!
2. Jelaskan dan gambarkan metode voltmeter-ampere-meter untuk mengukur resistansi!
3. Jelaskan tahapan pengukuran resistansi menggunakan metode substitusi resistansi pengganti!
4. Perhatikan gambar di bawah ini!



5. Jelaskan prinsip kerja dari alat ukur yang menggunakan pendekatan seperti di atas!
6. Jelaskan keuntungan dan penggunaan dari meter digital dibandingkan dengan meter analog!
7. Jelaskan perbedaan konsep pengukuran tegangan dan arus dilihat dari sisi resistansi dari alat ukur!
8. Perhatikan gambar di bawah ini!



9. Jelaskan prinsip kerja dari clamp on meter dan berikan contoh aplikasi penggunaannya!
10. Jelaskan fungsi resistor shunt dalam pengukuran tegangan!
11. Perhatikan gambar di bawah ini!



12. Jelaskan hubungan antara parameter T_1 , T_2 , V_1 dan V_{ref} dalam kurva di atas!
13. Jelaskan prinsip kerja voltmeter digital potensiometerik!

BAB IV

PENGUNAAN ALAT UKUR AVO METER UNTUK PENGECEKAN KOMPONEN ELEKTRONIKA

4.1 Prinsip Kerja AVO Meter

AVO (*Ampere Volt Ohm*) Meter adalah adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur arus listrik, tegangan, dan hambatan. Adapun ketiga jenis pengukuran tersebut dapat dilakukan sekaligus dalam satu alat yang disebut dengan AVO meter. Terdapat beberapa jenis AVO meter yang dijual di pasaran antara lain AVO meter analog dan AVO meter digital. Bentuk dari AVO meter analog dan digital ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 AVO Meter analog dan digital

AVO meter dapat digunakan untuk melakukan pengukuran tegangan dan arus AC/DC sesuai dengan skala yang tersedia. Pemilihan skala dapat dilakukan dengan mengatur selektor ukur sesuai dengan keperluan pengukuran. Selain itu, untuk mengoneksikan antara beban yang diukur dengan alat ukur, 2 jenis *probe* warna hitam dan merah digunakan sebagai penghubung. *Probe* warna merah menandakan polaritas positif, sedangkan

probe warna hitam menandakan polaritas negatif (*ground*). Adapun struktur dari AVO meter di tampilkan pada gambar 4.2



Gambar 4.2 Bagian dari AVO Meter.

Gambar 4.2 menunjukkan struktur dan bagian-bagian dari AVO meter jenis analog. Adapun fungsi dari masing-masing bagian adalah:

4.1.1 Papan Ukur

Papan ukur berfungsi untuk menunjukkan hasil pengukuran yang dilakukan yaitu pengukuran tegangan, arus dan hambatan. Selain itu, di dalam papan ukur juga terdapat berbagai macam jenis skala yang dapat digunakan sesuai dengan kebutuhan pada saat pengukuran dan jaru penunjuk yang menunjukkan nilai dari hasil pengukuran.

4.1.2 Tombol Kalibrasi Tegangan dan Arus (*Voltage and Current Zero Adjustment*)

Kalibrasi adalah kegiatan untuk melakukan standardisasi alat ukur dengan membandingkan dengan standar yang sudah ditetapkan. Dalam penggunaan AVO meter terdapat 2 tombol untuk kalibrasi yaitu kalibrasi tegangan dan hambatan. Tombol kalibrasi tegangan berfungsi untuk menempatkan jarum penunjuk agar berada pada titik 0 untuk keperluan pengukuran tegangan AC/DC dan arus DC. Umumnya, pada saat melakukan pengukuran tegangan dan arus jarum penunjuk akan berada pada posisi angka 0 yang ada di posisi kiri. Untuk melakukan kalibrasi tegangan dan arus dapat menggunakan obeng trim untuk memutar tuas yang berada pada bagian tengah AVO meter sehingga jarum tepat berada di angka 0.

4.1.3 Selektor dan Batas Skala Ukur

Selektor dan batas skala alat ukur berfungsi untuk menentukan jenis pengukuran yang dilakukan dan skala maksimal yang digunakan dalam proses pengukuran. Untuk melakukan pengukuran tegangan maka selektor dapat ditempatkan di DCV atau ACV sedangkan untuk pengukuran arus DCA. Selanjutnya, untuk pengukuran hambatan selektor dapat ditempatkan pada bagian Ω . Selain itu, terdapat beberapa jenis skala yang dapat digunakan dalam proses pengukuran antara lain $\times 10 \Omega$, $\times 100 \Omega$, $\times 1000 \Omega$, $\times 1K \Omega$ untuk pengukuran hambatan sedangkan untuk pengukuran tegangan DC yaitu 0.1 VDC, 0.25 VDC, 0.5 VDC, 10 VDC, 250 VDC dan 1000 VDC. Untuk pengukuran tegangan AC terdapat beberapa skala yang dapat digunakan antara lain 10 VAC, 50 VAC, 250 VAC dan 750 VAC sedangkan untuk skala pengukuran arus adalah 0.25 A, 25 mA, 2.5 mA, dan 50 μ A. Penggunaan jenis selektor dan batas ukur disesuaikan dengan jenis pengukuran dan batas harga maksimal dari perangkat yang akan diukur.

4.1.4 Skala Ukur

Skala ukur berfungsi untuk membatasi hasil pengukuran sesuai dengan batas maksimal yang ditetapkan pada selektor dan batas skala ukur. Terdapat beberapa jenis skala yang digunakan pada AVO meter antara lain skala pengukuran hambatan, skala pengukuran tegangan AC/DC, dan skala pengukuran arus DC. Skala ukur hambatan menggunakan skala ukur *non-linear* hal ini disebabkan karena adanya perbedaan jarak antara tiap titik pada skala yang digunakan, sedangkan untuk pengukuran tegangan dan arus jenis skala yang digunakan adalah skala *linear* dengan jarak tiap titik skala adalah sama. Skala ukur harus disesuaikan dengan batas maksimal nilai yang diukur dari beban ukur, hal ini bertujuan agar proses pembacaan hasil ukur lebih akurat dan presisi.

4.1.5 Probe Merah

Probe merah digunakan untuk menghubungkan AVO meter dengan beban ukur yang memiliki polaritas positif. Hal ini biasanya dilakukan untuk sumber beban DC yang memiliki polaritas sedangkan untuk sumber beban AC dan hambatan tidak perlu memperhatikan polaritas sehingga dapat ditempatkan secara bebas.

4.1.6 Probe Hitam

Probe hitam digunakan untuk menghubungkan AVO meter dengan beban ukur yang memiliki polaritas negatif. Hal ini biasanya dilakukan untuk sumber beban DC yang memiliki polaritas sedangkan untuk sumber beban AC dan hambatan tidak perlu memperhatikan polaritas sehingga dapat ditempatkan secara bebas.

4.1.7 Tombol Kalibrasi Hambatan (0Ω Zero Adjustment)

Selain kalibrasi tegangan, AVO meter juga dilengkapi dengan tombol kalibrasi hambatan yang berfungsi untuk menempatkan jarum ukur berada pada titik 0 pada skala Ω . Adapun cara untuk melakukan kalibrasi pada hambatan adalah dengan menempelkan probe merah dan probe negatif secara bersamaan dan mengatur titik 0 pada skala dengan menggunakan tombol kalibrasi hambatan. Hal yang penting untuk diperhatikan bahwa kalibrasi hambatan harus dilakukan untuk tiap perubahan skala dan sebelum pengukuran dilakukan. Misalnya, kita menggunakan skala $\times 10 \Omega$ maka prosedur kalibrasi dilakukan sebelum pengukuran dan jika kita merubah skala menjadi $\times 100 \Omega$ maka kalibrasi ulang perlu dilakukan, atau dengan kata lain kalibrasi hanya berlaku untuk tiap skala yang digunakan dan tidak berlaku secara umum untuk tiap skala pada alat ukur.

4.2 Penggunaan AVO Meter sebagai *Multimeter*

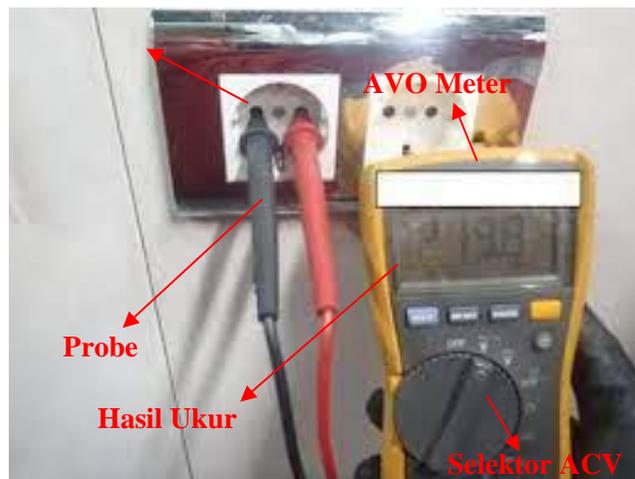
AVO meter dapat juga disebut dengan *multimeter* karena dapat digunakan untuk melakukan pengukuran beberapa besaran listrik yaitu arus (*Ampere*), tegangan (*Volt*), dan hambatan (*Ohm*). Adapun prosedur dari masing-masing pengukuran besaran listrik adalah sebagai berikut.

4.2.1 Pengukuran Tegangan AC

Pengukuran tegangan AC dapat dilakukan untuk sumber tegangan bolak balik seperti tegangan jala-jala PLN, transformator, ataupun sumber lainnya. Dalam melakukan pengukuran tegangan AC yang perlu diperhatikan adalah pastikan bahwa selektor dan skala alat ukur telah diatur pada posisi ACV. Kesalahan pada penempatan selektor pada pengukuran tegangan ACV akan menyebabkan sekring dari AVO meter putus ataupun kerusakan pada rangkaian pengontrol jarum penunjuk. Untuk itu, sebelum melakukan

pengukuran perlu dilakukan pengamatan secara cermat agar selektor dan skala ukur telah sesuai dengan jenis pengukuran yang akan dilakukan. Prosedur pengukuran tegangan ACV ditunjukkan pada gambar 4.3.

Sumber ACV



Gambar 4.3 Proses Pengukuran Tegangan AC.

Gambar 4.3 menunjukkan proses pengukuran tegangan AC menggunakan AVO meter digital dengan sumber yang berasal dari jala-jala PLN. Adapun tahapan yang dilakukan dalam melakukan pengukuran tegangan AC adalah sebagai berikut.

- Tempatkan selektor alat ukur pada ACV dan pilih skala yang paling tinggi untuk mencegah terjadi *over load* pada proses pengukuran.
- Lakukan pengecekan jarum penunjuk ukur di posisi kiri AVO meter apakah sudah berada di posisi 0, jika belum maka kita harus melakukan kalibrasi dengan memutar tuas tombol kalibrasi tegangan yang ada di bagian tengah AVO meter.

- c. Tempatkan *probe* merah dan *probe* hitam pada kedua terminal beban yang akan diukur (terhubung paralel dengan beban). Untuk pengukuran AC tidak perlu memperhatikan polaritas sehingga probe bisa ditempatkan secara bebas. Hal yang perlu diperhatikan adalah hindari sentuhan langsung antara probe merah dan probe hitam pada saat pengukuran untuk mencegah kerusakan pada AVO meter karena hubungan arus singkat.
- d. Lakukan pembacaan pada alat ukur sesuai dengan skala dan batas maksimal ukur yang digunakan.
- e. Catat dan tulis pengukuran yang dilakukan, umumnya pengukuran dilakukan berkali-kali dengan batas minimal 3 kali. Selanjutnya, olah data hasil pengukuran untuk mengetahui tingkat kesalahan, akurasi, dan presisi dari proses pengukuran.

4.2.2 Pengukuran Tegangan DC

Pengukuran tegangan DC dapat dilakukan untuk sumber tegangan yang berasal dari baterai, *power supply*, ataupun sumber tegangan yang searah lainnya. Hal yang sama seperti pengukuran tegangan AC, pemilihan selektor dan batas ukur menjadi hal yang sangat penting sebelum pengukuran dilakukan untuk mencegah terjadinya kerusakan pada alat ukur. Pada pengukuran tegangan DC, penempatan probe pengukuran terhadap titik lokasi pengukuran harus sesuai dengan polaritas dari beban yang diukur. Kesalahan penempatan probe akan mengakibatkan jarum bergerak kearah sebaliknya sehingga hasil pengukuran tidak dapat terbaca dengan baik dan benar. Proses dan mekanisme pengukuran tegangan DC ditunjukkan pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Proses Pengukuran Tegangan DC

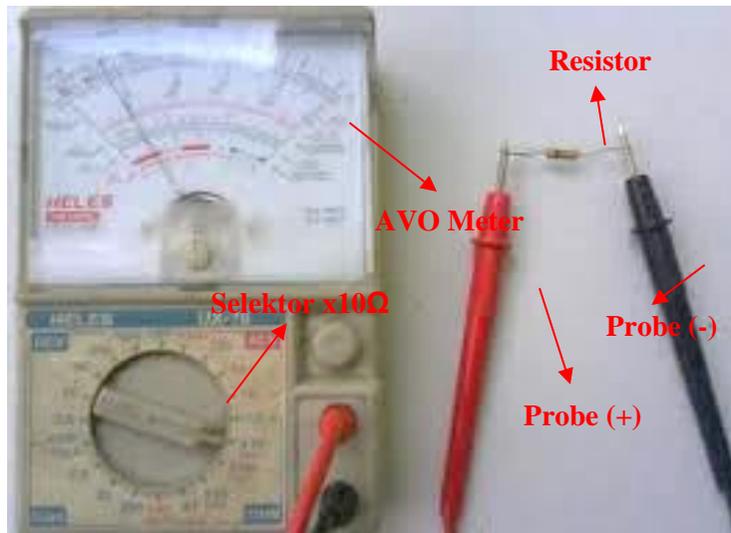
Gambar 4.4 menunjukkan proses pengukuran tegangan DC menggunakan AVO meter digital dengan sumber yang berasal dari sumber baterai 9 VDC. Adapun tahapan yang dilakukan dalam melakukan pengukuran tegangan DC adalah sebagai berikut.

- Tempatkan selektor alat ukur pada DCV dan pilih skala yang paling tinggi untuk mencegah terjadi *over load* pada proses pengukuran.
- Lakukan pengecekan jarum penunjuk ukur di posisi kiri AVO meter apakah sudah berada di posisi 0, jika belum maka kita harus melakukan kalibrasi dengan memutar tuas tombol kalibrasi tegangan yang ada dibagian tengah AVO meter.
- Tempatkan *probe* merah dan *probe* hitam pada kedua terminal beban yang akan diukur (terhubung paralel dengan beban). Untuk pengukuran DC perlu memperhatikan polaritas, sehingga probe ditempatkan sesuai dengan polaritas positif dan negatif pada beban pengukuran. Hal yang perlu diperhatikan adalah hindari sentuhan langsung antara probe merah

- dan probe hitam pada saat pengukuran untuk mencegah kerusakan pada AVO meter karena hubungan arus singkat.
- d. Lakukan pembacaan pada alat ukur sesuai dengan skala dan batas maksimal ukur yang digunakan.
 - e. Catat dan tulis pengukuran yang dilakukan, umumnya pengukuran dilakukan berkali-kali dengan batas minimal 3 kali. Selanjutnya, olah data hasil pengukuran untuk mengetahui tingkat kesalahan, akurasi, dan presisi dari proses pengukuran.

4.2.3 Pengukuran Hambatan

Pengukuran hambatan dilakukan untuk mengetahui besaran nilai resistansi dari suatu perangkat elektronika contohnya adalah resistor. Dalam melakukan proses pengukuran hambatan, tahapannya hampir sama dengan proses pengukuran tegangan AC di mana prosesnya tidak perlu memperhatikan polaritas. Selanjutnya, sebelum melakukan proses pengukuran hambatan, diperlukan proses pembacaan terhadap beban yang diukur. Umumnya nilai resistansi dari sebuah resistor ditunjukkan dengan kode warna yang sudah ditetapkan standarnya. Proses dan mekanisme pengukuran hambatan ditunjukkan pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Proses Pengukuran Hambatan.

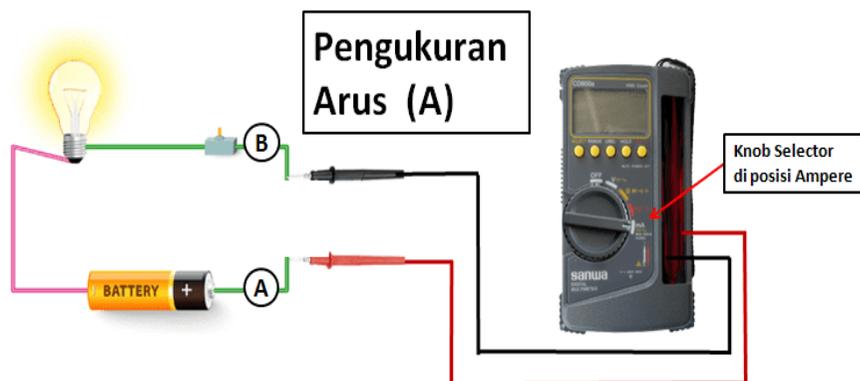
Gambar 4.5 menunjukkan proses pengukuran hambatan menggunakan AVO meter analago dengan beban resistor. Adapun tahapan yang dilakukan dalam melakukan pengukuran hambatan adalah sebagai berikut.

- Tempatkan selektor alat ukur pada Ω (x1, x10, x100, x1000) dan pilih skala yang sesuai dengan beban resistansi yang akan diukur. Dalam menentukan skala ukur perlu dilakukan perhitungan manual untuk mendapatkan nilai resistansi sebenarnya sebagai referensi yang nantinya akan dibandingkan dengan hasil pengukuran langsung.
- Lakukan proses kalibrasi sesuai dengan skala yang digunakan dan lakukan pengecekan jarum penunjuk ukur di posisi kanan AVO meter apakah sudah berada di posisi 0, jika belum maka kita harus melakukan kalibrasi dengan memutar tuas tombol kalibrasi hambatan yang ada dibagian sisi dari AVO meter.
- Tempatkan *probe* merah dan *probe* hitam pada kedua terminal beban yang akan diukur (terhubung paralel dengan beban). Untuk pengukuran

- DC tidak perlu memperhatikan polaritas sehingga probe ditempatkan secara bebas.
- d. Lakukan pembacaan pada alat ukur sesuai dengan skala dan batas maksimal ukur yang digunakan.
 - e. Catat dan tulis pengukuran yang dilakukan, umumnya pengukuran dilakukan berkali-kali dengan batas minimal 3 kali. Selanjutnya, olah data hasil pengukuran untuk mengetahui tingkat kesalahan, akurasi, dan presisi dari proses pengukuran.

4.2.4 Pengukuran Arus DC

Pengukuran arus dilakukan untuk mengahui besaran arus listrik (*Ampere*) yang mengalir pada sebuah rangkaian elektronika. Secara teori, arus listrik dapat diukur apabila sumber tegangan diberikan beban atau hambatan. Berbeda dengan pengukuran tegangan dan hambatan, pengukuran arus listrik dilakukan dengan menghubungkan secara seri antara beban yang diukur dan alat ukur yang digunakan. Proses dan mekanisme pengukuran arus ditunjukkan pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Proses Pengukuran Arus DC

Gambar 4.6 menunjukkan proses pengukuran arus menggunakan AVO meter digital dengan sumber tegangan dari baterai dan beban berupa

lampu. Adapun tahapan yang dilakukan dalam melakukan pengukuran hambatan adalah sebagai berikut.

- a. Tempatkan selektor alat ukur pada DCA dan pilih skala yang sesuai dengan beban resistansi yang akan diukur. Dalam menentukan skala ukur perlu dilakukan perhitungan manual untuk mendapatkan nilai resistansi sebenarnya sebagai referensi yang nantinya akan dibandingkan dengan hasil pengukuran langsung.
- b. Lakukan pengecekan jarum penunjuk ukur di posisi kiri AVO meter apakah sudah berada di posisi 0, jika belum maka kita harus melakukan kalibrasi dengan memutar tuas tombol kalibrasi tegangan yang ada dibagian tengah AVO meter.
- c. Tempatkan *probe* merah dan *probe* hitam pada kedua terminal beban yang akan diukur a dan b (terhubung seri dengan beban). Untuk pengukuran DCA perlu memperhatikan polaritas sehingga probe ditempatkan sesuai dengan polaritas positif dan negatif pada beban pengukuran. Hal yang perlu diperhatikan adalah hindari sentuhan langsung antara probe merah dan probe hitam pada saat pengukuran untuk mencegah kerusakan pada AVO meter karena hubungan arus singkat.
- d. Lakukan pembacaan pada alat ukur sesuai dengan skala dan batas maksimal ukur yang digunakan.
- e. Catat dan tulis pengukuran yang dilakukan, umumnya pengukuran dilakukan berkali-kali dengan batas minimal 3 kali. Selanjutnya, olah data hasil pengukuran untuk mengetahui tingkat kesalahan, akurasi dan presisi dari proses pengukuran.

4.3 Pembacaan Skala pada AVO Meter

Seperti yang sudah dibahas pada materi sebelumnya, bahwa skala pada AVO meter harus disesuaikan dengan jenis pengukuran dan batas maksimal sesuai dengan beban yang diukur. Selanjutnya, proses pembacaan skala ukur menjadi hal yang sangat penting untuk mendapatkan hasil pengukuran yang akurat dan presisi. Skala ukur hanya digunakan untuk AVO meter tipe analog yang menggunakan jarum penunjuk sedangkan untuk AVO meter tipe digital, hasil pengukuran ditunjukkan langsung dengan tampilan angka. Skala ukur yang terdapat dalam AVO meter analog ditunjukkan pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Skala ukur pada AVO Meter analog.

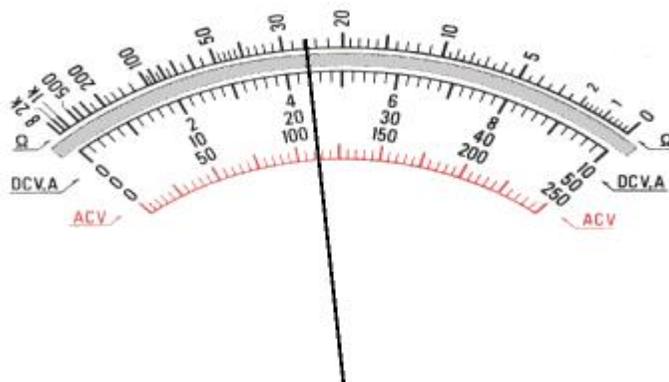
Gambar 4.7 menunjukkan skala ukur yang terdapat pada AVO meter analog yang terdiri dari 2 jenis skala yaitu skala linear dan skala nonlinear. Skala linear adalah skala yang memiliki rentangan yang tetap dan stabil, sedangkan skala nonlinear adalah skala yang memiliki rentangan yang tidak tetap dan berbeda-beda pada tiap titik. Skala nonlinear digunakan untuk pengukuran hambatan, sedangkan skala linear digunakan untuk pengukuran

tegangan dan arus listrik. Proses pembacaan skala ukur disesuaikan dengan besaran dan batas maksimal skala ukur yang digunakan dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Hasil pengukuran} : \frac{\text{Penunjukkan Jarum Ukur}}{\text{Skala yang digunakan}} \times \text{skala ukur maksimal} \quad (4.1)$$

Contoh soal 1

Perhatikan gambar skala dibawah ini!



Suatu pengukuran dilakukan terhadap sebuah resistor menggunakan AVO meter analog. Hasil pengukuran menunjukkan sesuai dengan gambar skala di atas, hitung nilai resistansi pengukuran jika skala yang digunakan adalah:

- Skala $\times 1\Omega$
- Skala $\times 10\Omega$
- Skala $\times 100\Omega$
- Skala $\times 1000\Omega$

Hitung nilai pembacaan dari AVO meter!

Solusi:

- a. Untuk skala x1 Ω , hasil pengukuran didapatkan dengan cara:

Hasil pengukuran

: Penunjukkan jarum ukur x skala maksimal

Jadi hasil pengukurannya adalah:

$$\text{Hasil ukur: } 26 \times 1 \Omega = 26 \Omega$$

- b. Untuk skala x10 Ω , hasil pengukuran didapatkan dengan cara:

Hasil pengukuran

: Penunjukkan jarum ukur x skala maksimal

Jadi, hasil pengukurannya adalah:

$$\text{Hasil ukur: } 26 \times 10 \Omega = 260 \Omega$$

- c. Untuk skala x1 Ω , hasil pengukuran didapatkan dengan cara:

Hasil pengukuran

: Penunjukkan jarum ukur x skala maksimal

Jadi hasil pengukurannya adalah:

$$\text{Hasil ukur: } 26 \times 100 \Omega = 2600 \Omega$$

- d. Untuk skala x1K Ω , hasil pengukuran didapatkan dengan cara:

Hasil pengukuran

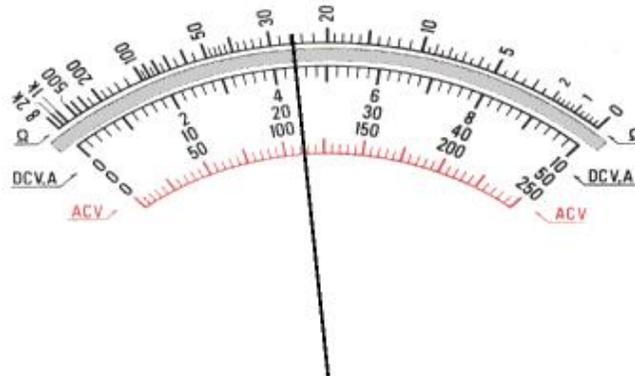
: Penunjukkan jarum ukur x skala maksimal

Jadi hasil pengukurannya adalah:

$$\text{Hasil ukur: } 26 \times 1 \text{ K}\Omega = 26 \text{ K}\Omega$$

Contoh soal 2

Perhatikan gambar skala dibawah ini!



Suatu pengukuran dilakukan terhadap sebuah resistor menggunakan AVO meter analog. Hasil pengukuran menunjukkan sesuai dengan gambar skala di atas, hitung nilai pengukuran tegangan jika skala yang digunakan adalah 10 VDC sedangkan skala maksimal yang digunakan adalah:

- Skala 1 VDC
- Skala 10 VDC
- Skala 50 VDC
- Skala 250 VDC

Solusi:

- Untuk skala ukur maksimal 1 VDC, proses pembacaan pengukuran dapat dilakukan menggunakan persamaan:

$$\text{Hasil pengukuran} : \frac{\text{Penunjukan Jarum Ukur}}{\text{Skala yang digunakan}} \times \text{skala ukur maksimal}$$

Jadi, hasil pengukurannya adalah

$$\text{Hasil pengukuran} : \frac{4.4}{10} \times 1 = 0.44 \text{ Volt}$$

- Untuk skala ukur maksimal 10 VDC, proses pembacaan pengukuran dapat dilakukan menggunakan persamaan:

$$\text{Hasil pengukuran} : \frac{\text{Penunjukan Jarum Ukur}}{\text{Skala yang digunakan}} \times \text{skala ukur maksimal}$$

Jadi, hasil pengukurannya adalah

$$\text{Hasil pengukuran} : \frac{4.4}{10} \times 10 = 4.4 \text{ Volt}$$

- c. Untuk skala ukur maksimal 50 VDC, proses pembacaan pengukuran dapat dilakukan menggunakan persamaan:

$$\text{Hasil pengukuran} : \frac{\text{Penunjukan Jarum Ukur}}{\text{Skala yang digunakan}} \times \text{skala ukur maksimal}$$

Jadi, hasil pengukurannya adalah

$$\text{Hasil pengukuran} : \frac{4.4}{10} \times 50 = 4.2 \text{ Volt}$$

- d. Untuk skala ukur maksimal 250 VDC, proses pembacaan pengukuran dapat dilakukan menggunakan persamaan:

$$\text{Hasil pengukuran} : \frac{\text{Penunjukan Jarum Ukur}}{\text{Skala yang digunakan}} \times \text{skala ukur maksimal}$$

Jadi, hasil pengukurannya adalah

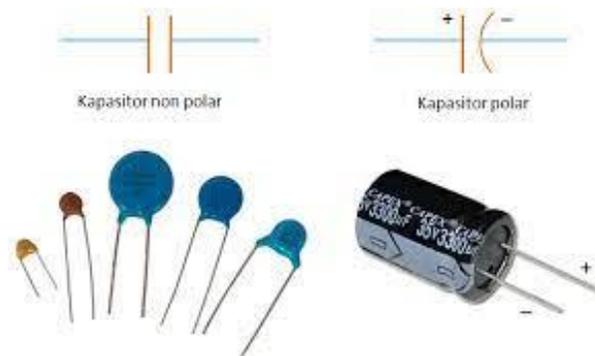
$$\text{Hasil pengukuran} : \frac{4.4}{10} \times 110 = 4.2 \text{ Volt}$$

4.4 Penggunaan AVO Meter sebagai Multitester

Selain sebagai alat ukur, AVO meter juga digunakan sebagai alat pengujian performansi untuk komponen elektronika. Adapun beberapa komponen elektronika yang dapat diuji adalah kapasitor dan transistor. Komponen dapat diuji performansi dengan memperhatikan beberapa kriteria sesuai dengan aturan yang berlaku. Pengujian komponen dilakukan dengan memosisikan AVO meter dalam pengukuran hambatan dengan skala $\times 1K\Omega$, hal yang diamati adalah pergerakan jarum penunjuk dari AVO meter sesuai dengan karakteristik dari masing-masing komponen.

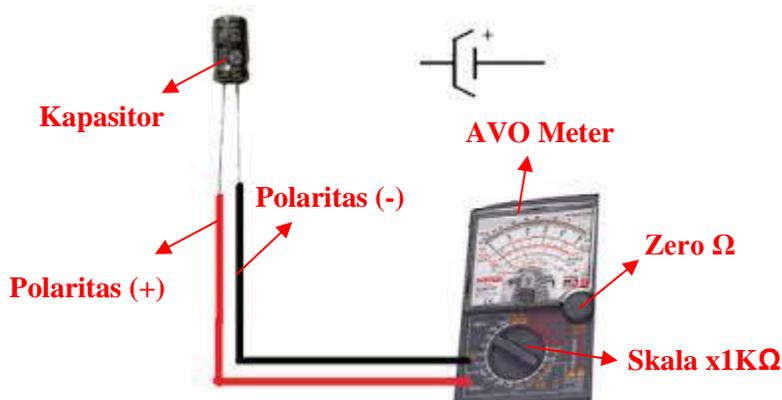
4.4.1 Pengujian Komponen Kapasitor

Komponen kapasitor (C) berfungsi untuk menyimpan muatan listrik yang memiliki satuan Farad. Kapasitor terbagi menjadi dua jenis yaitu kapasitor polar dan kapasitor non polar. Kapasitor polar memiliki polaritas positif dan negatif sedangkan kapasitor non polar tidak memiliki polaritas. Masing-masing polaritas diwakili oleh kaki-kaki dari komponen kapasitor. Struktur kapasitor polar dan nonpolar ditunjukkan pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Kapasitor polar dan nonpolar.

Proses pengujian kapasitor memiliki perbedaan untuk jenis polar dan nonpolar. Untuk jenis kapasitor polar kita perlu memperhatikan polaritas dari kaki-kaki kapasitor sedangkan untuk nonpolar tidak perlu memperhatikan hal tersebut. Adapun proses pengujian komponen kapasitor ditunjukkan pada gambar 4.9.



Gambar 4.9 Pengujian Kapasitor Polar.

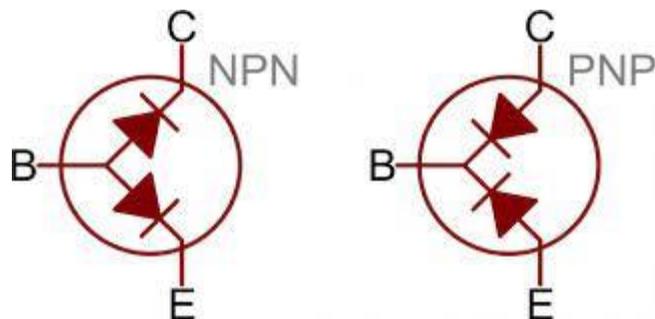
Gambar 4.9 menunjukkan mekanisme pengujian kapasitor polar dengan menggunakan AVO meter analog. Adapun prosedur untuk melakukan pengecekan performansi dari komponen kapasitor adalah sebagai berikut.

- Lakukan kalibrasi hambatan pada AVO meter dengan menempatkan skala di $\times 1K\Omega$. Jika jarum penunjuk belum berada tepat di angka 0, putar tuas Zero Ω untuk mengatur jarum penunjuk.
- Hubungkan probe merah (+) dan probe hitam (-) ke masing-masing kaki dari kapasitor. Pastikan bahwa kaki kapasitor mempunyai polaritas yang sesuai dengan probe AVO meter.
- Perhatikan pergerakan jarum pada AVO meter, jika jarum bergerak dari angka 0 atau bergeser dari arah kiri ke arah kanan lalu kembali lagi secara perlahan ke titik 0 maka kapasitor dalam kondisi baik. Besaran simpangan dari pergeseran jarum pada AVO meter bergantung dari muatan yang tersimpan dalam kapasitor. Untuk mengisi muatan hubungkan secara singkat kedua kaki kapasitor dengan salah satu probe AVO meter. Hubungan singkat tersebut akan mengisi muatan kapasitor yang berasal dari baterai yang terdapat dalam AVO meter.

- d. Jika jarum tidak bergerak setelah kapasitor dihubungkan dengan AVO meter, maka dapat dikatakan bahwa kapasitor tersebut sudah rusak dan tidak layak digunakan.
- e. Jika jarum bergerak secara cepat dari arah kiri ke kanan dan tidak kembali lagi ke titik 0, maka dapat dikatakan bahwa kapasitor sudah rusak dan tidak layak digunakan.

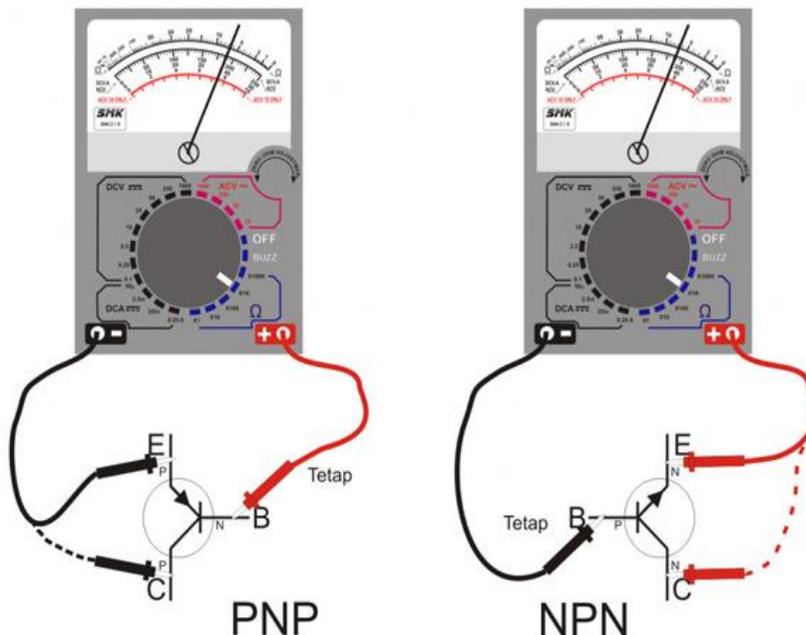
4.4.2 Pengujian Komponen Transistor

Transistor adalah komponen elektronika yang berfungsi sebagai penguat ataupun sebagai saklar otomatis. Secara teori, transistor merupakan gabungan dari komponen dioda P-N sehingga memiliki tiga kaki yang masing-masing berfungsi sebagai basis (B), kolektor (C) dan emitor (E). Simbol dan struktur dari transistor ditunjukkan pada gambar 4.10.



Gambar 4.9 Simbol dan struktur dari transistor.

Gambar 4.9 menunjukkan struktur dari dua jenis transistor yaitu PNP dan NPN. Perbedaan dari kedua jenis transistor tersebut terdapat pada bagian basis (B), di mana pada transistor NPN basisnya diberikan masukan positif sedangkan pada transistor PNP diberikan masukan negatif. Selanjutnya, prosedur pengujian transistor ditunjukkan pada gambar 4.10.



Gambar 4.9 Proses dan mekanisme pengujian transistor PNP dan NPN.

Gambar 4.9 menunjukkan proses dan mekanisme pengujian transistor NPN dan PNP. Adapun prosedur pengujian karakteristiknya adalah sebagai berikut.

- Lakukan kalibrasi hambatan pada AVO meter dengan menempatkan skala di $\times 1K\Omega$. Jika jarum penunjuk belum berada tepat di angka 0, putar tuas Zero Ω untuk mengatur jarum penunjuk.
- Untuk transistor PNP, hubungkan probe merah (+) ke kaki basis (B) dan probe hitam (-) ke masing-masing kaki dari transistor yaitu kolektor (C) dan emitor (E). Pastikan bahwa kaki transistor mempunyai fungsi yang sama sesuai dengan datasheet. Selanjutnya, untuk transistor NPN prosedurnya adalah dengan menempelkan probe hitam (-) ke kaki basis (B) dan probe merah (+) ke masing-masing kaki dari transistor yaitu kolektor (C) dan emitor (E).

- c. Perhatikan pergerakan jarum pada AVO meter, jika jarum bergerak dari angka 0 atau bergeser dari arah kiri ke arah kanan lalu kembali lagi secara perlahan ke titik 0, maka transistor dalam kondisi baik. Besaran simpangan dari pergeseran jarum pada AVO meter bergantung dari nilai hFE atau perbandingan antara arus kolektor dan arus basis (I_C/I_B). Hal yang perlu diperhatikan adalah, secara teori basis (B) akan terkoneksi langsung dengan kolektor (C) dan emitor (E), sedangkan antara kolektor dan emitor tidak diizinkan adanya hubungan langsung. Emitor (E) digunakan untuk mengoneksikan transistor ke bagian ground/pentanahan.
- d. Jika jarum tidak bergerak setelah transistor dihubungkan dengan AVO meter maka dapat dikatakan bahwa transistor tersebut sudah rusak dan tidak layak digunakan.
- e. Jika probe merah (+) ditempatkan di kaki kolektor (C) dan probe hitam (-) ditempatkan di kaki emitor (E) dan jarum bergerak dari kiri ke kanan, maka transistor dikatakan rusak atau terhubung singkat (*short*).

RANGKUMAN MATERI

1. AVO (*Ampere Volt Ohm*) Meter adalah adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur arus listrik, tegangan, dan hambatan. Adapun ketiga jenis pengukuran tersebut dapat dilakukan sekaligus dalam satu alat yang disebut dengan AVO meter. Terdapat beberapa jenis AVO meter yang dijual dipasaran antara lain AVO meter analog dan AVO meter digital.
2. AVO meter dapat digunakan untuk melakukan pengukuran tegangan dan arus AC/DC sesuai dengan skala yang tersedia. Pemilihan skala dapat dilakukan dengan mengatur selektor ukur sesuai dengan keperluan pengukuran. Selain itu, untuk mengoneksikan antara beban

yang diukur dengan alat ukur, 2 jenis *probe* warna hitam dan merah digunakan sebagai penghubung. *Probe* warna merah menandakan polaritas positif sedangkan *probe* warna hitam menandakan polaritas negatif (*ground*).

3. Kalibrasi adalah kegiatan untuk melakukan standardisasi alat ukur dengan membandingkan dengan standar yang sudah ditetapkan. Dalam penggunaan AVO meter terdapat 2 tombol untuk kalibrasi yaitu kalibrasi tegangan dan hambatan.
4. Tombol kalibrasi tegangan berfungsi untuk menempatkan jarum penunjuk agar berada pada titik 0 untuk keperluan pengukuran tegangan AC/DC dan arus DC. Umumnya, pada saat melakukan pengukuran tegangan dan arus jarum penunjuk akan berada pada posisi angka 0 yang ada di posisi kiri. Untuk melakukan kalibrasi tegangan dan arus dapat menggunakan obeng trim untuk memutar tuas yang berada pada bagian tengah AVO meter sehingga jarum tepat berada di angka 0.
5. Selektor dan batas skala alat ukur berfungsi untuk menentukan jenis pengukuran yang dilakukan dan skala maksimal yang digunakan dalam proses pengukuran. Untuk melakukan pengukuran tegangan maka selektor dapat ditempatkan di DCV atau ACV sedangkan untuk pengukuran arus DCA. Selanjutnya, untuk pengukuran hambatan selektor dapat ditempatkan pada bagian Ω .
6. Skala ukur berfungsi untuk membatasi hasil pengukuran sesuai dengan batas maksimal yang ditetapkan pada selektor dan batas skala ukur. Terdapat beberapa jenis skala yang digunakan pada AVO meter antara lain skala pengukuran hambatan, skala pengukuran tegangan AC/DC, dan skala pengukuran arus DC. Skala ukur hambatan menggunakan skala ukur *non-linear* hal ini disebabkan karena adanya perbedaan

jarak antara tiap titik pada skala yang digunakan sedangkan untuk pengukuran tegangan dan arus jenis skala yang digunakan adalah skala *linear* dengan jarak tiap titik skala adalah sama.

7. Selain kalibrasi tegangan, AVO meter juga dilengkapi dengan tombol kalibrasi hambatan yang berfungsi untuk menempatkan jarum ukur berada pada titik 0 pada skala Ω . Adapun cara untuk melakukan kalibrasi pada hambatan adalah dengan menempelkan probe merah dan probe negatif secara bersamaan dan mengatur titik 0 pada skala dengan menggunakan tombol kalibrasi hambatan.
8. Hal yang penting untuk diperhatikan bahwa kalibrasi hambatan harus dilakukan untuk tiap perubahan skala dan sebelum pengukuran dilakukan.
9. Proses pembacaan skala ukur disesuaikan dengan besaran dan batas maksimal skala ukur yang digunakan dengan menggunakan persamaan:
$$\text{Hasil pengukuran} : \frac{\text{Penunjukkan Jarum Ukur}}{\text{Skala yang digunakan}} \times \text{skala ukur maksimal}$$
10. Selain sebagai alat ukur, AVO meter juga digunakan sebagai alat pengujian performansi untuk komponen elektronika. Adapun beberapa komponen elektronika yang dapat diuji adalah kapasitor dan transistor. Komponen dapat diuji performansi dengan memperhatikan beberapa kriteria sesuai dengan aturan yang berlaku. Pengujian komponen dilakukan dengan memposisikan AVO meter dalam pengukuran hambatan dengan skala $\times 1K\Omega$, hal yang diamati adalah pergerakan jarum penunjuk dari AVO meter sesuai dengan karakteristik dari masing-masing komponen.

EVALUASI MATERI

BAB IV – PENGGUNAAN ALAT UKUR AVO METER UNTUK PENGECEKAN KOMPONEN ELEKTRONIKA

Jawablah pertanyaan dibawah ini dengan benar sesuai dengan materi yang disampaikan dalam Bab IV!

1. Jelaskan perbedaan fungsi AVO meter sebagai multimeter dan multitester, berikan contoh!
2. Jelaskan tahapan kalibrasi tegangan dan hambatan pada AVO meter!
3. Jelaskan tahapan dalam melakukan pengukuran hambatan pada AVO meter!
4. Jelaskan tahapan pengukuran tegangan AC dan DC pada AVO meter!
5. Jelaskan tahapan melakukan pengukuran arus DC pada AVO meter!
6. Jelaskan tahapan melakukan pengecekan komponen kapasitor!
7. Jelaskan tahapan melakukan pengukuran komponen transistor NPN dan PNP!
8. Jelaskan apa yang dimaksud dengan parameter hFE pada komponen transistor!
9. Perhatikan skala ukur di bawah ini!



Suatu pengukuran dilakukan terhadap sebuah resistor menggunakan AVO meter analog. Hasil pengukuran menunjukkan sesuai dengan

gambar skala di atas, hitung nilai resistansi pengukuran jika skala yang digunakan adalah:

- a. Skala $\times 1\Omega$
- b. Skala $\times 10\Omega$
- c. Skala $\times 100\Omega$
- d. Skala $\times 1000\Omega$

Hitung nilai pembacaan dari AVO meter!

10. Perhatikan skala ukur pada soal no. 9!

Hitung nilai pengukuran tegangan jika skala yang digunakan adalah 10 VDC sedangkan skala maksimal yang digunakan adalah:

- a. Skala 1 VDC
- b. Skala 10 VDC
- c. Skala 50 VDC
- d. Skala 250 VDC

BAB V

PENGUKURAN LISTRIK UNTUK SUMBER ARUS SEARAH

5.1 Fungsi Pengukuran Arus

Pengukuran arus diperlukan untuk perangkat seperti sensor tekanan pengukur termokopel dan pengukur ionisasi yang memiliki keluaran berupa arus listrik yang bervariasi. Ini sering juga diperlukan dalam sistem transmisi sinyal yang mengubah sinyal yang diukur menjadi arus yang bervariasi. Setiap voltmeter digital dan analog dapat mengukur arus jika meter ditempatkan secara seri dengan sirkuit pembawa arus dan batas frekuensi yang sama berlaku untuk sinyal yang diukur seperti yang mereka lakukan untuk pengukuran tegangan. Batas frekuensi atas untuk arus AC dapat dinaikkan dengan memperbaiki arus sebelum pengukuran. Untuk meminimalkan efek pembebanan pada sistem yang diukur, setiap instrumen pengukur arus harus memiliki resistansi yang kecil. Ini kebalikan dari kasus pengukuran tegangan di mana instrumen diharuskan memiliki resistansi tinggi untuk pembebanan sirkuit yang minimal.

Terlepas dari gangguan yang nyata dari sistem yang diukur, satu kesulitan khusus yang dihasilkan dari teknik ini adalah disipasi daya yang besar pada *shunt*. Dalam kasus a.c. pengukuran arus, perhatian juga harus diberikan untuk mencocokkan resistansi dan reaktansi shunt dengan alat ukur, sehingga distorsi frekuensi dan bentuk gelombang pada sinyal yang diukur dihindari.

Trafo arus menyediakan metode alternatif untuk mengukur arus berkekuatan tinggi, yang menghindari kesulitan merancang shunt yang sesuai. Versi yang berbeda dari ini ada untuk mengubah kedua d.c. dan a.c. arus. sebuah d.c. transformator arus. DC pusat konduktor dalam instrumen diulir melalui dua inti magnetik yang membawa dua belitan impedansi tinggi

yang terhubung dalam oposisi seri. Dapat ditunjukkan bahwa arus yang mengalir pada belitan ketika dieksitasi dengan a.c. tegangan sebanding dengan d.c. arus pada konduktor pusat. Arus keluaran ini biasanya disearahkan dan kemudian diukur dengan a d.c. voltmeter.

Sebuah AC Trafo arus biasanya memiliki belitan primer yang hanya terdiri dari beberapa lilitan tembaga yang dililitkan pada inti persegi panjang atau berbentuk cincin. Belitan sekunder, bagaimanapun, biasanya memiliki beberapa ratus putaran sesuai dengan rasio *step-down* saat ini yang diperlukan. Keluaran belitan sekunder diukur dengan instrumen pengukur arus yang sesuai. Desain transformator arus secara substansial berbeda dari transformator tegangan. Kekakuan konstruksi mekanisnya harus cukup untuk menahan gaya besar yang timbul dari arus hubung singkat dan perhatian khusus harus diberikan pada insulasi antara belitannya untuk alasan yang sama. Bahan inti dengan rugi-rugi rendah digunakan dan kerapatan fluks dijaga sekecil mungkin untuk mengurangi rugi-rugi. Dalam kasus arus yang sangat tinggi, belitan primer sering terdiri dari batang tembaga tunggal yang berperilaku sebagai belitan satu putaran. Pengukur penjepit, yang dijelaskan dalam bab 7, adalah contoh yang baik untuk ini.

5.2 Pengukuran Arus Sumber Arus Searah

Pada arus searah (murni), maka daya yang dipakai dalam beban (dalam tahanan R) dapat dinyatakan dalam V (tegangan) dan I = Arus Beban. Untuk menentukan daya dari sumber listrik dapat menggunakan persamaan di bawah ini:

$$P = V \cdot I = I^2 \cdot R \quad (5.1)$$

Sedangkan untuk arus bolak balik daya yang dipakai dalam beban pada saat tegangan dan arus beban adalah V dan I , maka harga sesaat dari daya

yang terpakai adalah $P = V.I$ di mana tegangan dinyatakan sebagai fungsi *sinusoidal* seperti pada gambar 5.1, maka kurva arus untuk pada rangkaian R-C dan besar nilai V_g dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$V_g = V_g \sin \omega t \quad (5.2)$$

Bila tahanan beban adalah R, maka arus beban dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut.

$$i = \frac{V_g}{r} \sin \omega t = I_g \sin \omega t \quad (5.3)$$

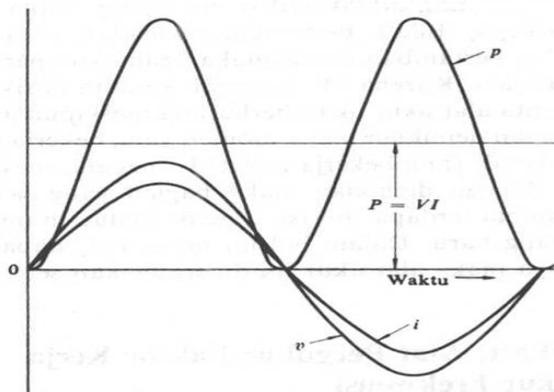
Untuk itu, P dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$P = V_g \cdot I_g \sin^2 \omega t \quad (5.4)$$

atau

$$P = \frac{V_g \cdot I_g}{2} \cdot (1 - \cos 2 \omega t) \quad (5.5)$$

Hubungan tersebut dapat dilukiskan seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 5.1 Hubungan Antara P, V, dan Waktu.

Sesuai dengan harga efektif, maka harga rata-rata dari p melalui satu periode (yaitu harga P) adalah:

$$P = \frac{V_g \cdot I_g}{2} = V \cdot I = I^2 \cdot R \quad (5.6)$$

Di mana V dan I adalah harga-harga efektif dari tegangan dan arus.

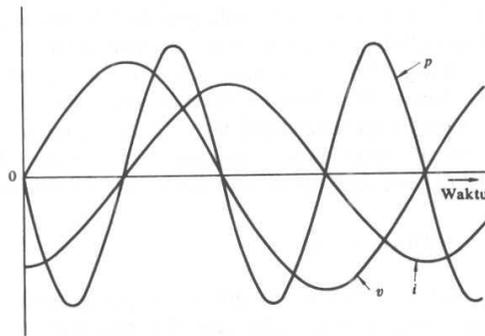
Bila beban mempunyai induktansi L , maka besarnya nilai arus dan daya dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$P = \frac{V_g}{\omega L} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = I_g \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \quad (5.7)$$

maka selanjutnya,

$$P = V_g \cdot I_g \sin \omega t \cdot \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = \frac{V_g \cdot I_g}{2} \sin \omega t \quad (5.8)$$

Perbandingan antara arus AC dengan pembebanan induktif (L) ditunjukkan pada gambar 5.2



Gambar 5.2 Perbandingan arus AC dan pembebanan induktif.

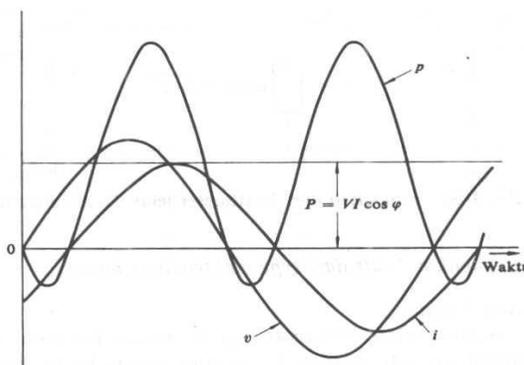
Bila induktansi L diberikan energi dari sumber arus AC, maka untuk setengah periode akan menyimpan energi elektromagnetik, dan mengembalikannya kembali ke sumber pada setengah periode berikutnya. L tidak dipergunakan daya secara rata-rata. Harga rata-rata daya dalam $L = 0$. Jika beban merupakan kombinasi dari tahanan dan reaktansi, maka:

$$i = i_g \sin \omega t \quad (5.9)$$

$$P = V_g \cdot I_g \sin \omega t \cdot \sin(\omega t - \varphi) \quad (5.10)$$

Selanjutnya, dengan $\tan \theta = X / R$, maka didapatkan persamaan di bawah ini.

$$P = V.I \cos \omega (1 - \cos 2\omega t) - V.I \sin \varphi \sin 2\omega t \quad (5.11)$$



Gambar 5.3 Perbandingan pembebanan umum dan pembebanan induktif.

Selanjutnya, harga rata-rata dari P adalah sebagai berikut.

$$P = V.I \cos \varphi \quad (5.12)$$

di mana,

$$\cos \varphi = \frac{R}{\sqrt{R^2 + X^2}} \rightarrow P = I.R^2 \quad (5.13)$$

dapat dilihat bahwa daya rata-rata arus AC dengan beban umum dapat dinyatakan serbagai perkalian arus dengan tegangan ($P = V.I$) di mana V dan I adalah harga-harga efektifnya dan $\cos \varphi$ adalah beda fasa antara arus dan tegangan yang lewat beban tersebut. $\cos \varphi$ dikenal sebagai *power factor* (p.f) yaitu di mana untuk beban murni resistif (tahanan murni:R) maka $\varphi = 0$. Untuk itu, pada saat $\cos (0) = 1$ maka dalam hal ini besarnya daya $P_{\varphi=0} = V I$.

5.3 Pengukuran Daya Sumber Arus Searah

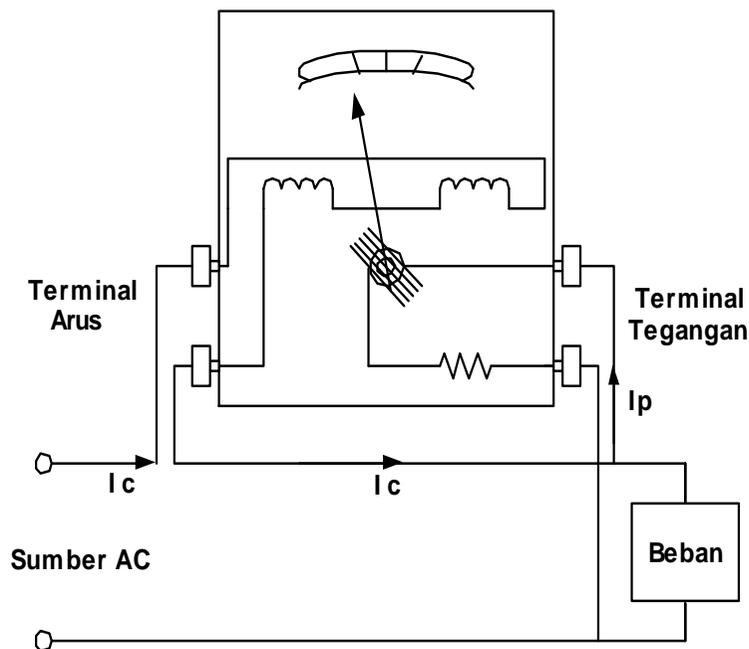
Pengukuran daya dapat dilakukan menggunakan alat ukur *Wattmeter*. Untuk pengukuran daya dan perhitungannya maka digunakan alat yang:

1. Mempunyai penunjukan yang berbanding lurus dengan suatu perkalian
2. Mempunyai rangkaian khusus perkalian dalam alat tersebut

3. Harga-harga khususnya didapat secara tidak langsung

Untuk (1) dan (2) adalah alat pengukur daya, biasanya untuk (1) adalah tipe elektrodinamis atau tipe Induksi, sedangkan (3) biasanya dari tipe *thermocouple* atau sejenisnya. Jenis wattmeter di atas adalah jenis elektromagnetis yaitu alat yang mempunyai 2 kumparan, satu kumparan tetap dan yang lainnya kumparan berputar. Alat penunjuk dari jenis instrument ini akan berputar dengan suatu sudut yang berbanding lurus dengan hasil perkalian arus yang melalui kumparan-kumparan tersebut.

Arus I_c dari sumber masuk ke kumparan tetap dan dihubungkan seri dengan beban (kumparan ini disebut kumparan ARUS) kumparan berputar mempunyai sebuah tahanan yang besan R, diseri dengan kumparan tersebut. Kumparan putar dengan tahanan R ini dihubungkan secara paralel dengan beban.



Gambar 5.4 Struktur Pengukuran Daya menggunakan Wattmeter.

Untuk terminal kumparan putar disebut Terminal Tegangan arus yang mengalir I_p kecil (biasanya 10 – 50 mA). Arus pada kumparan tetap membangkitkan medan magnet yang besarnya sebanding dengan ARUS I_C . Arus pada kumparan berputar sebanding dengan tegangan di beban.

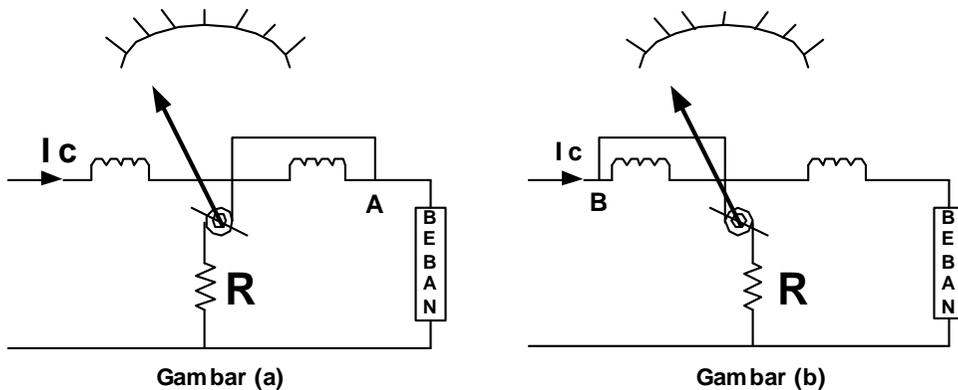
$$\left(i_p \approx \frac{V_L}{r} \right) \quad (5.14)$$

Maka, jarum kumparan berputar akan melakukan suatu putaran dengan skala tertentu. Alat jenis ini punya 4 terminal yang terdiri dari:

- a. 2 terminal untuk tegangan
- b. 2 terminal untuk arus

Adapun konfigurasi dalah sebagai berikut.

- a. terminal arus dihubungkan dengan kumparan tetap
- b. terminal tegangan dihubungkan dengan kumparan berputar



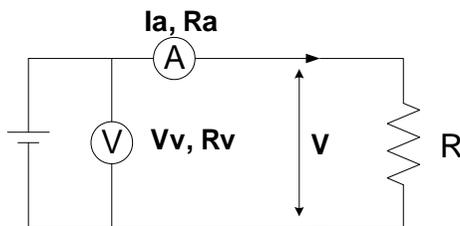
Gambar 5.5 Pengukuran daya pada tegangan; (a) rendah, (b) tinggi

Gambar 5.5 menunjukkan struktur pengukuran daya di mana jika arus besar, tegangan rendah maka hubungan kumparan seperti pada gambar a),

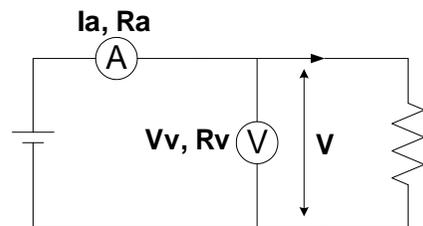
sedangkan kalau tegangan tinggi dan arus kecil maka digunakan hubungan seperti pada gambar b).

5.4 Pengukuran Daya dengan alat ukur Voltmeter dan Amperemeter

Daya arus searah dapat diukur dengan alat pengukur volt dan alat pengukur ampere, yang dihubungkan seperti diperlihatkan dalam gambar di bawah, dalam hal ini maka adalah penting diperhitungkan kerugian-kerugian daya yang terjadi, oleh adanya alat-alat pengukuran.



Gambar (a)



Gambar (b)

Gambar 5.6 Mekanisme pengukuran daya menggunakan voltmeter dan amperemeter.

Misalkan bahwa beban tahanan adalah R , tegangan beban adalah V , dan arus beban adalah I , sedangkan alat-alat pengukur volt dan ampere yang mempunyai tahanan-tahanan dalmnya R_v dan R_a , menunjukkan V_v dan I_a , dengan mempergunakan rangkaian pada gambar di atas akan didapatkan:

$$V_a = I_R + I_{RA} \rightarrow I_a = I \quad (5.15)$$

di mana,

$$W = I^2 R = V_v \cdot I_a - I_a^2 \cdot R_a \quad (5.16)$$

dan pula dengan cara yang sama dalam (b),

$$W = V \cdot I = V_v - I_a - \frac{V_v^2}{R_v} \quad (5.17)$$

Bila dimisalkan bahwa pada (b), tahanan dalam dari alat pengukur volt adalah $10 \text{ k}\Omega$, sedangkan alat pengukur volt menunjukkan 100 V , dan

pembacaan pada alat pengukur amper sama dengan 5 A, maka beban daya pada beban adalah:

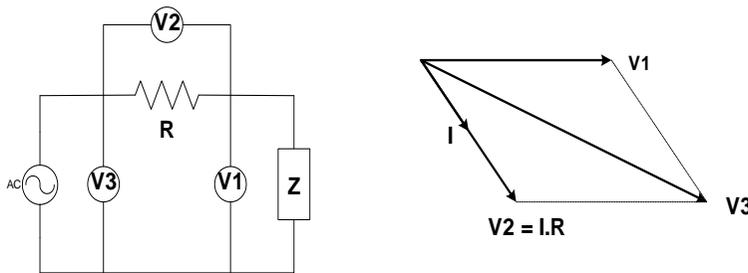
$$W = 100 \times 5 - \left(\frac{100^2}{10^4}\right) = 499 \text{ W} \quad (5.18)$$

Cara yang mana yang akan dipilih dalam menghubungkan alat-alat ukur volt dan ampere untuk mengukur daya yaitu (a) dan (b) haruslah ditentukan dengan memperhatikan penjabaran yang diberikan sebelumnya. Dalam pengukuran arus bolak-balik, bila diketahui tegangan V dan Arus I dan dikethui faktor daya atau $\cos \varphi$, maka besarnya W dihitung dari:

$$W = V \cdot I \cos \varphi \quad (5.19)$$

5.5 Metode Tiga Alat Pengukur Volt dan Tiga Alat Pengukur Ampere

Daya satu fasa dapat diukur dengan mempergunakan tiga alat pengukur volt atau tiga alat pengukur ampere. Gambar 5.7 di bawah memperlihatkan cara tiga alat pengukur voltmeter.



Gambar 5.7 Mekanisme pengukuran daya menggunakan tiga pengukur voltmeter.

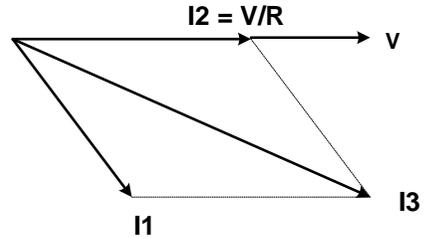
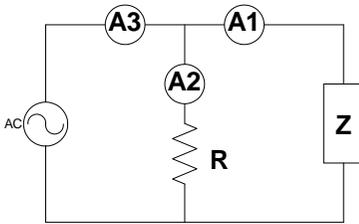
bila dalam metode tiga alat ukur volt, masing-masing alat pengukur volt menunjukkan V_1 , V_2 dan V_3 , maka:

$$V_3^2 = V_1^2 + V_2^2 + 2V_1 \cdot V_2 \cos \varphi \quad (5.20)$$

$$W = V_1 \cos \varphi \rightarrow V_1 \frac{V_2}{R} \cos \varphi \quad (5.21)$$

$$W = \frac{1}{2R} (V_3^2 - V_1^2 - V_2^2) \quad (5.22)$$

Apabila pengukuran dilakukan dengan tiga alat pengukur ampere, maka dapat dijelaskan sebagai berikut.



Gambar 5.8 Mekanisme pengukuran daya menggunakan tiga pengukur amperemeter.

bila dalam metode tiga alat ukur ampere, masing-masing alat pengukur volt menunjukkan I_1 , I_2 dan I_3 , maka:

$$I_3^2 = I_1^2 + I_2^2 + 2V \cdot I_1 \cdot I_2 \cos \varphi \quad (5.23)$$

$$W = V_1 \cos \varphi \rightarrow I_2 R V_1 \cos \varphi \quad (5.24)$$

$$W = \frac{R}{2} (I_3^2 - I_1^2 - I_2^2) \quad (5.25)$$

Contoh soal 1

Sebuah rangkaian listrik sumber arus searah diukur dengan menggunakan 3 Voltmeter selanjutnya masing-masing voltmeter (V_3 , V_2 dan V_1) menunjukkan hasil ukur 20 V, 5 V dan 10 V. Jika diketahui tahanan dalam dari rangkaian (R) adalah 50 Ohm , hitunglah nilai pengukuran daya dari rangkaian tersebut!

Solusi:

$$I_1 = 10 \text{ V} \qquad R = 50 \text{ Ohm}$$

$$I_2 = 5 \text{ V}$$

$$I_3 = 20 \text{ V}$$

Untuk menghitung hasil pengukuran daya dapat menggunakan persamaan:

$$W = \frac{1}{2R} (V_3^2 - V_1^2 - V_2^2)$$

$$W = \frac{1}{2 \cdot (50)} (20^2 - 10^2 - 5^2)$$

$$W = \frac{1}{100} \cdot (400 - 100 - 25)$$

$$W = 2.75 \text{ Watt}$$

Contoh soal 2

Sebuah rangkaian listrik sumber arus searah diukur dengan menggunakan 3 Amperemeter selanjutnya masing-masing ammeter (I_3 , I_2 dan I_1) menunjukkan hasil ukur 10 A, 3 A dan 8 A. Jika diketahui tahanan dalam dari rangkaian (R) adalah 100 Ohm, hitunglah nilai pengukuran daya dari rangkaian tersebut!

Solusi:

$$I_1 = 10 \text{ A} \qquad R = 50 \text{ Ohm}$$

$$I_2 = 3 \text{ A}$$

$$I_3 = 8 \text{ A}$$

Untuk menghitung hasil pengukuran daya dapat menggunakan persamaan:

$$W = \frac{R}{2} (I_3^2 - I_1^2 - I_2^2)$$

$$W = \frac{100}{2} \cdot (10^2 - 3^2 - 8^2)$$

$$W = 50 \cdot (100 - 9 - 64)$$

$$W = 27 \text{ Watt}$$

5.6 Kesalahan dalam Wattmeter

Walaupun hubungan antara instrumen dengan rangkaian yang akan diukur sudah tepat dan benar, tetapi kesalahan pengukuran tetap ada. Kesalahan ini diakibatkan oleh daya yang dibutuhkan kumparan tetap untuk

membangkitkan medan magnet, selain itu juga adanya daya yang hilang karena jatuhnya tegangan pada ujung-ujung terminal tegangan.

Jika besarnya arus yang mengalir 5 A, kehilangan daya pada rangkaian kumparan tegangan $\pm 2,9$ W. Untuk pengukuran daya yang besar maka kesalahan yang terjadi ini adalah kecil, tetapi kesalahan menjadi cukup besar jika pengukuran yang dilakukan dalam skala kecil. Kesalahan dalam instrumen wattmeter yang dibuat untuk komersil berada antara: $\pm 0,1 - 0,5$ % jika bekerja dalam frekuensi yang ditetapkan. Untuk menghindari kerusakan pada alat, maka besarnya dibatasi max 5 A; jadi untuk mengukur daya dengan arus besar digunakan trafo ARUS, sedang bila tegangan yang dipakai lebih dari 300 volt, maka diturunkan ke 115 – 125 dengan menggunakan Potensiometer. Adapun beberapa tahapan dan langkah-langkah dalam menguikur daya adalah sebagai berikut.

- a. Jika arus > 5 A gunakan CT sebelum dihubungkan ke wattmeter atau alat lainnya
- b. Hindari penempatan wattmeter dari daerah yang mempunyai medan magnet luar yang kuat.
- c. Hubungkan terminal \pm dari wattmeter dengan bagian/sisi yang sama dari saluran /rangkaian yang akan diukur.
- d. Jangan hubungkan alat dengan arus dan tegangan yang lebih besar dari kemampuannya.
- e. Adapun yang harus diingat bahwa arus atau tegangan dapat melebihi batasnya walaupun pembacaan dayanya tidak menunjukkan penyimpangan yang melewati batas.
- f. Jika menggunakan wattmeter, ammeter, dan voltmeter harus dilakukan koreksi.

RANGKUMAN MATERI

1. Pengukuran arus diperlukan untuk perangkat seperti sensor tekanan pengukur termokopel dan pengukur ionisasi yang memiliki keluaran berupa arus listrik yang bervariasi. Ini sering juga diperlukan dalam sistem transmisi sinyal yang mengubah sinyal yang diukur menjadi arus yang bervariasi.
2. Pada arus searah (murni), maka daya yang dipakai dalam beban (dalam tahanan R) dapat dinyatakan dalam V (tegangan) dan $I =$ Arus Beban. Untuk menentukan daya dari sumber listrik dapat menggunakan persamaan di bawah ini:

$$P = V \cdot I = I^2 \cdot R$$

3. Sedangkan untuk arus bolak-balik daya yang dipakai dalam beban pada saat tegangan dan arus beban adalah V dan I, maka harga sesaat dari daya yang terpakai adalah $P = V \cdot I$ di mana tegangan dinyatakan sebagai fungsi *sinnusiodal* seperti pada gambar 5.1, maka kurva arus untuk pada rangkaian R-C dan besar nilai V_g dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$V_g = V_g \sin \omega t$$

4. Bila beban mempunyai induktansi L, maka besarnya nilai arus dan daya dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$P = \frac{V_g}{\omega L} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) = I_g \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

maka selanjutnya,

$$P = V_g \cdot I_g \sin \omega t \cdot \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) = \frac{V_g \cdot I_g}{2} \sin \omega t$$

5. Selanjutnya, harga rata-rata dari P adalah sebagai berikut.

$$P = V \cdot I \cos \varphi$$

di mana,

$$\cos \varphi = \frac{R}{\sqrt{R^2 + X^2}} \rightarrow P = I \cdot R^2$$

6. Cos φ dikenal sebagai *power factor* (p.f) yaitu di mana untuk beban murni resistif (tahanan murni:R) maka $\varphi = 0$. Untuk itu, pada saat Cos (0) = 1 maka dalam hal ini besarnya daya $P_{\varphi=0} = V I$.
7. Pengukuran daya dapat dilakukan menggunakan alat ukur *Wattmeter*. Untuk pengukuran daya dan perhitungannya, maka digunakan alat yang:
 - (1) Mempunyai penunjukan yang berbanding lurus dengan suatu perkalian
 - (2) Mempunyai rangkaian khusus perkalian dalam alat tersebut
 - (3) Harga-harga khususnya didapat secara tidak langsung
8. Untuk (1) dan (2) adalah alat pengukur daya, biasanya untuk (1) adalah tipe elektrodinamis atau tipe induksi, sedangkan (3) biasanya dari tipe *thermocouple* atau sejenisnya.
9. Maka jarum kumparan berputar akan melakukan suatu putaran dengan skala tertentu. Alat jenis ini punya 4 terminal yang terdiri dari:
 - a. 2 terminal untuk tegangan
 - b. 2 terminal untuk arus
10. Dalam pengukuran arus bolak-balik, bila diketahui tegangan V dan Arus I dan dikethui faktor daya atau cos φ , maka besarnya W dihitung dari:

$$W = V \cdot I \cos \varphi$$

11. Bila dalam metode tiga alat ukur volt, masing-masing alat pengukur volt menunjukkan V_1 , V_2 dan V_3 , maka:

$$V_3^2 = V_1^2 + V_2^2 + 2V_1 \cdot V_2 \cos \varphi$$

$$W = V_1 \cos \varphi \rightarrow V_1 \frac{V_2}{R} \cos \varphi$$

$$W = \frac{1}{2R} (V_3^2 - V_1^2 - V_2^2)$$

12. Bila dalam metode tiga alat ukur ampere, masing-masing alat pengukur volt menunjukkan I_1 , I_2 dan I_3 , maka:

$$I_3^2 = I_1^2 + I_2^2 + 2V \cdot I_1 \cdot I_2 \cos \varphi$$

$$W = V_1 \cos \varphi \rightarrow I_2 R V_1 \cos \varphi$$

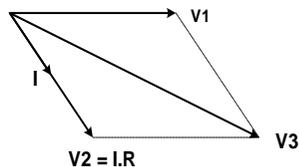
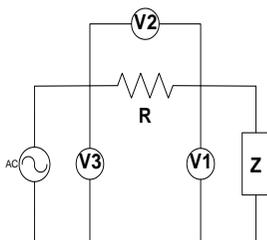
$$W = \frac{R}{2} (I_3^2 - I_1^2 - I_2^2)$$

13. Walaupun hubungan antara instrumen dengan rangkaian yang akan diukur sudah tepat dan benar, tetapi kesalahan pengukuran tetap ada. Kesalahan ini diakibatkan oleh daya yang dibutuhkan kumparan tetap untuk membangkitkan medan magnet, selain itu juga adanya daya yang hilang karena jatuhnya tegangan pada ujung-ujung terminal tegangan.
14. Kesalahan dalam instrumen wattmeter yang dibuat untuk komersil berada antara: $\pm 0,1 - 0,5 \%$ jika bekerja dalam frekuensi yang ditetapkan. Untuk menghindari kerusakan pada alat, maka besarnya dibatasi max 5 A; jadi untuk mengukur daya dengan arus besar digunakan trafo ARUS, sedang bila tegangan yang dipakai lebih dari 300 volt, maka diturunkan ke 115 – 125 dengan menggunakan Potensiometer.

EVALUASI MATERI BAB V – PENGUKURAN LISTRIK UNTUK SUMBER ARUS SEARAH

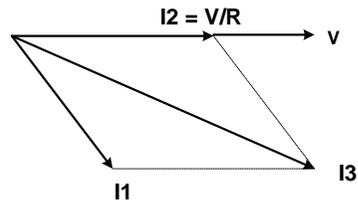
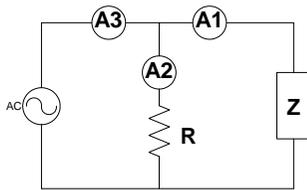
Jawablah pertanyaan di bawah ini dengan benar sesuai dengan materi yang disampaikan dalam Bab V!

1. Jelaskan konsep dasar dari Wattmeter!
2. Jelaskan konsep dasar dari *power factor*!
3. Jelaskan hubungan antara tegangan, arus dan phasa pada rangkaian listrik dengan pembebanan induktif (L)!
4. Jelaskan konfigurasi pengukuran daya dengan menggunakan:
 - a. 3 amperemeter
 - b. 3 voltmeter
5. Perhatikan gambar di bawah ini !



Sebuah rangkaian listrik sumber arus searah diukur dengan menggunakan 3 Voltmeter, selanjutnya masing-masing voltmeter (V_3 , V_2 dan V_1) menunjukkan hasil ukur 50 V, 10 V dan 15 V. Jika diketahui tahanan dalam dari rangkaian (R) adalah 250 Ohm, hitunglah nilai pengukuran daya dari rangkaian tersebut!

6. Perhatikan gambar di bawah ini!



Sebuah rangkaian listrik sumber arus searah diukur dengan menggunakan 3 Amperemeter, selanjutnya masing-masing ammeter (I_3 , I_2 dan I_1) menunjukkan hasil ukur 20 A, 8 A dan 10 A. Jika diketahui tahanan dalam dari rangkaian (R) adalah 100 Ohm, hitunglah nilai pengukuran daya dari rangkaian tersebut!

7. Jelaskan teori kesalahan dalam Wattmeter!
8. Jelaskan tahapan dalam mengukur daya menggunakan Wattmeter!
9. Jelaskan cara untuk menghindari kerusakan Wattmeter dalam proses pengukuran!
10. Jelaskan alasan kenapa wattmeter harus dijauhkan dari peralatan yang memiliki medan magnet yang tinggi!

BAB VI OSILOSKOP DAN *FUNCTION GENERATOR*

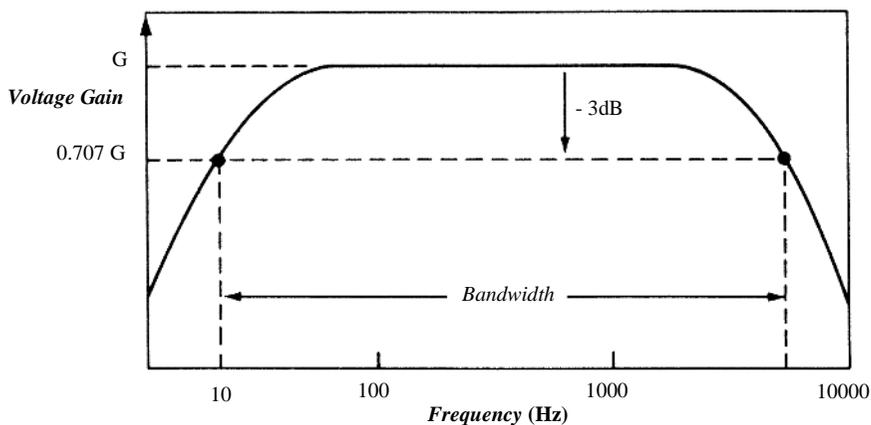
6.1 Prinsip Kerja Osiloskop

Osiloskop sinar katoda mungkin merupakan instrumen yang paling serbaguna dan berguna yang tersedia untuk pengukuran sinyal. Dalam bentuk dasarnya, ini adalah instrumen analog dan sering disebut osiloskop analog untuk membedakannya dari osiloskop penyimpanan digital. Osiloskop analog banyak digunakan untuk pengukuran tegangan, terutama sebagai item peralatan uji untuk menemukan kesalahan sirkuit, dan ia mampu mengukur rentang yang sangat luas dari kedua sinyal tegangan a.c. dan d.c. Selain mengukur level tegangan, ini juga dapat mengukur lainnya kuantitas seperti frekuensi dan fase sinyal. Ini juga dapat menunjukkan sifat dan besarnya kebisingan yang mungkin merusak sinyal pengukuran. Model yang lebih mahal dapat mengukur sinyal pada frekuensi hingga 500 MHz dan bahkan model termurah dapat mengukur sinyal hingga 20 MHz.

Salah satu keunggulan osiloskop yang sangat kuat adalah impedansi inputnya yang tinggi, biasanya 1 M Ω , yang berarti bahwa instrumen memiliki efek pembebanan yang dapat diabaikan dalam sebagian besar situasi pengukuran. Sebagai alat uji, sering kali diperlukan untuk mengukur tegangan yang frekuensi dan besarnya sama sekali tidak diketahui. Set sakelar putar yang mengubah basis waktunya dengan begitu mudah, dan sirkuit yang melindunginya dari kerusakan saat tegangan tinggi diterapkan pada rentang yang salah, membuatnya cocok untuk aplikasi semacam itu. Namun, ini bukan instrumen yang sangat akurat dan paling baik digunakan di mana hanya perkiraan pengukuran yang diperlukan. Dalam instrumen terbaik, ketidaktepatan dapat dibatasi hingga $\pm 1\%$ dari pembacaan tetapi ketidaktepatan dapat mendekati $\pm 10\%$ pada instrumen termurah. Kerugian

lebih lanjut dari osiloskop termasuk kerapuhannya (dibangun di sekitar tabung sinar katoda) dan biayanya yang cukup tinggi.

Aspek terpenting dalam spesifikasi osiloskop adalah *bandwidth*, waktu naik (*rise time*), dan akurasinya. *Bandwidth* didefinisikan sebagai rentang frekuensi di mana penguatan penguat osiloskop berada dalam jarak 3 dB dari nilai puncaknya, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 6.1. Titik -3 dB adalah di mana *gain* 0,707 kali nilai maksimumnya.



Gambar 6.1 *Bandwidth.*

Pada sebagian besar osiloskop, penguat dikopel langsung, yang berarti bahwa penguat tersebut menguatkan d.c. tegangan dengan faktor yang sama dengan frekuensi rendah a.c. yang. Untuk instrumen tersebut, frekuensi minimum terukur adalah nol dan *bandwidth* dapat diartikan sebagai frekuensi maksimum di mana sensitivitas (defleksi/volt) berada dalam 3 dB dari nilai puncak. Dalam semua situasi pengukuran, osiloskop yang dipilih untuk digunakan harus sedemikian rupa sehingga frekuensi maksimum yang akan diukur berada di dalam bandwidth. Spesifikasi -3 dB berarti bahwa osiloskop dengan ketidakakuratan tertentu $\pm 2\%$ dan bandwidth 100 MHz akan memiliki ketidakakuratan $\pm 5\%$ saat mengukur sinyal 30 MHz dan ketidakakuratan ini akan meningkat lebih jauh lagi pada frekuensi yang lebih

tinggi. Jadi, ketika diterapkan pada pengukuran amplitudo sinyal, osiloskop hanya dapat digunakan pada frekuensi hingga sekitar 0,3 kali bandwidth yang ditentukan.

Waktu naik adalah waktu transit antara tingkat respons 10% dan 90% ketika input langkah diterapkan ke osiloskop. Osiloskop biasanya dirancang sedemikian rupa sehingga:

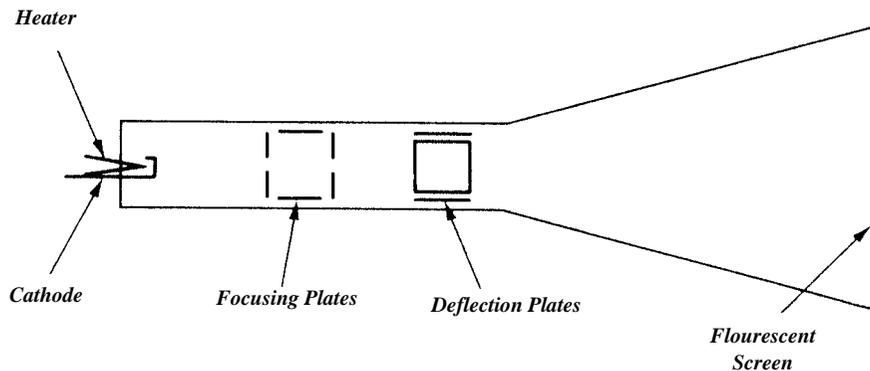
$$\text{Bandwidth} \times \text{Rise time} = 0.35$$

Jadi, untuk bandwidth 100 MHz, waktu naik = $0.35/100.000\ 000 = 3.5\text{ns}$.

Osiloskop adalah instrumen yang relatif rumit yang dibangun dari sejumlah subsistem, dan perlu untuk mempertimbangkan masing-masing secara bergantian untuk memahami bagaimana fungsi instrumen yang lengkap.

6.2 *Cathoda Ray Tube (CRT)*

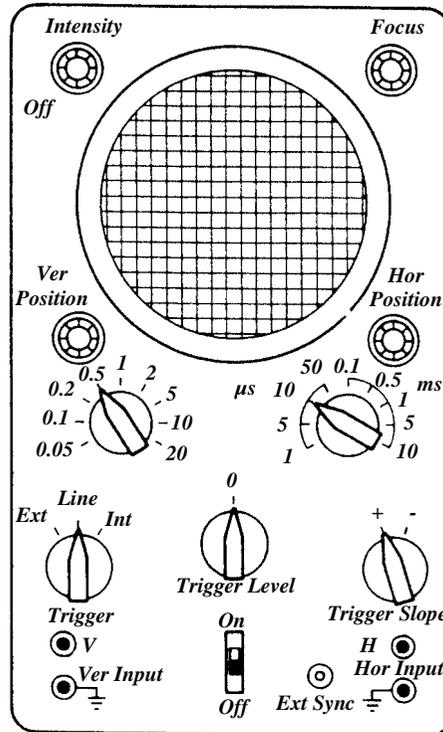
Tabung sinar katoda, ditunjukkan pada Gambar 6.2, adalah bagian mendasar dari osiloskop. Katoda terdiri dari filamen tipis yang dilapisi barium dan strontium oksida yang dipanaskan dari mana aliran elektron dipancarkan. Aliran elektron difokuskan pada titik yang terdefinisi dengan baik spot pada layar *fluorescent* oleh sistem pemfokusan elektrostatik yang terdiri dari serangkaian cakram logam dan silinder yang diisi pada berbagai potensi. Penyesuaian mekanisme pemfokusan ini disediakan oleh kontrol pada panel depan osiloskop. Sebuah kontrol intensitas memvariasikan arus pemanas katoda dan oleh karena itu laju emisi elektron dan dengan demikian menyesuaikan intensitas tampilan di layar. Kontrol ini dan kontrol tipikal lainnya diperlihatkan dalam ilustrasi panel depan osiloskop sederhana yang diberikan pada Gambar 6.3.



Gambar 6.2 Tabung *Cathode Ray Tube* (CRT).

Penerapan potensial pada dua set pelat deflektor yang dipasang tegak lurus satu sama lain di dalam tabung memberikan pembelokan aliran elektron, sehingga tempat di mana elektron difokuskan pada layar dipindahkan. Dua set pelat pembelok biasanya dikenal sebagai pelat pembelok horizontal dan vertikal, sesuai dengan gerakan masing-masing yang disebabkan oleh titik pada layar. Besarnya setiap sinyal yang diterapkan pada pelat deflektor dapat dihitung dengan mengukur defleksi titik terhadap kisi-kisi kawat bersilang yang terukir di layar.

Dalam mode paling umum penggunaan osiloskop yang mengukur sinyal yang berubah-ubah waktu, sinyal yang tidak diketahui diterapkan, melalui penguat, ke pelat deflektor sumbu y (vertikal) dan basis waktu ke pelat deflektor sumbu x (horizontal). Pada mode operasi ini, tampilan pada layar osiloskop berupa grafik dengan besaran sinyal yang tidak diketahui pada sumbu vertikal dan waktu pada sumbu horizontal.



Gambar 6.2 Tampilan Kontrol pada Osiloskop.

6.3 Bagian dari Osiloskop

6.3.1 Channel

Satu saluran menjelaskan subsistem dasar dari sumber elektron, sistem pemfokusan, dan pelat deflektor. Subsistem ini sering diduplikasi satu kali atau lebih dalam tabung sinar katoda untuk memberikan kemampuan menampilkan dua atau lebih sinyal pada waktu yang sama di layar. Oleh karena itu, konfigurasi osiloskop umum dengan dua saluran dapat menampilkan dua sinyal terpisah secara bersamaan.

6.3.2 Single Ended Input

Jenis input ini hanya memiliki satu terminal input ditambah terminal *ground* per saluran osiloskop dan, akibatnya, hanya memungkinkan tegangan sinyal diukur relatif terhadap ground. Biasanya hanya digunakan dalam osiloskop sederhana.

6.3.3 Differential Input

Jenis input ini disediakan pada osiloskop yang lebih mahal. Dua terminal input ditambah terminal arde disediakan untuk setiap saluran, yang memungkinkan perbandingan potensial pada dua titik yang tidak diarde dalam rangkaian. Jenis input ini juga dapat digunakan dalam mode ujung tunggal untuk mengukur sinyal relatif terhadap ground dengan hanya menggunakan salah satu terminal input plus ground.

6.3.4 Time Base Circuit

Tujuan dari basis waktu (*time base*) adalah untuk menerapkan tegangan ke pelat deflektor horizontal sedemikian rupa sehingga posisi horizontal titik sebanding dengan waktu. Tegangan ini, dalam bentuk tanjakan yang dikenal sebagai bentuk gelombang sapuan, harus diterapkan berulang-ulang, sehingga gerakan titik melintasi layar tampak sebagai garis lurus ketika a d.c. level diterapkan ke saluran input. Selanjutnya, tegangan basis waktu ini harus disinkronkan dengan sinyal input dalam kasus umum sinyal yang berubah-ubah waktu, sehingga gambar yang stabil diperoleh pada layar osiloskop. Lama waktu yang dibutuhkan titik untuk melintasi layar dikendalikan oleh sakelar waktu/div, yang mengatur lama waktu yang dibutuhkan titik untuk melakukan perjalanan antara dua divisi yang ditandai pada layar, sehingga memungkinkan sinyal pada rentang frekuensi yang luas untuk diukur.

Setiap siklus gelombang sapuan dimulai oleh pulsa dari generator pulsa. Input ke generator pulsa adalah sinyal sinusoidal yang dikenal sebagai sinyal pemicu, dengan pulsa yang dihasilkan setiap kali sinyal pemicu melintasi kondisi kemiringan dan level tegangan yang telah dipilih sebelumnya. Kondisi ini ditentukan oleh level pemicu dan sakelar

kemiringan pemacu. Selanjutnya, yang pertama memilih level tegangan pada sinyal pemacu, biasanya nol, di mana pulsa dihasilkan, sementara yang terakhir memilih apakah pulsa terjadi pada bagian gelombang pemacu positif atau negatif. Sinkronisasi bentuk gelombang sapuan dengan sinyal terukur paling mudah dicapai dengan menurunkan sinyal pemacu dari sinyal terukur, prosedur yang dikenal sebagai pemacu internal. Atau, pemacu eksternal dapat diterapkan jika frekuensi sinyal pemacu dan sinyal terukur terkait dengan bilangan bulat konstan sehingga tampilan stasioner.

Pemacu eksternal diperlukan ketika amplitudo sinyal yang diukur terlalu kecil untuk menggerakkan generator pulsa dan juga digunakan dalam aplikasi di mana ada persyaratan untuk mengukur perbedaan fasa antara dua sinyal sinusoidal dengan frekuensi yang sama. Sangat mudah untuk menggunakan tegangan saluran 50 Hz untuk pemacu eksternal saat mengukur sinyal pada frekuensi listrik dan ini sering diberi nama pemacu saluran.

6.3.5 Vertical Sensitivity Control

Ini terdiri dari serangkaian attenuator dan pre-amplifier pada input ke osiloskop. Ini mengkondisikan sinyal yang diukur ke magnitudo optimal untuk input ke penguat utama dan pelat defleksi vertikal, sehingga memungkinkan instrumen untuk mengukur rentang besaran sinyal yang berbeda. Pemilihan amplifier/attenuator input yang sesuai dibuat dengan mengatur kontrol volts/div yang terkait dengan masing-masing saluran osiloskop. Ini menentukan besarnya sinyal input yang akan menyebabkan defleksi satu divisi di layar.

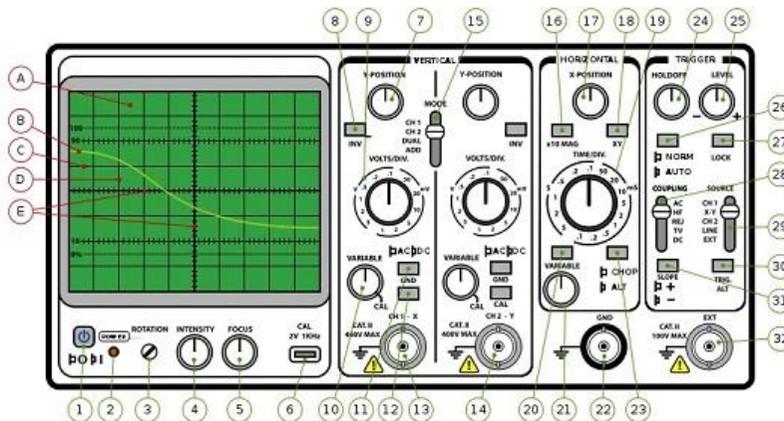
6.3.6 Display Position Control

Ini memungkinkan posisi di mana sinyal ditampilkan di layar dikontrol dengan dua cara. Posisi horizontal diatur oleh kenop posisi

horizontal pada panel depan osiloskop dan demikian pula kenop posisi vertikal mengontrol posisi vertikal. Kontrol ini menyesuaikan posisi tampilan dengan membiaskan sinyal yang diukur dengan d.c. tingkat tegangan.

6.4 Fungsi dari Bagian Osiloskop Analog

Osiloskop merupakan salah satu alat ukur yang sangat bermanfaat dalam menguji dan mengukur suatu rangkaian elektronika. Selanjutnya dengan menggunakan osiloskop, suatu rangkaian elektronika dapat diamati keluarannya dengan melihat bentuk-bentuk gelombang baik yang berbentuk gelombang Sinus maupun bentuk-bentuk gelombang lainnya. Salah satu osiloskop yang banyak digunakan di lapangan adalah osiloskop analog. Bentuk dan tampilan dari osiloskop analog secara detail ditunjukkan pada gambar 6.3.



Gambar 6.3 Bagian lengkap pada osiloskop analog.

Gambar 6.3 menunjukkan bagian lengkap dari osiloskop analog yang memiliki fungsi sebagai berikut.

1. Tombol Power ON/OFF

Tombol Power ON/OFF berfungsi untuk menghidupkan dan mematikan Osiloskop.

2. Lampu Indikator

Lampu Indikator berfungsi sebagai Indikasi Osiloskop dalam keadaan ON (lampu hidup) atau OFF (lampu mati).

3. Rotation

Rotation pada Osiloskop berfungsi untuk mengatur posisi tampilan garis pada layar agar tetap berada pada posisi horizontal. Untuk mengatur rotation ini, biasanya harus menggunakan obeng untuk memutarinya.

4. Intensity

Intensity digunakan untuk mengatur kecerahan tampilan bentuk gelombang agar mudah dilihat.

5. Focus

Focus digunakan untuk mengatur penampilan bentuk gelombang sehingga tidak kabur.

6. CAL

CAL digunakan untuk Kalibrasi tegangan *peak to peak* (V_{P-P}) atau tegangan puncak ke puncak.

7. Position

Posistion digunakan untuk mengatur posisi vertikal (masing-masing saluran/*channel* memiliki pengatur *position*).

8. Inv (Invert)

Saat tombol INV ditekan, sinyal input yang bersangkutan akan dibalikkan.

9. Sakelar Volt/DIV

Sakelar yang digunakan untuk memilih besarnya tegangan per sentimeter (Volt/Div) pada layar Osiloskop. Umumnya, Osiloskop memiliki dua saluran (dual channel) dengan dua Sakelar VOLT/DIV. Biasanya tersedia pilihan 0,01V/Div hingga 20V/Div.

10. Variable

Fungsi *Variable* pada Osiloskop adalah untuk mengatur kepekaan (sensitivitas) arah vertikal pada saluran atau *channel* yang bersangkutan. Putaran Maksimum Variable adalah CAL yang berfungsi untuk melakukan kalibrasi Tegangan 1 Volt tepat pada 1cm di layar Osiloskop.

11. AC – DC

Pilihan AC digunakan untuk mengukur sinyal AC, sinyal input yang mengandung DC akan ditahan/diblokir oleh sebuah Kapasitor. Sedangkan pada pilihan posisi DC maka Input Terminal akan terhubung langsung dengan Penguat yang ada di dalam Osiloskop dan seluruh sinyal input akan ditampilkan pada layar Osiloskop.

12. GND

Jika tombol GND diaktifkan, maka Terminal INPUT akan terbuka, Input yang bersumber dari penguatan Internal Osiloskop akan ditanahkan (*grounded*).

13. Vertical Input CH-1

Sebagai *vertical input* untuk Saluran 1 (*Channel 1*)

14. Vertical Input CH-2

Sebagai *vertical input* untuk Saluran 2 (*Channel 2*)

15. Sakelar Mode

16. Sakelar

Mode pada umumnya terdiri dari 4 pilihan yaitu CH1, CH2, DUAL, dan ADD.

CH1 = Untuk tampilan bentuk gelombang Saluran 1 (*Channel 1*).

CH2 = Untuk tampilan bentuk gelombang Saluran 2 (*Channel 2*).

DUAL = Untuk menampilkan bentuk gelombang Saluran 1 (CH1) dan Saluran 2 (CH2) secara bersamaan.

ADD = Untuk menjumlahkan kedua masukan saluran/saluran secara aljabar. Hasil penjumlahannya akan menjadi satu gambar bentuk gelombang pada layar.

17. x10 MAG

Untuk pembesaran (*Magnification*) frekuensi hingga 10 kali lipat.

18. Position

Untuk penyetelan tampilan kiri-kanan pada layar.

19. XY

Pada fungsi XY ini digunakan, Input Saluran 1 akan menjadi Axis X dan Input Saluran 2 akan menjadi Axis Y.

20. Sakelar *Time/DIV*

Sakelar *Time/DIV* digunakan untuk memilih skala besaran waktu dari suatu periode atau per satu kotak cm pada layar Osiloskop.

21. Tombol *Cal (Time/DIV)*

ini berfungsi untuk kalibrasi *Time/DIV*.

22. *Variable*

Fungsi *Variable* pada bagian Horizontal adalah untuk mengatur kepekaan (*sensitivitas*) *Time/DIV*.

23. GND

GND merupakan konektor yang dihubungkan ke *ground* (tanah).

24. Tombol CHOP dan ALT

CHOP adalah menggunakan potongan dari saluran 1 dan saluran 2.
ALT atau Alternate adalah menggunakan saluran 1 dan saluran 2 secara bergantian.

25. Hold Off

Hold Off untuk mendiamkan gambar pada layar osiloskop.

26. Level

Level atau *Trigger Level* digunakan untuk mengatur gambar yang diperoleh menjadi diam atau tidak bergerak.

27. Tombol Norm dan Auto

Melakukan normalisasi dan setting otomatis terhadap sinyal keluaran.

28. Tombol Lock

Untuk mengunci sinyal hasil keluaran agar dapat dengan mudah dibaca.

29. Sakelar Coupling

Menunjukkan hubungan dengan sinyal searah (DC) atau bolak balik (AC).

30. Sakelar Source

Penyesuai pemilihan sinyal.

31. Trigger Alt

Memberikan masukan input tambahan (alternatif).

32. Slope

Untuk menampilkan slope pada pengukuran dengan dua sumber masukan.

33. Ext

Trigger yang dikendalikan dari rangkaian di luar Osiloskop.

Selanjutnya, untuk bagian pada layar osiloskop memiliki fungsi sebagai berikut.

A. Layar Osiloskop

Sebagai tampilan untuk menunjukkan sinyal keluaran dari beban yang diukur

B. Trace, Garis yang Digambar oleh Osiloskop yang Mewakili Sinyal

Sebagai penunjuk sinyal keluaran dari beban yang diukur

C. Garis Grid Horizontal

Garis skala horizontal umumnya digunakan untuk mengamati besar periode dan frekuensi dan dapat dikendalikan dengan mengatur tombol *time/div*.

D. Garis Grid Vertikal

Garis skala vertikal umumnya digunakan untuk mengamati besar amplitudo dan dapat dikendalikan dengan mengatur tombol *volt/div*.

E. Garis Tengah Horizontal dan Vertikal

Merupakan titik tengah antara grid vertikal dan horizontal.

6.5 Kalibrasi pada Osiloskop

Tahapan awal dalam melakukan pengukuran adalah dengan melakukan kalibrasi yang bertujuan untuk mendapatkan hasil pengukuran yang akurat. Kalibrasi pada osiloskop hanya berlaku untuk model analog sedangkan untuk model digital tidak diperlukan proses kalibrasi. Adapun tahapan dalam melakukan proses kalibrasi pada osiloskop analog adalah sebagai berikut.

1. Hubungkan kabel power oscilloscope ke sumber listrik 220 V_{AC}.
2. Pasang probe oscilloscope ke CH1 X dan CH2 Y, pastikan kedua probe pada skala 1X, seperti yang ditunjukkan pada gambar 6.4.

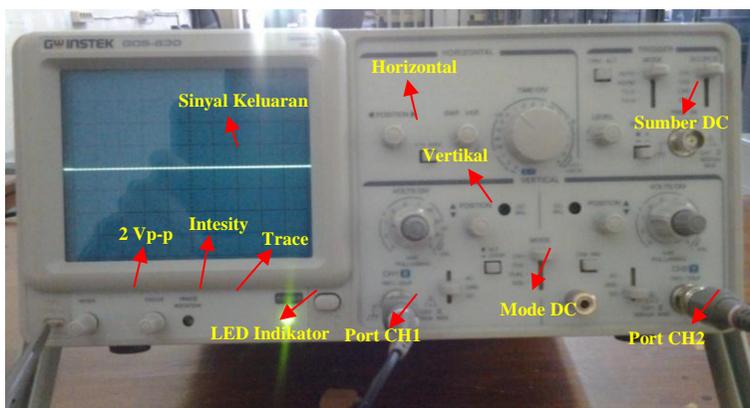


Gambar 6.3 Probe osiloskop.

3. Pada tombol Mode Pilih CH1 X.
4. Pada pengaturan CH1 X pilih pengukuran pada posisi GND.
5. Pasang probe PIN CAL 2 Vp-p, 1 KHz

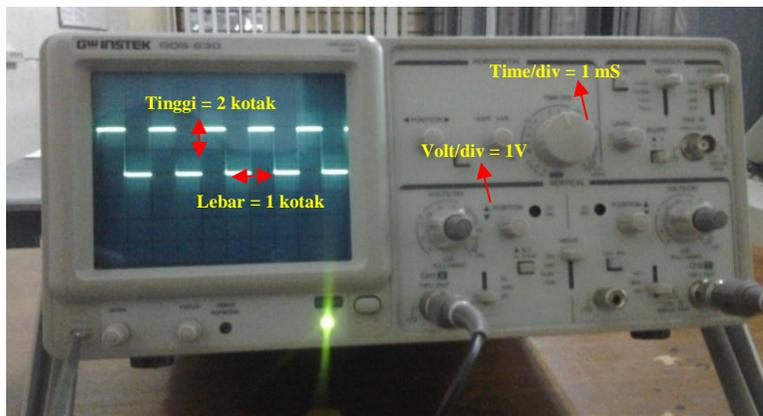
Perlu dipahami bahwa CAL 2 Vp-p menunjukkan bahwa nilai kalibrasi dari osiloskop yang digunakan yaitu 2 Volt *peak to peak* yang berarti 1 kotak akan menunjukkan angka 2V.

6. Tekan tombol power, pastikan indikator power menyala.
7. Perhatikan tampilan sinyal pada layar monitor, atur posisi dan tampilan sinyal pada posisi tengah sumbu X dan Y dengan memutar knob *position* sumbu *vertical* dan *horizontal*, *intensity*, *focus* dan *trace rotation*, seperti yang ditunjukkan pada gambar 6.3.



Gambar 6.4 Pengaturan tombol pada saat kalibrasi.

8. Langkah selanjutnya, pada pangaturan CH1 X pilih pengukuran pada posisi DC.
9. Untuk kalibrasi tegangan, atur posisi saklar Volt/Div pada CH1 X pada skala 1V, kemudian atur amplitude sinyal sebesar 2Vp-p, untuk kalibrasi frekuensi atur posisi saklar TIME/DIV pada skala 1 mS, dengan memutar tombol SWP.VAR atur frekuensi osiloskop sebesar 1 KHz. Hasil kalibrasi osiloskop ditunjukkan pada gambar 6.5.



Gambar 6.5 Pengaturan tombol pada saat kalibrasi.

10. Validasi dari proses kalibrasi dapat dilakukan sebagai berikut:
Tegangan V_{p-p} dan perioda dari sinyal pada osiloskop dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini.

$$V_{p-p} = \text{tinggi kotak} \times \text{Volt/div} \quad (6.1)$$

$$\text{Perioda } (T) = \text{lebar kotak} \times \text{Time/div} \quad (6.2)$$

Osiloskop yang digunakan memiliki nilai kalibrasi 2 Vp-p / 1 KHz, untuk itu dapat dilakukan perhitungan untuk memverifikasi tampilan layar pada osiloskop dengan prosedur sebagai berikut.

$$V_{p-p} = 2 \text{ kotak} \times 1 \text{ Volt} = 2 V_{p-p}$$

$$\text{Perioda } (T) = 1 \text{ kotak} \times 1 \text{ mS} = 1 \text{ mS}$$

Untuk menentukan frekuensi dari pembacaan pada osiloskop dapat menggunakan persamaan di bawah ini.

$$F = \frac{1}{T} \rightarrow T = \frac{1}{F} \quad (6.3)$$

Maka,

$$F = \frac{1}{1 \times 10^{-3}} = 1000 \text{ Hz} = 1 \text{ KHz}$$

Hal ini menunjukkan bahwa osiloskop telah terkalibrasi sesuai dengan standar yang ditentukan pabrikan.

6.6 Pengukuran Tegangan, Arus, dan Frekuensi dengan Osiloskop

Osiloskop dapat digunakan sebagai alat ukur untuk tegangan (V_{p-p}), frekuensi dan perioda dari sinyal masukan yang diberikan pada *port input*. Adapun tahapan dalam melakukan pengukuran pengukuran tegangan, frekuensi, dan periode dibedakan dalam proses pembacaan hasilnya. Pembacaan hasil pengukuran didapatkan berdasarkan skala penunjukan dan tampilan gelombang pada alat ukur osiloskop. Adapun tahapan dalam pengukuran tegangan, frekuensi dan perioda dengan menggunakan osiloskop dijelaskan sebagai berikut.

1. Pengukuran Tegangan dan Arus

Pengukuran tegangan dilakukan sesuai dengan jenis tegangan yang akan diukur yaitu AC/DC. Proses pengukuran tegangan hampir sama dengan proses kalibrasi, namun perlu diperhatikan dalam pemilihan *source* agar disesuaikan dengan tegangan dari sumber (AC/DC).

Tegangan yang ditampilkan dalam osiloskop disebut dengan tegangan V_{p-p} (*peak to peak*) yang dimati dari puncak ke puncak gelombang sinyal keluran. Adapun V_{p-p} dapat dihitung dan ditentukan dengan menggunakan persamaan 6.1 yang telah dijelaskan pada subbab sebelumnya:

$$V_p - p = \text{tinggi kotak} \times \text{Volt/div} \quad (6.1)$$

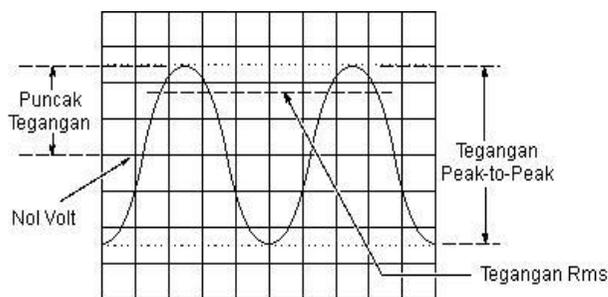
Sedangkan untuk tegangan maksimum (V_{\max}) adalah tegangan maksimum dari sumber keluaran untuk puncak bagian atas dan bawah dari gelombang keluaran. Umumnya, gelombang keluaran dari sinyal masukan pada osiloskop adalah bentuk gelombang sinusoidal. Besarnya tegangan maksimum/tegangan puncak (V_{\max}) dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini.

$$V_{\max} = \frac{V_{p-p}}{2} \quad (6.2)$$

Selanjutnya, untuk mendapatkan nilai tegangan sesuai dengan pengukuran di lapangan dapat dikonversi menjadi V_{rms} (*root mean square*) atau disebut juga dengan tegangan efektif V_{eff} menggunakan persamaan di bawah ini.

$$V_{\text{rms}} = \frac{V_{p-p}}{\sqrt{2}} \quad (6.3)$$

$$V_{\text{rms}} = V_{\max} \times \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (6.4)$$



Gambar 6.6 Perbedaan tegangan *peak to peak*, rms, dan tegangan puncak.

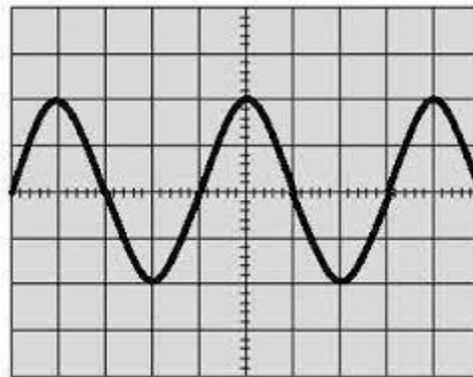
Arus dari sumber masukan yang diberikan pada osiloskop dapat ditunjukkan menggunakan nilai tegangan efektif/tegangan *root mean square* ($V_{\text{eff}} / V_{\text{rms}}$). Besar arus efektif dan arus maksimum dapat didapatkan menggunakan persamaan di bawah ini.

$$I_{max} = \frac{V_{rms}}{\sqrt{2}} \quad (6.3)$$

$$I_{eff} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} \quad (6.4)$$

Contoh soal 1

Perhatikan gambar di bawah ini!



Sebuah pengukuran tegangan AC dengan osiloskop menunjukkan hasil seperti gambar di atas. Jika penunjukan skala Volt/div pada alat ukur osiloskop adalah 2 V, hitunglah nilai dari:

- V_{p-p}
- V_{max}
- V_{eff}
- I_{max}
- I_{eff}

Solusi:

Tinggi gelombang = 4 kotak

Volt/div = 1 V

- a. V_{p-p} (Tegangan *Peak to Peak*)

$$V_{p-p} = \text{tinggi kotak} \times \text{Volt/div}$$

$$V_{p-p} = 4 \times 1 \text{ Volt/div}$$

$$V_{p-p} = 4 V_{p-p}$$

- b. V_{\max} (Tegangan Maximum)

$$V_{\max} = \frac{V_{p-p}}{2} = \frac{4 V_{p-p}}{2} = 2 V$$

- c. V_{eff} (Tegangan Efektif)

$$V_{\text{rms}} = \frac{V_{p-p}}{\sqrt{2}} = \frac{4 V_{p-p}}{1,414} = 2.82 V$$

- d. I_{\max} (Arus maksimum)

$$I_{\max} = \frac{V_{\text{rms}}}{\sqrt{2}} = \frac{2.82}{1,414} = 1.99 A$$

- e. I_{eff} (Arus efektif)

$$I_{\text{eff}} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} = \frac{1.99 A}{1,414} = 1.407 A$$

2. Pengukuran Periode dan Frekuensi

Pengukuran frekuensi dan periode dilakukan sesuai dengan jenis tegangan yang akan diukur yaitu AC/DC. Proses pengukuran frekuensi hampir sama dengan proses kalibrasi dan pengukuran tegangan, namun perlu diperhatikan dalam pemilihan *source* agar disesuaikan dengan tegangan dari sumber (AC/DC). Pengukuran frekuensi dan periode dilakukan dengan mengamati lebar gelombang sinusoidal dari sumber masukan dari osiloskop. Periode dan frekuensi dari sinyal keluaran dari osiloskop didapatkan dengan formula sebagai berikut.

$$\text{Periode (T)} = \text{lebar kotak} \times \text{Time/div} \quad (6.2)$$

$$F = \frac{1}{T} \rightarrow T = \frac{1}{F} \quad (6.3)$$

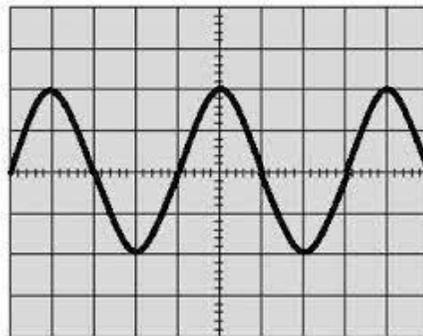
Di mana:

F = frekuensi (*Hertz*)

T = perioda (*second*)

Contoh soal 1

Perhatikan gambar di bawah ini!



Sebuah pengukuran frekuensi dan periode dari tegangan AC dengan osiloskop menunjukkan hasil seperti gambar diatas. Jika penunjukkan skala *time/div* pada alat ukur osiloskop adalah 10 mS, hitunglah nilai dari:

- Perioda (T)
- Frekuensi (F)

Solusi:

Lebar gelombang = 4 kotak

Time/div = 10 mS

- Perioda (T)

$$\text{Perioda } (T) = 4 \times 10 \text{ mS} = 40 \text{ mS}$$

- Frekuensi (F)

$$F = \frac{1}{T} \rightarrow T = \frac{1}{F}$$

$$F = \frac{1}{T} = \frac{1}{40 \text{ mS}} = \frac{1}{40 \cdot 10^{-3}} = 0.025 \times 10^3 = 25 \text{ Hz}$$

$$T = \frac{1}{25} = 0.04 \text{ S}$$

6.7 Function Generator

Function Generator atau Generator Fungsi adalah alat uji elektronik yang dapat membangkitkan berbagai bentuk gelombang. Bentuk Gelombang yang dapat dihasilkan oleh Function Generator di antaranya seperti bentuk gelombang sinus (*sine wave*), gelombang kotak (*square wave*), gelombang gigi gergaji (*saw tooth wave*), gelombang segitiga (*triangular wave*) dan gelombang pulsa (*pulse*). Fungsi ini sedikit berbeda dengan RF Signal Generator ataupun Audio Signal Generator yang pada umumnya hanya fokus pada pembangkitan bentuk gelombang sinus.

Function Generator dapat menghasilkan frekuensi hingga 20 MHz, tergantung pada rancangan produsennya. Frekuensi yang dihasilkan tersebut dapat diatur sesuai dengan kebutuhan dalam proses pengukuran. Selain itu, pengaturan lain yang dapat dilakukan adalah bentuk gelombang, *DC Offset* dan *Duty Cycle* (Siklus Kerja). *DC Offset* digunakan untuk mengubah tegangan rata-rata pada sinyal relatif terhadap 0 V atau *Ground*. Selanjutnya, *Duty Cycle* atau siklus kerja adalah perbandingan waktu ketika sinyal mencapai kondisi ON dan ketika mencapai kondisi OFF dalam satu periode sinyal. Dengan kata lain, siklus Kerja atau *Duty Cycle* adalah perbandingan lamanya waktu kondisi ON dan kondisi OFF suatu sinyal pada setiap periode. Fungsi pengaturan *Duty Cycle* untuk mengubah rasio tegangan tertinggi ke tegangan terhadap tegangan terendah pada sinyal gelombang persegi.

Function generator yang beredar dipasaran terdiri dari beberapa jenis, antara lain:

a. **Analogue Function Generator (Generator Fungsi Analog)**

Function Generator jenis ini adalah *Function Generator* yang paling pertama dikembangkan yaitu sekitar tahun 1950-an. Pada saat itu menggunakan teknologi digital masih sangat terbatas. Meskipun masih menggunakan Teknologi Analog, *Function Generator* jenis ini memiliki beberapa kelebihan yaitu harga yang relatif lebih murah, cara penggunaan yang lebih mudah dan sederhana.



Gambar 6.7 Analog *Function Generator*.

b. **Digital Function Generator (Generator Fungsi Digital)** – Seperti namanya, *Function Generator* jenis ini memanfaatkan teknologi digital untuk menghasilkan bentuk gelombangnya. Ada beberapa teknik yang dapat digunakan untuk membangkitkan bentuk gelombang, namun teknik yang paling umum digunakan adalah teknik *Direct Digital Synthesis* (Sintesis Digital Langsung) atau disingkat dengan DDS. *Digital Function Generator* ini mampu menghasilkan bentuk gelombang dengan tingkat akurasi dan stabilitas yang tinggi karena rangkaian sistem *Pewaktunya (clock)* dikendalikan oleh Kristal (*Crystal*). *Digital Function Generator* juga mampu menghasilkan spektral yang murni (*high spectral purity*) dan *Noise Fase* yang rendah (*low phase noise*). Adapun harga dari

Digital Function Generator menjadi lebih mahal dan pengoperasian lebih rumit jika dibandingkan dengan *Analog Function Generator*.



Gambar 6.8 Digital Function Generator.

- c. *Sweep Function Generator (Generator Fungsi Sweep)* – *Function Generator* jenis ini memiliki kemampuan Sweep pada Frekuensinya. Pada umumnya, *Sweep Function Generator* ini menggunakan teknologi digital, namun ada juga yang menggunakan versi analog. Kemampuan *sweep* pada *Function Generator* jenis ini dapat mencapai 100:1 atau bahkan lebih tergantung pada tipe generatornya.



Gambar 6.8 Sweep Function Generator.

6.8 Bagian dari *Function Generator*

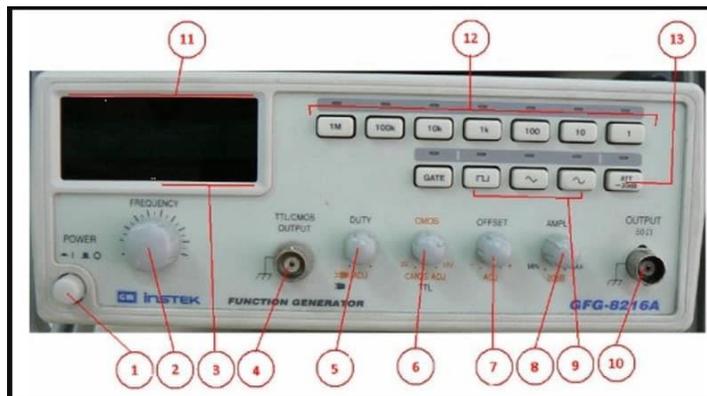
Function Generator terdiri dari Generator Utama dan Generator Modulasi yang memiliki fungsi sebagai berikut.

- a. *Generator Utama*, menyediakan gelombang output sinus, kotak, atau gelombang segitiga dengan rentang frekuensi 0,01 Hz sampai 13 MHz.
- b. *Generator Modulasi*, dapat menghasilkan bentuk gelombang sinus, kotak dan segitiga dengan rentang frekuensi 0,01 Hz hingga 10kHz. Generator sinyal input biasanya digunakan sebagai *Amplitudo Modulation* (AM) atau *Frequency Modulation* (FM).

Sebuah alat *function generator* adalah bagian dari peralatan tes uji elektronik atau sebuah perangkat yang banyak digunakan sebagai pembangkit berbagai jenis gelombang listrik melalui berbagai frekuensi. Bentuk gelombang yang dihasilkan dapat berulang-ulang atau single shot. Dalam hal ini, beberapa jenis sumber pemicu dibutuhkan (internal maupun eksternal). Biasanya alat ini juga akan menghasilkan gelombang di mana dihasilkan oleh berulang pengisian dan pemakaian kapasitor. Selanjutnya, adapun beberapa fungsi dari *function generator* adalah:

- a. *Function Generator Output*, untuk menghasilkan keluaran (output) bentuk gelombang yang diinginkan.
- b. *Sweep Generator Output*, untuk menghasilkan ayunan (*sweep*) bentuk gelombang yang diinginkan.
- c. *Frequency Counter*, untuk mengetahui dan menghitung nilai *frequency*.

Adapun bagian-bagian dari osiloskop ditunjukkan pada gambar 6.9 di bawah ini.



Gambar 6.8 Bagian dari *Function Generator*.

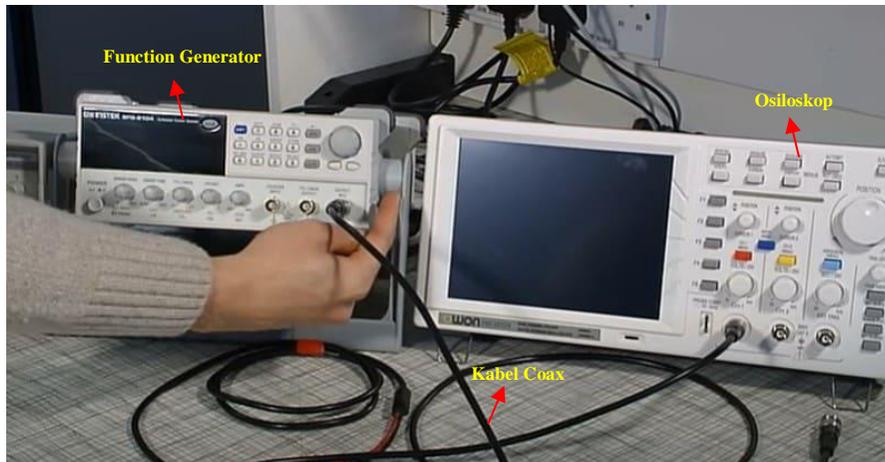
Adapun tombol-tombol atau saklar pengatur yang pada umumnya ada pada Generator Fungsi antara lain:

1. **Saklar Daya/Power Switch:** sebagai tombol untuk mnghidupkan generator fungsi.
2. **Terminal Output TTL/CMOS:** Terminal yang berfungsi untuk menghasilkan keluaran (output) yang kompatibel dengan TTL/CMOS.
3. **Duty Function:** sebagai tombol untuk mengatur *Duty Cycle* Gelombang (Siklus Kerja Gelombang) dengan cara menarik dan *Duty Cycle* atau Siklus Kerja adalah perbandingan lamanya waktu antara kondisi ON dan OFF suatu sinyal pada setiap periode.
4. **Selektor TTL/CMOS:** tombol yang jika ditekan, maka pada terminal output TTI/CMOS akan menghasilkan gelombang yang kompatibel dengan TTL. Sementara jika tombol ini ditarik, maka besarnya tegangan kompatibel output dari Terminal Output TTL/CMOS dapat diatur antara 5-15 Vpp, sesuai besarnya tegangan yang kompatibel dengan CMOS.
5. **DC Offset:** berfungsi untuk memberian offset (Tegangan DC) pada sinyal +/- 10V. Untuk memperoleh level tegangan DC positif cukup

- dengan cara menarik dan memutar searah jarum jam. Namun, bila untuk mendapatkan level tegangan DC negatif dengan cara memutar ke arah yang berlawanan.
6. **Amplitudo Output:** memutar tombol ini searah jarum jam akan menghasilkan tegangan output yang maksimal dan kebalikan untuk output -20dB. Ketika tombol ini ditarik, maka tegangan output akan diperlemah sebesar 20dB.
 7. **Selector Fungsi:** berfungsi untuk mengatur dan memilih bentuk gelombang output yang diinginkan dengan cara menekan salah satu dari tombol.
 8. **Terminal Output Utama:** terminal yang berfungsi untuk mengeluarkan sinyal output utama.
 9. **Tampilan Pencacah:** menampilkan nilai frekuensi dalam format 6 x 0,3”
 10. **Selector Range Frekuensi:** untuk memilih range frekuensi yang sesuai dengan kebutuhan dengan cara menekan salah satu tombol yang relevan.
 11. **Pelemah 20 dB:** sebagai tombol yang berfungsi untuk mendapatkan tegangan output yang diperlemah sebesar 20 dB.

6.9 Cara Penggunaan Function Generator

Dalam pengoperasannya, generator fungsi selalu bersamaan dengan osiloskop. Untuk itu, pastikan generator fungsi dan osiloskop telah tersambung dengan menggunakan kabel *coupling* seperti yang ditunjukkan pada gambar 6.9.



Gambar 6.9 Hubungan antara Osiloskop dan *Function Generator*.

Adapun tahapan dalam menggunakan *function generator* yang terkoneksi dengan osiloskop adalah sebagai berikut.

1. Pertama nyalakan *Power Supply*.
2. Hubungkan kabel BNC dengan Kolektor sesuai dengan kebutuhan dan keinginan. Misalnya, untuk memperoleh sinyal TTL Output, maka konektor dihubungkan konektor TTL output. Dan bila untuk menghasilkan sinyal sinusoidal dan segitiga, dengan menghubungkan pada output 50 Ohm.
3. Putar *Selector Duty Cycle*, untuk mengatur siklus kerja dan menghasilkan frekuensi gelombang kotak pengaturan yang sesuai dengan keinginan. Sebelum mengaturnya, pastikan untuk menarik stang selector terlebih dahulu.
4. Atur amplitudo pada Selector amplitudo dan konektor BNC pada output 50 Ohm untuk menghasilkan frekuensi gelombang sinusoidal dan gelombang segitiga. Untuk meningkatkan nilai tegangan/amplitudonya cukup dengan menarik stang *selector* dan atur dengan maksimal tegangan 15 Volt.

5. Untuk mendapatkan frekuensi yang sesuai dengan keinginan maka pilihlah tombol frekuensi yang diinginkan dan selector pengali yang sesuai.

RANGKUMAN MATERI

1. Osiloskop adalah instrumen yang relatif rumit yang dibangun dari sejumlah subsistem dan perlu untuk mempertimbangkan masing-masing secara bergantian untuk memahami bagaimana fungsi instrumen yang lengkap.
2. Waktu naik adalah waktu transit antara tingkat respons 10% dan 90% ketika input langkah diterapkan ke osiloskop. Osiloskop biasanya dirancang sedemikian rupa, sehingga:

$$\text{Bandwidth} \times \text{Rise time} = 0.35$$

Jadi, untuk bandwidth 100 MHz, waktu naik = $0.35/100.000\ 000 = 3.5\text{ns}$.

3. Katoda terdiri dari filamen tipis yang dilapisi barium dan strontium oksida yang dipanaskan dari mana aliran elektron dipancarkan. Aliran elektron difokuskan pada titik yang terdefinisi dengan baik spot pada layar *fluorescent* oleh sistem pemfokusan elektrostatik yang terdiri dari serangkaian cakram logam dan silinder yang diisi pada berbagai potensi. Penyesuaian mekanisme pemfokusan ini disediakan oleh kontrol pada panel depan osiloskop. Sebuah kontrol intensitas memvariasikan arus pemanas katoda dan oleh karena itu laju emisi elektron, dan dengan demikian menyesuaikan intensitas tampilan di layar.
4. Tujuan dari basis waktu (*time base*) adalah untuk menerapkan tegangan ke pelat deflektor horizontal sedemikian rupa, sehingga posisi horizontal titik sebanding dengan waktu. Tegangan ini, dalam bentuk tanjakan yang dikenal sebagai bentuk gelombang sapuan, harus

diterapkan berulang-ulang, sehingga gerakan titik melintasi layar tampak sebagai garis lurus ketika a d.c. level diterapkan ke saluran input.

5. Osiloskop merupakan salah satu alat ukur yang sangat bermanfaat dalam menguji dan mengukur suatu rangkaian elektronika. Selanjutnya, dengan menggunakan osiloskop, suatu rangkaian elektronika dapat diamati keluarannya dengan melihat bentuk-bentuk gelombang baik yang berbentuk gelombang Sinus maupun bentuk-bentuk gelombang lainnya.
6. Tegangan yang ditampilkan dalam osiloskop disebut dengan tegangan V_{p-p} (*peak to peak*) yang dimati dari puncak ke puncak gelombang sinyal keluran. Adapun V_{p-p} dapat dihitung dan ditentukan dengan menggunakan persamaan 6.1 yang telah dijelaskan pada subbab sebelumnya:

$$V_{p-p} = \text{tinggi kotak} \times \text{Volt/div}$$

7. Besarnya tegangan maksimum/tegangan puncak (V_{max}) dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini.

$$V_{max} = \frac{V_{p-p}}{2}$$

8. Selanjutnya, untuk mendapatkan nilai tegangan sesuai dengan pengukuran di lapangan dapat dikonversi menjadi V_{rms} (*root mean square*) atau disebut juga dengan tegangan efektif V_{eff} menggunakan persamaan di bawah ini.

$$V_{rms} = \frac{V_{p-p}}{\sqrt{2}}$$
$$V_{rms} = V_{max} \times \frac{1}{2} \sqrt{2}$$

9. Besar arus efektif dan arus maksimum dapat didapatkan menggunakan persamaan di bawah ini.

$$I_{max} = \frac{V_{rms}}{\sqrt{2}}$$
$$I_{eff} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$$

10. Periode dan frekuensi dari sinyal keluaran dari osiloskop didapatkan dengan formula sebagai berikut.

$$\text{Periode (T)} = \text{lebar kotak} \times \text{Time/div}$$

$$F = \frac{1}{T} \rightarrow T = \frac{1}{F}$$

Di mana:

F = frekuensi (*Hertz*)

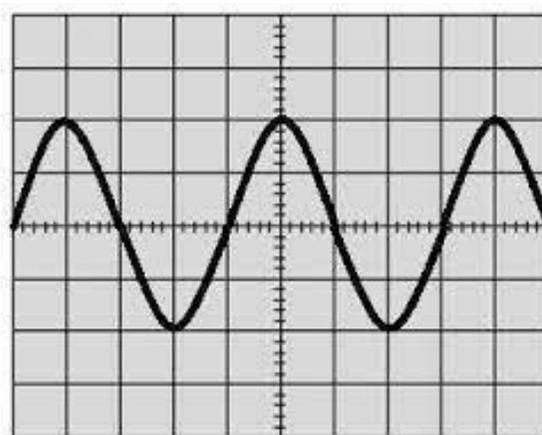
T = periode (*second*)

11. Function Generator terdiri dari: Generator Utama dan Generator Modulasi yang memiliki fungsi sebagai berikut.
- Generator Utama*, menyediakan gelombang output sinus, kotak, atau gelombang segitiga dengan rentang frekuensi 0,01 Hz sampai 13 MHz.
 - Generator Modulasi*, dapat menghasilkan bentuk gelombang sinus, kotak, dan segitiga dengan rentang frekuensi 0,01 Hz hingga 10kHz. Generator sinyal input biasanya digunakan sebagai *Amplitudo Modulation (AM)* atau *Frequency Modulation (FM)*.
12. Selanjutnya, adapun beberapa fungsi dari *function generator* adalah:
- Function Generator Output*, Untuk menghasilkan keluaran (output) bentuk gelombang yang diinginkan.
 - Sweep Generator Output*, untuk menghasilkan ayunan (*sweep*) bentuk gelombang yang diinginkan.
 - Frequency Counter*, untuk mengetahui dan menghitung nilai *frequency*.

EVALUASI MATERI BAB VI – OSILOSKOP DAN *FUNCTION GENERATOR*

Jawablah pertanyaan di bawah ini dengan benar sesuai dengan materi yang disampaikan dalam Bab VI!

1. Jelaskan fungsi dari osiloskop!
2. Jelaskan prinsip kerja dari CRT pada osiloskop!
3. Jelaskan tahapan kalibrasi pada osiloskop analog!
4. Jelaskan perbedaan antara *single ended input* dan *differential input* pada proses pengukuran dengan osiloskop!
5. Jelaskan bagian-bagian dari osiloskop beserta fungsinya!
6. Perhatikan gambar di bawah ini!

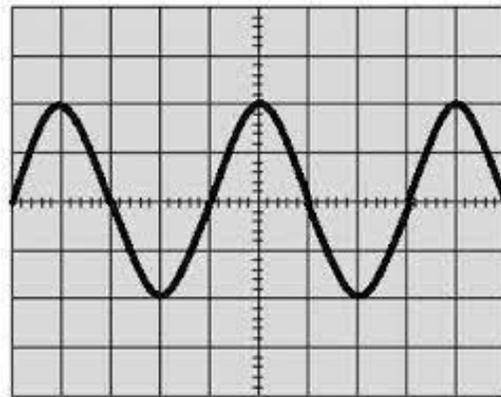


Sebuah pengukuran tegangan AC dengan osiloskop menunjukkan hasil seperti gambar di atas. Jika penunjukan skala Volt/div pada alat ukur osiloskop adalah 5 V, hitunglah nilai dari:

- a. V_{p-p}
- b. V_{max}
- c. V_{eff}
- d. I_{max}

e. I_{eff}

7. Perhatikan gambar di bawah ini!



Sebuah pengukuran frekuensi dan periode dari tegangan AC dengan osiloskop menunjukkan hasil seperti gambar di atas. Jika penunjukan skala time/div pada alat ukur osiloskop adalah 10 mS, hitunglah nilai dari:

a. *Perioda (T)*

b. *Frekuensi (F)*

8. Jelaskan prinsip kerja dari *function generator*!

9. Jelaskan fungsi dari *function generator*!

10. Jelaskan tahapan dalam mengoperasikan *function generator* yang telah terkoneksi dengan osiloskop!

BAB VII RANGKAIAN JEMBATAN ARUS SEARAH DAN BOLAK-BALIK

7.1 Rangkaian Jembatan Arus Searah

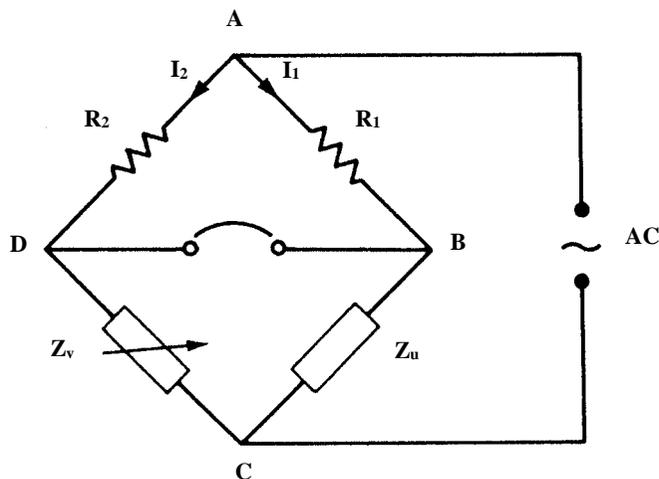
Rangkaian jembatan dengan sumber AC digunakan untuk mengukur impedansi yang tidak diketahui. Adapun jembatan sumber DC, baik tipe nol dan defleksi dijabarkan dengan tipe nol umumnya dicadangkan untuk fungsi kalibrasi.

7.1.1 Jembatan Impedansi Tipe Nol

Sebuah jembatan impedansi tipe-nol tipikal ditunjukkan pada Gambar 7.1. Titik nol dapat dideteksi dengan mudah dengan memantau output dengan sepasang *headphone* yang terhubung melalui penguat operasional di seluruh titik BD. Ini adalah metode deteksi nol yang jauh lebih murah daripada penerapan galvanometer yang mahal dan diperlukan untuk *wheatstone bridge* sumber arus DC.

Mengacu pada Gambar 7.7, pada titik nol:

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 ; I_1 Z_u = I_2 Z_v \quad (7.1)$$



Gambar 7.1 Jembatan impedansi tipe nol.

Jika Z_u kapasitif, yaitu $Z_u = 1/j\omega C_u$, maka Z_v harus terdiri dari kotak kapasitansi variabel yang tersedia. Jika Z_u adalah induktif, maka $Z_u = R_u + j\omega L_u$.

Perhatikan bahwa persamaan untuk Z_u sebagai impedansi induktif memiliki istilah resistif di dalamnya karena tidak mungkin menghasilkan induktor murni. Kumparan induktor selalu memiliki komponen resistif, meskipun ini dibuat sekecil mungkin dengan merancang koil yang memiliki faktor Q yang tinggi (faktor Q adalah rasio induktansi/resistansi). Oleh karena itu, Z_v harus terdiri dari kotak resistansi variabel dan kotak induktansi variabel. Namun, yang terakhir tidak tersedia karena sulit dan mahal untuk memproduksi satu set induktor nilai tetap untuk membuat kotak induktansi variabel. Untuk alasan ini, jenis alternatif dari rangkaian jembatan tipe nol, yang dikenal sebagai *Jembatan Maxwell*, biasanya digunakan untuk mengukur induktansi yang tidak diketahui.

7.1.2 Jembatan Maxwell

Sebuah struktur rangkaian dari jembatan maxwell ditunjukkan pada Gambar 7.2. Persyaratan untuk kotak induktansi variabel dihindari dengan memperkenalkan resistansi variabel kedua. Rangkaian tersebut membutuhkan satu kapasitor nilai tetap standar, dua kotak resistansi variabel dan satu resistor nilai tetap standar, yang semuanya merupakan komponen yang tersedia dan tidak mahal. Mengacu pada Gambar 7.2, kita memiliki titik *null-output*:

$$I_1 Z_{AD} = I_2 Z_{AB} ; I_1 Z_{DC} = I_2 Z_{BC} \quad (7.2)$$

Maka:

$$\frac{Z_{BC}}{Z_{AB}} = \frac{Z_{DC}}{Z_{AD}} \text{ atau } Z_{BC} = \frac{Z_{DC} Z_{AB}}{Z_{AD}}$$

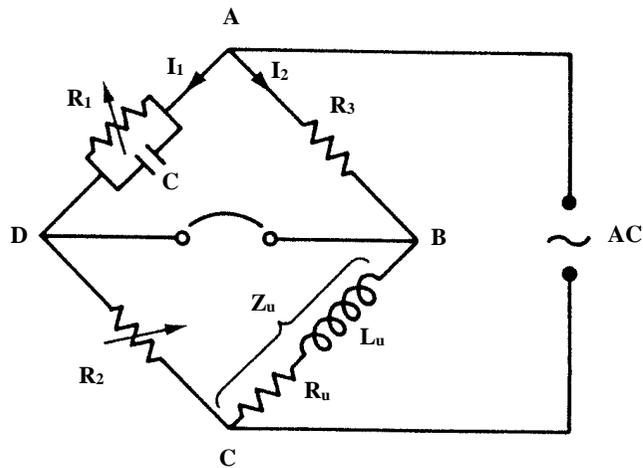
Besaran-besaran dalam persamaan (7.3) memiliki nilai sebagai berikut.

$$\frac{1}{Z_{AD}} = \frac{1}{R_1} + j\omega C \text{ atau } Z_{AD} = \frac{R_1}{1+j\omega CR_1} \quad (7.3)$$

Maka:

$$Z_{AD} = R_3 ; Z_{BC} = R_u + j\omega L_u ; Z_{DC} = R_2$$

Selanjutnya, gambar 7.2 menunjukkan struktur dan rangkaian dari Jembatan Maxwell untuk sumber AC.



Gambar 7.2 Jembatan Maxwell.

Substitusi nilai ke persamaan (7.1):

$$R_u + j\omega L_u = \frac{R_2 R_3 (1 + j\omega C R_1)}{R_1}$$

Mengambil bagian *real* dan *imaginer*:

$$R_u = \frac{R_2 R_3}{R_1} ; L_u = R_2 R_3 C \quad (7.4)$$

Persamaan ini (7.4) dapat digunakan untuk menghitung faktor kualitas (nilai Q) dari koil:

$$Q = \frac{\omega L_u}{R_u} = \frac{\omega R_2 R_3 C R_1}{R_2 R_3} = \omega C R_1 \quad (7.5)$$

Jika frekuensi konstan ω digunakan:

$$Q \approx R_1$$

Dengan demikian, Jembatan Maxwell dapat digunakan untuk mengukur nilai Q dari sebuah kumparan secara langsung menggunakan hubungan ini.

Contoh Soal 1

Pada jembatan Maxwell yang ditunjukkan pada Gambar 7.2, komponen jembatan bernilai tetap dan memiliki nilai sebagai berikut: $R_3=5\Omega$; $C=1\text{ mF}$. Hitung nilai impedansi yang tidak diketahui (L_u , dan R_u) jika $R_1=159\ \Omega$ dan $R_2=10\ \Omega$ dalam keadaan seimbang.

Solusi:

Substitusi nilai ke dalam hubungan yang dikembangkan dalam persamaan (7.4) di atas:

$$R_u = \frac{R_2 R_3}{R_1} = \frac{10 \times 5}{159} = 0.3145\ \Omega ; L_u = R_2 R_3 C = \frac{10 \times 5}{1000} = 50\text{ mH}$$

Contoh Soal 2

Hitung faktor Q untuk impedansi yang tidak diketahui dalam contoh soal 1 di atas pada frekuensi suplai 50 Hz.

Solusi:

Gunakan persamaan 7.5 untuk menentukan nilai faktor Q , sebagai berikut:

$$Q = \frac{\omega L_u}{R_u} = \frac{2\pi \times 50 \times (0.05)}{0.3145} = 49.9$$

7.1.3 Rangkaian Jembatan AC Tipe Defleksi

Jenis tipe defleksi umum dari rangkaian jembatan AC ditunjukkan dan ditampilkan pada Gambar 7.9.

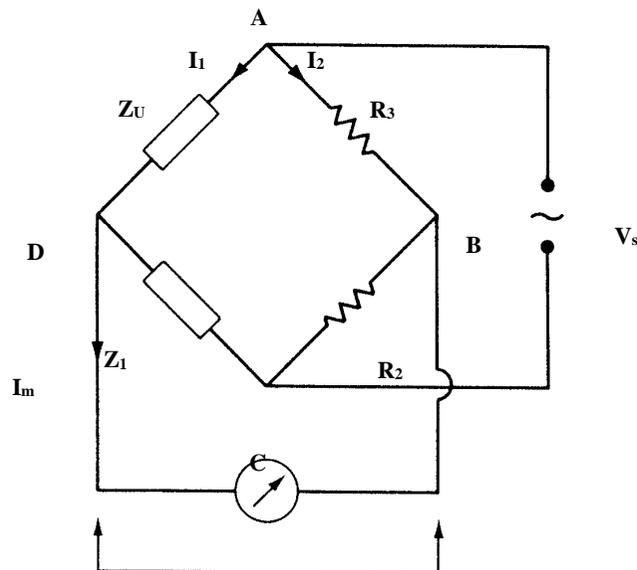
Untuk pengukuran kapasitansi:

$$Z_u = 1/j\omega C_u ; Z_1 = 1/j\omega C_1$$

Untuk pengukuran induktansi (membuat penyederhanaan bahwa komponen resistif dari induktor memiliki nilai yang kecil dan mendekati nol):

$$Z_u = j\omega L_u ; Z_1 = j\omega L_1$$

Analisis rangkaian untuk menemukan hubungan antara V_0 dan Z_u sangat disederhanakan jika diasumsikan bahwa I_m dapat diabaikan. Ini valid asalkan instrumen yang mengukur V_0 memiliki impedansi tinggi. Untuk $I_m = 0$, arus di dua cabang jembatan, seperti yang didefinisikan pada Gambar 7.9, diberikan oleh:



Gambar 7.2 Jembatan AC tipe defleksi.

V_0

$$I_1 = \frac{V_S}{Z_1 + Z_u} ; I_2 = \frac{V_S}{R_2 + R_3}$$

Selanjutnya,

$$V_{AD} = I_1 Z_u \text{ dan } V_{AB} = I_1 R_3$$

Sehingga,

$$V_0 = V_{BD} = V_{AD} - V_{AB} = V_S \left(\frac{Z_u}{Z_1 + Z_u} - \frac{R_3}{R_2 + R_3} \right)$$

Jadi, untuk kapasitansi:

$$V_0 = V_S \left(\frac{1/C_u}{1/C_1 + 1/C_u} - \frac{R_3}{R_2 + R_3} \right) = V_S \left(\frac{C_1}{C_1 + C_u} - \frac{R_3}{R_2 + R_3} \right) \quad (7.6)$$

dan untuk induktansi:

$$V_0 = V_S \left(\frac{L_u}{L_1 + L_u} - \frac{R_3}{R_2 + R_3} \right) \quad (7.7)$$

Hubungan terakhir pada persamaan (7.7) dalam praktiknya hanya bersifat perkiraan, karena impedansi induktif tidak pernah merupakan induktansi murni seperti yang diasumsikan tetapi selalu mengandung resistansi terbatas (yaitu $Z_u = j\omega L_u + R$). Namun, pendekatan ini valid dalam banyak keadaan.

Contoh Soal 3

Sebuah jembatan defleksi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.9 digunakan untuk mengukur kapasitansi yang tidak diketahui yaitu C_u . Komponen-komponen dalam jembatan memiliki nilai sebagai berikut.

$$V_S = 20 \text{ V}_{rms}, C_1 = 100 \mu\text{F}, R_2 = 60\Omega, R_3 = 40\Omega$$

Jika $C_u = 100 \mu\text{F}$, hitunglah tegangan keluaran V_0 !

Solusi:

Gunakan persamaan 7.6:

$$V_s \left(\frac{C_1}{C_1 + C_u} - \frac{R_3}{R_2 + R_3} \right) = 20 (0.5 - 0.4) = 2V_{rms}$$

Contoh Soal 4

Induktansi L_u yang tidak diketahui diukur menggunakan jenis defleksi jembatan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.9. Komponen-komponen dalam jembatan memiliki nilai sebagai berikut.

$$V_s = 10 V_{rms}, L_1 = 20 \text{ mH}, R_2 = 100\Omega, R_3 = 100\Omega$$

Jika tegangan keluaran V_0 adalah $1 V_{rms}$ maka nilai L_u dapat didapatkan.

Solusi:

Gunakan persamaan 7.7:

$$\frac{L_u}{L_1 + L_u} = \frac{V_0}{V_s} + \frac{R_3}{R_2 + R_3} = 0.1 + 0.5 = 0.6$$

Selanjutnya,

$$L_u = 0.6(L_1 + L_u); 0.4L_u = 0.6L_1; L_u = \frac{0.6L_1}{0.4} = 30 \text{ mH}$$

7.2 Rangkaian Jembatan Arus Searah

Sirkuit jembatan digunakan sangat umum sebagai elemen konversi variabel dalam sistem pengukuran dan menghasilkan output dalam bentuk level tegangan yang berubah seiring perubahan kuantitas fisik yang diukur. Mereka menyediakan metode yang akurat untuk mengukur nilai resistansi, induktansi dan kapasitansi, dan memungkinkan deteksi perubahan yang sangat kecil dalam jumlah ini tentang nilai nominal. Mereka sangat penting dalam teknologi sistem pengukuran, karena begitu banyak transduser yang mengukur kuantitas fisik memiliki output yang dinyatakan sebagai perubahan resistansi, induktansi, atau kapasitansi. Pengukur regangan,

pengukur perpindahan, yang memiliki keluaran resistansi yang bervariasi, hanyalah salah satu contoh dari kelas transduser ini. Biasanya, eksitasi jembatan adalah dengan d.c. tegangan untuk pengukuran resistansi dan oleh a.c. tegangan untuk pengukuran induktansi atau kapasitansi. Kedua jenis jembatan nol dan defleksi ada dan dengan cara yang sama untuk instrumen pada umumnya, jenis nol terutama digunakan untuk tujuan kalibrasi dan jenis defleksi digunakan dalam skema kontrol otomatis *loop* tertutup.

7.2.1 Jembatan Arus Searah Tipe Nol (*Wheatstone Bridge*)

Sebuah jembatan tipe nol dengan sumber arus searah (DC), umumnya dikenal sebagai *Jembatan Wheatstone*, memiliki bentuk yang ditunjukkan pada Gambar 7.1. Empat lengan jembatan terdiri dari resistansi R_u yang tidak diketahui, dua resistor bernilai sama R_2 dan R_3 dan resistor variabel R_v (biasanya kotak resistansi satu dekade). Sebuah sumber tegangan DC yang diilustrasikan dengan V_i diterapkan di seluruh titik AC dan resistansi R_v divariasikan sampai tegangan yang diukur melintasi titik BD adalah nol. Titik nol ini biasanya diukur dengan galvanometer sensitivitas tinggi.

Untuk menganalisis Jembatan Wheatstone, tentukan arus yang mengalir di setiap lengan menjadi $I_1 \dots I_4$ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.1. Biasanya, jika alat pengukur tegangan impedansi tinggi digunakan, arus I_m yang ditarik oleh alat ukur akan sangat kecil dan dapat mendekati nol. Jika asumsi ini dibuat, maka, selanjutnya untuk $I_m = 0$:

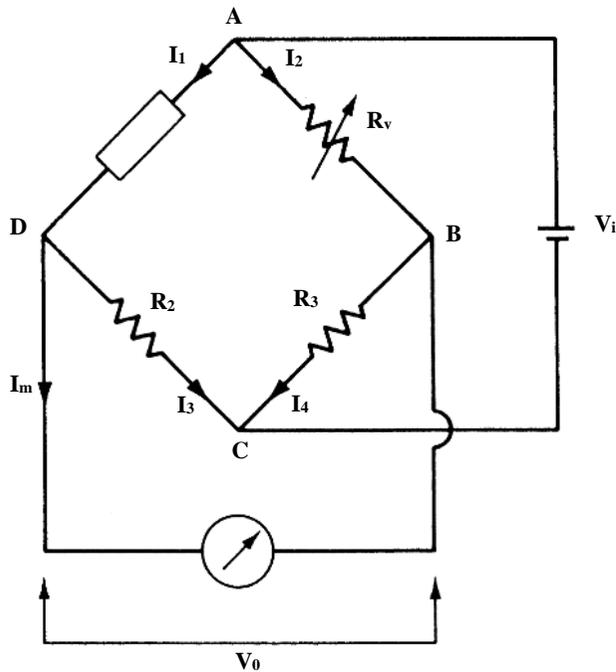
$$I_1 = I_3 \text{ dan } I_2 = I_4$$

Tinjau jalur ADC, jika tegangan V_i yang diterapkan pada resistansi R_u + R_3 dan menurut hukum Ohm:

$$I_1 = \frac{V_i}{R_u + R_3}$$

Demikian pula untuk jalur ABC:

$$I_2 = \frac{V_i}{R_v + R_2}$$



Gambar 7.3 Analisis Jembatan Wheatstone.

Sekarang kita dapat menghitung jatuh tegangan pada AD dan AB:z

$$V_{AD} = I_1 R_v = \frac{V_i R_u}{R_u + R_3} ; V_{AB} = I_2 R_v = \frac{V_i R_v}{R_v + R_2}$$

Dengan prinsip superposisi,

$$V_0 = V_{BD} = V_{BA} + V_{AD} = -V_{AB} + V_{AD}$$

Dengan demikian:

$$V_0 = -\frac{V_i R_v}{R_v + R_2} + \frac{V_i R_u}{R_u + R_3} \quad (7.8)$$

Pada titik nol $V_0 = 0$, jadi:

$$\frac{R_u}{R_u + R_3} = \frac{R_u}{R_v + R_2}$$

Membalikkan kedua sisi:

$$\frac{R_u + R_3}{R_u} = \frac{R_v + R_2}{R_v} \text{ i. e. } \frac{R_3}{R_2} = \frac{R_2}{R_v} \text{ atau } R_u = \frac{R_3 R_v}{R_2} \quad (7.9)$$

Jadi, jika $R_2 = R_3$, maka $R_u = R_v$. Karena R_v adalah nilai yang diketahui secara akurat karena diturunkan dari kotak resistansi decade variabel, ini berarti bahwa R_u juga diketahui secara akurat.

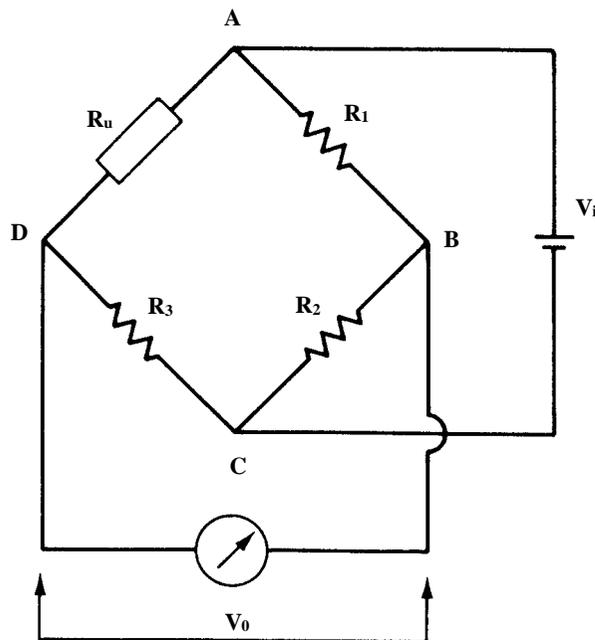
7.2.2 Jembatan DC Tipe Defleksi

Sebuah jembatan tipe defleksi dengan sumber arus DC ditunjukkan pada Gambar 7.4. Ini berbeda dari Jembatan Wheatstone terutama dalam hal resistansi variabel R_v digantikan oleh resistansi tetap R_l dengan nilai yang sama dengan nilai nominal resistansi yang tidak diketahui R_u . Ketika resistansi R_u berubah, maka tegangan keluaran V_0 bervariasi, dan hubungan antara V_0 dan R_u ini harus dihitung.

Hubungan ini disederhanakan jika kita kembali mengasumsikan bahwa instrumen pengukur tegangan impedansi tinggi digunakan dan arus yang ditarik olehnya, I_m , mendekati nol. Analisisnya kemudian persis sama seperti untuk contoh Jembatan Wheatstone sebelumnya, kecuali bahwa R_v digantikan oleh R_l . Jadi, dari persamaan (7.8), dapat diturunkan sebagai berikut.

$$V_0 = V_i \left(\frac{R_u}{R_u + R_3} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) \quad (7.10)$$

Ketika R_u berada pada nilai nominalnya, yaitu untuk $R_u = R_1$, maka $V_0 = 0$ (karena $R_2 = R_3$). Untuk nilai R_u lainnya, V_0 memiliki nilai negatif dan positif yang bervariasi secara nonlinier dengan R_u .



Gambar 7.4 Jembatan Arus DC Tipe Defleksi.

Contoh soal 5

Jenis transduser tekanan tertentu, yang dirancang untuk mengukur tekanan dalam kisaran 0–10 bar, terdiri dari diafragma dengan pengukur regangan yang disemen untuk mendeteksi defleksi diafragma. Pengukur regangan memiliki resistansi nominal 120 dan membentuk satu lengan dari rangkaian Jembatan Wheatstone, dengan tiga lengan lainnya masing-masing memiliki resistansi 120 Ω . Output jembatan diukur dengan instrumen yang impedansi

inputnya dapat diasumsikan tak terbatas. Jika, untuk membatasi efek pemanasan, arus pengukur maksimum yang diizinkan adalah 30 mA, hitung tegangan eksitasi jembatan maksimum yang diizinkan. Jika sensitivitas pengukur regangan adalah $338 \text{ m } \Omega / \text{bar}$ dan tegangan eksitasi jembatan maksimum yang digunakan, hitung tegangan keluaran jembatan saat mengukur tekanan 10 bar.

Solusi:

Ini adalah jenis rangkaian jembatan yang ditunjukkan pada Gambar 7.4 di mana komponennya memiliki nilai sebagai berikut.

$$R_1 = R_2 = R_3 = 120 \Omega$$

Asusmsikan I_1 sebagai arus yang mengalir di jalur jembatan arus DC, kita dapat menulis:

$$V_i = I_1(R_2 + R_3)$$

Pada keseimbangan, $R_u = 120 \Omega$ dan nilai maksimum yang diizinkan untuk I_1 adalah 0.03 A.

$$V_i = 0.03(120 + 120) = 7.2 \text{ V}$$

Dengan demikian, tegangan eksitasi maksimum dari jembatan yang diizinkan adalah 7.2 volt.

Untuk tekanan 10 bar yang diterapkan, perubahan resistansi adalah $3,38 \Omega$, yaitu R_u kemudian sama dengan $123,38 \Omega$.

Menerapkan persamaan (7.10), kita dapat menulis:

$$V_0 = V_i \left(\frac{R_u}{R_u + R_3} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) = 7.2 \left(\frac{123.38}{243.38} - \frac{120}{240} \right) = 50 \text{ mV}$$

Jadi, jika tegangan eksitasi jembatan maksimum yang diizinkan digunakan, tegangan keluaran adalah 50 mV ketika tekanan 10 bar diukur.

7.2.3 Analisis kesalahan

Dalam penerapan rangkaian jembatan, kontribusi toleransi nilai komponen terhadap batas akurasi sistem pengukuran total harus dipahami dengan jelas. Analisis di bawah ini berlaku untuk jembatan tipe nol (*Wheatstone*), tetapi prinsip serupa dapat diterapkan untuk jembatan tipe defleksi. Kesalahan pengukuran maksimum ditentukan dengan terlebih dahulu mencari nilai R_u dalam persamaan (7.9) dengan setiap parameter dalam persamaan ditetapkan pada batas toleransinya yang menghasilkan nilai maksimum R_u . Demikian pula, nilai minimum yang mungkin dari R_u dihitung dan pita kesalahan yang diperlukan kemudian adalah rentang antara nilai maksimum dan minimum ini.

Contoh soal 6

Dalam rangkaian jembatan Wheatstone pada Gambar 7.3, R_v adalah kotak resistansi satu dekade dengan ketidakakuratan tertentu $\pm 0,2\%$ dan $R_2 = R_3 = 500 \Omega \pm 0,1\%$. Jika nilai R_v pada posisi nol adalah $520,4 \Omega$, tentukan pita kesalahan untuk R_u yang dinyatakan sebagai persentase dari nilai nominalnya!

Solusi

Menerapkan persamaan (7.9) dengan nilai dari $R_v = 520,4 \Omega + 0,2\% = 521,44 \Omega$, $R_3 = 5000 \Omega + 0,1\% = 5005 \text{ Ohm}$, $R_2 = 5000 \Omega - 0,1\% = 4995 \Omega$, kita dapatkan:

$$R_v = \frac{521,44 \times 5005}{4995} = 522,48 \Omega (= +0,4\%)$$

Menerapkan persamaan (7.2) dengan nilai dari $R_v = 520,4 \Omega - 0,2\% = 519,36 \Omega$, $R_3 = 5000 \Omega - 0,1\% = 4995 \Omega$, $R_2 = 5000 + 0,1\% = 5005 \Omega$, kita mendapatkan:

$$R_v = \frac{519.36 \times 4995}{5005} = 518.32 \Omega (= -0.4\%)$$

Jadi, rentang kesalahan untuk R_u adalah $\pm 0,4\%$.

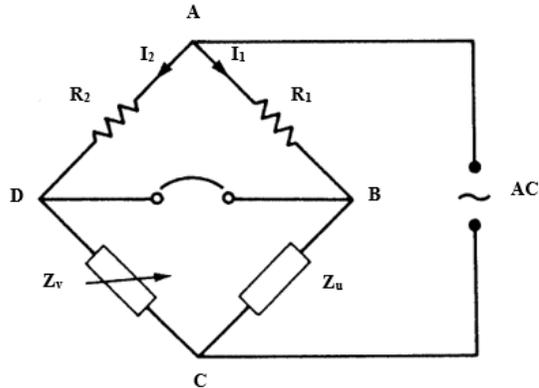
Efek kumulatif dari kesalahan dalam komponen rangkaian jembatan individu terlihat jelas. Meskipun kesalahan maksimum dalam satu komponen adalah $\pm 0,2\%$, kemungkinan kesalahan dalam nilai terukur R_u adalah $\pm 0,4\%$. Besarnya kesalahan seperti itu seringkali tidak dapat diterima, dan tindakan khusus diambil untuk mengatasi pengenalan kesalahan dengan toleransi nilai komponen.

RANGKUMAN MATERI

1. Rangkaian jembatan dengan sumber AC digunakan untuk mengukur impedansi yang tidak diketahui. Adapun jembatan sumber DC, baik tipe nol dan defleksi dijabarkan dengan tipe nol umumnya dicadangkan untuk fungsi kalibrasi.
2. Sebuah jembatan impedansi tipe-nol tipikal ditunjukkan pada Gambar 7.1. Titik nol dapat dideteksi dengan mudah dengan memantau output dengan sepasang *headphone* yang terhubung melalui penguat operasional di seluruh titik BD. Ini adalah metode deteksi nol yang jauh lebih murah daripada penerapan galvanometer yang mahal dan diperlukan untuk *wheatstone bridge* sumber arus DC.

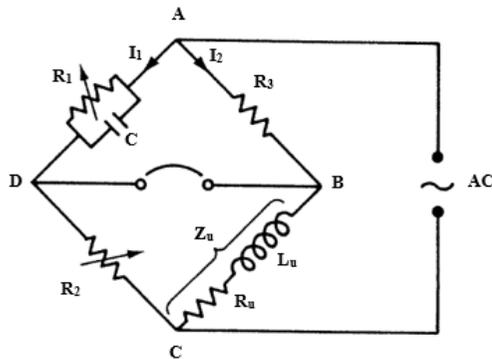
Mengacu pada Gambar dibawah ini, pada titik nol:

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 ; I_1 Z_u = I_2 Z_v$$



Jembatan impedansi tipe nol

- Selanjutnya, gambar di bawah ini menunjukkan struktur dan rangkaian dari Jembatan Maxwell untuk sumber AC.



Jembatan Maxwell

Persamaan Jembatan Maxwell untuk sumber AC:

$$R_u + j\omega L_u = \frac{R_2 R_3 (1 + j\omega C R_1)}{R_1}$$

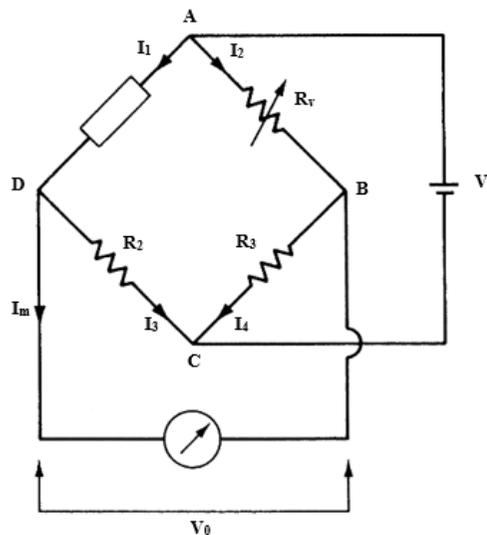
Mengambil bagian *real* dan *imaginer*:

$$R_u = \frac{R_2 R_3}{R_1} ; L_u = R_2 R_3 C$$

Persamaan ini dapat digunakan untuk menghitung faktor kualitas (nilai Q) dari koil:

$$Q = \frac{\omega L_u}{R_u} = \frac{\omega R_2 R_3 C R_1}{R_2 R_3} = \omega C R_1$$

4. Sirkuit jembatan digunakan sangat umum sebagai elemen konversi variabel dalam sistem pengukuran dan menghasilkan output dalam bentuk level tegangan yang berubah seiring perubahan kuantitas fisik yang diukur.
5. Sebuah jembatan tipe nol dengan sumber arus searah (DC), umumnya dikenal sebagai *Jembatan Wheatstone*, memiliki bentuk yang ditunjukkan pada Gambar di bawah ini. Empat lengan jembatan terdiri dari resistansi R_u yang tidak diketahui, dua resistor bernilai sama R_2 dan R_3 dan resistor variabel R_v (biasanya kotak resistansi satu dekade). Sebuah sumber tegangan DC yang diilustrasikan dengan V_i diterapkan di seluruh titik AC dan resistansi R_v divariasikan sampai tegangan yang diukur melintasi titik BD adalah nol. Titik nol ini biasanya diukur dengan galvanometer sensitivitas tinggi.



Analisis Jembatan Wheatstone untuk sumber arus DC.

Persamaan jembatan *wheatstone* untuk sumber DC:

$$V_0 = -\frac{V_i R_V}{R_V + R_2} + \frac{V_i R_u}{R_u + R_3}$$

Pada titik nol $V_0 = 0$, jadi:

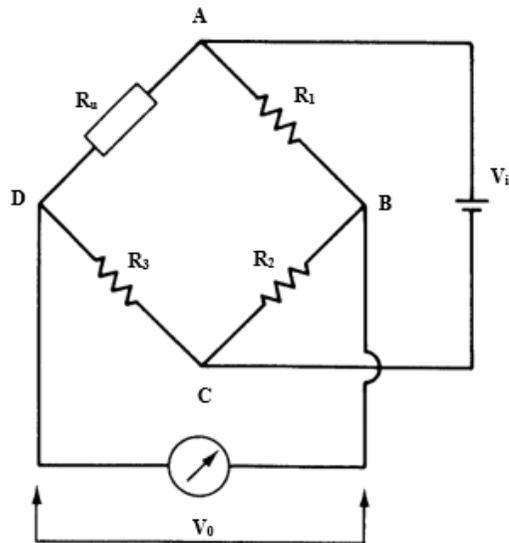
$$\frac{R_u}{R_u + R_3} = \frac{R_u}{R_V + R_2}$$

Membalikkan kedua sisi:

$$\frac{R_u + R_3}{R_u} = \frac{R_V + R_2}{R_V} \text{ i. e } \frac{R_3}{R_2} = \frac{R_2}{R_V} \text{ atau } R_u = \frac{R_3 R_V}{R_2}$$

Jadi, jika $R_2 = R_3$, maka $R_u = R_V$. Karena R_V adalah nilai yang diketahui secara akurat karena diturunkan dari kotak resistansi dekade variabel, ini berarti bahwa R_u juga diketahui secara akurat.

6. Sebuah jembatan tipe defleksi dengan sumber arus DC ditunjukkan pada Gambar di bawah ini. Ini berbeda dari Jembatan Wheatstone terutama dalam hal resistansi variabel R_V digantikan oleh resistansi tetap R_I dengan nilai yang sama dengan nilai nominal resistansi yang tidak diketahui R_u . Ketika resistansi R_u berubah, maka tegangan keluaran V_0 bervariasi, dan hubungan antara V_0 dan R_u ini harus dihitung.



Jembatan rangkaian arus DC tipe defleksi.

Persamaan untuk jembatan arus DC tipe defleksi adalah:

$$V_0 = V_i \left(\frac{R_u}{R_u + R_3} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right)$$

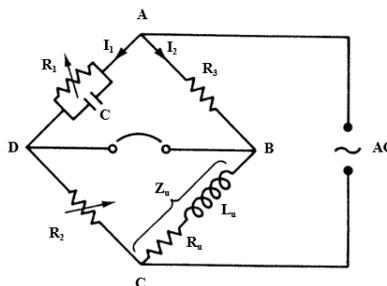
Ketika R_u berada pada nilai nominalnya, yaitu untuk $R_u = R_1$, maka $V_0 = 0$ (karena $R_2 = R_3$). Untuk nilai R_u lainnya, V_0 memiliki nilai negatif dan positif yang bervariasi secara non-linier dengan R_u .

EVALUASI MATERI

BAB VII – RANGKAIAN JEMBATAN ARUS SEARAH DAN BOLAK-BALIK

Jawablah pertanyaan di bawah ini dengan benar sesuai dengan materi yang disampaikan dalam Bab VII!

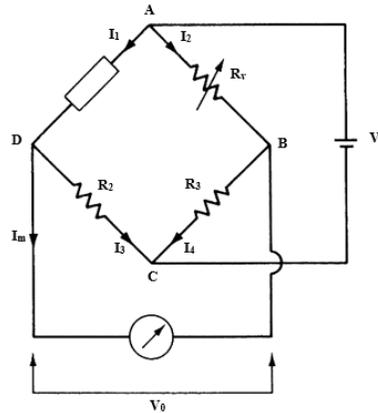
1. Jelaskan konsep dasar dari jembatan rangkaian arus searah dan arus bolak-balik!
2. Jelaskan fungsi dari rangkaian jembatan arus searah dan arus bolak-balik dalam proses pengukuran listrik!
3. Gambarkan rangkaian jembatan arus searah dan bolak balik untuk tipe defleksi dan jelaskan perbedaan dari keduanya!
4. Jelaskan prinsip kerja dari Jembatan Maxwell untuk sumber arus AC!
5. Jelaskan prinsip kerja dari Jembatan Wheastone untuk sumber arus DC!
6. Pada Jembatan Maxwell yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini, komponen jembatan bernilai tetap dan memiliki nilai sebagai berikut. $R_3=10\Omega$; $C =5\text{ mF}$. Hitung nilai impedansi yang tidak diketahui (L_u , dan R_u) jika $R_1=220\ \Omega$ dan $R_2=40\ \Omega$ dalam keadaan seimbang.



Rangkaian Jembatan Maxwell

7. Dalam rangkaian Jembatan Wheatstone pada Gambar di bawah ini, R_v adalah kotak resistansi satu dekade dengan ketidakakuratan tertentu $\pm 0,5\%$ dan $R_2 = R_3 = 400\ \Omega \pm 0,15\%$. Jika nilai R_v pada posisi nol adalah

450,2 Ω , tentukan pita kesalahan untuk R_u yang dinyatakan sebagai persentase dari nilai nominalnya!



Jembatan rangkaian Wheastone.

8. Jenis transduser tekanan tertentu, yang dirancang untuk mengukur tekanan dalam kisaran 0–10 bar, terdiri dari diafragma dengan pengukur regangan yang disemen untuk mendeteksi defleksi diafragma. Pengukur regangan memiliki resistansi nominal 150 dan membentuk satu lengan dari rangkaian Jembatan Wheatstone, dengan tiga lengan lainnya masing-masing memiliki resistansi 180 Ω . Output jembatan diukur dengan instrumen yang impedansi inputnya dapat diasumsikan tak terbatas. Jika, untuk membatasi efek pemanasan, arus pengukur maksimum yang diizinkan adalah 40 mA, hitung tegangan eksitasi jembatan maksimum yang diizinkan. Jika sensitivitas pengukur regangan adalah 400 m Ω /bar dan tegangan eksitasi jembatan maksimum yang digunakan, hitung tegangan keluaran jembatan saat mengukur tekanan 10 bar!

GLOSARIUM

NO	ISTILAH	DEFINISI
1.	Pengukuran	Adalah serangkaian kegiatan yang bertujuan untuk menentukan suatu nilai besaran yang dapat dihitung secara kuantitatif (berbentuk angka dan satuan).
2.	<i>Stopwatch</i>	Adalah alat yang digunakan untuk melakukan pengukuran durasi waktu yang diperlukan maupun yang sudah berlalu.
3.	Jangka sorong	Adalah salah satu alat ukur yang dapat digunakan untuk mengetahui panjang, diameter luar, dan diameter dalam sebuah bentuk benda tertentu.
4.	Mistar ukur	Adalah alat ukur panjang yang sering digunakan. Alat ukur ini memiliki skala terkecil 1 mm atau 0,1 cm. Mistar memiliki ketelitian pengukuran setengah dari skala terkecilnya yaitu 0,5 mm atau 0,05 cm.
5.	Neraca ukur	Adalah jenis alat ukur yang dapat menghitung berat (massa) suatu benda berdasarkan lengan dan penunjuk skala yang ada.
6.	Mikrometer sekrup	Adalah alat ukur yang memiliki fungsi hampir sama dengan jangka sorong. Namun, jika dibandingkan dengan jangka sorong, mikrometer sekrup memiliki tingkat ketelitian 10 kali lebih tinggi. Mikrometer sekrup bisa mengukur benda dengan ketelitian sampai 0,01 mm.
7.	Termometer	Adalah alat yang digunakan untuk mengukur suhu ataupun alat yang digunakan untuk menyatakan derajat dingin atau panas suatu benda.
8.	Besaran	Adalah sesuatu yang dapat ditentukan atau diukur dan hasil pengukurannya dinyatakan dengan satuan.
9.	Satuan	Adalah sesuatu yang digunakan sebagai pembanding dalam pengukuran.
10.	Besaran pokok	Adalah besaran yang satuannya telah ditetapkan terlebih dahulu dan tidak bergantung terhadap satuan-satuan besaran lain.
11.	Besaran turunan	Adalah merupakan besaran yang diturunkan dari besaran pokok.
12.	Ampere	Adalah satuan dari nilai arus listrik.
13.	Volt	Adalah satuan dari nilai tegangan listrik.
14.	Ohm	Adalah satuan dari nilai hambatan listrik.

15.	Watt	Adalah satuan dari nilai daya listrik.
16.	AC	<i>Alternative Current</i> / arus bolak-balik (a.b.b).
17.	DC	<i>Direct Current</i> / arus searah.
18.	Kalibrasi	Adalah proses pengecekan dan pengaturan akurasi dari alat ukur dengan cara membandingkannya dengan standar/tolak ukur.
19.	<i>Power Factor</i>	Adalah rasio Daya Aktif (dengan satuan watt) terhadap Daya Semu (<i>Apparent Power</i> dengan satuan VA).
20.	Sirkuit Elektrnonik	Adalah rangkaian listrik atau sirkuit listrik yang memakai komponen elektronika aktif seperti transistor dan sirkuit terpadu (<i>IC chip</i>).
21.	Osiloskop	Adalah alat ukur elektronik yang dapat digunakan untuk memproyeksikan frekuensi dan sinyal listrik.
22.	CRT	<i>Cathode Ray Tube</i> , adalah suatu tabung ruang hampa yang berisi suatu senapan elektron (<i>electron guns</i>) dan suatu elemen pemanas (<i>heater</i>), yang berfungsi untuk mempercepat dan membelokkan berkas elektron (<i>electron beams</i>).
23.	<i>Ground</i>	Adalah sebuah titik referensi umum atau tegangan potensial sama dengan “tegangan nol”.
24.	Frekuensi	Adalah sebagai jumlah gelombang listrik yang dihasilkan tiap detik.
25.	Amplitudo	Adalah nilai puncak suatu sinyal adalah ukuran seberapa besar penyimpangan arus atau tegangan dari nilai tengah (titik nol).

RINGKASAN

Pengukuran dan Instrumentasi merupakan salah satu mata kuliah dasar yang wajib dikuasai oleh mahasiswa di Jurusan Teknik Elektro. Buku ini berisikan materi terkait konsep dasar pengukuran, tingkat kesalahan pengukuran, pengukuran tegangan dan arus, penggunaan AVO meter untuk pengukuran komponen elektronika, pengukuran sumber arus searah dan bolak balik serta rangkaian jembatatan sumber arus searah dan bolak balik.

Buku ini disusun sebagai bentuk luaran dalam pelaksanaan hibah buju ajar yang dibiayai sepenuhnya oleh Lembaga Penelitian Universitas Trisakti tahun anggaran 2021/2022. Buku ini dapat digunakan sebagai sumber bahan ajar khususnya untuk mata kuliah Teknik Pengukuran dan Instrumentasi di Jurusan Teknik Elektro.

BIODATA PENULIS



Syah Alam lahir di Jakarta pada tanggal 15 April 1986. Menyelesaikan pendidikan S1 di Jurusan Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan Universitas Pendidikan Indonesia pada tahun 2004. Penulis meneruskan studinya ke jenjang pasca sarjana di Magister Teknik Elektro Universitas Trisakti pada tahun 2010 dan selesai pada tahun 2012. Tahun 2021 sampai dengan sekarang, penulis sedang melanjutkan studi PhD nya di Universiti Teknikal Malaysia Melaka (UTeM) di bidang sensor gelombang mikro. Sejak tahun 2018 sampai dengan saat ini penulis adalah dosen tetap yang aktif mengajar di Jurusan Teknik Elektro Universitas Trisakti dan aktif menjadi asisten professor di bidang antena mikrostrip sekaligus Kepala Praktikum di Laboratorium Pengukuran dan Instrumentasi Jurusan Teknik Elektro, Universitas Trisakti. Adapun mata kuliah yang diajarkan adalah Pengukuran dan Instrumentasi (S1), Elektronika Telekomunikasi (S1), Disain dan Aplikasi Antena (S1) dan Menggambar Teknik (S1). Bidang penelitian yang ditekuni saat ini adalah antena dan sensor gelombang mikro untuk keperluan pengukuran dan karakterisasi material.



Indra Surjati lahir di Bangkok, Thailand. Meraih gelar Insinyur (Ir.) Di bidang teknik elektro dan master (M.T) di bidang teknik telekomunikasi dari Program Pasca Sarjana Teknik Elektro Universitas Trisakti pada tahun 1996. Pada tahun 2004 ia menyelesaikan gelar Doktor di Jurusan Teknik Elektro Universitas Indonesia. Konsentrasi keilmuan yang ditekuni adalah bidang telekomunikasi dan mata kuliah yang diampu adalah Rangkaian Listrik (S1), Teknik Telekomunikasi (S1) dan Antena Modern (S2). Pada tahun 2011 dikukuhkan sebagai Guru Besar Jurusan Teknik Elektro di Trisakti. Sejak tahun 2017, penulis menjabat sebagai kepala laboratorium pengukuran dan instrumentasi Jurusan Teknik Elektro, Universitas Trisakti. Minat penelitiannya meliputi antena mikrostrip dan sirkuit gelombang mikro untuk berbagai aplikasi.



Penerbit El-Markazi

Jln.RE.Martadinata RT.26 Pagar Dewa Kota Bengkulu 38211

Telpon: (0736) 5513101, Hp: 082377338990

Email: elmarkazipublisher@gmail.com

website: www.elmarkazi.com

SURAT KETERANGAN

Nomor : 001/KET/EL/IP/V/2022

Bersama dengan Surat Keterangan ini. Kami atas nama Penerbit Elmarkazi sebagai penerbit anggota Ikatan Penerbit Indonesia (IKAPI) dengan nomor anggota 004/Bengkulu/2020, menyatakan bahwa Buku dibawah ini :

Judul : Teknik Pengukuran Dan Instrumentasi

Penulis : Syah Alam dan Indra Surjati

Benar bahwa buku yang di sebutkan di atas, **telah terbit** di Penerbit Elmarkazi, dengan skala Nasional pada bulan Mei Tahun 2022 dengan Nomor ISBN **978-623-331-316-2**.

Demikian Surat Keterangan ini kami buat agar bisa digunakan sebagaimana mestinya. Atas perhatian dan kerjasamanya kami ucapkan terima kasih.

Bengkulu, 17 Mei 2022

Pimpinan Penerbit

el-markazi
(Ronny Dewanyara Putra)