



Sri Waluyanti



Alat Ukur dan Teknik Pengukuran

JILID 1

untuk
Sekolah Menengah Kejuruan



Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional

Sri Waluyanti, dkk.

ALAT UKUR DAN TEKNIK PENGUKURAN JILID 1

SMK



Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional

Hak Cipta pada Departemen Pendidikan Nasional
Dilindungi Undang-undang

ALAT UKUR DAN TEKNIK PENGUKURAN JILID 1 Untuk SMK

Penulis : Sri Waluyanti
Djoko Santoso
Slamet
Umi Rochayati

Perancang Kulit : TIM

Ukuran Buku : 18,2 x 25,7 cm

WAL WALUYANTI, Sri
a Alat Ukur dan Teknik Pengukuran Jilid 1 untuk SMK oleh
Sri Waluyanti, Djoko Santoso, Slamet, Umi Rochayati ---- Jakarta :
Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat
Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah,
Departemen Pendidikan Nasional, 2008.
xvii, 208 hlm
Daftar Pustaka : Lampiran. A
Daftar Tabel : Lampiran. B
Daftar Gambar : Lampiran. C
Glosarium : Lampiran. D
ISBN : 978-602-8320-11-5
ISBN : 978-602-8320-12-2

Diterbitkan oleh
Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional
Tahun 2008

KATA SAMBUTAN

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT, berkat rahmat dan karunia Nya, Pemerintah, dalam hal ini, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional, pada tahun 2008, telah melaksanakan penulisan pembelian hak cipta buku teks pelajaran ini dari penulis untuk disebarluaskan kepada masyarakat melalui *website* bagi siswa SMK.

Buku teks pelajaran ini telah melalui proses penilaian oleh Badan Standar Nasional Pendidikan sebagai buku teks pelajaran untuk SMK yang memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam proses pembelajaran melalui Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 12 tahun 2008.

Kami menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada seluruh penulis yang telah berkenan mengalihkan hak cipta karyanya kepada Departemen Pendidikan Nasional untuk digunakan secara luas oleh para pendidik dan peserta didik SMK di seluruh Indonesia.

Buku teks pelajaran yang telah dialihkan hak ciptanya kepada Departemen Pendidikan Nasional tersebut, dapat diunduh (*download*), digandakan, dicetak, dialihmediakan, atau difotokopi oleh masyarakat. Namun untuk penggandaan yang bersifat komersial harga penjualannya harus memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh Pemerintah. Dengan ditayangkannya *soft copy* ini akan lebih memudahkan bagi masyarakat untuk mengaksesnya sehingga peserta didik dan pendidik di seluruh Indonesia maupun sekolah Indonesia yang berada di luar negeri dapat memanfaatkan sumber belajar ini.

Kami berharap, semua pihak dapat mendukung kebijakan ini. Selanjutnya, kepada para peserta didik kami ucapkan selamat belajar dan semoga dapat memanfaatkan buku ini sebaik-baiknya. Kami menyadari bahwa buku ini masih perlu ditingkatkan mutunya. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat kami harapkan.

Jakarta,
Direktur Pembinaan SMK

KATA PENGANTAR PENULIS

Pertama-tama penulis panjatkan puji syukur kahadlirat Allah s.w.t. atas segala rahmat dan kuruniaNya hingga penyusunan buku kejuruan SMK Alat Ukur dan Teknik Pengukuran ini dapat terselesaikan.

Buku ini disusun dari tingkat pemahaman dasar besaran listrik, jenis-jenis alat ukur sederhana hingga aplikasi lanjut yang merupakan gabungan antar disiplin ilmu. Untuk alat ukur yang wajib dan banyak digunakan oleh orang yang berkecimpung maupun yang mempunyai ketertarikan bidang elektronika di bahas secara detail, dari pengertian, cara kerja alat, langkah keamanan penggunaan, cara menggunakan, perawatan dan perbaikan sederhana. Sedangkan untuk aplikasi lanjut pembahasan dititik beratkan bagaimana memaknai hasil pengukuran. Penyusunan ini terselesaikan tidak lepas dari dukungan beberapa pihak, dalam kesempatan ini tak lupa kami sampaikan rasa terimakasih kami kepada :

1. Direktur Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Ditjen Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional yang telah memberi kepercayaan pada kami
2. Kesubdit Pembelajaran Direktorat Pembinaan SMK beserta staff yang telah banyak memberikan bimbingan, pengarahan dan dukungan hingga terselesaikannya penulisan buku.
3. Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta beserta staff yang telah membantu kelancaran administrasi
4. Ketua Jurusan beserta staff Pendidikan Teknik Elektronika FT-UNY atas fasilitas dan dukungannya hingga terselesaikannya tugas ini.
5. Teman-teman sesama penulis buku kejuruan SMK di lingkungan FT-UNY atas kerjasama, motivasi, pengertian dan dukungan kelancaran pelaksanaan.
6. Para teknisi dan staff pengajaran yang memberi kelonggaran penggunaan laboratorium dan kelancaran informasi.
7. Dan orang yang selalu ada di hati dan di samping penulis dengan segala pengertian, dukungan semangat dan motivasi hingga terselesaikannya penyusunan buku ini.

Tak ada yang sempurna kecuali Dia yang memiliki segala puji. Oleh karena itu masukan dan saran penulis harapkan untuk kesempurnaan penulisan ini, atas saran dan masukannya diucapkan banyak terimakasih.

Tim penyusun,

DAFTAR ISI

BAB		Halaman
KATA PENGANTAR PENULIS		i
1. PENDAHULUAN	JILID 1	1
1.1. Parameter Alat Ukur		1
1.1.1. Sistem Satuan Dalam Pengukuran		3
1.1.2. Satuan Dasar dan Satuan Turunan		3
1.1.3. Sistem-sistem satuan		4
1.1.4. Sistem Satuan Lain		6
1.2. Kesalahan Ukur		6
1.2.1. Kesalahan kesalahan Umum		6
1.2.2. Kesalahan-kesalahan sistematis		8
1.2.3. Kesalahan-kesalahan Tidak Sengaja		9
1.3. Klasifikasi Kelas Meter		9
1.4. Kalibrasi		10
1.4.1. Kalibrasi Ampermeter Arus Searah		10
1.4.2. Kalibrasi Voltmeter Arus Searah		11
1.5. Macam-macam Alat Ukur Penunjuk Listrik		12
1.5.1. Alat Ukur Kumpanan putar		13
1.5.2. Alat Ukur Besi Putar		19
1.5.2.1. Tipe Tarikan (<i>Attraction</i>)		20
1.5.2.2. Tipe Tolakan (<i>Repulsion</i>)		22
1.5.3. Alat Ukur Elektrodinamis		24
1.5.4. Alat Ukur Elektrostatik		27
1.6. Peraga Hasil Pengukuran		28
1.6.1. Light Emitting Dioda (LED)		28
1.6.2. LED Seven Segmen		30
1.6.3. LCD Polarisasi Cahaya		33
1.6.4. Tabung Sinar Katoda (<i>Cathode Ray Tube/CRT</i>)		35
1.6.4.1. Susunan Elektroda CRT dan Prinsip Kerja		35
1.6.4.2. Layar CRT		38
1.6.4.3. Gratikulasi		40
2. MULTIMETER		
2.1. Multimeter Dasar		42
2.1.1. Ampermeter Ideal		42
2.1.2. Mengubah Batas Ukur		43
2.1.3. Ampermeter AC		47
2.1.4. Kesalahan Pengukuran		48
2.1.4.1. Kesalahan Paralaks		48
2.1.4.2. Kesalahan Kalibrasi		49
2.1.4.3. Kesalahan Pembebanan		50
2.2. Voltmeter		55
2.2.1. Mengubah Batas Ukur		55
2.2.2. Hambatan Masukkan Voltmeter		58
2.2.3. Kesalahan Pembebanan Voltmeter		59
2.3. Ohmmeter		63
2.3.1. Rangkaian Dasar Ohmmeter Seri		63
2.3.2. Ohmmeter Paralel		66
2.4. Multimeter Elektronik Analog		67
2.4.1. Kelebihan Multimeter Elektronik		67

2.4.2..	Konstruksi Multimeter Analog	69
2.4.3.	Multimeter Elektronik Fungsi Tegangan DC	69
2.4.4.	Multimeter Elektronik Fungsi Tegangan AC	70
2.4.5.	Multimeter Elektronik Fungsi Ohm	71
2.4.6.	Parameter Multimeter Elektronik Analog	72
2.4.6.1.	Spesifikasi dan Parameter Multimeter Elektronik	72
2.4.6.1.1.	Spesifikasi Umum	72
2.4.6.1.2.	Range Pengukuran dan Akurasi	72
2.4.6.2.	Langkah Keselamatan Alat	73
2.4.7.	Prosedur Pengoperasian	74
2.4.7.1.	Persiapan Pengukuran	74
2.4.7.2.	Panel Depan dan Fungsi Multimeter	75
2.4.7.3.	Pengukuran Tegangan	78
2.4.7.3.1.	Pengukuran Tegangan DC	78
2.4.7.3.2.	Pengukuran Tegangan AC	80
2.4.7.4.	Kalibrasi Voltmeter	81
2.4.7.4.1.	Kalibrasi Uji Kelayakan Meter	82
2.4.7.4.2.	Harga Koreksi Relatif dan Kesalahan Relatif	84
2.4.7.5.	Pengukuran Arus DC	85
2.4.7.5.1.	Kalibrasi Arus	87
2.4.7.5.2.	Harga Koreksi Relatif dan kesalahan relatif	89
2.4.8.	Pengukuran Tahanan	90
2.4.9.	Pengukuran Keluaran Penguat Audio Frekuensi (dB)	94
2.4.10.	Pengukuran Arus Bocor (ICEO) transistor	95
2.4.11.	Pengukuran Dioda (termasuk LED)	96
2.4.12.	Pengukuran Kapasitor	98
2.4.12.	Pengetesan Komponen	99
2.4.13.1.	Pengetesan Dioda	99
2.4.13.2.	Pengetesan Transistor	102
2.4.13.3.	Pengetesan SCR	104
2.4.14.	Perawatan	106
2.4.14.1.	Mengganti Sekering	106
2.4.14.2.	Perawatan Penyimpanan Meter	107
2.4.15.	Perbaikan	107
2.5.	Multimeter Elektronik Digital	109
2.5.1.	Bagian-bagian Multimeter Digital	109
2.5.2.	Spesifikasi Digital Multimeter	112
2.5.3.	Prinsip Dasar Pengukuran	115
2.5.3.1.	Voltmeter	115
2.5.3.2.	Ohmmeter	117
2.5.3.3.	Pengukuran Frekuensi	117
2.5.3.4.	Pengukuran Periode dan Interval Waktu	118
2.5.3.5.	Kapasitansimeter	120
2.5.4.	Petunjuk Pengoperasian	122
2.554.	Mengatasi Gangguan Kerusakan	123
3.	LCR METER	
3.1.	Prinsip Dasar Pengukuran Komponen LCR	126
3.1.1.	Prinsip pengukuran Resistansi	126
3.1.1.2.	Jembatan Kelvin	128
3.1.1.3.	Jembatan Ganda Kelvin	130
3.1.2.	Prinsip Dasar Pengukuran L	132
1.2.	LCR meter model 740	140

3.2.1	Spesifikasi LCR meter	140
3.2.2	Pengoperasian	143
3.3.	Pembacaan Nilai Pengukuran	145
3.3.1.	Pengukuran Resistansi	146
3.3.2.	Pengukuran Kapasitansi	149
3.3.3.	Pengukuran Induktansi	153
3.4.	Pengukuran Resistansi DC Dengan Sumber Luar	156
3.5.	Pengukuran resistansi DC	158

JILID 2

4. PENGUKURAN DAYA

4.1.	Pengukuran Daya Rangkaian DC	160
4.2.	Pengukuran Daya Rangkaian AC	162
4.2.1	Metoda tiga Voltmeter dan metode tiga Ampermeter	163
4.3.	Wattmeter	164
4.3.1.	Wattmeter satu fasa	164
4.3.2.	Wattmeter tiga fasa	166
4.3.3.	Pengukuran Daya Reaktif	168
4.3.4.	Konstruksi dan Cara Kerja Wattmeter	168
4.3.4.1.	Wattmeter tipe elektrodinamometer	168
4.3.4.2.	Wattmeter tipe induksi	169
4.3.4.3.	Wattmeter tipe thermokopel	170
4.3.4.4.	Prinsip Kerja Wattmeter Elektrodinamometer	171
4.3.5.	Spesifikasi Alat	175
4.3.6.	Karakteristik	175
4.3.7.	Prosedur Pengoperasian	175
4.3.7.1.	Pengukuran daya DC atau AC satu fasa	175
4.3.7.2.	Pengukuran daya satu fasa jika arus melebihi nilai perkiraan	176
4.3.7.3.	Pengukuran daya satu fasa jika tegangan melebihi nilai perkiraan	176
4.3.7.4.	Pengukuran daya satu fasa jika tegangan dan arus melebihi nilai perkiraan	177
4.3.7.5.	Pengukuran daya tiga fasa (metode dua watt meter)	177
4.3.7.6.	Pengukuran daya tiga fase jika tegangan dan arus melebihi nilai perkiraan	178
4.3.8.	Pemilihan Range	179
1.3.9.	Keselamatan Kerja	179
4.3.10.	Error (Kesalahan)	179
4.4.	Error Wattmeter	180
4.5.	Watt Jam meter	183
4.5.1.	Konstruksi dan Cara Kerja Wattjam meter	184
4.5.2.	Pembacaan	186
4.6.	Meter Solid States	187
4.7.	Wattmeter AMR	187
4.8.	Kasus Implementasi Lapangan	188
4.9.	Faktor Daya	191
4.9.1.	Konstruksi	191
4.9.2.	Cara Kerja	192
4.9.3.	Faktor Daya dan Daya	195
4.9.4.	Prosedur Pengoperasian Cos Q meter	198
4.10.	Metode Menentukan Urutan Fasa	200

4.10.1. Kawat Penghantar Tiga Fasa	200
4.10.2. Prinsip Dasar Alat Indikator Urutan Fasa	203
4.10.3. Cara Kerja Alat	203
4.10.4. Prosedur Pengoperasian Alat	206
5. PENGUJI TAHANAN ISOLASI DAN KUAT MEDAN	
5.1.1. Pengujian Tahanan Isolasi	210
5.1.2. Pengukuran Tahanan Isolasi	212
5.2. Tahanan Pentanahan (Earth Ground Resistance)	216
5.2.1. Cara Menguji Sistem Pentanahan	217
5.2.2. Pentanahan dan Fungsinya	217
5.2.3. Nilai Tahanan yang Baik	218
5.2.4. Dasar-dasar Pentanahan	219
5.2.4.1. Komponen elektroda pentanahan	219
5.2.4.2. Hal-hal yang mempengaruhi tahanan tanah	220
5.2.5. Metode Pengetesan Pentanahan Tanah	222
5.2.5.1. Ukuran tahanan tanah	223
5.2.5.2. Cara menghitung tahanan tanah	223
5.2.5.3. Cara mengukur tahanan tanah	224
5.2.6. Metode Pengetesan Pentanahan Tanah	224
5.2.6. 1. Cara kerja uji Drop Tegangan	225
5.2.6. 2. Cara Menempatkan Tiang Pancang	225
5.2.6. 3. Ukuran selektif	226
5.2.7. Metode Pengetesan Pentanahan Tanah Ukuran Tanpa Pancang	227
5.2.7.1. Ukuran impedansi tanah	229
5.2.7.2. Tahanan tanah dua kutub	229
5.2.7.3. Mengukur Tahanan Tanah di Kantor Pusat	230
5.2.8. Aplikasi Tahanan Pentanahan yang Lain	233
5.2.8. 1. Lokasi aplikasi	233
5.2.8. 2. Uji-uji yang direkomendasikan	234
5.3. Pengukuran Medan	235
5.3.1. Field meter Statik :	235
5.3.1.1. Data Teknik	239
5.3.1.1.1. Ukuran Fieldmeter Statik	239
5.3.1.1.2. Letak Pin :	240
5.3.1.2. Metode Pengukuran	240
5.3.1.2.1. Pengaturan Offset	240
5.3.1.2.2. Penghitungan Pengisian Muatan	240
5.3.1.3. Perawatan	241
5.3.1.4. Instruksi Peringatan	241
5.3.2. Field meter Statik Digital	241
5.3.2.1. Diskripsi Instrument	241
5.3.2.2. Fungsi Display	242
5.3.2.3. Prosedur Pengukuran	242
5.3.2.3.1. Set-up	242
5.3.2.3.2. Persiapan Pengukuran	243
5.3.2.4. Data Teknik	243
5.3.3. Smart Field Meter	243
6. PEMBANGKIT SINYAL	
6.1. Fungsi Generator	247
6.1.1. Pendahuluan	247
6.1.2. Konstruksi dan Cara kerja	247

6.1.3. Spesifikasi	249
6.1.4. Prosedur Pengoperasian	250
6.1.4.1. <i>Troubleshooting</i> dengan teknik <i>signal tracing</i>	250
6.1.4.2. <i>Troubleshooting</i> menggunakan teknik sinyal pengganti	251
6.1.5. Penggunaan generator fungsi sebagai bias dan sumber sinyal	252
6.1.5.1. Karakteristik beban lebih pada amplifier	253
6.1.5.2. Pengukuran Respon Frekuensi	253
6.1.5.3. Setting Peralatan Tes	254
6.1.5.4. Peraga Respons Frekuensi	254
6.1.5.5. Pengetesan <i>Tone Control</i> Sistem Audio	255
6.1.4.6. Pengetesan speaker dan rangkaian impedansi	256
6.1.4.7 Keselamatan Kerja	258
6.2. Pembangkit Frekuensi Radio	258
6.2.1. Konstruksi dan Cara Kerja	259
6.2.1.1. Direct Digital Synthesis	259
6.2.1.2. Creating Arbitrary Waveform	262
6.2.1.3. Pembangkit Gelombang	265
6.2.1.4. Generasi Bentuk Gelombang Pulsa	265
6.2.2. Ketidaktelesmpurnaan Sinyal	266
6.2.2.1. Cacat Harmonis	266
6.2.2.2. Cacat Non-Harmonis	267
6.2.2.3. Pasa Noise	267
6.2.2.4. Kesalahan Kuantisasi	268
6.2.2.5. Pengendali Tegangan Keluaran	268
6.2.3. Pengendali Tegangan Keluaran	270
6.2.3.1. Rangkaian Tertutup Ground	270
6.2.3.2. Atribut Sinyal AC	271
6.2.4. Modulasi	273
6.2.4.1. Modulasi Amplitudo (AM)	274
6.2.4.2. Frequency Modulation (FM)	274
6.2.4.3. Frequency-Shift Keying (FSK)	275
6.2.4.5. Sapuan Frekuensi	276
6.2.4.6. Sinyal Sinkron dan Marker	277
6.2.4.6.1. Burst	277
6.2.4.6.2. Gated Burst	279
6.2.5. Spesifikasi Alat	279
6.2.6. Prosedur Pengoperasian Pengukuran Pulsa noise	280
6.3. Pembangkit Pulsa	282
6.4. Sweep Marker Generator	282
6.4.1. Prosedur Pengoperasian	282
6.4.1.1. Alignment penerima AM	282
6.4.1.2. Alignment penerima Komunikasi FM	284

7.1.	Pengantar	287
7.1.1.	Pemahaman Dasar Sinyal	287
7.1.2.	Pengetahuan dan Pengukuran Bentuk Gelombang	289
7.1.2.1.	Gelombang kotak dan segiempat	291
7.1.2.2.	Gelombang gigigergaji dan segitiga	292
7.1.2.3.	Bentuk Step dan Pulsa	292
7.1.2.4.	Sinyal periodik dan Non periodik	292
7.1.2.5.	Sinyal sinkron dan tak sinkron	292
7.1.2.6.	Gelombang kompleks	293
7.1.3.	Pengukuran Bentuk Gelombang	294
7.1.3.1.	Frekuensi dan Perioda	294
7.1.3.2.	Tegangan	294
7.1.3.3.	Amplitudo	294
7.1.3.4.	Pasa	295
7.1.3.5.	Pergeseran Pasa	295
7.2.	Operasi Dasar CRO	295
7.2.1.	Prinsip Kerja Tabung Sinar Katoda	298
7.2.2.	Sensitivitas Tabung	300
7.3.	Jenis-Jenis Osiloskop	301
7.3.1.	Osiloskop Analog	301
7.3.2.	Jenis- jenis Osiloskop Analog	302
7.3.2.1.	Free Running Oscilloscope	302
7.3.2.2.	Osiloskop sapuan terpicu	303
7.3.2.3.	CRO Dua Kanal	305
7.3.2.4.	CRO Penyimpanan Analog (Storage Oscilloscope)	308
7.4.	Osiloskop Digital	313
7.4.1.	Prinsip Kerja CRO Digital	313

7.4.2. Metoda Pengambilan Sampel	314
7.4.3. Pengambilan Sampel <i>Real-Time</i> dengan Interpolasi	314
7.4.4. Ekuivalensi Waktu Pengambilan Sampel	316
7.4.5. Osiloskop Penyimpan Digital	316
7.5. Spesifikasi Osiloskop	318
7.5.1. Spesifikasi Umum	318
7.5.2. Mode Peraga Vertikal	318
7.5.3. Perhatian Keamanan	319
7.6. Pengukuran Dengan Osiloskop	319
7.6.1. Pengenalan Panel Depan dan Fungsi	319
7.6.2. Pengukuran Tegangan DC	321
7.6.3. Pengukuran Tegangan AC	323
7.6.4. Pengukuran Frekuensi	326
7.6.4.1. Peralatan yang Dibutuhkan	326
7.6.4.2. Pengukuran Frekuensi Langsung	327
7.6.4.3. Pengukuran Frekuensi Model Lissayous	328
7.6.5. Pengukuran Pasa	329
7.7.1. MSO Sumbu XYZ Aplikasi Pada Pengujian Otomotif	331
7.7.2. Mixed Signal Oscilloscope	331
7.7.3. Osiloskop Digital Pospor (Digital Phospor Oscilloscope / DPO)	331
7.7.4. Arsitektur Pemrosesan Paralel	332
7.7.5. Mudah Penggunaan	335
7.7.6. Probe	336
7.8. Pengoperasian Osiloskop	338
7.8.1. Pengesetan	338
7.8.2. Menggroundkan osiloskop	338

7.8.3. Ground Diri Pengguna	339
7.8.4. Pengaturan Pengendali	339
7.8.5. Penggunaan Probe	339
7.8.6. Pengukuran Tegangan	342
7.8.7. Pengukuran Waktu dan Frekuensi	342
7.8.8. Pengukuran Lebar dan Waktu Naik Pulsa	343
7.8.9. Pengukuran Pergeseran Pasa	344
8. FREKUENSI METER	
8.1. Frekuensi Meter Analog	345
8.1.1. Alat ukur frekuensi jenis batang atau lidah bergetar	345
8.1.2. Alat pengukur frekuensi dari type alat ukur rasio	347
8.1.3. Alat ukur frekuensi besi putar	348
8.2. Frekuensi Meter Digital	349
8.2.1. Prinsip kerja	349
8.2.2. Rangkaian frekuensi meter digital yang disederhanakan	353
8.3. Metode Pengukuran	354
8.3.1. Pengukuran Frekuensi dengan counter	354
8.3.2. Pengukuran Frekuensi System Heterodyne	355
8.3.3. Pengukuran Perioda Dengan <i>Counter</i> Perioda Tunggal	357
8.3.4. Pengukuran Perbandingan atau Perbandingan Ganda	359
8.3.5. Pengukuran Interval Waktu dengan Counter	359
8.3.6. Pengukuran Interval Waktu	360
8.3.7. Totalizer	362
8.4. Kesalahan pengukuran	365
8.4.1. Kesalahan pada "gate"	365
8.4.2. Kesalahan Time Base	366

8.4.3. Kesalahan “Level trigger”.	368
-----------------------------------	-----

JILID 3

9. PENGANALISA SPEKTRUM

9.1. Pengantar dan Sejarah Perkembangan Spektrum Analiser	370
9.1.1. Tantangan Pengukuran Sinyal RF Modern	372
9.1.2. Pertimbangan Pengukuran	372
9.2. Jenis-jenis Penganalisa Spektrum	373
9.2.1. Penganalisa Spektrum tersapu	373
9.2.2. Penganalisa Vektor Sinyal dengan Analisis Modulasi Digital	374
9.2.3. Kunci Konsep Analisis Spektrum Waktu Riil	377
9.3. Dasar Analisa Spektrum Waktu Riil	381
9.3.1. Analisa Multi Ranah Korelasi Waktu	381
9.3.2. Prinsip Kerja Spektrum Analisa Waktu Riil	383
9.3.3. Penganalisa Spektrum Waktu Riil	384
9.3.4. Pengaruh Ranah Frekuensi dan Waktu Terhadap Kecepatan Pencuplikan	388
9.3.5. Pemicuan Waktu Riil	389
9.3.5.1. Sistem Picu dengan Akuisis Digital	390
9.3.5.2. Mode Picu dan Corak	392
9.3.5.3. Sumber-sumber Picu RSA	392
9.3.5.4. Membangun Topeng Frekuensi	394
9.3.5.5. Pewaktuan dan Picu	395
9.3.5.6. Baseband DSP	396
9.3.5.7. Kalibrasi / Normalisasi	396
9.3.5.8. Penyaringan	396

9.3.5.9.	Analisa Transformasi Fast Fourier	397
9.3.5.10.	Modulasi Amplitudo, Frekuensi dan pаса	401
9.3.5.11.	Pengukuran Ranah frekuensi	404
9.4.	Aplikasi Dalam Penggunaan	415
9.4.1.	Informasi Keselamatan	415
9.4.2.	Mengukur Perbedaan antara Dua Sinyal Pada Layar	416
9.4.3.	Resolving Sinyal of Equal Amplitudo	418
9.4.4.	Pemecahan Sinyal	419
9.4.5.	Pengukuran Frekuensi	421
9.4.6.	Pengukuran Sinyal Terhadap Noise	422
9.4.7.	Demodulasi Sinyal AM	423
10. PEMBANGKIT POLA		
10.1.	Latar Belakang Sejarah	431
10.2.	Sinyal Pengetesan	432
10.2.1.	Komponen Sinkronisasi	432
10.2.2.	Sinyal Luminansi (Video Monokrom)	433
10.2.3.	Informasi Warna (Krominansi)	433
10.2.4.	Ukuran IRE	434
10.2.5.	Sinyal Tes TV	434
10.3.	Pola Standar	435
10.3.1.	Pola Pengetesan EIA	436
10.3.2.	Penyusunan Bingkai	436
10.3.3.	Pemusatan	436
10.3.3.	Linieritas Pembelokan	437
10.3.4.	Aspek Perbandingan	439
10.3.5.	Cakupan Kontras	439

10.3.6. Penjalinan Gambar (Interlacing)	439
10.3.7. Resolusi	440
10.4. Pola Pengetesan Batang Untuk Pengecekan Lapisan	442
10.4.1. Pengetesan Ringing Dalam Gambar	442
10.4.2. Sinyal Monoscope	444
10.4.3. Chart Bola Untuk Pengetesan Linieritas Kamera	444
10.4.4. Sinyal Batang Warna Standar EIA	446
10.4.5. Batang SMPTE	447
10.4.6. Batang Bidang Putih Penuh 100%	449
10.4.7. Batang Warna Putih EIA 75%	450
10.4.8. Jendela	450
10.5. Pengembangan Pola	451
10.6. Pembangkit Pola	453
10.6.1. Blok diagram Pattern generator	455
10.6.2. Kontrol dan Spesifikasi Pola generator	458
10.7. Spesifikasi	459
10.8. Aplikasi	459
10.8.1. Prosedur Penggunaan Pembangkit Pola	459
10.8.2. Pengukuran Lebar Penalaan Tuner Televisi	461
10.8.3. Pengaturan Gambar dan Suara Menggunakan Pattern generator	462
10.8.4. Pembangkit pola dipasaran	464
10.8.5. Pola Pengetesan Sinyal Video	467
11.MESIN TESTER	
11.1. Pengantar	468
11.1.1. MSO	470
11.1.2. Verivikasi Sifat operasi Sistem Whindshield Wiper Automatis	471

11.1.3. Pemicuan MSO Pada Bingkai Kesalahan	474
11.1.4. Pemicuan MSO Mengungkapkan Glitch Acak	476
11.1.5. Penambahan Pengetesan Throughput ECU Otomotif	477
11.1.6. Karakteristik Input dan Output	478
11.2. Elektronik Pengetesan Fungsi Otomotif Menggunakan Sistem Komponen	479
11.2.1. Penghitungan	479
11.2.2. Komunikasi Serial	481
11.2.3. Instrumentasi Pengukuran Frekuensi Rendah	482
11.2.4. Pensaklaran Beban dan Pengukuran	483
11.2.5. Peletakkan Semua Bersama	485
11.3. Aplikasi	486
11.3.1. Pengetesan Rem Anti-lock dan Kontrol Daya Tarik	486
11.3.1.1. Sensor Reluktansi yang dapat divariasi	486
11.3.1.2. Deteksi Kelicinan Roda	486
11.3.1.3. Pengetesan Deteksi Kelicinan Roda	487
11.3.2. Pengetesan Ambang Kecepatan Roda	487
11.3.3. Pengetesan Selenoid Pengarah	488
11.3.4. Pengetesan Smart Drivers	490
11.3.5. Pengujian Remote Keyless Elektronik Otomotif	491
11.3.6. Perlindungan Immobilizer	492
11.3.7. Pengetesan Pengapian	494
11.3.8. Pengetesan Kepemilikan	495
11.3.9. Pengetesan Sistem Pemantauan Tekanan Ban (TPMS)	496
11.3.10. Kalibrasi Pengukuran Kerugian Jalur	499
11.3.11. Kerugian Jalur Pengukuran dan Kalibrasi Pesawat	500

11.3.12. Mesin Tester	501
11.3.13. Spesifikasi	502
11.3.14. Keunikan Pengetesan Fungsi Otomotif	502
11.4. Rupa rupa Penguji Mesin	504
11.5. Penganalisa Gas	505
12. SISTEM POSISI GLOBAL (GPS)	
12.1. Pengantar Teknologi GPS	518
12.1.1. Segemen ruang	521
12.1.2. Gerakan Satelit	522
12.1.3. Konstruksi GPS Satelit	523
12.1.4. Sinyal Satelit	525
12.1.5. Segmen Kontrol	526
12.1.6. Segmen Pemakai	527
12.2. Cara Bekerja GPS	528
12.2.1. Koreksi Perbedaan Posisi	528
12.2.2. Navigasi Sederhana	529
12.2.3. Menghitung Jarak Satelit	531
12.2.4. Perhitungan Posisi	532
12.2.5. Sumber-sumber kesalahan	533
12.3. Differential GPS (DGPS)	539
12.3.1. Koreksi Perbedaan Posisi	539
12.3.2. Menentukan Nilai Koreksi	539
12.3.3. Penyiaran Nilai Koreksi	540
12.3.4. Koreksi Pengukuran Cakupan Semu	540
12.3.5. Penerima Acuan	541
12.4. Petunjuk Pengoperasian GPS Maestro 4050	542

12.4.1. Instalasi GPS	543
12.4.2. Pengoperasian Dasar	544
12.4.3. Menu Utama	545
12.4.4. Point Of Interest (POI)	546
12.4.5. Perencana Perjalanan (Trip Planner)	547
12.4.6. Prosedur Point Of Interest (POI)	551
12.4.7. Prosedur Perencana Perjalanan (Trip Planner)	552
13. PERALATAN ELEKTRONIKA KEDOKTERAN	
13.1.1 MRI (<i>Magnetic Resonance Imaging</i>)	554
13.1.1.1.Scan MRI	556
13.1.1.2.Konstruksi Mesin MRI	557
13.1.1.3. Resonansi Magnetik	559
13.1.1.4. Keselamatan MRI	561
13.1.1.5. Magnet MRI	562
13.1.1.6.Magnet MRI Tambahan	563
13.1.2. Mesin MRI	564
13.1.2.1. MRI Images	565
13.1.2.2. Keuntungan MRI	566
13.1.2.3. Alasan Melakukan MRI	566
13.1.2.4. Kelemahan MRI	567
13.1.3. MRI Masa depan	568
13.1.3.1. Pengertian FMRI	568
13.1.3.2. Perbedaan Antara MRI dan FMRI	568
13.1.3.3. Tata cara pemeriksaan dan apa yang akan dialami pasien saat pemeriksaan MRI :	569
13.2.1. Pengertian CT SCAN	569

3.2.1.1. Penemuan Sinar X	571
13.2.1. 2. Pengertian Sinar X	572
13.2.2. Mesin Sinar X	573
13.2.3. Prosedur Scanning	576
13.2.3.1. Cara kerja CT Scan dan Perkembangannya	577
	579
13.2.3.2. Pengoperasian Alat	580
13.2.3.3. Optimalisasi Peralatan Dengan Model jaringan	
13.2.4.1. Perawatan	581
13.2.4.2. Kapan CT scan diperlukan	581
13.3.1. Diagnosis Medis Penggambaran Sonography	582
13.3.1.1. Pengertian Ultrasonik Medis	582
13.3.1. 2. Penggambaran Medis Ultrasonography	583
13.3.2. Aplikasi Diagnostik	584
13.3.2.1. Pengolahan Suara Menjadi Gambar	586
13.3.2.2. Produksi Gelombang Suara	586
13.3.2.3. Menerima Pantul	586
13.3.2.4. Pembentukan Gambar	587
13.3.2.5. Susunan transduser linier	588
13.3.3. Metoda Sonography	589
13.3.3.1. Sonography Doppler	589
13.3.3.2. Mesin Ultrasonik	591
13.3.4. Perbedaan Jenis Ultrasonik	594
13.3.5. Prosedur Pengujian Dengan Ultrasonik	596
13.3. Penggambaran Dari Kedokteran Nuklir	597

13.4.1.	Prosedur Pengujian	597
13.4.2.	Prosedur Pelaksanaan	601
13.4.3.	Resiko	609
13.4.4.	Keterbatas Tomografi Emisi Positron	609
13.4.5.	Teknik Cardiosvascular Imaging	610
13.4.6.	Scanning Tulang	610

DAFTAR PUSTAKA	A
----------------	---

DAFTAR TABEL	B
--------------	---

DAFTAR GAMBAR	C
---------------	---

GLOSARIUM	D
-----------	---

BAB 1

PENDAHULUAN

Tujuan

Pembahasan bertujuan membekali kemampuan :

1. Mendefinisikan sistem satuan besaran listrik
2. Memilih dan menempatkan alat ukur yang baik berdasarkan parameter
3. Mampu menyebutkan macam-macam peraga penunjukkan alat ukur

Pokok Bahasan

1. Parameter Alat Ukur
2. Sistem Satuan
3. Klasifikasi kelas meter dan kalibrasi
4. Macam-macam peraga

1.1. Parameter Alat Ukur

Alat ukur listrik merupakan peralatan yang diperlukan oleh manusia. Karena besaran listrik seperti : tegangan, arus, daya, frekuensi dan sebagainya tidak dapat secara langsung ditanggapi oleh panca indera. Untuk mengukur besaran listrik tersebut, diperlukan alat pengubah. Atau besaran ditransformasikan ke dalam besaran mekanis yang

berupa gerak dengan menggunakan alat ukur. Perlu disadari bahwa untuk dapat menggunakan berbagai macam alat ukur listrik perlu pemahaman pengetahuan yang memadai tentang konsep - konsep teoritisnya. Dalam mempelajari pengukuran dikenal beberapa istilah, antara lain :

Instrumen : adalah alat ukur untuk menentukan nilai atau besaran suatu kuantitas atau variabel.

Ketelitian : harga terdekat dengan mana suatu pembacaan instrumen mendekati harga sebenarnya dari variabel yang diukur.

Ketepatan : suatu ukuran kemampuan untuk hasil pengukuran yang serupa

Sensitivitas : perbandingan antara sinyal keluaran atau respons instrumen terhadap perubahan masukan atau variabel yang diukur.

Resolusi : perubahan terkecil dalam nilai yang diukur yang mana instrumen akan memberi respon atau tanggapan.

Kesalahan : penyimpangan variabel yang diukur dari harga (nilai) yang sebenarnya.

Alat ukur listrik dikelompokkan menjadi dua, yaitu :

Alat ukur standar/absolut :

Alat ukur absolut maksudnya adalah alat ukur yang menunjukkan besaran dari komponen listrik yang diukur dengan batas-batas pada konstanta dan penyimpangan pada alat itu sendiri. Ini menunjukkan

bahwa alat tersebut tidak perlu dikalibrasi atau dibandingkan dengan alat ukur lainnya lebih dahulu. Contoh dari alat ukur ini adalah galvanometer.



Gambar 1-1 Alat ukur standar galvanometer

Alat ukur sekunder :

Alat ukur sekunder maksudnya adalah semua alat ukur yang menunjukkan harga besaran listrik yang diukur dan dapat ditentukan hanya dari simpangan alat ukur tersebut. Sebelumnya alat ukur

sudah dikalibrasi dengan membandingkan pada alat ukur standar/absolut. Contoh dari alat ukur ini adalah alat ukur listrik yang sering dipergunakan sehari-hari.



Gambar 1-2 Alat ukur sekunder

1.1.1. Sistem Satuan Dalam Pengukuran

1.1.1.1. Satuan Dasar dan Satuan Turunan

Ilmu pengetahuan dan teknik menggunakan dua jenis satuan, yaitu satuan dasar dan satuan turunan. Satuan-satuan dasar dalam mekanika terdiri dari panjang, massa dan waktu. Biasa disebut dengan satuan - satuan dasar utama. Dalam beberapa besaran fisis tertentu pada ilmu termal, listrik dan penerangan juga

dinyatakan satuan-satuan dasar. Arus listrik, temperatur, intensitas cahaya disebut dengan satuan dasar tambahan. Sistem satuan dasar tersebut selanjutnya dikenal sebagai sistem internasional yang disebut sistem SI. Sistem ini memuat 6 satuan dasar seperti tabel 1-1.

Tabel 1-1 Besaran-besaran satuan dasar SI

Kuantitas	Satuan Dasar	Simbol
Panjang	meter	m
Massa	kilogram	kg
Waktu	sekon	s
Arus listrik	amper	A
Temperatur	kelvin	K
Intensitas cahaya	kandela	Cd

Satuan-satuan lain yang dapat dinyatakan dengan satuan-satuan dasar disebut satuan-satuan turunan. Untuk memudahkan

beberapa satuan turunan telah diberi nama baru, contoh untuk daya dalam SI dinamakan *watt* yaitu menggantikan *J/s*.

Tabel 1-2 Beberapa contoh satuan yang diturunkan

Kuantitas	Satuan yang diturunkan	Simbol	Dinyatakan dalam satuan SI atau satuan yang diturunkan
Frekuensi	hertz	Hz	$1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$
Gaya	newton	N	$1 \text{ N} = 1 \text{ kgm/s}^2$
Tekanan	pascal	Pa	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$
Energi kerja	joule	J	$1 \text{ J} = 1 \text{ Nm}$
Daya	watt	W	$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$
Muatan listrik	coulomb	C	$1 \text{ C} = 1 \text{ As}$
GGL/beda potensial	volt	V	$1 \text{ V} = 1 \text{ W/A}$
Kapasitas listrik	farad	F	$1 \text{ F} = 1 \text{ As/V}$
Tahanan listrik	ohm	Ω	$1 \Omega = 1 \text{ V/A}$
Konduktansi	siemens	S	$1 \text{ S} = 1 \Omega^{-1}$
Fluksi magnetis	Weber	Wb	$1 \text{ Wb} = 1 \text{ Vs}$
Kepadatan fluksi	Tesla	T	$1 \text{ T} = 1 \text{ Wb/m}^2$
Induktansi	Henry	H	$1 \text{ H} = 1 \text{ Vs/A}$
Fluksi cahaya	Lumen	lm	$1 \text{ lm} = 1 \text{ cd sr}$
Kemilauan	lux	lx	$1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$

1.1.1.2. Sistem-sistem Satuan

Asosiasi pengembangan Ilmu Pengetahuan Inggris telah menetapkan sentimeter sebagai satuan dasar untuk panjang dan gram sebagai satuan dasar untuk massa. Dari sini dikembangkan sistem satuan sentimeter-gram-sekon (CGS). Dalam sistem elektrostatik CGS, satuan muatan listrik diturunkan dari sentimeter, gram, dan sekon dengan menetapkan bahwa permissivitas ruang hampa pada hukum

coulomb mengenai muatan listrik adalah satu. Satuan-satuan turunan untuk arus listrik dan potensial listrik dalam sistem elektromagnetik, yaitu ampere dan volt digunakan dalam pengukuran-pengukuran praktis. Kedua satuan ini beserta salah satu dari satuan lainnya seperti: coulomb, ohm, henry, farad, dan sebagainya digabungkan di dalam satuan ketiga yang disebut sistem praktis (*practical system*).

Tahun 1960 atas persetujuan internasional ditunjuk sebagai sistem internasional (SI). Sistem SI digunakan enam satuan dasar, yaitu meter, kilogram, sekon, dan ampere (MKSA) dan sebagai satuan dasar tambahan adalah derajat kelvin dan lilin (*kandela*) yaitu

sebagai satuan temperatur dan intensitas cahaya, seperti terlihat pada tabel 1-1. Demikian pula dibuat pengalihan dari satuan-satuan dasar, yaitu dalam sistem desimal seperti terlihat pada tabel 1-3.

Tabel 1-3 Perkalian desimal

Faktor perkalian dari satuan	Sebutan	
	Nama	Symbol
10^{12}	Tera	T
10^9	Giga	G
10^6	Mega	M
10^3	Kilo	K
10^2	Hekto	h
10	Deca	da
10^{-1}	Deci	d
10^{-2}	Centi	c
10^{-3}	Milli	m
10^{-6}	Micro	μ
10^{-9}	Nano	n
10^{-12}	Pico	p
10^{-15}	Femto	f
10^{-18}	atto	a

Ada pula satuan bukan SI yang dapat dipakai bersama dengan satuan SI. Beserta kelipatan -

kelipatannya, digunakan dalam pemakaian umum. Lebih jelasnya dapat diperhatikan pada tabel 1-4.

Tabel 1-4 Satuan bukan SI yang dapat dipakai bersama dengan satuan

Kuantitas	Nama Satuan	Simbol	Definisi
Waktu	menit	menit	1 menit = 60 s
	jam	jam	1 jam = 60 menit
	hari	hari	1 hari = 24 jam
Sudut datar	derajat	o	$1^\circ = (\pi/180) \text{ rad}$
	menit	,	$1' = (1/60)^\circ$
	sekon	:	$1'' = (1/60)'$
Massa	Ton	T	$1 \text{ t} = 10^3 \text{ kg}$

1.1.1.3. Sistem Satuan Lain

Di Inggris sistem satuan panjang menggunakan kaki (ft), massa pon (lb), dan waktu adalah detik. (s). Satuan-satuan tersebut dapat dikonversikan ke satuan SI, yaitu panjang 1 inci = 1/12 kaki ditetapkan = 25,4 mm, untuk

massa 1 pon (lb) = 0,45359237 kg. Berdasarkan dua bentuk ini memungkinkan semua satuan sistem Inggris menjadi satuan - satuan SI. Lebih jelasnya perhatikan tabel 1-5.

Tabel 1-5 Konversi satuan Inggris ke SI

Satuan Inggris	Simbol	Ekivalensi metrik	Kebalikan
Panjang 1 kaki	ft	30,48 cm	0,0328084
1 inci	In	25,40 mm	0,0393701
Luas 1 kaki kuadrat	Ft ²	9,2903 x 10 ² cm ²	0,0107639x10 ²
1 inci kuadrat	In ²	6,4516 x 10 ²	
Isi 1 kaki kubik	Ft ³	mm ²	0,15500 x 10 ⁻²
Massa 1 pon	lb	0,0283168 m ³	35,3147
Kerapatan 1 pon per kaki kubik	lb/ft ³	0,45359237 kg	2,20462
Kecepatan 1 kaki per sekon	ft/s	16,0185 kg/m ³	0,062428
Gaya 1 pondal	pdl	0,3048 m/s	3,28084
Kerja, energi 1 kaki-pondal	ft pdl	0,138255 N	7,23301
Daya 1 daya kuda	Hp	0,0421401 J	23,7304
		745,7 W	0.00134102

1.2. Kesalahan Ukur

Saat melakukan pengukuran besaran listrik tidak ada yang menghasilkan ketelitian dengan sempurna. Perlu diketahui ketelitian yang sebenarnya dan

sebab terjadinya kesalahan pengukuran. Kesalahan - kesalahan dalam pengukuran dapat digolongkan menjadi tiga jenis, yaitu :

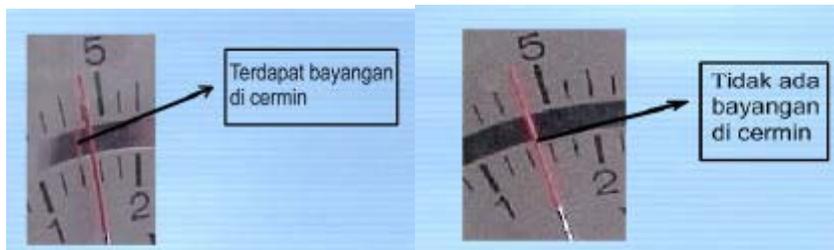
1.2.1 Kesalahan-kesalahan Umum (*gross-errors*)

Kesalahan ini kebanyakan disebabkan oleh kesalahan manusia. Diantaranya adalah kesalahan pembacaan alat ukur, penyetelan yang tidak tepat dan pemakaian instrumen yang tidak sesuai dan kesalahan penaksiran. Kesalahan ini tidak dapat dihindari, tetapi harus dicegah dan perlu diperbaiki. Ini terjadi karena keteledeoran atau kebiasaan -

kebiasaan yang buruk, seperti : pembacaan yang tidak teliti, pencatatan yang berbeda dari pembacaannya, penyetelan instrumen yang tidak tepat. Agar mendapatkan hasil yang optimal, maka diperlukan pembacaan lebih dari satu kali. Bisa dilakukan tiga kali, kemudian dirata-rata. Jika mungkin dengan pengamat yang berbeda.



Gambar 1-3 Posisi pembacaan meter



Gambar 1-4 a Pembacaan yang salah Gambar 1-4 b Pembacaan yang benar

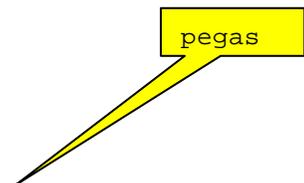
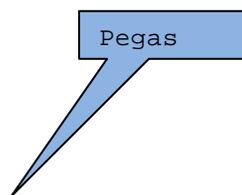


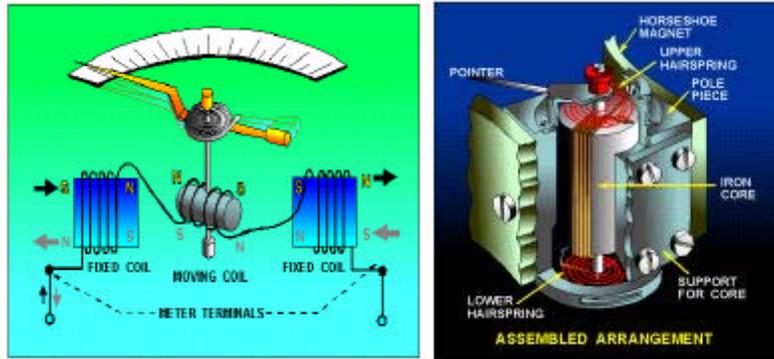
Gambar 1-5 Pengenalan meter tidak tepat

1.2.2. Kesalahan-kesalahan sistematis (*systematic errors*)

Kesalahan ini disebabkan oleh kekurangan-kekurangan pada instrumen sendiri. Seperti kerusakan atau adanya bagian-bagian yang aus dan pengaruh lingkungan terhadap peralatan atau pemakai. Kesalahan ini merupakan kesalahan yang tidak dapat dihindari dari instrumen, karena struktur mekanisnya. Contoh : gesekan beberapa komponen yang bergerak terhadap bantalan dapat menimbulkan pembacaan yang tidak tepat. Tarikan pegas (hairspring) yang tidak teratur, perpendekan pegas, berkurangnya tarikan karena penanganan yang tidak tepat atau pembebanan instrumen yang berlebihan. Ini semua akan mengakibatkan kesalahan-kesalahan. Selain dari beberapa hal yang sudah disinggung di atas masih ada lagi yaitu kesalahan kalibrasi yang bisa mengakibatkan pembacaan instrumen terlalu tinggi atau terlalu rendah dari yang seharusnya. Cara yang paling tepat untuk

mengetahui instrumen tersebut mempunyai kesalahan atau tidak yaitu dengan membandingkan dengan instrumen lain yang memiliki karakteristik yang sama atau terhadap instrumen lain yang akurasi lebih tinggi. Untuk menghindari kesalahan-kesalahan tersebut dengan cara : (1) memilih instrumen yang tepat untuk pemakaian tertentu; (2) menggunakan faktor-faktor koreksi setelah mengetahui banyaknya kesalahan; (3) mengkalibrasi instrumen tersebut terhadap instrumen standar. Pada kesalahan-kesalahan yang disebabkan lingkungan, seperti : efek perubahan temperatur, kelembaban, tahanan udara luar, medan-medan maknetik, dan sebagainya dapat dihindari dengan membuat pengkondisian udara (AC), penyegelan komponen-komponen instrumen tertentu dengan rapat, pemakaian pelindung maknetik dan sebagainya.





Gambar 1-6 Posisi pegas

1.2.3. Kesalahan acak yang tak disengaja (*random errors*)

Kesalahan ini diakibatkan oleh penyebab yang tidak dapat langsung diketahui. Antara lain sebab perubahan-perubahan parameter atau sistem pengukuran terjadi secara acak. Pada pengukuran yang sudah direncanakan kesalahan - kesalahan ini biasanya hanya kecil. Tetapi untuk pekerjaan - pekerjaan yang memerlukan ketelitian tinggi akan berpengaruh. Contoh misal suatu tegangan diukur dengan voltmeter dibaca setiap jam, walaupun instrumen yang digunakan sudah dikalibrasi dan kondisi lingkungan sudah diset sedemikian rupa, tetapi hasil pembacaan akan terjadi perbedaan selama periode

pengamatan. Untuk mengatasi kesalahan ini dengan menambah jumlah pembacaan dan menggunakan cara-cara statistik untuk mendapatkan hasil yang akurat.

Alat ukur listrik sebelum digunakan untuk mengukur perlu diperhatikan penempatannya / peletakkannya. Ini penting karena posisi pada bagian yang bergerak yang menunjukkan besarnya akan dipengaruhi oleh titik berat bagian yang bergerak dari suatu alat ukur tersebut. Oleh karena itu letak penggunaan alat ukur ditentukan seperti pada tabel 1-6

Tabel 1-6 Posisi alat ukur waktu digunakan

Letak	Tanda
Tegak	
Datar	
Miring (misal dengan Sudut 60^0)	$< 60^0$

1.3. Klasifikasi Kelas Meter

Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang mendekati dengan harga sebenarnya. Perlu memperhatikan batas kesalahan yang tertera pada alat ukur tersebut. Klasifikasi alat ukur listrik menurut Standar IEC no. 13B-23 menspesifikasikan bahwa ketelitian alat ukur dibagi menjadi 8 kelas, yaitu : 0,05; 0,1 ; 0,2 ; 0,5 ; 1,0 ; 1,5 ; 2,5 ; dan 5. Kelas-kelas (1) Golongan dari kelas 0,05, 0,1, 0,2 termasuk alat ukur presisi yang tertinggi. Biasa digunakan di laboratorium yang standar. (2) Golongan alat ukur dari kelas 0,5 mempunyai ketelitian dan presisi tingkat berikutnya dari kelas 0,2 alat ukur ini biasa digunakan untuk pengukuran-pengukuran presisi. Alat ukur ini biasanya portabel. (3) Golongan dari kelas 1,0 mempunyai ketelitian dan presisi pada tingkat lebih rendah dari alat ukur kelas 0,5. Alat ini biasa digunakan pada alat ukur portabel yang kecil atau alat-alat ukur pada panel. (4) Golongan dari kelas 1,5, 2,5, dan 5 alat ukur ini dipergunakan pada panel-panel yang tidak begitu memperhatikan presisi dan ketelitian.

tersebut artinya bahwa besarnya kesalahan dari alat ukur pada batas-batas ukur masing-masing kali $\pm 0,05\%$, $\pm 0,1\%$, $\pm 0,2\%$, $\pm 0,5\%$, $\pm 1,0\%$, $\pm 1,5\%$, $\pm 2,5\%$, $\pm 5\%$ dari relatif harga maksimum. Dari 8 kelas alat ukur tersebut digolongkan menjadi 4 golongan sesuai dengan daerah pemakaiannya, yaitu :

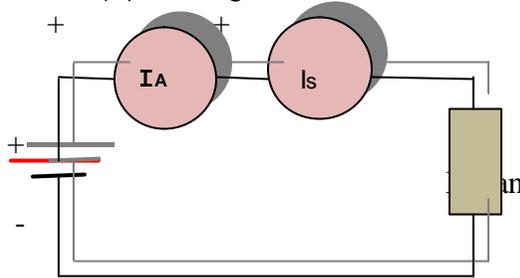
1.4. Kalibrasi

Setiap sistem pengukuran harus dapat dibuktikan keandalannya dalam mengukur, prosedur pembuktian ini disebut kalibrasi. kalibrasi atau peneraan bagi pemakai alat ukur sangat penting. Kalibrasi dapat mengurangi kesalahan meningkatkan ketelitian pengukuran. Langkah prosedur kalibrasi menggunakan perbandingan instrumen yang akan dikalibrasi dengan instrumen standar. Berikut ini dicontohkan kalibrasi untuk ampermeter arus searah dan voltmeter arus searah secara sederhana.

1.4.1. Kalibrasi ampermeter arus searah

Kalibrasi secara sederhana yang dilakukan pada ampermeter arus searah. Caranya dapat dilakukan dengan membandingkan arus yang melalui ampermeter yang akan dikalibrasi (I_A) dengan

ampermeter standar (I_s). Langkah-langkahnya ampermeter (I_A) dan ampermeter standar (I_s) dipasang secara seri perhatikan gambar 1- 7 di bawah.



Gambar 1- 7. Kalibrasi sederhana ampermeter

Sebaiknya ampermeter yang akan digunakan sebagai meter standar adalah ampermeter yang mempunyai kelas presisi yang tinggi (0,05, 0,1, 0,2) atau presisi tingkat berikutnya (0,5). Gambar 1 – 7 ditunjukkan bahwa I_A adalah arus yang terukur pada meter yang

akan dikalibrasi, I_s adalah arus standar yang dianggap sebagai harga arus sebenarnya. Jika kesalahan mutlak (absolut) dari ampermeter diberi simbol α dan biasa disebut kesalahan dari alat ukur, maka dapat dituliskan :

$$\alpha = I_A - I_s \dots\dots\dots (1 - 1)$$

Perbandingan kesalahan alat ukur (α) terhadap harga arus sebenarnya (I_s), yaitu : α / I_s biasa disebut kesalahan relatif atau rasio kesalahan. Dinyatakan dalam

persen. Sedangkan perbedaan atau selisih antara harga sebenarnya atau standar dengan harga pengukuran disebut harga koreksi dituliskan :

$$I_s - I_A = k \dots\dots\dots (1 - 2)$$

Perbandingan harga koreksi terhadap arus yang terukur (k / I_A)

disebut rasio koreksi atau koreksi relatif dinyatakan dalam persen

Contoh Aplikasi :

Ampermeter digunakan untuk mengukur arus yang besarnya 20 mA, ampermeter menunjukkan arus sebesar 19,4 mA. Berapa kesalahan, koreksi, kesalahan relatif, dan koreksi relatif.

Jawab :

Kesalahan = $19,4 - 20 = - 0,6$ mA

Koreksi = $20 - 19,4 = 0,6$ mA

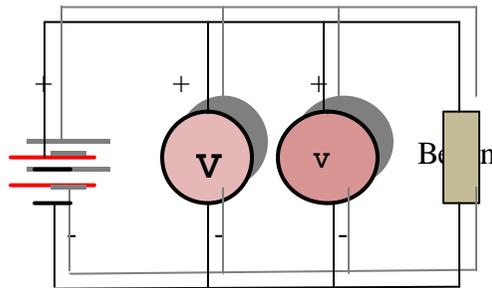
Kesalahan relatif = $-0,6/20 \cdot 100 \% = - 3 \%$

Koreksi relatif = $0,6/19,4 \cdot 100 \% = 3,09 \%$

1.4.2. Kalibrasi voltmeter arus searah

Sama halnya pada amperemeter, kalibrasi voltmeter arus searah dilakukan dengan cara membandingkan harga tegangan yang terukur voltmeter yang dikalibrasi (V) dengan voltmeter

standar (V_s). Langkah-langkahnya voltmeter (V) dan voltmeter standar (V_s) dipasang secara paralel perhatikan gambar 1- 8 di bawah.



Gambar 1- 8. Kalibrasi sederhana voltmeter

Voltmeter yang digunakan sebagai meter standar adalah voltmeter yang mempunyai kelas presisi tinggi (0,05, 0,1, 0,2) atau presisi tingkat berikutnya (0,5). Pada Gambar 1 – 8, V adalah tegangan yang terukur pada meter yang dikalibrasi, sedangkan V_s adalah

tegangan standar yang dianggap sebagai harga tegangan sebenarnya. Jika kesalahan mutlak (absolut) dari voltmeter diberi simbol α dan biasa disebut kesalahan dari alat ukur, maka dapat dituliskan :

$$\alpha = V - V_s \dots\dots\dots (1 - 3)$$

Perbandingan besar kesalahan alat ukur (α) terhadap harga tegangan sebenarnya (V_s), yaitu : α / V_s disebut kesalahan relatif atau rasio kesalahan dinyatakan

dalam persen. Sedangkan perbedaan harga sebenarnya atau standar dengan harga pengukuran disebut koreksi dapat dituliskan :

$$V_s - V = k \dots\dots\dots (1 - 4)$$

Demikian pula perbandingan koreksi relatif dinyatakan dalam koreksi terhadap arus yang terukur persen. (k / V) disebut rasio koreksi atau

Contoh : voltmeter digunakan untuk mengukur tegangan yang besarnya 50 V, voltmeter tersebut menunjukkan tegangan sebesar 48 V. Berapa nilai kesalahan, koreksi, kesalahan relatif, dan koreksi relatif.

Jawab :

$$\text{Kesalahan} = 48 - 50 = - 2 \text{ V}$$

$$\text{Koreksi} = 50 - 48 = 2 \text{ V}$$

$$\text{Kesalahan relatif} = - 2/50 \cdot 100 \% = - 4 \%$$

$$\text{Koreksi relatif} = 2/48 \cdot 100 \% = 4,16 \%$$

1.5. Macam-macam Alat Ukur Penunjuk Listrik

Alat ukur listrik yang biasa prinsip kerja, penggunaan, daerah dipergunakan dalam pengukuran kerja penggunaan, dan kebutuhan ditunjukkan pada tabel 1-7 yang daya. meliputi : jenis, tanda gambar,

Tabel 1-7 Beberapa contoh alat ukur penunjuk listrik

No	Jenis	Tanda Gambar	Prinsip Kerja	Penggunaan	Contoh	Daerah Kerja dan Penggunaan Dayanya			Daya
						Arus	Tegangan	Frekuensi	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Kumparan putar	M	Gaya elektro magnetik antar medan magnet suatu magnet tetap & arus	DC	AVO	$1,5 \times 10^{-6} \sim 10^{-2}$	$10^{-2} \sim 10^{-3}$	-	Kecil
2	Penyearah	R	Kombinasi suatu pengubah memakai penyearah semi konduktor saat suatu alat ukur jenis kumparan putar	AC rata-rata	AVOF	$5 \times 10^{-4} \sim 10^{-1}$	$1 \sim 10^3$	$< 10^4$	Kecil
3	TermoMomen	T	Kombinasi suatu pengubah memakai termoMomen dan alat ukur jenis kumparan putar	AC Efektif DC	AVW	$10^{-3} \sim 5$	$5 \times 10^{-1} \sim 1,5 \times 10^2$	$< 10^3$	Kecil
4	Besi Putar	S	Gaya elektro magnetik yang bekerja pada suatu inti besi dalam suatu medan magnet	AC Efektif DC	AV	$10^{-2} \sim 3 \times 10^2$	$10 \sim 10^3$	$< 5 \times 10^2$	Besar
5	Elektro dinamo meter	D	Gaya elektro magnetik yang bekerja pada suatu kumparan yang dialiri arus dalam medan elektro magnetik	AC Efektif DC	AVMF	$10^{-2} \sim 50$	$1 \sim 10^3$	$< 10^3$	besar
6	Induksi	D	Gaya elektro magnetik yang ditimbulkan oleh medan bolak-balik dan arus yang terimbas oleh medan magnetik	AC Efektif	AVW Wh	$10^{-1} \sim 10^2$	$1 \sim 10^3$	$< 10^3 \times 10 \sim 10^2$	Besar

1.5.1. Alat Ukur Kumparan Putar

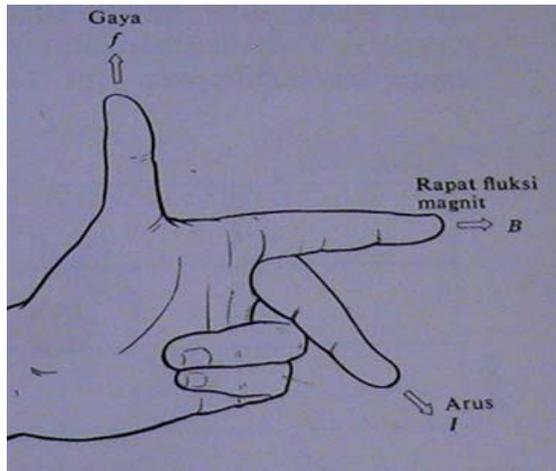
1.5.1. Alat Ukur Kumparan Putar

Alat ukur kumparan putar adalah alat ukur yang bekerja atas dasar prinsip kumparan listrik yang

ditempatkan dalam medan magnet yang berasal dari magnet permanen. Alat ukur jenis ini tidak terpengaruh magnet luar, karena

telah memiliki medan magnet yang kuat terbuat dari logam alnico yang berbentuk U. Prinsip kerja alat ukur kumparan putar menggunakan dasar percobaan Lorentz. Percobaan Lorentz dikatakan, jika sebatang

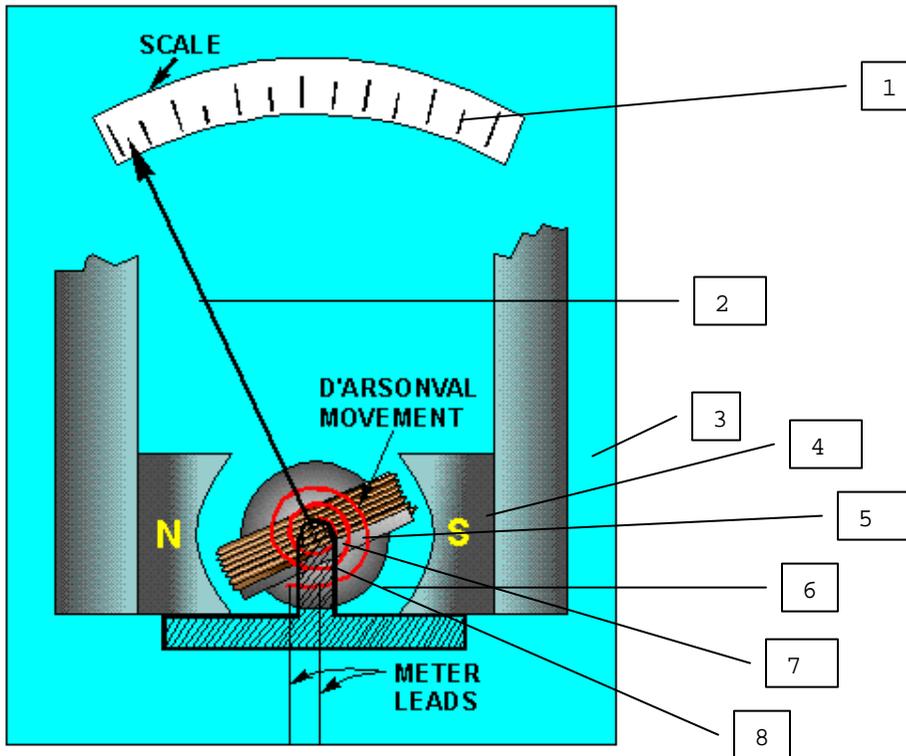
penghantar dialiri arus listrik berada dalam medan magnet, maka pada kawat penghantar tersebut akan timbul gaya. Gaya yang timbul disebut dengan gaya Lorentz. Arahnya ditentukan dengan kaidah tangan kiri Fleming.



Gambar 1-9 Hukum tangan kiri Fleming

Gambar 1-10 menggambarkan magnet permanen yang berbentuk seperti tapal kuda yang dilengkapi dengan sepatu kutub. Diantara sepatu kutub ditempatkan sebuah inti dengan lilitan kawat yang dapat bergerak dan berputar dengan bebas melalui poros. Pada waktu melakukan pengukuran, arus mengalir pada kumparan dan menyebabkan adanya magnet. Magnet tersebut ditolak oleh

medan magnet tetap. Berdasarkan hukum tangan kiri Fleming, kumparan tersebut akan berputar sehingga jarum penunjuk akan bergerak atau menyimpang dari angka nol. Semakin besar arus yang mengalir dalam kumparan, makin kuatlah gaya tolak yang mengenai kumparan dan menyebabkan penyimpangan jarum bergerak semakin jauh.

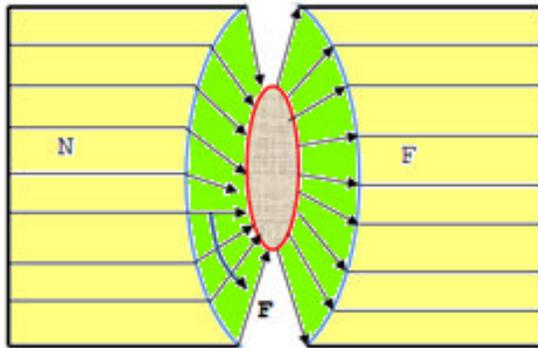


- | | |
|-------------------|--------------------|
| 1. Skala | 5. Kumparan putar |
| 2. Jarum penunjuk | 6. Inti besi lunak |
| 3. Magnet tetap | 7. Pegas |
| 4. Sepatu kutub | 8. Poros |

Gambar 1-10 Prinsip kerja alat ukur kumparan (www.tpub.com)

Pegas yang berbentuk ulir pipih ada dua, satu terletak di atas kumparan, yang lain berada di bawah kumparan. Pegas-pegas tersebut arah putarnya saling berlawanan, yaitu satu ke arah kiri yang lain ke arah kanan. Dengan demikian kalau yang satu mengencang, lainnya akan mengendor. Hal ini akan

menimbulkan keseimbangan pada kedudukan jarum dan membuat jarum selalu kembali ke titik nol bila tidak ada arus yang mengalir. Karena adanya arus yang mengalir melalui kumparan sehingga akan timbul gaya pada kedua sisi dan menghasilkan momen penyimpang, perhatikan gambar 1-11.



Gambar 1-11 Momen penyimpang

Jika arus yang mengalir pada kumparan adalah I ampere, maka besarnya gaya pada tiap sisi kumparan adalah :

$$F = B \cdot I \cdot l \text{ Newton} \dots\dots\dots (1 -1)$$

Dengan pengertian :
 B = kerapatan fluks dalam Wb/m^2
 l = panjang kumparan dalam meter

Apabila kumparan dengan N lilitan, maka gaya pada masing-masing kumparan adalah : $N \cdot B \cdot I \cdot l$ Newton. Besarnya momen penyimpang (T_d) adalah gaya dikalikan dengan lengan atau jarak tegak lurus. Jika lengan adalah b , maka :

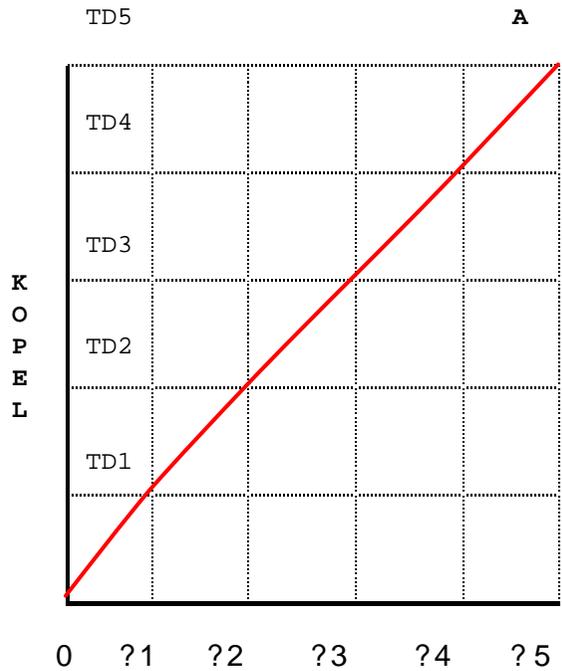
$$\begin{aligned} \text{Momen penyimpang } (T_d) &= \text{gaya} \times \text{lengan} \\ &= N \cdot B \cdot I \cdot l \cdot b \end{aligned}$$

Karena $l \times b$ merupakan luas penampang kumparan dan dinotasikan A , maka Momen penyimpang (T_d) = $N \cdot B \cdot I \cdot A$ N-m (1 -2)

Dari persamaan 1-2, jika B dinyatakan suatu konstanta, maka momen penyimpang (T_d) akan sebanding dengan arus yang mengalir pada kumparan. Karena alat ukur menggunakan pegas kontrol yang tidak bervariasi, maka momen pengontrol (T_c) sebanding dengan simpangan θ . Pada posisi simpangan akhir $T_d = T_c$, sehingga simpangan θ adalah sebanding dengan arus I .

Dengan demikian alat ukur ini dapat dikatakan mempunyai skala seragam. Untuk menentukan skala alat ukur kumparan putar

dipaparkan dengan grafik, yang menghubungkan persamaan sudut putar θ dengan momen T .



Gambar 1-12. Penentuan penunjukan



Gamnbar 1-13. Skala alat ukur kumparan putar

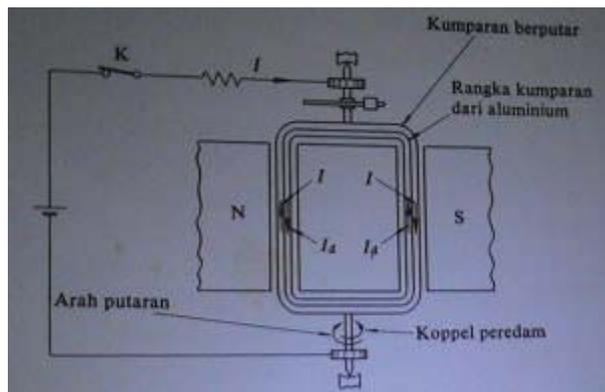
Contoh, jika arus yang megalir pada alat ukur kumparan putar

sebesar 5 mA mengakibatkan kumparan berputar dengan sudut

sebesar 1,2 radial. Jika momen penggerak yang disebabkan oleh arus-arus sebesar 1, 2,3 ,4, dan 5 mA dinyatakan dengan T_{D1} , T_{D2} , T_{D3} , T_{D4} , , dan T_{D5} . Momen -momen tersebut dapat digambarkan sebagai garis-garis datar dan berjarak sama satu sama lain. Perlu diketahui bahwa momen-momen penggerak tersebut hanya ditentukan oleh besarnya arus yang mengalir dan tidak tergantung dari sudut putar θ dari penunjuk. Besarnya momen pengontrol berbanding lurus dengan sudut putar sehingga dalam grafik dapat digambarkan sebagai garis lurus yang menghubungkan titik mula dengan A (perhatikan gambar 1-12). Apabila momen penggerak dan momen pengontrol dalam keadaan seimbang, dan masing-masing momen penggerak dinyatakan sebagai 2_1 , 2_2 , 2_3 , 2_4 , dan 2_5 , maka didapat $2_2 = 22_1$, $2_3 = 32_1$, $2_4 = 42_1$, $2_5 = 52_1$. Oleh karena itu yang dibentuk dengan membagi busur lingkaran sebesar 1,2 rad ke dalam lima bagian yang sama, dan diberikan angka-angka pada lima bagian dari skala tersebut 0, 1, 2, 3, 4, dan 5 seperti pada gambar 1-13 besarnya arus yang mengalir dapat dinyatakan

pada waktu jarum penunjuk berhenti. Jika gambar menunjukkan jarum berhenti pada angka 3,5, maka besarnya arus yang diukur adalah 3,5 mA.

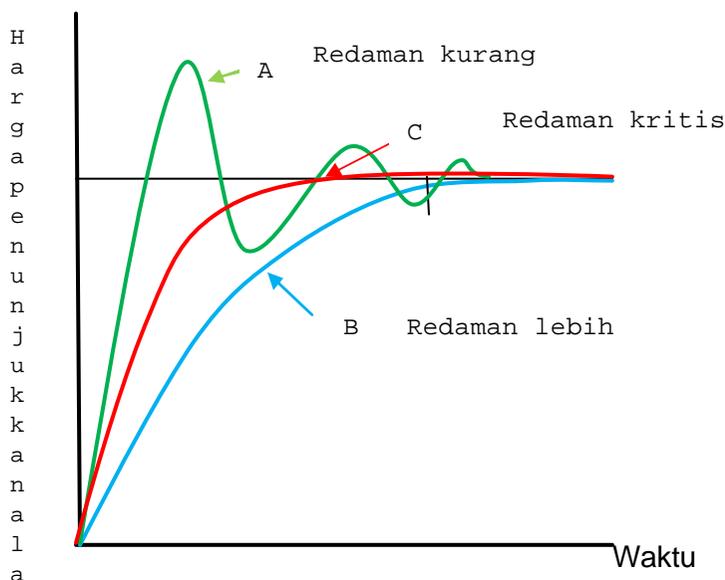
Secara umum kumparan putar terbuat dari kerangka dari aluminium, sedangkan dilihat sifat kelistrikkannya kerangka tersebut merupakan jaringan hubung singkat dan memberikan pada kumparan momen peredam. Gambar 1-14 ditunjukkan jika kumparan dialiri arus, maka kumparan akan berputar dan dalam kerangka akan timbul arus induksi. Tegangan yang menyebabkan arus induksi mengalir dalam kerangka kumparan. Sebaliknya arus induksi akan memotong fluksi magnet dalam celah udara, jika kumparan berputar membangkitkan momen yang berbanding lurus dengan kecepatan putar. Arah momen ini berlawanan dengan arah perputaran, maka akan menghambat arah perputaran, dan momen ini disebut momen peredam.



Gambar 1 – 14 Peredaman alat ukur kumparan putar

Proses penunjukan jarum alat ukur tidak secara langsung menunjukkan harga yang dikehendaki tetapi masih terdapat nilai perbedaan. Perbedaan disebabkan karena adanya tahanan dalam dari alat ukur. Proses demikian juga dapat disebabkan adanya peredaman. Jika penampang kerangka kecil dan tahanan listriknya besar, maka arus induksi yang terjadi kecil sehingga mengakibatkan momen redam yang lemah dan penunjukan jarum akan berosilasi di sekitar 2_0 .

Biasa disebut peredaman kurang (gambar 1-15 kurva A). Sebaliknya jika tahanan listrik kecil, arus induksi yang terjadi besar sehingga mengakibatkan pergerakan jarum akan lambat dan biasa disebut dengan peredaman lebih (gambar 1-15 kurva B). **Yang terbaik** adalah diantara peredaman kurang dan peredaman lebih biasa disebut dengan **peredaman kritis (kurva C)**.



Gambar 1 – 15. Gerakan jarum penunjuk dari suatu alat ukur

1.5.2. Alat Ukur Besi Putar

Alat ukur tipe besi putar adalah sederhana dan kuat dalam konstruksi. Alat ukur ini digunakan sebagai alat ukur arus dan tegangan pada frekuensi – frekuensi yang dipakai pada jaringan distribusi. Instrumen ini

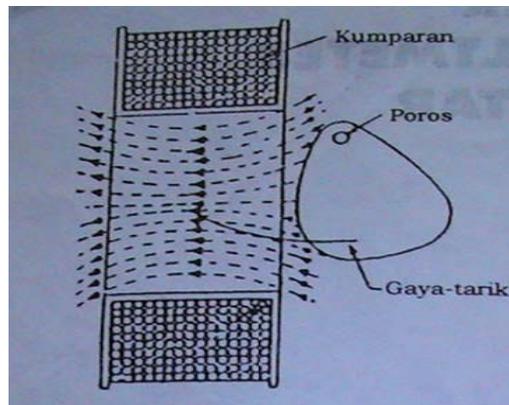
pada dasarnya ada dua buah bentuk yaitu tipe tarikan (*attraction*) dan tipe tolakan (*repulsion*). Cara kerja tipe tarikan tergantung pada gerakan dari sebuah besi lunak di dalam medan magnet, sedang tipe tolakan tergantung pada gaya tolak

antara dua buah lembaran besi lunak yang telah termagnetisasi oleh medan magnet yang sama.

Apabila digunakan sebagai amperemeter, kumparan dibuat dari beberapa gulungan kawat tebal sehingga amperemeter mempunyai tahanan yang rendah terhubung seri dengan rangkaian. Jika digunakan sebagai voltmeter, maka kumparan harus mempunyai tahanan yang tinggi agar arus yang melewatinya sekecil mungkin, dihubungkan paralel terhadap rangkaian. Kalau arus yang mengalir pada kumparan harus kecil, maka jumlah kumparan harus banyak agar mendapatkan amper penggerak yang dibutuhkan.

Pada gambar 1-16. terlihat bahwa jika lempengan besi yang belum termagnetisasi digerakkan mendekati sisi kumparan yang dialiri arus, lempengan besi akan tertarik di dalam kumparan. Hal ini merupakan dasar dalam pembuatan suatu pelat dari besi lunak yang berbentuk bulat telur, bila dipasangkan pada batang yang berada diantara "bearings" dan dekat pada kumparan, maka pelat besi tersebut akan terayun ke dalam kumparan yang dialiri arus. Kuat medan terbesar berada ditengah - tengah kumparan, maka pelat besi bulat telur harus dipasang sedemikian rupa sehingga lebar gerakannya yang terbesar berada di tengah kumparan.

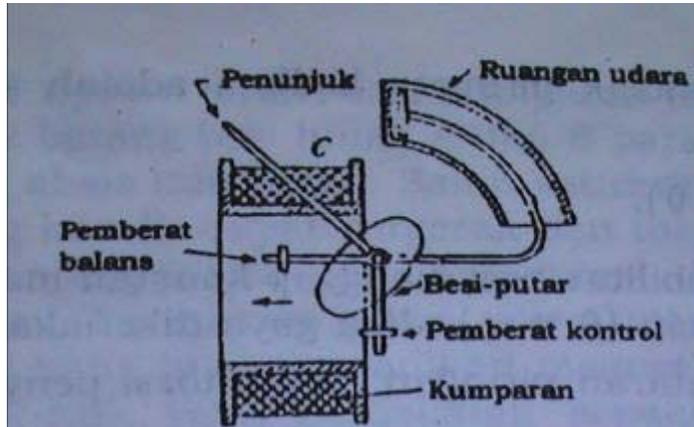
1.5.2.1. Tipe Tarikan (*Attraction*)



Gambar 1 – 16 Prinsip kerja instrumen tipe tarikan

Bila sebuah jarum penunjuk dipasangkan pada batang yang membawa pelat tadi, maka arus yang mengalir dalam kumparan

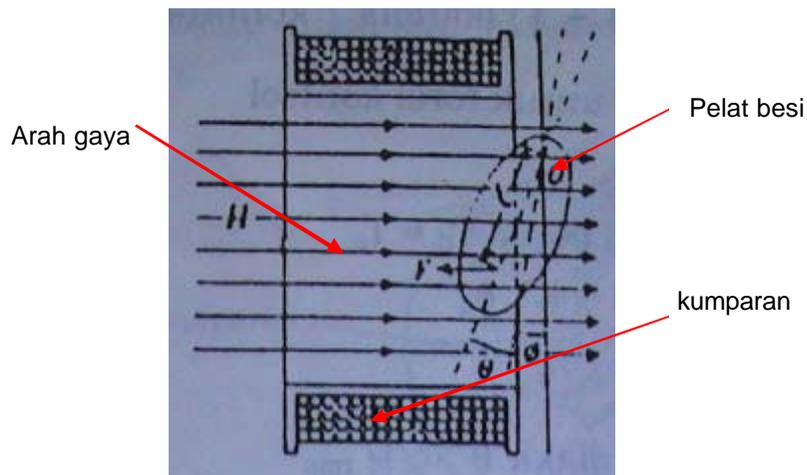
akan mengakibatkan jarum penunjuk menyimpang. Untuk lebih jelasnya perhatikan gambar 1-17.



Gambar 1 – 17. Beberapa bagian dari instrumen tipe tarikan

Besar simpangan akan lebih besar, jika arus yang mengalir pada kumaran besar. Demikian pula simpangan penunjuk yang bergerak diatas skala, sebelumnya

skala harus sudah dikalibrasi. Besarnya momen gerak (deflecting torque) diperlihatkan pada gambar 1 – 18 di bawah.



Gambar 1 – 18. Besarnya momen gerak

Apabila pelat besi ditempatkan sedemikian rupa sehingga pada posisi nol membentuk sudut θ dengan arah medan magnet H yang dihasilkan oleh kumaran. Simpangan yang dihasilkan adalah 2 akibat arus yang melalui

kumaran. Dengan demikian pelat besi yang termagnetisasi itu mempunyai kemagnitan sebanding dengan besarnya H yang bekerja sepanjang sumbunya, yaitu sebanding dengan $H \sin (\theta + 2)$. Gaya F yang menarik pelat ke

dalam kumparan adalah sebanding konstan, maka $H \sim I$, dengan terhadap $H^2 \sin(\theta + 2)$. Jika demikian : permeabilitas besi dianggap

$$F \sim I^2 \sin(\theta + 2) \quad (1 - 3)$$

Jika gaya ini bekerja pada jarak l besarnya momen (Momen) dari sumbu putar pelat, maka penyimpang adalah :

$$T_d = F.l \cos(\theta + 2) \quad \dots \quad (1 - 4)$$

Jika persamaan 1 - 3 dimasukkan dalam persamaan 1 - 4 dipatkan :

$$T_d = I^2 \sin(\theta + 2) \cdot l \cdot \cos(\theta + 2)$$

Karena besarnya l adalah konstan, maka :

$$T_d = K \cdot I^2 \sin(\theta + 2) \cdot \cos(\theta + 2)$$

Jika digunakan kontrol pegas (*spring-control*) maka momen pegasnya :

$$T_c = K' \cdot \theta \quad \dots \dots \quad (1 - 5)$$

Pada keadaan mantap (*steady*), maka $T_d = T_c$

$$K \cdot I^2 \sin(\theta + 2) \cdot \cos(\theta + 2) = K' \cdot \theta$$

sehingga : $\theta \sim I^2$ (1 - 6)

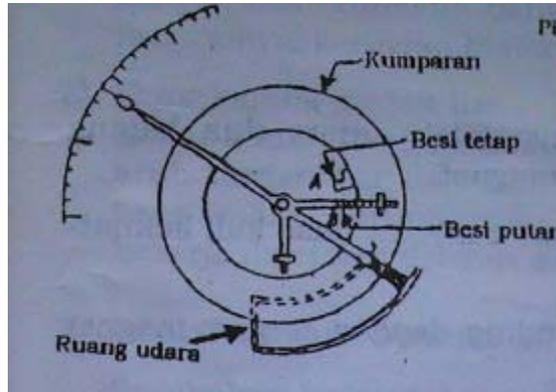
Dengan demikian skala alat ukur besi putar adalah skala kuadratis. Jadi bila digunakan pada arus bolak-balik, maka :

$$\theta \sim I^2_{rms} \quad (1 - 7)$$

1.5.2.2. Tipe Tolakan (*Repulsion*)

Bagian-bagian instrumen jenis tolakan digambarkan pada Gambar 1 - 19. Dalam gambar terdapat kumparan tetap diletakkan didalamnya dua buah batang besi lunak A dan B sejajar dengan

sumbu kumparan. Salah satu dari besi tersebut A dipasang tetap, sedang B dipasang mudah bergerak dan membawa sebuah penunjuk yang mudah bergerak diatas skala yang telah dikalibrasi.

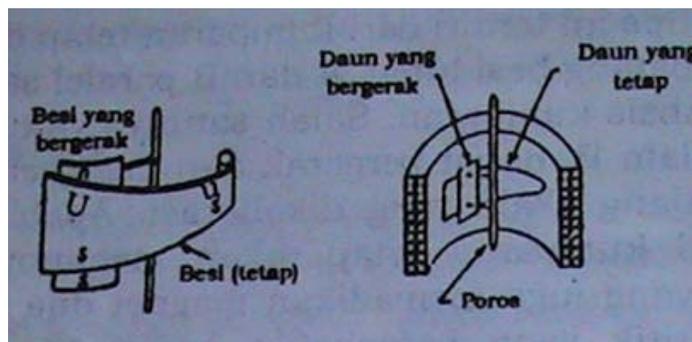


Gambar 1 – 19 Beberapa bagian penampang jenis repulsion

Apabila arus yang akan diukur dilewatkan melalui kumparan, maka akan membangkitkan medan magnet memagnetisir kedua batang besi. Pada titik yang berdekatan sepanjang batang besi mempunyai polaritas magnet yang sama. Dengan demikian akan terjadi gaya tolak menolak sehingga penunjuk akan menyimpang melawan momen pengontrol yang diberikan oleh

pegas. Gaya tolak ini hampir sebanding dengan kuadrat arus yang melalui kumparan; kemanapun arah arus yang melalui kumparan, kedua batang besi tersebut akan selalu sama - sama termagnetisasi dan akan saling tolak-menolak.

Untuk mendapatkan skala uniform, digunakan 2 buah lembaran besi yang berbentuk seperti lidah (Gambar 1 - 20).



Gambar 1 – 20. Dua. buah lembaran besi yang berbentuk seperti lidah

Pada Gambar 1-20 tampak besi tetap terdiri dari lempengan besi berbentuk lidah dililitkan dalam bentuk silinder, sedang besi yang bergerak terdiri dari lempengan

besi dan dipasang sedemikian rupa sehingga dapat bergerak sejajar terhadap besi tetap. Dengan adanya gaya. tolak-menolak antara dua batang besi

yang sama-sama termagnetisasi tersebut akan timbul momen. Besar momen sebanding dengan H^2 . Karena H sendiri berbanding lurus terhadap arus yang melalui kumparan (permeabilitas dianggap konstan), maka momen tersebut akan sebanding dengan I^2 . Dengan demikian momen simpangan,

sebagai momen utama sebanding dengan I^2 . Jika instrumen ini digunakan untuk arus bolak-balik akan menunjukkan nilai arus rms (I_{rms}). Karena polaritas dari kedua batang besi tersebut berlawanan secara serentak, maka instrumen ini dapat digunakan untuk ac maupun dc.

1.5.3. Alat Ukur Elektrodinamis

Alat ukur elektrodinamis adalah sebuah alat ukur kumparan putar, medan magnet yang dihasilkan bukan dari magnet permanen, tetapi oleh kumparan tetap/berupa kumparan diam didalamnya. Alat ukur elektrodinamis dapat dipergunakan untuk arus bolak-balik maupun arus searah, kelemahannya alat ukur tersebut menggunakan daya yang cukup tinggi sebagai akibat langsung dari konstruksinya. Karena arus yang diukur tidak hanya arus yang mengalir melalui kumparan putar, tetapi juga menghasilkan fluksi medan. Untuk menghasilkan suatu medan magnet yang cukup kuat diperlukan gaya gerak magnet yang

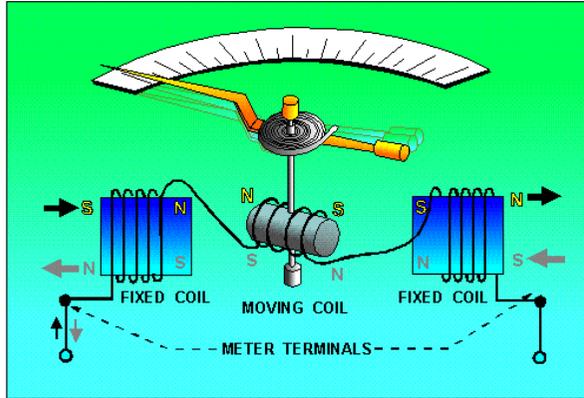
tinggi, dengan demikian diperlukan sumber yang mengalirkan arus dan daya yang besar pula.

Prinsip kerja dari alat ukur elektrodinamis diperlihatkan pada gambar 1-21, kumparan putar M ditempatkan diantara kumparan-kumparan tetap (*fixed coil*) F_1 dan F_2 yang sama dan saling sejajar. Kedua kumparan tetap mempunyai inti udara untuk menghindari efek histerisis, bila instrumen tersebut digunakan untuk sirkuit ac. Jika arus yang melalui kumparan tetap I_1 dan arus yang melalui kumparan putar I_2 . Karena tidak mengandung besi, maka kuat medan dan rapat flux akan sebanding terhadap I_1 .

Jadi :

$$B = k \cdot I_1 \dots\dots\dots (1 - 8)$$

Di mana : B : Rapat flux
 k : konstanta



Gambar 1 – 21. Prinsip alat ukur elektrodinamis

Misal kumparan putar yang banyaknya lilitan N . Besarnya gaya dipergunakan berbentuk persegi pada masing-masing sisi kumparan adalah :
 ukuran panjang l dan lebar b , dan

$$N \cdot B \cdot l_2 \cdot I \text{ Newton.}$$

Momen penyimpang atau momen putarnya pada kumparan besarnya adalah :

$$T_d = N \cdot B \cdot l_2 \cdot l \cdot b \text{ ----- } > B = k \cdot I_1$$

$$T_d = N \cdot k \cdot I_1 \cdot l_2 \cdot l \cdot b \text{ Nm (1 - 9)}$$

Keterangan :

T_d : Momen Putar

N : Banyaknya lilitan

l : panjang kumparan

b : lebar kumparan

Besarnya N , k , l , dan b adalah konstan, bila besaran-besaran

$$T_d = K_1 \cdot I_1 \cdot l_2 \text{ (1 - 10)}$$

Dari persamaan 1-10 terlihat bahwa besarnya momen putar adalah berbanding lurus terhadap hasil kali arus yang mengalir melalui kumparan tetap dan

tersebut dinyatakan dengan K_1 , maka :

kumparan putar. Pada kumparan putar ini spring kontrol (pegas pengatur), maka Momen pengontrol/pemulih akan berbanding lurus terhadap simpangan 2; maka :

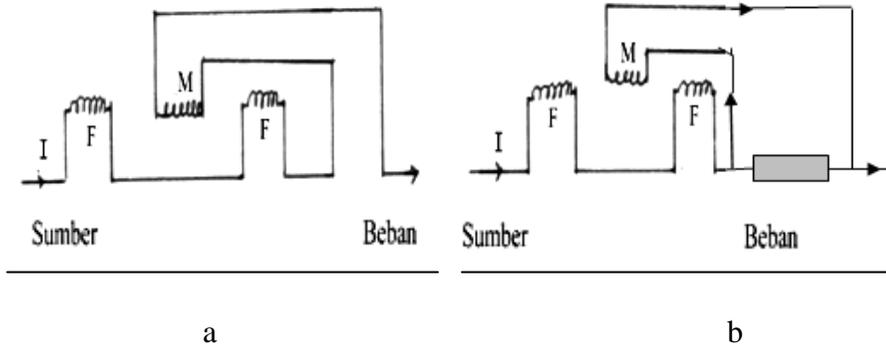
$$K_1 \cdot I_1 \cdot l_2 = K_2 \cdot \theta$$

$$\theta \sim I_1 \cdot l_2 \text{ (1 - 11)}$$

Apabila instrumen digunakan sebagai ammeter, maka arus

yang melalui kumparan tetap dan kumparan putar besarnya sama. Jika $I_1 = I_2 = I$, maka : $2 \sim I_2$

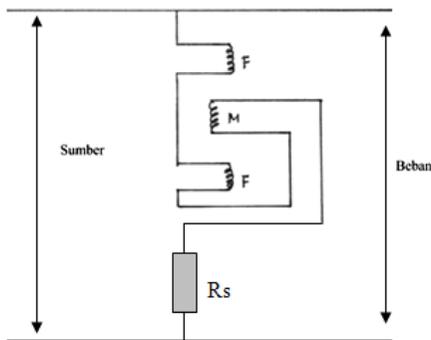
$$I \sim \sqrt{2} \dots\dots\dots (1 - 12)$$



Gambar 1 – 22. Rangkaian ammeter elektrodinamis

Rangkaian Gambar 1-22a digunakan untuk mengukur arus yang kecil, sedangkan Gambar 1-22b digunakan untuk mengukur arus yang besar, R_{sh} dipasang guna membatasi besarnya arus yang melalui kumparan putar.

kumparan putar M dihubungkan seri dengan tahanan tinggi (R_S). Besarnya $I_1 = I_2 = I$, adalah $2 \sim V.V \dots > 2 \sim V^2$
 $V \sim \sqrt{2} \dots\dots\dots (1 - 13)$



Gambar 1 - 23 Rangkaian voltmeter elektrodinamis

Apabila instrumen tersebut digunakan sebagai voltmeter, maka kumparan tetap F dan

Alat ukur elektrodinamis bila digunakan untuk arus bolak-balik biasanya skala dikalibrasi dalam akar kuadrat arus rata-rata, berarti alat ukur membaca nilai efektif. Dengan demikian jika alat ukur elektrodinamis dikalibrasi untuk arus searah 1 A pada skala diberi tanda yang menyatakan nilai 1 A, maka untuk arus bolak-balik akan menyebabkan jarum menyimpang ke tanda skala untuk 1 A dc dan memiliki nilai efektif sebesar 1 A. Jadi pembacaan yang dihasilkan oleh arus searah dapat dialihkan ke nilai arus bolak-balik yang sesuai, karena itu menetapkan hubungan antara AC dan DC. Artinya alat ukur ini dapat digunakan untuk membaca arus

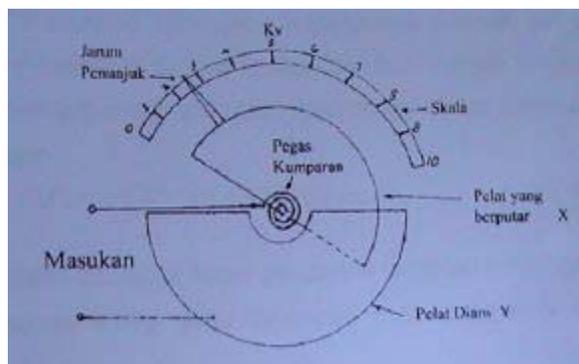
AC dan DC dengan skala yang

1.5.4. Alat Ukur Elektrostatis

Alat ukur elektrostatis banyak dipergunakan sebagai alat ukur tegangan (volt meter) untuk arus bolak-balik maupun arus searah, khususnya dipergunakan pada alat ukur tegangan tinggi. Pada dasarnya kerja alat ukur ini adalah gaya tarik antara muatan-muatan listrik dari dua buah pelat dengan beda tegangan yang tetap. Gaya ini

sama.

akan menimbulkan Momen penyimpang, bila beda tegangan ini kecil, maka gaya ini akan kecil sekali. Mekanisme dari alat ukur elektrostatis ini mirip dengan sebuah kapasitor variabel; yang mana tingkah lakunya bergantung pada reaksi antara dua benda bermuatan listrik (hukum coulomb).



Gambar 1 – 24 Skema voltmeter elektrostatis

Gaya yang merupakan hasil interaksi tersebut, pada alat ukur ini dimanfaatkan untuk penggerak jarum penunjuk. Salah satu konfigurasi dasar alat ukur elektrostatis diperlihatkan gambar 1-24. Pelat X dan Y membentuk sebuah kapasitor variabel. Jika X dan Y dihubungkan dengan titik-titik yang potensialnya berlawanan (V_{ab}), maka antara X dan Y akan terjadi gaya tarik-menarik; karena X dan Y mempunyai muatan yang sama besarnya, tetapi berlawanan (hukum coulomb). Gaya yang terjadi ini dibuat sedemikian rupa hingga bisa menimbulkan Momen (momen putar) yang digunakan

untuk menggerakkan jarum pada pelat X ke kanan. Jika harga V_{ab} semakin besar, maka muatan kapasitor semakin bertambah; dengan bertambahnya muatan ini akan menyebabkan gaya tarik menarik menjadi besar pula, sehingga jarum akan bergerak ke kanan. Momen putar yang disebabkan oleh gaya tersebut akan dilawan oleh gaya reaksi dari pegas. Apabila Momen dari kedua gaya ini sudah sama/seimbang, maka jarum yang berada pada pelat X akan berhenti pada skala yang menunjukkan harga V_{ab} . Untuk menentukan Momen (momen putar) yang dibangkitkan

oleh tegangan yang masuk adalah sebagai berikut : misal simpangan jarum adalah θ , jika C adalah kapasitansi pada posisi tersimpang, maka muatan instrumen akan menjadi CV coulomb. Dimisalkan tegangannya berubah dari V menjadi $V + dV$,

maka akibatnya θ , C , dan Q akan berubah menjadi $\theta + d\theta$; $C + dC$ dan $Q + dQ$. Sekarang energi yang tersimpan dalam medan elektrostatik akan bertambah dengan :

$$dE = d(1/2 CV^2) = 1/2 V^2 \cdot dC + CV \cdot dV \text{ joule (1 - 14)}$$

Keterangan :

dE : Energi yang tersimpan

CV : Muatan instrumen

Jika T adalah besarnya Momen pengontrol terhadap simpangan θ , maka besarnya tambahan energi yang tersimpan pada pengontrol ini

adalah : $T \times d\theta$ joule.
Jadi energi total tambahannya adalah :

$$T \times d\theta + 1/2 V^2 \cdot dC + CV \cdot dV \text{ joule (1 - 15)}$$

Dari sini terlihat bahwa selama terjadi perubahan, sumbernya

mensupply muatan sebesar dQ pada potensial V .

Besar energi yang disupplykan = $V \times dQ$

$$= V \times d(CV)$$

$$= V^2 \times dC + CV \cdot dV \text{ joule . (1 - 16)}$$

Padahal energi supply harus sama dengan energi extra yang tersimpan di dalam medan dan

pengontrol, maka persamaan 1 - 15 dan 1 - 16 akan didapatkan :

$$T \times d\theta + 1/2 V^2 \cdot dC + CV \cdot dV = V^2 \cdot dC + CV \cdot dV$$

$$T \times d\theta = 1/2 V^2 \cdot dC$$

$$T = 1/2 V^2 \cdot dC/d\theta \text{ Newton meter (1 - 17)}$$

Ternyata Momen yang diperoleh sebanding dengan kuadrat tegangan yang diukur, baik dc

maupun ac. Tetapi untuk ac, skala pembacaannya adalah harga rms-nya.

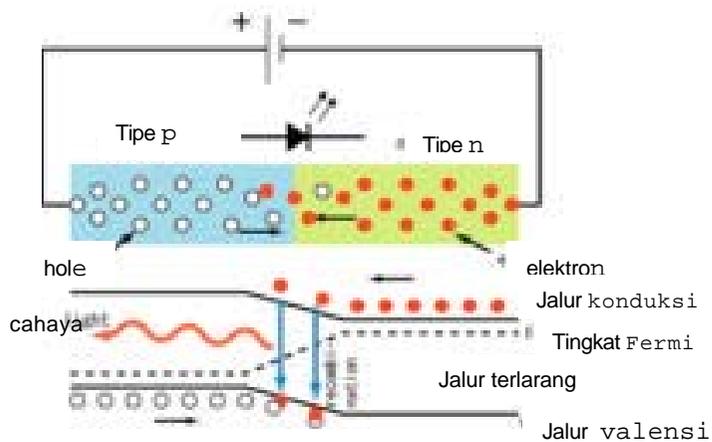
1.6. Peraga Hasil Pengukuran

1.6.1. Light Emitting Dioda (LED)

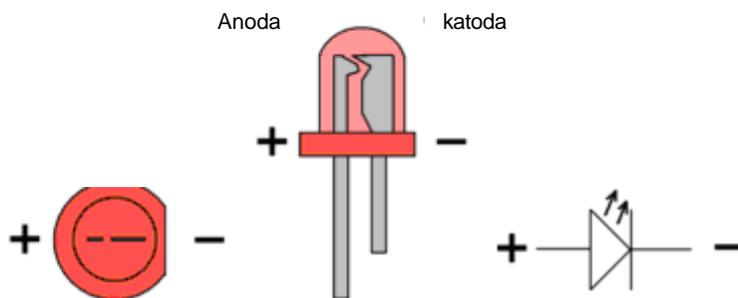
Light Emitting Dioda (LED) secara konstruksi terbuat sebagaimana

dioda PN *junction* bahan tipe P dan tipe N. Yang membedakan

keduanya adalah bahanyang terbuat dari bahan Silikon (Si) atau digunakan. Dioda PN *junction* atau Germanium (Ge), aliran arusnya yang biasa disebut dioda saja dapat melalui traping level yang biasa dinamakan tingkat Fermi. Sedangkan LED terbuat dari bahan GaAs, GaP atau GaAsP yang mempunyai sifat *direct gap*. Artinya untuk dapat mengalirkan arus, elektron harus berpindah dari tingkat jalur konduksi langsung ke jalur valensi (perhatikan gambar jalur energi tanda panah biru). Keistimewaan bahan ini adalah energi ionisasi yaitu energi yang dibutuhkan elektron untuk lepas dari ikatan valensi, atau berpindah dari jalur konduksi ke jalur valensi, dilepaskan kembali dalam bentuk cahaya. Warna cahaya yang dihasilkan tergantung dari selisih energi jalur konduksi dan valensi. Daerah sambungan antara bahan tipe P dan N dibuat dari bahan bersifat reflektif dan diberi jendela tembus cahaya sehingga cahaya yang dihasilkan dapat dilihat. Energi untuk berpindah dari jalur konduksi ke valensi diperoleh dari tegangan bias.



Gambar 1 – 25 Rekombinasi elektron



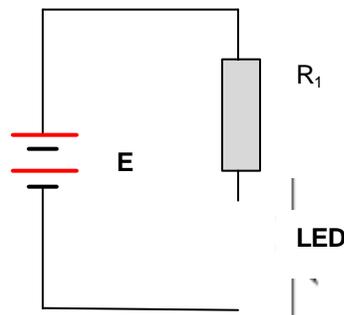
Gambar 1 – 26 Polaritas dan simbol LED

Dioda Silikon mempunyai gelombang maksimum 900 mm mendekati cahaya infra merah. LED yang paling populer adalah gallium arsenide (GaAsP) mempunyai emisi cahaya merah. Spektrum emisi merupakan fungsi intensitas relative (%) terhadap fungsi panjang gelombang (μm) dalam range 0,62 sampai 0,76 μm dengan puncak (100%) pada panjang gelombang 0,66 μm . Juga tersedia LED warna oranye, kuning

dan hijau untuk ketiga warna ini seringkali digunakan bahan gallium phosphide. Karakteristik fungsi arus dan tegangan serupa dengan diode bias maju kecuali bahwa arus tidak mengalir sampai tercapai tegangan threshold sekitar 1,4 sampai 1,8 volt. Dalam implementasi rangkaian LED dihubung seri dengan resistor yang berfungsi sebagai pembatas arus, agar arus yang mengalir dalam LED dalam batas yang aman.



Gambar 1 – 27. LED



Gambar 1 – 28. Rangkaian LED

1.6.2. LED Seven Segmen

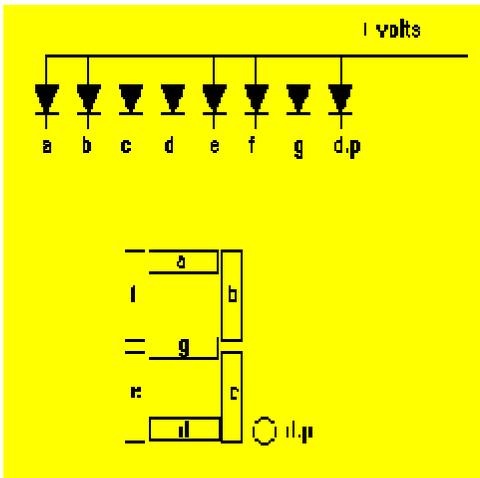
Peraga tujuh segmen digunakan sebagai penunjuk angka pada kebanyakan peralatan uji. Seven segmen disusun terdiri dari LED yang diaktifkan secara individual, kebanyakan yang digunakan LED warna merah. LED disusun dan diberi label seperti gambar diagram di bawah. Jika semua segmen diaktifkan akan menunjukkan angka 8, sedangkan bila yang diaktifkan hanya segmen a, b, g, c dan d memperagakan angka 3. Angka yang dapat

diperagakan dari 0 sampai dengan 9 sedangkan dp menunjukkan titik desimal.

Ada dua jenis seven segmen komon katoda dan komon anoda. Seven segmen dinyatakan sebagai komon anoda jika semua anoda dari LED seven segmen anoda di komen menjadi satu. Segmen yang aktif adalah segmen yang katodanya terhubung dengan sumber tegangan nol atau seven segmen aktif rendah. Sebaliknya untuk komon katoda semua katode

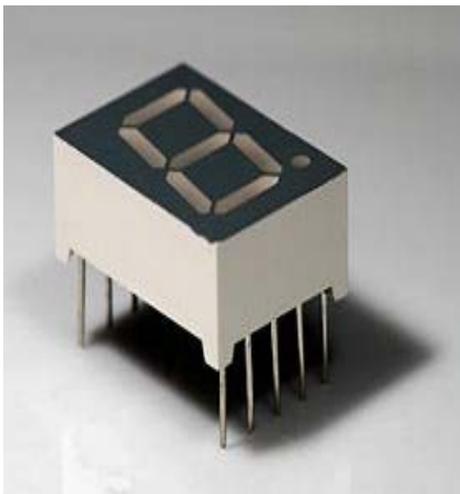
dari LED seven segmen terhubung menjadi satu mendapat tegangan bias nol. Segmen yang aktif adalah segmen yang mendapat tegangan positif pada anoda atau aktif tinggi. Sebuah resistor ditempatkan seri

dengan masing-masing diode untuk pengamanan terhadap arus lebih.

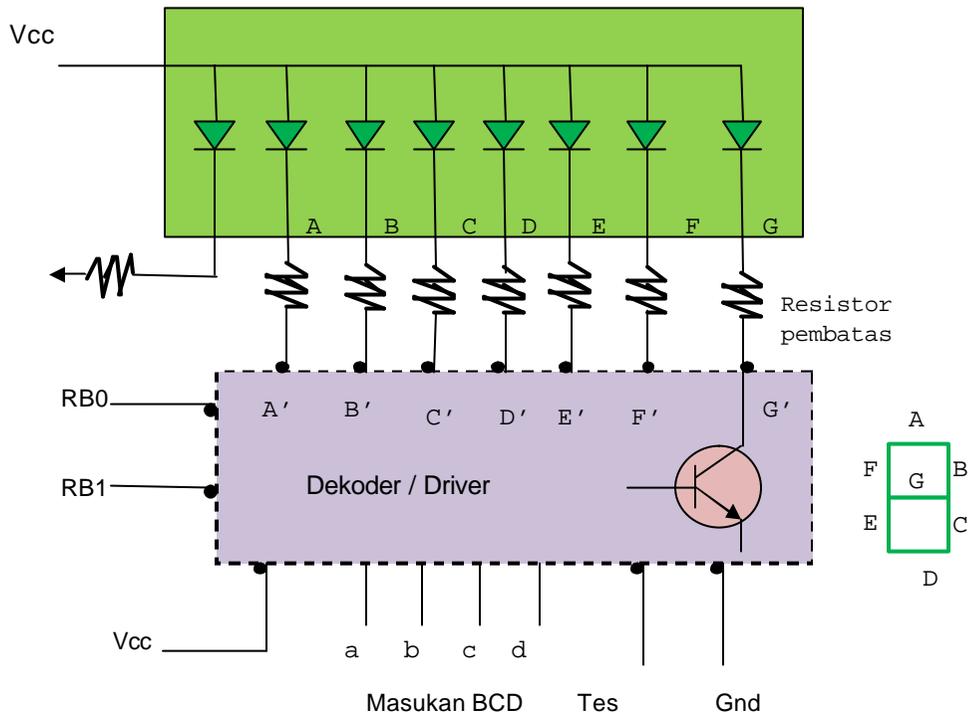


Gambar 1 – 29. Skematik seven segmen

Gambar 1 – 30. Peraga seven segmen

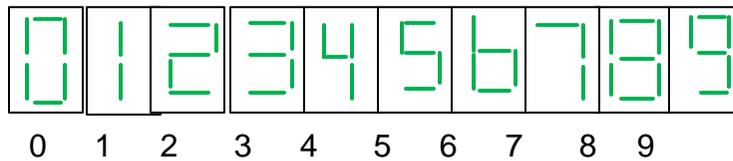


Karena seven segmen merupakan peraga sinyal digital dimana angka berbasis dua atau biner, maka seven segmen dapat digunakan sebagai penunjukan hitungan desimal diperlukan pengubah hitungan biner menjadi desimal yang disebut dengan rangkaian BCD (Binary Code Desimal). Hubungan keluaran hitungan biner, keluaran decoder BCD dan tabel kebenarannya ditunjukkan dibawah ini.



Gambar 1-31. Rangkaian dekoder dan seven segmen (Deboo Borrous :1982)

Dengan memvariasi masukan untuk memilih segmen yang aktif peragaan seven segmen dapat memperagakan huruf dan angka diantaranya seperti gambar di bawah ini.



Gambar 1-32. Macam-macam peragaan seven segmen

Pengaturan pilihan segmen aktif dilakukan dengan mengenali karakteristik hubungan keluaran decoder dan seven segmen.

Karakteristik tersebut ditunjukkan dalam tabel kebenaran tabel di bawah ini.

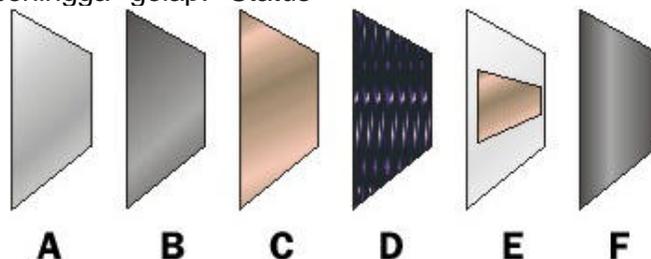
Tabel 1 – 8 Tabel kebenaran decoder BCD Komon Katoda

Masukan BCD				Keadaan Keluaran							Peraga
d	c	b	a	A	B	C	D	E	F	G	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1
0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	2
0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	3
0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	4
0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	5
0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	6
0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	7
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	9

1.6.3. LCD: Polarisasi cahaya

LCD dalam bentuk sederhana terdapat pada peraga kalkulator. Beberapa kristal cair meneruskan cahaya dan beberapa yang lain menutup sehingga gelap. Status

membuka atau menutup setiap kristal cair diatur melalui elektrode-elektrode.



Gambar 1 - 33. Konstruksi LCD

<http://computer.howstuffworks.com/monitor1.htm>



Gambar 1 – 34. Contoh peraga LCD pada multimeter

Jenis kristal cair yang digunakan dalam pengembangan teknologi LCD adalah jenis nematik, yaitu memiliki molekul dengan pola dan arah tertentu. Jenis yang paling sederhana adalah *twisted nematic* (TN) memiliki struktur molekul terpilin secara alamiah, mulai dikembangkan tahun 1967. Struktur TN terpilin secara alamiah 90, dapat dilepas pilinannya (untwist) dengan menggunakan arus listrik.

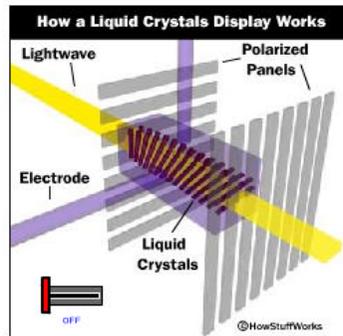
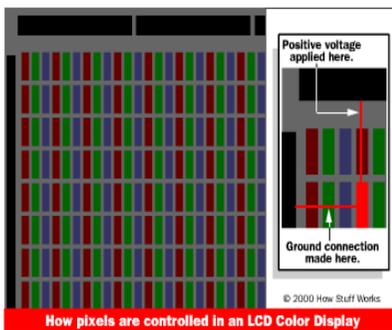
Struktur LCD meliputi kristal cair TN (D) diletakkan di antara dua elektroda (C dan E) yang dibungkus lagi seperti sandwich dengan dua panel gelas (B dan F) pada sisi luar dilumuri lapisan tipis *polarizing film*. Lapisan A berupa cermin yang dapat memantulkan cahaya yang berhasil menembus lapisan-lapisan sandwich LCD. Kedua elektroda dihubungkan dengan baterai sebagai sumber arus. Panel B memiliki polarisasi yang berbeda 90 dari panel F.

Cahaya masuk melewati panel F sehingga terpolarisasi, pada saat tidak ada arus listrik, dan cahaya diteruskan menembus semua lapisan, mengikuti arah pilinan molekul- molekul TN (90), sampai memantul di cermin A dan keluar kembali. Ketika elektroda C dan E yang berupa elektroda kecil berbentuk segi empat dipasang di lapisan gelas mendapatkan arus, kristal cair D yang sangat sensitif terhadap arus listrik tidak lagi terpilin sehingga cahaya terus menuju panel B dengan polarisasi sesuai panel F. Panel B yang memiliki polarisasi berbeda 90 dari panel F menghalangi cahaya untuk menembus terus. Dikarenakan cahaya tidak dapat lewat, pada layar terlihat bayangan gelap berbentuk segi empat kecil yang ukurannya sama dengan elektroda E ini berarti pada bagian tersebut cahaya tidak dipantulkan oleh cermin A.

Sifat unik yang dapat langsung bereaksi dengan adanya arus

listrik ini dimanfaatkan sebagai alat pengatur ON/OFF LCD. Namun, sistem tidak menghasilkan cahaya sebagaimana LED melainkan mengambil sumber cahaya dari luar. Dengan alasan seperti itulah mengapa LCD mempunyai sifat konsumsi daya rendah. Dalam perkembangannya LCD banyak digunakan sebagai monitor TV,

monitor computer maupun LCD. Polarisasi, membelokkan cahaya dengan warna tertentu. Pada posisi tertentu meneruskan warna kuning, posisi lain warna merah, juga warna-warna lain di antara kuning-merah (gabungan) ditunjukkan gambar 1-35. di bawah ini.



Gambar 1 – 35. Perkembangan LCD pada implementasi monitor TV
<http://computer.howstuffworks.com/monitor1.htm>

Seven segmen LCD mempunyai beberapa keuntungan yaitu hanya memerlukan daya yang rendah dalam orde microwatt karena LCD tidak mengemisikan atau membangkitkan cahaya melainkan hanya memendarkan cahaya masukan, harga murah tidak tergantung ukuran sebagaimana yang lain, mempunyai contrast yang baik. Kelemahan LCD reliabilitas rendah, range temperature terbatas, visibility dalam penerangan lingkungan rendah, kecepatan rendah dan memerlukan tegangan ac pengaktif kristal.

1.6.4. Tabung Sinar Katoda (Cathode Ray Tube /CRT)

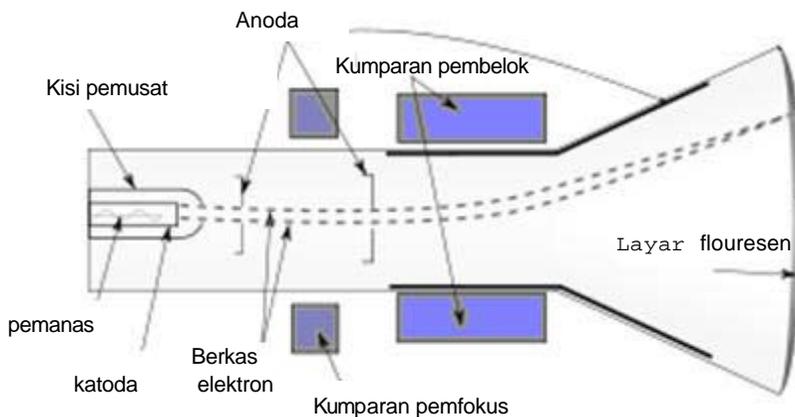
1.6.4.1. Susunan Elektrode CRT dan Prinsip Kerja

Tabung sinar katoda (**cathode ray tube atau CRT**), ditemukan oleh **Ferdinand K. Brain** ahli fisika Jerman pada tahun 1879, struktur bagian dalam sebuah tabung sinar katoda ditunjukkan gambar di bawah. Komponen utama CRT untuk pemakaian pada umumnya berisi:

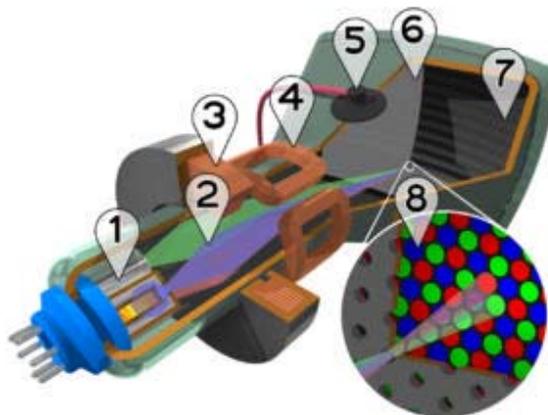
- Senapan elektron yang terdiri dari katoda, filamen, kisi pengatur, anoda pemercepat
- Perlengkapan pelat defleksi horisontal dan vertikal
- Layar flouresensi
- Tabung gelas dan dasar tabung.

Senapan elektron menghasilkan suatu berkas elektron sempit dan terfokus secara tajam pada saat meninggalkan senapan pada kecepatan yang sangat tinggi dan bergerak menuju layar flourescent. Pada saat elektron membentur layar energi kinetik dari elektron-elektron berkecepatan tinggi diubah menjadi pancaran cahaya dan

berkas menghasilkan suatu bintik cahaya kecil pada layar CRT. Dalam perjalanannya menuju layar, berkas elektron melalui diantara dua pelat defleksi elektrostatis sehingga berkas akan dibelokkan ke arah resultante defleksi horisontal dan vertikal sehingga membentuk jejak gambar pada layar sesuai dengan tegangan masukan.



Gambar 1 - 36. Skema CRT
["http://en.wikipedia.org/wiki/Cathode_ray_tube"](http://en.wikipedia.org/wiki/Cathode_ray_tube)



Gambar 1 – 37. Cutaway rendering of a color CRT
["http://en.wikipedia.org/wiki/Cathode_ray_tube"](http://en.wikipedia.org/wiki/Cathode_ray_tube)

Keterangan :

1. Senapan elektron
2. Berkas elektron
3. Kumparan pemfokus
4. Kumparan defleksi
5. Anoda
6. Lapisan pemisah berkas untuk merah, hijau dan biru bagian gambar yang diperagakan.
7. Lapisan fosfor dengan zona merah, hijau dan biru.
8. Lapisan fosfor sisi bagian dalam layar yang diperbesar.

Sebuah senapan elektron konvensional yang digunakan dalam sebuah CRT pemakaian umum, ditunjukkan pada gambar di bawah ini. Sebutan senapan elektron berasal dari kesamaan antara gerakan sebuah elektron yang dikeluarkan dari senapan elektron CRT mempunyai kesamaan lintasan peluru yang ditembakkan oleh senapan.



Gambar 1 – 38. Senapan elektron (Electron Gun)
["http://en.wikipedia.org/wiki/CRO/Cathode_ray_tube"](http://en.wikipedia.org/wiki/CRO/Cathode_ray_tube)

Elektron-elektron diionisasikan secara termionik dengan pemanasan tak langsung pada katoda yang secara keseluruhan dikelilingi dengan kisi pengatur yang terdiri dari silinder nikel dengan lubang kecil ditengahnya satu sumbu dengan sumbu tabung. Elektron-elektron menuju layar dilewatkan melalui lubang kecil membentuk arus berkas. Besarnya arus berkas dapat diatur dengan mengatur alat kontrol yang berada pada panel depan yang diberi tanda *INTENSITY*. Mengatur intensitas sebenarnya mengubah tegangan negatif terhadap katoda pada kisi pengatur. Penambahan

tegangan negatif pada kisi pengatur akan menurunkan arus berkas, yang berarti menurunkan intensitas tabung atau tingkat terangnya bayangan pada layar CRT.

Elektron-elektron yang dipancarkan oleh katoda dipusatkan pada lubang kecil di dalam kisi pengatur, dipercepat oleh adanya tegangan potensial tinggi yang diberikan pada kedua elektrode anoda pemercepat (*accelerating anode*). Kedua anoda ini dipisahkan oleh sebuah anoda pemusat (*focusing anode*) melengkapi metode pemusatan elektron ke dalam berkas terbatas yang sempit dan

tajam. Kedua anoda pemercepat dan anoda pemusat juga berbentuk silinder dengan lubang-lubang kecil ditengah-tengahnya masing-masing silinder satu sumbu dengan CRT. Lubang-

lubang kecil di dalam elektrode-elektrode ini memungkinkan berkas elektron dipercepat dan terpusat merambat melalui pelat defleksi vertikal dan horisontal menuju layar.

1.6.4.2. Layar CRT

Bila berkas elektron membentur layar CRT yang berlapis fosfor akan menghasikan titik cahaya. Bahan dibagian dalam CRT berupa fosfor sehingga energi kinetik tumbukan elektron pada layar akan menyebabkan perpendaran cahaya. Fosfor menyerap energi kinetik dari elektron-elektron pembombardir dan memancarkan kembali energi tersebut pada frekuensi yang lebih rendah dalam spektrum cahaya tampak. Bahan-bahan fluoresen memiliki karakteristik fosforesensi yaitu memancarkan cahaya walaupun sumber eksitasi telah dihilangkan. Lama waktu cahaya yang tinggal setelah bahan yang bersinar hilang disebut ketahanan atau persistansi. Ketahanan biasanya diukur berdasarkan waktu yang dibutuhkan oleh bayangan CRT agar berkurang ke suatu persistansi tertentu biasanya 10 persen dari keluaran cahaya semula.

Intensitas cahaya yang dipancarkan CRT disebut

luminansi tergantung beberapa faktor. Pertama intensitas cahaya dikontrol oleh jumlah elektron pembombardir yang membentur layar setiap detik. Jika arus berkas diperbesar atau arus berkas dengan jumlah yang sama dipusatkan pada daerah yang lebih kecil dengan mengurangi ukuran titik maka luminansi akan bertambah. Kedua luminansi bergantung pada energi benturan elektron pembombardir pada layar, energi benturan dapat ditingkatkan melalui penambahan tegangan pada anoda pemercepat. Ketiga luminansi merupakan fungsi waktu benturan berkas pada permukaan lapisan fosfor ini berarti kecepatan penyapuan akan mempengaruhi luminansi. Akhirnya luminansi merupakan fungsi karakteristik fisik dan fosfor itu sendiri. Oleh karena itu hampir semua pabrik melengkapi pembeli dengan pilihan bahan fosfor, tabel di bawah ini menyajikan karakteristik beberapa fosfor yang lazim digunakan.

**Tabel 1-9 Karakteristik beberapa fosfor yang lazim digunakan
(William Cooper :)**

Jenis fosfor	Fouresensi	Fosforisensi	Luminansi	Penurunan ke 0,1%	Komentar
P1	Kuning-hijau	Kuning-hijau	50%	95	Untuk pemakaian umum
P3	Biru-hijau	Kuning-hijau	55%	120	Kecepatan rendah dan kecepatan tinggi,
P4	Putih	Putih	50%	20	peragaan televisi
P5	Biru	kuning -hijau	35%	1500	Pengamatan fenomena kecepatan rendah
P11	Ungu-biru	Ungu-biru	15%	20	Pemakaian fotografi
P31	Kuning-hijau	Kuning-hijau	100%	32	Pemakaian umum fosfor paling terang

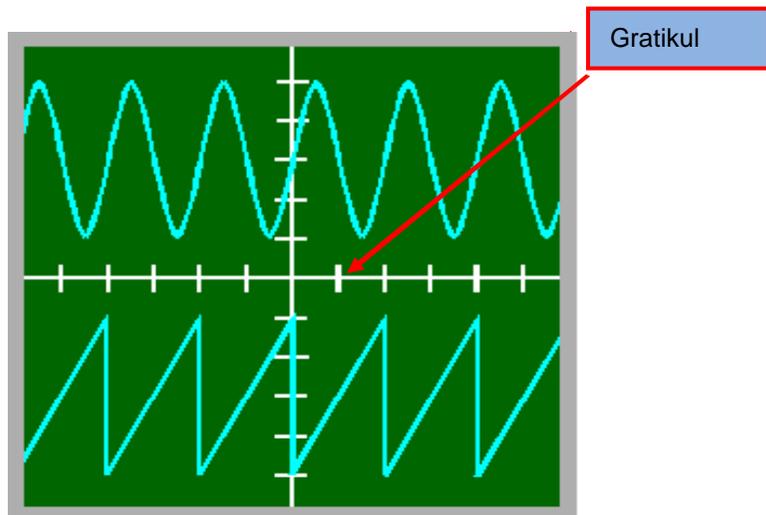
Sejumlah faktor perlu dipertimbangkan dalam memilih fosfor agar sesuai kebutuhan. Contoh fosfor P11 memiliki ketahanan singkat, sangat baik untuk pemotretan bentuk gelombang tetapi sama sekali tidak sesuai untuk pengamatan visual fenomena kecepatan rendah. P31 luminansi tinggi, ketahanan sedang, merupakan kompromi yang paling baik untuk penglihatan gambar secara umum, banyak dijumpai dalam kebanyakan CRO standar tipe laboratorium. Ada kemungkinan kerusakan berat pada CRT yang dikarenakan penanganan yang tidak tepat pada pengaturan alat-alat kontrol yang terdapat pada panel depan. Bila sebuah fosfor dieksitasi oleh

berkas elektron pada rapat arus yang berlebihan, akan menyebabkan panas pada fosfor sehingga keluaran cahaya berkurang. Dua faktor yang mengontrol terjadinya panas adalah kerapatan berkas dan lamanya eksitasi. Kerapatan berkas dikontrol oleh melalui tombol *INTENSITY*, *FOCUS* dan *ASTIGMATISM* pada panel depan CRO. Waktu yang diperlukan oleh berkas untuk mengeksitasi suatu permukaan fosfor diatur dengan penyapu atau alat kontrol *TIME/DIV*. Panas yang mungkin menyebabkan kerusakan fosfor, dicegah dengan mempertahankan berkas pada intensitas yang rendah dan waktu pencahayaan yang singkat.

1.6.4.3. Gratikulasi

Bentuk gelombang pada permukaan CRT secara visual dapat diukur pada sepasang tanda skala horisontal dan vertikal yang disebut gratikul. Tanda skala dapat ditempatkan dipermukaan luar tabung CRT dalam hal ini dikenal sebagai eksternal gratikul. Gratikul yang dipasang dipermukaan luar terdiri dari sebuah plat plastik bening atau berwarna dilengkapi dengan tanda pembagian skala. Gratikul di luar mempunyai

keuntungan mudah diganti dengan suatu pola gambar khusus, seperti tanda derajat, untuk analisis vektor TV warna. Selain itu posisi gratikul luar dapat dengan mudah diatur agar sejajar dengan jejak CRT. Kerugiannya adalah paralaksis sebab tanda skala tidak sebidang dengan bayangan gelombang yang dihasilkan pada fosfor, sebagai akibat penjajaran jejak dan gratikul akan berubah terhadap posisi pengamatan.



Gambar 1 – 39. Tanda skala gratikul

Gratikul internal pemasangan tidak menyebabkan kesalahan paralaksis karena bayangan CRT dan gratikul berada pada bidang yang sama. Dengan internal gratikul CRO lebih mahal karena tidak dapat diganti tanpa

mengganti CRT. Disamping itu CRT dengan gratikul dipermukaan dalam harus mempunyai suatu cara untuk mensejajarkan jejak, membawa akibat menambah harga keseluruhan CRO.

Daftar Pustaka :

Cooper, William D, 1999. Instrumentasi Elektronik dan Teknik Pengukuran. ((Terjemahan Sahat Pakpahan). Jakarta : Penerbit Erlangga.(Buku asli diterbitkan tahun 1978)

Soedjana, S., Nishino, O. 1976. Pengukuran dan Alat-alat Ukur Listrik. Jakarta : PT. Pradnya Paramita.

Deboo and Burrous.1977. Integreted Circuit And Semiconductor Devices : theory and application. Tokyo Japan : Kogakusha.Ltd

<http://computer.howstuffworks.com/monitor1.htm>

"http://en.wikipedia.org/wiki/CRO/Cathode_ray_tube"

www.tpub.com

BAB 2

MULTIMETER

Tujuan Setelah membaca

1. Mampu menjelaskan prinsip kerja multimeter sebagai amperemeter, voltmeter dan ohmmeter.
2. Mampu melakukan tindak pencegahan kerusakan dalam menggunakan multimeter.
3. Mampu memilih meter yang mempunyai spesifikasi terbaik.
4. Mampu mengoperasikan multimeter sesuai dengan fungsi dan dengan ketelitian yang optimal.
5. Mampu melakukan pemeliharaan multimeter.

Pokok Bahasan

Multimeter merupakan alat ukur yang paling banyak dipergunakan oleh para praktisi, hobist dan orang yang bekerja berkaitan dengan rangkaian listrik dan elektronika. Multimeter dapat dipergunakan untuk mengukur besaran listrik, seperti : hambatan, arus, tegangan. Karena dirancang untuk mengukur tiga besaran tersebut, maka multimeter sering disebut AVO meter (Amper Volt Ohm).

Pembahasan :

- (1) Dasar AVO meter
- (2) Multimeter Analog
- (3) Multimeter Digital

Fungsi multimeter

dapat untuk :

- (1). Mengukur hambatan (Ohmmeter),
- (2) Mengukur arus (Amperemeter),
- (3). Mengukur tegangan (Voltmeter).

2.1. Multimeter Dasar

2.1.1. Amperemeter Ideal

Amperemeter ideal mempunyai dua sifat dasar, yaitu: (1) hambatan dalamnya sama dengan nol, (2) simpangan jarum benar-benar sebanding dengan arusnya. Pembacaan arus yang diperoleh dari suatu amperemeter yang ideal adalah sempurna. Karena hambatan dalamnya nol, maka tidak akan menghambat arus yang mengalir dalam rangkaian bila dihubungkan. Lagi pula karena permukaan alat ukur ditandai secara sempurna, maka pembacaannya akan mencapai ketelitian 100 persen.

Amperemeter ideal hanya merupakan wacana yang susah direalisasikan. Dalam kenyataannya pasti mempunyai hambatan, selain itu simpangan jarum amperemeter biasanya tidak berbanding secara tepat dengan besar arusnya. Dalam hal pembuatan amperemeter-amperemeter DC masih dapat dibuat mendekati sifat-sifat amperemeter ideal. Hambatan dalamnya dibuat serendah mungkin dan penyimpangan jarumnya hampir linier.

Amperemeter ideal :

- (1) Simpangan jarum sebanding arus (linier)
- (2) Hambatan dalam meter nol

Mikroamperemeter sederhana dapat dikembangkan fungsinya sebagai AVO meter disebut Basic meter mempunyai tahanan dalam (R_m) tertentu yang dijadikan sebagai dasar pengembangan fungsi. Gambar di bawah ini merupakan mikroamperemeter dengan arus skala penuh (I_{fs}) sebesar $100 \mu A$. dapat dijadikan sebagai Basic Meter.

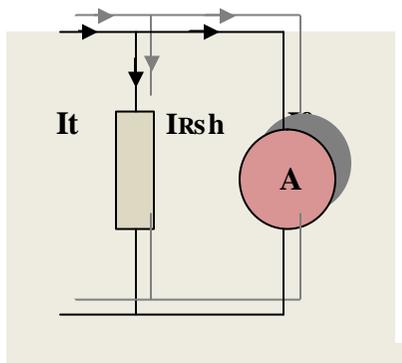


Gambar 2-1. Basic meter unit

2.1.2. Mengubah Batas Ukur

Suatu ampermeter dengan arus skala penuh I_s (*I full scale*) dapat diparalel dengan suatu hambatan agar dapat mengukur arus yang

lebih besar dari pada arus skala penuhnya. Gambar 2 – 2 mengilustrasikan suatu ampermeter shunt.



Gambar 2-2a. Ampermeter shunt



Gambar 2-2b. Ampmeter dengan basic meter unit

Seperti ditunjukkan pada Gambar, saat simpangan penuh, mengalir arus total (I_t) dalam rangkaian. Sebagian arus mengalir melalui

hambatan shunt, (R_{sh}) sebesar I_{sh} . Sehingga berlaku persamaan arus

$$I_t = I_{sh} + I_{fs} \dots\dots\dots (2-1)$$

atau $I_{sh} = I_t - I_{fs}$

Untuk menghitung besarnya hambatan shunt, dapat digunakan persamaan tegangan:

$$I_{sh} \cdot R_{sh} = I_{fs} \cdot R_m$$

Sehingga :

$$R_{sh} = I_{fs} / I_{sh} \cdot R_m \dots\dots\dots (2-2)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2 – 1) ke persamaan (2– 2), maka diperoleh persamaan :

$$R_{sh} = \frac{I_{fs}}{I_t - I_{fs}} \cdot R_m \dots\dots\dots (2-3)$$

Jika :

R_m : hambatan ampermeter sebelum dipasang R_{sh}

R_m' : hambatan ampermeter setelah dipasang R_{sh}

$$R_m' = R_m // R_{sh} = \frac{R_m \cdot R_{sh}}{R_m + R_{sh}} \cdot R_m \dots\dots\dots (2-4)$$

Besarnya R_m' dapat diperoleh dengan pendekatan sebagai berikut :

$$R_m' = V_{in}/I_{in}$$

dengan pengertian bahwa :

V_{in} = tegangan input, yaitu tegangan pada ujung-ujung ampermeter shunt.

I_{in} = arus input, yaitu arus total yang melalui input (yang masuk ke dalam rangkaian)

Sehingga persamaan di atas dapat ditulis sebagai berikut

$$R_m' = \frac{I_{fs}}{I_t} \cdot R_m \dots\dots\dots (2-5)$$

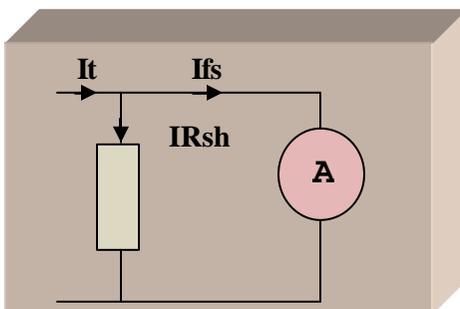
Dari persamaan tersebut ternyata bahwa bila arus total (I_t) lebih besar dibanding arus skala penuh (I_{fs}) nya dengan suatu faktor, maka hambatan dari ampermeter shunt akan berkurang dengan faktor tersebut. Sebagai contoh, jika $R_m = 50$ ohm, $I_{fs} = 1$ mA, dan akan

digunakan untuk mengukur arus total $I_t = 10$ mA; maka kita akan memperluas jangkauan arus dengan faktor 10 kali. Oleh karena itu, hambatan ampermeter shunt (R_m) menjadi 1/10 dari harga R_m' , atau sebesar 5 ohm.

Contoh Aplikasi

1. Suatu ampermeter dengan hambatan 50 ohm dan arus simpangan penuhnya 1 mA. Agar dapat untuk mengukur arus sebesar 5 mA, berapakah besarnya hambatan shunt dan berapakah besarnya hambatan ampermeter shunt (R_m') ?

Jawab :



$$I_{fs} = 1 \text{ mA}; \quad I_t = 5 \text{ mA}$$

$$a). \quad I_{sh} = \frac{I_{fs}}{I_t - I_{fs}} \cdot R_m$$

$$= \frac{1}{5 - 1} \cdot 50 = 12.5 \text{ ohm}$$

Gambar 2-3. Ampermeter shunt

$$\begin{aligned}
 \text{a). } R_m' &= I_{fs}/I_t \cdot R_m \\
 &= 1/5 \cdot 50 = 10 \text{ ohm} \\
 \text{atau } R_m' &= R_{sh}/R_m \\
 &= \frac{12,5 \cdot 50}{12,5 + 50} = 10 \text{ ohm}
 \end{aligned}$$

2. Dari soal 1 di atas, tetapi digunakan untuk mengukur arus $I = 1 \text{ A}$. Berapakah besarnya R_{sh} dan R_m' nya ?

Jawab :

$$\begin{aligned}
 R_{sh} &= \frac{I_{fs}}{I_t - I_{fs}} \cdot R_m \\
 &= \frac{1}{1000 - 1} \cdot 50 = 0,05 \text{ ohm}
 \end{aligned}$$

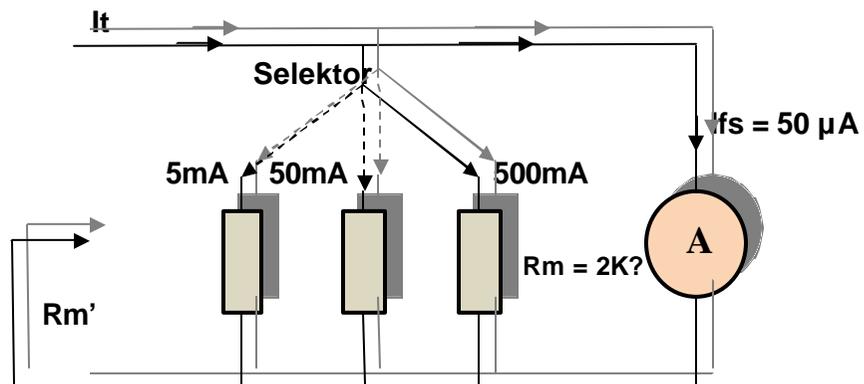
$$\begin{aligned}
 R_m' &= I_{fs}/I_t \cdot R_m \\
 &= 1/1000 \cdot 50 = 0.05 \text{ ohm}
 \end{aligned}$$

Dari contoh soal di atas, dapat disimpulkan bahwa.

bila : $I_t \gg I_{fs}$; maka $R_{sh} \gg R_m$ dan $R_m' = R_{sh}$

3. Suatu ampermeter dengan hambatan 2000 ohm dan arus simpangan penuh $50 \mu\text{A}$, maka akan dishunt seperti pada Gambar 2-4 dengan ring variasi arus: 5 mA; 50 mA; dan 500 mA. Berapakah besarnya R_m' dan R_{sh} pada masing-masing ring tersebut ?

Jawab :



Gambar 2-4. Ampermeter dengan ring yang berbeda

$$a) R_m' = I_{fs}/I_t \cdot R_m$$

Untuk ring 5 mA:

$$R_m' = 50/5000 \cdot 2000 \\ = 20 \text{ ohm}$$

Untuk ring 50 mA:

$$R_m' = 50/50000 \cdot 2000 \\ = 20 \text{ ohm}$$

Untuk ring 500 mA:

$$R_m' = 50/500000 \cdot 2000 \\ = 0,2 \text{ ohm}$$

b. Untuk ring 5 mA

$$R_{sh} = \frac{50}{5000 - 50} \cdot 2000 = 20,2 \text{ ohm}$$

Untuk ring 50mA

$$R_{sh} = \frac{50}{50000 - 50} \cdot 2000 = 2,002 \text{ ohm}$$

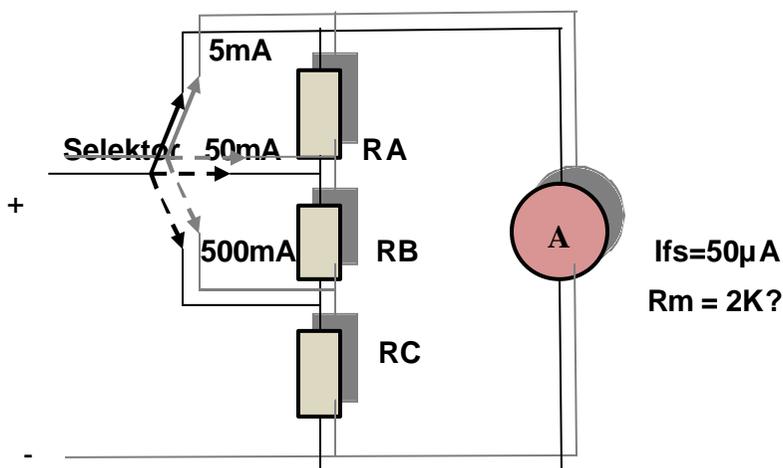
Untuk ring 500 mA

$$R_{sh} = \frac{50}{500000 - 50} \cdot 2000 = 0,2 \text{ ohm}$$

Catatan :

Sebagai catatan, bahwa rangkaian amperemeter shunt seperti pada Gambar 2-4 di atas mempunyai kekurangan, yaitu pada saat pergantian posisi saklar dari ring yang satu ke ring yang lain, terjadi keadaan terbuka sebentar. Hal membahayakan/ mengganggu gerakan jarum meter.

Sebagai alternatif lain, maka rangkaian dapat dibuat seperti pada Gambar 2 - 5, yang sering disebut dengan Ayrton shunt.

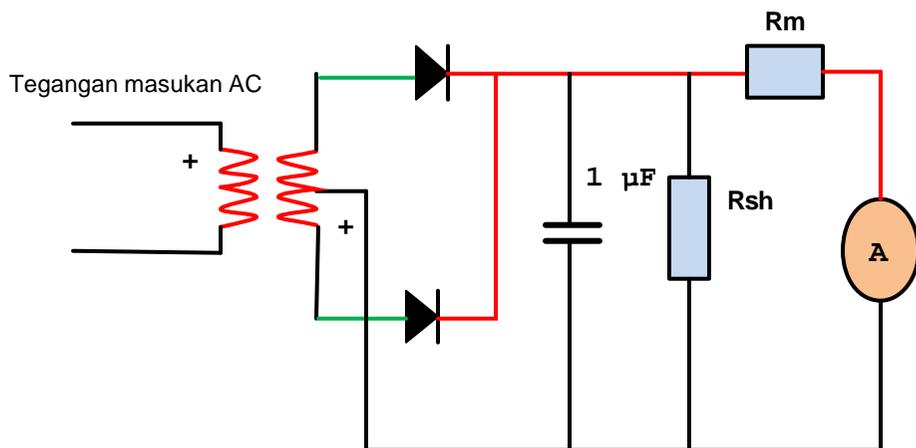


Gambar 2-5. Ayrton shunt

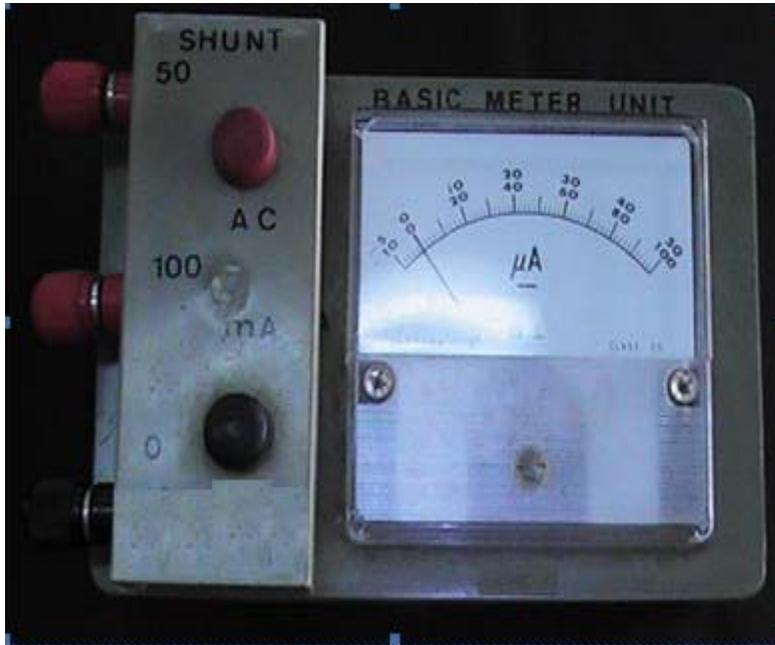
2.1.3. Ampermeter AC

Mikroampermeter DC ini dapat dikembangkan menjadi ampermeter AC dengan menambahkan komponen penyearah masukan yang fungsinya menyearahkan tegangan masukan AC menjadi DC. Meskipun tegangan masukan berupa tegangan AC tetapi tegangan maupun arus yang masuk meter berupa arus DC, sehingga proses pengukuran sama sebagaimana dijelaskan diatas. Sehingga ampermeter AC terbentuk atas ampermeter ideal, R_m , R_{sh} dan rangkaian penyearah, sebagaimana digambarkan pada gambar 2-6 di bawah ini.

Sinyal Ac yang diukur sebelum masuk meter disearahkan dahulu sehingga arus yang masuk meter tetap berupa arus DC.



Gambar 2-6. Rangkaian penyearah pada ampermeter AC



Gambar 2-7. Contoh dasar ampermeter

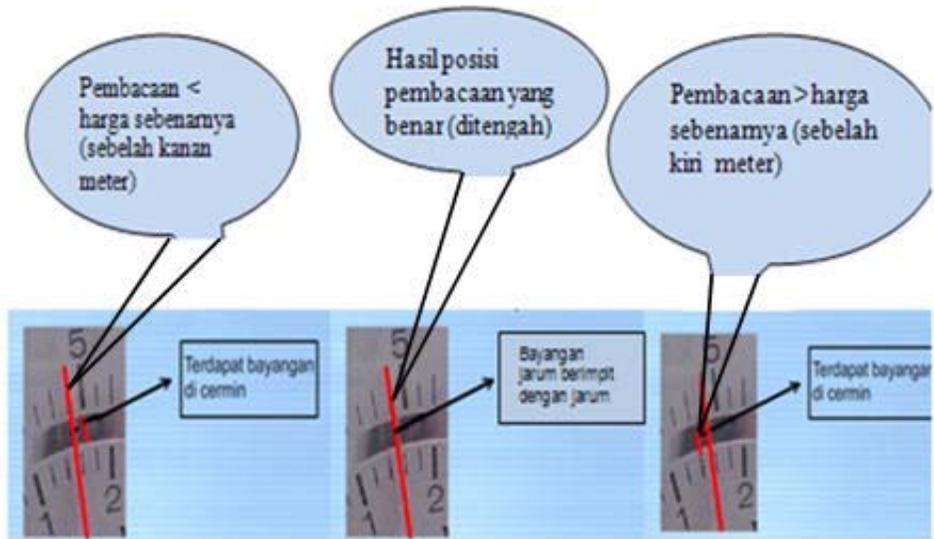
2.1.4. Kesalahan Pengukuran

2.1.4.1. Kesalahan Paralaks

Kesalahan paralaks adalah kesalahan yang disebabkan oleh manusia terutama berkaitan dengan pengamatan dan pembacaan pengukuran. Kesalahan tersebut antara lain : (1) kesalahan pembacaan pada skala yang tidak benar misal mengukur arus dibaca pada skala tegangan, (2). posisi pembacaan sehingga posisi jarum tidak berimpit dengan bayangan jarum di cermin. Hasil pembacaan dapat kurang atau lebih dari harga sebenarnya tergantung posisi pembaca terhadap meter (lihat gambar 1-3).. Posisi jarum lihat gambar 2-8.

Kesalahan paralaks:

- (1) pembacaan skala tidak benar.
- (2) Posisi pembacaan yang tidak tepat.

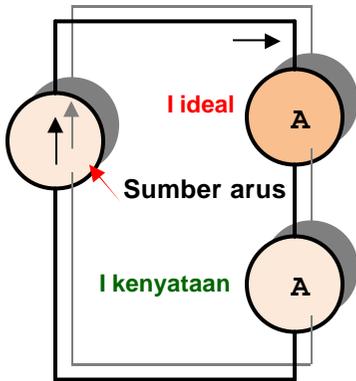


Gambar 2-8. Hasil pembacaan meter

2.1.4.2. Kesalahan Kalibrasi

Salah satu jenis kesalahan yang terjadi dalam suatu amperemeter yang nyata adalah kesalahan kalibrasi. Timbulnya kesalahan ini karena permukaan meter (alat ukur) mungkin tidak ditandai secara cermat, atau dengan kata lain pembuatan tanda/skala yang tidak cermat. Tidak jarang amperemeter yang mempunyai tanda/skala pada permukaan yang tidak seragam bagian-bagiannya.

Karena penyimpangan jarum tidak berbanding secara tepat dengan harga arusnya, maka penyimpangan tersebut biasanya menunjukkan harga arus yang kurang tepat. Untuk mengatasi hal ini dapat dilakukan dengan cara memasang suatu amperemeter standar yang dihubungkan seri dengan amperemeter yang akan dikalibrasi, yang dilihat seperti Gambar 2 - 9.



Tabel 2-1. Kalibrasi arus

I	I Ideal	I kenyataan
1 mA	1 mA	0,97 mA
0,5 mA	0,5 mA	0,51 mA
0,25 mA	0,25 mA	0,26 mA
0	0	0

Gambar 2-9. Kalibrasi arus

Pada ampermeter ideal akan terbaca secara tepat harga arus sumber, sedangkan pada ampermeter kenyataan (yang akan dikalibrasi), yang mempunyai tanda/skala pada permukaan meter yang kurang tepat menghasilkan kesalahan pembacaan sedikit. Untuk mengatasi kesalahan ini, maka

pada meter yang belum diberi skala (yang dikalibrasi), lantas diberi skala disesuaikan dengan skala dari ampermeter yang ideal (standar). Dalam beberapa kejadian, kapan saja suatu ampermeter dipakai, akan terjadi kesalahan kalibrasi.

Contoh Aplikasi :

Suatu ampermeter mempunyai kesalahan kalibrasi 3% dari arus simpangan penuh (full scale current). Jadi bila meter tersebut mempunyai arus simpangan penuh 1 mA, kesalahan kalibrasinya kurang lebih 0,03 mA. Sehingga untuk arus 1 mA pada ampermeter akan terbaca antara 0,97 mA dan 1,03 mA. Di lain pihak, jika arus yang mengalir pada ampermeter hanya 0,25 mA; meter akan menunjuk antara 0,22 mA dan 0,28 mA. Dengan demikian semakin besar, yaitu :

$$0,03/0,25 \times 100\% = 12\%$$

Jika dibandingkan dengan 3% pada arus 1 mA.

Oleh karena itu, untuk praktek pengukuran sebaiknya dengan simpangan arus sebesar mungkin, karena kesalahan kalibrasi ditentukan dari arus simpangan penuhnya.

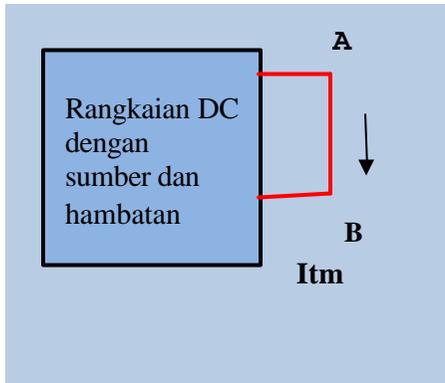
2.1.4.3. Kesalahan Pembebanan

Kesalahan lain yang ditemukan dalam pemakaian ampermeter adalah kesalahan yang disebabkan oleh adanya

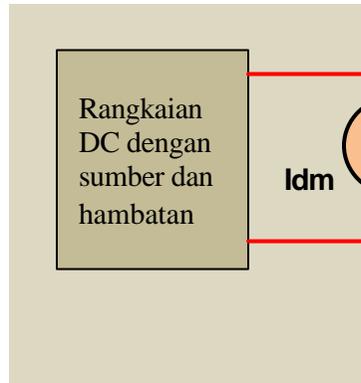
hambatan dari ampermeter tersebut. Pemasangan ampermeter pada cabang rangkaian, akan menambah

hambatan. Penambahan hambatan menurunkan arus yang mengalir dalam rangkaian. Penurunan arus mungkin kecil sehingga dapat diabaikan atau

mungkin agak besar, tergantung dari hubungan antara hambatan ampermeter dan hambatan dari rangkaian dalam pengetesan.



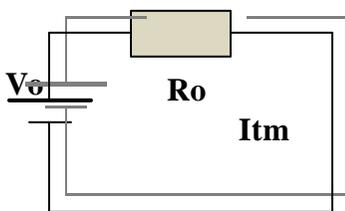
Gambar 2-10a. Rangkaian tanpa meter



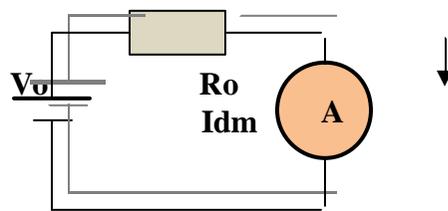
Gambar 2-10b. Rangkaian dengan meter

Pada Gambar 2 - 10a menunjukkan rangkaian tanpa meter, arus mengalir sebesar I_{tm} . Ini merupakan arus sesungguhnya yang ingin diukur. Dengan dihubungkannya ampermeter secara seri dengan cabang tersebut Gambar 2 - 10 b; akibat adanya hambatan ampermeter, maka arus pada

cabang tersebut akan berubah yaitu menjadi sebesar I_{dm} . Arus I_{dm} ini merupakan arus yang ditunjukkan oleh ampermeter. Adapun hubungan secara matematik antara arus tanpa meter (I_{tm}) dan arus dengan meter terlihat pada ilustrasi pada Gambar 2 - 11.



(a)



(b)

Gambar 2-11. Rangkaian ekivalen Thevenin

Arus yang sesungguhnya, yang ingin diukur yaitu :

$$I_{tm} = V_o/R_o$$

Arus yang terukur secara nyata yaitu:

$$I_{dm} = V_o / (R_o + R_m)$$

Sehingga perbandingan antara keduanya menghasilkan :

$$\frac{I_{dm}}{I_{tm}} = \frac{R_o}{R_o + R_m} \dots\dots\dots (2 - 6)$$

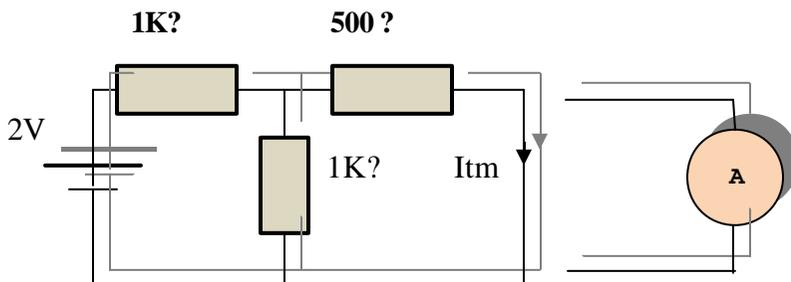
Persamaan 2-6 di atas tersebut hanya tergantung oleh membandingkan antara arus hambatan thevenin dan hambatan dengan meter terhadap arus tanpa meter. Perbandingan tersebut meter dan ternyata perbandingan disebut juga ketelitian (*accuracy*).

Jadi **ketelitian** = $I_{dm}/I_{tm} \times 100\%$

Bila ampermeter ideal, $R_m = 0$, maka $I_{dm} = I_{tm}$. Dalam hal ini berarti ketelitian = 100%.

Prosentase kesalahan (efek pembebanan) = (1 - ketelitian) x 100%
 atau : **(100% - % ketelitian).**

Hal ini memberikan pengertian, pembacaan 99%, berarti misalnya ketelitian pembacaan kesalahan pembebanan 1%. 100% berarti kesalahan Contoh Implementasi 1: pembebanan 0%. Ketelitian



Gambar 2-12 . Contoh aplikasi Thevenin

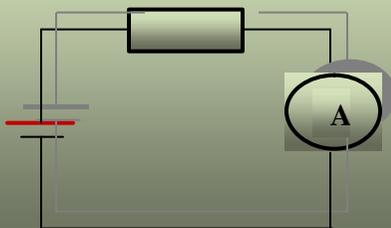
Permasalahan :

Dari rangkaian pada Gambar 2 - 12, akan diukur besar arus yang mengalir melalui hambatan 500 ohm.

- (1) Berapa arus yang mengalir pada hambatan tersebut yang sesungguhnya (arus tanpa meter) ?.
- (2) Berapa pula arus yang terbaca pada meter, bila meter tersebut mempunyai hambatan sebesar 100 ohm ? . Berapa pula prosentase ketelitian dan prosentase efek pembebanannya ?.

Solusi :

Untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan tersebut, harus dihitung besarnya tegangan thevenin. (saat ujung-ujung A - B terbuka) dan besarnya hambatan thevenin (sumber tegangan dihubung singkat).



Arus tanpa meter

$$I_{tm} = V_o / R_o = 1 \text{ Volt} / 1 \text{ K} = 1 \text{ mA}$$

Gambar 2-13. Contoh implementasi

Arus dengan meter :

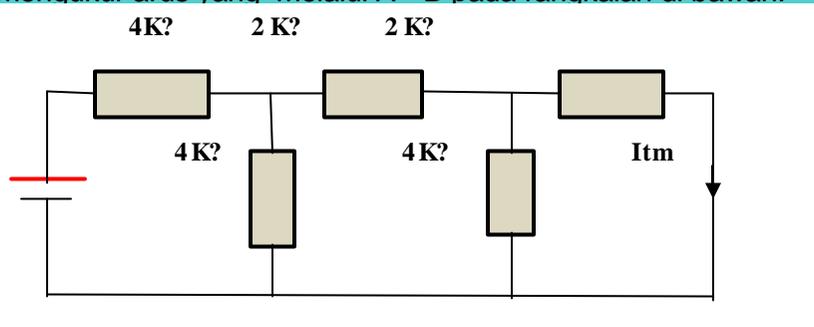
$$I_{dm} = \frac{V_o}{R_o + R_m} = \frac{1V}{1000 + 100} = 0.909 \text{ mA}$$

$$\text{Ketelitian : } \frac{V_o}{R_o + R_m} \times 100 \% = \frac{1000}{1100} \times 100 \% = 90,9 \%$$

$$\text{Efek Pembebanan} = 100 \% - 90,9 \% = 9,1\%$$

Contoh Aplikasi 2

Suatu ampermeter dengan hambatan 1000 ohm, digunakan untuk mengukur arus yang melalui A - B pada rangkaian di bawah.



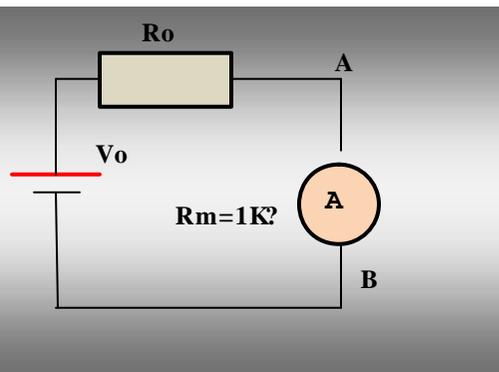
Permasalahan :

Berapakah :

- Arus tanpa meter (I_{tm})
- Prosentase ketelitian
- Prosentase efek pembebanan, bila ampermeter menunjuk $40 \mu A$ dan kesalahan kalibrasi diabaikan,

Penyelesaian :

$$\begin{aligned}
 R_o &= (4/4 + 2) // 4 + 2 \\
 &= 4 \text{ K ohm} \\
 I_{dm} / I_{tm} &= R_o / (R_o + R_m) \\
 \text{a). } I_{tm} &= \frac{R_o + R_m}{R_o} \cdot I_{dm} \\
 &= \frac{4 + 1}{4} \cdot 40 \mu A \\
 &= 50 \mu A
 \end{aligned}$$



Gambar 2-15 Contoh implementasi

$$\begin{aligned}
 \text{b). Ketelitian} &= \frac{R}{R_o + R_m} \cdot 100\% \\
 &= \frac{4}{4 + 1} \cdot 100\% = 80\% \\
 \text{c). Efek pembebanan} &= 100\% - 80\% = 20\%
 \end{aligned}$$

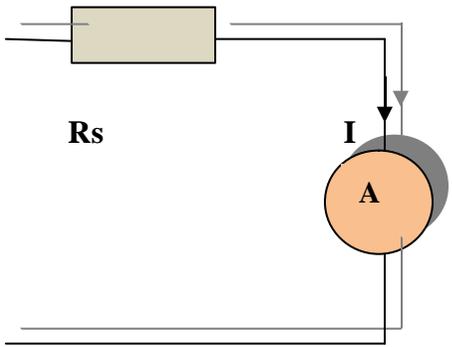
2.2. Voltmeter

2.2.1. Mengubah Batas Ukur

Suatu voltmeter DC yang sederhana dapat dibuat dengan memasang hambatan secara seri dengan ampermeter (Gambar 2-16). Bila tegangan pada

ujung-ujung masukan adalah V, arus yang mengalir melalui ampermeter I, hambatan yang diseri adalah R_s maka hubungannya dapat dituliskan :

$$V = (R_s + R_m) I \dots\dots\dots (2 - 7)$$



Gambar 2-16. Voltmeter DC sederhana (dengan menggunakan ampermeter)



Gambar 2-17. Voltmeter dengan basic meter unit dan multiplier

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa V merupakan fungsi dari I , artinya bahwa bila harga arusnya I , tegangan pada ujung-ujungnya (V), maka V besarnya sama dengan $(R_s + R_m)$ kali besarnya I . Sebagai contoh, bila $R_s + R_m = 10$ K ohm dan $I = 1$ mA, tegangannya (V) adalah 10 Volt. Langkah terakhir dalam perubahan amperemeter ke

voltmeter ialah menandai permukaan meter ke dalam satuan volt dari satuan ampere, dengan berpedoman pada persamaan 2-7. Untuk suatu arus simpangan penuh, besarnya hambatan seri akan menentukan besarnya tegangan maksimum yang dapat diukur. Untuk arus simpangan penuh, dari persamaan 2-7 menjadi :

$$V_{fs} = (R_s + R_m) I_{fs}$$

dengan arti : V_{fs} adalah tegangan yang menghasilkan arus simpangan penuh. Dari

persamaan tersebut dapat diperoleh harga R_s sebagai berikut

$$R_s = V_{fs} / I_{fs} - R_m \dots\dots\dots (2 - 8)$$

Persamaan tersebut merupakan bentuk yang tepat untuk menghitung harga R_s bila harga I_{fs}

, R_m dan V_{fs} diketahui. Biasanya harga R_m sangat kecil dibanding harga V_{fs} / I_{fs} , sehingga :

$$R_s = V_{fs} / I_{fs} \dots\dots\dots (2 - 9)$$

Contoh Implementasi 1 :

Suatu ampermeter dengan $I_{fs} = 1 \text{ mA}$, $R_m = 50 \text{ ohm}$, diubah menjadi suatu Voltmeter.

Permasalahan :

Berapakah besar hambatan seri yang diperlukan untuk mengukur dengan tegangan skala penuh (V_{fs}) atau batas ukur = 15 Volt, 50 Volt dan 150 Volt ?

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{V_{fs}}{I_{fs}} - R_m \\ &= \frac{50}{1 \text{ mA}} - 50 \\ &= 50 \text{ K ohm} \end{aligned}$$

Untuk $V_{fs} = 15 \text{ volt}$

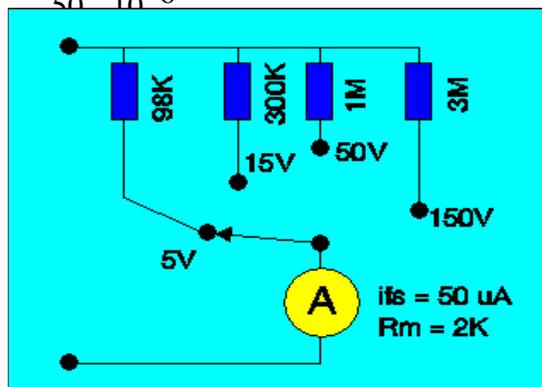
$$R_s = \frac{15}{50 \cdot 10^{-6}} - 2000 = 300 \text{ Kohm}$$

Untuk $V_{fs} = 50 \text{ volt}$

$$R_s = \frac{50}{50 \cdot 10^{-6}} - 2000 = 1 \text{ M ohm}$$

Untuk $V_{fs} = 150 \text{ volt}$

$$R_s = \frac{150}{50 \cdot 10^{-6}} - 2000 = 3 \text{ M ohm}$$



Gambar 2-18 Contoh implementasi

2.2.2. Hambatan Masukan Voltmeter

Untuk voltmeter sederhana seperti Gambar 2-15, hambatan masukan adalah jumlah dari hambatan seri dan hambatan meter. Hambatan masukan :

$$R_{in} = R_s + R_m$$

Selain itu, hambatan masukan juga dapat dihitung dari :

$$R_{in} = V/I$$

Sedangkan harga R_{in} adalah tetap untuk suatu kondisi arus tegangan, sehingga secara pasti dapat dituliskan dengan :

$$R_{in} = V_{fs}/I_{fs} \dots\dots\dots (2 - 10)$$

Hambatan masukan adalah tegangan skala penuh dibagi arus skala penuh. Dengan demikian, bila suatu voltmeter mempunyai gerakan arus 1 mA pada skala tegangan 100 Volt, maka hambatan masukannya 100 kilo ohm. Bila jangkauan (batas ukur)

diganti menjadi 10 Volt maka hambatan masukannya menjadi 10 kilo ohm. Arus skala penuh biasanya tidak tercantum pada meter. Biasanya yang tercantum adalah data sensitivitasnya, yang didefinisikan sebagai berikut

$$S = 1/I_{fs} \dots\dots\dots (2 - 11)$$

Dengan arti bahwa S adalah sensitivitas dari Voltmeter dan I_{fs} adalah arus skala penuh dari voltmeter. Dikatakan bahwa sensitivitas adalah kebalikan dari

arus skala penuh. Satuan sensitivitas adalah 1 dibagi dengan ampere, atau ohm per volt.

$$S = \frac{1}{I_{fs}} = \frac{1}{\text{Ampere}} = \frac{1}{\text{Volt/Ohm}} = \frac{\text{Ohm}}{\text{Volt}}$$

Dengan demikian, untuk suatu voltmeter dengan arus 1mA, sensitivitasnya adalah

$$S = 1/1 \text{ mA} = 1000 \text{ Ohm/Volt.}$$

Definisi untuk sensitivitas dapat digunakan untuk mengubah persamaan II-10 :

$$R_{in} = V_{fs}/I_{fs} = S \cdot V_{fs} \dots\dots\dots (2 - 12)$$

Persamaan 2 -12 menyebutkan bahwa hambatan masukan dari Voltmeter pada suatu jangkauan/batas ukur sama dengan sensitivitas dikalikan dengan tegangan skala penuh dari jangkauan/batas ukur tersebut. Dengan demikian tercantumnya data sensitivitas pada voltmeter, hambatan masukan voltmeter dapat dihitung dengan cepat. Besarnya hambatan masukan

voltmeter perlu diketahui besarnya, karena besar atau kecilnya hambatan akan berpengaruh terhadap besar atau kecilnya kesalahan pembebanan. Besarnya kesalahan pembebanan lebih tergantung pada besarnya hambatan masukan voltmeter dari pada hambatan rangkaian. Hal ini akan dibahas lebih lanjut pada pembahasan berikutnya.

Contoh Aplikasi 1

Suatu voltmeter menggunakan arus skala penuh 1 mA. Hitunglah hambatan masukan (R_{in}) pada batas ukur: 5 V ; 50 V dan 500 V.

Penyelesaian :

$$S = 1/I_{fs} = 1/1 \text{ mA} = 1000 \text{ Ohm per Volt}$$

$$\text{Untuk } B U \quad 5 \text{ Volt} \text{ -----} > V_{fs} \quad 5 \text{ Volt}$$

$$R_{in} = S \cdot V_{fs} = 1000 \cdot 5 = 5 \text{ K ohm}$$

$$\text{Untuk } B U \quad 50 \text{ Volt} \text{ -----} > V_{fs} \quad 50 \text{ Volt}$$

$$R_{in} = S \cdot V_{fs} = 1000 \cdot 50 = 50 \text{ K ohm}$$

$$\text{Untuk } B U \quad 500 \text{ Volt} \text{ -----} > V_{fs} \quad 500 \text{ Volt}$$

$$R_{in} = S \cdot V_{fs} = 1000 \cdot 500 = 500 \text{ K ohm}$$

Contoh Aplikasi 2

Suatu voltmeter dengan arus skala penuh $50 \mu\text{A}$, mempunyai batas ukur 5 V ; 50 V ; 500 Volt.

Hitunglah hambatan masukan pada setiap ba-tas ukur.

Penyelesaian :

$$S = 1/I_{fs} = 1 / (50 \mu\text{A}) = 20 \text{ KO per Volt}$$

$$\text{Untuk } V_{fs} = 5 \text{ Volt} \text{ -----} > R_{in} = 20 \cdot 5 = 100 \text{ K Ohm.}$$

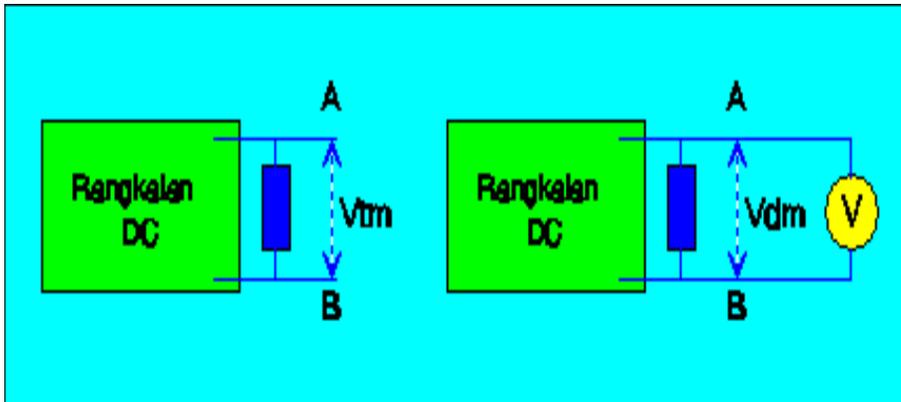
$$\text{Untuk } V_{fs} = 50 \text{ Volt} \text{ -----} > R_{in} = 20 \cdot 50 = 1 \text{ M Ohm}$$

$$\text{Untuk } V_{fs} = 500 \text{ Volt} \text{ -----} > R_{in} = 20 \cdot 500 = 10 \text{ M Ohm}$$

2.2.3. Kesalahan Pembebanan Voltmeter

Seperti halnya pada ampermeter bila dipakai untuk mengukur arus yang mengalami penurunan arus akibat adanya hambatan dari ampermeter tersebut. Besar kecilnya penurunan arus tersebut tergantung atas perbandingan hambatan ampermeter terhadap hambatan thevenin dari rangkaian.

Demikian halnya pemakaian voltmeter untuk mengukur tegangan juga akan mengalami penurunan tegangan. Besar kecilnya penurunan tegangan tersebut tergantung atas perbandingan hambatan dalam. Gambar 2-18 merupakan ilustrasi suatu jenis pengukuran tegangan.

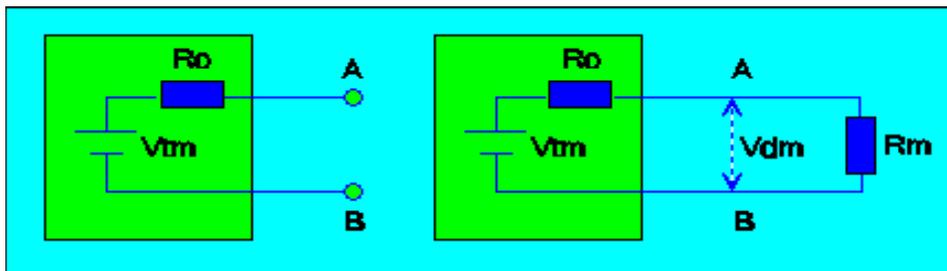


a. Tegangan tanpa meter b. Tegangan dengan meter

Gambar 2- 19. Tegangan dengan dan tanpa meter

Tegangan yang akan diukur yaitu tegangan pada ujung-ujung hambatan R. V_{tm} adalah tegangan tanpa meter, yaitu tegangan sebelum voltmeter dihubungkan. Tegangan yang benar inilah yang dikehendaki dalam pengukuran. Setelah voltmeter dihubungkan, ternyata

antara ujung-ujung hambatan R terbaca harga tegangan yang baru, yang disebabkan oleh hambatan dalam voltmeter. Untuk menghitung hubungan antara V_{dm} dan V_{tm} , maka Gambar 2-19 dapat digambarkan sebagai berikut :



a. Rangkaian tanpa meter b. Rangkaian dengan meter

Gambar 2- 20. Ekuivalen dengan dan tanpa meter

Dengan menggunakan Hukum Ohm, dapat dituliskan :

$$V_{dm} = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_o} \cdot V_{tm} \dots\dots\dots(2-13)$$

$$\frac{V_{dm}}{V_{tm}} = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_o} = \text{ketelitian} \dots\dots\dots(2-14)$$

Keterangan :

R_m = Tahanan dalam voltmeter

R_{in} = Tahanan masukan rangkaian dalam hal ini = R_m

V_{tm} = Tegangan beban tanpa meter

V_{dm} = Tegangan dengan meter

Persamaan 2 -14 menunjukkan ketelitian voltmeter, sepanjang efek pembebanan diperhatikan. pembebanannya.

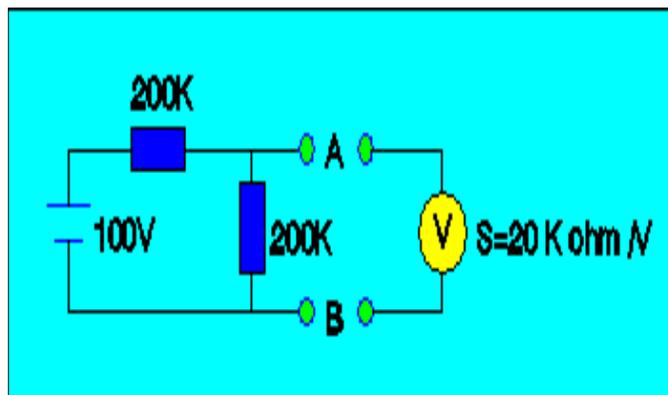
Seperti halnya pada ampermeter dapat dituliskan juga prosentase kesalahan

Prosentase kesalahan pembebanan = $(1 - \text{ketelitian}) \times 100\%$

Contoh Aplikasi 1

Voltmeter dengan sensitivitas 20 K Ohm/V, pada ukur 50 Volt digunakan untuk mengukur tegangan antara ujung-ujung AB dari Gambar di bawah. Hitung :

ketelitian pembacaan voltmeter dan tegangan yang terukur pada voltmeter; kesalahan kalibrasi diabaikan.



Gambar 2-21. Rangkaian penyelesaian aplikasi 1

Penyelesaian :

Tegangan pada ujung AB sebelum meter dihubungkan

$$V_{dm} = \frac{200}{200 + 200} \cdot 100 \text{ V} = 50 \text{ V}$$

$$R_o = 200 \text{ K} // 200 \text{ K} = 100 \text{ K Ohm}$$

Pada batas ukur 50 Volt, hambatan masukan (dalam) voltmeter :

$$R_{in} = S \cdot V_{fs} = 20 \text{ K} \cdot 50 \text{ V} = 1 \text{ M Ohm.}$$

$$\begin{aligned} \text{Ketelitian} &= \frac{V_{dm}}{V_{tm}} = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_o} = \frac{1 \text{ M}}{1 \text{ M} + 100 \text{ K}} \\ &= 1/1,1 = 91\% \end{aligned}$$

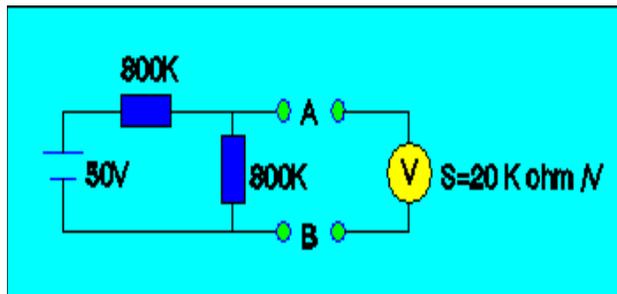
Ketelitian 91%, artinya bahwa voltmeter menunjukkan harga 91% dari tegangan yang sesungguhnya. Sehingga :

$$V_{dm} = 0,91 \cdot V_{tm} = 0,91 \cdot 50 = 45,5 \text{ Volt.}$$

Contoh Aplikasi 2

Untuk menunjukkan bagaimana efek pembebanan sesungguhnya berpengaruh, pertimbangkan keadaan pengukuran yang

dilukiskan dalam Gambar 2-21. Hitung pembacaan voltmeter pada batas ukur 50 volt dan pada batas ukur 5 volt.



Gambar 2-22. Rangkaian penyelesaian aplikasi 2

Penyelesaian :

$$V_{tm} = \frac{800}{800 + 800} \cdot 50 \text{ V} = 25 \text{ V}$$

$$R_o = \frac{800}{800 + 800} = 400 \text{ K Ohm}$$

Pada batas ukur 50 Volt :

$$R_{in} = 20 \text{ K/V} \cdot 50 \text{ V} = 1 \text{ M Ohm}$$

$$V_{dm} = \frac{1000000}{1000000 + 400000} \cdot 25 \text{ V} = 17,9 \text{ Volt}$$

Pada batas ukur 5 Volt :

$$R_{in} = 20 \text{ K/V} \cdot 5 \text{ V} = 100 \text{ K Ohm}$$

$$V_{dm} = \frac{100000}{100000 + 400000} \cdot 25 \text{ V} = 5 \text{ Volt}$$

Dari perhitungan pada kedua batas ukur di atas, ternyata keduanya menunjukkan harga pengukuran yang tidak teliti, karena tegangan yang sesungguhnya adalah 25 Volt. Setiap digunakan batas ukur yang berbeda, maka akan diperoleh hasil pembacaan voltmeter yang

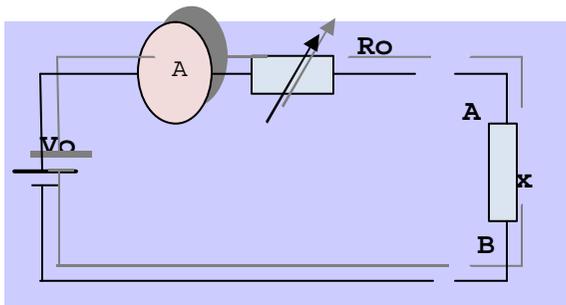
berbeda, dan dengan segera dapat diketahui bahwa voltmeter terbebani terlalu banyak rangkaian (hambatannya terlalu besar) dan akhirnya pembacaannya salah. Dilain pihak, jika batas ukur dirubah pembacaan yang bertentangan, dapat diyakinkan yang terjadi dapat diabaikan.

2.3. Ohmmeter

2.3.1. Rangkaian Dasar Ohmmeter Seri

Suatu ohmmeter sederhana dapat dibuat dengan menggunakan baterai, ammeter dan hambatan ; seperti ditunjukkan pada Gambar 2-23. R_o merupakan hambatan thevenin dari ohmmeter, yang mencakup hambatan ammeter R_m .

V_o merupakan tegangan ohmmeter pada ujung-ujung AB saat terbuka. Rangkaian ini jenis ohmmeter seri R_x dipasang secara seri dengan meter, identik dengan pengukuran arus.



Gambar 2-23
Dasar ohmmeter seri

Seperti ditunjukkan pada gambar 2-23, bahwa R_o merupakan hambatan yang dapat diatur. Biasanya ohmmeter dinolkan lebih dahulu sebelum digunakan mengukur hambatan R_x yang belum diketahui besar

hambatannya, dengan cara ujung-ujung AB dihubungkan singkat dan hambatan R_o diatur, untuk menghasilkan arus skala penuh yang mengalir melalui ammeter. Ini berarti :

$$I_{fs} = V_o/R_o \dots\dots\dots (2 - 15)$$

Untuk mengukur hambatan R_x , ujung-ujung AB dihubungkan, sehingga arus yang mengalir :

$$I = \frac{V_o}{V_o + R_x} \dots\dots\dots(2-16)$$

Dengan membandingkan persamaan 2 -16 dengan persamaan 2 -15, maka diperoleh persamaan :

$$\frac{I}{I_{fs}} = \frac{R_o}{R_o + R_x}$$

Perbandingan tersebut merupakan simpangan meter ($D = deflection$), sehingga dapat dituliskan :

$$D = \frac{I}{I_{fs}} = \frac{R_o}{R_o + R_x} \dots\dots\dots(2-17)$$

Bila harga $R_x = R_o$, maka $D = I/I_{fs} = 1/2$
 Dari persamaan 2 -17 dapat dituliskan :

$$D (R_o + R_x) = R_o$$

$$DR_x = R_o - D R_o$$

$$R_x = \frac{1-D}{D} R_o \dots\dots\dots(2-18)$$

Berdasarkan persamaan 2 -17, memuat beberapa contoh harga yaitu $D = R_o/(R_o + R_x)$, maka R_x terhadap R_o dan harga D . dapat dibuat suatu tabel yang

Tabel 2-2 Harga R_x dan D

R_x	0	$R_o/4$	$R_o/3$	$R_o/2$	R_o	$2 R_o$	$3 R_o$	$4 R_o$	$9 R_o$	-
D	1	$4/5$	$3/4$	$2/3$	$1/2$	$1/3$	$1/4$	$1/5$	$1/10$	0

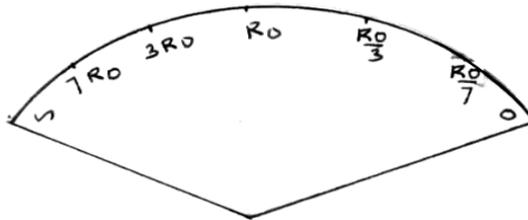
Contoh Aplikasi 1 Pada Ohmmeter

Harga $R_x = 0$, maka $D = R_o/(R_o + R_s) = 1$. Pada kedudukan ini, hambatan yang diukur nol, berarti arus yang mengalir besar dan menghasilkan arus skala penuh, atau simpangannya = 1.

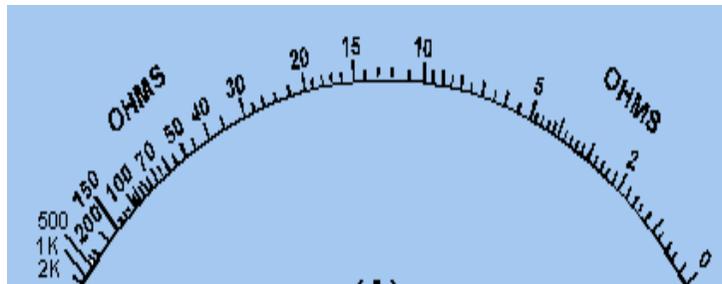
Kedudukan ini ternyata bila ujung-ujung AB dari ohmmeter dihubungsingkat. Bila harga $R_x = R_o$, maka $D = R_o/(R_o + R_o) = 1/2$. Pada kedudukan ini, jarum menyimpang setengah dari skala

penuh. Bila harga $R_x = \infty$ (tak terhingga), atau pada keadaan terbuka, berarti tidak ada arus

yang mengalir, sehingga jarum tidak menyimpang atau simpangannya = 0.



Gambar 2-24. Pembuatan tanda/skala ohmmeter



Gambar 2-25. Skala logaritimis pada ohmmeter seri

Contoh Aplikasi 2 Pada Ohmmeter

Ohmmeter mempunyai arus skala penuh $50\mu\text{A}$ dan hambatan dalam $2000\ \Omega$. Tegangan rangkaian terbuka = $6\ \text{V}$, ohmmeter menunjuk nol. Kemudian

digunakan untuk mengukur suatu hambatan dan menghasilkan $1/4$ simpangan penuh. Berapakah besarnya hambatan yang diukur ?

Penyelesaian :

$$R_o = \frac{V_o}{I_{fs}} = \frac{6}{50 \cdot 10^{-6}} = 120\ \text{K}\ \Omega$$

$$R_x = \frac{1 - D}{D} \cdot R_o = \frac{1 - 1/4}{1/4} \cdot 120 = 360\ \text{K}\ \Omega$$

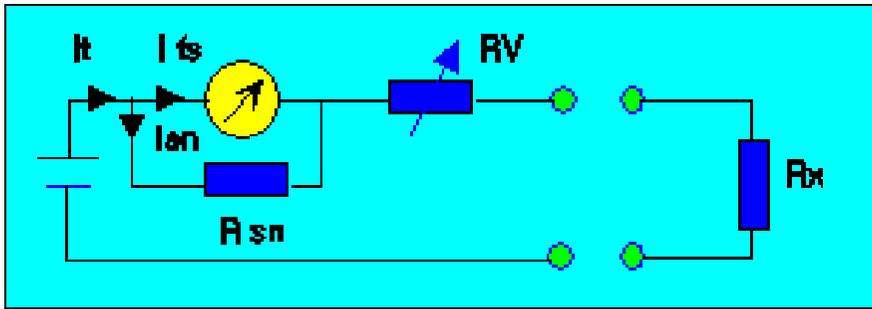
Catatan : harga R_o sudah meliputi harga R_m nya.

Bila ditanyakan berapa harga R_v (Variabel), maka :

$$R_v = R_o - R_m = 120 - 2 = 118\ \text{K}\ \Omega.$$

Ohmmeter dari contoh 1 di atas, dishunt dengan hambatan $20\ \Omega$. Secara pendekatan, berapa

harga R_x (hambatan yang diukur), yang dapat menghasilkan $1/2$ simpangan penuh ?



Gambar 2-26 Contoh aplikasi ommeter seri

Penyelesaian :

$$I_{fs} = \frac{R_{sh}}{R_m + R_{sh}} \cdot I_t$$

$$I_t = \frac{R_m + R_{sh}}{R_{sh}} \cdot I_{fs}$$

$$= \frac{2000 + 20}{20} \cdot 50 \mu A = 5,05 \text{ mA}$$

Karena. $R_{sh} \ll R_m$, maka secara pendekatan :

$$I_t = R_m / R_{sh} \cdot I_{fs}$$

$$= 2000/20 \cdot 50 \text{ A} = 5 \text{ mA}$$

Sehingga :

$$R_o = V_o / I_t$$

$$= 6/5 \cdot 10^{-3} = 1,2 \text{ K Ohm}$$

$$R_x = \frac{1 - D}{D} \cdot R_o = \frac{1 - 1/2}{1/2} \cdot 1,2 = 1,2 \text{ K Ohm}$$

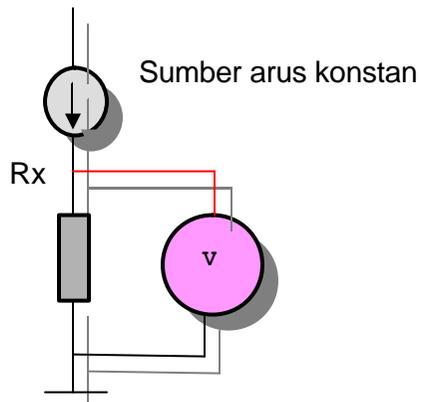
2.3.2. Ohmmeter Paralel

Ohmmeter dibangun dengan menggunakan voltmeter, sumber arus konstan dan resistor yang diukur. Prinsip yang digunakan adalah bila arus konstan dialirkan pada Rx yang tidak diketahui maka beda tegangan pada ujung-ujung Rx sebanding dengan nilai

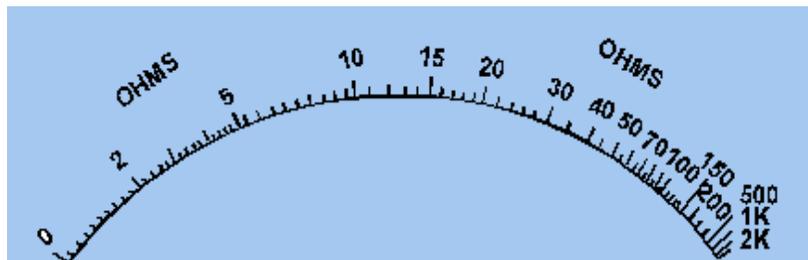
Rx. Semakin besar nilai Rx semakin besar beda tegangan yang terukur. Batasan tegangan pada ujung-ujung resistansi menentukan cakupan pengukuran nilai resistansi. Rangkaian dasar ohmmeter paralel ditunjukkan pada gambar di bawah ini.

Secara produk jenis ohmmeter paralel dikenali dengan skala nol berada disisi kiri sebagaimana skala nol pada tegangan dan arus. Contoh aplikasi prinsip ohmmeter paralel pada ohmmeter digital.

Sedangkan ohmmeter seri skala nol berada diujung sebelah kanan berlawanan dengan skala nol voltmeter dan amperemeter. Jenis ohmmeter seri seperti Sanwa, Heles.



Gambar 2-27. Dasar ohmmeter paralel



Gambar 2-28. Skala ohmmeter paralel

2.4. Multimeter Elektronik Analog

2.4.1. Kelebihan Multimeter Elektronik

Dalam perkembangannya multimeter menggunakan komponen aktif elektronik yang biasanya berfungsi sebagai penguat. Multimeter elektronik lebih disukai karena beberapa alasan yang menguntungkan :

1. Resistansi masukan multimeter elektronik lebih tinggi dan stabil disemua cakupan pengukuran

2. Pada saat berfungsi sebagai pengukur arus resistansi multimeter elektronik cukup rendah sehingga dapat mencegah kesalahan ukur karena efek pembebanan.

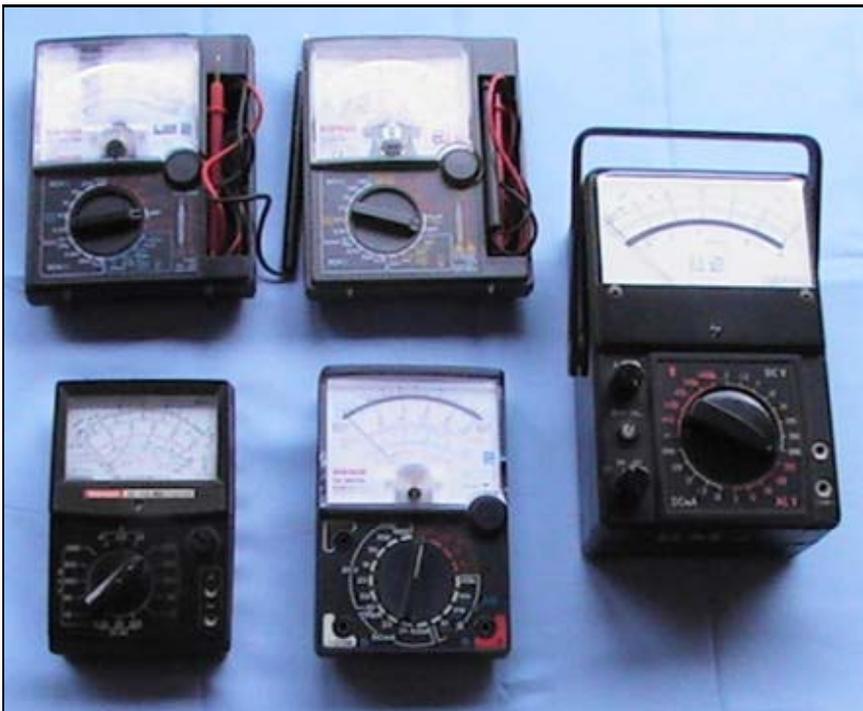
3. Skala resistansi dari multimeter elektronik arah penyimpangan jarum sama seperti pada pengukuran tegangan atau arus sehingga tidak membingungkan.

4. Digunakan tegangan rendah sehingga memungkinkan untuk mengukur resistansi

Voltmeter elektronik dapat mencapai resistansi masukan dari 10 M Ω hingga 100 M Ω dan besar resistansi masukan ini sama untuk semua cakupan pengukuran. Bila dibandingkan dengan VOM besar resistansi masukan pada VOM berbeda untuk semua cakupan pengukuran tegangan. Pada cakupan pengukuran tegangan rendah resistansi masukan VOM cenderung rendah. Dalam kasus meter yang memiliki sensitivitas 20.000 Ω /Volt pada cakupan 0–1 Volt besar resistansi masukan hanya (20.000 Ω /V) (1V) = 20 K Ω .

junction BJT tanpa merusakkan transistor.

Solid state EVM tidak dapat digunakan dalam tempat yang ada medan listrik atau elektronik yang kuat seperti medan yang dihasilkan oleh transformator *flyback* televisi, pemancar radio dan sebagainya. Medan akan cenderung memberi bias pada transistor atau IC yang digunakan dalam EVM, dalam tempat seperti ini tidak akan bekerja dengan baik, sedangkan VOM lebih tahan terhadap pengaruh yang demikian. Jenis-jenis multimeter elektronik yang banyak dijumpai dipasaran, antara lain ditunjukkan gambar di bawah ini.



Gambar 2-29. Jenis-jenis multimeter elektronik di pasaran

2.4.2.. Konstruksi Multimeter Analog

Dasar multimeter elektronik analog dapat dikelompokkan ke dalam tiga bagian utama yaitu jaringan pengukuran, rangkaian penguat dan penggerak meter analog (seperti jenis PM-MC). Dalam kasus pengukuran arus dan tegangan jaringan kerja berupa pembagi tegangan yang membatasi tegangan yang diberikan pada penguat terutama berkaitan dengan pengaturan cakupan instrumen.

Multimeter Philip type PM 2505 dalam gambar 2-26 memiliki skala penuh tegangan DC dan AC yang

rendah sampai 100mV. Cakupan pengukuran arus DC, AC dari skala penuh 1uA sampai 10A. untuk cakupan pengukuran dari 100? sampai 30M? (FSD). Saklar pemilih fungsi memberi pilihan cakupan Volt Amper dan Ohm. Multimeter ini dirancang menggunakan penguat IC monolitik dengan penguat masukan berupa FET, sehingga tahanan input tinggi (10 – 20M?), sehingga dapat mengurangi kemungkinan kesalahan ukur yang disebabkan oleh pembebanan rangkaian yang di uji.

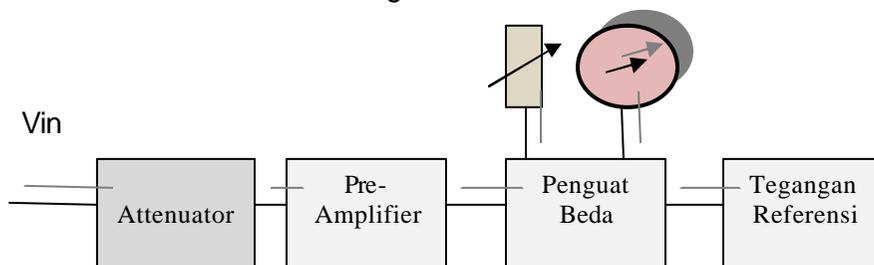


Gambar 2-30. Multimeter elektronik

2.4.3. Multimeter Elektronik Fungsi Tegangan DC

Voltmeter elektronik menggunakan penggerak meter analog yang dikendalikan oleh suatu rangkaian

elektronik seimbang seperti ditunjukkan pada gambar 2-31 di bawah ini.



Gambar 2-31. Rangkaian voltmeter DC elektronik

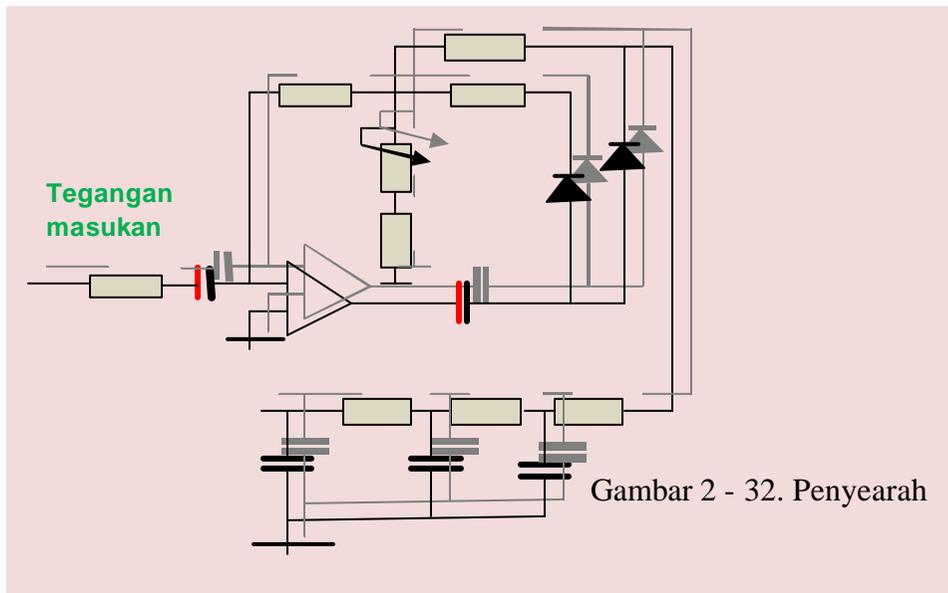
Rangkaian penguat beda terdiri transistor Q_2 dan Q_1 membentuk rangkaian jembatan seimbang, untuk keseimbangan ini dilengkapi dengan R variabel serta dilengkapi Q_3 menggantikan R_E dengan kelebihan kemampuan mencapai CMRR (Common Mode Rejection Ratio) yang tinggi. Penguat depan menggunakan JFET Q_1 dalam konfigurasi rangkaian source follower berfungsi sebagai transformasi impedansi antara masukan dan base dari transistor Q_2 sumber arus konstan. Kelebihan penguat depan FET kemampuannya dalam mencapai impedansi masukan yang tinggi. Bila tegangan tidak diketahui V_s nol, $I_2 = I_b$, $V_{E2} = V_E$, sehingga tidak ada arus mengalir pada penggerak meter sehingga $I_m = 0$.

Pada kondisi ini tegangan bias Q_3 mendapat bias dan bias transistor Q_2 merupakan fungsi dari beda tegangan pada R_s . Bila masukan diberi tegangan positif V_s , bias pada Q_2 bertambah sehingga V_{E2} bertambah sehingga tegangan V_{E2} lebih besar dari pada V_{E3} dan mengalir arus I_m sehingga jarum menyimpang sebanding dengan besarnya V_s . Pada fungsi pengukuran tegangan AC menggunakan attenuator kompensasi karena attenuator menggunakan resistor presisi kebanyakan berupa sejenis wire-wound. Resistor yang demikian memiliki induktansi yang signifikan, pengaruh induktansi di seimbangkan dengan pemasangan kapasitor paralel.

2.4.4. Multimeter Elektronik Fungsi Tegangan AC

Rangkaian dasar voltmeter elektronik seperti di atas hanya digunakan untuk tegangan DC. Untuk memenuhi kebutuhan

pengukuran tegangan AC beberapa bagian harus ditambahkan pengubah tegangan AC ke DC.



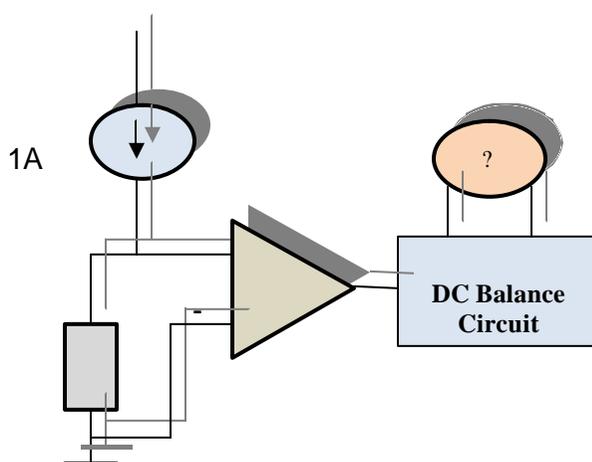
Gambar 2 - 32. Penyearah

Rangkaian penyearah ditunjukkan pada gambar 2-32. menggunakan rangkaian Op-Amp sebagai penyearah presisi. Karakteristik non linier dari dioda PN-junction D1 dan D2 dalam arah maju memberi umpan balik negatif. Low pass filter mengeluarkan pulsa DC diumpankan ke rangkaian analog penyeimbang atau Voltmeter ke digital. Kebanyakan voltmeter AC dikalibrasi dalam rms, ini tidak akan terbaca harga rms sebenarnya, tanpa sinyal masukan berbentuk gelombang sinus murni.

2.4.5. Multimeter Elektronik Fungsi Ohm

Jika arus konstan mengalir pada R yang tidak diketahui, nilai tegangan drop pada R akan memberikan data yang tidak diperlukan untuk dihitung nilai resistansinya dengan persamaan $R_X = V/I$ sesuai dengan rangkaian ohmmeter elektronik dapat dibentuk seperti dalam gambar 2-33. arus keluaran dari sumber arus konstan dan besarnya penguat tegangan dari penguat DC diatur dengan saklar pemilih sehingga dapat mengakomodasi pengukuran resistansi skala penuh dari milli ohm hingga mega ohm. Ohmmeter menggunakan baterai

1,5V atau lebih akan memberi bias maju dioda bila instrumen digunakan dalam rangkaian solid state, mengingat rangkaian 2-33 menggunakan level tegangan rendah tidak mampu memberi bias maju dioda. Bila demikian ohmmeter elektronik menjadi pilihan untuk digunakan menguji komponen yang membutuhkan tegangan bias seperti dioda, transistor. Beberapa Voltmeter elektronik yang diproduksi meliputi skala Ohmmeter daya tinggi sehingga dapat digunakan untuk pengetesan dioda dan transistor.



Gambar 2-33. Rangkaian ohmmeter elektronik

2.4.6. Parameter Multimeter Elektronik

2.4.6.1. Spesifikasi dan Parameter Multimeter Elektronik

Dalam pembahasan ini dipilih multimeter elektronik sanwa YX-360 TRe meskipun tidak sebagus multimeter elektronik Philip yang dibahas di atas. Dengan alasan meter ini mudah didapat, mudah digunakan dan kualitas memadai untuk banyak pemakaian.

2.4.6.1.1. Spesifikasi Umum

Tabel 2-3. Spesifikasi umum meter elektronik analog

Item	Spesifikasi
Proteksi rangkaian	Rangkaian dilindungi dengan sekering bila tegangan AC di atas 230V
Baterai dalam	UM-3 1,5V x 2
Sekering dalam	0,5A/250V 5,2mm Ø x 20mm
Kal temp standar/ dan cakupan kelembaban	23 ± 2 ° C 45-75% rRH
Temperatur kerja dan range	0-40 ° C 80% retmark tanpa kondensasi
Kelembaban	
Tahanan tegangan	3KV AC antara terminal input dan case
Dimensi dan berat	159,5 x 129 x 41,5 mm / mendekati 320 gr
Assesoris	Salinan pedoman instruksi (instruction manual)

2.4.6.1.2. Cakupan Pengukuran dan Akurasi

Probe pengukuran dilengkapi untuk pengukuran tegangan DC tinggi hingga mencapai 25 KV.

Tabel 2-4. Probe multimeter pengukuran tegangan tinggi

HV (DC)	DC 25KV	HV – 10 T
High Volt		probe
hFE	1000 pada cakupan x 10	HFE – 6T probe

Tabel 2-5. Cakupan pengukuran dan akurasi

Fungsi	Akurasi	Catatan
DC V 0,1 0,25 / 2,5 / 10 / 50 250	$\pm 5\%$ dari skala penuh $\pm 3\%$ dari skala penuh $\pm 3\%$ dari skala penuh	Zi 20K? /V 9K? /V
AC V 10 / 50 /250	$\pm 4\%$ dari skala penuh	Zi 9K? /V 30Hz-100KHz dalam 3% fs (cakupan AC 10V) Tegangan drop 0,1V
DC A 50 uA 2,5mA/ 25mA /0,25	$\pm 3\%$ dari skala penuh $\pm 3\%$ dari skala penuh	Tegangan drop 0,25V
? 2K/20K/2M (1x) (10x) (x1K) 200M (x100K)	$\pm 3\%$ dari arc	Nilai tengah 20? Harga maks 2 K? Pengeluaran tegangan 3V
dB	-10dB \rightarrow 22dB Untuk 10VAC \rightarrow 62 dB	
L	0-150mA pd cakupan x 1 0-15mA pd cakupan x 10 0-150uA pd cakupan 1K? 0-15uA pd cakupan x 100	

2.4.6.2. Langkah Keselamatan Alat

Hal-hal yang harus diperhatikan sebagai tindak pencegahan terjadinya kecelakaan yang dapat merusakkan meter dan kesalahan hasil pengukuran.

1. Jangan menggunakan tester untuk pengukuran rangkaian listrik yang mempunyai kapasitas besar. Isikan sekering dalam tester 250V untuk mencegah terjadinya masalah-masalah pengukuran yang membahayakan keselamatan karena kesalahan pengaturan range.
2. Yakinkan sekarang yang digunakan mempunyai spesifikasi (0,5A/250V ukuran 5.2 x 20 mm) Jangan pernah mengganti ataupun menghubungkan singkat.
3. Jangan pernah menyentuh kaki tester selama pengukuran
4. Jangan pernah operasikan tester dalam keadaan tangan basah, menempatkan meter pada tempat kelembaban tinggi atau sangat lembab.
5. Yakinkan bahwa lapisan dan kawat colok meter (lead tester) tidak berbahaya karena konduktornya terbuka jika colok meter berbahaya atau terbuka meter jangan digunakan.
6. Terdapat bahaya (electrical shock) kejutan listrik terutama bila digunakan untuk pengukuran tegangan di atas 60 V DC atau 25 Vrms AC.
7. Jangan melakukan pengukuran dengan case dibelakang atau menindihkan tutup meter

8. Setiap kali melakukan pengukuran yakinkan cakupan pengukuran tepat. Pengukuran dengan pengaturan cakupan salah atau melebihi cakupan pengukuran sebenarnya adalah berbahaya.
9. Jaga jangan sampai beban lebih terutama pada saat

mengukur tegangan atau arus yang mengandung sederetan pulsa.
Instrumen ini merupakan multimeter portabel dirancang untuk pengukuran rangkaian arus lemah.

2.4.7. Prosedur Pengoperasian

2.4.7.1 Persiapan pengukuran

Sebelum pengoperasian meter dilakukan sesuai fungsinya dilakukan persiapan pengukuran untuk mendapatkan hasil pengukuran terbaik. Langkah-langkah persiapan tersebut meliputi

1. Atur posisi nol meter tepat pada harga nol.

2. Putar posisi nol sehingga menunjuk lurus kanan menunjuk nol.
3. Pilih cakupan yang tepat untuk item yang diukur atur knob pemilih cakupan yang sesuai.



Gambar 2-34. Gambar skala jarum nol



Gambar 2-35. Gambar pemilih fungsi

Catatan untuk diperhatikan

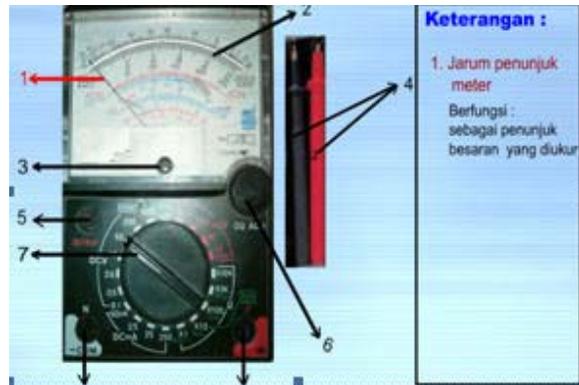
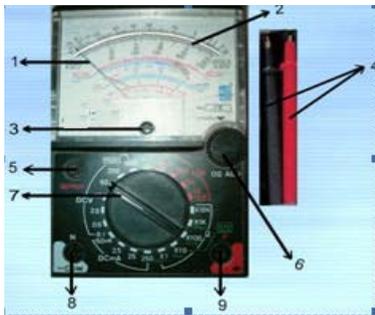
Dalam menentukan cakupan pengukuran, pilih cakupan tegangan yang lebih besar daripada nilai yang akan diukur

sebaiknya gunakan penunjuk masih dalam tingkat yang dapat dipertimbangkan yaitu 60 – 80% dari penunjukan maksimum.

2.4.7.2. Panel Depan dan Fungsi Multimeter

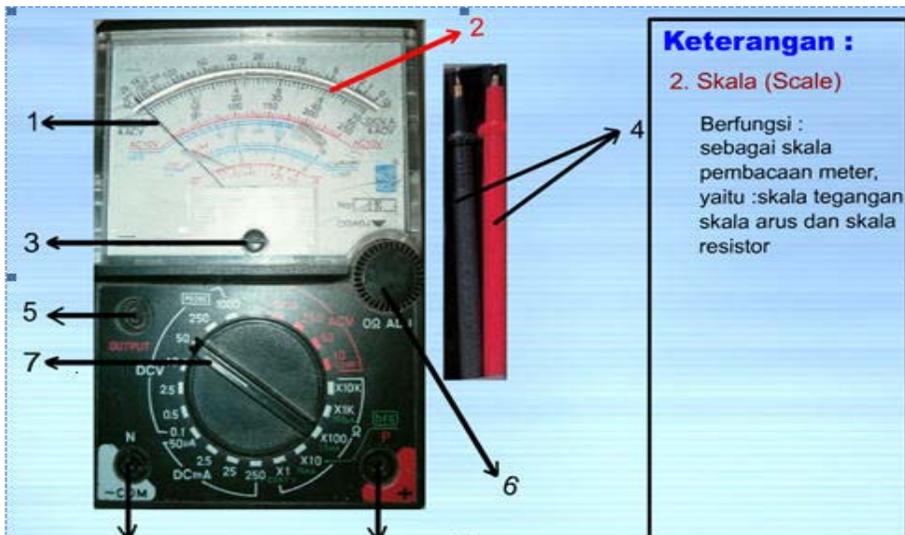
Pada panel depan meter mempunyai beberapa komponen yang berfungsi sebagai pengatur. Pengaturan dilakukan untuk mendapatkan fungsi yang sesuai serta hasil pengukuran yang optimal akurat. Disamping sebagai komponen pengatur juga terdapat beberapa informasi penting

berkaitan dengan parameter alat ukur seperti sensitivitas meter, cara pemasangan meter yang sesuai, besaran-besaran yang dapat diukur. Untuk meter Sanwa YX-360TRe mempunyai tombol-tombol pengaturan sebagai berikut.

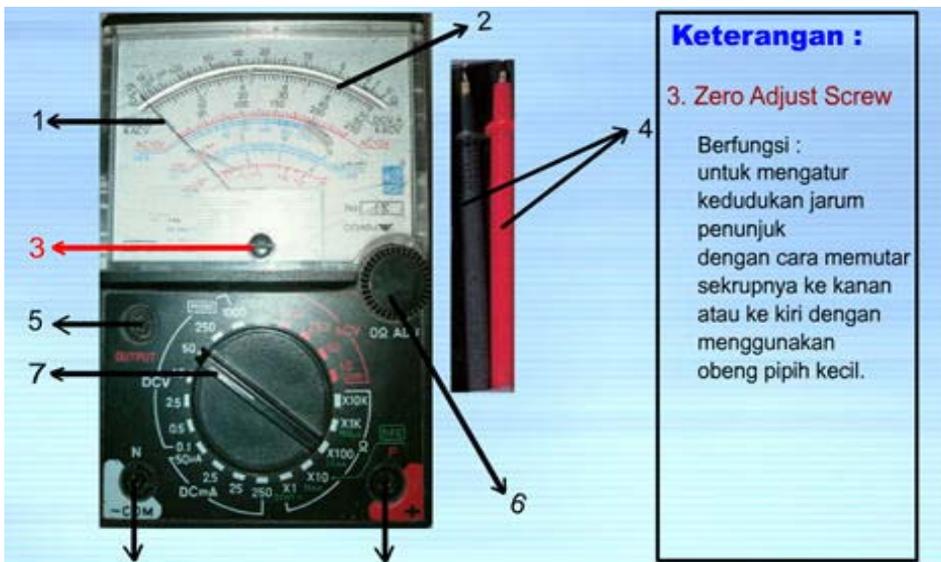


Gambar 2-36. Panel depan

Gambar 2-37. Fungsi jarum penunjuk



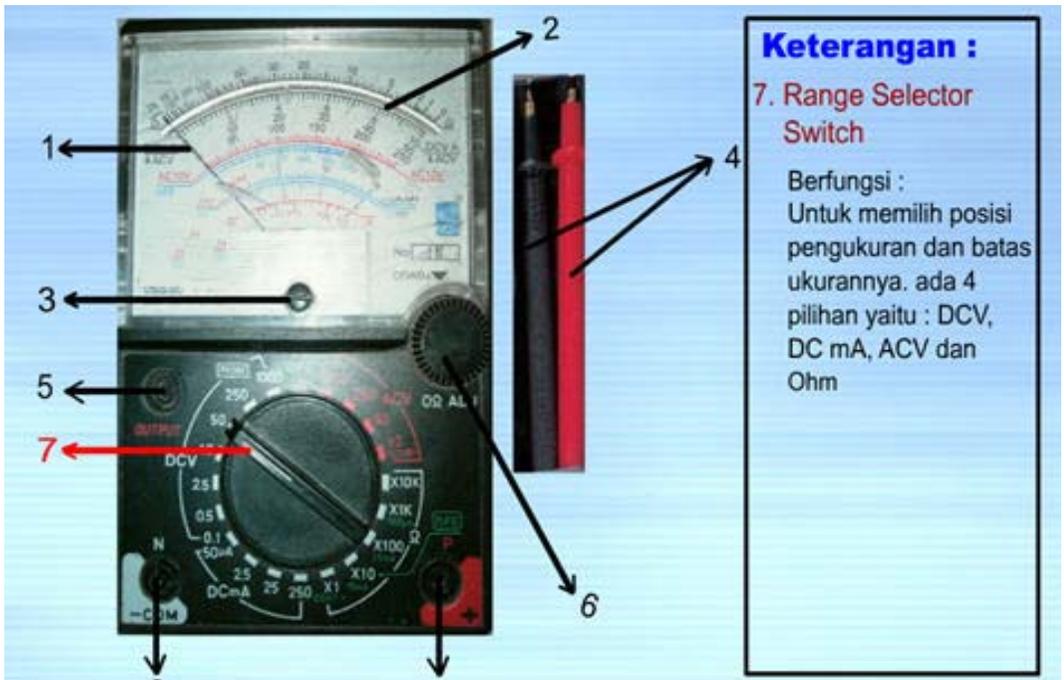
Gambar 2-38. Fungsi skala



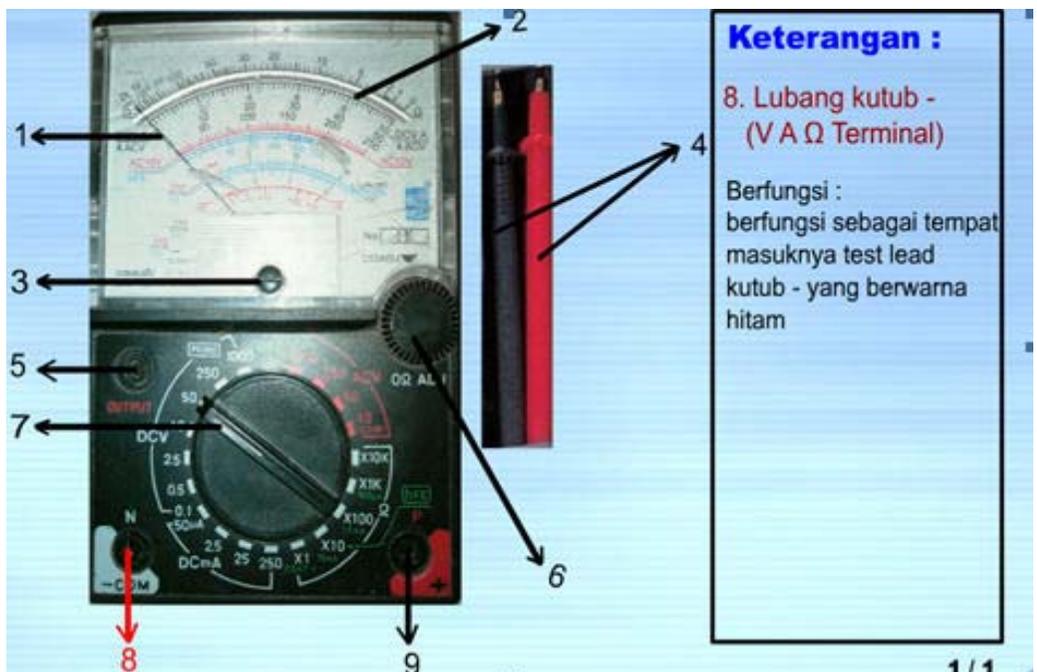
Gambar 2-39. Fungsi zero adjust screw



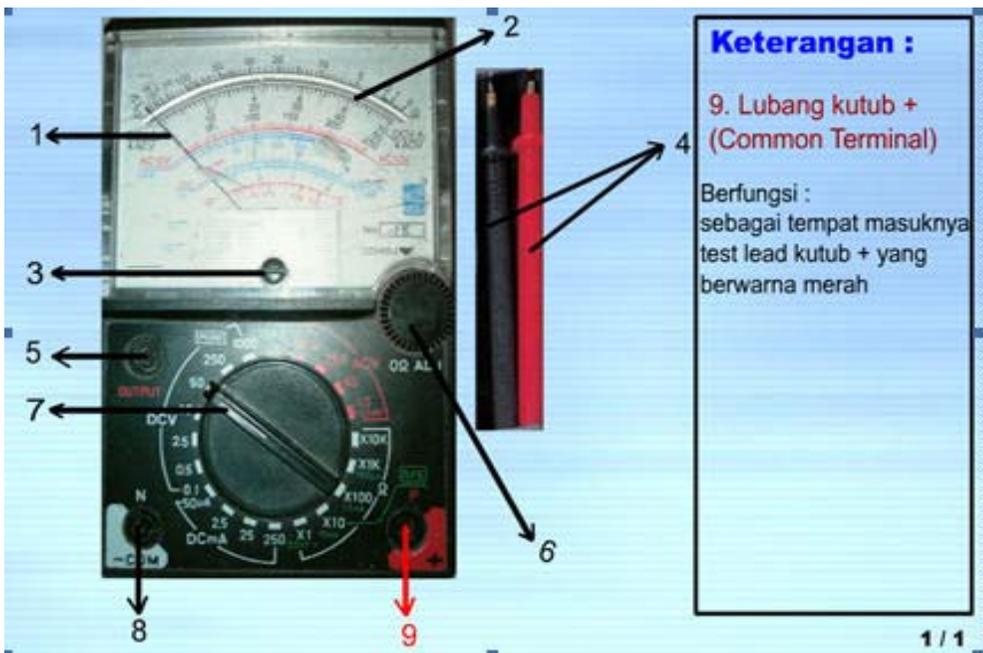
Gambar 2-40. Fungsi Ohm adjust knob



Gambar 2-41. Fungsi selector switch



Gambar 2-42. Fungsi lubang kutub (VA? terminal)



Gambar 2-43. Fungsi lubang kutub + (common terminal)

2.4.7.3. Pengukuran Tegangan

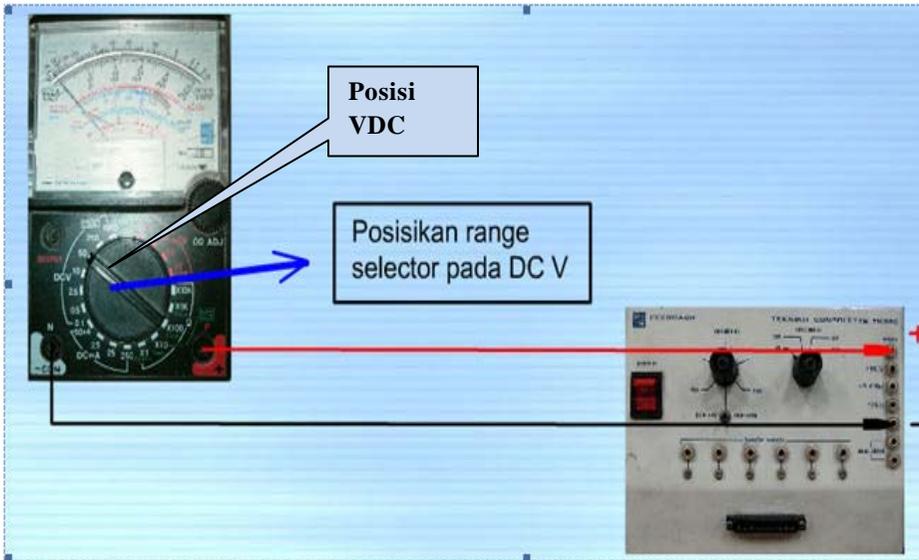
2.4.7.3.1. Pengukuran Tegangan DC

1. Atur knob pemilih cakupan pada cakupan yang tepat.



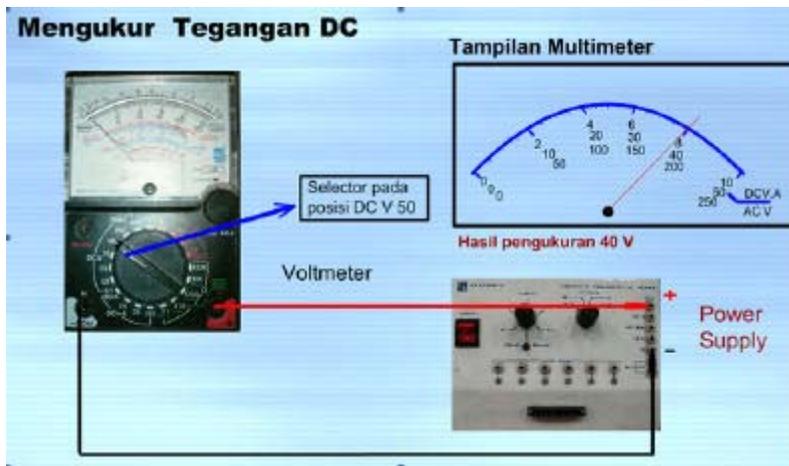
Gambar 2-44. Knob pemilih range

- Gunakan colok hitam pada tegangan negatif dari rangkaian yang diukur dan colok merah pada tegangan positif



Gambar 2-45. Rangkaian pengukuran tegangan DC

- Baca gerakan penunjuk tegangan dan skala DCV A.



Gambar 2-46. Penunjukan pengukuran tegangan DC

- Bila penunjukan kecil tak terbaca, cek kembali apakah rangkaian sudah benar.
- Bila rangkaian sudah yakin benar, pindahkan pelan-pelan knob pemilih cakupan hingga penunjuk berada pada posisi yang mudah dibaca.
- Hindari pengawatan pengukuran tegangan DC yang salah seperti gambar di bawah.



Gambar 2-47. Pengawatan pengukuran tegangan DC salah

2.4.7.3.2. Pengukuran Tegangan AC

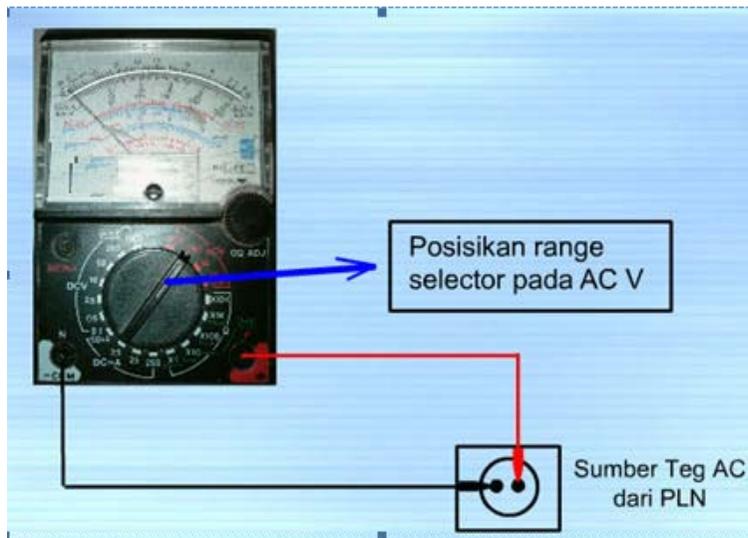
1. Pindahkan knob pemilih cakupan pada cakupan AC V yang tepat



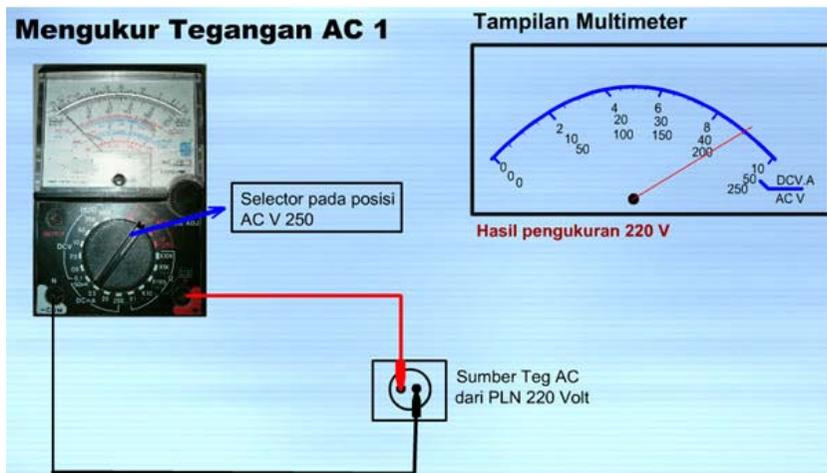
Gambar 2-48. Knob pemilih range

2. Pasangkan colok meter pada rangkaian yang diukur secara paralel.
3. Baca gerakan jarum penunjuk dengan skala V dan A (gunakan batas ukur 250 V AC pada pengukuran sumber tegangan AC dari PLN).
4. Karena instrumen ini bekerja pada sistem nilai pengukuran rangkaian tegangan AC gelombang sinus, maka bila

digunakan pada bentuk mungkin terjadi kesalahan.
gelombang AC lainnya



Gambar 2-49. Rangkaian pengukuran tegangan AC jala-jala PLN



Gambar 2-50. Penunjukan pengukuran tegangan AC

5. Baca hasil pengukuran dibaca pada skala AC V

2.4.7.4. Kalibrasi Voltmeter

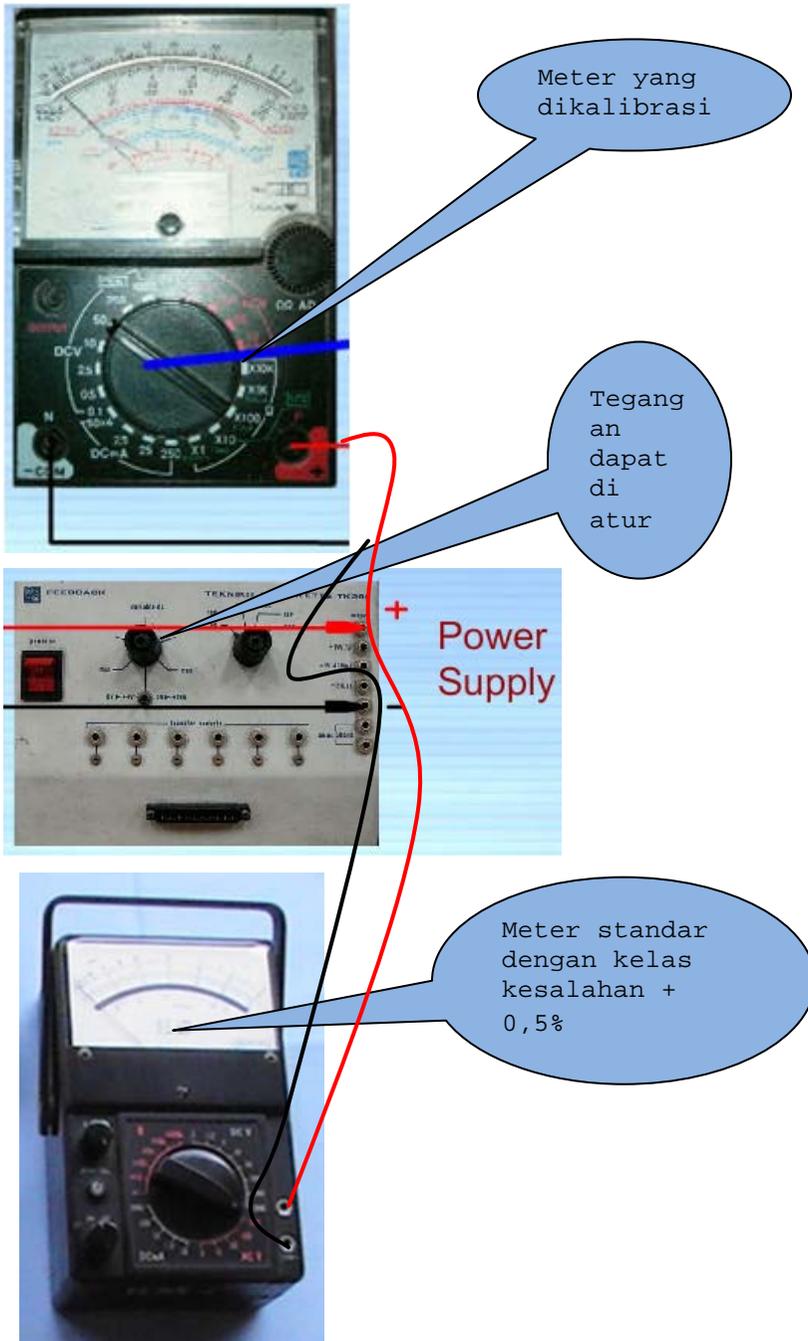
Kalibrasi diperlukan untuk melihat ketelitian tinggi yang sudah tingkat ketelitian meter diketahui. Karena kalibrasi dengan dibandingkan dengan meter meter standar mahal maka standar jika dimungkinkan atau mengkalibrasikan meter tidak perlu meter yang mempunyai tingkat semua meter dikalibrasikan pada

- lembaga yang berkompeten. Kalibrasi dapat dilakukan sendiri dengan membandingkan tingkat ketelitiannya dengan meter yang telah dikalibrasi. Prosedur kalibrasi dilakukan dengan langkah-langkah di bawah ini.
1. Pilih meter standar dengan tingkat ketelitian 0,1 % sampai 0,5 %.
 2. Rangkaian kalibrasi tegangan disusun seperti gambar di bawah ini.
 3. Batas ukur meter ditetapkan misal pada batas ukur 10 Volt
 4. Sumber tegangan diatur pada 10 Volt.
 5. Membuat tabel pengamatan
 6. Tegangan sumber divariasi sepanjang harga dari 0 sampai 10 Volt misal dengan jangkah pengaturan 2 Volt.

2.4.7.4.1. Kalibrasi Uji Kelayakan Meter

Meter dikatakan layak digunakan jika mempunyai kelas kesalahan yang diijinkan tergantung tempat meter digunakan. Meskipun meter pabrikan mempunyai kelas kesalahan kecil sejalan dengan umur pemakaian akan mempengaruhi ketelitian meter. Tuntutan ketelitian meter

laboratorium tentu berbeda dengan meter yang digunakan di bengkel. Meter hasil rakitan sebelum digunakan juga perlu diuji kelayakannya untuk dilihat tingkat kesalahannya. Misal hasil pengujian dalam tabel di bawah ini.



Gambar 2-51. Rangkaian kalibrasi tegangan

Tabel 2-6. Kalibrasi voltmeter

No	Meter standar (V)	Meter dikalibrasi (V)				Selisih (V)	Mutlak	Kelas Kes	
		V1	V2	V3	V rerata				
1	10	9.8	9.9	9.7	9.8	-0.2	0.2	2.50%	
2	8	7.8	7.9	8.0	7.9	-0.1	0.1		
3	6	5.95	5.90	6.0	5.95	-0.05	0.05		
4	4	4.0	3.9	3.8	3.9	-0.1	0.1		
5	2	2.0	1.8	1.9	1.9	-0.1	0.1		
6	0	0	0.2	0.4	0.2	0.2	0.2		
		Jumlah					-0.35	0.75	
						Rerata		0.25	

Keterangan :

V1 = hasil pengukuran ke-1

V3 = hasil pengukuran ke-2

V2 = hasil pengukuran ke-2

V rerata = $(V1+V2+V3)/3$

Perhitungan persen kesalahan :

Persen kesalahan dihitung dengan persamaan

$$= \{(\text{Rerata meter dikalibrasi} - \text{Meter standar}) / \text{Batas Ukur}\} \times 100\%$$

Kesalahan 2.5 % artinya harga penunjukkan meter yang dikalibrasi pada batas ukur 10 Volt mempunyai kesalahan rata-rata 2.5 % terhadap meter standar.

2.4.7.4.2. Harga koreksi relatif dan kesalahan relatif

Kesalahan dinyatakan dalam $\alpha = V - V_s$ merupakan selisih dari harga penunjukkan meter yang dikalibrasi dikurangi penunjukkan meter standar. Kesalahan relatif merupakan perbandingan antara

kesalahan terhadap harga penunjukkan meter standar.

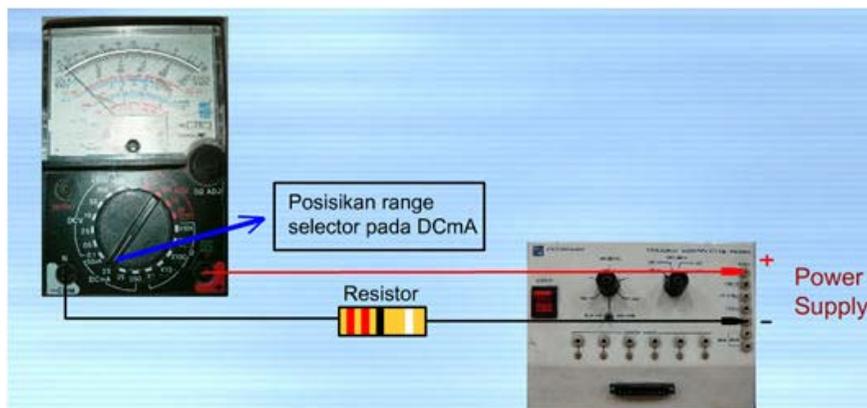
Harga koreksi dinyatakan $k = V_s - V$ merupakan selisih antara harga standar dan penunjukkan meter yang dikalibrasi.

Tabel 2-7. Kesalahan dan koreksi relatif

No	Meter standar	Meter dikalibrasi				Kesalahan	Kesalahan relatif (%)	Koreksi	Koreksi relatif (%)	
		V1	V2	V3	Vrerata					
1	10	9.9	9.8	9.7	9.8	-0.2	-2.00	0.2	2.04	
2	8	8,0	7.9	7.8	7.9	-0.1	-1.25	0.1	1.27	
3	6	5.95	6.0	5.90	5.95	-0.05	-0.83	0.05	0.84	
4	4	4.0	3.8	3.9	3.9	-0.1	-2.50	0.1	2.56	
5	2	1.8	2.0	1.9	1.9	-0.1	-5.00	0.1	5.26	
6	0	0	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	-0.2	-100	
			Rerata					-1.93		-14.67

2.4.7.5. Pengukuran Arus DC

1. Pemasangan meter seri terhadap beban yang akan di ukur arusnya.



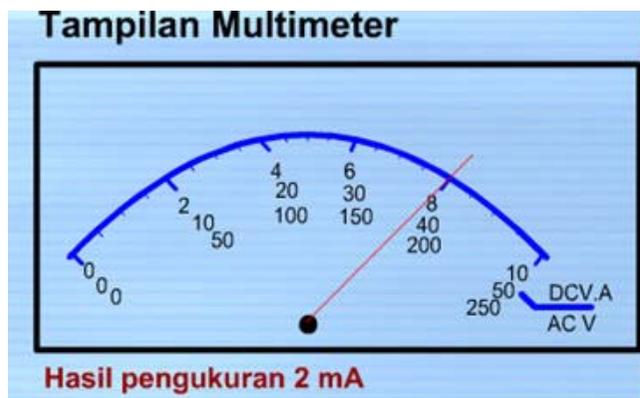
Gambar 2-52. Gambar rangkaian pengukuran arus DC

2. Atur knob pemilih cakupan mendekati cakupan yang tepat atau di atas cakupan yang diprediksi berdasarkan perhitungan arus secara teori.



Gambar 2-53. Knob pemilih range

3. Bila yakin rangkaian telah benar, hidupkan sumber tegangan dan baca gerakan jarum penunjuk pada skala V dan A. Hasil pembacaan baik bila posisi jarum lebih besar dari 60% skala penuh meter.



Gambar 2-54. Skala penunjukan arus DC

4. Bila simpangan terlalu kecil, lakukan pengecekan apakah cakupan sudah benar dan pembacaan masih dibawah cakupan pengukuran di bawahnya bila ya, matikan power supply pindahkan knob pada cakupan yang lebih kecil.



Gambar 2-55. Knob pemilih range

5. Nyalakan kembali sumber tegangan baca jarum penunjuk hingga pada posisi yang mudah dibaca.
6. Hindari kesalahan pemasangan polaritas sumber tegangan, karena akan menyebabkan arah simpangan jarum berlawanan dengan seharusnya. Bila arus terlalu besar dapat merusakkan jarum penunjuk.



Gambar 2-56. Rangkaian pengukuran arus DC yang salah

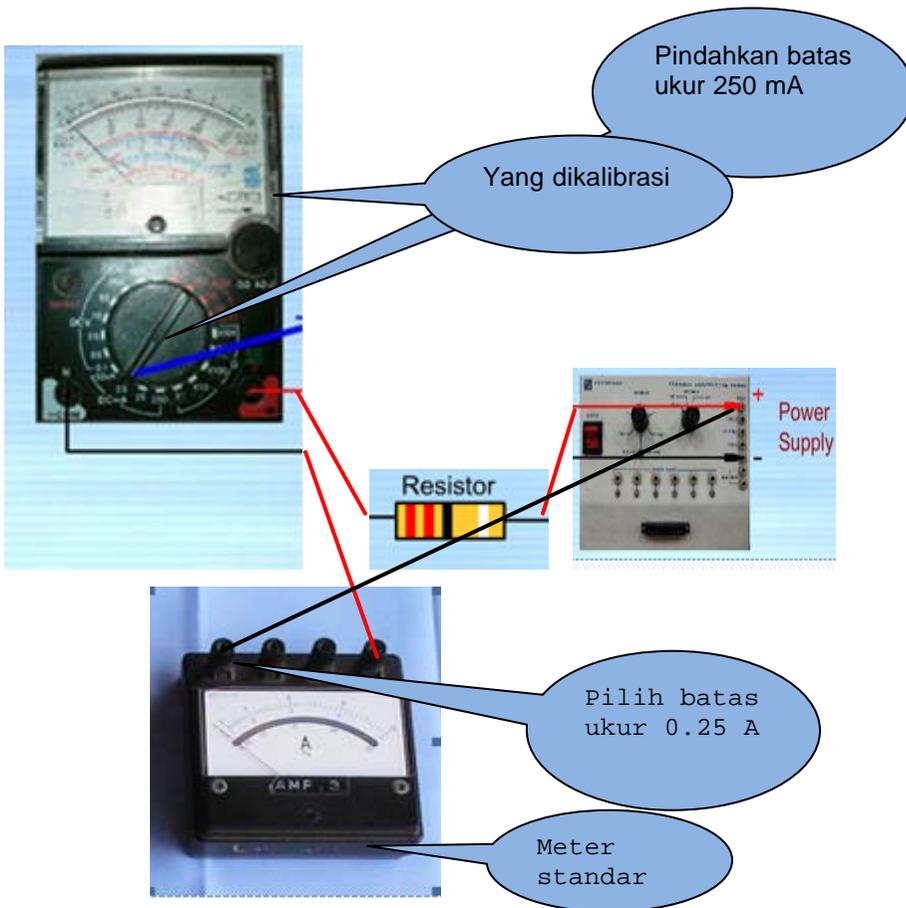
2.4.7.1.1. Kalibrasi Arus

Kalibrasi diperlukan untuk melihat tingkat ketelitian meter dibandingkan dengan meter standar jika dimungkinkan atau meter yang mempunyai tingkat

ketelitian tinggi yang sudah diketahui. Karena kalibrasi dengan meter standar mahal maka mengkalibrasikan meter tidak perlu semua meter dikalibrasikan

pada lembaga yang berkompeten. Kalibrasi dapat dilakukan sendiri dengan membandingkan tingkat ketelitiannya dengan meter yang telah dikalibrasi. Prosedur kalibrasi dilakukan dengan langkah-langkah di bawah ini.

1. Pilih meter standar dengan tingkat ketelitian 0,1 % sampai 0,5 %. Misal meter standar yang digunakan mempunyai kelas kesalahan 0,5%.
2. Rangkaian kalibrasi arus disusun seperti gambar di bawah ini



Gambar 2-57 Rangkaian kalibrasi arus

3. Batas ukur meter ditetapkan misal pada batas ukur 250 mA untuk yang dikalibrasi dan 250 mA meter standar.
4. Sumber tegangan diatur pada arus maks 250 mA.
5. Membuat tabel pengamatan
6. Tegangan sumber divariasikan sepanjang harga dari 0 sampai 250 mA misal dengan jangkauan pengaturan 25 mA.

7. Melakukan pengaturan tegangan sumber dan mencatat penunjukkan pada kedua meter hasil pengamatan misal dalam tabel di bawah ini.

Tabel 2-8. Kalibrasi arus

No	Meter standar (mA)	Meter dikalibrasi (mA)				Selisih (mA)	Mutlak	Kelas Kes
		A1	A2	A3	rerata			
1	250	260	255	250	255	5	5	1.01%
2	225	229	227	228	228	3	3	
3	200	202	204	203	203	3	3	
4	175	178	179	177	178	3	3	
5	150	152	152	154	153	3	3	
6	125	127	128	126	127	2	2	
7	100	98	99	97	98	-2	2	
8	75	71	73	72	72	-3	3	
9	50	50	48	49	49	-1	1	
10	25	25	27	29	27	2	2	
11	0	0.5	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	
Jumlah						15.7	27.7	
Rerata							2.52	

Keterangan :

A1 = hasil pengukuran ke -1
A2 = hasil pengukuran ke 2

A3= hasil pengukuran ke -3
rerata + (A1 + A2 + A3)/3

Perhitungan persentase kesalahan :

Persen kesalahan dihitung dengan persamaan
= {(Rerata meter dikalibrasi – Meter standar) / Batas Ukur} X 100%
Kesalahan 1 % artinya harga penunjukkan meter yang dikalibrasi pada batas ukur 250 mA mempunyai kesalahan rata-rata 1 % terhadap meter standar yang mempunyai kelas kesalahan 0,5%.

2.4.7.1.2. Harga koreksi relatif dan kesalahan relatif

Kesalahan dinyatakan dalam $\alpha = I_A - I_s$ merupakan selisih dari harga penunjukkan meter yang

dikalibrasi dikurangi penunjukkan meter standar. Kesalahan relatif merupakan perbandingan antara kesalahan terhadap harga penunjukkan meter standar.

Harga koreksi dinyatakan $k = \frac{I_s - I_A}{I_A}$ penunjukkan meter yang merupakan selisih dikalibrasi. antara harga standar dan

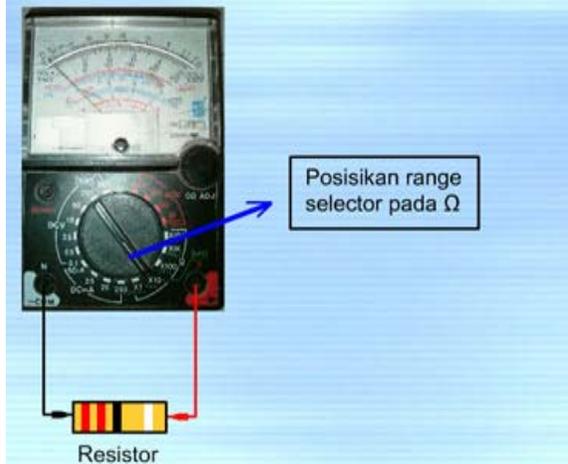
Tabel 2-9. Kesalahan dan koreksi relatif

No	Meter standar (mA)	Meter dikalibrasi (mA)				Kesalahan	Kesalahan Relatif (%)	Koreksi	Koreksi relatif (%)
		A1	A2	A3	rerata				
1	250	250	255	260	255	5	2.00	-5	-1.96
2	225	229	228	227	228	3	1.33	-3	-1.32
3	200	200	203	206	203	3	1.50	-3	-1.48
4	175	177	178	179	178	3	1.71	-3	-1.69
5	150	152	153	154	153	3	2.00	-3	-1.96
6	125	126	127	128	127	2	1.60	-2	-1.57
7	100	99	98	97	98	-2	-2.00	2	2.04
8	75	72	73	74	72	-3	-4.00	3	4.17
9	50	50	49	48	49	-1	-2.00	1	2.04
10	25	28	27	26	27	2	8.00	-2	-7.41
11	0	0.6	0.8	0.8	0.7	0.7	0.00	-0.7	-100.00
Jumlah						15.7	10.15	0	-109.13
Rerata							0.92		-9.92

2.4.8. Pengukuran Tahanan

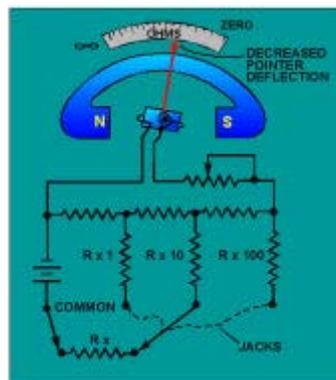
1. Jangan mengukur resistansi rangkaian yang ada tegangannya.
2. Putar knob pemilih cakupan pada cakupan ? yang tepat.

Cara pemasangan Ohmmeter :



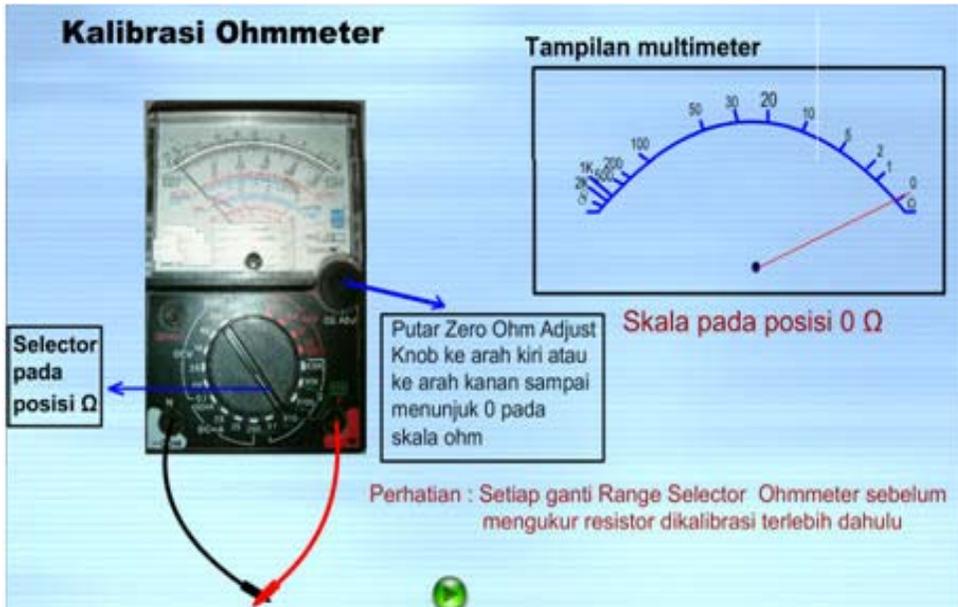
Gambar 2-58. Cara pemasangan ohmmeter

Secara rangkaian pemilihan sebagai pada penambahan cakupan skala pengukuran atau batas ukur ampermeter. pengali sebenarnya adalah Pemindahan tersebut ditunjukkan memilih resistansi shunt gambar di bawah ini.



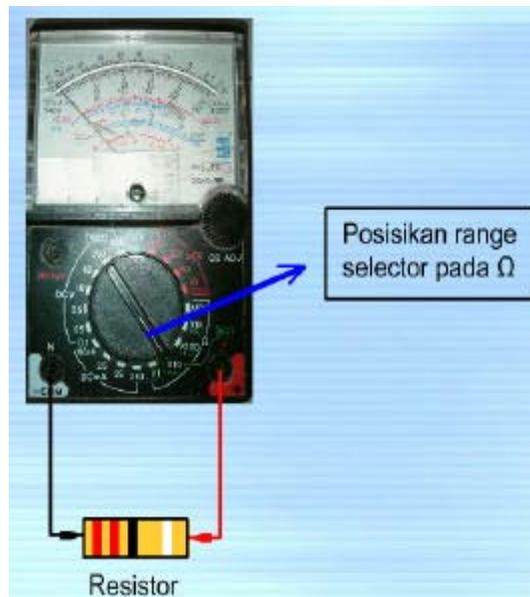
Gambar 2-59. Posisi pemindahan cakupan ohmmeter

- Hubung singkat kaki meter merah dan hitam dan putar pengatur nol ohm, sehingga penunjuk lurus pada 0 ? (jika penunjuk gagal berayun ke nol ? meskipun pengatur penunjuk nol ohm sudah diputar penuh searah jarum jam, gantilah baterai yang berada di dalam meter dengan baterai yang baru).



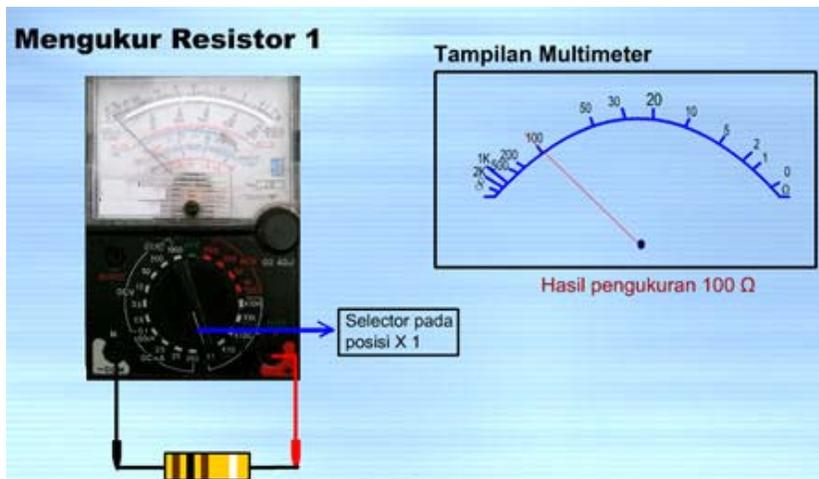
Gambar 2-60. Kalibrasi ohmmeter

4. Tempatkan kaki meter pada resistansi yang diukur.



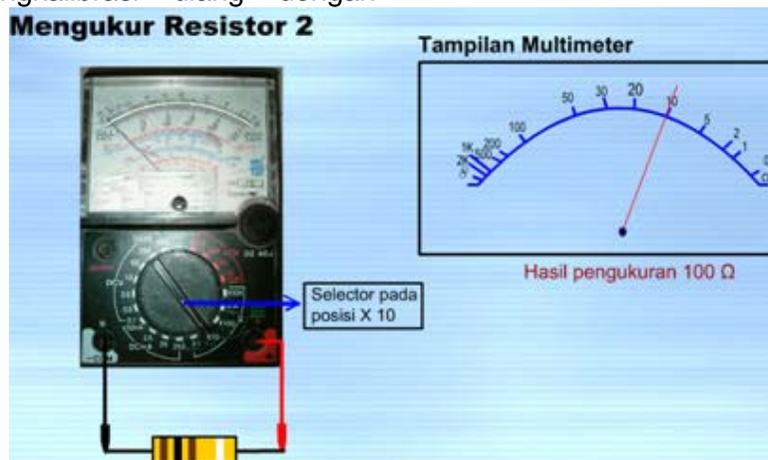
Gambar 2-61. Penempatan resistor pada pengukuran ohm

5. Baca jarum penunjuk pada skala



Gambar 2-62. Penunjukan hasil pengukuran ohm

6. Jika akan mengganti posisi cakupan x10, maka sebelum mengukur hambatan harus mengkalibrasi ulang dengan menghubungkan singkat colok meter, baru dilakukan pengukuran yang dikehendaki .



Gambar 2-63. Rangkaian pengukuran resistansi

Catatan untuk diperhatikan

1. Polaritas + dan - baterai berlawanan dengan polaritas colok meter pada saat pengukuran resistansi.
2. Cara mengganti baterai
 - Lepaskan sekrup pengunci di belakang.



Gambar 2-64 Membuka sekrup pengunci

- Keluarkan baterai kering UM-3
- Ganti dengan baterai yang baru
- Letakkan kembali case belakang seperti semula dan kencangkan sekrupnya.



Gambar 2 - 65. Bagian belakang meter

2.4.9. Pengukuran Keluaran Penguat Audio Frekuensi (dB)

Desibel (dB) diukur caranya sama seperti pengukuran tegangan AC dibaca pada skala dB (decebell). Pada pengukuran cakupan 10 Volt dibaca langsung pada skala dB (-10dB - +22dB) tetapi pada saat pengukuran cakupan 50

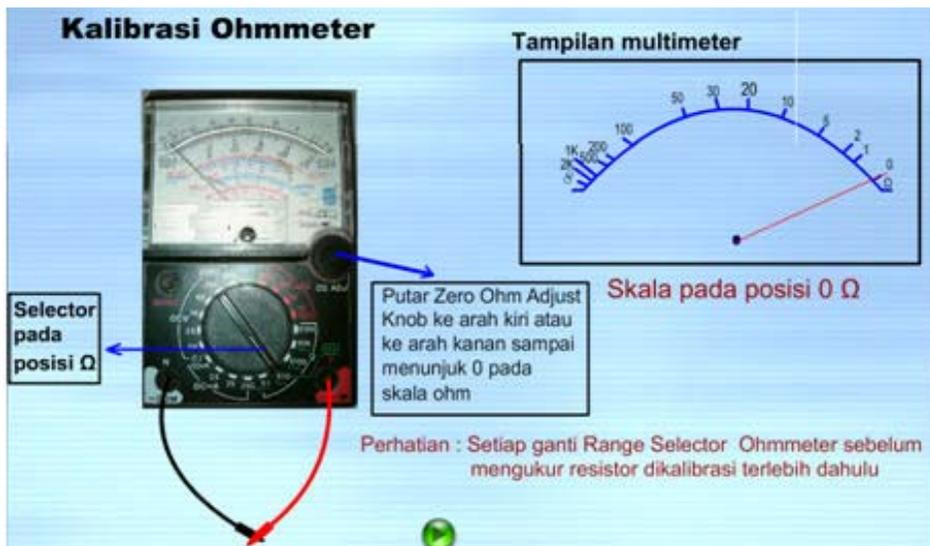
Volt ditambah 14 dB, pada cakupan 250V ditambah 28 dB dan pada cakupan 1000V penambahnya 40dB. Jadi dB maksimum yang terbaca $22+40=62$ dB diukur pada cakupan 1000V.



Gambar 2 - 66. Posisi skala dB meter

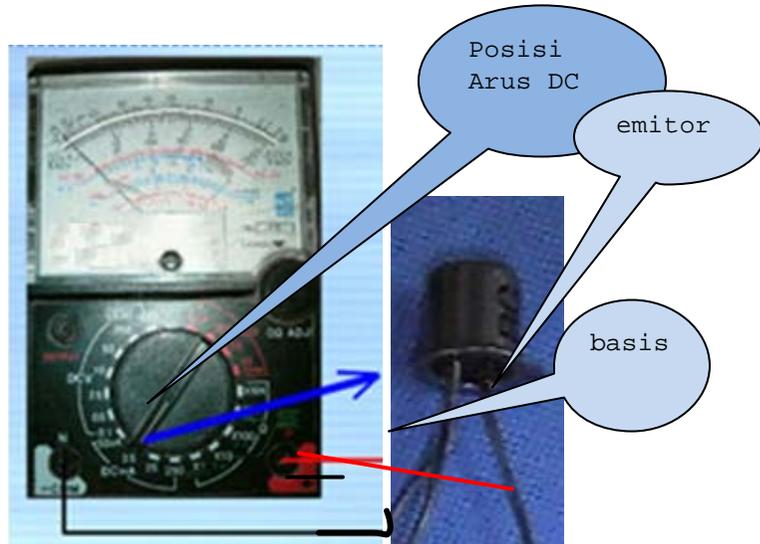
2.4.10. Pengukuran Arus Bocor (ICEO) transistor

1. Pertama lakukan kalibrasi ohmmeter dengan menghubungkan kedua colok meter dan mengatur posisi jarum ke 0 ? dengan menset knob pemilih cakupan pada cakupan yang tepat dari 1X sampai dengan X1k.



Gambar 2-67. Pengenalan sebelum mengukur hambatan

2. Untuk transistor NPN tempatkan colok berwarna hitam pada kolektor dan colok meter merah pada kaki emitor untuk transistor PNP sebaliknya.



Gambar 2-68. Pengukuran arus bocor transistor NPN

3. Arus bocor dibaca pada skala ICEO yang diindikasikan skala (dalam satuan μA , mA)



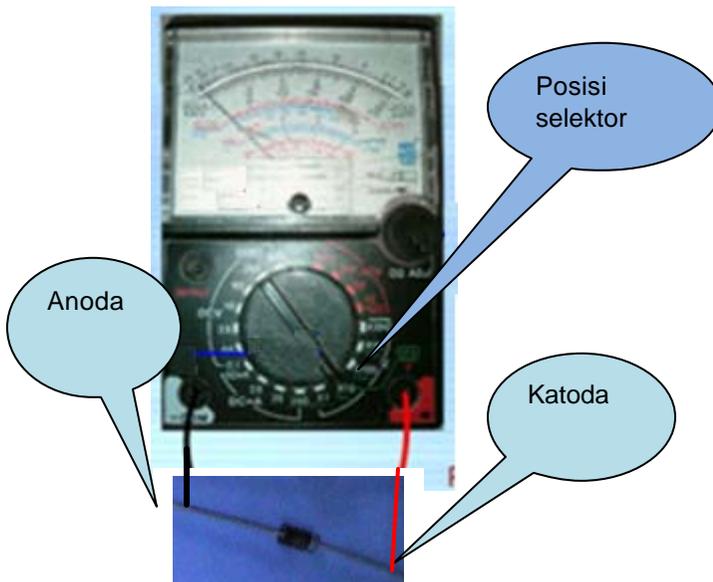
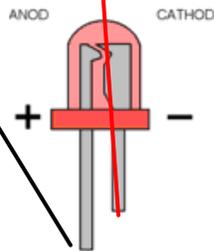
Gambar 2-69. Posisi skala pembacaan ICEO

2.4.11. Pengukuran Dioda (termasuk LED)

1. Atur 0 ? dengan mengatur knob pemilih range, pada cakupan yang tepat dari x1 sampai dengan x 100 K (1,5 μA).
2. Tempatkan colok meter hitam pada kaki Anoda dan colok meter merah ke katoda pada saat pengukuran IF (arus bias maju).

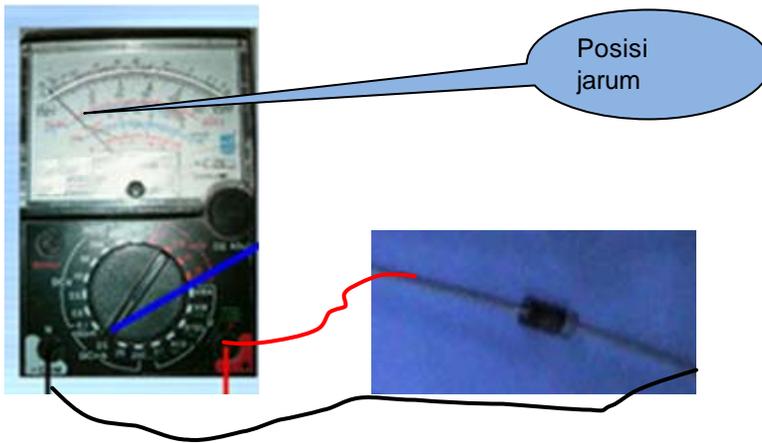
Pasangkan colok hitam meter ke kaki katoda dan colok merah meter ke kaki-kaki anoda pada mengukur IR (arus reverse).

Gambar 2-70.
Rangkaian
pengetesan LED
dengan ohmmeter



Gambar 2-71. Pengukuran arus I_F dioda bias maju

4. Baca harga nilai penunjukan meter dengan skala L1 (gerakan jarum penunjuk cukup besar untuk IF dan kecil untuk IR).



Gambar 2-72. Pengukuran arus I_R dioda bias mundur

5. Nilai yang ditunjukkan pada skala LV selama pengukuran dioda bias tegangan maju.



Gambar 2-73. Posisi skala pembacaan LV

2.4.12. Pengukuran Kapasitor

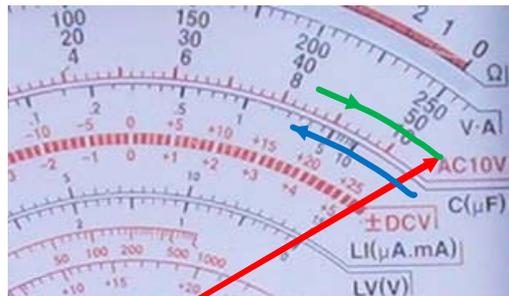
Pengukuran kapasitor dengan multimeter dilakukan dengan prosedur sebagai di bawah ini.

- 1 Atur knob pemilih cakupan pada C(μ F).
- 2 Kapasitansi diukur dengan menyentuhkan colok meter pada kaki kapasitor yang diukur

- 3 Jarum akan bergerak ke skala penuh karena mendapatkan muatan dari arus meter. Oleh karena itu jarum akan bergerak naik (arah panah hijau), setelah pengaturan nol ?, selanjutnya dilakukan seperti pada pengukuran resistansi.

kemudian kembali menuju nol (arah panah biru). Nilai kapasitor dibaca pada saat

jarum menunjuk harga maksimum pada skala C(μ F).



Gambar 2-74. Gerakan jarum pengukuran kapasitor



Gambar 2-75. Posisi skala kapasitor

2.4.13. Pengetesan Komponen

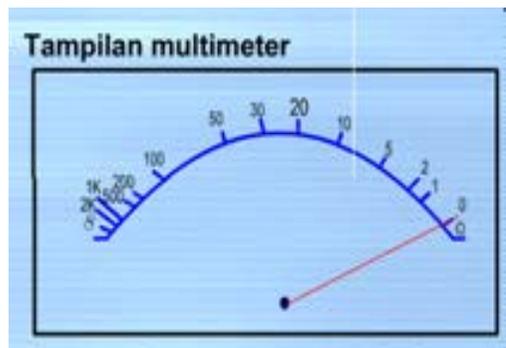
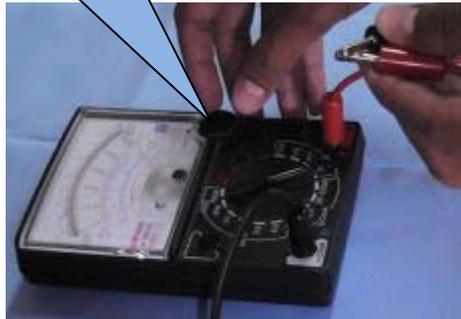
Meter elektronik yang diproduksi dengan skala Ohmmeter daya tinggi dapat digunakan untuk pengetesan dioda, transistor dan SCR daya rendah.

2.4.13.1. Pengetesan Dioda

Pengetesan dioda dilakukan untuk melihat konisi baik tidaknya dan atau untuk menentukan kaki elektroda dioda dengan benar. Pengetesan dioda dilakukan dengan prosedur sebagai berikut.

1. Tandai kutub positif baterai meter adakalanya polaritas baterai tidak sama dengan polaritas colok meter. Termasuk di dlamnya meter dalam pembahasan ini.
2. Melakukan kalibrasi ohmmeter dengan menghubungkan singkat kedua colok meter, jarum penunjuk ditepatkan pada nol melalui knob pengenolan jarum meter.

Diatur supaya jarum nol



Gambar 2-76. Pengenalan jarum ohmmeter

3. Setelah mengetahui baterai positif pada colok hitam meter dan polaritas negatif colok merah meter, polaritas baterai positif dihubungkan dengan anoda sedangkan polaritas negatif pada katoda dioda. Dioda kondisi baik jika jarum menyimpang menuju nol.
4. Jika semula tidak mengetahui elektroda dioda maka pada saat hubungan seperti tersebut di atas maka elektroda anoda adalah yang terhubung polaritas positif baterai (colok meter hitam) dan elektroda katoda yang terhubung colok meter merah.
5. Hubungan dibalik untuk menguji bias balik dioda anoda yang semula mendapat positif baterai dihubungkan dengan polaritas negatif katoda sebaliknya. Dioda dikatakan baik jika jarum meter tidak menyimpang.



Gambar 2-77. Pengetesan dioda bias maju



Gambar 2-78. Pengetesan dioda bias balik

2.4.13.2. Pengetesan Transistor

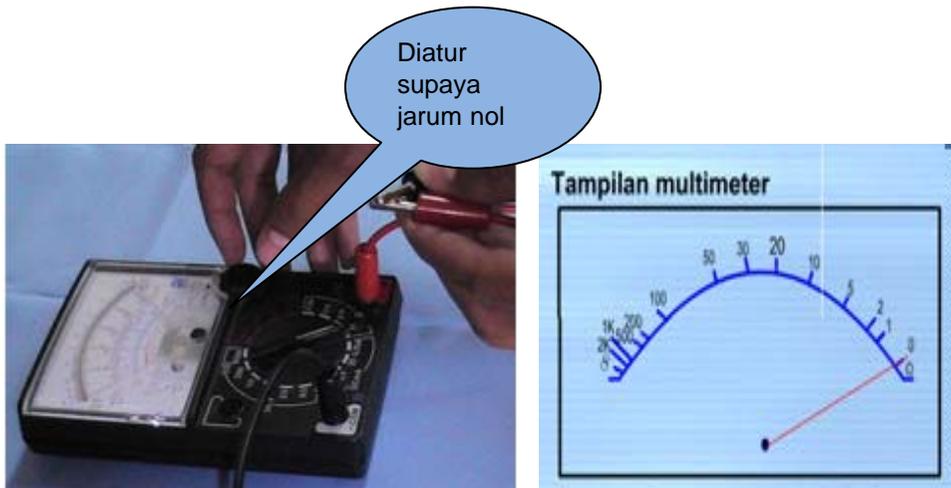
Pengetesan transistor dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Knob pemilih cakupan pengukuran pada posisi ohm X1 atau X100



Gambar 2-79. Knob selektor posisi ohmmeter

2. Kalibrasi ohmmeter dengan menghubungkan kedua colok meter, knob pengendalian meter diatur untuk mendapatkan pembacaan tepat nol.



Gambar 2-80. Gambar kalibrasi ohmmeter

3. Pengetesan transistor NPN basis dihubungkan dengan colok hitam (+ baterai) dan emitor colok meter merah (- baterai).
4. Transistor dalam kondisi baik jika jarum meter menyimpang menuju nol.



Gambar 2-81. Pengetesan transistor NPN emitor negatif meter nunjuk nol

5. Colok meter merah dipindahkan dari emitor ke kolektor, transistor dalam kondisi baik jika jarum meter bergerak menuju nol.



Gambar 2-82. Pengetesan transistor NPN kolektor negatif meter nunjuk nol

6. Colok meter hitam dipindahkan dari basis diganti dengan colok meter merah, colok meter hitam dihubungkan dengan emitor. Transistor dalam kondisi baik jika jarum penunjuk tidak bergerak.



Gambar 2-83. Pengetesan basis emitor reverse

7. Colok meter hitam dipindahkan dalam kondisi baik jika meter dari emitor ke kolektor, transistor tidak bergerak.



Gambar 2-84. Pengetesan basis kolektor reverse

2.4.13.3. Pengetesan SCR

Silicon Controlled Rectifier atau lebih dikenal dengan SCR daya rendah dapat diukur dengan menggunakan ohmmeter daya tinggi. Pengetesan dilakukan dengan prosedur di bawah ini.

- 1 Tempelkan colok meter hitam (+baterai) dengan gate dan

anoda sekaligus, sedangkan colok meter merah dihubungkan dengan katoda. SCR dalam kondisi baik jika jarum meter bergerak menuju nol. Jika tidak maka sebaliknya.



Gambar 2-85. SCR Anoda gate dikopel katoda tegangan negatif

- 2 Lepaskan gate dari colok meter hitam sedang hubungan dengan anoda dipertahankan, SCR kondisi baik jika jarum

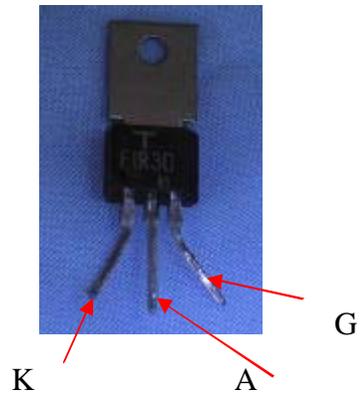
tetap pada posisi menunjuk di angka nol. Jika tidak maka sebaliknya.

- 3 Jika semula tidak mengetahui elektroda SCR, dapat ditemukan dengan menandai kaki yang dilepas jarum tetap posisi menunjuk nol adalah elektroda gate. Sedangkan elektroda yang mendapatkan colok meter hitam (+baterai) anoda dan yang mendapat colok merah (- baterai) adalah katoda.

- 4 Berdasarkan pengetesan tersebut diperoleh kesimpulan untuk SCR type FIR 3D mempunyai urutan elektroda katoda (K), anoda (A) dan gate (G).



Gambar 2-86. Gate dilepaskan posisi jarum tetap nol



Gambar 2 – 87. Elektroda SCR FIR 3D

2.4.14. Perawatan

2.4.14.1. Mengganti Sekering

Jika beban lebih di atas tegangan penyalan (kira-kira 100 V) diberikan pada DC A dan range, sekering tidak berfungsi sebagai pelindung rangkaian.

1. Lepaskan sekrup pengunci di belakang case dan pindahkan
2. Posisi sekering di papan rangkain tercetak bagian dalam meter.



Gambar 2 - 88. Pelepasan sekrup pengunci sekering



Sekering



Gambar 2 - 89.b. Sekering

Gambar 2-89.a Posisi sekering dalam PCB

2.4.14.2. Perawatan Penyimpanan Meter

1. Penyimpanan mencegah kejutan berturut-turut pada multimeter dari getaran oleh pembebanan pada sepeda motor atau sejenisnya.
2. Jaga multimeter dari debu kelembaban
3. Jangan meninggalkan multimeter untuk waktu yang lama di tempat temperatur tinggi (lebih tinggi dari 55°C) kelembaban tinggi (lebih tinggi daripada 80 %) dan mengandung embun.

2.4.15. Perbaikan

Jika meter gagal digunakan lakukan pengecekan berikut sebelum dikirim untuk di perbaiki

1. Apakah sekering tidak putus? . Untuk meyakinkan sekering tidak putus, sekering dikeluarkan dari tempatnya di papan rangkaian dan dilakukan pengetesan dengan ohmmeter. Sekering tidak putus jika jarum menyimpang menuju nol.



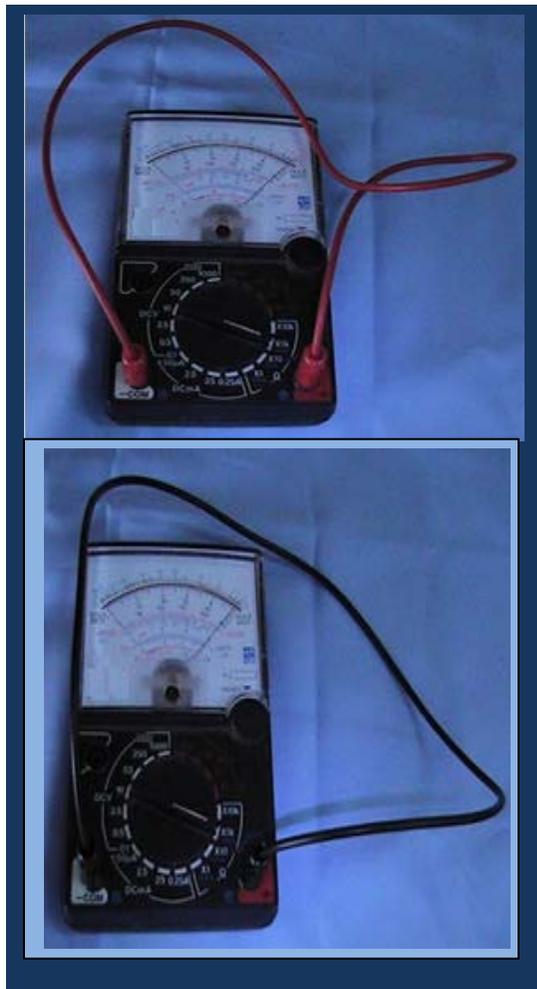
Gambar 2-90. Pengetesan sekering

2. Apakah baterai tidak habis ?
Pengecekan dilakukan dengan membuka meter dan mengukur tegangan baterai. Baterai baik jika jarum menyimpang dengan harga penunjukkan mendekati 9Volt. Dalam pengetesan ini baterai kondisi baik.



Gambar 2-91 Pengukuran baterai

3. Apakah colok meter tidak putus?
Pengecekan dilakukan dengan mengetes konduksi colok meter dengan ohmmeter. Pengetesan meter ini kondisi colok baik tidak putus.



Gambar 2-92. Pengecekan colok meter

2.5. Multimeter Elektronik Digital

Multimeter digital (**Digital Multi Meter**) tipikal ditunjukkan dalam gambar di bawah ini, memperagakan hasil pengukuran berupa angka diskrit ini lebih baik dari pada penunjukan simpangan jarum pada skala sebagaimana yang digunakan pada instrument analog. DMM bertambah populer karena harga instrument menjadi kompetitif. Keunggulan dibanding meter analog hasil pengukuran terbaca langsung mengurangi kesalahan manusia, kesalahan paralaks dan pengukuran lebih cepat. Pengembangan selanjutnya adanya otomasi

cakupan pengukuran dan polaritas sehingga dapat mengurangi kesalahan pengukuran dan lebih jauh lagi tidak ada kemungkinan kerusakan meter yang disebabkan oleh adanya beban lebih atau terbalik polaritasnya. Dalam beberapa kasus disediakan hard copy hasil pengukuran dalam bentuk kartu atau pita berlubang. Digital multimeter sampai sekarang masih terbatas dalam parameter non linier tidak dapat diukur. Lebih jauh lagi keakuratan sekarang ini tidak sebanding dengan harganya.

2.5.1. Bagian-bagian Multimeter Digital

Pencacah / Peraga

Bagian ini terdiri pencacah 3 ½ digit, memory, decoder dan piranti peraga. Bagian ini memiliki input, count, transfer dan reset. Dari bagian pencacah juga memberikan keluaran untuk mengontrol fungsi pengukuran analog.

Control Logic

Bagian ini berfungsi membangkitkan pulse yang diperlukan oleh rangkaian untuk perputaran masukan, dihitung dan mengontrol fungsi pencacah.

Master Clock

Rangkaian ini terdiri kristal osilator, pembagi frekuensi untuk pewaktuan semua pengukuran.

Pembentuk gelombang masukan (Input Wave Shaper)

Rangkaian ini difungsikan selama pengukuran frekuensi, perioda mengubah sinyal masukan ke dalam bentuk yang tepat untuk dihubungkan ke rangkaian logic.

Time Control

Fungsi bagian ini digunakan untuk memulai dan menghentikan pencacah pada saat pengukuran.

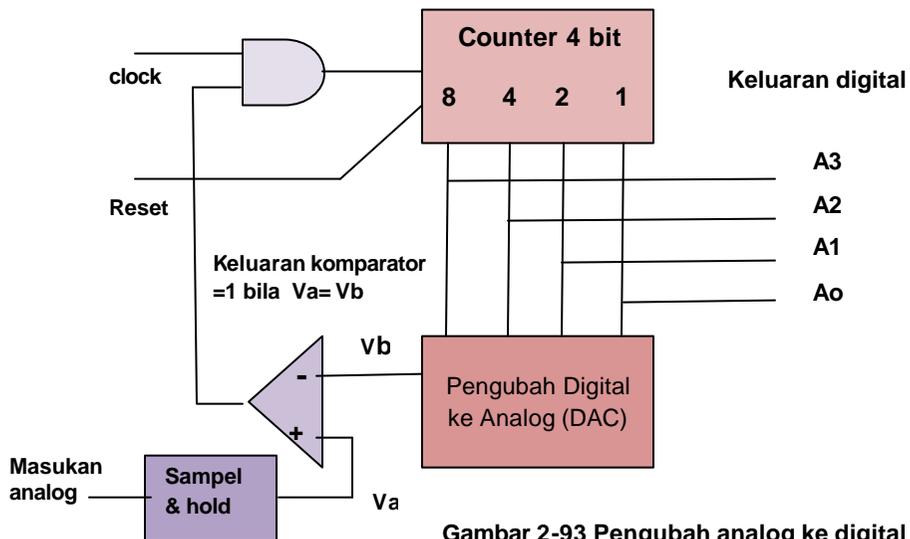
Voltmeter dan Pengubah Analog ke Digital

Bagian ini berisi rangkaian impedansi masukan yang tinggi, penyearah, pengubah tegangan ke waktu dual-ramp digunakan untuk pengukuran tegangan dan resistansi. Prinsip perubahan tegangan analog ke digital dijelaskan di bawah ini.

Pengubah Analog ke digital

Karena prinsip kerja dari rangkaian digital adalah 0 dan 1 atau ada dan tidak ada tegangan maka untuk sinyal analog yang bersifat kontinu harus diubah kedalam bentuk diskrit. Alat ini dinamakan pengubah analog ke digital atau ADC (Analog to digital converter).

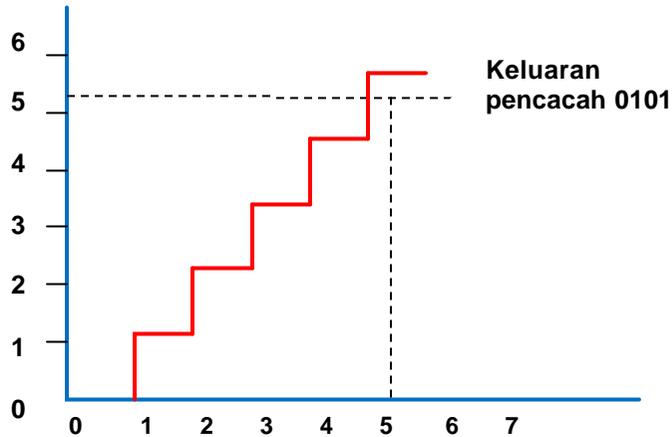
Satu dari metode pengubah analog ke digital yang paling sederhana menggunakan tiga elemen utama yaitu pencacah, pengubah digital ke analog dan komparator dirangkai seperti gambar 2-93. Untuk kesederhanaan kontrol logika dihilangkan dari diagram.



Gambar 2-93 Pengubah analog ke digital

Pada siklus awal counter direset sehingga memberikan keluaran nol. Demikian juga keluaran pengubah digital ke analog $V_b = 0$ volt, ini diaplikasikan pada salah satu masukan komparator. Tegangan analog masukan diberikan melalui rangkaian sampel hold keluarannya V_a diumpankan pada masukan lain dari komparator. Sepanjang tegangan analog V_a masih lebih besar dari V_b keluaran komparator akan berlogika 1 dan gerbang

AND enable mengikuti pulsa-pulsa clock yang masuk pencacah. Pencacah menghitung diawali dari nol. Setiap menghitung keluaran tegangan pengubah digital ke analog V_b bertambah satu tangga (Gambar 2-94). Ini akan berlanjut sampai tangga bentuk gelombang melampaui nilai tegangan sinyal analog V_a , pada saat inilah keluaran komparator nol gerbang disable dan menghentikan perhitungan pencacah.

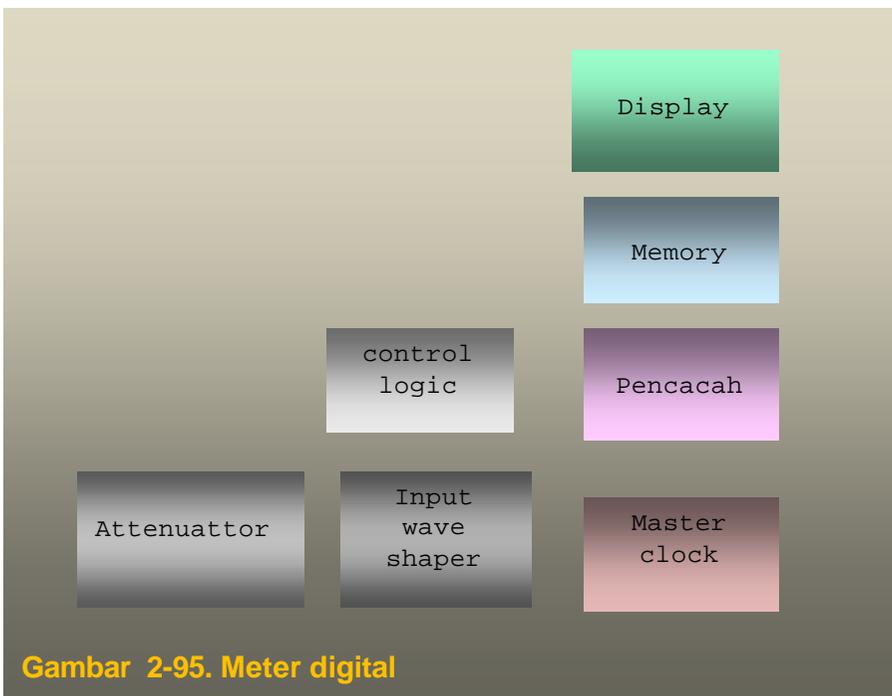


Gambar 2-94 Bentuk gelombang pencacah pengubah analog ke digital

Unit resistansi dan kapasitansi

Terdiri dari sumber arus digunakan untuk pengukuran resistansi dan kapasitansi, juga rangkaian yang diperlukan untuk mengubah kapasitansi ke dalam fungsi waktu.

Hubungan pengawatan antar blok tergantung fungsi yang akan dibangun. Pengawatan tergantung fungsi yang diinginkan.



Gambar 2-95. Meter digital

2.5.2. Spesifikasi Digital Multimeter

Ada beberapa parameter multimeter digital yang dapat dijadikan sebagai dasar penilaian kualitas meter. Parameter tersebut antara lain :

1. Resolusi Meter Digital

Banyaknya posisi digital yang dipakai pada suatu meter digital menentukan nilai resolusi. Jadi display 3 digit pada volt meter digital (DVM) untuk cakupan 0 – 1 V, akan mudah menunjukkan nilai dari 0 sampai 999 mV, dengan kenaikan atau resolusi terkecil sebesar 1 mV.

Jika n = banyaknya digit penuh (perubahan 0-9) resolusinya sebesar $\frac{1}{10}n$

Maka suatu display 4 digit mempunyai sebuah resolusi sebesar $\left(\frac{1}{10}\right)^4$ atau 0,0001 atau 0,01 persen. Resolusi ini juga dianggap sebagai satu bagian dalam 10.000.

2. Sensitivitas Meter Digital

Sensitivitas adalah perubahan terkecil dari suatu input meter digital yang mudah dilihat. Dengan demikian sensitivitas merupakan tegangan terendah dari skala penuh dikalikan oleh resolusi alat ukur (meter).

Sensitivitas $s = (f.s)_{\min} \times R$.

Dimana $(f.s)_{\min}$ = nilai terendah dari skala penuh alat ukur dan R = Resolusi yang ditulis sebagai desimal.

Dalam praktek digit ke 4 biasanya tepat menunjuk hanya 0 atau 1, yang ditempatkan pada kiri atau digit aktif. Ini mengijinkan kira-kira 999 sampai 1999 overlap secara bebas. Dan ini disebut 'over ranging'. Type display demikian disebut sebagai display $3\frac{1}{2}$ digit. Resolusi suatu meter digital, bagaimanapun ditentukan oleh banyaknya digit yang aktif penuh.

3. Spesifikasi Akurasi Meter Digital

Akurasi biasanya dinyatakan sebagai persentase dari pembacaan ditambah persentase dari skala penuh, bagian persentase dari skala penuh sering diberikan dalam bentuk digit. Apabila bekerja digit ditunjukkan pada signifikansi digit terkecil (LSD).

Contoh kasus 1

- Berapa resolusi dari display $3\frac{1}{2}$ digit ?
- Cari resolusi alat ukur $3\frac{1}{2}$ digit pada cakupan 1 V (berapa pabrik dapat menentukan cakupan seperti 2V dari $3\frac{1}{2}$ digit dapat mencacah sampai 1999 mV).
- Cari resolusi alat ukur untuk cakupan 10V ?

Penyelesaian :

Angka digit penuh pada $3\frac{1}{2}$ digit = 3 jadi % resolusi = $\frac{1}{10^n} = \frac{1}{10^3} = 0,001$ (0,1%).

Jadi meter (alat ukur) tidak dapat membedakan antara nilai yang dibedakan dari yang lain bila kurang dari 0,001 skala penuh.

- Pembacaan skala penuh 1.000 resolusi pada cakupan 1V = $1 \times 0,001 = 0,001$ V

jadi dalam cakupan 1V, ini tidak akan dapat membedakan antara pembacaan yang berbeda kurang dari 0,001 V.

- Pembacaan skala penuh 10V ini akan terjadi kesalahan baca kurang dari 0,01 V (tidak dapat membedakan perbedaan kurang dari 0,01V).

Contoh kasus 2

Sebuah voltmeter $4\frac{1}{2}$ digit digunakan untuk mengukur tegangan.

- Berapa resulusinya ?
- Berapa penunjukan untuk mengukur 12,98 pada cakupan 10V ?
- Berapa pula jika 0,6973 didisplaykan pada cakupan 1V ?
- Berapa akan didisplay 0,6973 pada cakupan 10V ?

Penyelesaian :

- Pada digit penuh, $4\frac{1}{2}$ digit terbaca 4 angka

Jadi resolusi = $\frac{1}{10^4} = 0,0001$ atau 0,01 %

- Bila ada 5 digit ditempatkan dalam $4\frac{1}{2}$ digit didisplay, maka 12,98 V akan didisplay sebagaimana 12,980 pada skala 10 V
- Resulusikan lagi pada cakupan 1 V = $1 \times 0,0001 = 0,0001$ V. Maka cakupan 1V akan terbaca pada desimal ke 4, disini 0,6973 V akan didisplay pada 0,6973 dalam cakupan 1 V.
- Resulusikan lagi pada cakupan 10 V = $10 \times 0,0001 = 0,001$ mV. Maka pada cakupan 10V akan terbaca hanya desimal ke 3. Digit 3 dalam desimal yang ke 4 akan hilang. Digunakan cakupan pendekatan, yaitu 1 V, digit 3 dapat diterima dalam pembacaan.

Contoh kasus 3

Spesifikasi ketepatan 3½ digit DVM adalah ± 5% pada pembacaan ± 1 digit.

- Kemungkinan apa yang terjadi pada kesalahan Volt, apabila pada instrumen terbaca 5,00 V pada cakupan 10 V?
- Apa yang mungkin terjadi kesalahan pada Volt, apabila terbaca 0.10 V pada cakupan 10 ?
- Berapa persenkah pembacaan kesalahan ini yang diperbolehkan ?

Penyelesaian :

- 0,5% terbaca = $0,005 \times 5,00 = 0,025$
didisplay untuk pembacaan 5,00 V Pada skala 10 V pada treter 3½ digit adalah 05,00 dengan kedudukan 4 digit. Digit pada LSD bernilai 0.01. Jadi kemungkinan kesalahan total adalah $0,025 + 0,01 = 0,035$ V.
- Jika pembacaan 0,10 V pada cakupan 10 V kita peroleh ± 5%, pembacaannya = $0,005 \times 0,10 = \pm 0,0005$ V ± 1 digit = 0,01 V
 - Kemungkinan kesalahan seluruhnya = ± 0,0105
- Persen kesalahan adalah $= \frac{00105}{0,100} = 10,5 \%$

Ini adalah suatu kesalahan besar dan mendemostrasikan bahaya yang terpadu dalam pembacaan skala yang rendah.

Tabel 2-10. Spesifikasi multimeter digital

Pengukuran tegangan DC indikasi polaritas otomatis
Resistansi input 11,1 M?
Cakupan pengukuran 199,9 mV sampai 199 Volt akurasi ± 0,1 %
Deviasi skala penuh (fsd) ± 0,2 % dari pembacaan
Pengukuran tegangan AC
Impedansi input 10 M ? paralel dengan kapasitor 25 pF
Cakupan pengukuran 199,9 mV sampai 199, Volt akurasi ± 0,1 %
pengukuran harga rata-rata dikalibrasi rms
Deviasi skala penuh ± 0,5 % dari pembacaan
Pengukuran frekuensi
Cakupan frekuensi 50 Hz sampai 10kHz ± 1 %
50 sampai 50 kHz ± 5 %
Pengukuran resistansi
Cakupan pengukuran 1,999 K ? sampai 1,999 M? akurasi ± 0,1 % fsd
dan
± 0,5 % dari harga pembacaan
Pengukuran kapasitansi
Cakupan pengukuran 1999 pF sampai 1,999 µF akurasi ± 0,1 % fsd dan
± 0,5 % dari harga pembacaan
Penghitung waktu
Cakupan frekuensi 0 sampai 5 MHz
Interval perioda min 20 µs

2.5.3. Prinsip Dasar Pengukuran

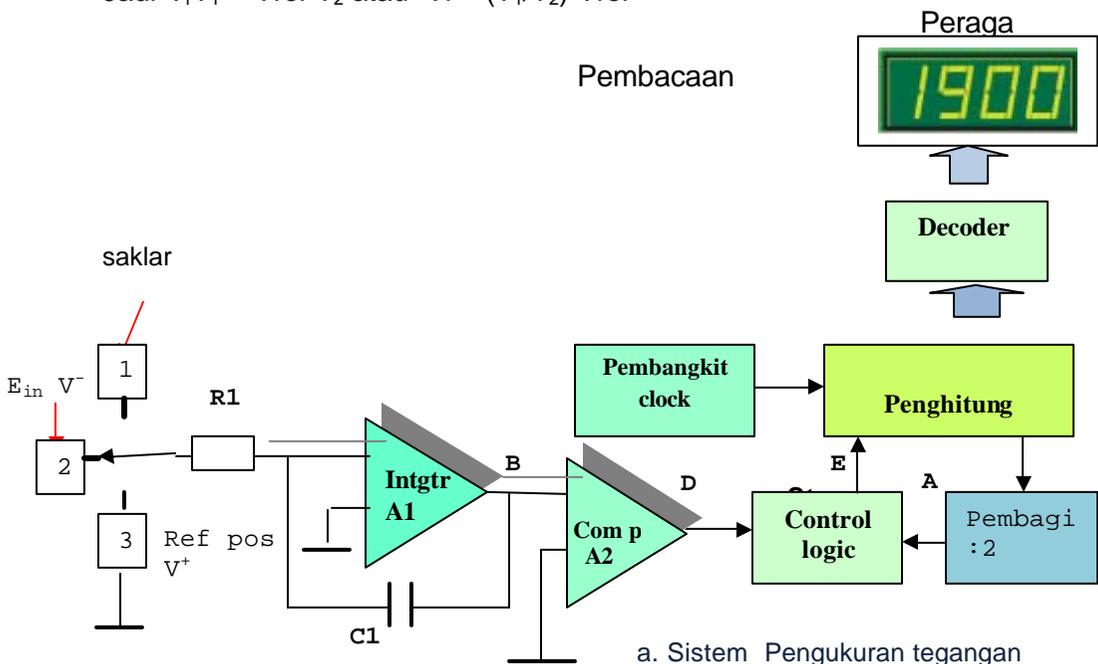
2.5.3.1. Voltmeter

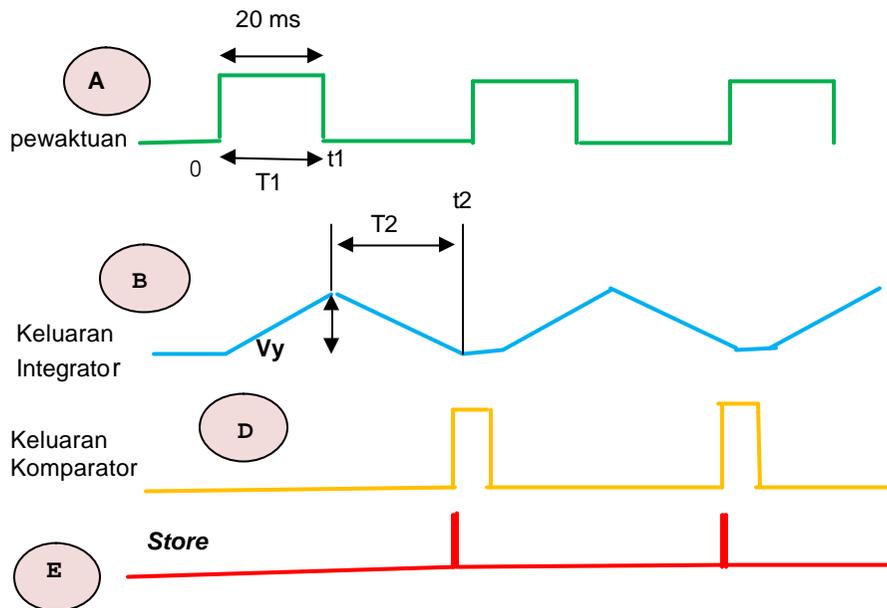
Digital voltmeter (DVM) menggunakan sebuah penguah tegangan analog ke digital (ADC) kemudian tegangan masukan DC diolah menjadi bentuk biner yang dikodekan dalam decimal (BCD). Kebanyakan voltmeter digital atau digital multimeter menerapkan integrator dual-slope sebagai rangkaian ADC, karena DVM dual-slope atau DMM relative lebih tahan terhadap noise tegangan masukan, juga kesalahan kecil. Dalam sistem DMM dengan penguah analog ke digital dual ramp (atau dual slope) yang banyak digunakan ditunjukkan pada gambar 2-94. Penguat Op Amp A_1 , R_1 dan C_1 merupakan

kombinasi rangkaian integrator. Pada saat siklus pengukuran dimulai kapasitor C_1 melakukan pengosongan muatan. Tegangan masukan integrator dihubungkan ke masukan tegangan negatif ($-V_1$), sehingga kapasitor C_1 mulai mengisi dengan arus $-(V_1/R_1)$. Sementara itu keluaran integrator V_{01} mulai naik meninggalkan nol dan pencacah mulai menghitung pulsa clock dari pembangkit sinyal clock 100 KHz. Pengisian muatan C_1 berlangsung sampai perhitungan pencacah mencapai 2000 (misal untuk 2K/100K atau 20ms). Pada akhir perioda ini beda tegangan kapasitor C_1 akan menjadi sama dengan

$$V_c = (V_i T_1) / (R_1 C_1) \dots\dots\dots (2 - 19)$$

$$\text{Jadi } V_1 T_1 = V_{ref} T_2 \text{ atau } V_i = (T_1/T_2) V_{ref}$$





b. Bentuk bentuk tegangan

Gambar 2-96. Sistem pengukuran tegangan (Hai Hung Chiang : 1976)

Kondisi nol volt diindera oleh komparator, hingga menyebabkan control logic mensaklar masukan kapasitor ke tegangan nol (ground) hal ini dimaksudkan untuk mencegah terjadinya perubahan muatan pada kapasitor.

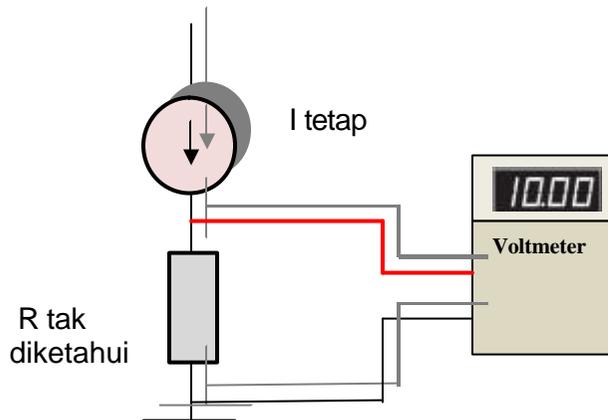
Pada saat yang sama *control logic* memberi komando pada pencacah untuk menyimpan hasil perhitungan. Tegangan referensi dapat dipilih untuk mendapatkan cakupan pengukuran yang tepat. Misalnya tegangan referensi 2 V, cakupan pengukuran 2 V meskipun hanya memungkinkan untuk memperagakan nilai dari 0 sampai 1,999 V. Pencacah akan selalu menghitung sampai mencapai keadaan semua nol, kemudian siklus pengukuran diulang.

Istilah 3 ½ digit atau 4 ½ digit untuk produk DVM atau DMM, didasarkan pada fakta bahwa nilai digit tertinggi hanya 0 atau 1, sementara untuk semua digit yang lain dapat berada antara 0 dan 9. Terminologi demikian menunjukkan bahwa meter dapat membaca 100% cakupan pengukuran dari cakupan dasar. Misal voltmeter 3 ½ digit membaca 0 – 1,999 mV, sementara cakupan dasar hanya 0 – 999 mV. Jika cakupan ini dilampaui digit 1 (overflow) akan menyala, sebaliknya tetap gelap. Digital voltmeter biasanya memiliki resistansi masukan lebih dari 10 MO dengan ketelitian lebih baik dari $\pm 0,2\%$ dari harga pembacaan.

2.5.3.2. Ohmmeter

Sistem pengukuran resistansi ditunjukkan pada gambar 2-97. Metode yang digunakan dengan melewatkan arus pada R yang tidak diketahui besarnya, kemudian diukur besarnya tegangan drop pada R tersebut.

Oleh karena itu sistem ini hanya dapat digunakan untuk mengukur R dalam cakupan 100 Ω sampai 100K Ω dengan tingkat ketelitian yang cukup.



Gambar 2-97. Pengukuran resistansi dengan voltmeter digital

2.5.3.3. Pengukuran Frekuensi

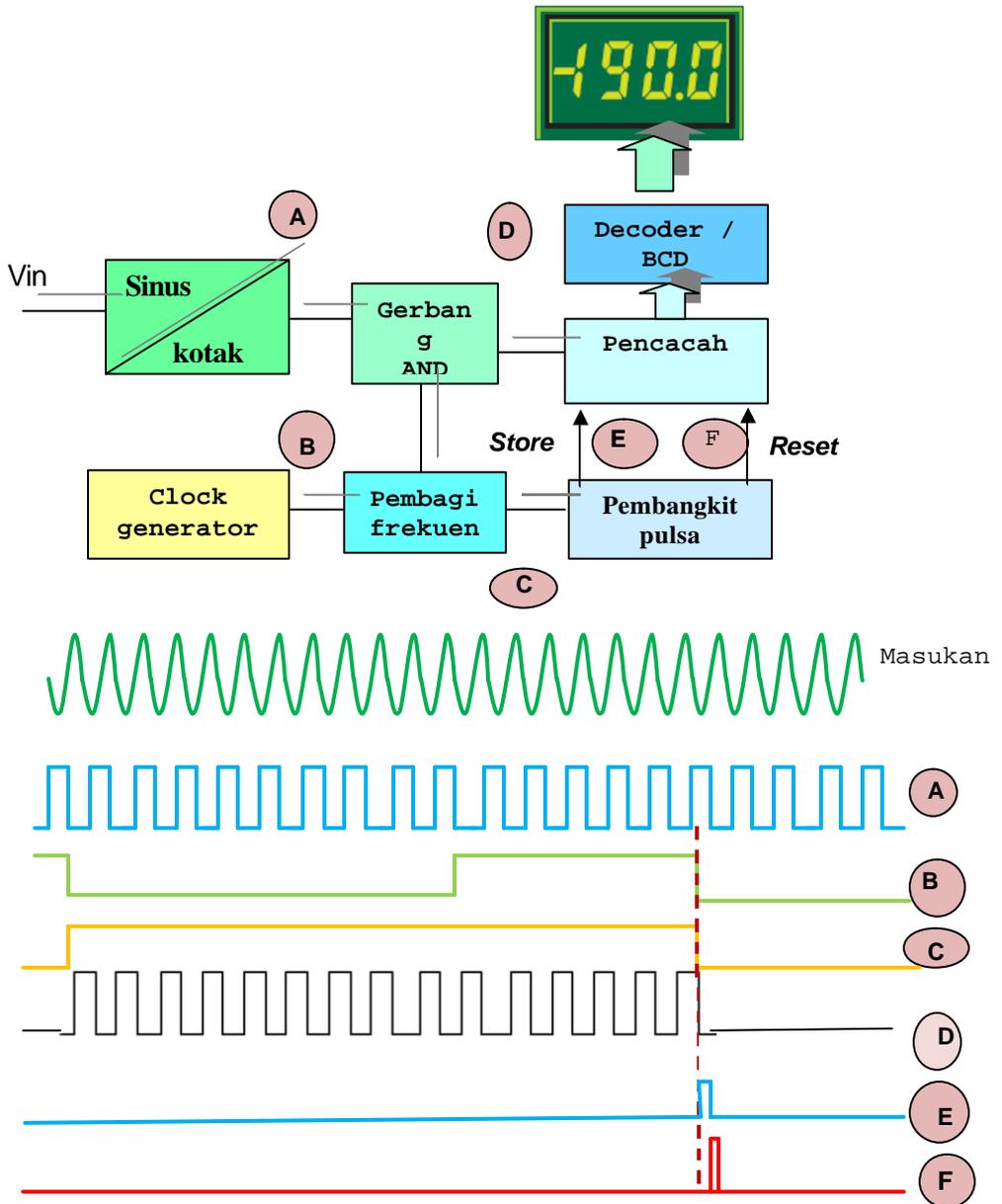
Sinyal yang akan diukur frekuensinya kita hubungkan ke rangkaian input wave shaper, dalam bagian ini sinyal diperkuat atau dibatasi tergantung besarnya amplitude sinyal masukan. Kemudian sinyal diubah ke dalam bentuk (A) gelombang kotak dengan tegangan 5 V_{p-p}. Frekuensi master clock (B) mempunyai perioda yang sama dengan durasi perhitungan yang dipilih. Misalnya jika durasi pengukuran dipilih 10 ms, dipilih frekuensi 100Hz. Gerbang penghitung akan terbuka untuk waktu benar, frekuensi clock dibagi dua (C) sebelum diterapkan ke gerbang penghitung dan juga untuk mengontrol rangkaian

pembangkit pulsa untuk membangkitkan komando *store* atau *reset*. Asumsikan bahwa pencacah telah diatur nol, urutan operasinya sebagai berikut. Gerbang pencacah dilumpuhkan untuk satu perioda clock dengan keluaran dibagi dua. Shaped input waveform dihubungkan ke pencacah sehingga menghitung jumlah siklus selama satu perioda clock. Pada akhir perioda sinyal pewaktu berada pada ujung menuju negatip (C) menyebabkan generator pulsa membangkitkan dua pulsa berturut turut. Pulsa pertama mengkomando (E) pencacah untuk menyimpan dan memperagakan keadaan bagian penghitung. Pulsa kedua (F)

mereset bagian penghitung sehingga keadaan nol untuk operasi pada siklus berikutnya. Proses ini akan *restart* bila sinyal pewaktu (C) kembali berayun ke

positip. Dengan demikian maka peraga hasil hitungan akan selalu *diupdate* dengan frekuensi masukan yang konstan dihasilkan pembacaan yang stabil.

Peraga

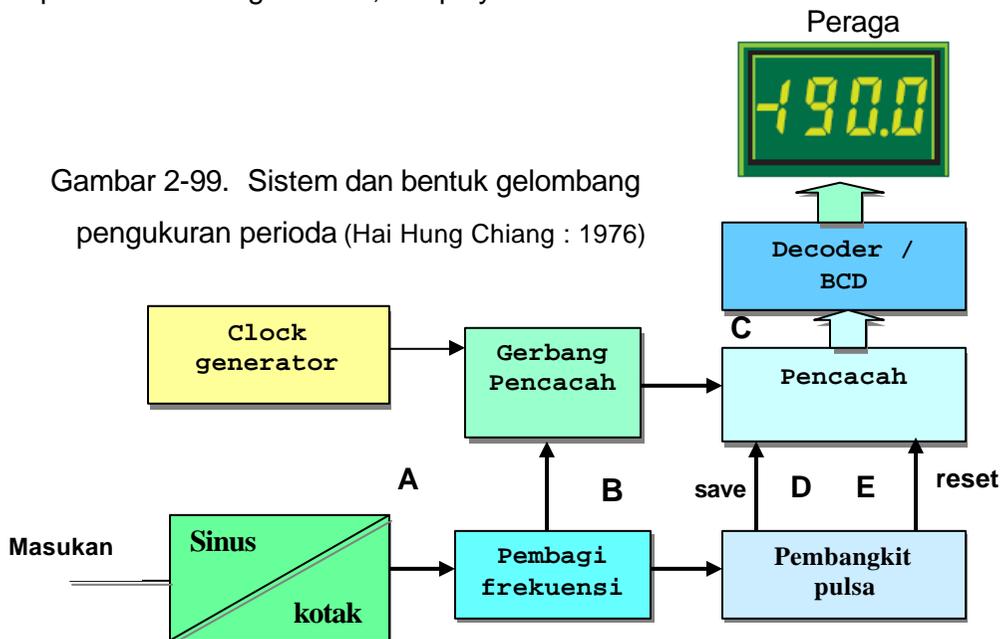


Gambar 2-98. Sistem dan bentuk gelombang pengukuran frekuensi

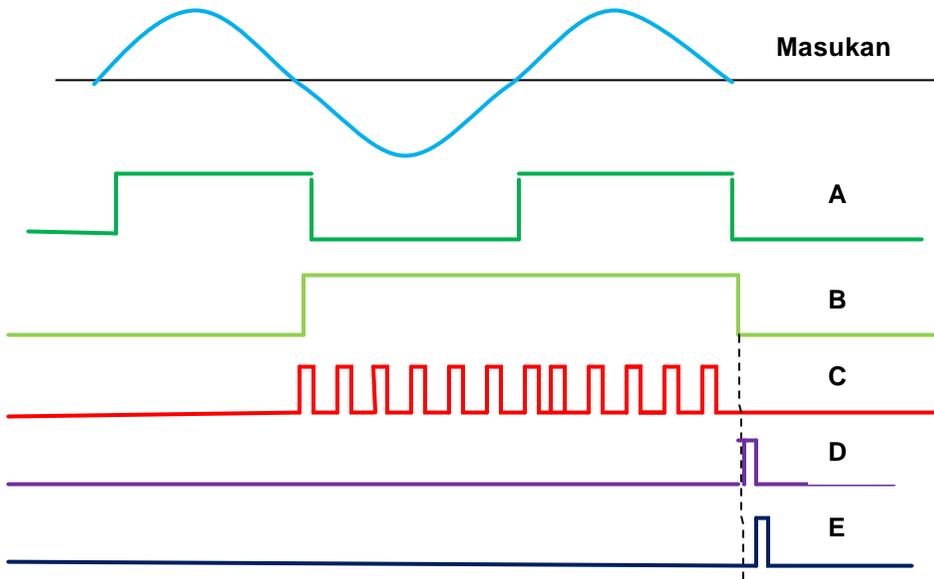
2.5.3.4. Pengukuran Perioda dan Interval Waktu

Perbedaan besar antara pengukuran perioda dan frekuensi adalah penempatan clock generator dan input wave shaper berlawanan seperti ditunjukkan pada gambar. Sebagai pengganti jumlah siklus selama satu perioda clock, jumlah pulsa clock selama satu siklus masukan yang diberikan. Sebagaimana pengukuran frekuensi, bentuk gelombang masukan diubah dalam bentuk gelombang kotak (A) oleh input wave shaper. Deretan gelombang kotak ini dibagi dua (B) dan diumpankan pada gerbang penghitung dan ke pulse generator. Keluaran clock generator juga diberikan ke gerbang penghitung sehingga pada saat terhalangi masukan, pulsa clock (C) diumpankan ke pencacah. Fungsi store, display

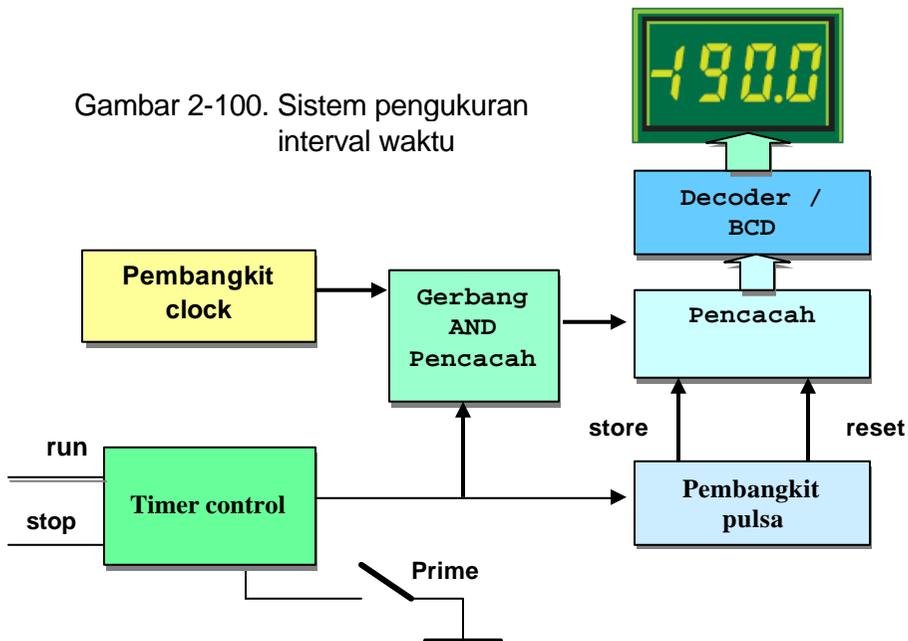
dan reset sama seperti pada pengukuran frekuensi. Periode pengukuran difasilitasi untuk frekuensi rendah dimana penghitungan menjadi tidak akurat. Misal frekuensi 5Hz diukur dengan periode perhitungan 1 s hanya dapat diukur dengan ketelitian ± 1 siklus atau $\pm 20\%$. Dengan mengukur periode 200 ms ketelitian dapat ditingkatkan. Dalam kenyataannya keakuratan dapat diberikan lebih baik dari pada $\pm 0,1\%$ tanpa noise pada bentuk gelombang yang diukur. Perbedaan antara fungsi pengukuran periode dan waktu adalah periode diukur secara kontinu pada sepanjang siklus, sedangkan waktu diukur sebagai interval antara dua impulse yang diberikan secara terpisah.



Gambar 2-99. Sistem dan bentuk gelombang pengukuran perioda (Hai Hung Chiang : 1976)



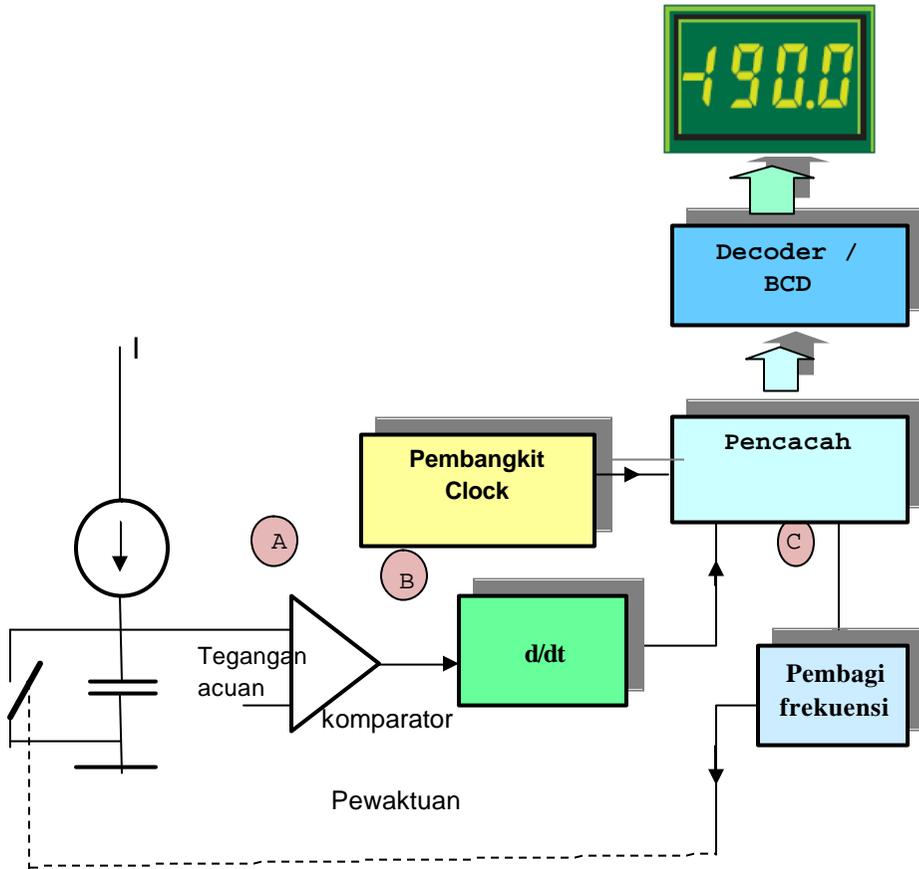
Gambar 2-100. Sistem pengukuran interval waktu



2.5.3.5. Kapasitansimeter

Jika arus I dan tegangan V konstan mempunyai hubungan $C = (I t / V)$, juga kapasitansi $C = kt$, k adalah konstanta dan t waktu. Hubungan sederhana ini memberikan gambaran kemungkinan mengukur kapasitansi dengan membuat

keterkaitan antara waktu drop tegangan pada kapasitor, diberi muatan dengan sumber arus konstan, mencapai level tegangan yang telah ditentukan. Implementasi metode ini diilustrasikan pada gambar.



Gambar 2-101. Sistem dan bentuk gelombang pengukuran kapasitansi (Hai Hung Chiang : 1976)

2.5.4. Petunjuk Pengoperasian

1. Pengukuran Tegangan DC

- Selektor ditempatkan pada posisi tegangan DC
- Colok colok merah pada meter positif dan colok hitam pada polaritas negatif.
- Cakupan batas ukur dipilih tertinggi bila pembatas cakupan tidak otomatis.
- Setelah yakin semua benar power meter di onkan.



2. Pengukuran Tegangan AC

- * Selektor d tempatkan pada posisi tegangan AC.
- * Cakupan batas ukur dipilih pada posisi terbesar jika pembatas cakupan tidak otomatis.
- * Colok merah ditempatkan pada polaritas positif dan hitam pada negatif.
- * Bila sudah yakin benar, baru power di onkan.
- * Satuan diperhatikan agar tidak salah dalam membuat data pengukuran.

Gambar 2-102. Macam-macam meter digital

3. Pengukuran Ohmmeter

- * Selektor di tempatkan pada posisi Ohmmeter.
- * Colok merah ditempatkan pada polaritas positif dan hitam pada negatif.
- * Bila sudah yakin benar, baru power di onkan.
- * Satuan diperhatikan agar tidak salah dalam membuat data pengukuran.

4. Fungsi Lain-lain

Selain sebagai AVO meter tiap multimeter mempunyai variasi pengukuran yang berbeda-beda. Secara umum penggunaan multimeter digital dengan langkah sebagai berikut :

- Sisipkan probe ke dalam hubungan yang benar sesuai fungsinya. Langkah ini diperlukan karena kemungkinan ada sejumlah hubungan berbeda yang dapat digunakan.
- Atur saklar pada jenis pengukuran dan cakupan pengukuran yang benar. Pada saat memilih cakupan yakinkan bahwa telah diantisipasi pada cakupan maksimum. Cakupan pada multimeter digital dapat direduksi bilamana diperlukan. Oleh karena itu dengan pemilihan cakupan yang terlalu tinggi dapat mencegah pembebanan meter.

- Mengoptimalkan cakupan pengukuran untuk mendapatkan pembacaan yang baik.

Pada pembacaan yang lengkap lebih bijaksana diperhatikan tempat probe dalam soket pengukuran tegangan dan atur cakupan tegangan maksimum. Cara ini aman jika meter dihubungkan tanpa memikirkan cakupan yang digunakan sepanjang harga maksimum besaran yang diukur dibawah cakupan maksimum meter.

2.5.5. Mengatasi Gangguan Kerusakan

1. Peraga Mati

- Dilakukan pengecekan polaritas baterai kemungkinan salah dalam pemasangan. Pengawatan hubungan peraga dan periksa meter.
- Dilakukan pengecekan baterai apakah masih dalam kondisi baik.
- Dilakukan pengecekan peraga, diuji secara tersendiri.

2. Peraga Secara Permanen Over range

- Kemungkinan titik acuan open
- Kemungkinan polaritas tegangan 9V salah pasang
- Tegangan masukan melebihi cakupan pengukuran
- Tegangan common mode melampaui
- Meter mungkin jatuh, terpukul lakukan pengetesan tersendiri.

3. Peraga secara intermitten over range

- Titik acuan kemungkinan open
- kemungkinan sinyal masukan mengambang
- masukan tegangan bukan dc

4. Hasil pembacaan semua logik rendah

- Kaki common mungkin terground
- Tegangan acuan tidak terhubung dengan baik
- potensiometer pengatur penguatan tidak baik

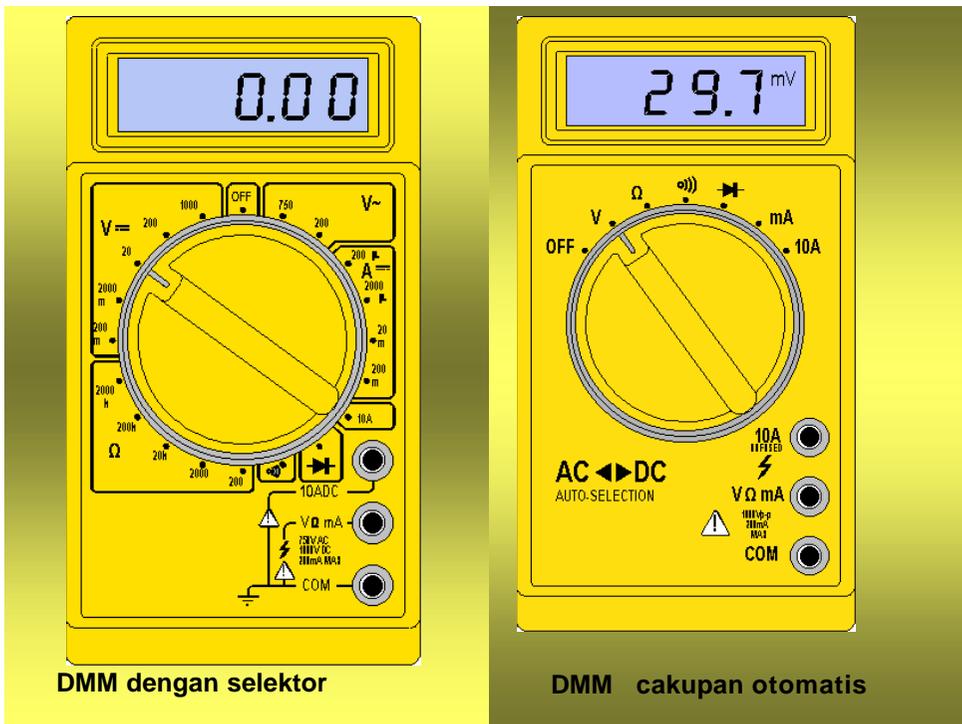
5. Peraga tidak dapat dibaca 000

- * masukan tidak mungkin 0.0 V
- * kemungkinan loop pengawatan sinyal input terhubung grond

6. Tidak siap pembacaan

- * sistem pengawatan loop power terhubung griund
- * sumber daya regulasi jelek
- sinyal input berlebihan
- Terdapat medan magnit yang kuat disekitar meter

Perkembangan Multimeter Digital



Gambar 2-103. Multimeter digital dengan selektor dan otomatis



Multimeter Digital Otomotif

Meliputi :
Sensor tes, pengetesan ground, baterai,
alternator,
tes sistem pengisian, Pengukuran RPM



Multimeter Otomotif

Akurat untuk mengukur RPM 2- dan 4-
stroke
Mesin otomotif 1 – 8 silinder
dengan menggunakan pick up induktif



Digital multimeter cakupan otomatis

41 tes cakupan oto power off
Pengukuran frekuensi, duty cycle

Digital multimeter cakupan otomatis

15 fungsi dan 32 otorange
295A



Gambar 2-104. Macam-macam multimeter digital di pasaran

BAB 3

LCR METER

Tujuan

- 1. Memahami prinsip dasar pengukuran RCL metode jembatan keseimbangan.
- 2. Memahami tindak keselamatan pemanfaatan LCR meter
- 3. Melakukan pembacaan hasil pengukuran komponen R,C,L dengan meter LCR meter

Pokok Bahasan :

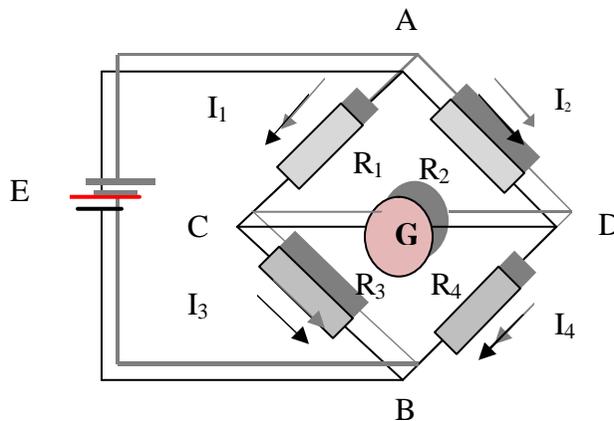
- 1. Prinsip dasar pengukuran LCR
- 2. Meter jembatan seimbang
Cara Penggunaan dan Perawatan LCR meter

3.1. Prinsip Dasar Pengukuran Komponen LCR

3.1.1. Prinsip pengukuran Resistansi

Prinsip dasar pengukuran resistor dengan LCR-740 Bridge adalah Jembatan WHEATSTONE. Jembatan wheatstone mempunyai empat lengan tahanan, sebuah sumber ggl dan sebuah detector nol yang biasanya berupa

galvanometer. Jembatan wheatstone dikatakan setimbang apabila beda tegangan pada galvanometer adalah nol volt, berarti disini tidak ada arus yang mengalir melalui galvanometer.



Gambar 3 – I Jembatan Wheatsone

Ini terjadi apabila tegangan C ke ke B sama dengan tegangan dari A sama dengan tegangan dari D ke B. Dalam hal ini dapat ke A, atau jika tegangan dari C

ke B sama dengan tegangan dari A sama dengan tegangan dari D ke B. Dalam hal ini dapat dituliskan:

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 \dots\dots\dots (3 - 1)$$

Jika arus galvanometer menunjuk nol, maka :

$$I_1 = I_3 = \frac{E}{R_1 + R_3} \dots\dots\dots (3-2)$$

$$I_2 = I_4 = \frac{E}{R_2 + R_4} \dots\dots\dots (3-3)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (3-2), (3-3) dan (3-1), maka didapatkan :

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{E / (R_1 + R_3)}{E / (R_2 + R_4)}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2 + R_4}{R_1 + R_3}$$

$$I_1 (R_1 + R_3) = I_2 (R_2 + R_4)$$

Jika I_2 dari persamaan (3-1) dimasukkan, didapatkan :

$$I_1 (R_1 + R_3) = \frac{I_1 R_1}{R_2} \cdot R_2 + R_4$$

$$I_1 R_1 + I_1 R_3 = I_1 R_1 + \frac{I_1 R_1 R_4}{R_2}$$

$$I_1 R_2 R_3 = I_1 R_1 R_4$$

$$R_2 R_3 = R_1 R_4 \dots\dots\dots (3-4)$$

Persamaan 3 - 4 merupakan bentuk kesetimbangan jembatan Wheatstone. Apabila ketiga tahanan tersebut diketahui dan

salah satu dari tahanannya tidak diketahui dan salah satu tahanannya tidak diketahui misal $R_4 = R_x$, maka :

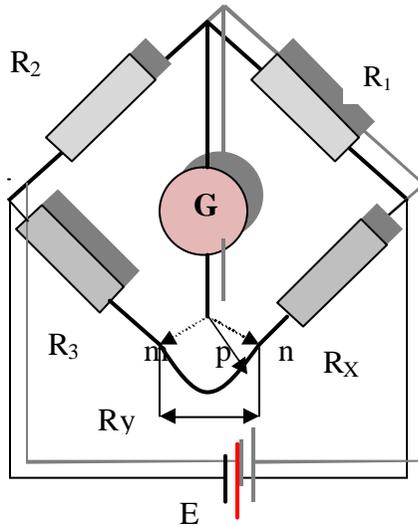
$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1} \dots\dots(3-5)$$

R_3 disebut lengan standar jembatan
 R_1 dan R_2 disebut lengan – lengan pembanding

3.1.1.2. Jembatan Kelvin

Jembatan wheatstone mempunyai keterbatasan bila digunakan untuk mengukur tahanan rendah, dengan demikian maka jembatan wheatstone dimodifikasi menjadi jembatan kelvin. Hal tersebut

dilakukan dengan harapan agar menghasilkan ketelitian yang lebih tinggi bila digunakan untuk mengukur tahanan-tahanan rendah, biasanya dibawah 1 Ohm.



Keterangan :
 R₁ : tahanan lengan 1
 R₂ : tahanan lengan 2
 R₃ : tahanan lengan 3
 R_x : Tahanan yang diukur
 R_y : tahanan variable dari seutas kawat yang terminalkan pada titik m, p dan n

Gambar 3 – 2 Jembatan Kelvin

Gambar 3-2 R_y menyatakan tahanan kawat penghubung dari R₃ ke R_x. Jika galvanometer dihubungkan ke titik m, tahanan R_y dari kawat penghubung dijumlahkan ke tahanan R_x yang tidak diketahui dan menghasilkan R_x yang lebih besar. Jika dihubungkan ke titik n, R_y dijumlahkan dengan lengan

jembatan R₃ dan hasil pengukuran R_x akan lebih kecil dari yang sebenarnya. Apabila galvanometer dihubungkan ke titik p (diantara titik m dan n) sehingga perbandingan tahanan dari n ke p dan dari m ke p sama dengan perbandingan tahanan-tahanan R₁ dan R₂ atau jika ditulis :

$$\frac{R_{np}}{R_{mp}} = \frac{R_1}{R_2} \dots\dots\dots (3 - 6)$$

maka persamaan setimbang untuk jembatan :

$$R_x + R_{np} = \frac{R_1}{R_2} (R_3 + R_{mp}) \dots\dots\dots (3 - 7)$$

$$R_{np} + R_{mp} = R_y$$

$$\begin{aligned} R_{np} &= \frac{R_1}{R_2} R_{mp} \\ &= \frac{R_1}{R_2} (R_y - R_{np}) \\ &= \frac{R_1}{R_2} R_y - \frac{R_1}{R_2} R_{np} \end{aligned}$$

Keterangan :

R_{np} ; Tahanan antara titik m dan p

R_{mp} ; tahanan antara titik m dan p

R_y : $R_{mp} + R_{np}$

$$R_{np} + \frac{R_1}{R_2} R_{np} = \frac{R_1}{R_2} R_y$$

$$R_{np} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) = \frac{R_1 R_y}{R_2}$$

$$R_{np} = \frac{R_1 R_y}{R_2} \cdot \frac{1}{1 + R_1/R_2}$$

$$R_{np} = \frac{R_1 R_y}{R_2 + R_1}$$

sedangkan R_{mp} bila dihitung dengan cara yang sama akan didapatkan :

$$R_{mp} = \frac{R_1 R_y}{R_1 + R_2}$$

Jika harga R_{np} dan R_{mp} dimasukkan dalam persamaan (3 - 7), maka didapatkan :

$$R_x + \frac{R_1 R_y}{R_1 + R_2} = \frac{R_1}{R_2} \left(R_3 + \frac{R_2 R_y}{R_1 + R_2} \right) \dots \dots \dots (3-8)$$

Apabila persamaan (3 - 8) disederhanakan, maka didapatkan

$$R_x + \frac{R_1 R_y}{R_1 + R_2} = \frac{R_1 R_3}{R_2} + \frac{R_1 R_2 R_y}{R_1 R_2 + R_2 R_2}$$

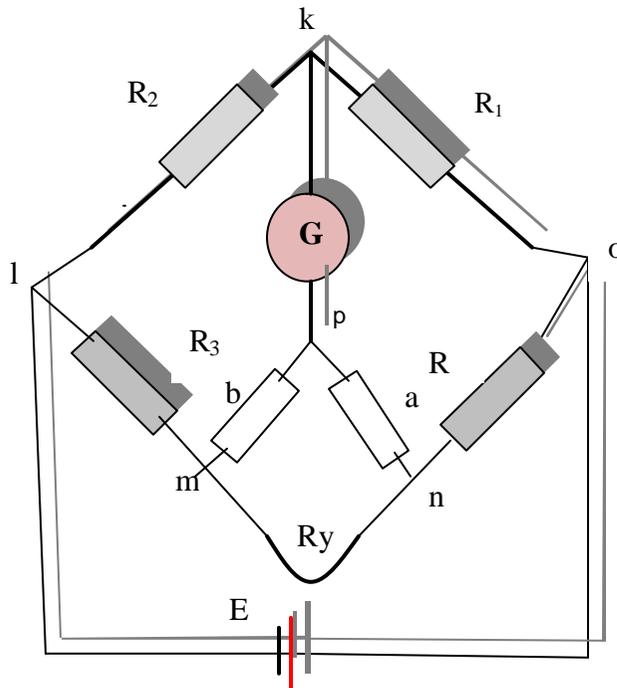
$$R_x = \frac{R_1 R_3}{R_2} + \frac{R_1 R_2 R_y}{R_1 + R_2} - \frac{R_1 R_y}{R_1 + R_2}$$

$$R_x = \frac{R_1 R_3}{R_2} \dots\dots\dots(3-9)$$

3.1.1.3. Jembatan Ganda Kelvin

Jembatan ganda kelvin digunakan secara khusus untuk pengukuran-pengukuran tahanan rendah. Rangkaian tersebut dinamakan jembatan ganda, karena rangkaian mempunyai perbandingan lengan ke dua (dalam

Gambar adalah lengan a dan b). Perlu diketahui bahwa perbandingan tahanan a dan b sama dengan perbandingan R_1 dan R_2 .



Gambar 3 – 3 Jembatan ganda Kelvin

Galvanometer akan menunjuk nol bila potensial di titik k sama dengan potensial di titik p atau $E_{kl} = E_{imp}$.

$$E_{kl} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E$$

$$E_{kl} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \left\{ R_3 + R_x + \frac{(a+b)R_y}{(a+b+R_y)} \right\}$$

$$E_{imp} = I \left[R_3 + \frac{b}{a+b} \left\{ \frac{(a+b)R_y}{(a+b+R_y)} \right\} \right]$$

$E_{kl} = E_{imp}$, maka R_x dapat ditentukan :

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} I \left\{ R_3 + R_x + \frac{(a+b)R_y}{(a+b+R_y)} \right\} =$$

$$I \left\{ R_3 + \frac{b}{a+b} \cdot \frac{(a+b)R_y}{(a+b+R_y)} \right\}$$

Bila $R_2/(R_1 + R_2)$ dipindah ruas, maka :

$$R_3 + R_x + \frac{(a+b)R_y}{(a+b+R_y)} = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \left\{ R_3 + \frac{bR_y}{(a+b+R_y)} \right\}$$

$$R_3 + R_x + \frac{(a+b)R_y}{(a+b+R_y)} = \frac{R_1 R_3}{R_2} + R_3 \frac{R_1 + R_2}{R_2} \cdot \frac{bR_y}{(a+b+R_y)}$$

$$R_x = \frac{R_1 R_3}{R_2} + \frac{R_1}{R_2} \cdot \frac{bR_y}{(a+b+R_y)} + \frac{bR_y}{(a+b+R_y)} - \frac{(a+b)R_y}{(a+b+R_y)}$$

$$R_x = \frac{R_1 R_3}{R_2} + \frac{R_1}{R_2} \cdot \frac{bR_y}{(a+b+R_y)} + \frac{bR_y}{(a+b+R_y)} - \frac{aR_y - bR_y}{(a+b+R_y)}$$

$$R_x = \frac{R_1 R_3}{R_2} + \frac{R_1}{R_2} \cdot \frac{bR_y}{(a+b+R_y)} \cdot \frac{-aR_y}{(a+b+R_y)} \cdot \frac{b}{b}$$

$$R_x = \frac{R_1 R_3}{R_2} + \frac{bR_y}{(a+b+R_y)} \left(\frac{R_1}{R_2} - \frac{a}{b} \right) \dots \dots \dots (3-10)$$

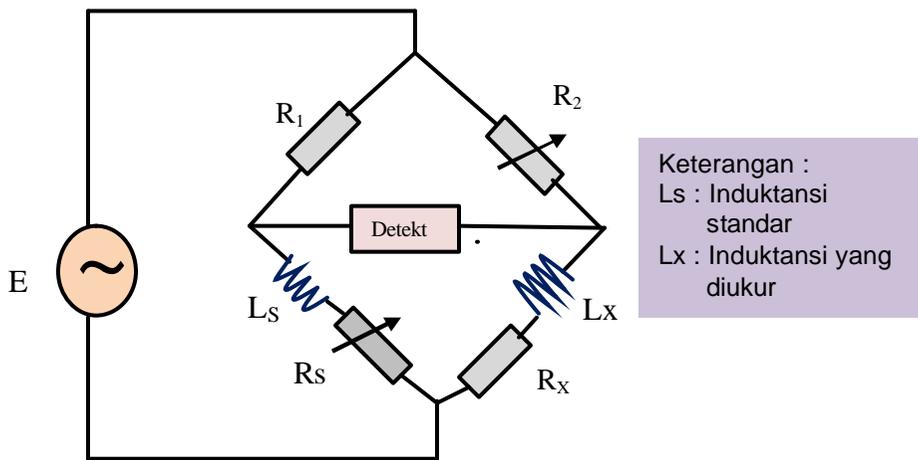
Sesuai dengan syarat awal yang sudah ditetapkan :
 $a/b = R_1/R_2$, maka persamaan (VII - 10) dapat ditulis :

$$R_x = \frac{R_1 R_3}{R_2} \dots\dots\dots(3 - 11)$$

3.1.2. Prinsip Dasar Pengukuran L

3.1.2.1. Jembatan Pembanding Induktansi

Secara prinsip jembatan arus bolak-balik dapat digunakan untuk mengukur induktansi yang tidak diketahui dengan membandingkan terhadap sebuah induktor standar yang diketahui. Gambar 8-2 menggambarkan jembatan pembanding induktansi; R_1 dan R_2 adalah lengan-lengan pembanding, sedang lengan standar adalah L_s seri dengan R_s , yang mana L_s adalah induktor standar kualitas tinggi dan R_s adalah tahanan variabel. L_x adalah induktansi yang belum diketahui dan R_x adalah tahananannya.



Gambar 3 – 4 Jembatan pembanding induktansi

Apabila lengan-lengan dari dinyatakan dalam bentuk jembatan pembanding induktansi kompleks, maka :

$$Z_1 = R_1 \qquad Z_3 = R_s + j? L_s$$

$$Z_2 = R_2 \qquad Z_4 = R_x + j? L_x$$

Dalam setimbang, maka :

$$Z_1 \cdot Z_4 = Z_2 \cdot Z_3$$

$$R_1 (R_x + j? L_x) = R_2 (R_s + j? L_s)$$

$$R_1 R_x + R_1 j? L_x = R_2 R_s + R_2 j? L_s \dots\dots\dots (3 - 12)$$

Dua bilangan kompleks adalah sama, apabila bagian-bagian nyata dan bagian-bagian khayalnya

adalah sama. Dengan menyamakan bagian-bagian nyata dari persamaan (3 – 12), maka :

$$R_1 R_x = R_2 R_s$$

$$R_x = \frac{R_2}{R_1} R_s \dots\dots\dots (3 - 13)$$

Sedangkan bagian-bagian khayalnya :

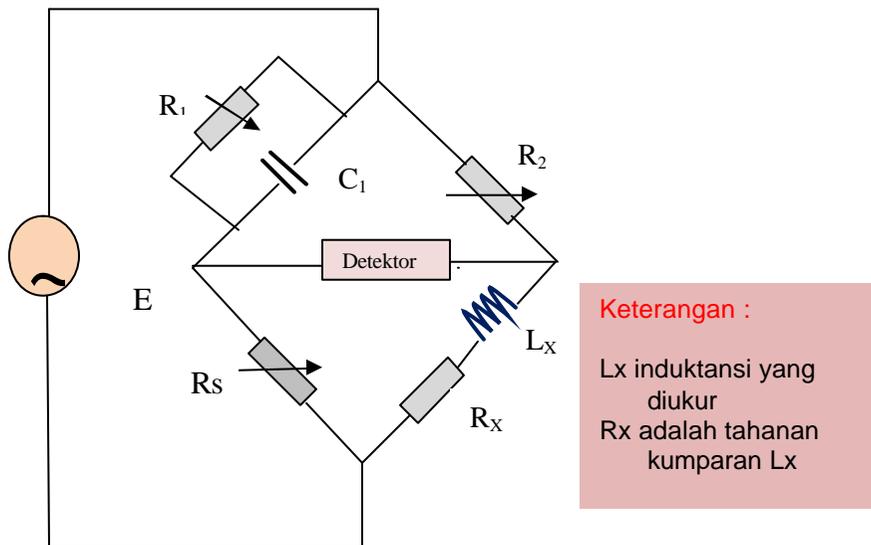
$$R_1 j? L_x = R_2 j? L_s$$

$$L_x = \frac{R_2}{R_1} L_s \dots\dots\dots (3 - 14)$$

3.1.2.2. Jembatan Maxwell

Jembatan Maxwell digunakan untuk mengukur induktansi yang belum diketahui dengan membandingkan terhadap

kapasitansi yang diketahui. Gambar 3 – 5 menggambarkan rangkaian jembatan Maxwell.



Gambar 3 – 5 Jembatan Maxwell

Apabila lengan-lengan dari jempatan Maxwell dinyatakan dalam bentuk kompleks, maka :

$$Z_1 = \frac{1}{1/R_1 + j\omega C_1} \qquad Z_3 = R_3$$

$$Z_2 = R_2$$

$$Z_4 = R_x + j\omega L_x$$

Dalam keadaan seimbang, maka

$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3$$

$$Z_4 = \frac{Z_2 Z_3}{Z_1}$$

$$R_x + j\omega L_x = R_2 R_3 \left(\frac{1}{R_1} + j\omega C_1 \right)$$

$$R_x + j\omega L_x = \frac{R_2 R_3}{R_1} + R_2 R_3 j\omega C_1 \dots \dots (3 - 15)$$

Jika bagian nyata dan bagian khayalnya dipisahkan, maka didapatkan

$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1} \dots \dots \dots (3 - 16)$$

$$j\omega L_x = R_2 R_3 j\omega C_1$$

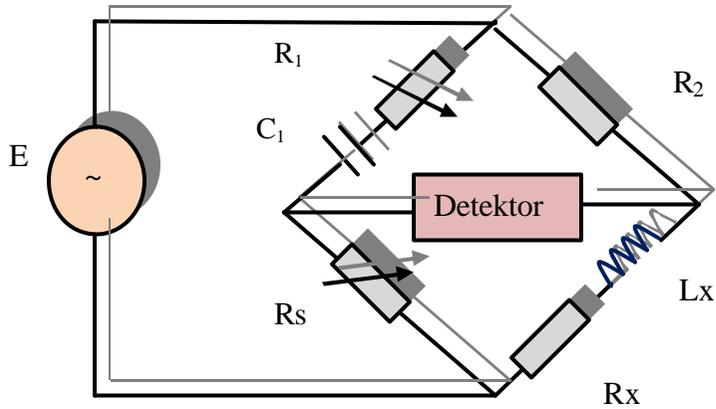
$$L_x = R_2 R_3 C_1$$

$$\dots \dots \dots (3 - 17)$$

3.1.2.3. Jembatan Hay

Jembatan Hay digunakan untuk mengukur induktansi yang belum diketahui dengan membandingkan terhadap kapasitansi yang diketahui. Jadi pada prinsipnya sama dengan jembatan maxwell, bedanya pada jembatan maxwell lengan pertama C₁ paralel dengan R₁, sedang pada jembatan hay C₁ seri dengan R₁. Pada jembatan maxwell terbatas pada pengukuran kumparan dengan Q menengah (

1 < Q < 10).ini dapat ditunjukkan dengan memperhatikan syarat setimbang dari jembatan arus bolak-balik bahwa jumlah sudut fasa satu pasang lengan yang berhadapan harus sama dengan jumlah sudut fasa pasangan lainnya. Sedang jembatan hay dapat digunakan untuk pengukuran kumparan-kumparan dengan Q yang tinggi.



Gambar 3 – 6 Jembatan Hay

Apabila lengan-lengan dari jembatan hay dinyatakan dalam bentuk kompleks, maka :

$$\begin{aligned} Z_1 &= R_1 - j/\omega C_1 & Z_3 &= R_3 \\ Z_2 &= R_2 & Z_4 &= R_x + j\omega L_x \end{aligned}$$

Dalam keadaan setimbang, maka :

$$\begin{aligned} Z_1 Z_4 &= Z_2 Z_3 \\ (R_1 - j\omega C_1)(R_x + j\omega L_x) &= R_2 R_3 \\ R_1 R_x + R_1 j\omega L_x - \frac{j\omega R_x}{\omega C_1} + \frac{L_x}{C_1} &= R_2 R_3 \dots\dots\dots(3-18) \end{aligned}$$

Jika bagian nyata dan bagian khayal dipisahkan, maka didapatkan :

$$R_1 R_x + \frac{L_x}{C_1} = R_2 R_3 \dots\dots\dots(3-19)$$

$$\frac{R_x}{\omega C_1} = \omega L_x R_1 \dots\dots\dots(3-20)$$

Dari persamaan (3 – 19) dan (3 – 20) keduanya mengandung L_x dan R_x . jika diselesaikan secara simultan, maka didapatkan

$$\frac{R_x}{\omega C_1} = \omega L_x R_1 \dots \dots \dots > L_x = \frac{R_x}{\omega^2 C_1 R_1}$$

$$R_1 R_x + \frac{L_x}{C_1} = R_2 R_3$$

Jika harga L_x dimasukkan didapatkan :

$$R_1 R_x + \frac{R_x}{\omega^2 C_1 R_1} = R_2 R_3$$

$$R_x \left(R_1 + \frac{1}{\omega^2 C_1 R_1} \right) = R_2 R_3$$

$$R_x = \frac{R_2 R_3}{\left(R_1 + 1/\omega^2 C_1 R_1 \right)}$$

$$R_x = \frac{R_2 R_3}{\frac{R_1 (\omega^2 C_1 R_1) + 1}{\omega^2 C_1 R_1}}$$

$$R_x = \frac{R_1 R_2 R_3 \omega^2 C_1^2}{\omega^2 C_1^2 R_1^2 + 1} \dots \dots \dots (3-21)$$

$$L_x = \frac{R_x}{\omega^2 C_1 R_1}$$

Catatan : ? = 2 p f

Bila harga R_x dimasukkan maka didapatkan :

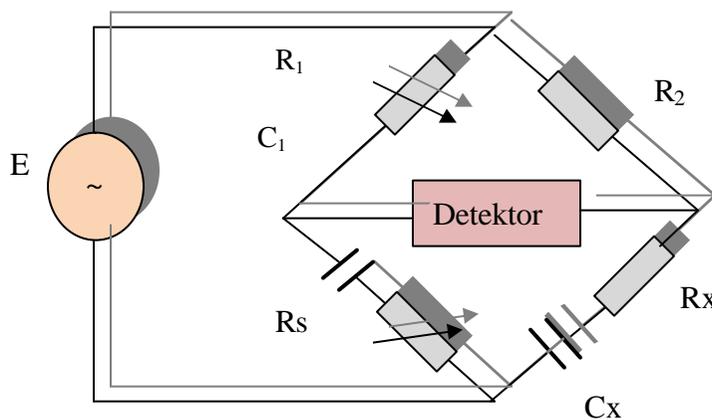
$$L_x = \frac{R_1 R_2 R_3 \omega^2 C_1^2}{\omega^2 C_1^2 R_1^2 + 1} \cdot \frac{1}{\omega^2 C_1 R_1}$$

$$L_x = \frac{R_2 R_3 C_1}{\omega^2 C_1^2 R_1^2 + 1} \dots \dots \dots (3-22)$$

3.1.2.4. Prinsip Pengukuran Kapasitansi

Prinsip yang digunakan dalam pengukuran kapasitansi adalah JEMBATAN PEMBANDING KAPASITANSI. Pada dasarnya jembatan pembanding kapasitansi juga hampir sama dengan jembatan pembanding induktansi. Gambar VIII-3 menggambarkan jembatan pembanding kapasitansi. R_1 dan

R_2 sebagai lengan – lengan pembanding, sedang lengan standar adalah C_s (kapasitor kualitas tinggi) yang diseri dengan R_s (tahanan variable). C_x adalah kapasitansi yang belum diketahui harganya dan R_x adalah tahanan kebocoran kapasitor.



Gambar 3 – 7 Jembatan pembanding kapasitansi

Apabila lengan-lengan dari jembatan pembanding kapasitansi dinyatakan dalam bentuk kompleks, maka dapat ditulis :

$$Z_1 = R_1 \quad Z_3 = R_s - j / \omega C_s$$

$$Z_2 = R_2 \quad Z_4 = R_x - j / \omega C_x$$

Dalam keadaan setimbang, maka :

$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3$$

$$R_1 \left(R_x - \frac{j}{\omega C_x} \right) = R_2 \left(R_s - \frac{j}{\omega C_s} \right)$$

$$R_1 R_x - R_1 \frac{j}{\omega C_x} = R_2 R_s - R_2 \frac{j}{\omega C_s} \quad \dots (3 - 23)$$

Sama dengan jembatan pembanding induktansi, dua bilang kompleks adalah sama bila bagian-bagian nyata dan bagian-bagian khayalnya adalah

sama. Dengan menyamakan bagian-bagian nyata dari persamaan seperti di atas, maka didapatkan

$$R_1 R_x = R_2 R_s$$

$$R_x = (R_2/R_1) R_s \dots\dots\dots (3 - 24)$$

Bagian-bagian khayalnya

$(jR_1/?C_x) = (jR_2/? C_s)$ sehingga diperoleh hubungan :

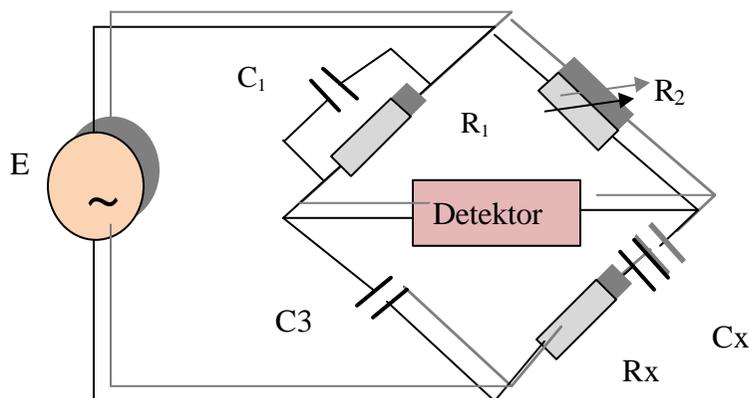
$$C_x = (R_1/R_2) C_s$$

.....(3 - 25)

3.1.2.5. Jembatan Schering

Jembatan schering digunakan untuk mengukur kapasitansi yang belum diketahui dengan membandingkan terhadap kapasitansi yang diketahui (standard). Gambar 3 - 8 menggambarkan jembatan schering, yang mana lengan 1 adalah R_1 paralel dengan C_1 (C_1

dapat diatur); lengan 2 adalah resistor yang dapat diatur ; lengan 3 adalah lengan standard yaitu C_3 (kapasitor bermutu tinggi) dan lengan 4 adalah terdiri dari C_x yaitu kapasitor yang belum diketahui harganya dan R_x yaitu tahanan kebocoran kapasitor.



Gambar 3 – 8 Jembatan Schering

Apabila lengan-lengan dari jembatan schering dinyatakan dalam bentuk kompleks, maka :

$$Z_1 = \frac{1}{(1/R_1 + j\omega C_1)}$$

$$Z_3 = \frac{-j}{\omega C_3}$$

$$Z_2 = R_2$$

$$Z_4 = R_x - j/\omega C_x$$

Dalam keadaan setimbang :

$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3$$

$$Z_4 = \frac{Z_2 Z_3}{Z_1}$$

$$R_x - \frac{j}{\omega C_x} = R_2 \left(\frac{-j}{\omega C_3} \right) \left(\frac{1}{R_1} + j\omega C_1 \right)$$

$$R_x - \frac{j}{\omega C_x} = \frac{-jR_2}{\omega C_3} \left(\frac{1}{R_1} + j\omega C_1 \right)$$

$$R_x - \frac{j}{\omega C_x} = \frac{-jR_2}{\omega C_3 R_1} + \frac{R_2 \omega C_1}{\omega C_3}$$

$$R_x - \frac{j}{\omega C_x} = \frac{R_2 C_1}{C_3} - \frac{jR_2}{\omega C_3 R_1} \dots\dots\dots(3-26)$$

Jika bagian-bagian nyata dan bagian-bagian khayalnya dipisahkan, maka didapatkan :

$$R_x = \frac{R_2 C_1}{C_3} \dots\dots\dots(3-27)$$

$$\frac{-j}{\omega C_x} = \frac{-jR_2}{\omega C_3 R_1}$$

$$C_x = \frac{C_3 R_1}{R_2} \dots\dots\dots(3-28)$$

3.2. LCR meter model 740

LCR meter model 740 sistem jembatan dirancang untuk mengukur resistansi (R), kapasitansi (C) dan induktansi (L) dalam rangkaian pengukuran yang luas. Meter dilengkapi baterai didalamnya sebagai sumber tegangan DC untuk pengukuran R, sedangkan untuk pengukuran C

dan L menggunakan osilator frekuensi 1 KHz dan system pendeteksi nol. Peraga hasil pengukuran menggunakan tiga digit. Koneksi masukan menggunakan sumber tegangan DC eksternal dan AC (950 Hz–40 KHz) dan adaptor AC.

3.2.1 Spesifikasi LCR meter

Dalam pemilihan meter spesifikasi menjadi pertimbangan yang penting. Keputusan pilihan tergantung pada karakter mana yang lebih diperlukan, disesuaikan dengan tujuan pengukuran. Misal pemilihan meter untuk penelitian laboratorium tentu saja menggunakan pertimbangan yang

berbeda dengan meter yang digunakan dibengkel. Meter dilaboratorium harus memenuhi kriteria peralatan laboratorium dimana akurasi sangat diperlukan harga mahal sedangkan untuk meter bengkel hanya sebagai indikasi sehingga akurasi bukan hal yang penting, harga murah.

Pengukuran Resistansi

Range	0,001 Ω sampai 11 M Ω terbagi dalam 8 range dengan kesalahan + 10% untuk setiap range
Resolui minimum	1 m Ω – 100 k Ω
Akurasi	10 sampai 100 k Ω \pm (0,5% +0,1 % f.s.)
Pada (20° sampai \pm 5° C)	1 M Ω \pm (0,1% +0,1 % f.s.) 0,1 Ω \pm (2 % +0,1 % f.s.)
Resistansi terminal residu	Mendekati 3m Ω

Pengukuran Kapasitansi

Range	1 pF sampai 11000 μ F dalam delapan range sampai dengan kesalahan + 10% untuk setiap range
Resolui minimum	1 pF
Akurasi	Range 1000pF – 100 μ F \pm (0,5% +0,1 % f.s.)
Pada (20° sampai \pm 5° C)	100 pF \pm (1% +0,1 % f.s.) 1000 μ F \pm (3 % +0,1 % f.s.)
Resistansi terminal residu	Mendekati 3pF

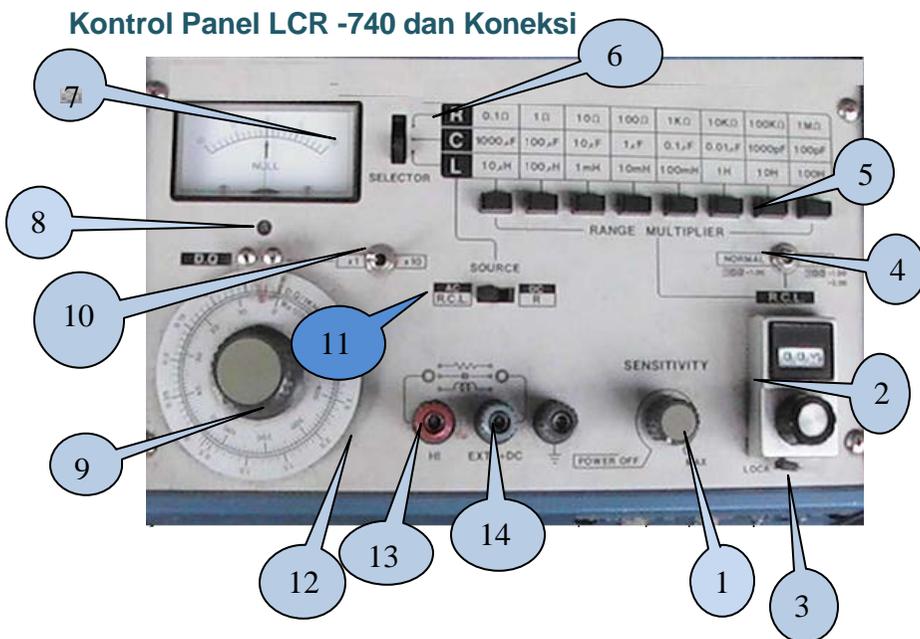
Pengukuran Induktasi

Range	0,1 μ H sampai 1100 H dalam delapan range sampai dengan kesalahan + 10% untuk setiap range
Resolui minimum	0,1 μ H
Akurasi	Range 100 μ H sampai 10H \pm (0,5% +0,1 %

Pada (20° sampai ± 5° C)	f.s.)
	100 H ± (1% +0,1 % f.s.)
	10 μH ± (3 % +0,1 % f.s.)
Resistansi terminal residu	Mendekati 0,3 μH

Pengukuran Faktor Disipasi dan Kualitas

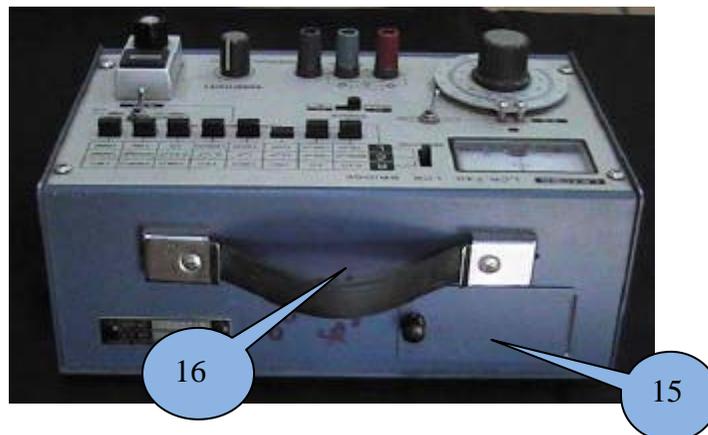
Range	0,01 sampai 30 pada frekuensi 1KHz terbagi dalam 2 range
Akurasi	± 10% + 3 skala divisi
Sumber pengukuran	DC internal dan eksternal untuk pengukuran resistansi. AC internal 1kHz atau eksternal 50Hz sampai 40 kHz untuk pengukuran resistansi dan kapasitansi.



Gambar 3 – 9 Panel-panel LCR meter

1. Saklar POWER dan control SENSITIVITY : putar saklar POWER on atau off dan atur sensitivitas detector untuk pengaturan AC.
2. Indikator R,C,L peraga 3 digit yang dikontrol oleh putaran knob, harga L sebenarnya tergantung pada saklar RANGE MULTIPLIER.
3. Knob pengunci L untuk penguncian indikator R,C,L 2 pada pengaturan sebelumnya bila pengujian

- toleransi komponen, atur normally pada kanan atau posisi bebas.
4. Saklar **NORMAL** +1,00 L pengaturan normal pada umumnya untuk pengukuran pembacaan langsung dari indikasi R,C,L +1 : pengaturan digunakan bila pengukuran di atas batas yang diukur.
 5. Saklar **RANGE MULTIPLIER** untuk memilih range komponen yang diukur.
 6. Saklar **SELECTOR** diatur pada R,C, L tergantung komponen yang akan diukur.
 7. Indikator **NULL** dengan skala 10 – 0 – 10 digunakan pada saat pengukuran resistansi DC dan skala 0 - 10 (pada sisi kanan adalah 0) untuk pengukuran kapasitansi dan induktansi.
 8. Pengaturan mekanis nol untuk indikator **NULL**.
 9. Dial **D Q** : menggunakan dua skala, skala diluar untuk factor disipasi, D, dan skala di dalam untuk RE(ekuivalen resistansi seri) yang dikalibrasi pada frekuensi 1 kHz. Harga ekuivalen resistansi seri yang sebenarnya harus dihitung $R_s = RE/(C\mu F) = (RE \times 10^6)/(C\mu F)$ yang mana RE adalah pembacaan dial.
 10. Saklar **X1 – X10** untuk memilih pengali untuk pembacaan D dan RE pada dial D,Q .
 11. Saklar **SOURCE** untuk memilih sumber internal rangkaian jembatan, DC untuk pengukuran resistansi DC dan AC pada frekuensi 1kHz untuk pengukuran resistansi, kapasitansi dan induktansi.
 12. **RED HI**
 13. **BLUE EXT + DC** untuk dihubungkan dengan komponen yang akan diukur keduanya merupakan terminal mengambang terhadap ground.
 14. Terminal **BLACK** untuk *grounding case*.



Gambar 3 – 10 Sisi atas case

15. Penutup baterai.
16. Pegangan untuk membawa meter.



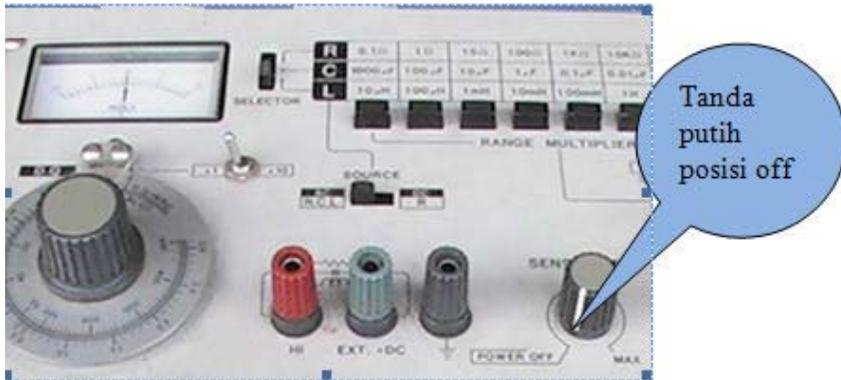
Gambar 3 – 11 Panel belakang LCR meter

- | | |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 17. Jack EXT, SIG, IN : untuk sumber AC eksternal dalam range 50 Hz sampai 40kHz, disisipkan dengan plug mini secara otomatis meng-offkan osilator 1kHz di dalam. 18. Jack telepon : untuk menyisipkan earphone plug bila menggunakan sinyal yang dapat didengar bersama-sama dengan | <ol style="list-style-type: none"> meter penunjuk kondisi null, memungkinkan dihubungkan ke scope untuk tujuan yang sama. 19. Jack EXT, PWR, IN : Untuk dihubungkan ke LPS-169 adapter AC, bila disisipkan baterai internal di-offkan secara otomatis. |
|---|--|

3.2.2 Pengoperasian

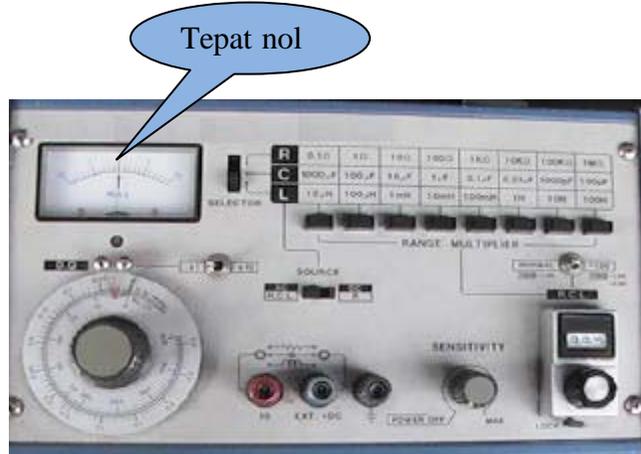
3.2.2.1. Tindakan Pencegahan Kerusakan

1. Saklar power posisikan off selama perioda standby atau bila jembatan tidak digunakan. Ini akan memberi dampak baterai lebih tahan lama.



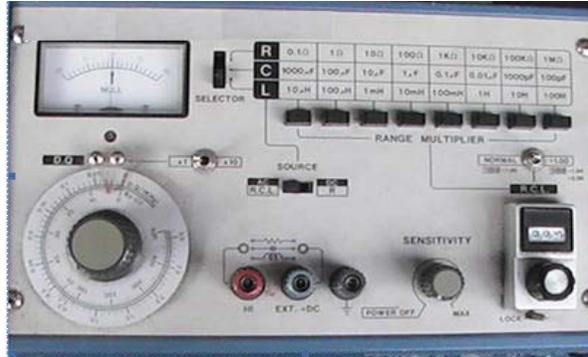
Gambar 3 – 12 Posisi saklar off

2. Cek pengaturan 0 dari null meter, untuk mencegah kesalahan pengukuran resistansi DC . Jika off atur saklar power pada posisi OFF dan atur skrup pengenal meter jika diperlukan sehingga posisi jarum seperti berikut :



Gambar 3 – 13 Posisi nol meter

3. Hubungkan komponen yang akan diukur pada terminal pengukuran merah dan biru sependek mungkin. Ini diperlukan terutama untuk pengukuran komponen yang mempunyai nilai rendah.
4. Ketika knob indikator RCL dikunci dengan knob pengunci jangan putar paksa.
5. Gunakan adapter AC khusus LPS -169 jangan menggunakan tipe lain.



Gambar 3 -14 Panel depan LCR meter

3.3. Pembacaan Nilai Pengukuran

Bila jembatan telah diseimbangkan pembacaan dengan cara sebagai berikut :
dengan indikator R,C, L dan pengaturan RANGE MULTIPLIER

Tabel 3 -1 Pembacaan nilai pengukuran

Range Pengali	Indikasi RCL	Harga yang diukur
R	1000	6,85 6850 (=100 X 6,85)
	10k	6,85 68,5kO (=10 X 6,85)
	100kO	6,85 685kO (=100 X 6,85)
C	100pF	6,8 68pF (=100X0,68)
	0,1 μF	6,85 0,685μF (=0,1X6,85)
	10μF	6,85 68,5μF (=10X6,85)
L	10μH	0,68 6,8μH (=10X0,68)
	10mH	6,85 68,5mH (=10X6,85)
	10H	6,85 68,5 H (=10X6,85)

Penggunaan pengatur saklar normal dari +1,00

Pada umumnya pengukuran saklar ini diatur pada posisi NORMAL. Oleh karena tu bila pengukuran yang lebih tinggi dari indikasi 9,99 diberikan range pengali, ini memungkinkan untuk memperluas range 10%. Ini dikerjakan dengan memutar knob indikator sampai 9,00 dan mengatur saklar pada

+1,00. Pembacaan akan dimulai dari 9,00 sampai 0,00 meskipun harganya akan fari 10,00 keatas sampai 11,00 (dengan menambahkan 1 pada pembacaan). Untuk lebih jelasnya dapat diperhatikan pada tabel di bawah ini.

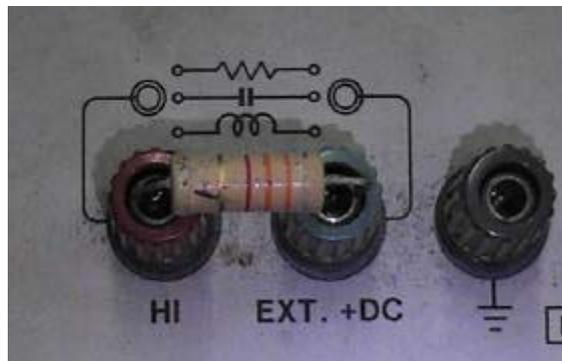
Tabel 3 – 2 Pengaturan saklar NORMAL pada +1,00

Pembacaan	Nilai yang diukur
9,00	10,00 (=9,00 + 1,00)
9,01	10,01
9,5	10,5 dan seterusnya

Setelah pengaturan +1,00 saklar 1,00 pada signifikan pertama, direset NORMAL. Ini untuk mencegah terjadinya kesalahan harga sebenarnya 6,5 akibat penambahan pengukuran

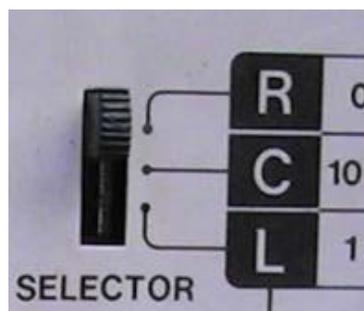
3.3.1. Pengukuran Resistansi

1. Hubungkan komponen yang akan diukur pada terminal merah dan biru.



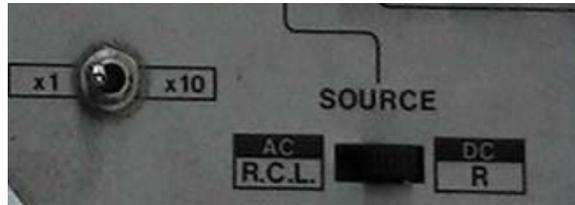
Gambar 3 – 15 Cara mengukur resistansi

2. Atur saklar pemilih pada posisi R perhatikan gambar



Gambar 3 – 16 Posisi selector

Sumber tegangan DC dipilih pada DC/R



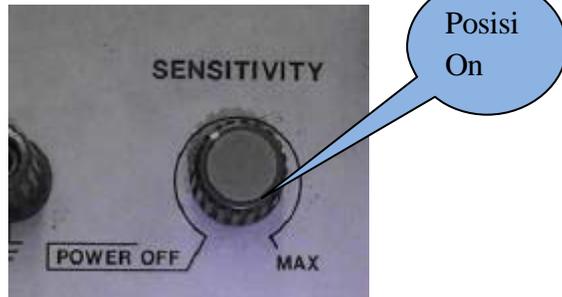
Gambar 3 – 17 Posisi DC R

NORMAL +1,00 PADA NORMAL



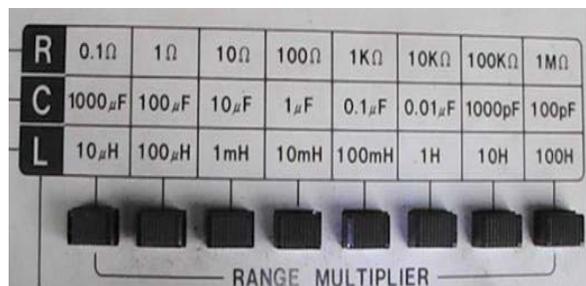
Gambar 3 – 18 Posisi normal

Saklar power pada posisi ON



Gambar 3 – 19 Posisi on

RANGE MULTIPLIER digunakan sesuai komponen yang akan diukur, bila belum diketahui atur pada range yang lebih tinggi agar memberi keleluasaan ayunan penunjuk kekanan dan kekiri.



Gambar 3 -20 Range multiplier

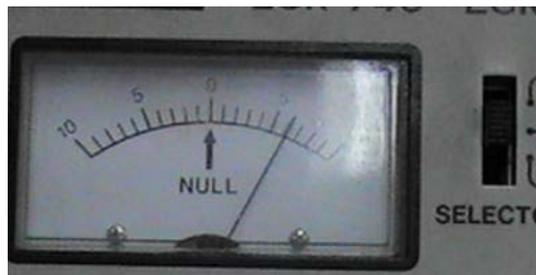
3. Putar knob RCL sampai indikator meter NULL berada ditengah. Jika diperlukan atur RANGE MULTIPLIER.



Diputar sampai indikator meter nol

Gambar 3 – 21 Pengaturan indikator meter nol

4. Baca indikasi RCL dan terapkan range multiplier dalam menentukan harga resistansi.



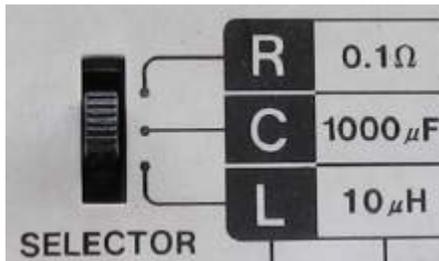
Gambar 3 – 22 Pembacaan indikator RCL

Catatan :

- Jika menggunakan range $1M\Omega$ penunjuk null mungkin tidak terdefinisikan dengan baik, dalam kasus demikian dapat digunakan tegangan DC eksternal. Alternatifnya jika resistor atau komponen yang diukur non induktif, dapat digunakan tegangan internal AC pada frekuensi 1 kHz. Yang berubah hanya saklar SELECTOR pada R dan SOURCE pada AC /RCL
- Pada pengukuran range $0,1\ \Omega$, resistansi residu terminal harus diperhitungkan.

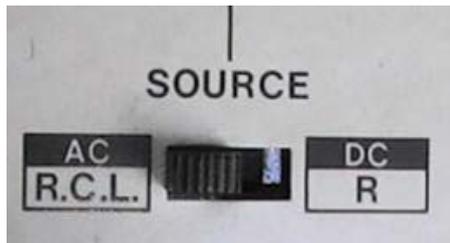
3.3.2. Pengukuran Kapasitansi

1. Atur saklar SELECTOR pada C perhatikan gambar :



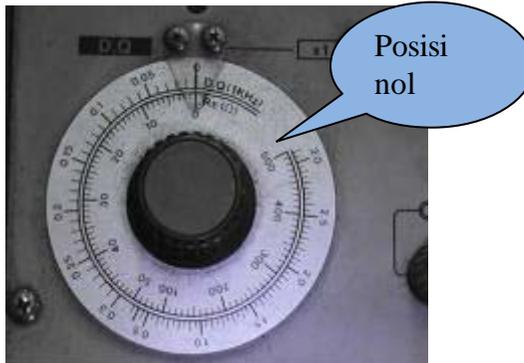
Gambar 3 – 23 Selector pada posisi C

Saklar SOURCE pada AC/RL



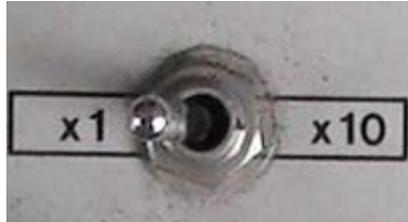
Gambar 3 – 24 Saklar source pada AC/RL

Dial D Q pada 0



Gambar 3 – 25 Dial D Q pada 0

Saklar D Q pada posisi X1



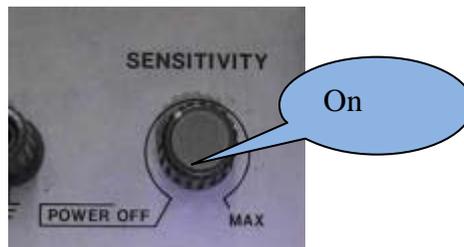
Gambar 3 – 26 Saklar D Q pada posisi x 1

Saklar NORMAL +1,00 pada posisi NORMAL



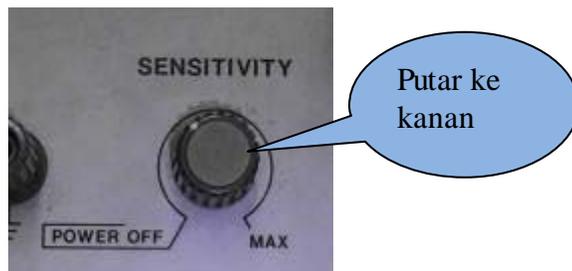
Gambar 3 – 27 Saklar normal +1,00 pada posisi normal

Saklar POWER pada posisi ON



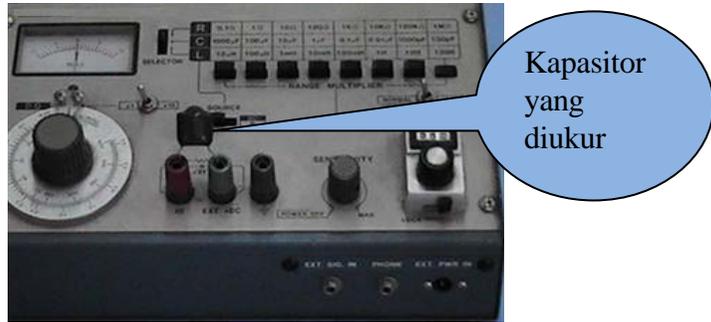
Gambar 3 – 28 Saklar power pada posisi on

Kontrol SENSITIVITY diatur untuk NULL pembacaan meter pada "5".



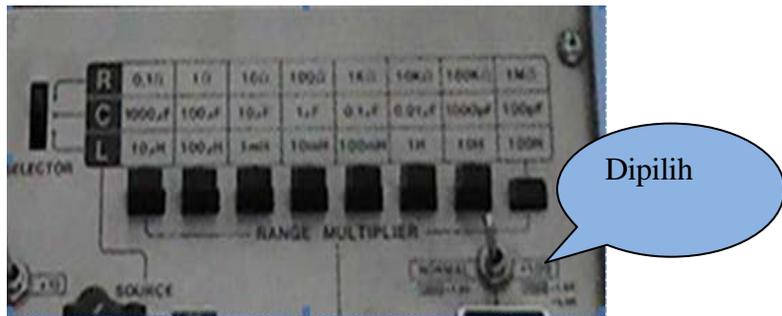
Gambar 3 – 29 Kontrol sensitivity

2. Hubungkan komponen yang akan diukur pada terminal merah dan biru.



Gambar 3 – 30 Posisi kapasitor yang diukur

3. Atur saklar RANGE MULTIPLIER dan knob RCL untuk mendapatkan ayunan minimum atau mengarah 0.



Gambar 3 -31 Mengatur saklar range multiplier

4. Atur dial D, Q dan catat kondisi pengendalian, atur control SENSITIVITY jika diperlukan.



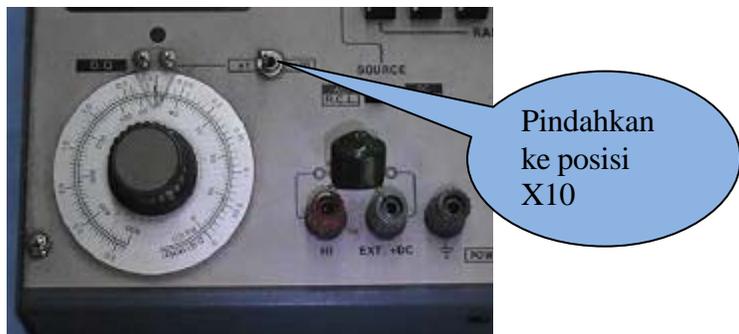
Gambar 3 – 32 Mengatur dial D Q

5. Atur kembali knob RCL dan dial D, Q untuk mendapatkan kondisi pengendalian paling baik.



Gambar 3 – 33 Mengatur knob RCL dan dial D Q

6. Jika pengaturan dial sampai mendekati 3 atur saklar D,Q pada posisi X10.



Gambar 3 – 34 Mengatur Saklar D Q pada Posisi x 10

7. Pembacaan hasil pengukuran



Gambar 3 – 35 Pembacaan hasil pengukuran

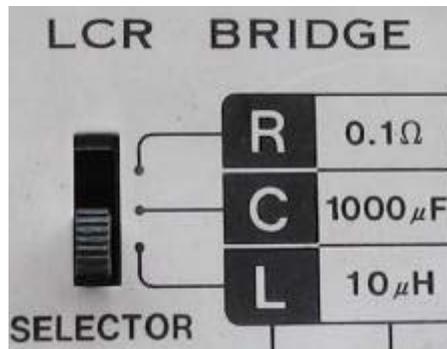
Kapasitansi = Range multiplier X indikasi RCL.
 Faktor disipasi D pada 1 kHz langsung dari hasil pembacaan dikalikan dengan 10 jika saklar A, Q pada posisi X10.
 Ekuivalen resistansi seri R_s , nilainya dihitung melalui hubungan $R_s = (RE) / (C\mu F) = (RE \times 10^6) / (CpF)$ dimana RE adalah pembacaan dial.

Catatan :

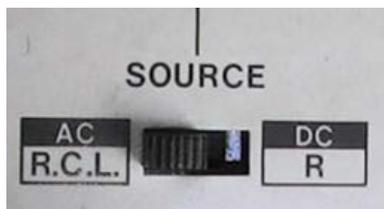
1. Kapasitor yang baik mempunyai nilai D yang sangat rendah dan sebaliknya.
2. Pada pengukuran C diatas 1000pF kapasitansi residu terminal harus diperhitungkan.
3. Untuk pengukuran kapasitansi yang besar (elektrolitik, mempunyai polar diukur menggunakan frekuensi yang rendah misalnya 120 Hz menggunakan sumber AC eksternal).

3.3.3. Pengukuran Induktansi

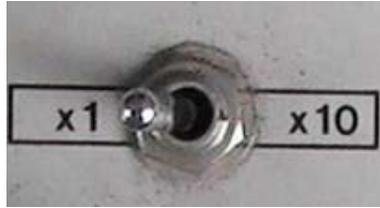
1. Pengaturan control saklar power pada posisi OFF dan saklar pemilih pada posisi L.



Gambar 3 – 36 Saklar pemilih pada posisi L
 Saklar sumber tegangan AC



Gambar 3 – 37 Saklar sumber tegangan AC
 Saklar DQ X1 - X10 dipilih pada posisi X1



Gambar 3 – 38 Saklar DQ x 1 – x 10 dipilih posisi x1

Saklar normal $+1,00$ dipilih pada posisi normal



Gambar 3 – 39 Saklar normal pada posisi normal

Saklar range pengali pada posisi 1 mH

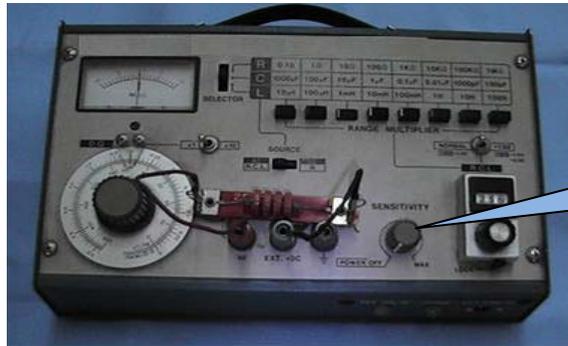


Gambar 3 – 40 Saklar range pengali pada posisi 1 mH

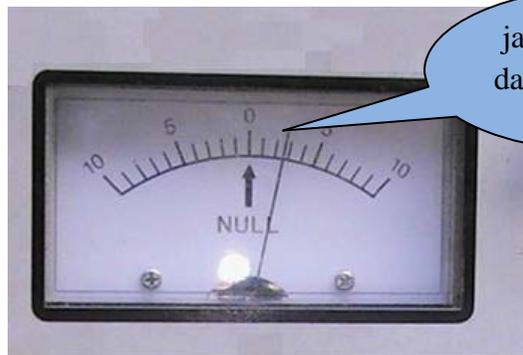
Dial DQ mendekati titik tengah (Q sekitar 0,3)

Dial RCL digital mendekati 2,5

1. Hubungkan komponen yang akan diukur pada terminal merah dan terminal biru (sumber tegangan eksternal DC).
2. Putar tombol SENSITIVIFY searah jarum jam secara perlahan – lahan. Nyalakan, dan atur sampai jarum berpindah kesisi kanan titik NULL dan berada di posisi antara 2 dan 3.



Gambar 3 – 41 Posisi induktor yang Diukur



Gambar 3 – 42 Penunjukan jarum

3. Pilih range pengukuran dengan mengikuti prosedur terutama pada saat mengukur L belum di ketahui. Bagaimanapun, jika komponen yang diukur diketahui nilai perkiraannya pilih range multiplier dan dial R,C, L pada harga yang sesuai.
 - Putar dial DQ, dan tempatkan disuatu titik dimana dip jelas terlihat. (Saat dial DQ diputar dalam arah yang sama, jarum meter bergerak kearah NULL, kemudian begoyang kembali ke kanan. Di waktu yang sama, titik dimana jarum muncul bergerak mendekati menuju titik NULL ini disebut sebagai Dip points). Meskipun jarum indikator bergerak menuju NULL, tombol DQ sampai akhirnya menjadi nol (rotasi searah jarum jam menuju titik ekstrim ini) tanpa memperlihatkan dip point. Dalam kasus demikian pilih range lain dengan menekan tombol range, dan mencoba meletak kan dip point dengan cara yang sama.
 - Seandainya dip point tidak bisa diletakkan meskipun tombol DQ berputar penuh searah jarum jam \cup , atur

tombol X1- X10 pada X10 dan coba untuk menempatkan sebuah titik. Saat dip point tetap tidak didapat, pilih range lain dengan menekan tombol range, dan coba untuk meletakkan dip point. Dalam waktu yang sama, coba untuk mencari sebuah titik sambil menyetel knob SENSITIVITY untuk mendapatkan jarum indikator point terletak dititik antara 2 dan 3 pada pegangan sisi kanan. (Apabila titik tidak dapat ditemukan, periksa bagian bagian nya apabila

kabelnya patah karena pengukuran resisten DC pada range R).

5. Jika dip point sudah diperoleh, lakukan langkah-langkah berikut ini. Atur dial DQ pada titik dimana terjadi dip terbesar. Kemudian atur dial digital LCR untuk mendapatkan titik dip terbesar. (pada saat yang sama untuk mendapatkan dip point atur knob SENSITIVITY hingga jarum indikator menunjuk antara 2 dan 3).
6. Dengan cara yang sama lokasikan dip point dengan mengatur dial DQ dan RCL secara berturut-turut.

Perhatian

Pengenalan nilai induktansi dengan memutar dial DQ minimum pada arah berlawanan jarum jam ↺. Bila resistansi dc komponen induktansi yang diuji sangat besar, atau Q kumparan kurang dari 0,1 pengukuran dilakukan dengan frekuensi pengukuran (1kHz). Sebaliknya nilai maksimum dial Q diputar maksimum searah jarum jam 1X – 10X. Jika saklar sudah diatur pada posisi X10 ternyata Q lebih besar dari 30 diluar range pengukuran, maka tambahkan resistor seri beberapa ohm sampai beberapa ratus ohm ke inductor sehingga mengurangi Q sampai kurang dari 30.

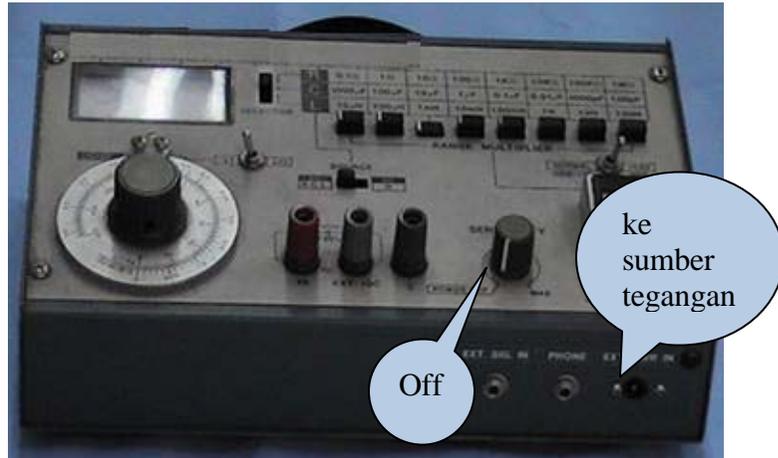
3.4. Pengukuran Resistansi DC Dengan Sumber Luar

Pada saat pengukuran resistansi DC dari komponen yang tidak diketahui pada nilai resistansi yang tinggi dengan sumber baterai dalam mungkin

pengenalan indikasi tidak dapat terjangkau. Dalam kasus demikian diperlukan sumber tegangan DC luar.

Penting untuk diperhatikan :

1. Atur tegangan tinggi masukan, pada saat dihubungkan dengan colok meter dalam keadaan Off.



Gambar 3 – 43 Hubungan ke sumber tegangan luar

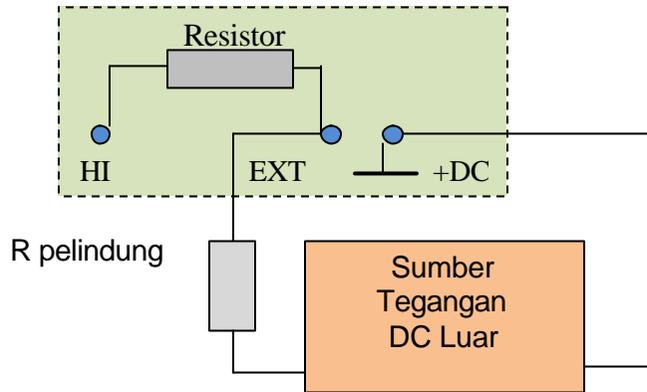
2. Hati-hati jangan sampai **3.4.2.Langkah-langkah**

menyentuh tegangan tinggi.

3. Pelindung resistor harus selalu digunakan pada masukan rangkaian.
4. Bila akan merubah range MULTIPLIER atur dahulu masukan DC pada posisi Off, pastikan bahwa tegangan dan rege aman digunakan, jika ini tidak terpenuhi dapat merusak komponen rangkaian dalam.

Pengukuran :

1. Atur saklar POWER (knob control SENSITIVITY) pada posisi off.
2. Atur supply DC eksternal pada posisi off.
3. Hubungkan colok negatip meter ke terminal hitam dan colok positip meter ke biru (Ext +DC) perhatikan gambar.
4. Hubungkan komponen yang akan diukur pada terminal merah dan biru.
5. Putar knob RCL dan baca penunjukkan, pembacaan dengan multiplier sama seperti pengukuran dengan sumber tegangan dalam.



Gambar 3- 44 Pengukuran R dengan sumber dari luar

Catatan :

Besarnya tegangan DC yang digunakan tergantung pada pengaturan RANGE MULTIPLIER dengan table di bawah ini.

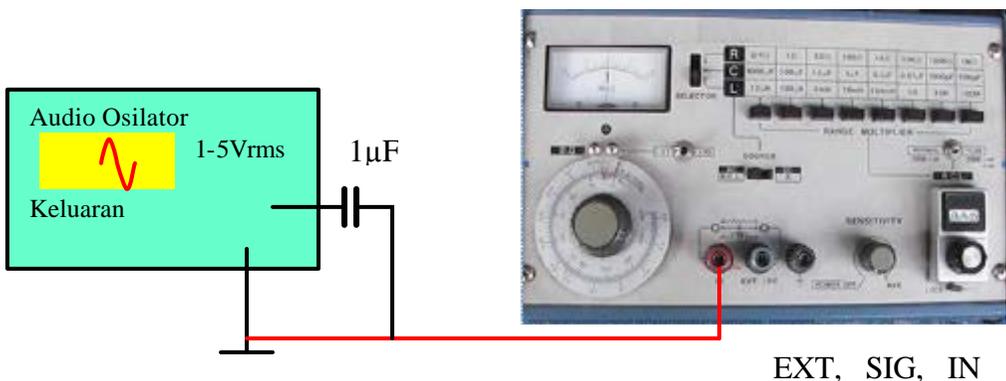
Tabel 3 – 3 Range multiplier

Pengaturan RANGE MULTIPLIER	1 kO	10 kO	100 kO	1 MO
Tegangan Masukan Maks	30V	70V	220V	500V
Resistor seri pelindung	>1800	>2,2 kO	> 27kO	> 56kO

3.5. Prosedur Pengukuran C

1. Menghubungkan masukan

Keluaran generator menggunakan cord asesori yaitu dihubungkan ke jack EXT, SIGN, IN pada casing bagian depan seperti ditunjukkan pada gambar. Sebuah kapasitor 1 μ F dihubungkan seri dengan colok "hot".



Gambar 3 - 45 Pengukuran C, L dengan sumber dari luar

- a. Saklar *SELECTOR* dipilih pada C atau L sesuai dengan komponen yang akan diukur.
- b. Saklar *SOURCE* pada AC/RCL (Jika masukan eksternal dihubungkan ke sumber internal 1 kHz dan rangkaian kondisi off).
- c. C atau L diukur dengan cara yang sama seperti pada pengukuran sumber internal. Dial control *SENSITIVITY* diatur, D, Q dan indikator dan saklar *RANGE MULTIPLIER* untuk mencapai kondisi null.
- d. Nilai C atau L ditentukan oleh pengaturan *RANGE MULTIPLIER* dan indikator RCL.

DAFTAR PUSTAKA

- Agilent.2007. Agilent Automotive Electronics 10 Application Note on Design Debug and Function. Agilent Test. USA. © Agilent Technologies,Inc. www.agilent.com
- Basic oscilloscope operation Creative Commons Attribution License, version 1.0. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses>
- Bernard Grob. 1984. *Basic Television And Video Sistem*. Singapore. Mc Graw Hill International Edition Singapore
- Carson Kennedy.1999. *Introduction to GPS (Global Position System)*. Leica Geosystem AG. Switzerland. www.leica-geosystems.com
- Cooper, William D, 1999. Instrumentasi Elektronik dan Teknik Pengukuran. (Terjemahan Sahat Pakpahan). Jakarta : Penerbit Erlangga.(Buku asli diterbitkan tahun 1978)
- Creative Commons 559 Nathan Abbott Way, Stanford, California 94305, USA
- David Matzke dkk. *USE OF THE OSCILLOSCOPE*. Science Learning Center. Data University Of Michigan-Dearbon.
- Deboo and Burrous.1977. *Integreted Circuit And Semiconductor Devices : theory and application*. Tokyo Japan : Kogakusha.Ltd
- Fluke. Principles testing methods and applications. http://www.newarkinone.thinkhost.com/brands/promos/Earth_Ground_Resistance.pdf
- Garmin.(2000). *GPS Guide for beginner*. Garmin Corporation. USA. www.garmin.com
- Gekco. 2002. *A Video Tutorial*. Copyright Gekco. <http://www.gekco.com/vidprmr.htm> tanggal 1 Oktober
- Hai Hung Chiang. (1984). *Electrical And Electronic Instrumentation*. A wiley Interscience New York. Publication Jhn Wiley And Son.

Healthline Network, Inc. 2007. Equipment Information. 2007 Healthline Networks, Inc. All rights reserved.

[http://www.healthline.com/CTscan/Ctimaging equipment Information](http://www.healthline.com/CTscan/Ctimaging%20equipment%20Information)

[http://www.diagnostic medical IS\Medical ultrasonography - Wikipedia, the free encyclopedia.mht](http://www.diagnosticmedical.com/medicalultrasonography)

Jean-Marie Zogg. 2002. *GPS Basics Introduction to the system Application overview*. Thalwil Switzerland. www.u-blox.com

Kamran Khan. (2007). XYZ of Oscilloscopes. Posted by [bailarina](#) on 29 May 2007. www.sribd.com

Knopp Incorporated. http://www.knoppinc.com/phase_seq.htm

Leader Electronics. Instruction Manual LCR Bridge Model LCR-740. Leader electronics.Corp.

Le Magicien. 2000. **3 PHASE - 3 Wires Sequence Indikator. Tersedia dalam**

http://www.geocities.com/lemagicien_2000/elecpage/3phase/3phase.html diakses tanggal 19 Juni 2008

Magellan. Magellan Maestro TM 4050 User Manual. San Dimas CA 91773. Magellan Navigation Inc.

Manual stargass :

<http://images.mycdmm.de/file/353bb62d149fceb66f5537f0c8f152203b41f7c9>

Muslimim ,M. 1984. Alat-alat Ukur Listrik dan Pengukuran Listrik. Bandung : CV.Armico.

Phase Squence Indoicator . **tesco dua kawat** . <http://www.tesco-advent.com/tesco-phase-sequence.html>

R.S. Panti Rapih. MRI (Magnetik Resonance Imaging) Instalasi Radiologi.R.S. Panti Rapih .

<http://health.howstuffworks.com/mri1.htm>

Soedjana, S., Nishino, O. 1976. Pengukuran dan Alat-alat Ukur Listrik. Jakarta : PT. Pradnya Paramita.

Sanwa Electric. Instructional Manual YX-360 TRD Multitester. Sanwa Electric

Sri M. Shanmukha Chary. 2005. Intermediate Vocational Course, 2nd Year TV servicing Lab-II Manual. Andra Pradesh. Director of Intermediate Education Govt.

Stanford. Basic oscilloscope operation Creative Commons Attribution License, version 1.0. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses> Creative Commons 559 Nathan Abbott Way, Stanford, California 94305, USA Instrument Co.Ltd.

Tektronix. 2005. Fundamentals Of Real-Time Spectrum Analysis. USA. Tektronics. Inc. www.tektronix.com

Wikipedia.2007. Global Positioning System. <http://wikipedia.org/wiki/GPS>

<http://computer.howstuffworks.com/monitor1.htm>

["http://en.wikipedia.org/wiki/CRO/Cathode_ray_tube"](http://en.wikipedia.org/wiki/CRO/Cathode_ray_tube)

www.tektronix.com/signal_generators_9

www.interq.or.jp/~se-inoue/e-oscilo0.htm

<http://www.doctrionics.co.uk/scope.htm>

http://www.tek.com/Measurement/App_Notes/37W_18400/eng/37W_18400_0.pdf

http://productsearch.machinedesign.com/featuredproducts/Industrial_Computers_Embedded_Computer_Components/Data_Acquisition/Spectrum_Analyzers_Signal_Analyzers

http://www.aboutnuclear.org/view.cgi?fC=The_Atom
<http://www.radiologyinfo.org/en/info.cfm?PG=PET&bhcp=1>

http://rst.gsfc.nasa.gov/Intro/Part2_26d.htm

<http://www.medicalim>

<http://www.nmr-services.com/Process%20NMR>

<http://www.duncaninstr.com/images>

<http://www.humminbird.com/images/PDF/737.pdf>

http://www.eaglesonar.com/Downloads/Manuals/Files/IntelliMap640c_0143-881_121305.pdf tanggal 20 Desember 07

<http://www2.tek.com/cmswpt/tidownload.lotr?ct=TI&cs=wpp&ci=3696&lc=EN&wt=480&wtwi=3696&wtla=EN&wty=TI&wtsty=White+Paper&wtp=DOWNLOAD&wtbu=Instrumens+Business&wtpl=Real+Time+Spektrum+Analyzers&wtlit=37W-19285-0&wtsize=27+KB&wtver=1.0&wtcat=tektronix&wtnbrp=0&wtmd=RSA2203A%2CRSA2208A%2CRSA3303A%2CRSA3308A%2CRSA3408A&wtti=EMI+Measurements+Using+Tektronix+Real-Time+Spektrum+Analyzers>

<http://www.radiologyinfo.org/en/info.cfm?PG=PET&bhcp=1>

http://rst.gsfc.nasa.gov/Intro/Part2_26d.htm

<http://www.medicalim>

<http://www.nmr-services.com/Process%20NMR>

http://www.tek.com/Measurement/App_Notes/37W_18400/eng/37W_18400_0.pdf

http://productsearch.machinedesign.com/featuredproducts/Industrial_Computers_Embedded_Computer_Components/Data_Acquisition/Spektrum_Analyzers_Signal_Analyzers

<http://www2.tek.com/cmswpt/tidownload.lotr?ct=TI&cs=wpp&ci=3696&lc=EN&wt=480&wtwi=3696&wtla=EN&wty=TI&wtsty=White+Paper&wtp=DOWNLOAD&wtbu=Instrumens+Business&wtpl=Real+Time+Spektrum+Analyzers&wtlit=37W-19285-0&wtsize=27+KB&wtver=1.0&wtcat=tektronix&wtnbrp=0&wtmd=RSA2203A%2CRSA2208A%2CRSA3303A%2CRSA3308A%2CRSA3408A&wtti=EMI+Measurements+Using+Tektronix+Real-Time+Spektrum+Analyzers>

<http://images.mycdmm.de/file/353bb62d149fceb6f5537f0c8f152203b41f7c9> Manual stargass

(www.wikimediafoundation.org/ Oktober 2007)

<http://www.aboutnuclear.org/view>

<http://www.radiologyinfo.org/en/info.cfm?PG=PET&bhcp=1>

http://rst.gsfc.nasa.gov/Intro/Part2_26d.htm

<http://www.medicalim>

<http://www.nmr-services.com> /Process%20NMR

<http://www.healthline.com>\CTscan\ Ctimaging equipment Information

<http://health.howstuffworks.com/mri1.htm>

<http://www.radiologyinfo.org/en/info.cfm?PG=PET&bhcp=1>

http://rst.gsfc.nasa.gov/Intro/Part2_26b.html CT ijo

http://rst.gsfc.nasa.gov/Intro/Part2_26c.html sumber CAT

<http://www.radiologyinfo.org/en/info.cfm?PG=PET&bhcp=1>

http://rst.gsfc.nasa.gov/Intro/Part2_26d.html

http://en.wikilipedia.org/wiki/Functional_magnetik_resonance_imaging

http://en.wikipedia.org/wiki/Medical_imaging

http://www.aboutnuclear.org/view.cgi?fC=The_Atom<http://www.radiologyinfo.org/en/info.cfm?PG=PET&bhcp=1>http://rst.gsfc.nasa.gov/Intro/Part2_26d.htm

<http://www.medicalim>

<http://www.nmr-services.com> /Process%20NMR

<http://www.healthline.com>\CTscan\ Ctimaging equipment Information

<http://health.howstuffworks.com/mri1.htm>

<http://www.DiagnostikMedicalIS/>Medicalultrasonography-Wikipedia,the freeencyclopedia.mht.

<http://www.humminbird.com/images/PDF/737.pdf>

LAMPIRAN B

DAFTAR TABEL

No. Tabel	Nama Tabel	Halaman
Tabel 1-1	Besaran-besaran satuan dasar SI	3
Tabel 1-2	Beberapa contoh satuan yang diturunkan	4
Tabel 1-3	Perkalian desimal	5
Tabel 1-4	Satuan bukan SI yang dapat dipakai bersama dengan satuan	5
Tabel 1-5	Konversi Satuan Inggris ke SI	6
Tabel 1-6	Letak alat ukur waktu digunakan	9
Tabel 1-7	Beberapa Contoh Alat Ukur Penunjuk Listrik	13
Tabel 1-8	Tabel kebenaran decoder BCD	33
Tabel 1-9	Karakteristik beberapa fosfor yang lazim digunakan	39
Tabel 2-1	Kalibrasi Arus	50
Tabel 2-2	Harga R_x dan D	64
Tabel 2-3	Spesifikasi Umum Meter Elektronik Analog	72
Tabel 2-4	Probe Multimeter Pengukuran Tegangan Tinggi	72
Tabel 2-5	Range Pengukuran dan Akurasi	73
Tabel 2-6	Kalibrasi Voltmeter	84
Tabel 2-7	Kesalahan dan Koreksi Relatip	85
Tabel 2-8	Kalibrasi Arus	89
Tabel 2-9	Kesalahan dan Koreksi Relatip	90
Tabel 2-10	Spesifikasi Multimeter Digital	114
Tabel 3-1	Pembacaan nilai pengukuran	145
Tabel 3-2	Pengaturan saklar NORMAL pada +1,00	146
Tabel 3-3	Range multiplier	158
Tabel 4-1	Rating, Internal Impedance, and rated power loss	175
Tabel 4-2	Konstanta Pengali (Tegangan perkiraan 120/240V, arus perkiraan 1/5A)	179
Tabel 4-3	Range Tegangan dan Arus	194
Tabel 5-1	Tahanan pentanahan	221
Tabel 5-2	Panduan Penetapan Penyelidikan	226
Tabel 5-3	Spesifikasi Field Meter Statik	239
Tabel 5-4	Data Teknik	243
Tabel 5-5	Spesifikasi Smart Field Meter	246
Tabel 6-1	Spesifikasi generator fungsi	250
Tabel 6-2	Crest faktor dan bentuk gelombang	272
Tabel 6-3	Konversi dBm	273
Tabel 9-1	Span dipilih, dihapus dan kecepatan sampel efektif	388
Tabel 9-2	Perbandingan pengaruh perubahan pengaturan span pada ranah frekuensi dan waktu	389
Tabel 9-3	Beberapa model penganalisa spectrum waktu riil	414
Tabel 9-4	Data Spesikasi	415
Tabel 9-5	Simbol-simbol keamanan	415
Tabel 9-6	Kebutuhan Alat Pelengkap	416
Tabel 10-1	Saklar pola gambar	456
Tabel 11-1	Spesifikasi	502

Tabel 11-2	Karakteristik Pengetesan Alat	503
Tabel 11-3	Cakupan Nilai Antara Kandungan Gas Aman	515
Tabel 12-1	Faktor-faktor kesalahan	538

LAMPIRAN C

DAFTAR GAMBAR

No. Gambar	Nama gambar	Halaman
Gambar 1-1	Alat ukur standar galvanometer	2
Gambar 1-2	Alat ukur sekunder	3
Gambar 1-3	Posisi pembacaan meter	7
Gambar 1-4a	Pembacaan yang salah	7
Gambar 1-4b	Pembacaan yang benar	7
Gambar 1-5	Pengenalan meter tidak tepat	7
Gambar 1-6	Posisi pegas	8
Gambar 1-7	Kalibrasi sederhana ampermeter	10
Gambar 1-8	Kalibrasi sederhana voltmeter	11
Gambar 1-9	Hukum tangan kiri Fleming	14
Gambar 1-10	Prinsip kerja alat ukur	15
Gambar 1-11	Momen penyimpang	16
Gambar 1-12	Penentuan dari penunjukkan alat ukur kumparan putar	17
Gambar 1-13	Skala alat ukur kumparan putar	17
Gambar 1-14	Peredaman alat ukur kumparan putar	18
Gambar 1-15	Gerakan jarum penunjuk dari suatu alat ukur	19
Gambar 1-16	Prinsip kerja instrumen tipe tarikan	20
Gambar 1-17	Beberapa bagian instrumen tipe tarikan	21
Gambar 1-18	Besarnya momen gerak	21
Gambar 1-19	Beberapa bagian penampang jenis repulsion	23
Gambar 1-20	Dua buah lembaran besi yang berbentuk seperti lidah	23
Gambar 1-21	Prinsip alat ukur elektrodinamis	25
Gambar 1-22	Rangkaian ampermeter elektrodinamis	26
Gambar 1-23	Rangkaian voltmeter elektrodinamis	26
Gambar 1-24	Skema voltmeter elektrostatis	27
Gambar 1-25	Rekombinasi elektron	29
Gambar 1-26	Polaritas dan simbol LED	29
Gambar 1-27	LED	30
Gambar 1-28	Rangkaian LED	30
Gambar 1-29	Skematik seven segmen	31
Gambar 1-30	Peraga seven segmen	31
Gambar 1-31	Rangkaian dekoder dan seven segmen	32
Gambar 1-32	Macam-macam peragaan seven segmen	32
Gambar 1-33	Konstruksi LCD	33
Gambar 1-34	Contoh peraga LCD pada multimeter	34
Gambar 1-35	Perkembangan LCD pada implementasi monitor TV	35
Gambar 1-36	Skema CRT	36
Gambar 1-37	Cutaway rendering of a color CRT	36
Gambar 1-38	Senapan elektron	37
Gambar 1-39	Tanda skala gratikul	40
Gambar 2-1	Basic meter unit	42
Gambar 2-2a	Ampermeter shunt	43
Gambar 2-2b	Ampermeter dengan basic meter unit	43
Gambar 2-3	Contoh soal ampermeter shunt	44

Gambar 2-4	Ampermeter dengan ring yang berbeda	45
Gambar 2-5	Ayrton shunt	46
Gambar 2-6	Rangkaian penyearah pada Ampermeter AC	47
Gambar 2-7	Contoh dasar ampermeter AC	48
Gambar 2-8	Hasil posisi pembacaan meter	49
Gambar 2-9	Kalibrasi arus	49
Gambar 2-10a	Rangkaian tanpa meter	50
Gambar 2-10b	Rangkaian dengan meter	51
Gambar 2-11	Rangkaian ekivalen thevenin	51
Gambar 2-12	Contoh soal thevenin	52
Gambar 2-13	Contoh soal	52
Gambar 2-14	Contoh soal	54
Gambar 2-15	Voltmeter DC sederhana	54
Gambar 2-16	Voltmeter dengan basic meter unit dan multiplier	55
Gambar 2-17	Contoh soal voltmeter	56
Gambar 2-18	Contoh Implementasi	57
Gambar 2-19a	Tegangan tanpa meter	60
Gambar 2-19b	Tegangan dengan meter	60
Gambar 2-20a	Rangkaian tanpa meter	60
Gambar 2-20b	Rangkaian dengan meter	60
Gambar 2-21	Rangkaian penyelesaian aplikasi 1	61
Gambar 2-22	Rangkaian penyelesaian aplikasi 2	62
Gambar 2-23	Dasar ohmmeter seri	63
Gambar 2-24	Pembuatan tanda/skala ohmmeter	65
Gambar 2-25	Skala logaritmis pada ohmmeter seri	65
Gambar 2-26	Aplikasi ohmmeter seri	66
Gambar 2-27	Dasar ohmmeter parallel	67
Gambar 2-28	Skala ohmmeter parallel	67
Gambar 2-29	Jenis-jenis multimeter elektronik di pasaran	68
Gambar 2-30	Multimeter elektronik	69
Gambar 2-31	Rangkaian voltmeter DC elektronik	69
Gambar 2-32	penyearah	70
Gambar 2-33	Rangkaian ohmmeter elektronik	71
Gambar 2-34	Gambar saklar jarum nol	74
Gambar 2-35	Gambar pemilih fungsi	74
Gambar 2-36	Panel depan	75
Gambar 2-37	Fungsi jarum penunjuk	75
Gambar 2-38	Fungsi skala	75
Gambar 2-39	Fungsi zero adjust screw	76
Gambar 2-40	Fungsi ohm adjust knob	76
Gambar 2-41	Fungsi selector switch	77
Gambar 2-42	Fungsi lubang kutub (VAO terminal)	77
Gambar 2-43	Fungsi lubang kutub + (common terminal)	78
Gambar 2-44	Knob pemilih range	78
Gambar 2-45	Rangkaian pengukur tegangan DC	79
Gambar 2-46	Penunjukan pengukuran tegangan DC	79
Gambar 2-47	Pengawatan pengukuran tegangan DC salah	80
Gambar 2-48	Knob pemilih range	80
Gambar 2-49	Rangkaian pengukuran tegangan AC jala-jala PLN	81

Gambar 2-50	Penunjukan pengukuran tegangan AC	81
Gambar 2-51	Rangkaian Kalibrasi Tegangan	83
Gambar 2-52	Rangkaian Pengukuran Arus DC	85
Gambar 2-53	Knob Pemilih Range	86
Gambar 2-54	Skala Penunjukkan Arus DC	86
Gambar 2-55	Knob Pemilih Range	87
Gambar 2-56	Rangkaian Pengukuran Arus DC yang Salah	87
Gambar 2-57	Rangkaian Kalibrasi Arus	88
Gambar 2-58	Cara Pemasangan Ohmmeter	91
Gambar 2-59	Posisi Pemindahan Range Ohmmeter	91
Gambar 2-60	Kalibrasi Ohmmeter	92
Gambar 2-61	Penempatan Resistor pada Pengukuran OHM	92
Gambar 2-62	Penunjukkan Hasil Pengukuran Ohm	93
Gambar 2-63	Rangkaian Pengukuran Resistansi	93
Gambar 2-64	Membuka Sekrup Pengunci	94
Gambar 2-65	Bagian Belakang Meter	94
Gambar 2-66	Posisi Skala dB Meter	95
Gambar 2-67	Pengenalan Sebelum Mengukur Hambatan	95
Gambar 2-68	Pengukuran Arus Bocor Transistor NPN	96
Gambar 2-69	Posisi Saklar Pembacaan I_{CEO}	96
Gambar 2-70	Rangkaian Pengetesan LED dengan Ohmmeter	97
Gambar 2-71	Pengukuran Arus I_F Dioda Bias Maju	97
Gambar 2-72	Pengukuran Arus I_R Dioda Bias Mundur	98
Gambar 2-73	Posisi Skala Pembacaan LV	98
Gambar 2-74	Gerakan Jarum Pengukuran Kapasitor	99
Gambar 2-75	Posisi Skala Kapasitor	99
Gambar 2-76	Pengenalan jarum Ohmmeter	100
Gambar 2-77	Pengetesan Dioda Bias Maju	101
Gambar 2-78	Pengetesan Dioda Bias Balik	101
Gambar 2-79	Knob Selektor Posisi Ohmmeter	102
Gambar 2-80	Gambar Kalibrasi Ohmmeter	102
Gambar 2-81	Pengetesan Transistor NPN Emitter Negatif	103
	Meter Nunjuk Nol	
Gambar 2-82	Pengetesan Transistor NPN Kolektor Negatif	103
	Meter Nunjuk Nol	
Gambar 2-83	Pengetesan Base Emitter Reverse	104
Gambar 2-84	Pengetesan Basis Kolektor Reverse	104
Gambar 2-85	SCR Anoda Gate dikopel Katoda Tegangan Negatif	105
Gambar 2-86	Gate Dilepaskan Posisi Jarum Tetap Nol	105
Gambar 2-87	Elektroda SCR FIR 3D	106
Gambar 2-88	Pelepasan Sekrup Pengunci Sekring	106
Gambar 2-89a	Posisi Sekering dalam PCB	107
Gambar 2-89b	Sekering	107
Gambar 2-90	Pengetesan sekering	107
Gambar 2-91	Pengukuran Baterai	108
Gambar 2-92	Pengecekan Colok Meter	108
Gambar 2-93	Pengubah analog ke digital	110
Gambar 2-94	Bentuk gelombang pencacah pengubah analog ke digital	111

Gambar 2-95	Meter Digital	111
Gambar 2-96a	Sistem Pengukuran Tegangan	115
Gambar 2-96b	Bentuk Gelombang Tegangan	116
Gambar 2-97	Pengukuran Resistansi dengan Voltmeter Digital	117
Gambar 2-98	Sistem dan Bentuk Gelombang Pengukuran Frekuensi	118
Gambar 2-99	Sistem dan Bentuk Gelombang Pengukuran Periode	119
Gambar 2-100	Sistem Pengukuran Interval Waktu	120
Gambar 2-101	Sistem dan Bentuk Gelombang pengukuran kapasitansi	121
Gambar 2-102	Macam-macam Meter Digital	122
Gambar 2-103	Multimeter Digital dengan Selektor dan Otomatis	124
Gambar 2-104	Macam-macam Multimeter Digital di Pasaran	125
Gambar 3-1	Jembatan Wheatstone	126
Gambar 3-2	Jembatan Kelvin	128
Gambar 3-3	Jembatan Ganda Kelvin	130
Gambar 3-4	Jembatan Pembanding Induktansi	132
Gambar 3-5	Jembatan Maxwell	133
Gambar 3-6	Jembatan Hay	135
Gambar 3-7	Jembatan Pembanding Kapasitansi	137
Gambar 3-8	Jembatan Schering	138
Gambar 3-9	Panel-panel LCR Meter	141
Gambar 3-10	Sisi Atas Case	142
Gambar 3-11	Panel Belakang LCR Meter	143
Gambar 3-12	Posisi Saklar Off	144
Gambar 3-13	Posisi Nol Meter	144
Gambar 3-14	Panel Depan LCR Meter	145
Gambar 3-15	Cara Mengukur Resistansi	146
Gambar 3-16	Posisi Selector	146
Gambar 3-17	Posisi DC R	147
Gambar 3-18	Posisi Normal	147
Gambar 3-19	Posisi On	147
Gambar 3-20	Range Multiplier	147
Gambar 3-21	Pengaturan Indikator Meter Nol	148
Gambar 3-22	Pembacaan Indikator RCL	148
Gambar 3-23	Selector pada Posisi C	149
Gambar 3-24	Saklar Source pada AC/RL	149
Gambar 3-25	Dial D Q pada 0	149
Gambar 3-26	Saklar D Q pada posisi x 1	150
Gambar 3-27	Saklar Normal +1,00 pada posisi Normal	150
Gambar 3-28	Saklar Power pada posisi On	150
Gambar 3-29	Kontrol Sensitivity	150
Gambar 3-30	Posisi Kapasitor yang diukur	151
Gambar 3-31	Mengatur Saklar Range Multiplier	151
Gambar 3-32	Mengatur Dial D Q	151
Gambar 3-33	Mengatur Knob RCL dan Dial D Q	152
Gambar 3-34	Mengatur Saklar D Q pada Posisi x 10	152
Gambar 3-35	Pembacaan Hasil Pengukuran	152
Gambar 3-36	Saklar Pemilih pada Posisi L	153

Gambar 3-37	Saklar Sumber Tegangan AC	153
Gambar 3-38	Saklar DQ x 1 – x 10 dipilih Posisi x1	154
Gambar 3-39	Saklar Normal pada Posisi Normal	154
Gambar 3-40	Saklar Range Pengali pada Posisi 1 mH	154
Gambar 3-41	Posisi Induktor yang Diukur	155
Gambar 3-42	Penunjukan Jarum	155
Gambar 3-43	Hubungan ke Sumber Tegangan Luar	157
Gambar 3-44	Pengukuran R dengan Sumber dari Luar	158
Gambar 3-45	Pengukuran C, L dengan Sumber dari Luar	158
Gambar 4-1	Pengukuran Daya dengan Memakai Voltmeter dan Ampermeter	160
Gambar 4-2	Pengukuran Daya Metoda Tiga Voltmeter dan Tiga Ampermeter	163
Gambar 4-3	Wattmeter Satu Fasa	165
Gambar 4-4	Metode ARON	167
Gambar 4-5	Diagram Fasor Tegangan Tiga Fasa Vac, Vcb, Vba dan Arus Tiga Fasa Iac, Icb, dan Iba	168
Gambar 4-6	Konstruksi Wattmeter Elektrodinamometer	169
Gambar 4-7	Diagram Vektor Wattmeter Jenis Elektrodinamometer	170
Gambar 4-8	Diagram Vektor Wattmeter Jenis Induksi	170
Gambar 4-9	Prinsip Wattmeter Jenis Thermokopel	171
Gambar 4-10	Rangkaian Wattmeter Jenis Elektrodinamometer	172
Gambar 4-11	Variasi Penyambungan Wattmeter	173
Gambar 4-12	Konstruksi Wattmeter Tipe Portable Single Phase	174
Gambar 4-13	Hubungan Internal Wattmeter Tipe Portable Single Phase	174
Gambar 4-14	Hubungan Kumparan Arus Seri terhadap Beban	176
Gambar 4-15	Pengukuran Daya Satu Fasa jika Arus Melebihi Nilai Perkiraan	176
Gambar 4-16	Pengukuran Daya Satu Fasa jika Tegangan Melebihi Nilai Perkiraan	177
Gambar 4-17	Pengukuran Daya Satu Fasa jika Arus dan Tegangan Melebihi Nilai Perkiraan	177
Gambar 4-18	Pengukuran Daya Tiga Fasa (Metode Dua Wattmeter)	178
Gambar 4-19	Pengukuran Daya Tiga Fasa jika Arus dan Tegangan Melebihi Nilai Perkiraan	178
Gambar 4-20	Rangkaian Wattmeter AC Satu Fasa	180
Gambar 4-21	Rangkaian Kumparan tegangan	181
Gambar 4-22	Konstruksi Wattjam Meter	184
Gambar 4-23	Mekanik Meter Induksi Elektromekanik	185
Gambar 4-24	Meter Induksi Elektromekanik, 100A 230/400 V Cakram Baling-baling Aluminium Horizontal Merupakan Pusat Meter	186
Gambar 4-25	Meter Listrik Solid State	187
Gambar 4-26	Rangkaian Alat Ukur Faktor Daya Satu Fasa	191
Gambar 4-27	Konstruksi Alat Ukur Faktor Daya	192
Gambar 4-28	Rangkaian Alat Ukur Faktor Daya Tiga Fasa	193

Gambar 4-29	Alat Ukur Faktor Daya Tipe Daun Terpolarisasi	193
Gambar 4-30	Konstruksi Faktor Daya (Cos Q meter)	194
Gambar 4-31	Segitiga Daya	196
Gambar 4-32	Daya Bersifat Induktif	196
Gambar 4-33	Daya Bersifat Kapasitif	196
Gambar 4-34	Pengukuran Faktor Daya Satu Fasa	199
Gambar 4-35	Pengukuran Faktor Daya Tiga Fasa	200
Gambar 4-36	Metode Menentukan Urutan Fasa dengan R dan C	200
Gambar 4-37	Fasor Diagram saat Urutan Fasa Benar	201
Gambar 4-38	Fasor Diagram saat Urutan Fasa Salah	201
Gambar 4-39	Metode Menentukan Urutan Fasa dengan Lampu	202
Gambar 4-40	Konstruksi Indikator Tes Urutan Fasa	202
Gambar 4-41	Prinsip Indikator Tes Urutan Fasa	203
Gambar 4-42	Contoh Indikator Tes Urutan Fasa yang Lain	205
Gambar 4-43	Pengoperasian Indikator Urutan Fasa dengan R dan C pada Urutan Benar	206
Gambar 4-44	Pengoperasian Indikator Urutan Fasa dengan R dan C pada Urutan Salah	207
Gambar 4-45	Pengoperasian Indikator Urutan Fasa dengan Lampu pada Urutan Benar	208
Gambar 4-46	Pengoperasian Indikator Urutan Fasa dengan Lampu pada Urutan Salah	209
Gambar 5-1	Penguji Tahanan Isolasi	211
Gambar 5-2	Penguji tahanan Isolasi Menggunakan Baterai	212
Gambar 5-3	Pengecekan Kondisi Baterai	213
Gambar 5-4	Baterai dalam Kondisi Baik	213
Gambar 5-5	Meter Siap Digunakan	214
Gambar 5-6	Pengukuran Tahanan isolasi	214
Gambar 5-7	Pengukuran Tahanan Isolasi antara Fasa dengan Nol N	214
Gambar 5-8	Pengukuran tahanan isolasi antara Fasa dengan Tanah G	215
Gambar 5-9	Pengukuran tahanan isolasi antara nol N dengan Tanah G	
Gambar 5-10	Pengukuran Tahanan Isolasi antara Instalasi dengan Tanah G	215
Gambar 5-11	Elektroda yang Mempunyai Pengaruh Lapisan	216
Gambar 5-12	Tanah yang korosif	217
Gambar 5-13	Sambaran petir	218
Gambar 5-14	Nilai Tahanan Pentanahan yang Ideal	218
Gambar 5-15	Hubungan antara Penghantar Tanah dan Elektroda Tanah	219
Gambar 5-16	Elektroda yang mempunyai pengaruh lapisan	221
Gambar 5-17	Elektroda Pentanahan	222
Gambar 5-18	Hubungan Beberapa Elektroda Pentanahan	222
Gambar 5-19	Jaringan Bertautan	222
Gambar 5-20	Pelat Tanah	222
Gambar 5-21	Cara Mengukur Tahanan Tanah	224

Gambar 5-22	Uji drop tegangan	225
Gambar 5-23	Uji Selektif	227
Gambar 5-24	Pengetesan alur arus metoda tanpa pancang	228
Gambar 5-25	Susunan Metoda tanpa Pancang	229
Gambar 5-26	Mengukur Tahanan Tanah dengan Dua Kutub	230
Gambar 5-27	MGB Mentanahkan Tanah	230
Gambar 5-28	Pengetesan kantor pusat tanpa pancang	231
Gambar 5-29	Pelaksanaan Pengujian Jatuh Tegangan pada Sistem Pentanahan Secara Keseluruhan	232
Gambar 5-30	Pengukuran Tahanan Tanah Masing-masing pada Sistem Pentanahan Menggunakan Pengujian Terpilih	232
Gambar 5-31	Susunan Khas Sistem Pentanahan pada Suatu Instalasi Menara Seluler	233
Gambar 5-32	Susunan Khas Sistem Pentanahan pada Gardu Induk	235
Gambar 5-33	Penggunaan Pengetesan tanpa Pancang pada Instalasi Switching Jarak Jauh	235
Gambar 5-34	Penggunaan Pengetesen Tahanan Tanah Terpilih pada Sistem Penangkal Petir	235
Gambar 5-35	Mekanik field meter	235
Gambar 5-36	Rangkaian Elektronik Field Meter Statik	236
Gambar 5-37	Hasil pengukuran tegangan	237
Gambar 5-38	Field Meter Statik	237
Gambar 5-39a	Rotating Shutters pada Permukaan Belakang Field Meter	238
Gambar 5-39b	Field Meter Digunakan Diluar Ruangan	238
Gambar 5-40	Ukuran field meter statik	239
Gambar 5-41	Letrak Pin Field Meter Statik	240
Gambar 5-42	Aluminium-Clamp dengan Ulir	240
Gambar 5-43	Instrumen Field Meter Digital	241
Gambar 5-44	Display Field Meter Digital	242
Gambar 5-45	Smart field meter	244
Gambar 5-46	Aplikasi smart field meter	245
Gambar 5-47	Frekuensi respon	245
Gambar 6-1	Contoh Generator Fungsi	247
Gambar 6-2	Blok Diagram Generator Fungsi	249
Gambar 6-3	Gambar Troubel Shooting Menggunakan Teknik Signal Tracing	251
Gambar 6-4	Penggunaan Generator Fungsi Sebagai Kombinasi Bias dan Sumber Sinyal	252
Gambar 6-5	Karakteristik Amplifier pada Overload	253
Gambar 6-6	Setting Peralatan dan Pengukuran Respon Frekuensi	255
Gambar 6-7	Peragaan Respon Frekuensi Audio Amplifier	255
Gambar 6-8	Pengaruh Variasi Tone Kontrol	256
Gambar 6-9a	Pengetesan Sistem Speaker	257
Gambar 6-9b	Karakteristik Pengetesan Sistem Speaker dan Rangkaian Impedansi	257
Gambar 6-10	Pengoperasian Generator RF	259

Gambar 6-11	Rangkaian Direct Digital Synthesis	260
Gambar 6-12	Presentasi Gelombang Sinus dalam Memori Gelombang	261
Gambar 6-13	Phase Accumulator Circuitry	262
Gambar 6-14	Bentuk gelombang arbitrary dengan diskontinuitas	264
Gambar 6-15	Spektrum bentuk gelombang di atas pada 100 kHz	264
Gambar 6-16	Rangkaian pembangkit bentuk gelombang kotak	265
Gambar 6 -17	Rangkaian pembangkit bentuk gelombang pulsa	266
Gambar 6-18	Parameter bentuk gelombang pulsa	266
Gambar 6-19	Rangkaian kendali amplitudo output	269
Gambar 6-20	Impedansi keluaran generator fungsi	269
Gambar 6-21	Pengaruh rangkaian tertutup ground	271
Gambar 6-22	Nilai tegangan yang penting pada gelombang sinus	272
Gambar 6-23	Modulasi amplitudo	274
Gambar 6-24	Modulasi frekuensi	275
Gambar 6-25	Frequensi shift keying	275
Gambar 6-26	Fekuensi sapuan	276
Gambar 6-27	Sweep with marker at DUT resonance	277
Gambar 6-28	Bentuk gelombang keluaran syn dan tiga siklus bentuk gelombang burst	278
Gambar 6-29	Konfigurasi dua instrumen	278
Gambar 6-30	Pengukuran lebar band dari filter bandpass dan penguat IF	280
Gambar 6-31	Bentuk gelombang keluaran generator fungsi	281
Gambar 6-32	Pelacakan Penganalisa spektrum	281
Gambar 6-33	Alignment penerima AM	283
Gambar 6-34	Alignment dari penerima IF komunikasi FM dan diskriminator	284
Gambar 7-1	Pengambilan Data dengan CRO	288
Gambar 7-2	Peraga Bentuk Gelombang Komponen X, Y, Z	289
Gambar 7-3	Bentuk Gelombang pada Umumnya	290
Gambar 7-4	Sumber-sumber Bentuk Gelombang pada Umumnya	290
Gambar 7-5	Gelombang Sinus	291
Gambar 7-6	Bentuk Gelombang Kotak dan Segiempat	291
Gambar 7-7	Bentuk Gelombang Gigi Gergaji dan Segitiga	291
Gambar 7-8	Step, Pulsa dan Rentetan Pulsa	292
Gambar 7-9	Bentuk Gelombang Komplek Video Komposit	293
Gambar 7-10	Frekuensi dan Periode Gelombang Sinus	293
Gambar 7-11	Amplitudo dan Derajat Gelombang Sinus	294
Gambar 7-12	Pergeseran Pasa	295
Gambar 7-13	Operasi Dasar CRO	296
Gambar 7-14	Hubungan Basis Waktu Masukan dan Tampilan	298
Gambar 7-15	Struktur Tabung Gambar	298
Gambar 7-16	Sistem Pembelokan Berkas Elektron	299
Gambar 7-17	Blok Diagram CRO Analog	301
Gambar 7-18	Blok Diagram CRO Free Running	303

Gambar 7-19	Blok Diagram Osiloskop Terpicu	305
Gambar 7-20	Peraga Osiloskop Free Running	055
Gambar 7-21	Peraga Osiloskop Terpicu	305
Gambar 7-22	Blok Diagram CRO Jejak Rangkap	306
Gambar 7-23	Diagram Blok Osiloskop Berkas Rangkap yang Disederhanakan	308
Gambar 7-24	Tabung Penyimpan dengan Sasaran Ganda dan Senapan Elektron	310
Gambar 7-25	CRT Menyimpan dengan Sasaran Ganda dan Dua Senapan Elektron	310
Gambar 7-26	Blok Diagram Osiloskop Digital	314
Gambar 7-27	Pengambilan Sampel Real Time	315
Gambar 7-28	Interpolasi Sinus dan Linier	315
Gambar 7-29	Akusisi Pembentukan Gelombang	316
Gambar 7-30	CRO Function Generator	316
Gambar 7-31	Fungsi Tombol Panel Depan CRO	320
Gambar 7-32	Pengawatan Kalibrasi	322
Gambar 7-33	Bentuk Gelombang Kalibrasi	322
Gambar 7-34	Berkas Elektron Senter Tengah	323
Gambar 7-35	Loncatan Pengukuran Tegangan DC	323
Gambar 7-36	Pengawatan Pengukuran dengan Function Generator	324
Gambar 7-37	Pengaturan Function Generator Panel Depan	324
Gambar 7-38	Pengaturan Frekuensi Sinyal	324
Gambar 7-39	Bentuk Gelombang V/div Kurang Besar	325
Gambar 7-40	Bentuk Gelombang Intensitas terlalu Besar	325
Gambar 7-41	Bentuk Gelombang Sinus	326
Gambar 7-42	Bentuk Gelombang Mode XY	326
Gambar 7-43	Pengukuran Frekuensi Langsung	327
Gambar 7-44	Pengawatan Pengukuran Frekuensi Langsung	328
Gambar 7-45	Pengukuran Frekuensi Model Lissayous	329
Gambar 7-46	Pengukuran Beda Pasa Langsung	329
Gambar 7-47	Perbandingan Frekuensi 1 : 3 Beda Pasa 90°	330
Gambar 7-48	Beda Pasa dan Beda Frekuensi Model Lissayous	330
Gambar 7-49	Mixed Storage Oscilloscope (MSO)	331
Gambar 7-50	Arsitektur Pemrosesan Parallel dari Osiloskop Digital Pospor	332
Gambar 7-51	Peragaan Sinyal DPO	333
Gambar 7-52	Paket Pilihan Software	334
Gambar 7-53	Aplikasi Modul	334
Gambar 7-54	Modul Video	334
Gambar 7-55	Pengembangan Analisis	334
Gambar 7-56	Tombol Pengendali Tradisional	335
Gambar 7-57	Peraga Sensitif Tekanan	335
Gambar 7-58	Menggunakan Pengendali Grafik	335
Gambar 7-59	Osiloskop Portable	335
Gambar 7-60	Probe Pasip Tipikal beserta Asesorisnya	337
Gambar 7-61	Probe Performansi Tinggi	337
Gambar 7-62	Probe Sinyal Terintegrasi	338

Gambar 7-63	Probe Reliabel Khusus Pin IC	338
Gambar 7-64	Hasil dengan Probe Dikompensasi dengan benar	340
Gambar 7-65	Hasil dengan Probe Tidak Dikompensasi	340
Gambar 7-66	Hasil dengan Probe Dikompensasi dengan kompensasi berlebihan	340
Gambar 7-67	Tegangan Puncak ke Puncak	341
Gambar 7-68	Pengukuran Tegangan Senter Horizontal	341
Gambar 7-69	Pengukuran Tegangan Senter Vertikal	341
Gambar 7-70	Pengukuran rise time dan lebar pulsa	343
Gambar 8-1	Kerja frekuensi meter jenis batang getar	345
Gambar 8-2	Prinsip frekuensi meter jenis batang getar	346
Gambar 8-3	Bentuk frekuensi meter batang getar	346
Gambar 8-4	Prinsip frekuensi meter jenis meter pembagi	347
Gambar 8-5	Prinsip alat ukur frekuensi besi putar	348
Gambar 8-6	Bentuk frekuensi meter analog	348
Gambar 8-7	Rangkaian dasar meter frekuensi digital	349
Gambar 8-8	Blok Diagram Pembentukan Time Base	350
Gambar 8-9	Pernyataan simbolik dari rangkaian flip-flop	351
Gambar 8-10	Rangkaian flip-flop (multivibrator bistable)	351
Gambar 8-11	Rangkaian AND	351
Gambar 8-12	Tabel kebenaran dari suatu rangkaian AND	352
Gambar 8-13	Rangkaian untuk mengukur frekuensi	352
Gambar 8-14	Rangkaian digital frekuensi meter	353
Gambar 8-15	Blok diagram dari counter elektronik yang bekerja sebagai pengukur frekuensi	355
Gambar 8-16	Konversi Frekuensi Hiterodin	356
Gambar 8-17	Gambar putaran drum menghasilkan 10 pulsa perputaran untuk digunakan dengan counter	357
Gambar 8-18	Diagram blok counter pada mode kerja perioda tunggal dan perioda ganda rata-rata	358
Gambar 8-19	Blok diagram counter yang bekerja sebagai perbandingan dan perbandingan ganda	359
Gambar 8-20	Blok diagram counter sebagai pengukur interval waktu	360
Gambar 8-21	Trigger level control	361
Gambar 8-22	Slope triggering	361
Gambar 8-23	Pengukuran waktu delay suatu relay	362
Gambar 8-24	Gating error	365
Gambar 8-25	Kalibrasi sumber frekuensi lokal	367
Gambar 8-26	Perubahan frekuensi vs waktu untuk "oven controlled crystal"	368
Gambar 9-1	Langkah sapuan penganalisa spektrum pada serangkaian unsur frekuensi seringkali terjadi kesalahan transien diluar arus sapuan jalur yang digaris kuning	372
Gambar 9-2	Arsitektur tipikal penganalisa spektrum sapuan	374
Gambar 9-3	Blok diagram VSA sederhana	375
Gambar 9-4	Arsitektur tipikal penganalisa spektrum waktu riil	376
Gambar 9-5	Sampel, bingkai dan blok hirarki memori dari	377

	RSA	
Gambar 9-6	Penganalisa spektrum waktu riil blok akuisisi dan pemrosesan	378
Gambar 9-7	Penggunaan topeng frekuensi pada pemicuan ranah frekuensi waktu riil	379
Gambar 9-8	Topeng frekuensi pada level burst rendah	380
Gambar 9-9	Penggunaan topeng frekuensi untuk memicu sinyal berada pada sinyal besar sinyal tertentu dalam lingkungan spectrum kacau	380
Gambar 9-10	Peraga spektrogram	381
Gambar 9-11	Pandangan waktu dikorelasikan, peraga daya terhadap frekuensi (kiri) dan spektrogram (kanan)	381
Gambar 9-12	Ilustrasi dari beberapa waktu dikorelasikan disediakan untuk pengukuran pada RTSA	382
Gambar 9-13	Pandangan multi ranah menunjukkan daya terhadap waktu, daya terhadap frekuensi dan demodulasi FM	383
Gambar 9-14	Pandangan multi ranah menunjukkan spektrogram daya terhadap frekuensi, daya terhadap waktu	383
Gambar 9-15	Blok diagram pemrosesan sinyal digital pada penganalisa spektrum waktu riil	385
Gambar 9-16	Diagram pengubah digital turun	386
Gambar 9-17	Informasi passband dipertahankan dalam I dan Q terjadi pada setengah kecepatan sampel	387
Gambar 9-18	Contoh lebar band pengambilan lebar	388
Gambar 9-19	Contoh lebar band pengambilan sempit	388
Gambar 9-20	Pemicuan waktu riil	390
Gambar 9-21	Pemicuan sistem akuisisi digital	391
Gambar 9-22	Proses pemicuan penganalisa spektrum waktu riil	393
Gambar 9-23	Definisi topeng frekuensi	395
Gambar 9-24	Spectrogram menunjukkan sinyal transien diatur pada pembawa. Cursor diatur pada titik picu sehingga data sebelum picu ditampilkan, diatas garis cursor dan data setelah picu diperagakan dibawah garis cursor. Garis sempit putih pada sisi kiri daerah biru dinotasikan data setelah picu.	395
Gambar 9-25	Satu bingkai spektrogram yang menunjukkan kejadian picu dimana sinyal transien terjadi disekitar topeng frekuensi	398
Gambar 9-26	Tiga bingkai sampel Sinyal Ranah Waktu	398
Gambar 9-27	Diskontinuitas yang disebabkan oleh ekstensi periodic dari sampel dan bingkai tunggal	398
Gambar 9-28	Profil jendela Blackman-Harris 4B (BH4B)	399
Gambar 9-29	Sinyal akuisisi, pemrosesan dan peraga menggunakan bingkai overlap	400
Gambar 9-30	Vektor besaran dan Pasa	401
Gambar 9-31	Typical Sistem Telekomunikasi digital	402
Gambar 9-32	Blok diagram analisa modulasi RSA	403

Gambar 9-33	Spektogram frekuensi sinyal hopping mode SA waktu riil	405
Gambar 9-34	Beberapa blok yang diperoleh dengan menggunakan picu frekuensi untuk mengukur topeng pengulangan frekuensi transien pensaklaran	405
Gambar 9-35	Mode SA standar menunjukkan pengukuran frekuensi diatas 1GHZ menggunakan span maxhold	406
Gambar 9-36	Perbandingan spektogram frekuensi terhadap waktu	406
Gambar 9-37	Spektogram pengesetan frekuensi di atas 5 MHz of dan waktu 35 ms	408
Gambar 9-38	Frekuensi terhadap waktu pengesetan di atas 5 MHz of dan waktu 25 ms	408
Gambar 9-39	Pengesetan frekuensi di atas 50 Hz dari frekuensi dan waktu 1 ms yang diperbesar	408
Gambar 9-40	Peraga daya terhadap waktu	409
Gambar 9-41	Pengukuran CCDF	409
Gambar 9-42	Pengukuran pengaturan transien I/Q terhadap waktu untuk data	410
Gambar 9-43	Analisa demodulasi AM sinyal pulsa dengan menggunakan pengunci pergeseran amplitudo	410
Gambar 9-44	Analisa demodulasi FM sinyal yang dimodulasi dengan sinus	410
Gambar 9-45	Analisa demodulasi PM pаса tak stabil melebihi panjang burst.	410
Gambar 9-46	Analisa EVM dari waktu ke waktu sinyal 16 QAM mengungkapkan distorsi amplitudo	411
Gambar 9-47	Peraga konstelasi menunjukkan pаса	411
Gambar 9-48	Peraga diagram mata menunjukkan kesalahan besaran rendah dalam sinyal PDC	412
Gambar 9-49	Analisa modulasi W-CDMA handset dibuka loop penendali daya. Peragaan konstelasi (rendah kanan) menunjukkan kesalahan berkaitan dengan glitch besaryang terjadi selama level transisi yang dapat dilihat dalam hubungan daya terhadap waktu (atas kiri)	412
Gambar 9-50	Spektogram, konstelasi, EVM dan kesalahan pаса terhadap waktu dari frekuensi hopping sinyal	412
Gambar 9-51	Ilustrasi peraga codogram	413
Gambar 9-52	Pengukuran kodogram dari mode W-CDMA diringkas kesalahan pаса terhadap waktu dari frekuensi hopping sinyal	413
Gambar 9-53	Macam-macam model penganalisa spectrum di pasaran	414
Gambar 9-54	Penempatan Marker pada sinyal 10 MHz	417
Gambar 9-55	Penggunaan Marker Fungsi Delta	418

Gambar 9-56	Pengaturan Pencapaian Dua Sinyal	419
Gambar 9-57	Sinyal Amplitudo Sama Belum Terpecahkan	420
Gambar 9-58	Resolusi Sinyal Amplitudo Sama Sebelum Lebar band Video Dikurangi	420
Gambar 9-59	Pencacah Menggunakan Penanda	422
Gambar 9-60	Pengukuran Sinyal Terhadap Noise	423
Gambar 9-61	Sinyal AM	425
Gambar 9-62	Pengukuran Modulasi Dalam Span Nol	425
Gambar 9-63	Pengukuran Modulasi Dalam Span Nol	426
Gambar 9-64	Pengukuran Modulasi Dalam Span Nol	426
Gambar 9-65	Pengukuran Parameter Waktu	426
Gambar 9-66	Sinyal AM Demodulasi Kontinyu	427
Gambar 9-67	Menetapkan titik Offset	429
Gambar 9-68	Menentukan Offset	429
Gambar 9-69	Demodulasi Sinyal Broadcast	430
Gambar 10-1	Penjejakan bingkai gambar	432
Gambar 10-2	Pola standar EIA	435
Gambar 10-3	Tanda panah pengetesan bingkai	436
Gambar 10-4	Pengujian pemusatan dan sumbu horisontal	437
Gambar 10-5	Pengetesan linieritas vertikal horisontal	438
Gambar 10-6	Pengetesan aspek perbandingan dan kontras	439
Gambar 10-7	Pengetesan interfacing	440
Gambar 10-8	Pengetesan resolusi horisontal	441
Gambar 10-9	Pengetesan ringing	443
Gambar 10-10	Chart bola pengecekan linieritas	445
Gambar 10-11	Pola bola untuk pengetesan linieritas kamera	446
Gambar 10-12	Sinyal batang warna standar	447
Gambar 10-13	Pola putih, I dan Q	447
Gambar 10-14	Bentuk gelombang tangga	448
Gambar 10-15	Level sinkronisasi	449
Gambar 10-16	Pengetesan bidang putih penuh	449
Gambar 10-17	Pengetesan bidang warna putih 75%	450
Gambar 10-18	Pola jendela pengecekan frekuensi rendah	451
Gambar 10-19	Pengetesan puritas	451
Gambar 10-20	Pengetesan linieritas sistem	452
Gambar 10-21	Pengetesan ramp termodulasi	453
Gambar 10-22	Pengaturan konvergensi	454
Gambar 10-23	Pengetesan area gambar aman	454
Gambar 10-24	Blok diagram pembangkit pola	457
Gambar 10-25	Tombol panel depan pembangkit pola	458
Gambar 10-26	Pengawatan penggunaan pola non video komposit	460
Gambar 10-27	Pengawatan pengujian lebar penalaan tuner	461
Gambar 10-28	Pattern generator dengan TV pengetesan fungsi	464
Gambar 10-29	Model-model pembangkit pola di pasaran	465
Gambar 10-30	Blok Diagram Penerima Televisi BW	466
Gambar 10-31	Pola pengetesan sinyal video	467
Gambar 11-1	Bagan Serial Buses Mesin Tester	468
Gambar 11-2	Mesin tester	469
Gambar 11-3	Mixer Signal Oscilloscope (MSO)	470

Gambar 11-4	Pengambilan Gambar Ganda SPI dan CAN dengan Menggunakan MSO	471
Gambar 11-5	Kesalahan acak yang teramati dalam dekode CAN pada bingkai data 1D:07F HEX	473
Gambar 11-6	Pemicuan pada CAN bingkai error mengisolasi perbedaan akuisisi CAN pada bingkai transmisi pengulangan bentuk gelombang glitch	475
Gambar 11-7	Perbesaran bentuk gelombang glitch pada CAN	476
Gambar 11-8	Lebar pulsa pemicu pengulangan sumber acak dan glitch	477
Gambar 11-9	Masukan dan keluaran ECU	478
Gambar 11-10	Rak PC Mountable	480
Gambar 11-11	Serial communications	481
Gambar 11-12	Modul variasi protocol serial	482
Gambar 11-13	Rangkaian Card breadboard	483
Gambar 11-14	Saklar beban tipikal	484
Gambar 11-15	Pengawatan "m" <i>instruments x 4 2-wire busses x "n" DUT pins</i> "m" <i>instruments x 4 2-wire busses x "n" DUT pins</i>	485
Gambar 11-16	Perancangan system fungsi tes elektronik otomotif	486
Gambar 11-17	Bentuk gelombang sapuan untuk keempat sensor roda	487
Gambar 11-18	Respon ABS/TC ECM terhadap masukan VRS	488
Gambar 11-19	Pengaruh solenoid sisi bawah	488
Gambar 11-20	Profil tegangan deaktivasi solenoid	489
Gambar 11-21	Penerapan pulsa pengetesan untuk menentukan system integritas	490
Gambar 11-22	Profil arus solenoid	491
Gambar 11-23	Modul bodi kontrol	492
Gambar 11-24	Pemancar	492
Gambar 11-25	Aliran fungsi aksi immobilizer	494
Gambar 11-26	Immobilizer	495
Gambar 11-27	Pohon keputusan yang digunakan respon ECM	496
Gambar 11-28	Aliran aksi fungsionalitas TPMS	497
Gambar 11-29	Deviasi frekuensi ESA4402B	498
Gambar 11-30	Data bit pada ESA4402B	499
Gambar 11-31	Pengaturan kalibrasi pada umumnya	500
Gambar 11-32	Mesin Tester	501
Gambar 11-33	Piranti Scan	504
Gambar 11-34	Macam-macam peralatan diagnosa mesin	505
Gambar 11-35	Pemasangan alat uji	505
Gambar 11-36	Tombol 24-56 penganalisa gas	507
Gambar 11-37	Halaman manajer aplikasi	507
Gambar 11-38	Halaman pilihan bahasa	507
Gambar 11-39	Halaman fole manajer	508
Gambar 11-40	Halaman inialisasi	509
Gambar 11-41	Pilihan icon	510
Gambar 11-42	Tampilan hasil tes standar	511
Gambar 11-43	Halaman tes standar	512

Gambar 11-44	Pilihan bahan bakar	513
Gambar 11-45	Peraga jumlah kendaraan yang diuji	513
Gambar 11-46	Kurva kandungan gas	514
Gambar 11-47	Hitogram gas kendaraan	515
Gambar 11-48	Gambar posisi sensor oksigen	516
Gambar 11-49	Precleaner transparan eksternal	517
Gambar 12-1	Macam-macam Tampilan GPS	519
Gambar 12-2	Peralatan system posisi global	520
Gambar 12-3	Fungsi dasar GPS	521
Gambar 12-4	Segmen ruang	521
Gambar 12-5	Posisi satelit	522
Gambar 12-6	Menunjukkan cakupan efektif	522
Gambar 12-7	Posisi 28 satelit pada jam 12 UTC pada tanggal 14 April 2001	523
Gambar 12-8	Konstruksi satelit	523
Gambar 12-9	Blok diagram system posisi global	524
Gambar 12-10	Pseudo Random Noise	526
Gambar 12-11	Posisi Lokasi Segmen Kontrol	527
Gambar 12-12	Bidang implemenasi GPS	527
Gambar 12-13	Sinyal system posisi global	528
Gambar 12-14	Pendeteksian kapal	528
Gambar 12-15	Pendeteksian posisi oran ditengah lautan	529
Gambar 12-16	Pemanfaatan GPS untuk pengukuran tanah	529
Gambar 12-17	GPS portable sederhana	530
Gambar 12-18	Penentuan posisi dengan 3 satelit	530
Gambar 12-19	Penentuan posisi dengan 4 satelit	531
Gambar 12-20	Hubungan pulsa satelit dengan penerima	531
Gambar 12-21	Penentuan posisi dengan 4 satelit	532
Gambar 12-22	Gambar perhitungan ?t	532
Gambar 12-23	Rambatan gelombang dari lapisan ionosper	534
Gambar 12-24	GPS dengan fekuensi ganda	535
Gambar 12-25	Antena cincin	536
Gambar 12-26	Terjadinya multipath	536
Gambar 12-27	Pengukuran DOP	536
Gambar 12-28	Satelit geometri PDOP	537
Gambar 12-29	Pengaruh Gugusan bintang pada nilai PDOP	538
Gambar 12-30	Koreksi perbedaan posisi	539
Gambar 12-31	Hubungan stasiun acuan dalam pengukuran	540
Gambar 12-32	Pengukuran nilai koreksi cakupan luas	540
Gambar 12-33	Pengkuran nilai koreksi cakupan semu	541
Gambar 12-34	GPS Maestro 4050 Berbagai Sudut Pandang	542
Gambar 12-35	Pemasangan GPS	543
Gambar 12-36	Pemasangan Piringan Perekat	544
Gambar 12-37	Pemasangan Baterai	544
Gambar 12-38	Pengaturan Volume	545
Gambar 12-39	Pengaturan Tingkat Kecerahan Gambar	545
Gambar 12-40	Menu Halaman 1	546
Gambar 12-41	Menu Halaman 2	547
Gambar 12-42	Keypad	548
Gambar 12-43	Layar Peta Mode Normal	549

Gambar 12-44	Layar Peta Mode Perjalanan	550
Gambar 12-45	Layar Peta Menunjukkan Perjalanan	551
Gambar 12-46a	Daftar Katagori	551
Gambar 12-46b	Daftar Sub Katagori Belanja	551
Gambar 12-47	Perbelanjaan Terdekat dengan Posisi Saat itu	552
Gambar 12-48	Masukan Nama Perjalanan	552
Gambar 12-49	Tampilan Add	552
Gambar 12-50	Tampilan Save	553
Gambar 12-52	Pengaturan Tujuan	553
Gambar 12-53	Ketuk Sears Buka Menu	553
Gambar 13-1	Hasil scan otak MRI	555
Gambar 13-2	Mesin MRI	556
Gambar 13-3	MRI panjang terbuka tipikal	557
Gambar 13-4	Scanner MRI sebanding antara panjang dan pendeknya	557
Gambar 13-5	Scanner MRI berdiri	557
Gambar 13-6	Scanner MRI terbuka	557
Gambar 13-7	Blok diagram rangkaian MRI	558
Gambar 13-8	Ruang pengendali pengoperasian MRI	559
Gambar 13-9	Scan MRI tangan patah	560
Gambar 13-10	Tampak dalam gambar dongkrak kasur jerami terisi dihisap ke dalam sistem MRI	561
Gambar 13-11	Poto perbandingan gambar otak kiri laki-laki atletik muda (25 ¹ th), tengah (86 th) dan umur (76 th) mempunyai penyakit Alzheimer's semua digambar dalam tingkat yang sama	562
Gambar 13-12	menunjukkan pertumbuhan tumor dalam otak wanita dilihat dari irisan lateral.	563
Gambar 13-13	Organ dalam digambar dengan MRI	564
Gambar 13-14	Perbandingan CAT scan, dan MRI cenderung lebih detail dan kontras	565
Gambar 13-15	Scan MRI menunjukkan tubuh bagian atas dilihat dari samping sehingga tulang tulang belakang kelihatan jelas	565
Gambar 13-16	Irisan Axial, coronal dan sagittal	567
Gambar 13-17	MRI gambar kepala irisan tunggal	569
Gambar 13-18	Urutan temporal scan fMRI (irisn tunggal)	569
Gambar 13-19	aktivasi otak 3D	569
Gambar 13-20	Posisi CT scan	570
Gambar 13-21	Scan irisan otak	570
Gambar 13-22	Scan dada	571
Gambar 13-23	Gambar tabung dasar CT scan	572
Gambar 13-24	Emisi cahaya atom	572
Gambar 13-25	Hasil CT scan otak	573
Gambar 13-26	Mesin sinar x	573
Gambar 13-27	Pancaran poton	574
Gambar 13-28	Hasil CAT jantung dan torax	575
Gambar 13-29	Ide dasar penyinaran sinar x	576
Gambar 13-30	Prinsip dasar penyinaran sinar x pada CAT dan hasil	576

Gambar 13-31	CT scan multi irisan	578
Gambar 13-32	Tabung dasar mesin CT scan	579
Gambar 13-33	Ruang kontrol dan pelaksanaan scanning	579
Gambar 13-34	Jaringan sistem manajemen gambar	580
Gambar 13-35	Hasil CT scan otak	582
Gambar 13-36	ultrasonik pertumbuhan janin (umur 12 minggu) dalam kandungan ibu. Pandngan samping bayi ditunjukkan (kanan ke kiri) kepala, leher, badan dan kaki	583
Gambar 13-37	bayi dalam kandungan dilihat dengan sonogram	584
Gambar 13-38	perkembangan bayi 29 minggu ultrasonik 3D	594
Gambar 13-39	Pengujian Ultrasonik Selama kehamilan	585
Gambar 13-40	Sonograph menunjukkan gambar kepala janin dalam kandungan	585
Gambar 13-41	Medical sonographic scanner	587
Gambar 13-42	Sensor suara	588
Gambar 13-43	Spektrum Doppler Arteri	590
Gambar 13-44	Spektrum warna Arteri yang sama	590
Gambar 13-45	Ultrasonik Doppler untuk mengukur aliran darah melalui jantung. Arah aliran darah ditunjukkan pada layar dengan warna yangberbeda	590
Gambar 13-46	Bagian-bagian mesin ultrasonik	592
Gambar 13-47	Perkembangan janin dalam kandungan	594
Gambar 13-48	Peralatan Positron Emisi Tomography (PET)	599
Gambar 13-49	Gambar skeletal anomali	600
Gambar 13-50	Warna hijau kelenjar ludah, warna merah gonfok adenomas	600
Gambar 13-51	Mesin PET	601
Gambar 13-52	Gambar Scanner PET lengkap	601
Gambar 13-53	Hasil Scan kepala dengan SPECT	602
Gambar 13-54	Refleksi sinar pada proses penggambaran	603
Gambar 13-55	Gambar otak normal yang digambarkan dalam 3 posisi yang berbeda	603
Gambar 13-56	Pengurangan alkohol	604
Gambar 13-57	Penambahan alkohol	604
Gambar 13-58	Hasil SPECT dan CT dari torso bagian atas tubuh manusia ditunjukkan kedua tulang dan organ dalam	604
Gambar 13-59	Cylodran bagian instrumen PET yang digunakan untuk menghasilkan radioisoto umur pendek Menunjukkan cyclotron bagian instrumen PET	605
Gambar 13-60	PET mengungkapkan kemajuan kanker dada kiri pasien	605
Gambar 13-61	Rangkaian Irisan PET menunjukkan distribusi kondisi anomalous otak	606
Gambar 13-62	Scan PET dapat menunjukan pola dalam otak yang membantu dokter analisis parkinson	606
Gambar 13-63	Scan otak penderita Parkinson	606
Gambar 13-64	Perbandingan hasil MRI	607
Gambar 13-65	Hasil scan termal	608

LEMBAR PENGESAHAN

LAMPIRAN D

GLOSSARY

airbag deployment	Airbag adalah suatu pengekangan pasif (tidak memerlukan campur tangan manusia) di rancang dalam bentuk tas memompa ketika terjadi benturan. Terbuat dari bahan fleksibel yang dapat memompa bila terjadi tabrakan mobil.
akuisisi	Akuisisi data merupakan pencuplikan waktu riil untuk membangkitkan data yang dapat dimanipulasi oleh komputer.
amniocentesis	Amniocentesis adalah prosedur yang digunakan dalam mendiagnosa cacat janin pada awal trimester kedua kehamilan.
anti-aliasing	Dalam pemrosesan sinyal digital anti-aliasing merupakan teknik meminimkan aliasing pada saat merepresentasikan sinyal resolusi tinggi pada resolusi yang lebih rendah.
anti-lock brake	Anti-lock brakes dirancang untuk mencegah peluncuran dan membantu pengendara mempertahankan kendali kemudi selama situasi pemberhentian darurat
attenuator	Attenuator merupakan piranti elektronik yang mengurangi amplitudo atau daya sinyal tanpa membuat bentuk gelombang cacat. Attenuator biasanya biasanya berupa piranti pasip terdiri dari resistor.
<i>Bandpass Filter</i>	Penyaring frekuensi yang hanya melewatkan frekuensi menengah.
chip	Serpihan kristal tunggal yang berisi rangkaian terpadu.
claustrophobic	Tidak nyaman di ruang sempit, gelap tertutup.
Common Mode Rejection Ratio	Besaran yang dapat menunjukkan kualitas penguat beda merupakan perbandingan antara besarnya penguatan common dan penguatan penguat beda.
cyclotron	Unsur radiasi yang dihasilkan oleh mesin scan sebelum pengujian dimulai.
Debug	Mengidentifikasi dan melokalisir letak kesalahan .

densifying	Perbandingan harga atas beribu-ribu nama merek produk untuk semua kebutuhan.
distorsi	Cacat gelombang
ECU test throughput	Piranti throughput misalnya perubahan RS 232 dengan CAN dan sebaliknya dapat membuat atau memecahkan performansi sitem pengetesan.
efek piezolistrik	Bila sumbu mekanik dari Kristal diberi tekanan maka akan timbul beda tegangan pada sumbu listrik. Bila pada sumbu listrik diberi tegangan maka akan terjadi perubahan keadaan disepanjang sumbu mekanik. Bila pada sumbu listrik diberi tegangan AC maka akan terjadi getaran di sumbu mekanik dengan frekuensi naturalnya. Semakin tipis Kristal frekuensi getar semakin tinggi.
elektron gun	Susunan elektroda yang menghasilkan berkas elektron yang dapat dikendalikan difokuskan dan dibelokkan sebagaimana dalam gambar tabung televisi.
electrocardiogram	Electrocardiogram, juga dinakaman EKG atau ECG, merupakan pengetesan sederhana yang mendeteksi dan merekam aktivitas kelistrikan jantung.
encrypte code	Kode yang digunakan dalam program Java , anda dapat menggunakan sistem manajemen menjaga profil pemakai dengan menggunakan passwaord.
fisiologi	Istilah dalam fisiologi yang berasal dari kata physics yang berarti alami dan logos yang berarti kata. Fisiologi merupakan bidang ilmu yang mempelajari berbagai fungsi organisme hidup.
gastrointestinal	Berkaitan dengan perut dan isi perut.
Glitch	Dalam elektronika, glitch adalah suatu sinyal listrik jangka waktu pendek yang pada umumnya hasil suatu kesalahan atau kesalahan disain
<i>High Pass Filter</i>	Penyaring frekuensi yang hanya melewatkan frekuensi tinggi
Immoblizer	Tidak ada definisi standar, merupakan keadaan yang tidak sesuai dengan perancangan.
Interlace	Dua bidang gambar yang tampak dalam satu layar televise, namun setiap bidang gambar di scan secara

terpisah.

Interpolasi	Interpolasi adalah menghubungkan titik. Interpolasi linier sederhana menghubungkan titik sampel dengan garis lurus.
Indomitabel	Tidak mampu untuk diperdaya, ditundukkan; lunak, atau ditaklukkan; tak tertundukkan .
interferensi	Percampuran dua gelombang atau lebih dapat saling memperkuat atau melemahkan tergantung dari kedudukan pada satu dengan yang lain.
intravascular	Dalam pembuluh darah
Intermittent	Selang waktu mulai dan berhenti berselang-seling dengan sebentar-sebentar sinonim dengan periodik
Intuitif	Tentang, berkenaan dengan, atau timbul dari intuisi
kompatibel	Dapat digunakan secara bersama-sama dengan tanpa merubah dan menambah peralatan lain dalam sistem. Misal penerima TV warna dan hitam putih untuk menerima siaran dari pemancar yang sama
<i>Low Pass Filter</i>	Penyaring frekuensi yang hanya melewatkan frekuensi rendah.
<i>luminansi</i>	Istilah yang digunakan untuk menandai kecerahan atau hitam putihnya gambar televisi.
neonatal	Berkaitan dengan bayi baru.
noise	Sinyal yang tidak dikehendaki keberadaannya dalam sistem.
<i>noise figure</i>	Dalam telekomunikasi noise figure (NF) merupakan suatu ukuran degradasi dari perbandingan sinyal terhadap noise, yang disebabkan oleh komponen dalam sinyal RF.
osteoporosis	Pengapuran / pengkeroposan tulang
Partikel	Suatu bagian yang sangat kecil
Patologi forensic	Ilmu penyakit forensik adalah suatu cabang kedokteran yang terkait dengan menentukan penyebab kematian, pada umumnya untuk kasus hukum pidana dan kasus hukum perdata dalam beberapa yurisdiksi.

<i>pacemaker</i>	Pacemaker berupa alat kecil yang membantu detak jantung dengan simulasi listrik membantu mengendalikan irama jantung.
Penomena	Suatu kejadian, keadaan, atau fakta yang dapat diterima oleh pikiran sehat.
peripheral	Periperal merupakan piranti komputer seperti drive CD-ROM atau printer yang bukan merupakan bagian utama computer seperti memori, mikroprosesor. Periperal eksternal seperti mouse, keyboard, monitor, printer.
peripheral neuropathy	Peripheral neuropathy merupakan masalah dengan kegelisahan yang membawa informasi ke dan dari otak dan tulang belakang. Sakit ini mengakibatkan, hilangnya sensasi, dan ketidakmampuan untuk mengendalikan otot.
portable	Dapat dijinjing tidak ditempatkan secara permanen.
protocol	Dalam teknologi informasi, protokol adalah satuan aturan yang khusus dalam koneksi telekomunikasi .
pseudo-range	Cakupan pengukuran semu digunakan bersama-sama dengan estimasi posisi SV yang didasarkan pada data empiris yang dikirim oleh masing-masing SV. Data orbital (empiris) memungkinkan penerima untuk menghitung posisi SV dalam tiga dimensi pada saat pengiriman sinyal secara beruntun.
radio isotop	Suatu versi elemen kimia yang memiliki inti tak stabil dan mengemisikan radiasi selama decay untuk membentuk kestabilan. Radio isotop penting digunakan dalam diagnosa medis untuk pengobatan dan penyelidikan.
radioactive decay	Radioactive decay merupakan suatu proses ketidakstabilan inti atom karena kehilangan energi berupa emisi radiasi dalam bentuk partikel atau gelombang elektromagnetik.
real time	waktu yang sebenarnya pada saat terjadinya proses.
Resolution	Kejelasan atau ketajaman gambar,
retrace	Kembalinya berkas elektron dari sistem scanning televisi sisi kanan layar ke sisi kiri layar monitor.

rise time	Waktu yang diperlukan pulsa untuk naik dari 10% amplitudo maksimum sampai 90%.
ringing	Dengan hanya satu sinyal yang diberikan pada terminal osiloskop dan yang lain tidak dihubungkan dapat dilihat adanya beberapa sinyal yang tidak berguna. Sinyal ringing tidak menambah amplitude tegangan, yang bertambah adalah frekuensinya karena factor ketiga.
scrambling	CSS, Content Scrambling System, merupakan system enkripsi lemah yang digunakan pada kebanyakan DVD komersial.
shadow mask	Lapisan logam berlubang di dalam monitor warna untuk meyakinkan bahwa berkas elektron hanya menumbuk titik pospor dengan warna yang benar dan tidak mengiluminasi lebih dari satu titik.
S/N Ratio	Perbandingan sinyal terhadap noise meruakan perbandingan dari sinyal yang dikehendaki terhadap sinyal yang tak diinginkan.
sweep vernier	Sapuan dari atas ke bawah untuk mengukur posisi terhadap skala.
tomography	Berkaitan dengan scan medis.
Transduser	Transduser merupakan suatu piranti yang dapat mengubah besaran non listrik menjadi besaran listrik dan sebaliknya.
transceiver	Pemancar dan penerima sinyal yang ditempatkan dalam satu kemasan.
transien	Transien dapat didefinisikan sebagai lonjakan kenaikan arus yang mempunyai durasi 50 sampai 100 milidetik dan kembali normal pada tegangan sumber 28 Volt membutuhkan waktu 50 mili detik atau lebih.
<i>troubleshooting</i>	Proses pencarian letak gangguan atau kerusakan.
<i>Vasodilatation</i>	Pelebaran pembuluh darah.
<i>Virtual</i>	Virtual sekarang ini secara filosofi distilahkan sebagai sesuatu yang tidak nyata, namun memungkinkan untuk diperagakan sepenuh kualitas nyata.

ISBN 978-602-8320-11-5
ISBN 978-602-8320-12-2

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 46 Tahun 2007 tanggal 5 Desember 2007 tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran yang Memenuhi Syarat Kelayakan untuk Digunakan dalam Proses Pembelajaran.

HET (Harga Eceran Tertinggi) Rp. 24,002,00