

**MODUL PEMBELAJARAN**

**KODE : MK.MTP 5**

# **PENGUKURAN LISTRIK**

BIDANG KEAHLIAN : KETENAGALISTRIKAN  
PROGRAM KEAHLIAN : TEKNIK TRANSMISI



PROYEK PENGEMBANGAN PENDIDIKAN BERORIENTASI KETERAMPILAN HIDUP  
**DIREKTORAT PENDIDIKAN MENENGAH KEJURUAN**  
**DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN DASAR DAN MENENGAH**  
**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL**

**2003**

## KATA PENGANTAR

Bahan ajar ini disusun dalam bentuk modul/paket pembelajaran yang berisi uraian materi untuk mendukung penguasaan kompetensi tertentu yang ditulis secara sequensial, sistematis dan sesuai dengan prinsip pembelajaran dengan pendekatan kompetensi (*Competency Based Training*). Untuk itu modul ini sangat sesuai dan mudah untuk dipelajari secara mandiri dan individual. Oleh karena itu walaupun modul ini dipersiapkan untuk peserta diklat/siswa SMK dapat digunakan juga untuk diklat lain yang sejenis.

Dalam penggunaannya, bahan ajar ini tetap mengharapkan asas keluwesan dan keterlaksanaannya, yang menyesuaikan dengan karakteristik peserta, kondisi fasilitas dan tujuan kurikulum/program diklat, guna merealisasikan penyelenggaraan pembelajaran di SMK. Penyusunan Bahan Ajar Modul bertujuan untuk menyediakan bahan ajar berupa modul produktif sesuai tuntutan penguasaan kompetensi tamatan SMK sesuai program keahlian dan tamatan SMK.

Demikian, mudah-mudahan modul ini dapat bermanfaat dalam mendukung pengembangan pendidikan kejuruan, khususnya dalam pembekalan kompetensi kejuruan peserta diklat.

Jakarta, 01 Desember 2003  
Direktur Dikmenjur,

Dr. Ir. Gator Priowirjanto  
NIP 130675814

# DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR .....	i
REKOMENDASI .....	ii
DAFTAR ISI .....	iv
PETA KEDUDUKAN MODUL .....	v
GLOSARRY/PERISTILAHAN	
I PENDAHULUAN	1
A. Deskripsi .....	1
B. Prasyarat .....	1
C. Petunjuk Penggunaan Modul .....	2
D. Tujuan Akhir.....	3
E. STANDAR KOMPETENSI.....	4
F. Cek Kemampuan .....	6
II PEMBELAJARAN	7
A. RENCANA BELAJAR PESERTA DIKLAT.....	7
B. KEGIATAN BELAJAR. ....	8
Kegiatan Belajar 1	8
A. Tujuan Kegiatan .....	8
B. Uraian Materi .....	8
C. Rangkuman 1 .....	18
D. Tugas 1 .....	20
E. Formatif 1 .....	21
F. Jawaban Test Formatif 1 .....	25
Kegiatan Belajar 2	26
A. Tujuan Kegiatan .....	26
B. Uraian Materi .....	26
C. Rangkuman 2 .....	48
D. Tugas 2 .....	50

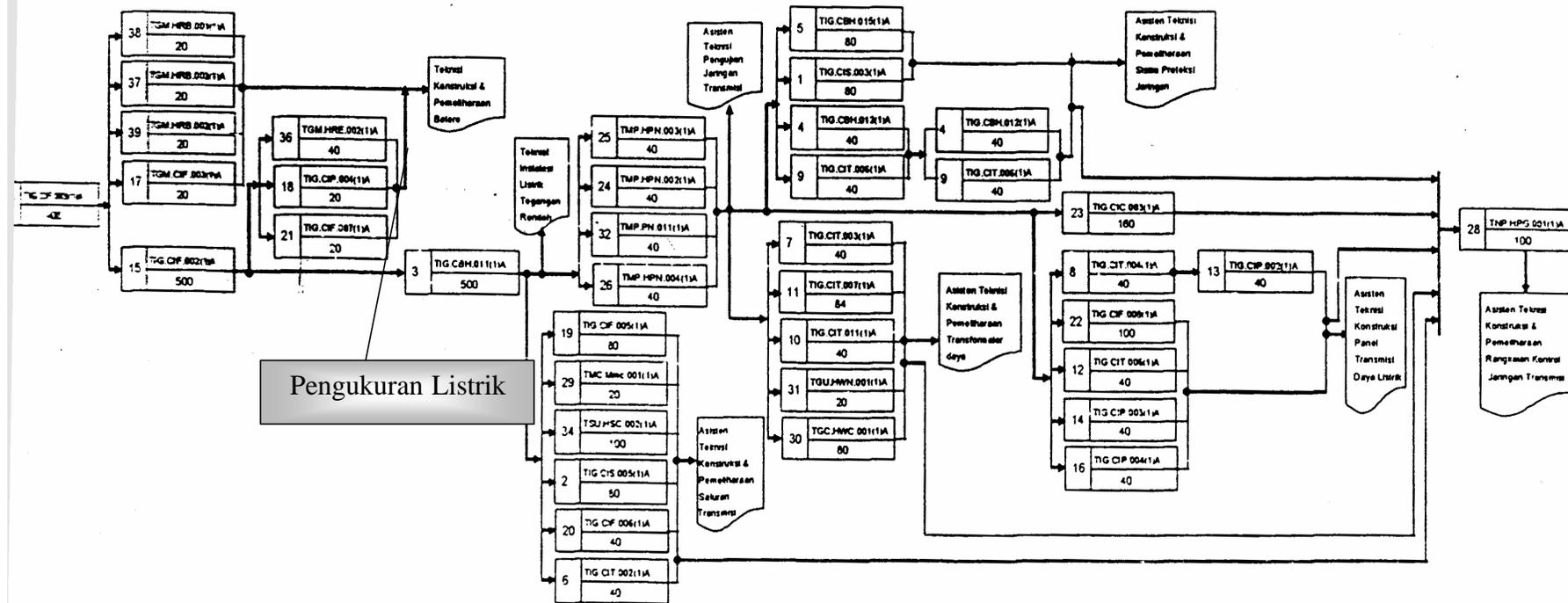
E.	Test Formatif 2 .....	52
F.	Jawaban Test Formatif 2 .....	55
G.	Lembar Kerja Praktek.....	56
III	EVALUASI .....	58
IV	PENUTUP .....	65
	DAFTAR PUSTAKA .....	66
	STORYBOARD .....	68

## DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR .....	i
DAFTAR ISI .....	ii
PETA KEDUDUKAN MODUL .....	iv
PERISTILAHAN .....	v
I PENDAHULUAN .....	1
A. Deskripsi .....	1
B. Prasyarat .....	1
C. Petunjuk Penggunaan Modul .....	2
D. Tujuan Akhir.....	2
E. Standar Kompetensi.....	3
F. Cek Kemampuan .....	4
II PEMBELAJARAN .....	5
A. RENCANA BELAJAR SISWA .....	5
B. KEGIATAN BELAJAR. ....	6
<b>KEGIATAN BELAJAR 1</b> .....	6
A. Tujuan Kegiatan .....	6
B. Uraian Materi .....	6
C. Rangkuman .....	12
D. Tes Formatif .....	12
E. Jawaban Tes Formatif .....	12
F. Lembar Kerja .....	13
<b>KEGIATAN BELAJAR 2</b> .....	14
A. Tujuan Kegiatan .....	14
B. Uraian Materi .....	14
C. Rangkuman .....	19
D. Tes Formatif .....	19
E. Jawaban Tes Formatif .....	19
F. Lembar Kerja .....	20

<b>KEGIATAN BELAJAR 3</b>	21
A. Tujuan Kegiatan .....	21
B. Uraian Materi .....	21
C. Rangkuman .....	36
D. Tes Formatif .....	37
E. Jawaban Tes Formatif .....	37
F. Lembar Kerja .....	38
<b>KEGIATAN BELAJAR 4</b>	39
A. Tujuan Kegiatan .....	39
B. Uraian Materi .....	39
C. Rangkuman .....	59
D. Tes Formatif .....	59
E. Jawaban Tes Formatif .....	59
F. Lembar Kerja .....	60
III EVALUASI .....	61
KUNCI JAWABAN .....	62
IV PENUTUP .....	63
DAFTAR PUSTAKA .....	64
LAMPIRAN	

## PETA KEDUDUKAN MODUL



**Keterangan :**

Nomor Kompetensi dari daftar keseluruhan kompetensi program keahlian teknik

= Outlet

← Nomor Kode Kompetensi  
 ← Jam Pencapaian Kompetensi

## **PERISTILAHAN/GLOSSARY**

- Konduktor* : sifat dari salah satu bahan yang dapat menghantarkan listrik
- Semi konduktor* : salah satu karakteristik dari bahan yang berfungsi sebagai konduktor atau non konduktor dalam keadaan tertentu
- Isolator* : bahan –bahan yang tidak dapat menghantarkan listrik dalam kondisi apapun.
- Higroskopisitas* : sifat bahan yang dapat menyerap air dari sekelilingnya.

## **I. PENDAHULUAN**

### **DESKRIPSI MODUL**

Modul ini secara formal diberi judul “Pengukuran listrik” yang didalamnya memuat secara sistematis tentang pengertian alat ukur, komponen-komponen, cara pengoperasian sampai pada langkah-langkah pengukuran untuk jenjang tegangan kerja yang harus dilakukan. Substansi materi yang ditonjolkan bersifat teoritis praktis dengan prosentase praktis jauh lebih besar. Materi modul terkait erat dengan materi modul yang lain seperti, teknik listrik dan rangkaian listrik, serta instalasi dasar. Diharapkan peserta diklat setelah mempelajari struktur modul dengan benar dapat melakukan praktek kerja lapangan yang sesuai atau mempunyai kompetensi yang memadai apabila diterjunkan praktek kerja di berbagai industri. Manfaat kompetensi materi ini secara makro dapat bekerja sebagai tenaga professional di industri terkait .

Pengetahuan : Memahami secara konseptual pengukuran listrik.

Keterampilan : Melakukan identifikasi berbagai peralatan pengukuran listrik

Sikap : Menempuh seluruh prosedur pembelajaran dengan sikap dan etika yang baik dan benar sesuai standar

### **PRASYARAT**

Untuk mempelajari modul ini diharapkan siswa telah memperoleh mata diklat :

1. Gambar Listrik
2. Instalasi Listrik Dasar
3. Rangkaian Listrik
4. Teknik Listrik

## PETUNJUK PENGGUNAAN MODUL

### 1. Bagi Siswa

- ✚ Unit modul ini hendaknya dipelajari sesuai urutan aktivitas yang diberikan yaitu setelah mempelajari isi materi pelajaran pada kegiatan belajar, kerjakan soal, soal pada latihan di bagian akhir setiap unit kegiatan belajar. Kemudian hasilnya dibandingkan dengan kunci jawaban yang ada.
- ✚ Sebaiknya modul ini dipelajari secara berkelompok , tetapi jika tidak memungkinkan sdr. Dapat mempelajari sendiri.
- ✚ Sdr harus mempelajari modul ini secara sistematis artinya sdr. dapat terus mempelajari unit berikutnya apabila bagian unit sebelumnya telah difahami dengan baik.

### 2. Bagi Guru

Guru sebagai fasilitator perlu pula membaca modul dan memperhatikan hal-hal sebagai berikut :

- ✚ Unit modul ini terdiri dari beberapa unit kegiatan belajar.
- ✚ Sebelum membaca modul ini perlu difahami terlebih dahulu yakni tujuan pembelajaran dan satuan kompetensi yang harus dicapai
- ✚ Struktur modul terdiri dari pendahuluan yang meliputi tujuan, ruang lingkup, prasyarat, dan evaluasi. Kemudian bagian pembelajaran yang memuat secara detail materi yang harus diajarkan.

## TUJUAN AKHIR

Setelah mempelajari modul ini diharapkan peserta diklat :

1. Memahami dengan baik pengertian, peralatan utama, cara kerja dan pengukuran dalam system tenaga listrik.
2. Mampu melakukan pengukuran listrik dalam berbagai level tegangan
3. Dapat mengkalibrasi alat ukur

## **STANDAR KOMPETENSI**

Kode Kompetensi : MK.35

Unit Kompetensi : Memahami pengukuran listrik dalam konteks teknik transmisi

Unit Kompetensi ini berkaitan dengan pemahaman konsep dasar pengukuran listrik. Pemahaman proses pengukuran listrik dilakukan sampai pada level yang digunakan dalam secara aplikatif dalam teknik transmisi. Mulai dari proses pengukuran tegangan rendah sampai pada tegangan tinggi.

Sub Kompetensi 1 :

Melakukan proses pembelajaran tentang pengukuran listrik

KUK :

1. Seluruh perangkat/piranti pengukuran yang diperlukan dalam teknik transmisi dapat dianalisis dan difahami dengan baik
2. Prosedur kerja pembelajaran dapat dilakukan dengan baik berdasarkan prinsip-prinsip pembelajaran kompetensi dan sesuai standar perusahaan.

Sub Kompetensi 2 :

Melakukan studi lapangan sebagai pembelajaran empirik atau membandingkan antara teori/konsep pengukuran dengan kondisi lapangan.

KUK :

1. Melakukan proses pembelajaran lapangan sesuai prosedur perusahaan
2. Prosedur pelaporan hasil pembelajaran/praktek industri dikerjakan dengan baik dan sesuai standar pelaporan karya ilmiah

Sub Kompetensi 3 :

Melakukan uji kompetensi tentang pemahaman dasar proses pengukuran listrik

KUK :

1. Prosedur uji kompetensi ditempuh dengan baik dan dilakukan oleh pihak berwenang
2. Melakukan identifikasi hasil uji kompetensi terhadap satuan-satuan kompetensi yang diperlukan.

Kode Modul : MK.MTP 5

## **TES AWAL**

Untuk mengetahui sampai sejauh mana kesiapan awal peserta diklat berkaitan dengan materi modul ini, maka akan diajukan pertanyaan-pertanyaan berikut :

1. Jelaskan apa yang dimaksud dengan alat ukur !
2. Sebutkan komponen-komponen utama alat ukur ?
3. Sebutkan beberapa alat ukur yang sdr. ketahui ?
4. Alat ukur apa saja yang dipakai dalam system tenaga listrik ?

## **II. PEMBELAJARAN**

### **A. Rencana Belajar Peserta Diklat**

Rencana pembelajaran dilakukan dalam dua bentuk pertama dalam bentuk tatap muka di kelas yang diarahkan pada pencapaian kompetensi pemahaman selam 4 jam per minggu. Jenis pembelajaran ini menghabiskan 40 % dari seluruh kompetensi yang akan di capai. Sedangkan model pendekatan kedua adalah melakukan kegiatan lapangan baik dalam bentuk simulasi komputer maupun langsung ke lokasi/industri terkait seperti praktek kerja lapangan dan sebagainya.

### **B. Kegiatan Belajar**

Dalam tahap kegiatan belajar guru diharapkan dapat mendorong serta membangun iklim yang baik sehingga proses pembelajaran secara mandiri dapat berlangsung dengan benar sesuai dengan proses dan mekanisme standar sehingga dihasilkan sebuah produk kegiatan belajar yang optimal.

1. Kegiatan Belajar 1, Teori Dasar Pengukuran Listrik
  - a. Tujuan kegiatan pembelajaran : Setelah mempelajari modul ini diharapkan peserta diklat memahami secara komprehensif pengukuran listrik dan aplikasinya.
2. Kegiatan Belajar 2, Prinsip Kerja Alat Ukur Listrik
  - a. Tujuan kegiatan pembelajaran : Setelah mempelajari unit kegiatan belajar 2 modul ini diharapkan peserta diklat memahami secara komprehensif prinsip kerja alat ukur listrik.
3. Kegiatan Belajar 3, Alat Ukur Kumpanan Putar
  - a. Tujuan kegiatan pembelajaran : Setelah mempelajari unit kegiatan belajar 3 modul ini diharapkan peserta diklat memahami secara komprehensif alat ukur kumpanan putar.
4. Kegiatan Belajar 4, Alat Ukur Sistem Tenaga Listrik
  - a. Tujuan kegiatan pembelajaran : Setelah mempelajari unit kegiatan belajar 4 modul ini diharapkan peserta diklat memahami secara komprehensif pengetahuan umum tentang pengukuran system tenaga listrik.

## **1. Kegiatan Belajar 1**

# **TEORI DASAR PENGUKURAN LISTRIK**

### **A. Pengertian Dasar**

Proses pengukuran dalam system tenaga listrik merupakan salah satu prosedur standar yang harus dilakukan. Karena melalui pengukuran akan diperoleh besaran-besaran yang diperlukan, baik untuk pengambilan keputusan dan instrumen kontrol maupun hasil yang diinginkan oleh seorang user.

Kepentingan alat-alat ukur dalam kehidupan kita tidak dapat disangkal lagi. Hampir semua alat ukur berdasarkan energi elektrik, karena setiap kuantitas fisis mudah dapat diubah kedalam kuantitas elektrik, seperti tegangan, arus, frekuensi, perputaran dan lain-lainnya. Misalnya : temperatur yang dulu diukur dengan sebuah termometer air-raksa sekarang dapat diukur dengan thermocouple.

Sifat dari pengukuran itu dibagi dalam :

- (1). Indication, menyatakan, menunjukkan, alat semacam ini tidak tergantung pada waktu;
- (2). Recording, mencatat, menyimpan, merekam, alat ini dipergunakan bila pengukuran berubah dengan perubahan waktu;
- (3). Integrating, menjumlahkan, alat ini dipakai bila konsumsi energi elektrik selama beberapa waktu waktu diperlukan.

Pekerjaan mengukur itu pada dasarnya adalah usaha menyatakan sifat sesuatu zat/ benda ke dalam bentuk angka atau herga yang lazim disebut sebagai hasil pengukuran.

Pemberian angka-angka tersebut dalam praktek dapat dicapai dengan :

- ? Membandingkan dengan alat tertentu yang dianggap sebagai standar.
- ? Membandingkan besaran yang akan diukur dengan suatu sekala yang telah ditera atau dikalibrasikan.

Jelaslah bahwa pengukuran sebagai suatu proses yang hasilnya sangat tergantung dari unsur-unsurnya. Unsur-unsur terpenting dalam proses pengukuran itu antara lain :

- ? Alat yang dipergunakan sebagai pembanding/ penunjuk.
- ? Orang yang melaksanakan pengukuran.
- ? Cara melaksanakan pengukuran.

Kalau ada salah satu unsur yang tidak memenuhi syarat, maka hasilnya tidak mungkin baik. Penjelasan di atas merupakan pengertian pengukuran yang ditinjau secara umum. Pengukuran listrik mempunyai tujuan yang lebih luas lagi, yaitu : untuk mengetahui, menilai dan atau menguji besaran listrik. Alat yang dipergunakan sebagai pembanding/ penunjuk disebut instrumen pengukur. Instrumen ini berfungsi sebagai penunjuk nilai besaran Listrik yang diukurnya. Banyak sekali macam jenis pengukuran ini sesuai dengan banyak besaran yang akan diukur. Hasil pengukuran pada umumnya merupakan penunjukkan yang langsung dapat dibaca/ diketahui, ada yang dengan sistim tercatat dan ada yang tidak. Dari hasil penunjukkan ini selanjutnya dapat dianalisa atau dibuat data untuk suatu bahan studi/ analisa lebih lanjut. Oleh sebab itu hasil pengukuran diharapkan mencapai hasil yang optimal.

## **B. Macam-Macam Alat Ukur Elektrik**

Macam-macam alat ukur elektrik itu dapat dikelompokkan berdasarkan pada :

(1). kuantitas yang diukur :

- ? untuk mengukur besaran arus dipakai Ampere meter
- ? untuk mengukur besaran tegangan dipakai Volt meter,
- ? untuk mengukur besaran resistans dipakai : ohm meter atau Jembatan resistans,
- ? untuk mengukur besaran daya dipakai Watt meter
- ? untuk mengukur besaran energi dipakai Watt-jam meter
- ? untuk mengukur besaran frekuensi dipakai Frekuensi meter
- ? untuk mengukur besaran faktor kerja dipakai  $\cos \phi$  meter

(2). Macamnya arus :

- ? Alat-alat dibagi dalam alat ukur Arus Searah, alat ukur Arus Bolak Balik, alat ukur Arus Searah/ Arus Bolak Balik.

(3). Ketelitian :

Batas ketelitian dari alat ukur merupakan disini dasar pengelompokkannya : batas ketelitian itu dibagi menurut VDE dalam 7 kelas : (dinyatakan dalam % dari skala penuh)

- a. Ketelitian yang tinggi yang diperlukan untuk penelitian, yaitu kelas : 0,1; 0,2; 0,5;
- b. Alat ukur untuk industri : 1; 1,5; 2,5; 5.

Kegunaan instrumen pengukur listrik sangat luas, meliputi bidang penyelidikan, produksi, pemeliharaan, pengawasan dan sebagainya. Oleh sebab itu instrumen pengukur dibuat dengan kepekaan dan ketelitian penunjukan yang disesuaikan dengan kebutuhan masing-masing. Misalnya instrumen untuk kebutuhan laboratorium diperlukan ketelitian dan kepekaan yang tinggi, sedang yang dipakai untuk keperluan industri, tidaklah demikian, lebih mengutamakan kepraktisannya.

Pemilihan instrumen pengukur pada umumnya mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut :

- ? Dapat dipercaya – mudah penggunaannya – kecermatannya.
- ? Pemakaian tenaga – ukuran – bentuk – berat - harga

Dalam bidang penyelidikan dibutuhkan hasil pengukuran yang seteliti-telitinya , oleh karena itu diperlukan instrumen pengukur presisi. Karena mengutamakan ketelitian dan kecermatan kadang-kadang bentuknya besar, memakan banyak tempat dan sukar dipindah-pindahkan. Kegunaan instrumen pengukur dalam bidang produksi ialah untuk menjamin kelancaran proses produksi yang meliputi pencegahan dan pengawasan.

### **C. Besaran-Besaran Listrik**

Besaran-besaran listrik yang banyak dijumpai dalam bidang industri, perbengkelan ataupun keperluan-keperluan yang lain ialah :

- ? arus listrik – tegangan – tahanan – daya – dan sebagainya. Dalam pemakaian besaran listrik diukur dalam satuan praktis dan harga efektif. Untuk memudahkan dalam memahaminya dibuat ringkasan seperti daftar-daftar di bawah .

Daftar Untuk Arus Searah

Besaran	Simbol	Satuan	Singk.	R u m u s
Kuat arus	$i : I$	Ampere	A	$I = E/R$
Tegangan	$e : E$	Volt	V	$E = I \cdot R$
Tahanan	$r : R$	Ohm	?	$R = E/ I$
Daya listrik	W	Watt	W	$W = E \cdot I$ atau $W = I^2 \cdot R$
Usaha/ kerja	A	Watt jam	Wh	$A = E \cdot I \cdot t$ ; t – dalam jam

Untuk keperluan pengukuran arus bolak balik rumus-rumus di atas dapat dipakai arus tegangannya sefasa atau  $\text{Cos } \phi = 1$

Daftar Untuk Arus Bolak Balik

Besaran	Simbol	Satuan	Singk.	R u m u s/ Keterangan
Frekuensi	f	Hertz	Hz	$f = 1/T$ ; T = periode/ dt
Daya (nyata)	W	Watt	W	$W = E \cdot I \text{ Cos } \phi$
Daya buta	Wb	Watt	W	$Wb = E \cdot I \text{ Sin } \phi$
Daya semu	Ws	Volt Ampere	VA	$Ws = E \cdot I$
Faktor kerja	$\text{Cos } \phi$	-	-	-

Daftar Besaran-Besaran yang lain

Besaran	Simbol	Satuan	Singk.	Keterangan
Kapasitans	C	Farad	F	1 Farad = Coul.per Volt
Induktans	L	Henry	H	Henry = Weber/ Amp.

#### **D. Model-Model Alat Ukur**

**a.** Mekanisme kumparan berputar atau moving coil mechanism :

Alat terdiri dari suatu magnet permanen dan satu atau lebih kumparan yang berputar apabila dilalui arus. Hanya dipakai untuk arus searah, contoh : meteran A, V, ohm.

**b.** Mekanisme magnet bergerak, moving magnet mechanism :

Alat terdiri dari satu atau lebih magnet yang dapat bergerak bila arus lalu dalam kumparan tetap yang menimbulkan medan dan mempengaruhi magnet tadi. Alat macam ini dipakai hanya untuk arus searah, contoh : Meteran A, V, ohm.

**c.** Mekanisme besi bergerak, moving mechanism :

Alat terdiri dari elemen besi yang bergerak secara elektromagnetik dalam suatu kumparan tetap yang dilalui arus. Alat ini berguna untuk arus searah dan arus bolak balik, contoh : Meteran A dan V.

**d.** Mekanisme elektrodinamik,

Alat terdiri dari kumparan tetap yang menghasilkan medan magnet di udara, dan satu atau lebih kumparan yang bergerak secara elektrodinamik bila ia dilalui arus. Ada dua macam : Alat tanpa besi dan yang pakai besi, (ferrodynamic). Alat ini dapat dipakai untuk arus searah dan arus bolak balik, contoh : meteran Watt.

**e.** Mekanisme imbas,

Alat terdiri dari kumparan tetap yang dialiri arus dengan konduktor yang berbentuk piring atau silinder yang dapat bergerak karena arus imbas secara elektromagnetik. Alat ini hanya dipakai untuk arus bolak balik, contohnya : meteran elektrik yang berdasarkan pada imbas.

**f.** Mekanisme elektrostatik :

alat terdiri dari beberapa elektroda yang tetap dan satu atau lebih elektroda lawan yang dapat bergerak secara elektrostatik apabila tegangan dipasang; contoh : meteran arus searah dan arus bolak balik.

**g.** Mekanisme dua logam bimetallic mechanism

Alat mempunyai elemen dua logam yang menjadi panas bila dilalui arus sehingga elemen itu melengkung dan menunjukkan nilai arus. Alat dipakai untuk arus searah dan arus bolak balik, contoh : meteran A.

- h. mekanisme tongkat bergetar, vibrating reed mechanism,  
alat terdiri dari tongkat-tongkat yang bergetar disebabkan resonansi karena cara elektromagnetik atau elektrostatik. Alat dipakai hanya untuk arus bolak balik, contoh : meteran frekuensi.
- i. Mekanisme pengarah arus, rectifier instruments,  
alat menggunakan kumparan yang bergerak yang dihubungkan seri dengan pengarah (pengubah) arus yang mengubah arus bolak balik yang diukur menjadi arus searah, contoh : meteran A dan V arus bolak balik.
- j. mekanisme astatik,  
alat mempunyai dua bagian sistem astatik yang dihubungkan sedemikian rupa, sehingga ia membantu satu sama lain apabila dilalui arus. Hal ini mengimbangi akibat dari medan magnetik dari luar. Alat dipakai untuk arus searah dan arus bolak balik, contoh : meteran Watt yang elektodinamik.
- k. mekanisme di filter :  
alat mempunyai sistem penapis, filter, dan dipakai untuk mengamankan alat dari akibat medan elektrik dan medan magnetik.

**PERHATIKAN**

SAMPAI PADA BAGIAN INI SDR. TIDAK DAPAT MELANJUTKAN  
BAHAN KAJIAN APABILA NILAI EVALUASI UNIT I DI BAWAH  
INI TIDAK MENCAPAI NILAI MINIMUM 60

**c. Rangkuman 1**

Proses pengukuran dalam system tenaga listrik merupakan salah satu prosedur standar yang harus dilakukan. Karena melalui pengukuran akan diperoleh besaran-besaran yang diperlukan, baik untuk pengambilan keputusan dan instrumen kontrol maupun hasil yang diinginkan oleh seorang user.

- ? untuk mengukur besaran arus dipakai Ampere meter
- ? untuk mengukur besaran tegangan dipakai Volt meter
- ? untuk mengukur besaran resistans dipakai : ohm meter atau Jembatan resistans,
- ? untuk mengukur besaran daya dipakai Watt meter,
- ? untuk mengukur besaran energi dipakai meter Watt-jam,
- ? untuk mengukur besaran frekuensi dipakai Frekuensi meter,
- ? untuk mengukur besaran faktor kerja dipakai  $\cos \phi$  meter

**d. Tugas Kegiatan Belajar 1**

1. Sebutkan alat-alat ukur yang sdr. temukan dalam kehidupan sehari-hari ?
2. Sebutkan beberapa jenis alat ukur listrik yang sering dipakai ?
3. Lakukan proses pengukuran sederhana dengan alat ukur listrik yang ada ?

**e. Tes Formatif 1**

1. Jelaskan pengetahuan proses pengukuran listrik ?
2. Jelaskan mekanisme kerja alat ukur listrik standar !
3. Jelaskan besaran-besaran standar dalam proses pengukuran listrik !

**f. Kunci Jawaban Formatif**

1. Proses pengukuran listrik adalah proses mengidentifikasi, mencatat dan merekam besaran-besaran listrik berdasarkan prinsip kerja instrumen sensor, transduser dan lainnya.
2. Mekanisme yang dipakai moving coil, moving magnet, elektrodinamik, mekanisme imbas dan mekanisme elektrostatik
3. Besaran-besaran standar dalam pengukuran listrik ; arus, tegangan, daya, tahanan, frekwensi

**g. Lembar Kerja 1**

Untuk melakukan pengayaan substansi materi yang telah disajikan, maka peserta diklat wajib melakukan tugas terstruktur yakni melakukan praktek di lab. Dan survey lapangan terhadap industri terkait. Untuk itu peserta didik setelah tuntas dengan modul diharuskan secara langsung cek in lapangan dan mengisi form berikut :

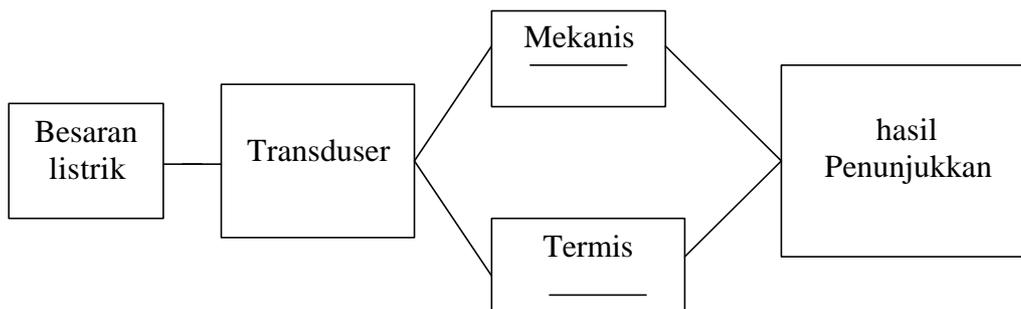
No	Uraian Kegiatan	Kompetensi/ Sub yg dicapai	Tempat	Pembimbing

## 2. Kegiatan Belajar 2

### PRINSIP KERJA ALAT UKUR UKUR LISTRIK

#### A. Umum

Seperti telah kita ketahui dalam Bab I bahwa sistim pengukuran listrik itu, menggunakan suatu alat yang disebut instrumen pengukur. Instrumen pengukur ini akan bekerja apabila ia diberi suatu input ialah besaran listrik yang akan diukur. Besaran yang dimasukkan ke dalam instrumen pengukur tersebut akan dipindahkan (ditransfer) menjelma menjadi suatu penunjukkan. Hasil penunjukkan ini dinyatakan sebagai hasil pengukuran yang nilainya sama dengan besaran yang diukur. Pesawat yang mentransfer besaran listrik menjadi suatu penunjukkan ini merupakan salah satu transduser. Pesawat ini mempunyai azas kerja yang berbeda-beda antara lain : azam kerja kumparan putar, besi putar, induksi, elektrodinamis dan sebagainya. Transduser merubah besaran listrik yang akan diukur itu, kecuali menjadi suatu tenaga mekanis juga menghasilkan tenaga termis. Tenaga termis ini merupakan suatu tenaga yang merugikan. Perhatikan blok diagram pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Blok Diagram Sistem Pengukuran

Karena adanya kerugian tenaga yang ditimbulkan oleh panas ini maka penunjukkan akan menjadi kurang tepat. Disamping kerugian tenaga yang disebabkan oleh timbulnya panas juga umumnya terdapat kerugian gesekan yaitu pada penunjukkan dengan sistim jarum penunjuk, sistimpencatat dan induksi penghitung. Selanjutnya

untuk memperoleh hasil pengukuran besaran yang diukur mendekati kebenaran maka hasil tersebut di atas perlu diperhitungkan. Hasil pengukurannya dapat diperoleh melalui salah satu macam sistim penunjukan, misalnya sistim jarum penunjuk, sistim pencatat, sistim penghitung, sistim sinar katoda dan sebagainya. Sistim penunjukan ini akan diterangkan kemudian.

Pada waktu ada arus listrik mengalir melalui penghantar A – B terbangkitlah panas pada hantaran itu. Penghantar A – B memuai. Akibat dari pemuaian ini dengan pertolongan kawat tarik m, maka pegas P melalui kawat puntir n memutar poros jarum penunjuk a, sehingga jarum penunjuk akan berputar ke kanan. Menurut Hukum Joule perubahan energi listrik menjadi energi panas, maka rumusnya menjadi :

$$E. I. t. = k. I^2 . R . t \quad ( 2.1 )$$

- dimana :
- E = tegangan dalam volt
  - I = kuat arus dalam Ampere
  - t = waktu dalam detik
  - k = konstanta
  - R = tahanan kawat panas dalam Ohm

Dengan demikian bentuk sekala penunjukannya kwadratis. Untuk peredaman umumnya digunakan peredaman magnit permanen, disebut juga peredaman arus pusar.

Pesawat ini mempunyai beberapa sifat diantaranya :

- ? mudah terpengaruh medan magnit luar.
- ? daya yang dipakai terlalu besar, karena diperlukan untuk pemanasan.
- ? peka terhadap muatan lebih, sehingga kalau arusnya terlalu besar kawat dapat terbakar.
- ? penunjukannya terlampau lambat untuk mencapai sekala yang dituju.
- ? sesudah beberapa lama dipakai akan terjadi “pemuaian tinggi”, karena masih panas, sehingga kalau pemakaian selanjutnya dalam waktu yang masih dekat terjadilah penunjukan yang salah.
- ? tidak terpengaruh frekuensi dan bentuk gelombang arus bolak balik.

Azas kerja ini dapat dipakai pada pengukuran arus searah dan arus bolak balik dan baik untuk frekuensi tinggi. Mengingat beberapa sifat di atas

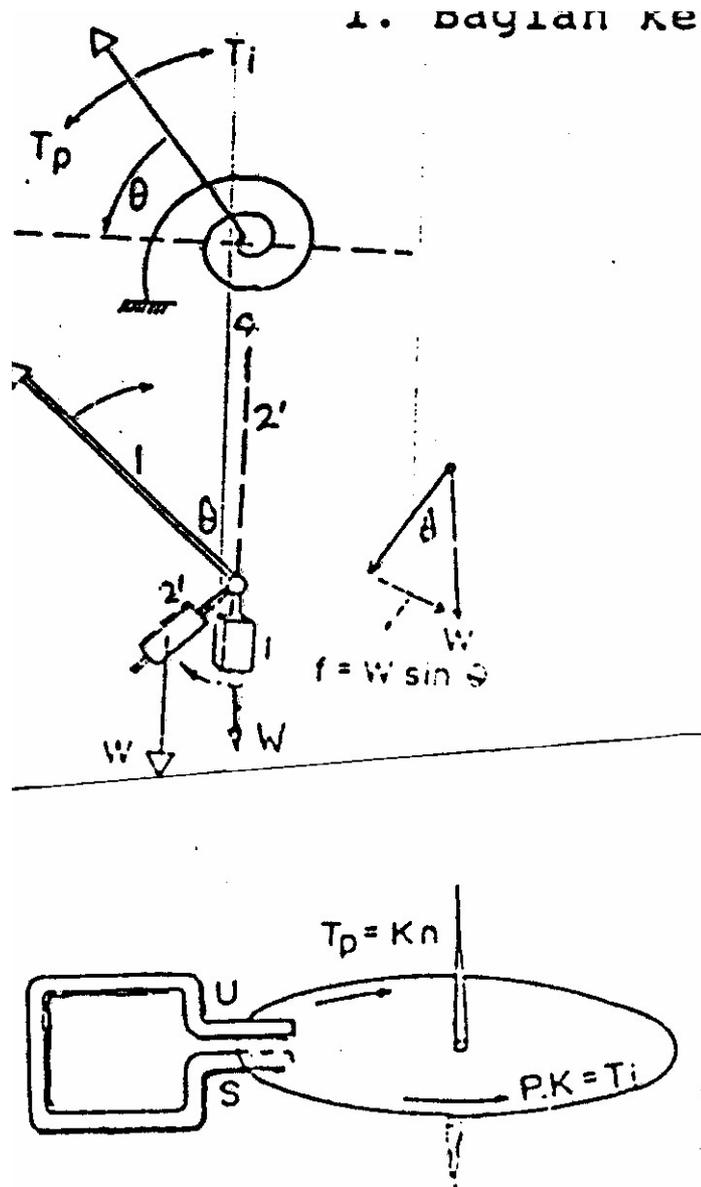
### **B. Pesawat Ukur Penunjuk**

Dua macam komponen utama pada instrumen pengukur ialah : komponen tetap dan yang bergerak, atau disebut juga sistim yang bergerak. Sistim yang bergerak inilah yang menjadi bagian penunjuk nilai pengukurannya, yaitu nilai besaran yang diukur. Cara penunjukkan ini ada beberapa macam, salah satu diantaranya mempergunakan jarum penunjuk. Jarum penunjuk ini akan menyimpang dan langsung menunjukkan besaran yang diukurnya. Gerak penyimpangan jarum penunjuk akan sebanding dengan besaran yang diukur. Hasil penunjukannya dapat dibaca langsung pada sekalanya. Pelat sekala ini dipasang di bawah jarum penunjuk. Instrumen yang mempergunakan cara penunjukkan semacam di atas disebut pesawat ukur penunjuk. Gerak penyimpangan jarum penunjuk menerima hambatan geser dari porosnya. Hambatan ini dapat mempengaruhi hasil penunjukannya. Maka besar hambatan ini harus dibatasi, dibuat sekecil mungkin. Salah satu cara ialah, menempatkan poros sebaik-baiknya. Untuk melindungi batu permatanya dapat dipergunakan kunci pengeras seperti yang tertera pada gambar berikut. Instrumen-instrumen komersial , yaitu instrumen Ampere, Volt, Multi dan sebagainya menggunakan cara penunjukkan seperti di atas.

### **C. Azas Kerja Perubahan Suhu**

Prinsip kerja pesawat ini didasarkan atas adanya perubahan suhu pada suatu penghantarnya. Timbulnya panas disebabkan adanya arus listrik yang melaluinya, yang menyebabkan hantaran tersebut memuai (sesuai dengan teori fisika).

Pemuaian inilah yang dijadikan sebagai azas kerja perubahan suhu instrumen pengukur, perhatikan gambar 2.2 Bagian-bagiannya adalah sebagai berikut :



Gambar 2.2 Alat ukur kumparan putar

i. Bagian kendali :

a. Pegas

perhatikan pada gambar : kopel yang disebabkan oleh aliran arus diimbangi oleh pegas dengan kopelnya  $T_p$  sehingga  $T_p = T_i$

dimana  $T_p = ? \cdot k$

b. Pemberat

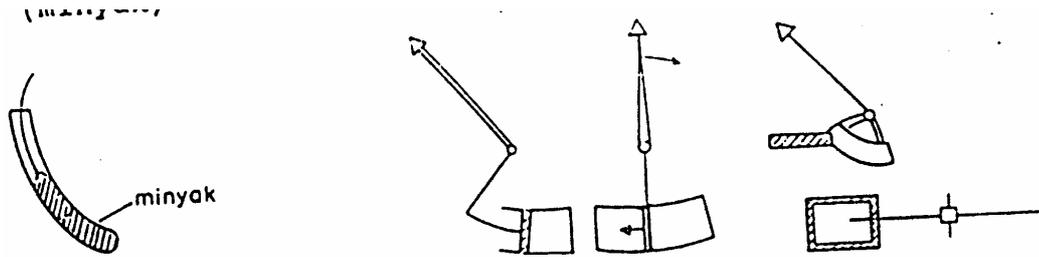
Apabila pemberat beratnya  $W$ , maka arus pusar eddy current

Dalam hal ini, meteran W,  $T_i = K.P$ , dengan  $P = \text{daya dalam watt}$  sedangkan :  $T_p = k.n$  sehingga terpenuhi  $T_p = T_i$  untuk keseimbangan.

ii. Bagian peredam :

Ada 3 macam alat peredam getaran penunjuk dari alat yaitu :

- a. peredam zat cair      b. peredam udara      c. peredam magnet



Gambar 2.3 Komponen alat ukur kumparan putar

iii. Skala

Skala yang panjang lebih mudah untuk pembacaan, terdapat skala yang bagian-bagiannya terbagi rata, atau bagian-bagiannya terbagi menurut logaritma. Alat ukur (meteran) kumparan bergerak dengan magnet permanen mempunyai skala yang teratur dengan pembagian skala yang sama. Meteran berdasarkan elektrodinamik dan besi bergerak tidak mempunyai skala yang teratur. Skala watt meter elektrodinamik mempunyai bagian skala yang teratur. Karena meteran itu biasanya dipakai untuk tegangan rendah 0 – 10 – 200 V maka untuk mengukur tegangan tinggi jala-jala, haruslah dipergunakan trafo pengukuran dengan mengubah tegangan tinggi ketegangan meteran itu. Ada dua macam trafo ukur : trafo ukur arus dan trafo ukur tegangan. Yang perlu diperhatikan pada trafo ukur itu ialah : polaritas trafo, dibumikan bila harus demikian, kesalahan sudut fasa, kesalahan perbandingan trafo, dan kesalahan pengukurannya sendiri. Mengenai hal ini semua dijelaskan dalam kuliah Transformator.

**c. Rangkuman 2**

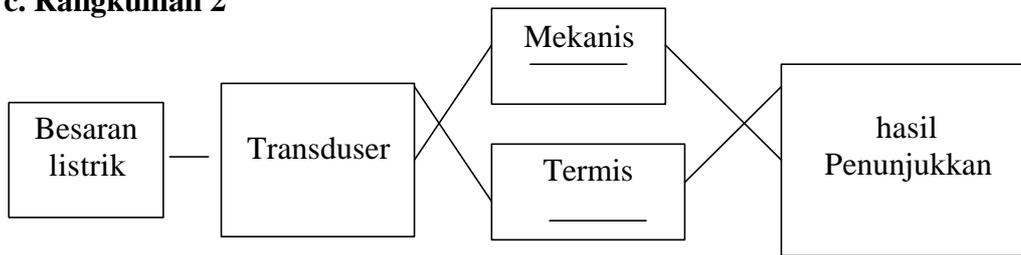


Diagram sistem pengukuran

Karena adanya kerugian tenaga yang ditimbulkan oleh panas ini maka penunjukkan akan menjadi kurang tepat. Disamping kerugian tenaga yang disebabkan oleh timbulnya panas juga umumnya terdapat kerugian gesekan yaitu pada penunjukkan dengan sistim jarum penunjuk, sistimpencatat dan induksi penghitung. Selanjutnya untuk memperoleh hasil pengukuran besaran yang diukur mendekati kebenaran maka hasil tersebut di atas perlu diperhitungkan. Hasil pengukurannya dapat diperoleh melalui salah satu macam sistim penunjukkan, misalnya sistim jarum penunjuk, sistim pencatat, sistim penghitung, sistim sinar katoda dan sebagainya.

**d. Tugas Kegiatan Belajar 2**

1. Bandingkan konsep teori pengukuran listrik dari berbagai literatur ?
2. Amati dengan seksama cara kerja beberapa alat ukur yang ada di lab?
3. Lakukan proses pengukuran sederhana dengan alat ukur listrik yang ada

**e. Tes Formatif 2**

1. Jelaskan diagram prinsip kerja pengukuran listrik ?
2. Sebutkan sifat dari alat ukur kumparan putar !
3. Sebutkan bagian-bagian alat ukur kumparan putar !

**f. Kunci Jawaban Formatif 2**

1. Besaran listrik sebagai input awal masuk ke dalam transduser yang dirubah sesuai dengan besaran yang dibutuhkan kemudian masuk kedalam rangkaian lain yang bekerja berdasarkan prinsip kerja mekanis atau termis dan hasilnya ditunjukkan dalam sebuah display

2. Sifat umum : mudah terpengaruh medan magnet luar, daya yang diperlukan besar, peka terhadap muatan lebih, tidak terpengaruh frekwensi dan bentuk gelombang arus bolak-balik.
3. Bagian kendali : pegas, pemberat, arus pusat  
Bagian peredam: peredam zat cair, peredam udara dan peredam magnit

**g. Lembar Kerja 2**

Untuk melakukan pengayaan substansi materi yang telah disajikan, maka peserta diklat wajib melakukan tugas terstruktur yakni melakukan praktek di lab. dan survey lapangan terhadap industri terkait. Untuk itu peserta didik setelah tuntas dengan modul diharapkan langsung cek in industridan mengisi form berikut :

No	Uraian Kegiatan	Kompetensi/Sub yg dicapai	Tempat	Pembimbing

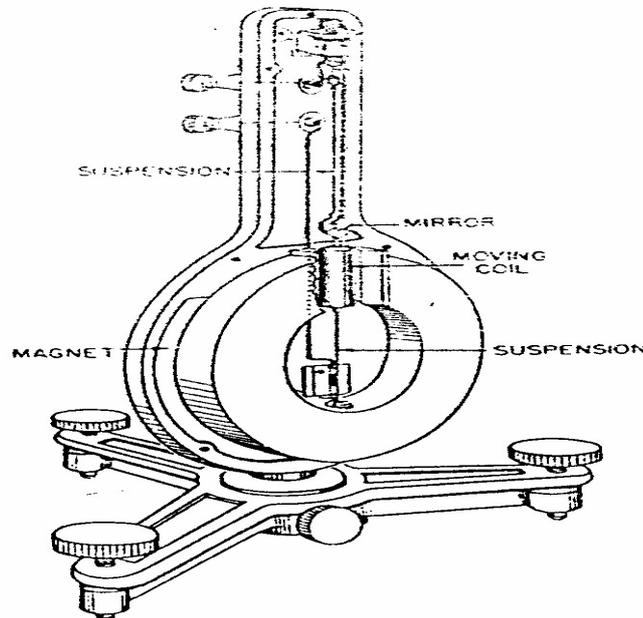
### 3. Kegiatan Belajar 3

## ALAT UKUR KUMPARAN PUTAR

#### A. Pengertian Dasar

Galvanometer suspensi adalah jenis alat ukur yang merupakan cikal bakal atau dasar dari alat-alat ukur arus searah yang menggunakan kumparan gerak (moving coil) bagi sebagian besar alat-alat ukur arus searah yang digunakan hingga saat ini.

Konstruksi dan prinsip kerjanya adalah sebagai berikut sebuah kumparan dari kawat halus digantungkan di dalam sebuah medan magnet permanen (gambar 1 : 1). Bila kumparan dialiri arus listrik maka kumparan putar akan berputar di dalam medan magnet



Gambar 3.1 Konstruksi Galvanometer Suspensi

Kawat gantungan tempat kumparan tersebut menggantung terbuat dari serabut halus yang berfungsi sebagai pembawa arus listrik dari terminal ke kumparan gerak.

Keelastikannya dapat membangkitkan suatu torsi yang arahnya berlawanan dengan arah putaran kumparan hingga suatu saat gaya elektromagnetiknya terimbangi oleh torsi mekanis dari kawat gantungan. Besarnya simpangan kumparan sebanding dengan arus, yang mengalir pada kumparan tersebut. Pada kumparan gerak dipasang sebuah cermin yang berfungsi untuk mendeteksi besarnya simpangan kumparan melalui efek optikal sehingga seolah-olah membentuk jarum penunjuk panjang yang bermassa nol. Berkas cahaya yang dipantulkan oleh cermin tersebut akan menjejaki sebuah lempengan sekala yang ditempatkan pada jarak tertentu dari galvanometer. Dilihat dari dimensinya keindahan portabilitas galvanometer ini kurang menguntungkan untuk pemakaian dilapangan. Akan tetapi bila dilihat dari keandalannya alat ukur jenis ini mempunyai ketepatan yang tinggi. Oleh karenanya galvanometer dalam perkembangannya kini hanya digunakan di laboratorium-laboratorium besar sebagai alat ukur yang memiliki sensitivitas tinggi. Sebuah galvanometer suspensi, meskipun tidak termasuk alat ukur yang dapat digunakan secara praktis dan portabel, namun prinsip kerja dan konstruksinya sama dengan prinsip kerja dan konstruksi yang digunakan pada alat ukur modern, yaitu berdasarkan prinsip kerja PMMC (Permanent-Magnet Moving Coil). Gambar 1.2 memperlihatkan konstruksi dan bagian-bagian mekanik sebuah PMMC. Konstruksi utamanya terdiri atas kumparan yang digantungkan pada daerah medan magnet dari sebuah magnet permanen yang berbentuk ladam (tapal kuda). Kumparan gantung digantung sedemikian rupa sehingga dapat berputar bebas di dalam.

Kedinamisan dari suatu alat ukur adalah suatu karakteristik yang merujuk pada faktor-faktor berikut :

a. Respon atau tanggapannya.

Faktor ini berbicara tentang cepat atau lambatnya reaksi simpangan jarum terhadap perubahan besaran parameter yang sedang diukurnya. Idealnya suatu alat ukur memiliki kecepatan respon yang tinggi.

b. Overshoot.

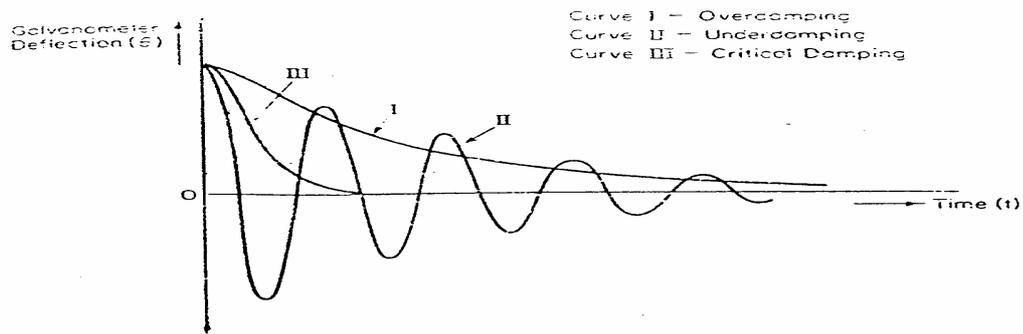
Faktor ini berbicara tentang besar kecilnya simpangan jarum dari kedudukan yang seharusnya ditunjukkan pada saat digunakan mengukur suatu parameter ukur. Overshoot dari sebuah alat ukur idealnya tidak terlalu besar.

c. Redaman.

Faktor ini menunjuk pada besar kecilnya redaman yaitu terjadi pada alat ukur sebagai akibat adanya freksi yang terjadi pada komponen yang berputar terhadap sumbunya. Sebuah alat ukur idealnya memiliki redaman yang rendah. Agar lebih memahami konsep kedinamisan seperti dimaksud di atas secara komprehensif. Kita akan melakukan suatu observasi terhadap sebuah galvanometer yang dihubungkan pada suatu sumber tegangan. Pada kondisi galvanometer terhubung dengan sumber tegangan, jarum penunjuk (*pointer*) menyimpang kekanan dan menunjuk pada harga tertentu. Apabila kemudian kita memutuskan galvanometer dari sumber tegangan tadi secara tiba-tiba maka jarum penunjuk akan berayun kembali dari posisi simpangannya menuju ke posisi nol. Akan tetapi karena ada pengaruh moment inersia yang berlaku pada suatu sistem yang berputar, maka jarum penunjuk tidak akan langsung berhenti di titik nol, melainkan berayun melewati titik nol ke sebelah kiri (*overshoot*) kemudian berayun kembali kekanan di sekitar titik nol (*bersosilasi* atau *bergetar*). Karena ada pengaruh redaman, maka osilasi ini perlahan-lahan akan mengecil hingga akhirnya jarum penunjuk berganti di titik nol. Dari fenomena yang telah kita observasi di atas maka dapat kita simpulkan bahwa kelakuan sebuah kumparan gerak (*moving coil*) di dalam medan magnet, ditentukan oleh 3 parameter :

- a. Momen inersia kumparan gerak disekitar sumbu putarnya ( $J$ ).
- b. Torsi yang berlawanan yang dihasilkan oleh pegas ( $S$ ), dan
- c. Konstanta redaman ( $D$ ).

Ketiga faktor tersebut di atas akan menentukan kedinamisan sebuah alat ukur. Persamaan diferensial diantara ketiga faktor tersebut menghasilkan tiga kemungkinan sifat dinamis sebuah alat ukur dalam menentukan simpangan jarum penunjuknya. Ketiga kemungkinan dari sifat dinamis tersebut seperti terlihat pada gambar 3.2 berikut :



Gambar 3.2 Tiga Kemungkinan Sifat dinamis pada sebuah Galvanometer

Kurva 1 memperlihatkan suatu keadaan yang disebut overdamped. pada keadaan ini. Jarum penunjuk kembali menuju ke posisi nol (posisi diam) secara perlahan tanpa overshoot atau osilasi. jarum penunjuknya cenderung menuju kepada keadaan mantap secara lambat. Penyebab utama dari overdamped adalah adanya redaman yang berlebihan yang terjadi pada poros kumparan gerakannya. Hal ini kurang begitu menarik, sebab yang lebih dikehendaki dari kebanyakan alat ukur pada aplikasi pengukuran adalah keadaan II dan keadaan III yang masing-masing ditunjukkan oleh kurva II dan kurva III. Kurva II memperlihatkan keadaan Underdamped. Pada keadaan ini gerakan dari kumparan gerak seolah-olah menyerupai bentuk osilasi sinusoida teredam. Kecapatan osilasi jarum menunjuk hingga berhenti ditentukan oleh konstanta redaman ( $D$ ) moment inersia ( $J$ ), dan torsi yang melawan ( $S$ ) yang dihasilkan oleh kawat gantungan kumparan gerak/ pegas. Kurva III memperlihatkan suatu keadaan yang disebut Critically damped. Pada keadaan ini jarum penunjuk akan kembali dengan cepat dalam keadaan mantap tanpa osilasi. Respon sebuah galvanometer idealnya sedemikian rupa sehingga jarum penunjuk bergerak ke posisi nol tanpa overshoot, dan ini berarti gerakan jarum penunjuk tersebut masuk ke dalam kategori Critically Damped. Akan tetapi di dalam prakteknya, biasanya jarum penunjuk dari sebuah galvanometer sedikit Underdamped, dan ini berarti jarum penunjuk akan sedikit mengalami overshoot sebelum berhenti dititik nol. Dengan kondisi seperti ini, maka sebuah galvanometer akan terjamin dari kerusakan yang diakibatkan oleh penanganan yang kasar dan akan mengkompensasikan setiap friksi tambahan yang terbentuk dalam selang waktu tertentu sebagai akibat dari debu atau keausan komponen gerakannya.

## **B. Redaman Mekanis**

Redaman mekanis (damping mechanisms) adalah jenis redaman yang diakibatkan oleh komponen yang bergerak. Dalam konteks galvanometer suspensi, ada dua jenis redaman, yaitu :

1. Redaman mekanis yang bersumber pada komponen galvanometer yang bergerak. Redaman jenis ini biasanya disebabkan oleh pergerakan kumparan gerak terhadap udara di sekitarnya, gesekan diantara bantalan-bantalan dengan sumbunya terpelintarnya pegas gantungan yang disebabkan oleh berputarnya kumparan gerak.
2. Redaman elektromagnetik yaitu jenis redaman yang bersumber pada komponen elektromagnetik. Redaman ini ditimbulkan oleh pengaruh induksi di dalam kumparan gerak yang berputar di dalam medan magnet, dengan syarat bahwa kumparan gerak tersebut merupakan bagian dari sebuah rangkaian tertutup.

Konstruksi alat-alat ukur PMMC umumnya dibuat dengan tingkat redaman sekecil mungkin dan disesuaikan dengan spesifikasi kebutuhan yang telah ditentukan sebelumnya. Realisasi dari kedua jenis redaman ini amat bervariasi, salah satu contohnya adalah sebagai berikut :

1. Baling-baling Alumunium.

Ada konstruksi PMMC yang memanfaatkan baling-baling alumunium yang dipasang pada kumparan geraknya untuk memperoleh efek redaman udara. Pada saat kumparan gerak berputar, baling-baling alumunium bergerak dalam rongga udara di sekitarnya, dan baling-baling akan mengontrol tingkat redaman secara efektif. Teknik seperti ini adalah salah satu realisasi jenis redaman pada PMMC yang paling sederhana, namun cukup efektif.

2. Koker Alumunium.

Ada beberapa jenis alat ukur PMMC yang mewujudkan redamannya melalui redaman elektromagnetik dengan cara membuat kumparan putar pada sebuah kerangka alumunium yang ringan. Bila kumparan gerak berputar di dalam medan magnetik, maka kumparan gerak tadi akan membangkitkan sirkulasi arus pada kerangka alumunium dan akan menyebabkan timbulnya torsi penghambat yang melawan gerakan kumparan gerak (moving coil). Selain untuk

menimbulkan redaman elektromagnetis, prinsip ini secara efektif juga sekaligus dapat melindungi alat ukur dari kerusakan sebagai akibat guncangan-guncangan yang terjadi selama pengiriman, yaitu dengan cara menghubungkan singkat terminal-terminal positif dan negatif alat ukur untuk mengurangi simpangan jarum yang berlebihan (overshoot pada simpangan jarum penunjuk, baik ke kiri maupun ke kanan)

3. Redaman Kritis Resistor Luar.

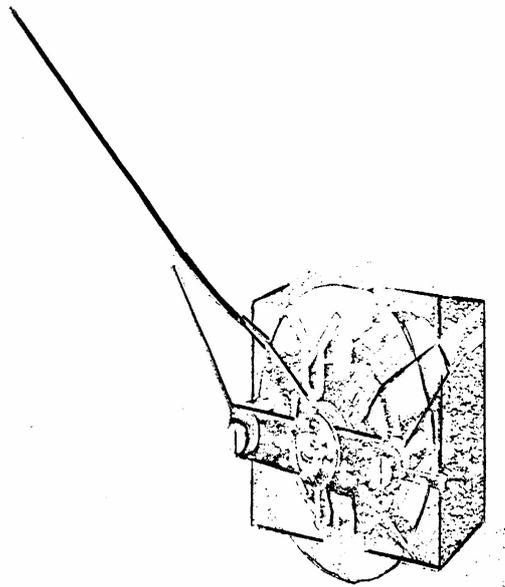
Redaman kritis resistor luar atau Critical Damping Resistance External (CDRX), adalah suatu teknik yang diterapkan dengan cara memasang sebuah resistor pada kumparan gerak (moving coil) dari alat ukur tersebut. Apabila kumparan gerak bergerak di dalam medan magnet, maka akan timbul tegangan induksi yang mengalir pada kumparan gerak dan hambatan luarnya sebagai akibat dari efek ggl induksi dari kumparan yang bergerak di dalam medan magnetik. Hal ini akan menimbulkan torsi yang melawan dan akan meredam gerakan kumparan gerak. Nilai resistansi luar yang dipasang harus dapat menghasilkan redaman kritis, dan oleh sebab itu disebut Redaman kritis Resistor Luar yang merupakan konstanta penting pada sebuah galvanometer. Besarnya torsi redaman dinamis yang dihasilkan oleh CDRX tergantung pada hambatan total pada rangkaian galvanometer. Hambatan total yang kecil akan menghasilkan torsi redaman elektromagnetis yang besar. Salah satu cara untuk menentukan besarnya nilai CDRX, ialah dengan cara mengamati ayunan jarum penunjuk galvanometer pada saat arus listrik dialirkan atau diputuskan dari kumparan geraknya. Dimulai dari kondisi osilasi, kemudian nilai hambatan luarnya diperbesar hingga jarum penunjuk berhenti dengan mantap. Menentukan nilai CDRX dengan cara ini dianggap cukup memadai. Nilai resistansi dari CDRX dapat juga ditentukan dengan perhitungan dari konstanta-konstanta galvanometer yang telah diketahui sebelumnya.

### **C. Permanen Magnet Moving Coil**

Alat-alat ukur modern yang digunakan sekarang umumnya menggunakan konstruksi PMMC yang merupakan pengembangan dari penyempurnaan dari galvanometer sebagai nenek moyang alat-alat ukur modern. Ada dua jenis gerakan PMMC, yaitu :

### 1. Gerakan D'Arsonval

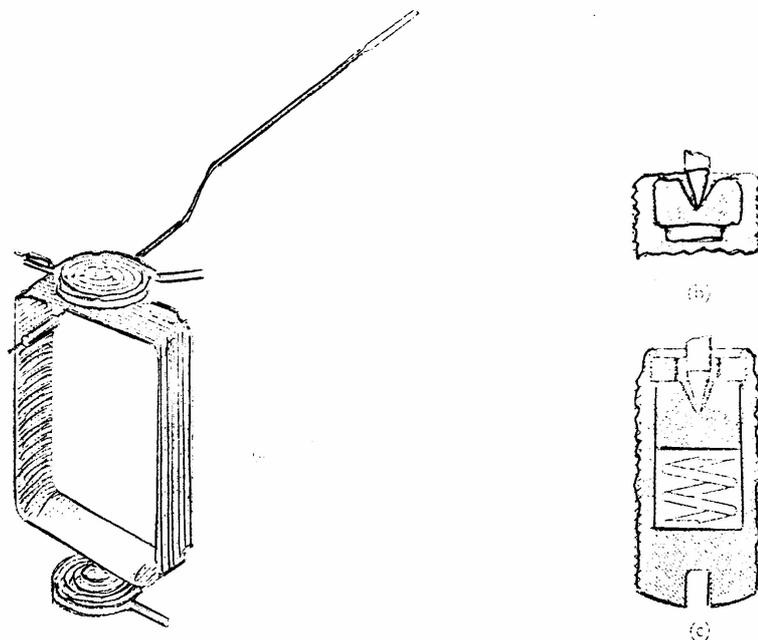
Gerakan D'Arsonval (D'Arsonval Movement) adalah suatu konstruksi alat ukur yang termasuk ke dalam jenis PMMC. D'Arsonval dirancang dengan cara menempatkan magnet besar agar diperoleh fluks magnetik yang besar. Rancangan seperti ini dimaksudkan agar alat ukur mampu bekerja dengan arus yang kecil untuk penunjukannya pada skala penuh (full scale deflection/ fsd). Konstruksinya terdiri atas sebuah magnet permanen berbentuk tapal kuda yang ditempeli potongan besi lunak. Diantara potongan tersebut terdapat silinder besi lunak yang berfungsi menghasilkan medan magnet yang homogen pada celah udara di antara kutub-kutub silindernya. Kumparan geraknya dililitkan pada kerangka logam ringan yang dipasang sedemikian rupa sehingga dapat berputar secara bebas dalam ruang udara. Jarum penunjuknya dipasang pada bagian atas kumparan dan dapat bergerak secara bebas di sepanjang skala yang menunjukkan simpangan untuk kumparan yang sebanding dengan penunjukkan arus yang melalui kumparan tersebut. Alat ukur ini dilengkapi dengan alat pengatur nol (zero Adjuster) berbentuk Y yang dihubungkan ke ujung pegas pengatur depan. Gerakan dasar PMMC D'Arsonval seperti terlihat pada gambar 3.3 di bawah ini.



Gambar 3.3 Detail Konstruksi PMMC Gerakan D'Arsonval

Sedangkan gambar 3.4 memperlihatkan detail dari seluruh sistem yang berputar seperti kumparan gerak, pegas depan, pegas belakang, sumbu putar, dan beban penyeimbang (balance weight). Dengan cara memasang beban penyeimbang ini, maka sistem akan berputar secara setimbang di semua titik putarnya. Sedangkan pada gambar 3.4 dan gambar 3.4 terlihat bahwa sumbu putar menempel pada porosnya melalui bantalan batu (jewel bearing) yang berbentuk V dan bertumpu pada sebuah pegas penahan balik.

Dengan konstruksi seperti itu, maka alat ukur yang dirancang berdasarkan konsep PMMC Gerakan D'Arsonval memiliki skala yang linier, artinya simpangan jarum penunjuk berbanding lurus dengan arus yang melalui kumparan (lihat kembali persamaan torsi yang dibangkitkan  $T = B \times A \times I \times N$ ). Inilah sebabnya mengapa alat ukur PMMC dianggap sebagai dasar peralatan ukur dc yang mampu menghasilkan pembacaan yang linier. Daya yang dibutuhkan oleh gerakan D'Arsonval amat kecil yaitu sekitar 25 mW – 200 mW, dan ketelitiannya berada pada orde 2 % - 5 % dari pembacaan skala penuhnya.



Gambar3.4 Detail Konstruksi Moving Coil PMMC D'Arsonval

Apabila kita mencantumkan arus bolak balik berfrekuensi rendah kepada alat ukur jenis ini, maka simpangan jarum penunjuk akan naik selama setengah periode

gelombang dan turun dalam arah yang berlawanan selama setengah periode berikutnya. Akan tetapi pada tegangan frekuensi jala-jala (60 Hz) ke atas, tidak mampu lagi merespon atau mengikuti pertukaran arah dari siklus positif ke siklus negatif yang cepat, sehingga jarum penunjuk hanya akan bergerak sedikit di sekitar titik nol, mencari nilai rata-rata arus bolak balik yang besarnya mendekati nol. Kesimpulannya alat ukur PMMC tidak cocok digunakan untuk mengukur arus bolak balik, kecuali arus tersebut disearahkan dulu oleh rectifier.

#### **D. Konstruksi magnet Inti**

Konstruksi magnet inti (Core Magnet Construction) adalah jenis alat ukur yang merupakan perkembangan terakhir yang terbuat dari sistem magnetik yang sekaligus berfungsi sebagai intinya. Konstruksi semacam ini dimungkinkan setelah ditemukan teknologi pembuatan bahan magnetik yang dapat dibentuk ke dalam berbagai cetakan. Keuntungan dari konstruksi magnet inti ialah :

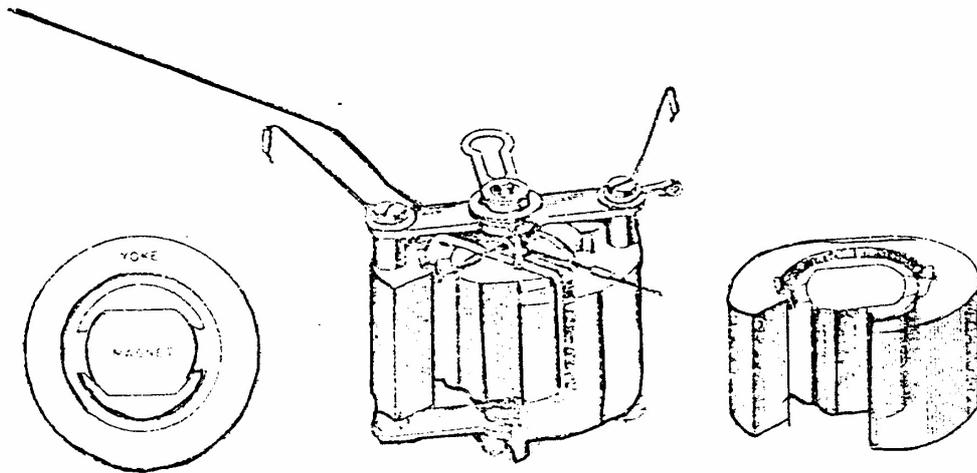
1. Alat ukur tidak mudah terpengaruh oleh induksi medan magnet dari luar alat ukur;
2. Mampu menghilangkan efek semua magnetik yang dapat mempengaruhi pembacaan yang biasa terjadi pada konstruksi sistem penempatan alat-alat ukur pada sebuah panel baja, terutama bila alat-alat ukur tersebut masing-masing bekerja dalam jarak yang relatif dekat.

Konstruksi magnet inti modern dibangun di dalam selubung magnetik (yoke) yang berfungsi sebagai pelindung seperti terlihat pada gambar 3.4. Konstruksi magnet semacam ini sudah diterapkan pada alat-alat ukur yang dipakai pada pesawat-pesawat terbang dan pesawat ruang angkasa, dimana sejumlah alat ukur dipasang saling berdekatan pada panel instrumen tanpa saling mempengaruhi. Aplikasi lainnya dari konstruksi magnet inti, ialah pada alat-alat ukur jenis cross pointer indicator. Di dalam satu alat ukur jenis ini dapat terdiri atas dua atau beberapa buah jarum penunjuk yang berada dalam satu lubang inti magnetik, dan membentuk satu kesatuan peragaan. Penemuan konstruksi magnet inti ini jelas telah memberikan keuntungan yang besar, karena mampu mengeliminir pemakaian lubang-lubang besi yang banyak, yang berarti pula menurunkan ukuran dan bobot alat ukur yang merupakan beban tambahan bagi pesawat-pesawat terbang dan pesawat ruang angkasa.

### **E. Suspensi Taut band**

Dari pembahasan terdahulu, kita tahu bahwa galvanometer Suspensi memiliki sensitivitas yang tinggi, torsi yang rendah, dan konsumsi arus yang kecil, sehingga galvanometer merupakan alat ukur presisi yang biasanya digunakan di laboratorium-laboratorium besar. Namun demikian, galvanometer mempunyai kelemahan, yaitu harus dioperasikan pada kondisi tegak lurus, karena kumparan geraknya menggantung pada sebuah pegas. Kelemahan ini pada alat ukur modern telah dapat diatasi, yaitu dengan menerapkan sistem Suspensi Taut-band yang akan dibahas berikut ini. Pada sistem Suspensi Taut-band (Taut-band Suspension), kumparan gerak (moving coil) digantung dengan menggunakan dua buah pita torsi yang dipasang dengan tekanan yang cukup kuat untuk menahan kumparan gerak dari pengaruh gravitasi bumi sehingga dapat dioperasikan dalam berbagai posisi. Secara umum, alat ukur dengan sistem Suspensi taut-band lebih unggul bila dibandingkan dengan Galvanometer Suspensi, bahkan bila dibandingkan dengan alat ukur sistem Suspensi yang menggunakan bantalan batu (Jewel Bearing) seperti pada gerakan D'Arsonval sekalipun. Keunggulannya adalah :

1. Mewarisi sifat Galvanometer Suspensi yang terkenal dengan tingkat sensitivitasnya yang tinggi, bahkan jenis suspensi taut-band jauh lebih tinggi lagi karena redaman akibat friksi berkurang.
2. Dapat dioperasikan pada berbagai kondisi yang tidak tegak lurus, tidak terlalu sensitif terhadap berbagai guncangan dan temperatur yang tinggi.
  - (a) Moving Coil, (b) V-Jewel Bearing, dan (c) Pegas Pembalik V-Jewel.



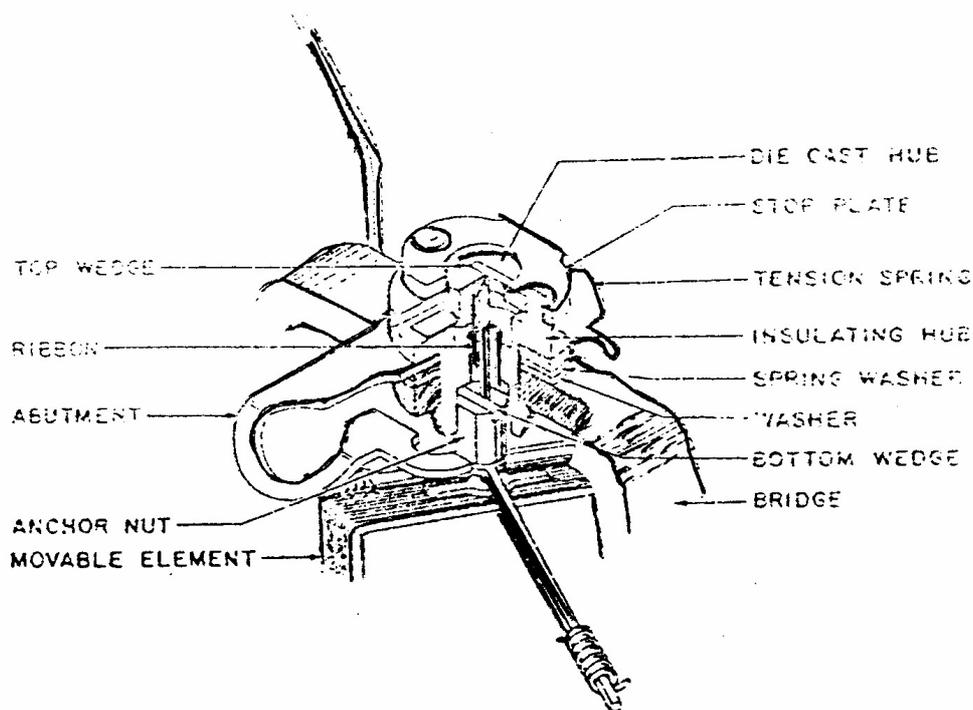
Gambar 3.5 Konstruksi Suspensi Taut-band

Dengan keunggulan-keunggulan seperti itu, alat ukur dari jenis Suspensi Taut-band dapat dijadikan sebagai alat ukur presisi yang portabel, artinya dapat di bawa ke berbagai medan pengukuran di luar laboratorium.

#### **F. Kompensasi Suhu**

Alat-alat ukur dengan gerakan dasar PMMC dirancang agar relatif tidak terpengaruh oleh perubahan suhu. Akan tetapi pada prakteknya perubahan suhu itu mempengaruhi unjuk kerjanya karena konstruksinya yang terbuat dari logam yang dapat dipengaruhi oleh suhu. Pengaruh ini terutama akan terasa pada unjuk kerja jarum penunjuk yang otomatis akan mempengaruhi pada pembacaannya. Untuk mengatasi hal seperti itu, pengaruh suhu tersebut harus dikompensasi oleh sebuah kompensator suhu (temperatur compensation). Di dalam prakteknya, kompensator ini dapat diwujudkan dengan menggunakan sebuah hambatan shunt yang terbuat dari bahan campuran tembaga dan manganin dan dipasang secara seri dengan alat ukur. Kenaikan suhu akan mengakibatkan magnet dan regangan pegas berkurang, sebaliknya resistansi kumparan akan meningkat. Perubahan tersebut cenderung membuat jarum penunjuk menunjukkan pembacaan yang lebih rendah dari yang seharusnya ditunjukkan. Sebaliknya, bila suhu turun, jarum penunjuk cenderung menunjukkan pembacaan yang lebih tinggi dari yang seharusnya ditunjukkan. Alat-alat ukur yang suhunya tidak dikompensasikan dengan baik cenderung menghasilkan suatu pembacaan yang lebih

rendah sekitar 0,2 % pada setiap kenaikan suhu 1 derajat Celcius. Sedangkan alat-alat ukur dengan presisi tinggi dan dikompensasi dengan baik, perubahan ketelitiannya tidak akan melampaui seperempat bagian dari kesalahan yang diijinkan pada setiap kenaikan suhu 10 derajat Celcius. Kompensator suhu dapat diwujudkan dengan memasang swamping resistor yang dihubungkan secara seri dengan kumparan gerak seperti terlihat pada gambar 3.6. Swamping resistor terbuat dari bahan manganin yang memiliki koefisien temperatur mendekati nol, dan dipadukan dengan bahan tembaga dengan perbandingan 20 : 1 hingga 30 : 1. Hambatan total dari kumparan gerak dan swamping resistor akan meningkat seiring dengan meningkatnya suhu. Akan tetapi diusahakan agar hambatan total tersebut hanya cukup mengimbangi perubahan yang terjadi pada pegas dan magnet, sehingga pengaruh keseluruhan dari perubahan suhu ini sama dengan nol.



Gambar 3.6 Penempatan Swamping Resistor sebagai Kompensator suhu

Cara lain yang lebih lengkap untuk menghilangkan pengaruh kenaikan suhu, adalah dengan susunan seperti terlihat pada gambar 1.8b. Disini hambatan total rangkaian akan meningkat seiring dengan meningkatnya suhu pada kumparan gerak yang terbuat dari tembaga dan resistor shunt tembaga. Akibatnya bila ada tegangan yang masuk,

arus totalnya akan menurun secara drastis seiring dengan meningkatnya suhu. Hambatan dari resistor shut tembaga akan meningkat lebih besar daripada hambatan seri kumparan gerak dengan resistor manganin sehingga secara efektif sebagian besar arus akan mengalir melalui kumparan gerak. Dengan cara mengatur perbandingan bahan tembaga dan manganin yang tepat dalam rangkaian, maka pengaruh perubahan suhu dapat dihilangkan secara sempurna. Akan tetapi salah satu kerugian dari penggunaan swamping resiko ini ialah berkurangnya sensitivitas skala penuh dari alat ukur, sebab diperlukan tegangan input yang lebih besar untuk mempertahankan arus yang dibutuhkan meter pada penunjukkan skala penuhnya.

### G. Sensitivitas Galvanometer

Ada empat konsep yang dapat digunakan untuk menyatakan sensitivitas galvanometer (Galvanometer Sensitivity), yaitu : (a) sensitivitas arus, (b) sensitivitas tegangan, (c) sensitivitas mega ohm, dan (d) sensitivitas balistik.

#### 1. Sensitivitas Arus

Sensitivitas arus (Current Sensitivity) ialah perbandingan diantara simpangan jarum penunjuk galvanometer terhadap arus listrik yang menghasilkan simpangan tersebut. Besarnya arus listrik biasanya dalam orde mikroampere ( $\mu A$ ). Sedangkan besarnya simpangan dalam orde milimeter (mm). Jadi untuk galvanometer yang tidak memiliki skala yang dikalibrasi dalam orde milimeter, harus dikonfersi dulu ke dalam skala mili meter. Secara matematis, sensitivitas arus dinyatakan dengan :

$$S_1 = \frac{d \text{ mm}}{I \text{ } \mu A}$$

$S_1$  = Sensitivitas arus dalam mm/  $\mu A$

$d$  = Simpangan Galvanometer dalam mm

$I$  = Arus pada Galvanometer dalam  $\mu A$

#### 2 Sensitivitas Tegangan

Sensitivitas tegangan (Voltage Sensitivity), ialah perbandingan antara simpangan jarum penunjuk galvanometer terhadap tegangan yang menghasilkan simpangan tersebut. Sensitivitas tegangan dinyatakan dengan notasi matematis sebagai berikut :

$$S_V = \frac{d \text{ mm}}{V \text{ mV}}$$

$S_V$  = Sensitivitas tegangan dalam mm/ mV  
 $d$  = Simpangan Galvanometer dalam mm  
 $V$  = Arus pada Galvanometer dalam mV

Perlu diperhatikan bahwa sebuah galvanometer dilengkapi dengan Critical Damping Resistor External (CDRX). Ini berarti konsep sensitivitas tegangan galvanometer dalam mm/ mV, hanya berlaku pada tegangan setelah melewati CDRX.

### 3. Sensitivitas Mega ohm

Sensitivitas mega ohm (Megaohm Sensitivity), ialah besarnya resistansi mega ohm yang terhubung seri dengan galvanometer (termasuk CDRX – Shunt-nya) untuk menghasilkan simpangan jarum menunjuk galvanometer sebesar 1 bagian skala jika tegangannya yang disatukan sebesar 1 Volt. Karena besarnya hambatan ekuivalen dari galvanometer yang terhubung paralel dapat diabaikan bila dibandingkan dengan besarnya tahanan mega ohm yang terhubung seri dengannya, maka arus yang masuk praktis sama dengan  $1/R \text{ ?A}$  dan menghasilkan simpangan satu bagian skala. Secara numerik sensitivitas mega ohm sama dengan sensitivitas arus dan dinyatakan sebagai berikut :

$$S_R \text{ ? } \frac{d \text{ mm}}{\text{?A}} \text{ ? } S_I \quad S_R = \text{Sensitivitas mega ohm dalam mm/ ? A}$$

$D$  = Simpangan Galvanometer dalam mm

$I$  = Arus pada Galvanometer dalam ? A

### 4 Sensitivitas Balistik

Konsep lain sebagai tambahan adalah konsep Sensitivitas Balistik (Ballistic Sensitivity) yang biasa digunakan pada Galvanometer Balistik. Sensitivitas Balistik adalah perbandingan antara simpangan maksimum dari jarum penunjuk Galvanometer terhadap jumlah muatan listrik  $Q$  dari sebuah pulsa tunggal yang menghasilkan simpangan tersebut. Sensitivitas Balistik dinyatakan dengan formula berikut :

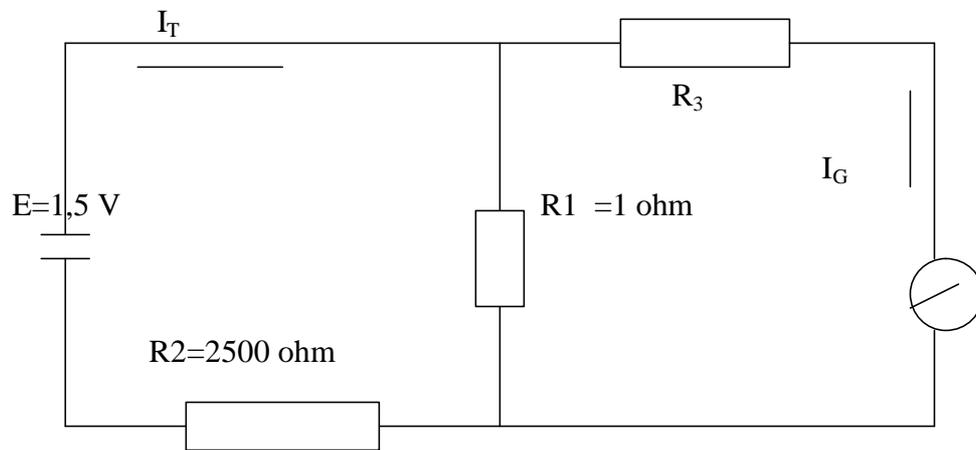
$$S_Q = \frac{d \text{ mm}}{Q \text{ } \mu\text{C}}$$

$S_Q$  = Sensitivitas Balistik dalam mm/  $\mu\text{C}$

$d$  = Simpangan Galvanometer dalam mm

$Q$  = Besarnya muatan Listrik dalam  $\mu\text{C}$

Berikut akan dibahas contoh prosedur pengetahuan sebuah Galvanometer.



Gambar 3.7 Rangkaian Pengujian Galvanometer

### H. Rangkuman Unit Kegiatan Belajar 3

Kedinamisan dari suatu alat ukur adalah suatu karakteristik yang merujuk pada faktor-faktor berikut :

b. Respon atau tanggapannya.

Faktor ini berbicara tentang cepat atau lambatnya reaksi simpangan jarum terhadap perubahan besaran parameter yang sedang diukurnya. Idealnya suatu alat ukur memiliki kecepatan respon yang tinggi.

b. Overshoot.

Faktor ini berbicara tentang besar kecilnya simpangan jarum dari kedudukan yang seharusnya ditunjukkan pada saat digunakan mengukur suatu parameter ukur. Overshoot dari sebuah alat ukur idealnya tidak terlalu besar.

c. Redaman.

Faktor ini menunjuk pada besar kecilnya redaman yaitu terjadi pada alat ukur sebagai akibat adanya frekuensi yang terjadi pada komponen yang berputar terhadap sumbunya. Sebuah alat ukur idealnya memiliki redaman yang rendah.

Dari fenomena yang telah kita observasi di atas maka dapat kita simpulkan bahwa kelakuan sebuah kumparan gerak (moving coil) di dalam medan magnet, ditentukan oleh 3 parameter :

d. Momen inersia kumparan gerak disekitar sumbu putarnya ( $J$ ).

e. Torsi yang berlawanan yang dihasilkan oleh pegas ( $S$ ), dan

f. Konstanta redaman ( $D$ ).

### I. Tugas Kegiatan Belajar 3

1. Sebuah Galvanometer dialiri arus listrik sebesar  $0.01\text{mA}$  dan menghasilkan simpangan jarum petunjuk sebesar  $200\text{ mm}$ . Hitung sensitivitas arus dari Galvanometer tersebut!
2. Simpangan jarum petunjuk sebuah Galvanometer adalah  $10\text{ cm}$ . Bila tegangan yang dicatukan pada Galvanometer tersebut adalah  $0.03\text{V}$ , maka hitung Sensitivitas tegangannya !

3. Sebuah Galvanometer ditest seperti pada soal no.1 hitung Sensitivitas Mega ohm-nya !
4. Simpangan jarum petunjuk Galvanometer adalah 25cm. Bila muatan listrik yang masuk pada Galvanometer adalah 0.5 mC, maka hitung Sensitivitas Balistik Galvanometer tersebut!

### J. Tes Formatif 3

1. Sebuah Galvanometer di tes dalam rangkaian seperti tampak pada gambar 3.7. Besarnya tegangan  $E = 1,5 \text{ V}$  .  $R_1 = 1 \text{ } \Omega$  .  $R_2 = 2500 \text{ } \Omega$  dan  $R_3 = \text{variabel}$  . Saat  $R_3$  diset pada harga  $450 \text{ } \Omega$  simpangan Galvanometer = 150 mm dan saat  $R_3$  diset pada nilai  $950 \text{ } \Omega$  simpangannya menjadi 25 mm. Hitung : (a) Hambatan Galvanometer dan (b) Sensitivitas Arusnya.
3. Sebutkan bagian-bagian utama dari sebuah galvanometer ?
4. Jelaskan sensitivitas dari sebuah galvanometer

### K. Kunci Jawaban Formatif

1. a. Besarnya arus total  $I_T$  yang mengalir melalui Galvanometer adalah :

$$I_G = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} \times I_T$$

Pada saat  $R_3 = 450 \text{ } \Omega$  simpangannya = 150 mm. dan saat  $R_3 = 950 \text{ } \Omega$  simpangannya = 75mm. Arus Galvanometer pada kondisi kedua adalah setengah dari arus Galvanometer pada kondisi pertama. Oleh karena itu, kita dapat menuliskannya sbb :

$$I_G = (R_1 / (R_1 + R_2 + R_3)) \times I_T$$

Bila kedua persamaan di atas diselesaikan, maka diperoleh harga  $R_G$  sebesar  $49 \text{ } \Omega$  .

- b. Gambar 3.7 menunjukkan bahwa hambatan total rangkaian  $R_T$  adalah:

$R_T = (R_2 + (R_1 (R_3 + R_G)/(R_1+R_3+R_G))) = 2500 \text{ ohm}$  sehingga dengan menggunakan prinsip pembagi arus nilai sensitivitas akan didapat sebesar 125mm/mikro ampere

2. Suspension, mirror, moving coil, magnet
3. Kepekaan dari sebuah alat ukur galvanometer meliputi : sensitivitas arus, tegangan mega ohm dan balistik yang menentukan kualitas pengukuran yang dilakukan

#### L. Lembar Kerja 4

Untuk melakukan pengayaan substansi materi yang telah disajikan, maka peserta diklat wajib melakukan tugas terstruktur yakni melakukan praktek di lab. dan survey lapangan terhadap industri terkait. Untuk itu peserta didik setelah tuntas dengan modul diharapkan langsung cek in industridan mengisi form berikut :

No	Uraian Kegiatan	Kompetensi/Subkompetensi yg akan dicapai	Tempat	Pembimbing Lapangan

## 4. Kegiatan Belajar 4

# ALAT UKUR SISTEM TENAGA LISTRIK

### A. Pengukuran Dasar Tenaga Listrik

Alat ukur daya fasa tunggal biasanya di buat untuk arus sampai 200 A dan tegangan sampai dengan 650 V apabila digunakan tanpa trafo ukur. Untuk arus dan tegangan yang lebih besar maka dipakai trafo ukur. Cara memasang suatu meter watt dilakukan sbb:

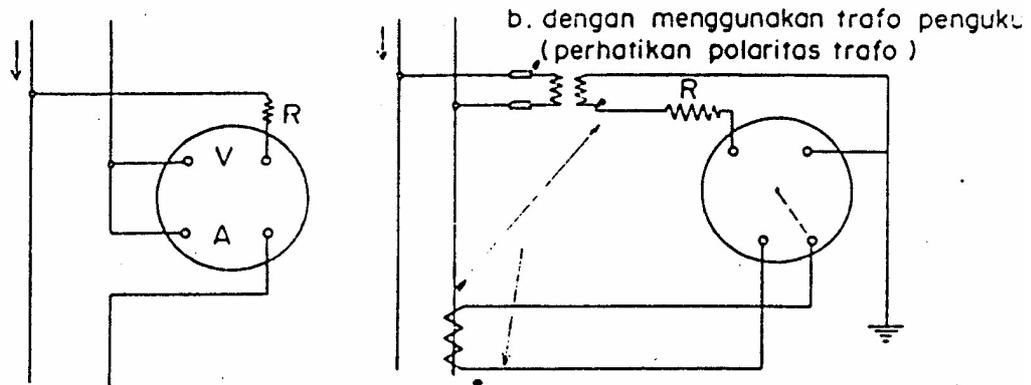
1. Secara langsung untuk fasa tunggal :

Watt meter fasa banyak , dipakai untuk mengukur jala-jala fasa dua ,fasa tiga yang tidak seimbang bebannya,jadi tanpa tergantung pada beban. Kapasitasnya sampai dengan 60 A dan 650 V tanpa trafo ukur. Untuk nilai lebih dari itu dipakai trafo ukur dengan menggunakan trafo pengukur (perhatikan polaritas trafo)

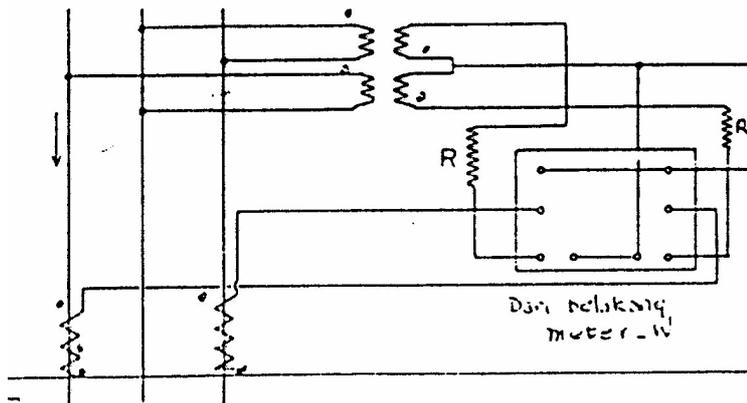
2. Hubungan untuk fasa tiga :

Perhatikan : suatu Watt meter sebenarnya terdiri dari sebuah volt meter dan sebuah ampere meter, dan cara memasangnya sebagai berikut :

Meter V dalam Shunt dengan jala - jala , sedangkan ampere meter dalam seri, sehingga untuk suatu meter Watt, perlu diperhatikan mana jepitan V dan mana jepitan A. Meter watt dipakai untuk mengukur daya elektrik =  $V \cdot I \cdot \cos \phi$  meter  
Watt- jam dipakai untuk mengukur energi elektrik = Watt x jam



Hubungan untuk fasa tiga :



Gambar 4.1 Contoh rangkaian pengukuran

## B. Pengukuran Besara Listrik

Meter  $\cos \phi$  gunanya untuk menyatakan faktor daya (pf) terdahulu atau terbelakang dari suatu jala-jala dengan yang seimbang. Untuk menghitung pf dipakai rumus atau meter  $\cos \phi$  :

i.  $\text{pf} = \cos \phi = \frac{P}{V \cdot I}$  untuk fasa tunggal,

$\text{pf} = \cos \phi = \frac{P}{3 \cdot V \cdot I}$  untuk fasa tiga,

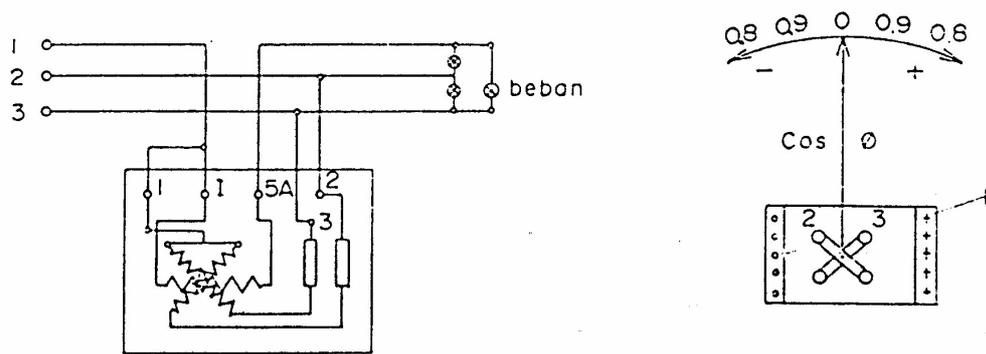
Jadi kalau  $P = \text{daya}$ ,  $V$  serta  $I$  diukur, maka pf dapat dihitung.

ii. Atau Faktor Daya ?  $\frac{\text{Watt}}{\text{V.A}} ? \frac{\text{Daya Nyata}}{\text{Daya Maya}}$  dimana

$$\text{daya maya VA} ? \sqrt{((\text{daya nyata})^2 + (\text{daya buta})^2)}$$

iii. Dengan meter cos  $\phi$ , berdasarkan mekanisme elektrodinamik. Hubungan meter faktor daya digambarkan sbb :

fasa 3 kawat:



Gambar 4.2 Rangkaian watt meter

### C. Pengukuran Tegangan dan Arus

#### 1. Mengukur Tegangan dan Arus

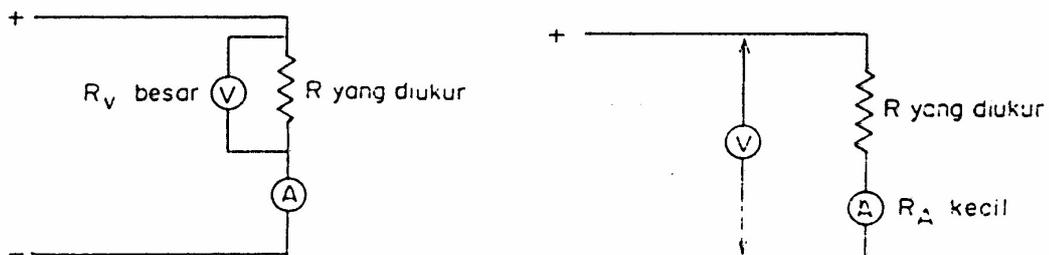
Seperti telah diterangkan meter V dipasang Shunt dengan jepitan yang diukur, sedangkan meter A dipasang seri dengan beban atau jala – jala yang hendak diukur. Ada dua kemungkinan hubungan, seperti dilukiskan pada gambar dibawah ini :

##### (1) Cara Pertama

Bila resistans tegangan tinggi nilainya, maka arus yang dilalui V meter dapat diabaikan

##### (2) Cara Kedua

Bila resistans arus kecil sekali dibandingkan dengan resistans yang akan diukur



Gambar 4.3 Rangkaian pengukuran arus dan tegangan

2. Memperbesar Batas Arus

? Ada kalanya kita mempunyai sebuah meter volt yang terbatas skalanya. Untuk memperbesar batas ukur, maka dilakukan cara berikut :

- a. tanpa resistans bantu, arus melalui meter V :  $I = V / R_M$
- b. dengan resistans bantu R, arus melalui meter :  $I = V / (R + R_M)$
- c. untuk melipatkalikan batas ukur menjadi n kali, nilai resistans dapat dihitung, yaitu :  $R = (n - 1) R_M$

Perhatikan, bahwa R dalam seri dengan meter – V.

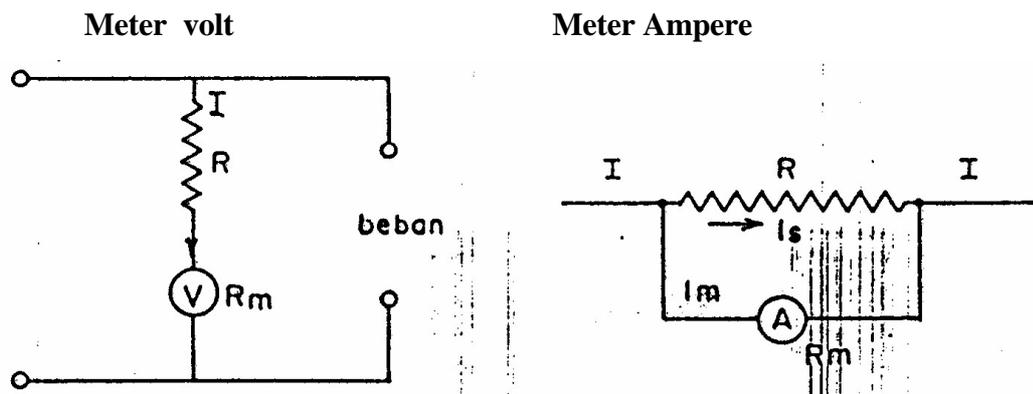
? Untuk memperbesar batas ukur meter –A, maka dipasang resistans dalam shunt dengan meter –A itu yang mempunyai resistans dalam  $R_M$

- a. tanpa resistans bantu dalam shunt, arus melalui meter – A :  $I = I_M$
- b. dengan resistans bantu dalam shunt R, maka arus melalui meter A sama dengan  $I_M = I - I_s$

$$? I \frac{R}{R_m} ? R$$

- c. untuk melipatkalikan batas ukur menjadi n kali, nilai resistans dapat dihitung, yaitu :  $R = R_M / (n-1)$

? Hubungan R bantu untuk memperbesar batas ukur skala pada :



Gambar 4.4 Rangkaian memperbesar batas ukur

(1) Untuk mengukur R secara teliti, dipergunakan cara resistans :

- a. Jembatan 4 lengan
- b. Jembatan kawat geser
- c. Jembatan ganda (Kelvin)

a. Resistans Jembatan 4 lengan :

$$\frac{r_a}{r_b} = \frac{r_x}{r} = \frac{r_a}{r_b} = r$$

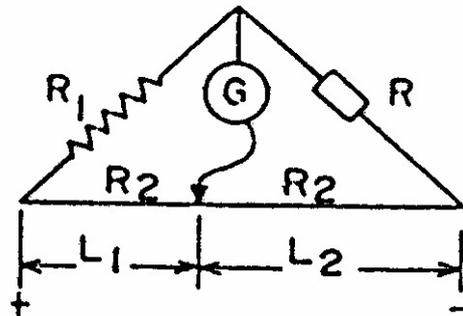
b. Resistans Jembatan kawat geser :

$$R_1 = \frac{R_1 R_3}{R_2} = R = \frac{I_2}{I_1}$$

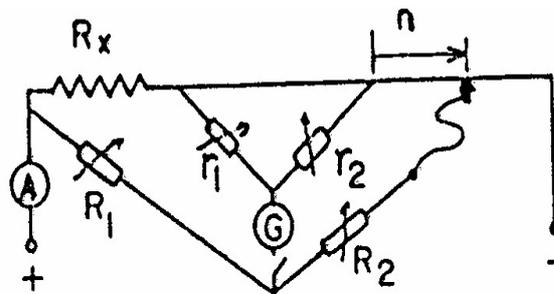
Pertanyaan : Dimana cara ini dipergunakan ?

c. Resistans Jembatan Ganda (Kelvin)

$$r_x = r_N = \frac{n}{m}$$



Gambar 4.5 Resistans jembatan ganda



Gambar 4.6 Resistan jembatan Thomson

(2) Cara Pengukuran Resistans Jembatan Thompson

Pertanyaan : Dimana cara ini dipergunakan ?

(3) Cara Pengukuran Resistans dengan Carav Megger

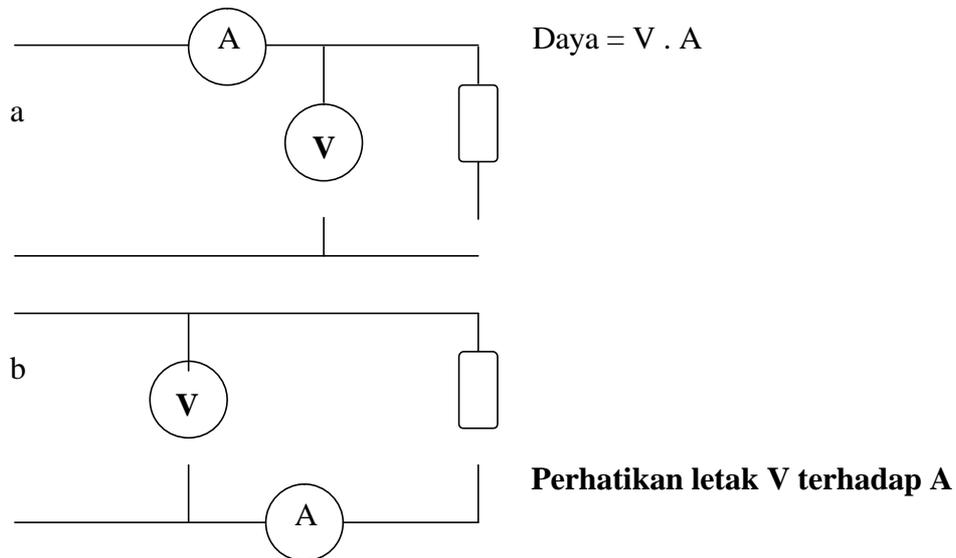
Diuraikan lebih lanjut dalam kuliah pengukuran.

Demikian pula terdapat cara mengukur resistans dari zat larutan, resistans dalam batere, resistans rendah dan tinggi, resistans bumi dan lain-lainnya.

3. Mengukur Daya

Macam-macam cara untuk mengukur daya elektrik :

(1) dengan meter A dan V

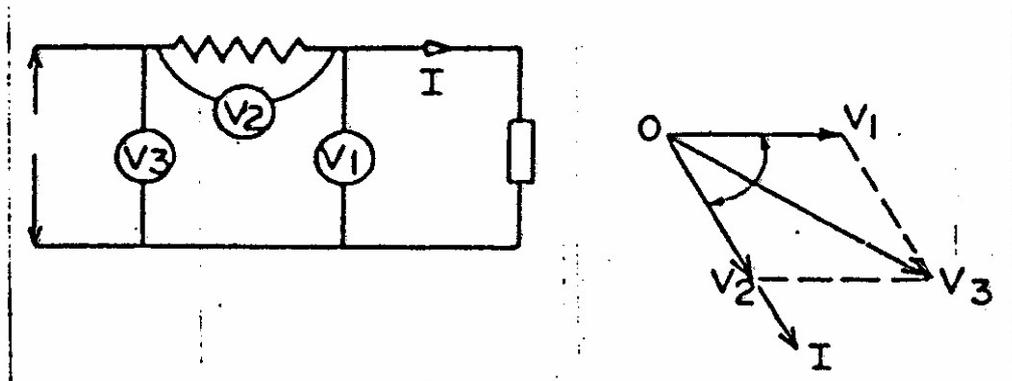


Gambar 4.7 Rangkaian pengukuran daya tunggal

(2) dengan meter V, untuk arus bolak balik :

$$V_3^2 = V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos \theta$$

$$\text{Daya} = V_1 I \cos \theta = \frac{1}{2R} (V_3^2 - V_1^2 - V_2^2)$$

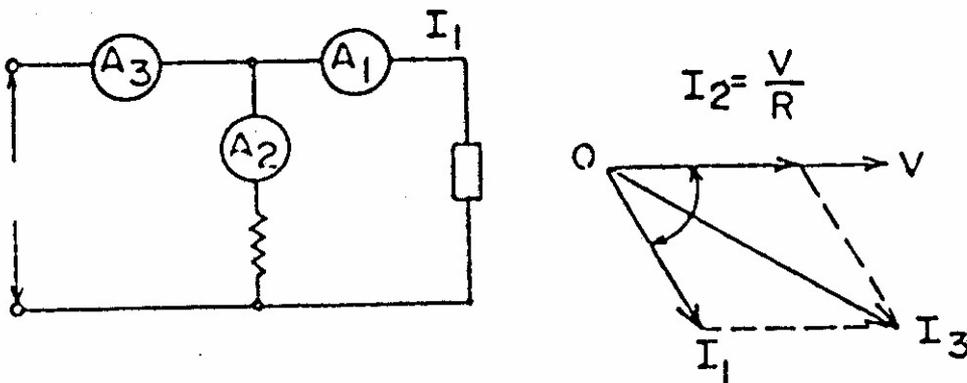


Gambar 4.8 Rangkaian pengukuran daya ganda

(3) Untuk Arus Bolak Balik :

$$I_3^2 + I_1^2 + I_2^2 = 2I_1 I_2 \cos \theta$$

$$\text{Daya} = V I_1 \cos \theta = \frac{R}{2} (I_3^2 + I_1^2 + I_2^2)$$



Gambar 4.9 Rangkaian untuk arus bolak balik

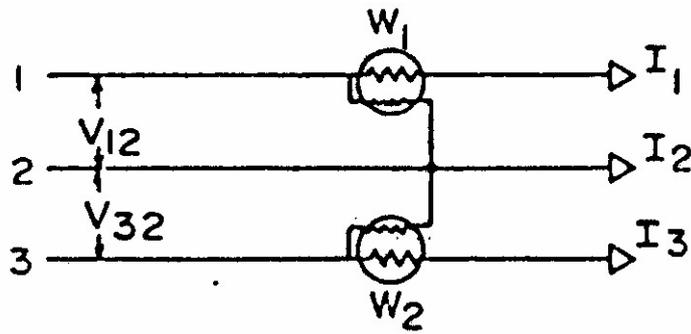
(4) dengan 2 meter W, Untuk arus bolak balik :

$$W_1 = V_{12} I \cos(30^\circ - \theta)$$

$$W_2 = V_{32} I \cos(30^\circ + \theta)$$

$$W_1 + W_2 = VI (\cos(30^\circ - \theta) + \cos(30^\circ + \theta))$$

$$= \sqrt{3} VI \cos \theta$$



Gambar 4.10 Rangkaian dengan 2 watt meter

#### D. Pengantar Pengukuran Listrik Tegangan Tinggi

Pengukuran tegangan tinggi arus searah, arus bolak balik, dan impulse yang dipakai di dalam laboratorium tegangan tinggi berbeda dengan yang dipakai di industri atau pembangkitan tenaga listrik. Di dalam industri maupun laboratorium, pengukuran arus, tegangan dan lainnya adalah sangat penting, karena itu diperlukan alat pengukuran yang tepat dan kadang-kadang presisi. Manusia yang menangani alat-alat ini harus dilindungi dari kejutan aliran listrik atau dari induksi yang berasal dari stray-coupling. Oleh karena itu cara meletakkan alat pengukur juga harus diperhatikan. Alat pengukur sistem tegangan tinggi harus selalu dikalibrasi. Gangguan elektromagnet sangat besar akibatnya terutama pada pengukuran tegangan impulse dan arus impulse, sehingga pengaruhnya harus dihindari atau dikurangi pengaruhnya. Oleh karena itu, meskipun dasar pengukurannya sama tetapi untuk pengukuran tegangan tinggi dan arus tinggi di dalam laboratorium mempunyai prinsip yang berbeda dengan alat pengukuran sistem tegangan rendah. Di bawah ini ditunjukkan macam-macam alat ukur yang biasa dipakai untuk pengukuran di dalam laboratorium tegangan tinggi. Dari daftar di atas ternyata sela dua bola adalah alat yang dapat dipakai sebagai alat pengukur tegangan untuk segala jenis tegangan. Dan sebagai alat penurunan tegangan dipakai pembagi tegangan dengan bermacam-macam elemen di dalamnya.

##### 1. Pengukuran Tegangan Puncak Menggunakan Sela Percikan

Sela dua buah bola, bila diberi tegangan akan menghasilkan medan listrik yang merata pada ruang antara kedua bola tersebut. Ia selalu mempunyai tegangan percikan yang nilainya sama, sesuai dengan yang telah ditetapkan, pada keadaan udara yang tetap. Oleh karena itu sela bola ini dapat dipakai untuk mengukur

tegangan puncak dari suatu tegangan sesuai dengan jarak sela udara yang diketahui. Tegangan percikan sebesar 30 KV (harga puncak) untuk setiap cm jarak sela udara terjadi bila suhu udaranya 20 % C dan tekanan barometer udara sebesar 760 mm Hg (TORR) terjadi bila bentuk medannya adalah medan yang rata (homogen). Tetapi dalam praktek hal ini hanya terjadi pada keadaan tertentu, yaitu medan yang terdapat diantara dua elektroda dua batang atau bentuk lainnya sehingga bentuk medannya tidak rata. Nilai tegangan tembus (breakdown) pada sela percikan, terutama tegangan tembus dari sela bola (dua elektroda berbentuk bola) biasanya tidak tergantung pada bentuk gelombang tegangan yang digunakan, tetapi sesuai dengan pengukuran tegangan dengan bermacam-macam bentuk gelombang seperti : tegangan searah, bolak-balik, dan impulse. Ini juga dapat dipakai untuk mengukur tegangan bolak-balik berfrekuensi tinggi, sampai ? 1 Mhz.

## 2. Bentuk Susunan Pada Pengukuran

Sela bola dapat disusun secara vertikal atau horizontal. Pada susunan vertikal, bola yang terletak di bawah disambung dengan tanah (bumi). Sedangkan pada susunan yang datar, salah satu bolanya disambung ke tanah, biasanya bola yang tidak bertegangan. Bentuk dan besar ke dua bola harus sama. Tegangan yang akan diukur disambungkan pada salah satu bola yang bertegangan dengan melalui suatu tahanan. Tahanan ini adalah untuk membatasi arus yang mengalir bila terjadi hubungan singkat antara ke dua bola tersebut. Jarak antara ke dua bola tersebut (s) sebanding dengan harga tegangan yang diukur. Disamping untuk mengurangi besarnya arus, tahanan tersebut juga dapat dipakai untuk menekan terjadinya percikan pada sela bola. Nilai tahanan ini bernilai sekitar 100 sampai 1000 K Ohm untuk tegangan searah dan tegangan bolak balik, sedangkan untuk tegangan impulse nilainya tidak lebih dari 500 Ohm. Tahanan ini harus memiliki induktansi yang rendah (tidak lebih dari 30 mH).

## 3. Pengukuran Tegangan Searah dan Bolak Balik

Mula-mula diterapkan tegangan yang rendah kemudian tegangan dinaikkan perlahan-lahan sehingga terjadi percikan pada sela udara antara dua elektroda berbentuk bola. Dengan kata lain, tegangan nilainya ditentukan oleh jarak ke dua

buah elektroda bola tersebut. Bilamana pada permukaan bola terdapat debu atau serat (fiber), maka spark over akan terjadi pada nilai tegangan yang lebih rendah, terutama bila jenis tegangan adalah tegangannya searah (fiber bridge). Oleh karena itu pengujian harus dilakukan beberapa kali untuk mendapatkan nilai rata-rata yang baik. Nilai sebenarnya dapat diambil dari nilai rata-rata untuk tiga pengukuran yang hanya berbeda 3 %.

#### 4. Pengukuran Tegangan Impulse

Dalam pengujian tegangan handalan (withstand voltage), untuk mendapatkan tegangan percikan pada 50 % tegangan handalan dari elektroda bola, jarak sela bola (s) dari elektroda atau tegangan pemuatan dari generator impulse harus diubah secara bertahap (biasanya dinaikkan sedikit-demi sedikit), sehingga nilainya mencapai 2 % di bawah tegangan spark over sela bola. Untuk mendapatkan nilai 50 % dari tegangan andalan dapat diperoleh dari beberapa cara pengujian. Salah satu cara ialah dengan melakukan dua set percobaan. Set pertama terdiri dari 10 kali pengujian dan diharapkan terjadi dua spark-over pada set tersebut. Set yang kedua juga dilakukan dengan 10 kali pengujian dan diharapkan menghasilkan 7 atau 8 kali spark over. Beda kedua tegangan itu ditentukan ? 2 %. Kemudian untuk menentukan nilai tegangan dengan 50 % percikan, diambil nilai rata-rata dari kedua hasil tersebut. Pada sela bola yang berdiameter di bawah 12,5 cm, untuk mendapatkan yang tepat dianjurkan menggunakan radiasi. Cara ini sangat perlu untuk pengukuran tegangan impulse dan tegangan bentuk lain, seperti tegangan searah, bolak balik, bila menggunakan elektroda bola untuk tujuan pengukuran tegangan.

#### 5. Bentuk Kondisi Bola Elektroda

Bola tersebut secara teliti dan hati-hati dibuat (dibentuk) sehingga permukaannya licin dan lengkungannya sangat rata, diameternya tidak akan dengan 2 % dari nilai nominalnya. Permukaan bola harus bebas dari debu, minyak atau bahan lain yang menutupinya. Permukaan bola harus dijaga agar tetap licin, bila terjadi lubang-lubang karena terjadinya percikan api, haruslah dilicinkan kembali dengan cara dipolis. Kawat tegangan tinggi yang dipakai sebagai penghubung harus dipasang

sehingga tidak akan mempengaruhi medan listrik yang ada. Tahanan peredam dipasang seri dengan kawat ini dengan jarak minimum  $2 D$  dari bola diukur dari titik dimana terjadi percikan. Dimana  $D$  adalah diameter dari elektroda bola. Mulai dari tahanan seri tergantung dari jenis tegangan yang dipakai. Sebagai contoh, bila tegangan penguji adalah tegangan searah atau tegangan bolak balik, maka harga tegangan yang dipakai antara  $100 K \text{ Ohm}$  sampai dengan  $1000 K \text{ Ohm}$ . Akan tetapi bila tegangan penguji adalah tegangan impulse, maka besar tahanan adalah  $500 \text{ Ohm}$ . Bila digunakan lampu untuk menyinari elektroda maka jarak lampu sampai ke elektroda bola tidak lebih kecil dari harga  $B$  pada tabel di bawah ini.

#### 6. Ketepatan Nilai Tabel Percikan di Udara

Untuk mengukur tegangan bolak-balik, searah dan impulse petir, sampai jarak sela udara maksimum sebesar  $0,5 D$  maka angka di dalam tabel masih dianggap tepat dengan kesalahan sebesar  $3 \%$ . Untuk sela udara yang lebih dari itu sampai  $0,7 D$  angka yang dituliskan ketepatannya dapat diragukan karena itu ditulis di dalam kurung. Untuk pengukuran tegangan searah bila digunakan sela bola biasanya mengundang banyak kesalahan. Ketepatan pengukuran mencapai  $5 \%$  bilamana jarak sela udara tidak lebih dari  $0,4 D$ . Hal ini disebabkan karena pada permukaan bola biasanya terdapat debu atau adanya serta fiber di udara. Tegangan flash over dapat terjadi walaupun nilainya lebih rendah dari biasanya. Pada pengukuran dengan sela bola, makin tinggi nilai perbandingan dari sampai dengan medan listrik yang terbantu diantara kedua elektroda tersebut akan mendekati bentuk medan yang tidak rata (homogen), dan dalam waktu yang bersamaan pengaruh dari keadaan di sekitar celah seolah-olah terjadi scattering (merupakan titik yang tersebar). Sedangkan besar diameter elektroda bola yang dipakai untuk mengukur amplitudo tegangan kegagalan dapat diperkirakan mempunyai hubungan seperti berikut. Di sini ditekankan bahwa nilai tegangan yang dihasilkan pada daftar ini dalam dipenuhi bilamana jarak minimum antara celah bola dengan benda lain disekitarnya harus dipenuhi.

7. Pengaruh dari Udara Disekitarnya

Bila ternyata besarnya tahanan udara lebih besar atau lebih kecil dari nilai yang tertera dalam daftar standar ini maka harus diadakan koreksi. Bilamana kolom barometer = H mm Hg dan suhu udara setempat =  $t$  °C, maka tekanan atmosfer memiliki formulasi tersendiri. Tegangan percikan (Flash-Over) yang tertulis pada tabel menyebutkan bahwa angka ini berlaku pada kondisi tertentu, yaitu pada suhu = 20 °C dan p = 760 mm Hg atau = 1013 mmbar. Bila dalam suatu pengujian keadaan udara sekelilingnya berbeda kondisinya, maka nilai-nilai tersebut harus dikoreksi. Apabila angka koreksi adalah (kl) maka tegangan yang sebenarnya adalah :

$$V_s = kl \cdot V_t$$

dimana :

$V_s$  = tegangan yang sebenarnya

$V_t$  = tegangan dari tabel

k = faktor koreksi

Faktor koreksi ini ada hubungannya dengan faktor kerapatan udara (d). Sedangkan faktor (d) berasal dari :

$$d = \frac{b}{1013} \cdot \frac{273 + 20}{273 + t} = 0,289 \frac{b}{273 + t}$$

dimana :

b = tekanan udara (dalam mbar)

t = suhu udara tempat °C

273 = derajat dari Kelvin

Menurut ketentuan standar I.E.C terhadap faktor koreksi bilamana kelembaban berubah dan faktor ini dinyatakan dengan :

$$k_n = (k)^w$$

dimana :  $k_n$  = nilai faktor koreksi karena kelembaban berubah.

k = suatu konstanta yang menunjukkan hubungan antara faktor koreksi dan kelembaban, dan ia tergantung dari jenis tegangan yang dipakai. Nilainya kira-kira sama seperti fungsi nisbah dari kelembaban mutlak terhadap kerapatan relatif udara. Nilai dari w pada umumnya adalah 1,0 yaitu hanya elektroda yang menghasilkan

medan listrik yang merata. Untuk medan listrik yang tidak merata seperti pada elektroda batang nilai  $w = 8,0$ , bila alat ini diuji dengan tegangan impulse. Jadi, pada umumnya  $w = 1,0$  dan untuk mudahnya faktor kelembaban jarang, sekali diperhitungkan. Nilai dari  $(k) = 1,0$  hanya bila kelembaban udara normal artinya udara mengandung uap air sebesar 11 gram per meter kubik.

Pengukuran dari sela dua buah bola sangat tergantung pada beberapa hal, oleh karena itu tegangan percikan juga dipengaruhi oleh hal-hal seperti berikut:

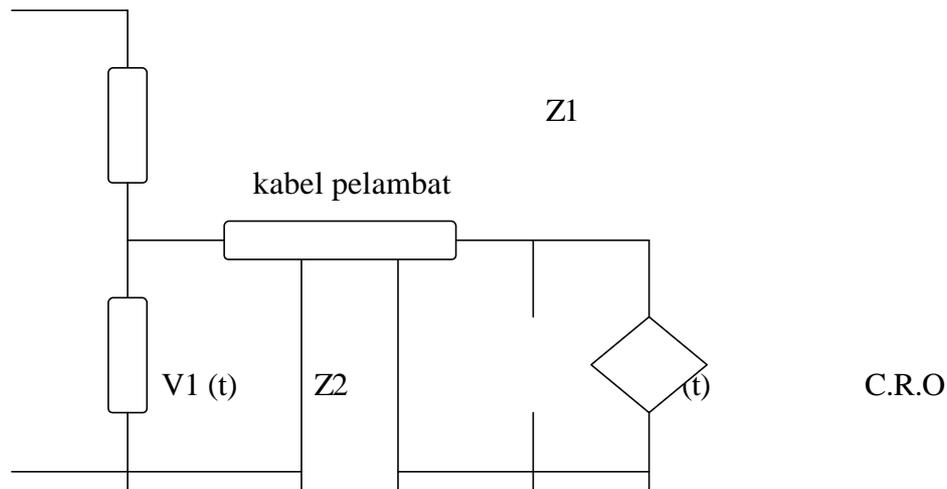
- a. Tergantung pada keadaan udara di sekitarnya (tekanan, suhu, kerapatan) dan kelembaban.
- b. Jarak bola dengan bangunan/ benda lain yang berhubungan dengan tanah.
- c. Penyinaran (radiasi) dari sinar ultra-violet dan kosmis
- d. Polaritas tegangan (untuk tegangan A, S dan Impulse) dan waktu yang diperlukan (waktu yang diperlukan/ waktu kenaikan gelombang tegangan).

#### 8. Pemakaian Pembagi Tegangan Sebagai Sarana Pengukuran Tegangan Tinggi.

Untuk mengukur tegangan bolak-balik, tegangan searah, dan tegangan impulse yang tinggi diperlukan pembagi tegangan. Alat ini dipakai untuk menurunkan tegangan yang tinggi menjadi tegangan yang rendah, sehingga dapat disambungkan ke dalam meter atau CRO. Nilai tegangan ini cukup besar sehingga tidak akan membahayakan alat ukur itu sendiri atau si pemakai. Berdasarkan elemen-elemen yang dipakai, pembagi tegangan ini dapat dibedakan seperti berikut :

- a. Pembagi tegangan resistif, berisi elemen tahanan yang tidak induktif
- b. Pembagi tegangan kapasitif, berisi elemen kapasitor
- c. Pembagi tegangan campuran, antara tahanan dan kapasitor

Pembagi tegangan untuk pengukuran tegangan impulse, tegangan berfrekuensi tinggi atau tegangan yang berubah dengan cepat biasanya dipakai pembagi tegangan yang resistif, kapasitif atau campurannya. Bagian tegangan rendah, biasanya disambung dengan osiloskop atau alat pengukur tegangan puncak dengan melalui kabel Coaxial yang dinamakan kabel penghambat gelombang (delay cable) seperti terlihat di bawah ini.



Gambar 4.11 Pembagian Tegangan dengan kabel Pelambat.

Bergantung pada jenis pembagi tegangan maka  $Z_1$  dan  $Z_2$  dapat berupa tahanan, kapasitor atau campuran R-C, karena setiap elemen ini, bila diterapkan pada tegangan tinggi selalu terdapat pengaruh tahanan dan kapasitansi. Selain itu tahanan yang dipakai harus mempunyai induktansi yang kecil. Pada kapasitor selalu terdapat kebocoran ke tanah, pada terminalnya dan juga kapasitansi antara terminalnya. Oleh karena itu bila tegangan yang perubahannya sangat cepat diterapkan pada terminal suatu pembagi tegangan maka bentuk gelombang yang terdapat pada  $Z_2$  bentuknya akan sedikit berubah. Kabel penghambat dapat menghasilkan perubahan bentuk gelombang. Oleh karena itu elemen-elemen tersebut dapat menjadi sumber distorsi atau kesalahan dari pengukuran.

Sumber kesalahan pengukuran adalah sebagai berikut :

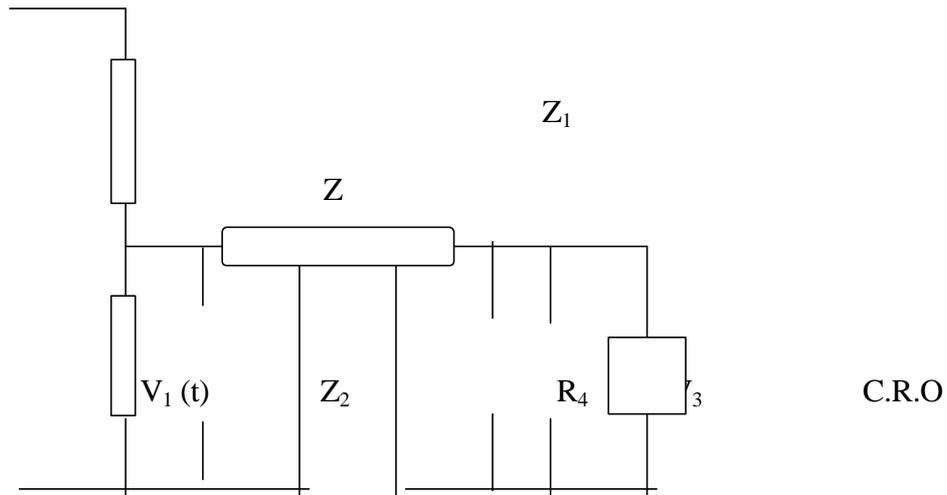
- 1). Adanya induktansi yang tinggal pada setiap elemen;
- 2). Kapasitas kebocoran;
  - a. Antara elemen;
  - b. Dari bagian elemen dengan tanah
  - c. Dari saluran tegangan tinggi dengan elemen
- 3). Kesalahan impedansi karena :
  - a. Kawat sambungan antara pembagi dengan T.O
  - b. Kawat sambungan yang mengalirkan arus yang kembali melalui tanah

9. Pembagi Tegangan Berisi Tahanan

Diketahui :

$V$  = tegangan yang diterapkan pada pembagi tegangan

$V_2$  = tegangan yang masuk ke C.R.O atau meter tegangan maka :



Gambar 4.12 Pembagi tegangan dengan tahanan R

$$V_2 = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} V$$

Bila  $Z_1$  dan  $Z_2$  adalah tahanan murni maka :  $Z_1 = R_1$  dan  $Z_2 = R_2$  jadi

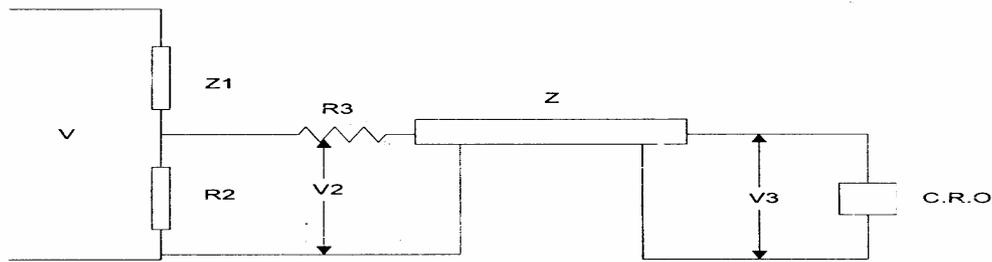
$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V$$

Bilamana  $Z_1$  dan  $Z_2$  adalah kapasitor murni maka :

$$V_2 = \frac{C_1}{C_1 + C_2} V$$

10. Pembagi tegangan yang Berisikan Tahanan Murni

Tahanan seri (untuk proteksi)  $Z = \text{delay cable}$  dengan nilai sebesar impedansi surja.



Gambar 4.13 : Pembagi Tegangan dengan Tahanan Murni

Perbandingan dari Pembagi Tegangan  $m = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$

Bilamana pengukuran menghasilkan nilai yang tepat maka nilai Z harus seimbang (matching) dengan tahanan yang terletak di depannya sehingga :

$$Z = R_3 \frac{R_2 R_1}{R_1 + R_2} V$$

Biasanya nilai  $R_1 > R_2$  maka secara pendekatan :

$$Z = R_3 \frac{R_2}{1 + R_2/R_1}, \quad Z \approx R_3 \frac{R_2}{2}$$

Bila impedansi pada bagian pengukuran (alat ukur dan kabel) adalah Z, maka :

$$Z_1 = \frac{R_2 (Z + R_3)}{Z + R_3 + R_2}$$

karena:  $Z = R_3 \frac{R_2}{2}$  maka  $Z_1 = \frac{R_2 (Z + R_3)}{Z + R_3 + R_2} = \frac{R_2 (Z + R_3)}{2Z}$  Bila

$$Z_1 = R_1 \frac{R_2}{R_1} \quad \text{maka} \quad V_3 = \frac{R_2}{R_1} V$$

### 11. Pengukuran/ Alat Ukur tegangan Tinggi

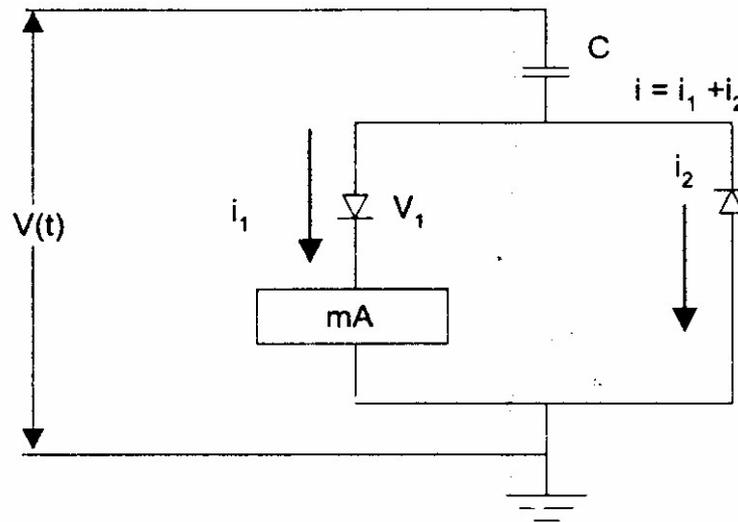
Cara pengukurannya adalah dengan menggunakan :

- Sela dua buah elektroda berbentuk bola
- Dengan menggunakan Peak Voltmeter untuk mengukur tegangan puncak
- Menggunakan Elektrostatis Voltmeter untuk mengukur tegangan  $V_{rms}$
- Mengukur arus impulse/ transient dengan alat khusus.

## 12. Pengukuran Tegangan Puncak

### a. Tegangan Arus Bolak-balik

Dapat diukur dengan meter tegangan puncak, cara yang dianjurkan oleh Fortesque adalah seperti berikut : digunakan seri kapasitor dan dua dioda, dimana untuk mengukur tegangan digunakan meter miliampere.



Gambar 4.14 : Meter Tegangan Puncak

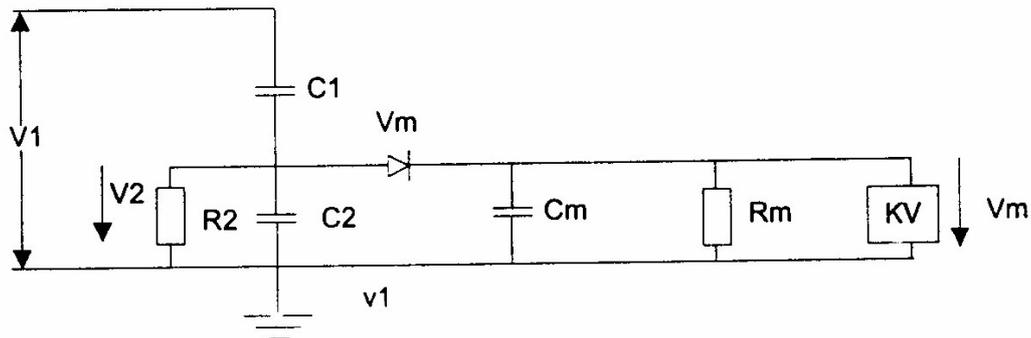
Arus pemuatan yang mengalir bila tegangan  $V(t)$  diterapkan, mengalir melewati kapasitor  $C$  (kapasitor tegangan tinggi). Kemudian dibagi dua melewati penyearah yang “anti paralel”  $V_1$  dan  $V_2$  menuju ke tanah. Nilai rata-rata dari  $i_1$   $I_1$  diukur dengan meter milimeter. Arus ini sebanding dengan nilai puncak dari tegangan tinggi. Bila searah maka pada waktu pemuatan dari  $V_1$  arus  $i$  mengalir. Bilamana rangkaian adalah penyearah gelombang penuh, maka nilai dari tegangan puncak adalah :

$$V = I_1 \frac{1}{4fc}$$

Bentuk gelombang tegangan tidak perlu berbentuk sinus, hanya saja bentuk gelombang tinggi ini jangan sampai mempunyai dua buah puncak pada saat  $\frac{1}{2}$  cycle. Pengukur tegangan bolak balik yang simetris menggunakan cara ini dapat menghasilkan hasil yang tepat, Kadang-kadang dapat di pakai bentuk pengukuran yang presisi. Hanya saja pengukuran menggunakan alat ini harus disertai dengan pengukuran  $f$  = frekuensi dan perlu memperhatikan bentuk gelombang.

b. Pengukuran Tegangan Puncak dengan Pembagi Tegangan yang Kapasitif

Beberapa rangkaian penyearah telah dimajukan sehingga dapat dipakai untuk mengukur tegangan tinggi puncak dari tegangan bolak balik dengan menggunakan pembagi tegangan. Bila dibandingkan dengan rangkaian Chubb & Fortesque rangkaian ini banyak kebaikannya, dimana bacaannya tidak tergantung pada  $f$  dan nilai lebih dari satu puncak pada waktu  $\frac{1}{2}$  cycle dapat dilayani. Rangkaian pengukuran ini adalah seperti berikut ini :



Gambar 4.15 Pengukuran tegangan puncak kapasitif

Rangkaian  $\frac{1}{2}$  gelombang di atas ini adalah sederhana dan cukup teliti untuk semua kebutuhan. Di sini kapasitor pengukur  $C_m$  dimuati sampai nilai puncak  $V_2(t)$ . Tahanan  $R_m$  yang menampung pelepasan muatan dari  $C_m$  perlu untuk menyakinkan response bila ada penurunan tegangan dari yang diterapkan. Penentuan konstanta waktu dari proses pelepasan muatan ditentukan oleh keperluan (keinginan) dari susunan pengukuran ini dimana tahanan dalam dari alat pengukur yang dihubungkan harus pula diperhitungkan. Pada umumnya dipilih  $R_m C_m < 1 \text{ sec}$ . Disamping itu konstanta waktu ini harus lebih besar dari  $T = 1/f$  dari tegangan bolak balik yang akan diukur sehingga tegangan  $V_m$  pada  $C_m$  tidak turun dengan banyaknya pada waktu antara saat pemuatan kembali, nilai  $V_m(t)$  yang tergantung pada waktu dapat dilihat pada gambar, karena itu nilai dari  $R_m C_m \gg 1/f$ . Tahanan  $R_2$  yang paralel dengan  $C_2$  diperlukan untuk mencegah terjadinya pemuatan pada  $C_2$  oleh arus yang mengalir melalui  $V_m$ . Harga dari  $R_2$  dipilih sedemikian rupa. Sudut tegangan pada  $R_2$  yang menyebabkan pemuatan arus searah dari  $C_2$  sangatlah kecil nilainya untuk itu haruslah  $R_2 \ll R_m$ .

Di lain hal, perbandingan dari pembagi tegangan yang kapasitif ini sangat sedikit dipengaruhi oleh  $R_2$  jadi  $R_0 \gg 1/\omega C_2$ . Bilamana hal ini dapat dipenuhi maka hubungan

antara nilai puncak dari tegangan tinggi dengan tegangan yang ditunjukkan pada  $V_m$  adalah :

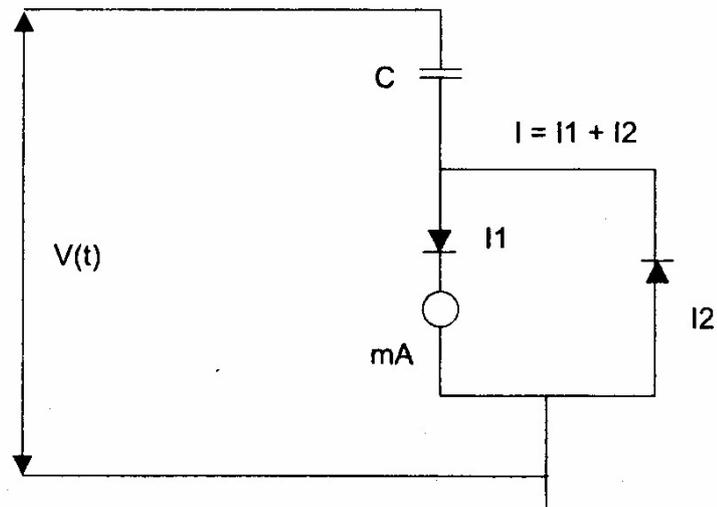
$$V = \frac{C_1 + C_2}{C_1} V_m$$

### 13. Pengukuran Tegangan

Pengukuran tegangan dapat dilakukan dengan alat pengukur yang sudah diakui IEC. Alat itu adalah pengukur tegangan puncak dan tegangan R.M.S. Termasuk di dalamnya semua penyimpangan bilamana tegangan tidak berbentuk sinus murni. Cara lain pengukuran tegangan puncak adalah dengan menggunakan jarak antara celah bola dimana terjadi percikan dengan suatu rangkaian yang berubah (variable circuit) yang dikaitkan dengan tegangan. Hubungan ini mungkin terjadi dan juga tergantung pada adanya obyek uji dan celah bola dan juga tergantung adanya presipitasi pada waktu dilakukan pengujian basah untuk isolator. Bila rangkaian pengujian sudah terbentuk, maka rangkaian ini tidak boleh diubah selama pengujian, baik pada waktu kalibrasi maupun pada waktu pengujian yang sebenarnya. Hanya perbedaannya, untuk menghindari terjadinya percikan pada celah bola maka pada waktu itu jarak celah bola dibesarkan. Pengukuran tegangan bolak balik dapat dilakukan dengan :

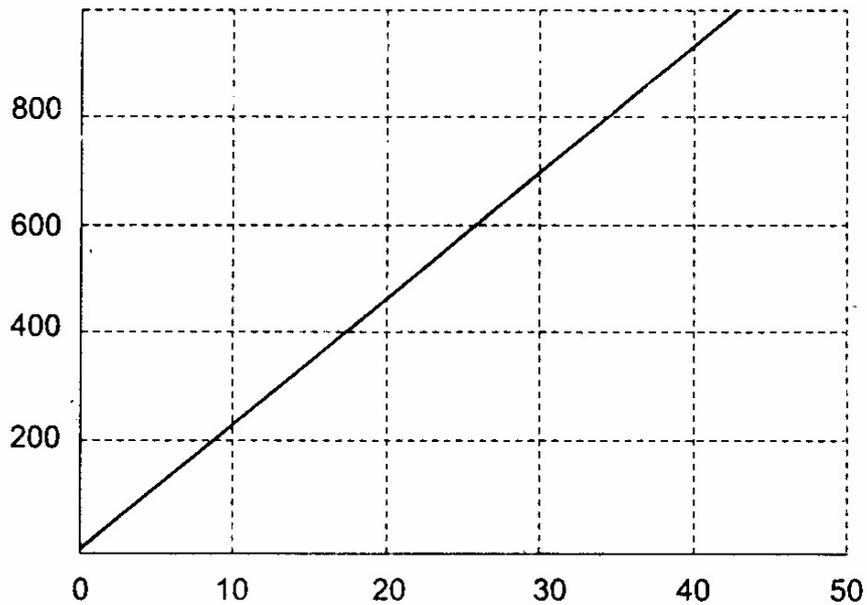
- a. Pengukuran tegangan tembus dengan mengukur celah dari dua elektroda berbentuk bola (tegangan puncak).
- b. Tegangan puncak juga dapat diukur dengan pengukuran menggunakan Volt meter puncak yang disambung pada bagian tegangan rendah dari pembagi tegangan.
- c. Pengukuran tegangan  $V$  (R.M.S) dengan menggunakan Volt meter elektrostatik.
- d. Pengukuran tegangan puncak dengan menggunakan rangkaian Chubb & Fortesque.

Cara pengukuran menurut C & F sebenarnya adalah pengukuran arus bolak balik yang diubah menjadi arus searah dengan rangkaian seperti berikut :



Gambar 4.16 : Pengukuran Arus Searah

Bila  $T = 1/f$ , maka  $V = I_1 \cdot 1/2 \cdot f \cdot C$ . Jadi arus yang mengalir pada mA meter sebanding dengan tegangan puncak dari sistem.



Gambar 4.17 : Grafik Pengukuran Tegangan Puncak

Tegangan tembus  $V_d$  dari celah bola sebagai fungsi dari jarak celah udara pada bermacam-macam diameter dari bola. Dari sini dapat dilihat bahwa bilamana hendak mengkalibrasi tegangan yang lebih tinggi haruslah menggunakan elektro bola dengan diameter yang lebih besar.

**c. Rangkuman 4**

Pengukuran system tenaga Listrik :

- a. Mengukur tegangan dan arus
- b. Memperbesar kapasitas arus
- c. Mengukur daya
- d. Mengukur frekwensi

Mekanisme pengukuran tegangan Tinggi dilakukan dengan mekanisme :

- a. Sela dua buah elektroda berbentuk bola
- b. Dengan menggunakan Peak Voltmeter untuk mengukur tegangan puncak
- c. Menggunakan Elektrostatic Voltmeter untuk mengukur tegangan  $V_{rms}$
- d. Mengukur arus impulse/ transient dengan alat khusus.

**d. Tugas Kegiatan Belajar 4**

1. Teliti cara kerja ampere meter, volt meter dan daya meter di lab.
2. Periksa secara teliti cara kerja alat ukur berdasarkan prinsip kerjanya !
3. Bandingkan alat ukur listrik yang analog dan digital
4. Lakukan pengukuran ampere meter, volt meter dan watt meter di lab.

**e. Tes Formatif 4**

1. Jelaskan cara pemasangan watt meter untuk melakukan pengukuran !
2. Sebutkan beberapa alat ukur yang terdapat di gardu induk ?
3. Gambarkan dan analisis sebuah watt meter ?
4. Sebutkan 4 teknik pengukuran arus bolak-balik tegangan tinggi ?

**f. Kunci Jawaban Formatif**

1. Pemasangan watt meter untuk melakukan pengukuran dapat dilakukan dengan cara : secara langsung untuk satu fasa dan pemasangan tidak langsung untuk fasa banyak
2. Alat yang ada di GI antara lain, ampere meter, volt meter, frekwensi meter, meter watt jam, sinkroskop, meter VA

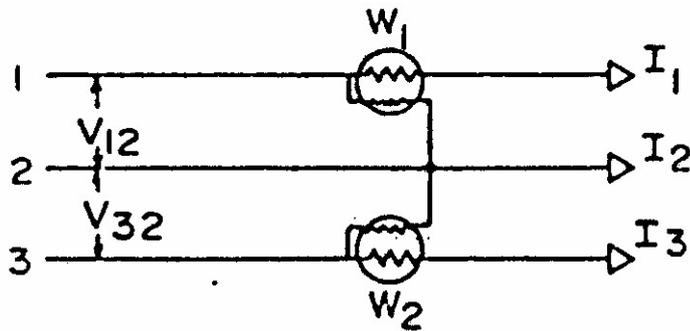
3. Pengukuran daya dapat dilakukan diantaranya dengan memasang 2 watt meter :  
Untuk arus bolak balik :

$$W_1 = V_{12} I \cos (30^\circ \text{ ? ?})$$

$$W_2 = V_{32} I \cos (30^\circ \text{ ? ?})$$

$$W_1 + W_2 = VI (\cos (30^\circ \text{ ? ?}) + \cos (30^\circ \text{ ? ?}))$$

$$= \sqrt{3} VI \cos ?$$



**g. Lembar Kerja 4**

Untuk melakukan pengayaan substansi materi yang telah disajikan, maka peserta diklat wajib melakukan tugas terstruktur yakni melakukan praktek di lab. dan survey lapangan terhadap industri terkait. Untuk itu peserta didik setelah tuntas dengan modul diharapkan langsung cek in industridan mengisi form berikut :

No	Uraian Kegiatan	Kompetensi/Subkompetensi yg akan dicapai	Tempat	Pembimbing Lapangan

### **III. EVALUASI**

Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan teliti dan hati-hati. kejujuran menjawab tanpa melihat berulang-ulang kembali bahan modul adalah kunci keberhasilan evaluasi internal ini.

contoh soal dibuat secara acak dari unit kegiatan belajar yang sudah disampaikan dalam modul. tiap-tiap soal mempunyai bobot berbeda sesuai dengan tingkat kesulitan masing masing. Selamat bekerja !!!

1. Dalam proses pengukuran ada tiga kunci yang menjamin keberhasilan pengukuran itu! Sebutkan factor-faktor yang dimaksud ! (Skor 10)
2. Jelaskan konsep teori dasar yang dipaki pada watt meter ? (Skor 20)
3. Sebutkan beberapa alat ukur yang terpasang secara 'on board' pada sebuah pembangkit tenaga listrik ! (Skor 20)
4. Apa yang dimaksud dengan sensitivitas arus, tegangan dan balistik ! (Skor 30)
5. Salah satu prosedur dalam pengukuran tegangan tinggi adalah dengan membuat pembagi tegangan dengan komponen pasif linear ? Jelaskan prosedur yang dimaksud ? (Skor 20)

## KUNCI JAWABAN

1.
  - a. Prosedur, mekanisme, metodologi, dan proses pengukuran yang dilakukan
  - b. Instrumen yang digunakan pengukuran
  - c. Manusia yang melakukan pengukuran
2. Watt meter memanfaatkan kumparan tetap yang menghasilkan medan magnet di udara dan satu atau lebih kumparan yang bergerak secara elektrodinamik bila dilalui arus. Disamping itu watt meter memanfaatkan kumparan arus dan tegangan untuk mengidentifikasi besaran listrik yang dikodifikasi menjadi daya.
3. Instrumen ukur yang ada :  
meter A, V, W, Cos phi, f, W-jam, counter, sinkroskop
4. Sensitivitas arus : perbandingan diantara simpangan jarum penunjuk terhadap arus listrik yang menghasilkan simpangan tersebut  
Sensitivitas tegangan : perbandingan antara simpangan jarum penunjuk alat terhadap tegangan yang menghasilkan simpangan tersebut  
Sensitivitas balistik : perbandingan antara simpangan maksimum dari jarum penunjuk alat terhadap jumlah muatan listrik Q dari sebuah pulsa tunggal yang menghasilkan simpangan tersebut
5. Berdasarkan elemen-elemen yang dipakai, pembagi tegangan dapat dibedakan seperti berikut :
  - a. Pembagi tegangan resistif, berisi elemen tahanan yang tidak induktif .
  - b. Pembagi tegangan kapasitif, berisi elemen kapasitor
  - c. Pembagi tegangan campuran, antara tahanan dan kap

## **IV. PENUTUP**

Modul **Pengukuran Listrik** ini diharapkan dapat memberikan ruang terbuka untuk mencapai serangkaian kompetensi yang disyaratkan industri. Disamping tentunya kompetensi ini juga memberikan dukungan kuat untuk mencapai kompetensi-kompetensi lainnya. Guna lebih meningkatkan kapasitas, kapabilitas serta akuntabilitas akademik yang lebih luas diharapkan peserta diklat setelah membaca modul ini dilanjutkan dengan uji kompetensi yang dilakukan oleh asosiasi terkait dalam bidang ketenagalistrikan.

## **DAFTAR PUSTAKA**

Darsono dan Wiyono, 1978, *Pengukuran Listrik I*, Departemen Pendidikan Dan Kebudayaan, Jakarta

Syamsir Abduh, 2001, *Teknik Tegangan Tinggi*, Salemba Teknika, Jakarta.

Rana Baskara, 1999, *Alat Alat Ukur Analog*, Diktat Kuliah, Bandung

Schwab,A.J., 1972, *High Voltage Measurement Technique*, Cambridge, London









