

# **PROTEKSI SISTEM TENAGA LISTRIK**



# **PROTEKSI SISTEM TENAGA LISTRIK**

Drs. F.J. Tasiam, M.Pd.

 **TEKNOSAIN**

**PROTEKSI SISTEM TENAGA LISTRIK**, oleh Drs. F.J. Tasiem, M.Pd.

Hak Cipta © 2017 pada penulis

 **TEKNOSAIN**

Ruko Jambusari 7A Yogyakarta 55283

Telp: 0274-889398; Fax: 0274-889057

E-mail: .....

Hak Cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun, secara elektronis maupun mekanis, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman lainnya, tanpa izin tertulis dari penerbit.

ISBN: - - - -

Cetakan Pertama, tahun 2017



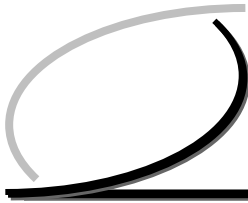
## KATA PENGANTAR

Penulis mengucapkan puji ssssyukur kepada Tuhan Yang Maha Besar sebagai Kontribusi bagi pengembangan pendidikan di Indonesia melalui kementerian pendidikan nasional dan kepustakaan di bidang teknik elektro/ kelistrikan pada Fakultas Teknik. . .  
Disusun Seperti halnya Negara-negara lainnya dan buku ajar ini secara khusus bagi Universitas Negeri Manado untuk menambah khasanah

Materi yang disajikan dalam buku ini terdiri dari delapan bab, dan dimaksudkan untuk memenuhi kebutuhan para mahasiswa pendidikan teknik elktro Universitas Negeri Manado dan juga bagi mereka yang menekuni masalah kelistrikan.

Dalam menyelesaikan penyusunan buku ini, penulis menerima bantuan dan dukungan dari banyak pihak yang telah memberikan sumbangan pikiran bagi penyempurnaan isinya, untuk itu penullis mengucapkan terima kasih setulus-tulusnya. Akhirnya terima kasih pula kepada





# DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xiii</b>
<b>BAB 1    PROTEKSI SISTEM TENAGA LISTRIK</b>	<b>1</b>
1.1    Pendahuluan	1
1.1.1    Deskripsi Singkat	2
1.1.2    Manfaat Relevansi	3
1.1.4    Saran Petunjuk Belajar	3
1.2    Penyajian	4
1.2.1    Sistem Tenaga Listrik	4
1.2.2    Proteksi Sistem Tenaga Listrik	12
1.2.3    Fungsi Proteksi	13
1.2.4    Persyaratan Kualitas Proteksi	15
1.3    Penutup	19
1.3.1    Latihan	19
1.3.2    Rangkuman	20
1.3.3    Tes Formatif	21
<b>BAB 2    PEMUTUS TENAGA</b>	<b>25</b>
2.1    Pendahuluan	25
2.1.1    Deskripsi singkat	26
2.1.2    Manfaat Relevansi	26

2.1.3	Tujuan Instruksional	26
2.1.4	Saran Petunjuk Belajar	26
2.2	Penyajian	27
2.2.1	Sakelar PMT Minyak	27
2.2.2	Sakelar PMT Udara Hembus ( <i>Air Blast Circuit Breaker</i> )	29
2.2.3	Sakelar PMT Vakum ( <i>Vacuum Circuit Breaker</i> )	30
2.2.4	Sakelar PMT Gas SF6 ( <i>SF6 Circuit Breaker</i> )	30
2.3	Penutup	37
2.3.1	Rangkuman	37
2.3.2	Tes Formatif	39
<b>BAB 3</b>	<b>PROTEKSI MOTOR</b>	<b>43</b>
3.1	Pendahuluan	43
3.1.1	Deskripsi Singkat	44
3.1.2	Manfaat Relevansi	46
3.1.3	Tujuan Instruksional	46
3.1.4	Saran Petunjuk Belajar	46
3.2	Penyajian	46
3.2.1	Pengertian Motor Listrik	46
3.2.2	Prinsip Konversi Energi Elektromekanis	50
3.2.3	Komponen-Komponen Motor Listrik	53
3.2.4	Poteksi Motor Listrik	56
3.2.5	Proteksi terhadap Gesekan	58
3.2.6	Proteksi terhadap Suhu	60
3.2.7	Proteksi terhadap Beban	63
3.2.8	Faktor-faktor yang Memengaruhi Terjadi Kerusakan Motor Listrik	70
3.3	Penutup	74
3.3.1	Rangkuman	74
3.3.2	Tes Formatif	78
<b>BAB 4</b>	<b>PROTEKSI TRANSFORMATOR</b>	<b>81</b>
4.1	Pendahuluan	81
4.1.1	Deskripsi Singkat	81
4.1.2	Manfaat Relevansi	82



4.1.3	Tujuan Instruksional	82
4.1.4	Saran Petunjuk Belajar	82
2.2	Penyajian	82
4.2.1	Meter	83
4.2.2	Sistem Alarm	85
4.2.3	Rekorder	85
4.3	Penutup	88
4.3.1	Rangkuman	88
4.3.2	Tes Formatif	89
<b>BAB 5</b>	<b>PROTEKSI GENERATOR</b>	<b>91</b>
5.1	Pendahuluan	91
5.1.1	Deskripsi Singkat	92
5.1.2	Manfaat Relevansi	92
5.1.3	Tujuan Instruksional	92
5.1.4	Saran Petunjuk Belajar	92
5.2	PENYAJIAN	92
5.2.1	Sistem Proteksi Generator	93
5.2.2	Peran Generator dalam Sistem dan Syarat Proteksi Generator	93
5.2.3	Gangguan Generator	93
5.2.4	Pengaman terhadap Gangguan dalam Generator	94
5.3	Penutup	99
5.3.1	Rangkuman	99
5.3.2	Tes Formatif	101
<b>BAB 6</b>	<b>PROTEKSI JARINGAN DISTRIBUSI</b>	<b>105</b>
6.1	Pendahuluan	105
5.1.1	Deskripsi Singkat	106
5.1.2	Manfaat Relevansi	107
5.1.3	Tujuan Instruksional	107
5.1.4	Saran Petunjuk Belajar	107

6.2	Penyajian	107
6.2.1	Jaringan Distribusi Pola Radial	108
6.2.2	Jaringan Distribusi Pola Loop	109
6.2.3	Jaringan Distribusi Pola Grid	110
6.2.4	Jaringan Distribusi Pola Spindel	111
6.3	Penutup	141
6.3.1	Rangkuman	141
6.3.2	Tes Formatif	146
<b>BAB 7</b>	<b>RELAY PROTEKSI</b>	<b>149</b>
7.1	Pendahuluan	149
7.1.1	Deskripsi Singkat	149
7.1.2	Manfaat Relevansi	150
7.1.3	Tujuan Instruksional	150
7.1.4	Saran Petunjuk Belajar	150
7.2	Penyajian	151
7.2.1	Syarat-syarat Relay Pengaman	151
7.2.2	Klasifikasi Relay	154
7.2.3	Fungsi Relay Pengaman	156
7.2.4	Daerah Pengamanan ( <i>Protective Zone</i> )	157
7.2.5	Prinsip Dasar Kerja Relay Elektro-Magnetis dan Sifat-sifatnya	160
7.2.6	Beberapa Macam Tipe/Konstruksi Relay Elektro-Magnetis	161
7.2.7	Relay Arus Lebih ( <i>Over Current Relay</i> )	173
7.2.8	Relay Tipe Torak ( <i>Plunger</i> )	174
7.2.9	Prinsip Kerja dan Karakteristik Pengamanannya	175
7.2.10	Arus Kerja ( <i>Pick-Up</i> ) dan Arus Kembali ( <i>Drop-Off</i> )	180
7.2.11	Konstruksi Relay Arus Lebih	180
7.2.12	Kaidah Penyetelan Relay Arus Lebih dengan Karakteristik Waktu-Arus Inverse	193
7.2.13	Relay Arus Lebih dengan Karakteristik Waktu-Arus Sangat Berbanding Terbalik ( <i>Very Inverse</i> )	194

7.2.14 Relay Arus Lebih dengan Karakteristik Sangat Berbanding Terbalik Sekali ( <i>Extremily Inverse</i> , $I^2 t = k$ )	195
7.2.15 Relay Arus Lebih Waktu Tertentu Dibandingkan dengan Waktu Terbalik.	195
7.2.16 Relay Arus Lebih dengan Karakteristik Waktu Tertentu atau Waktu Terbalik yang Dikombinasikan dengan Relay Seketika	197
7.3 Penutup	199
7.3.1 Rangkuman	199
7.3.2 Tes Formatif	202
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>207</b>
<b>GLOSARIUM</b>	<b>213</b>





## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Pembangkit Listrik ke Konsumen	4
Gambar 1.2	Saluran Transmisi Tenaga Listrik	5
Gambar 1.3	Trafo Distribusi Tenaga Listrik	6
Gambar 1.4	Diagram Sistem Tenaga Listrik	7
Gambar 1.5	Kawat Konduktor Tenaga Listrik	8
Gambar 1.6	Isalator Tenaga Listrik	9
Gambar 1.7	Tiang Transmisi Tenaga Listrik	11
Gambar 1.8	Saluran Transmisi Bawa Tanah	11
Gambar 1.9	Saluran Transmisi Bawa Laut	12
Gambar 1.10	Diagram Sistem Tenaga dengan Daerah Proeksi Berlapis	17
Gambar 1.11	Contoh Penomoran Sistem Proteksi	19
Gambar 2.1	Pemadaman Busur Api pada Pemutus Daya Minyak	27
Gambar 2.2	Pemadaman Busur Api pada Pemutus Daya Udara Hembus	29
Gambar 2.3	Kontak Pemutus Daya Vakum	30
Gambar 2.4	Pembentukan Busur Api	34
Gambar 3.1	Motor Listrik DC	47
Gambar 3.2	Klasifikasi Jenis Utama Motor Listrik	49
Gambar 3.3	Pengaruh Medan Magnet dalam Kumparan Kawat	50
Gambar 3.4	Proses Perubahan Energi Listrik Menjadi Energi Mekanik	52
Gambar 3.5	Motor Induksi	54

Gambar 3.6	Kaidah Tangan Kiri	55
Gambar 3.7	Simbol Pengamanan pada Nameplate	57
Gambar 3.8	Motor Listrik Tahan dari Siraman Air	57
Gambar 3.9	Motor Listrik Tahan Siraman Air Vertikal dan Segala Arah	58
Gambar 3.10	Konfigurasi Proteksi Arus dan Tegangan Lebih	68
Gambar 3.11	Rangkaian Pembatas Arus Lebih	68
Gambar 3.12	Proteksi Tegangan Lebih	69
Gambar 3.13	Menunjukkan Rangkaian Percobaan Proteksi Arus Lebih	70
Gambar 4.1	Meteran untuk Mengukur Output dari Transmitter	83
Gambar 4.2	Meter DP	84
Gambar 4.3	Meter yang Menunjukkan Posisi Plumb Bob	84
Gambar 4.4	Alarm	85
Gambar 4.5	Diagram Blok Rekorder	85
Gambar 4.6	Jalur Sinyal pada Rekorder	86
Gambar 4.7	Diagram Skematis dari Slide Wire Assembly	87
Gambar 6.1	Pola Jaringan Radial	109
Gambar 6.2	Pola Jaringan Loop	110
Gambar 6.3	Pola Jaringan Grid	110
Gambar 6.4	Sistem Jaringan Spindel	111
Gambar 6.5	Isolator Gantung ( <i>Suspension Type Insulator</i> )	115
Gambar 6.6	Isolator Jenis Post Saluran ( <i>Pin Post Type Insulator</i> )	115
Gambar 6.7	Pengahntar AAAC	116
Gambar 6.8	Trafo Distribusi Satu Fasa	117
Gambar 6.9	Trafo Distribusi Tiga Fasa	117
Gambar 6.10	<i>Fuse Cut Ou.</i> Fuse Link	118
Gambar 6.11	Auto Voltage Regulator	119
Gambar 6.12	Meter Expor-Impor	119
Gambar 6.13	Disconnecting Switch (DS)	123
Gambar 6.14	Air Break Switch., Handle ABSW	124
Gambar 6.15	Load Break Switch (LBS)	125
Gambar 6.16	Recloser	126
Gambar 6.17	Clampmeter	138
Gambar 6.18	Pengawatan Amperemeter	138

Gambar 6.19	Pengawatan Voltmeter	139
Gambar 6.20	KWH Meter 1 Fasa	139
Gambar 6.21	KWH Meter 3 Fasa	139
Gambar 6.22	Megger	140
Gambar 6.23	Pengawatan Phasa Sequence	140
Gambar 7.1	Suatu Sistem Tenaga Listrik yang Sederhana Mengalami Gangguan pada Titik K	152
Gambar 7.2	Diagram Satu Garis Suatu Sistem Tenaga Listrik dengan Daerah-daerah Pengamannya	157
Gambar 7.3	Prinsip Saling Meliputi dari Rangkaian Relay Pengaman 1) C.B Diapit oleh Dua Trafo Arus 2) Kedua Trafo Arus Diletakkan di samping C.B	158
Gambar 7.4.a	Prinsip Lokal Back-Up	159
Gambar 7.4.b	Prinsip Remote Back-Up	159
Gambar 7.5	Simbol Kontak Relay: a) Normally Open b) Normally Close	160
Gambar 7.6	Relay Tipe Torak (Plunger): a) Hubungan Relay b) Kontaktor Relay	163
Gambar 7.7	Relay Armature yang Digantung: a) Hubungan Relay b) Kontaktor Relay	165
Gambar 7.8	Relay Batang Seimbang	166
Gambar 7.9	Karakteristik Operasional Relay Batang Seimbang	167
Gambar 7.10	Detail Shading Ring (a) Detail Shading Rings (b) Bentuk Fluksi 1, dan	169
Gambar 7.11	Diagram Phasa	170
Gambar 7.12	Potongan Membujur Relay Cakram Induksi	171
Gambar 7.13	Berbagai Karakteristik Kerja Relay Arus Lebih yang Inverse	172
Gambar 7.14	Relay Kup Induksi Tipe 4 Kutub	173
Gambar 7.15	Rangkaian Relay Arus Lebih Seketika	176
Gambar 7.16	Karakteristik Relay Arus Lebih Seketika	176
Gambar 7.17	Rangkaian Relay Arus Lebih	177
Gambar 7.18	Karakteristik Relay Arus Lebih Tertentu	178
Gambar 7.19	Rangkaian Relay Arus Lebih Berbanding Terbalik	179

Gambar 7.20	Karakteristik Relay Arus Lebih Berbanding Terbalik	179
Gambar 7.21	Rangkaian Relay Arus Lebih dan Relau Waktu	180
Gambar 7.22	Karakteristik Operasi Arus Pick-Up dan Drop-Off	181
Gambar 7.23	Elektro-Magnetik <i>Over Current Relay</i>	183
Gambar 7.24	Jaringan Listrik Terbagi dalam 3 Zone Pengaman	185
Gambar 7.25	Suatu Rangkaian Gardu Induk 20 MVA, 70 / 20 kV	186
Gambar 7.26	Prinsip Dasar Penyetelan Waktu Sistem Radial	188
Gambar 7.27	Jaringan Listrik Radial	189
Gambar 7.28	Karakteristik Arus-Waktu Relay Definite Jaringan	190
Gambar 7.29	Setting Relay Arus Lebih untuk 1 Lokasi Fault (a) Sistem Jaringan dan Lokasi Gangguan (b) Kurva Karakteristik Relay	191
Gambar 7.30	Setting Relay Arus Lebih untuk Beberapa Fault (a) Sistem Jaringan dan Lokasi Gangguan (b) Kurva Karakteristik Relay	191
Gambar 7.31	Karakteristik Relay Arus Lebih untuk Waktu Berbalik	192
Gambar 7.32	Karakteristik Waktu Kerja Relay	192
Gambar 7.33	Karakteristik Waktu-Arus Pembangkitan Minimum dan Maksimum	192
Gambar 7.34	Sistem Pengamanan Relay Arus Lebih VIR	194
Gambar 7.35	Karakteristik Relay Arus Labih Waktu Tertentu dan Inverse	197
Gambar 7.36	Penggunaan Relay t terhadap Generator dan Unit Transformator	198
Gambar 7.37	Selektivitas Kurva t dengan Kurva Fuse	199



# BAB 1

---

## PROTEKSI SISTEM TENAGA LISTRIK

### 1.1 PENDAHULUAN

#### Maksud dan tujuan

**M**aksud dan tujuan adalah untuk memahami apa yang dimaksud dengan proteksi sistem tenaga listrik. Listrik sangat dekat dengan kehidupan manusia, di mana manusia tidak bisa hidup tanpa adanya listrik

Banyak aktifitas manusia yang tidak lepas dari sumber tenaga listrik, seperti peralatan rumah tangga dan alat telekomunikasi bahkan alat transportasi menggunakan tenaga listrik seperti kereta listrik.

Namun menjadi bahan pertimbangan yang sangat serius, di mana penggunaan listrik dapat menjadi masalah yang serius apabila tidak diolah dan dimanfaatkan dengan benar.

Banyak peristiwa kebakaran terjadi karena pemanfaatan listrik tidak dilakukan dengan benar. Masih banyak tangan-tangan yang tidak bertanggung jawab yang menyebabkan listrik menjadi tidak aman digunakan

#### Tujuan

- Menyebutkan beberapa contoh pemakaian sistem Proteksi Tenaga Listrik dalam kehidupan sehari-hari dengan benar

- Membaca gambar skema sistem proteksi pada Tegangan Tinggi mulai dari pembangkit tenaga listrik
- Menggambarkan blok diagram sistem proteksi Tenaga Listrik dengan benar.

### 1.1.1 Deskripsi Singkat

Keandalan dan keberlangsungan suatu sistem tenaga listrik dalam melayani konsumen sangat tergantung pada sistem proteksi yang digunakan. Oleh sebab itu dalam perancangan suatu sistem tenaga, perlu dipertimbangkan kondisi gangguan yang mungkin terjadi pada sistem, melalui analisa gangguan.

Dari hasil analisa gangguan dapat ditentukan sistem proteksi yang akan digunakan, spesifikasi switchgear, *rating circuit breaker* (CB) serta penetapan besaran-besaran yang menentukan bekerjanya suatu relay (*setting relay*) untuk keperluan proteksi.

Pada unit ini tidak dibahas tentang analisa gangguan karena analisis gangguan telah dibahas pada kuliah sistem tenaga listrik. Di sini akan membahas tentang karakter serta gangguan-gangguan pada sistem tenaga listrik meliputi generator, transformator daya, jaringan dan busbar. Di sini juga akan membahas tentang sistem proteksi yang digunakan pada sistem tenaga listrik.

*Pengertian proteksi transmisi tenaga listrik* adalah proteksi yang dipasang pada peralatan-peralatan listrik pada suatu transmisi tenaga listrik sehingga proses penyaluran tenaga listrik dari tempat pembangkit tenaga listrik (*Power Plant*) hingga Saluran distribusi listrik (*Substation Distribution*) dapat disalurkan sampai pada konsumen pengguna listrik dengan aman.

Proteksi transmisi tenaga listrik diterapkan pada transmisi tenaga listrik agar jika terjadi gangguan peralatan yang berhubungan dengan transmisi tenaga listrik tidak mengalami kerusakan. Ini juga termasuk saat terjadi perawatan dalam kondisi menyala. Jika proteksi bekerja dengan baik, maka pekerja dapat melakukan pemeliharaan transmisi tenaga listrik

dalam kondisi bertegangan. Jika saat melakukan pemeliharaan tersebut terjadi gangguan, maka pengaman-pengaman yang terpasang harus bekerja demi mengamankan sistem dan manusia yang sedang melakukan perawatan.

Transmisi tenaga listrik terbagi dalam beberapa kategori. Kategori yang pertama adalah transmisi dengan tegangan sebesar 500KV. Ini merupakan transmisi yang sangat tinggi. Karena di Indonesia masih menggunakan sistem 500 KV. Kategori yang kedua adalah transmisi dengan tegangan sebesar 150 KV. Dan yang ketiga adalah transmisi 75 KV. Untuk dibawah 75 KV selanjutnya dinamakan dengan distribusi tenaga listrik.

Proteksi ini berbeda dengan pengaman. Jika pengaman suatu sistem berarti sistem tersebut tidak merasakan gangguan. Sedangkan proteksi atau pengaman sistem, sistem merasakan gangguan tersebut namun dalam waktu yang sangat singkat dapat diamankan. Sehingga sistem tidak mengalami kerusakan akibat gangguan yang terlalu lama.

### **1.1.2 Manfaat Relevansi**

Dengan mengetahui dan memahami materi ini diharapkan dapat diketahui arti penting keamanan listrik dan arti penting dari proteksi sistem tenaga listrik.

### **1.1.3 Tujuan Instruksional**

Setelah mempelajari bagian ini mahasiswa diharapkan dapat :

- Menjelaskan definisi proteksi sistem tenaga listrik
- Menjelaskan komponen -komponen sistem tenaga listrik

### **1.1.4 Saran Petunjuk Belajar**

Sebelum mempelajari materi ini, kepada mahasiswa perlu memiliki pengetahuan dasar tentang listrik.

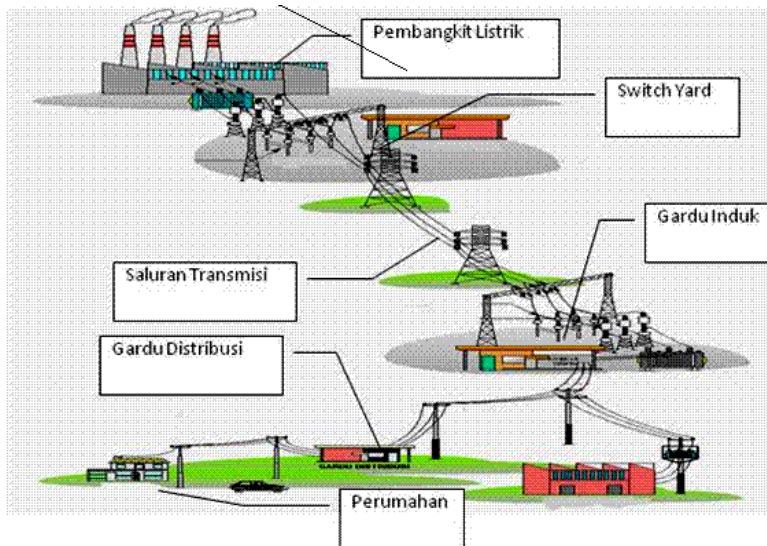
## 1.2 PENYAJIAN

### 1.2.1 Sistem Tenaga Listrik

Untuk sampai ke konsumen listrik harus melalui proses yang cukup panjang. Proses penyampaian listrik kepada konsumen disebut transmisi. Proses transmisi listrik ada yang melalui darat maupun melalui air.

Pengertian proteksi transmisi tenaga listrik adalah proteksi yang dipasang pada peralatan-peralatan listrik yang dipasang pada peralatan-peralatan listrik pada suatu transmisi tenaga listrik sehingga proses penyaluran tenaga listrik dari tempat pembangkit tenaga listrik (*power plant*) hingga saluran distribusi listrik (*substation distribution*) dapat disalurkan sampai pada consumer penggunaan listrik dengan aman.

#### TRANSMISI TENAGA LISTRIK



**Gambar 1.1** Pembangkit Listrik ke Konsumen

Proteksi transmisi tenaga listrik diterapkan pada transmisi tenaga listrik agar jika terjadi gangguan peralatan yang berhubungan dengan transmisi tenaga listrik tidak mengalami kerusakan. Ini juga termasuk saat

terjadi perawatan dalam kondisi menyala. Jika saat melakukan pemeliharaan terjadi gangguan, maka pengaman-pengaman yang terpasang harus bekerja demi mengamankan system dan manusia yang sedang melakukan perawatan.

### **Pusat Pembangkit Listrik (*Power Plant*).**

Yaitu tempat energi listrik pertama kali dibangkitkan, dimana terdapat turbin sebagai penggerak mula (*Prime Mover*) dan generator yang membangkitkan listrik.

### **Pembangkit Tenaga Listrik**

Merupakan proses penyaluran tenaga listrik dari tempat pembangkit tenaga listrik (*Power Plant*) hingga Saluran distribusi listrik (*substation distribution*) sehingga dapat disalurkan sampai pada konsumen pengguna listrik.



Sumber: .....

**Gambar 1.2** Saluran Transmisi Tenaga Listrik

Transmisi Tenaga Listrik merupakan subsistem tersendiri yang terdiri dari: Pusat Pengatur (*Distribution Control Center, DCC*), IC t l C t DCC). Saluran tegangan menengah (6KV dan 20KV yang juga biasa disebut tegangan distribusi primer) yang merupakan saluran udara atau kabel

tanah, gardu distribusi tegangan menengah yang terdiri dari panel-panel pengatur tegangan menengah dan trafo sampai dengan panel-panel distribusi tegangan rendah (380V, 220V) yang menghasilkan tegangan kerja/tegangan jala-jala untuk industri dan konsumen.



Sumber: .....

**Gambar 1.3** Trafo Distribusi Tenaga Listrik

### **Trafo Distribusi Merupakan Pengguna / Konsumer Listrik**

Dalam konteks pembahasan ini, yang dimaksud transmisi (penyaluran) adalah Penyaluran energi listrik sehingga mempunyai listrik, maksud proses dan cara menyalurkan energi listrik dari satu tempat ke tempat lainnya, misalnya:

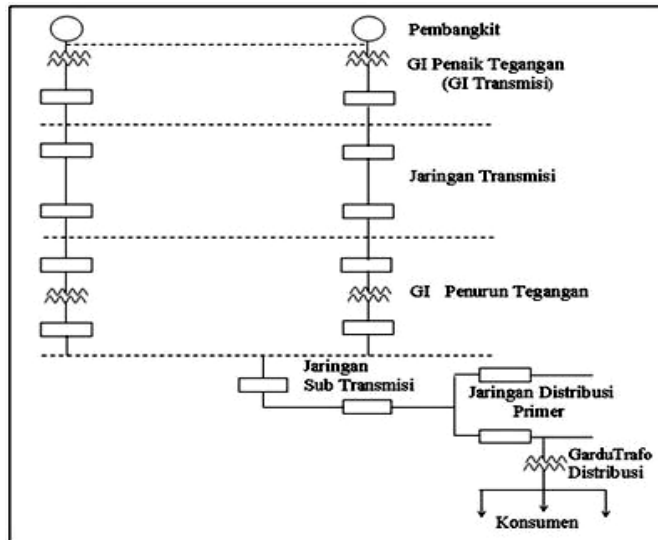
- Dari pembangkit listrik ke gardu induk.
- Dari satu gardu induk ke gardu induk lainnya.
- Dari gardu induk ke jaringan tegangan menengah dan gardu distribusi.

Ketentuan Dasar Sistem Tenaga Listrik.

1. Menyediakan setiap waktu, tenaga listrik untuk keperluan konsumen.
2. Menjaga kestabilan nilai tegangan, dimana tidak lebih toleransi  $\pm 10\%$ .
3. Menjaga kestabilan frekuensi, dimana tidak lebih toleransi  $\pm 0.1\text{ Hz}$ .

4. Harga yang tidak mahal (Efisien).
5. Standar keamanan (*safety*).
6. Respek terhadap lingkungan.

Diagram dasar dari sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik diperlihatkan pada gambar berikut ini.



**Gambar 1.4** Diagram Sistem Tenaga Listrik

- Terdiri dari stasiun pembangkit (*generating station*)
- Transmission substation menyediakan servis untuk mengubah dalam menaikkan dan menurunkan tegangan pada saluran tegangan yang ditransmisikan serta meliputi regulasi tegangan.
- Percabangan hubungan antar *substation* (*interconnecting substation*) untuk pasokan tenaga listrik yang berbeda untuk keperluan pengguna konsumer.
- Distribution Substation, pada bagian ini merubah tegangan aliran listrik dari tegangan medium menjadi tegangan rendah dengan transformator *step-down*, *step down*, di mana memiliki tap otomatis dan memiliki kemampuan untuk regulator tegangan rendah.

### Tegangan Transmisi

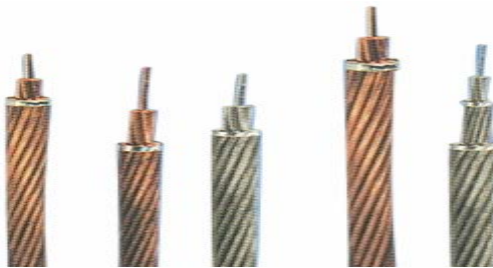
- Tegangan generator dinaikkan ke tingkat yang dipakai untuk transmisi yaitu antara 11 KV dan 765 KV.
- Tegangan extra-tinggi (*Extra High Voltage - EHV*): 345 KV dan 765 KV.
- Tegangan tinggi standar (*High Voltage-HV Standard*): 115 KV, 138 KV, dan 230 KV
- Untuk sistem distribusi, tegangan menengah yaitu antara 2,4 KV dan 69 KV. Umumnya antara 120V dan 69 KV dan untuk tegangan rendah yaitu antara 120V sampai 600V

### Komponen Transmisi Listrik

Saluran transmisi Tenaga Listrik terdiri atas :

1. konduktor.
2. Isolator.
3. Tiang Penyangga/Tower

### Konduktor



**Gambar 1.5** Kawat Konduktor Tenaga Listrik

- Kawat konduktor ini digunakan untuk menghantarkan listrik yang ditransmisikan.
- Kawat konduktor untuk saluran transmisi tegangan tinggi ini selalu tanpa pelindung/isolasi, hanya menggunakan isolasi udara.
- Jenis Konduktor yang dipakai
  - Tembaga (Cu)
  - Aluminium (Al)
  - Baja (*Steel*)



- Jenis yang sering dipakai adalah jenis alumunium dengan campuran baja.
- Jenis-jenis penghantar Aluminium
  - AAC (*All-Alumunium Conductor*), yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari alumunium.
  - AAC (*All-Alumunium-Alloy Conductor*), yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari campuran alumunium.
  - ACSR (*Alumunium Conductor Steel-Reinforced*) Conductor, Steel-Reinforced), yaitu kawat penghantar alumunium berinti kawat baja.
  - ACAR (*Alumunium Conductor, Alloy-Reinforced*), yaitu kawat penghantar alumunium yang di perkuat dengan logam campuran.
  - Jenis yang sering digunakan adalah ACSR.

**Isolator**



**Gambar 1.6** Isalator Tenaga Listrik

- Isolator pada sistem transmisi tenaga listrik di sini berfungsi untuk menahan bagian konduktor terhadap *ground*. Isolator di sini bisanya terbuat dari bahan porseline, tetapi bahan gelas dan bahan isolasi sintetik juga sering digunakan di sini. Bahan isolator harus memiiki resistansi yang tinggi untuk melindungi kebocoran arus dan memiliki ketebalan yang secukupnya (sesuai standar) untuk mencegah *breakdown* pada tekanan listrik tegangan tinggi sebagai pertahanan

fungsi isolasi tersebut. Kondisinya harus kuat terhadap guncangan apapun dan beban konduktor.

- Jenis isolator yang sering digunakan pada saluran transmisi adalah jenis porselin atau gelas.

Menurut penggunaan dan konstruksinya, isolator diklasifikasikan menjadi:

- Isolator jenis pasak
- Isolator jenis pos-saluran
- Isolator jenis gantung
- Isolator jenis pasak dan isolator jenis pos-saluran digunakan pada saluran transmisi dengan tagangan kerja relatif rendah (22-33 KV), sedangkan isolator jenis gantung dapat digandeng menjadi rentengan rangkaian isolator yang jumlahnya dapat disesuaikan dengan kebutuhan.

### **Tiang Penyangga (Tower)**

- Tiang Penyangga Saluran transmisi dapat berupa saluran udara dan saluran bawah tanah, namun pada umumnya berupa saluran udara. Energi listrik yang disalurkan lewat saluran transmisi udara pada umumnya menggunakan kawat telanjang sehingga mengandalkan udara sebagai media antar isolasi antar kawat penghantar. Dan untuk menyanggah/merentangkan kawat penghantar dengan ketinggian dan jarak yang aman bagi manusia dan lingkungan sekitarnya, kawat-kawat penghantar tersebut dipasang pada suatu konstruksi bangunan yang kokoh, yang biasa disebut menara/tower. Antar menara/tower listrik dan kawat penghantar disekat oleh isolator.
- Saluran Kabel bawah laut, ini merupakan saluran listrik yang melewati medium bawah air (laut) karena transmisi antar pulau yang jaraknya dipisahkan oleh lautan.

Konstruksi Saluran Transmisi Berdasarkan pemasangannya dibagi menjadi , dua kategori, yaitu :

1. Saluran Udara (*Overhead Lines*) saluran transmisi yang menyalurkan energi listrik melalui kawat-kawat yang digantung pada isolator antara menara atau tiang Transmisi atau Tower.

Jenis-jenis Tower Menurut bentuk konstruksinya jenis-jenis tower dibagi atas macam 4 yaitu:

1. *Lattice tower*
2. *Tubular steel pole*
3. *Concrete pole*
4. *Wooden pole*



**Gambar 1.7** *Tiang Transmisi Tenaga Listrik*

2. Saluran kabel bawah tanah (*underground cable*), saluran transmisi yang menyalurkan energi listrik melalui kabel yang dipendam di dalam tanah.



**Gambar 1.8** *Saluran Transmisi Bawa Tanah*

3. Saluran bawah Laut adalah Saluran transmisi yang di bangun di dalam laut.



**Gambar 1.9** Saluran Transmisi Bawa Laut

### 1.2.2 Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Yang dimaksud dengan proteksi sistem tenaga listrik adalah sistem proteksi yang dilakukan kepada peralatan-peralatan listrik yang terpasang pada suatu sistem tenaga misalnya generator, transformator jaringan dan lain-lain, terhadap kondisi tidak normal operasi sistem itu sendiri.

Pengertian proteksi transmisi tenaga listrik adalah proteksi yang dipasang pada peralatan-peralatan listrik pada suatu transmisi tenaga listrik sehingga proses penyaluran tenaga listrik dari tempat pembangkit tenaga listrik (*Power Plant*) hingga Saluran distribusi listrik (*substation distribution*) dapat disalurkan sampai pada konsumen pengguna listrik dengan aman. Proteksi transmisi tenaga listrik diterapkan pada transmisi tenaga listrik agar jika terjadi gangguan peralatan yang berhubungan dengan transmisi tenaga listrik tidak mengalami kerusakan. Ini juga termasuk saat terjadi perawatan dalam kondisi menyala. Jika proteksi bekerja dengan baik, maka pekerja dapat melakukan pemeliharaan transmisi tenaga listrik dalam kondisi bertegangan. Jika saat melakukan pemeliharaan tersebut terjadi gangguan, maka pengaman-pengaman yang

terpasang harus bekerja demi mengamankan sistem dan manusia yang sedang melakukan perawatan.

Kondisi tidak normal itu dapat berupa antara lain:

- Hubung singkat,
- Tegangan lebih,
- Beban lebih,
- Frekuensi sistem rendah,
- Asinkron
- Dan lain lain.

### **1.2.3 Fungsi Proteksi**

Proteksi berfungsi sebagai berikut,

1. Untuk menghindari ataupun untuk mengurangi kerusakan peralatan-peralatan akibat gangguan (kondisi abnormal operasi sistem).

Semakin cepat reaksi perangkat proteksi yang digunakan maka akan semakin sedikitlah pengaruh gangguan kepada kemungkinan kerusakan alat

2. Untuk cepat melokalisir luas daerah terganggu menjadi sekecil mungkin
3. Untuk dapat memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi kepada konsumsi dan juga mutu listrik yang baik.
4. Untuk mengamankan manusia terhadap bahaya yang ditimbulkan oleh listrik.

Pengetahuan mengenai arus-arus yang timbul dari pelbagai tipe gangguan pada suatu lokasi merupakan hal yang sangat esensial bagi pengoperasian sistem proteksi secara efektif. Jika terjadi gangguan pada sistem, para operator yang merasakan adanya gangguan tersebut diharapkan segera dapat mengoperasikan circuit-circuit yang tepat untuk mengeluarkan sistem yang terganggu atau memisahkan pembangkit dari jaringan yang terganggu. Sangat sulit bagi seorang operator untuk mengawasi gangguan-gangguan yang mungkin terjadi dan menentukan

CB mana yang diperoperasikan untuk mengisolir gangguan tersebut secara manual.

Mengingat arus gangguan yang cukup besar, maka perlu secepat mungkin dilakukan proteksi. Hal ini perlu suatu peralatan yang digunakan untuk mendeteksi keadaan-keadaan yang tidak normal tersebut dan selanjutnya menginstruksikan circuit-circuit yang tepat untuk bekerja memutuskan rangkaian. Peralatan tersebut kita kenal dengan *relay*.

Ringkasnya proteksi dan tripping otomatis circuit-circuit yang sehubungan mempunyai dua fungsi pokok :

1. Mengisolir peralatan yang terganggu agar bagian-bagian yang lainnya tetap beroperasi seperti biasa.
2. Membatasi kerusakan peralatan akibat panas lebih (*over heating*), pengaruh gaya-gaya mekanik dst.

Koordinasi antara *relay* dan *circuit breaker* (CB) dalam mengamati dan memutuskan gangguan disebut sebagai sistem proteksi. Banyak hal yang harus dipertimbangkan dalam mempertahankan arus kerja maksimum yang aman. Jika arus kerja bertambah melampaui batas aman yang ditentukan dan tidak ada proteksi atau jika proteksi tidak memadai atau tidak efektif, maka keadaan tidak normal dan akan mengakibatkan kerusakan isolasi.

Pertambahan arus yang berlebihan menyebabkan rugi-rugi daya pada konduktor akan berlebihan pula. Perlu diingat bahwa pengaruh pemanasan adalah sebanding dengan kwadrat dari arus :

$$H = I^2 R t \text{ Joules}$$

di mana :

H = panas yang dihasilkan (*Joule*)

I = arus konduktor (*ampere*)

R = tahanan konduktor (*ohm*)

t = waktu atau lamanya arus yang mengalir (*detik*)

Proteksi harus sanggup menghentikan arus gangguan sebelum arus tersebut naik mencapai harga yang berbahaya. Proteksi dapat dilakukan dengan *Sekering* atau *Circuit Breaker*. Proteksi juga harus sanggup menghilangkan gangguan tanpa merusak peralatan proteksi itu sendiri. Untuk ini pemilihan peralatan proteksi harus sesuai dengan kapasitas arus hubung singkat "*breaking capacity*" atau *Repturing Capacity*.

Di samping itu proteksi yang diperlukan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. Sekering atau circuit breaker harus sanggup dilalui arus nominal secara terus menerus tanpa pemanasan yang berlebihan (*overheating*).
2. *Overload* yang kecil pada selang waktu yang pendek seharusnya tidak menyebabkan peralatan bekerja
3. Proteksi harus bekerja walaupun pada overload yang kecil tetapi cukup lama sehingga dapat menyebabkan overheating pada rangkaian penghantar.
4. Proteksi harus membuka rangkaian sebelum kerusakan yang disebabkan oleh arus gangguan yang dapat terjadi.
5. Proteksi harus dapat melakukan "pemisahan" (*discriminative*) hanya pada rangkaian yang terganggu yang dipisahkan dari rangkaian yang lain yang tetap beroperasi.

Proteksi *overload* dikembangkan jika dalam semua hal rangkaian listrik diputuskan sebelum terjadi *overheating*. Jadi disini *overload action* relatif lebih lama dan mempunyai fungsi inverse terhadap kwadrat dari arus.

Proteksi gangguan hubung singkat dikembangkan jika *action* dari sekering atau *circuit breaker* cukup cepat untuk membuka rangkaian sebelum arus dapat mencapai harga yang dapat merusak akibat *overheating*, *arcing* atau ketegangan mekanik.

#### 1.2.4 Persyaratan Kualitas Proteksi

Ada beberapa persyaratan yang sangat perlu diperhatikan dalam suatu perencanaan sistem proteksi yang efektif yaitu :

1. Selektivitas dan Diskriminasi

Efektivitas suatu sistem proteksi dapat dilihat dari kesanggupan sistem dalam mengisolir bagian yang mengalami gangguan saja

2. Stabilitas

Sifat yang tetap tidak operasi apabila gangguan-gangguan terjadi diluar zona yang melindungi (gangguan luar).

3. Kecepatan Operasi

Sifat ini lebih jelas, semakin lama arus gangguan terus mengalir, semakin besar kerusakan peralatan. Hal yang paling penting adalah perlunya membuka bagian-bagian yang terganggu sebelum generator-generator yang dihubungkan sinkron kehilangan sinkronisasi dengan sistem selebihnya. Waktu pembebasan gangguan yang tipikal dalam sistem sistem tegangan tinggi adalah 140 ms. Dimana mendatang waktu ini hendak dipersingkat menjadi 80 ms sehingga memerlukan *relay* dengan kecepatan yang sangat tinggi (*very high speed relaying*)

4. Sensitivitas (kepekaan)

Yaitu besarnya arus gangguan agar alat bekerja. Harga ini dapat dinyatakan dengan besarnya arus dalam jaringan aktual (arus primer) atau sebagai prosentase dari arus sekunder (trafo arus).

5. Pertimbangan ekonomis

Dalam sistem aspek ekonomis hampir mengatasi aspek teknis, oleh karena jumlah feeder, trafo dan sebagainya yang begitu banyak, asal saja persyaratan keamanan yang pokok dipenuhi. Dalam sistem-sistem transmisi justru aspek teknis yang penting. Proteksi relatif mahal, namun demikian pula sistem atau peralatan yang dilindungi dan jaminan terhadap kelangsungan peralatan sistem adalah vital. Biasanya digunakan dua sistem proteksi yang terpisah, yaitu proteksi primer atau proteksi utama dan proteksi pendukung (*back up*)

6. Realiabilitas (Keandalan)

Sifat ini jelas, penyebab utama dari "*outage*" rangkaian adalah tidak bekerjanya proteksi sebagaimana mestinya (*mal operation*).

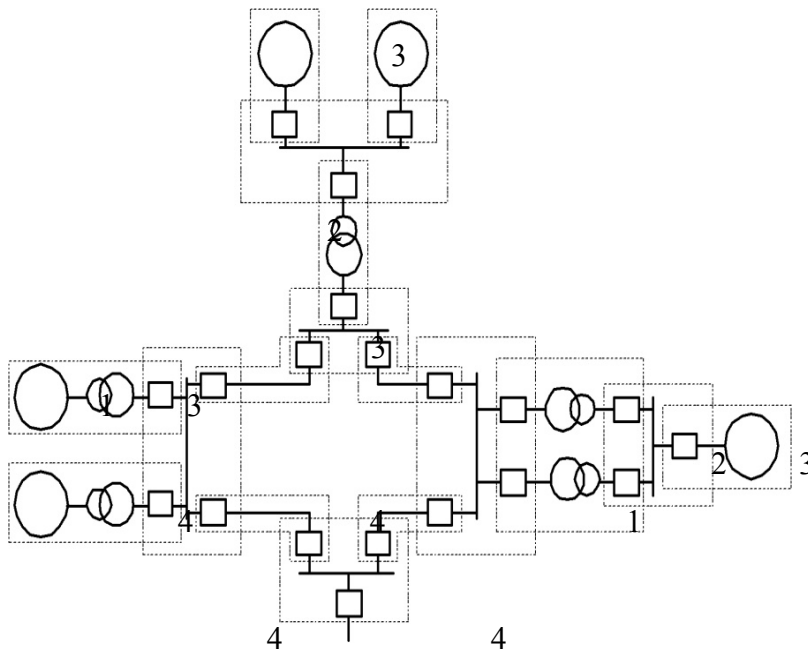
7. Proteksi Pendukung

Proteksi pendukung (*back up*) merupakan susunan yang sepenuhnya terpisah dan bekerja untuk mengeluarkan bagian yang terganggu



apabila proteksi utama tidak bekerja (*fail*). Sistem pendukung ini sedapat mungkin indenpenden seperti halnya proteksi utama, memiliki trafo-trafo dan rele-rele tersendiri. Seringkali hanya tripping CB dan trafo-trafo tegangan yang dimiliki bersama oleh keduanya.

Tiap-tiap sistem proteksi utama melindungi suatu area atau zona sistem daya tertentu. Ada kemungkinan suatu daerah kecil diantara zona-zona yang berdekatan misalnya antara trafo-trafo arus dan *circuit breaker* tidak dilindungi. Dalam keadaan seperti ini sistem *back up* (yang dinamakan *remote back up*) akan memberikan perlindungan karena berlapis dengan zona-zona utama seperti pada gambar beriku



**Gambar 1.10** Diagram Sistem Tenaga dengan Daerah Proeksi Berlapis

Pada sistem distribusi aplikasi *back up* digunakan tidak seluas dalam sistem tansmisi, cukup jika hanya mencakup titik-titik strategis saja. *Remote back up* bereaksi lambat dan biasanya memutuskan lebih banyak dari yang diperlukan untuk mengeluarkan bagian yang terganggu.

Komponen-komponen sistem proteksi terdiri dari :

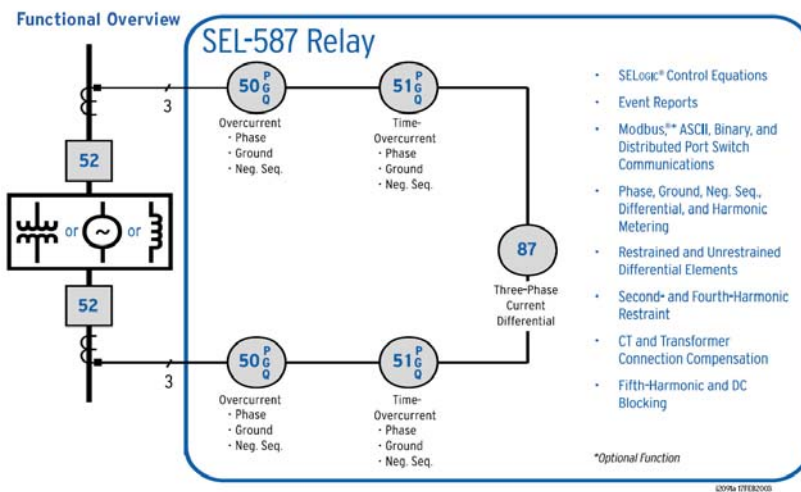
- *Circuit Breaker* (PM)
- *Relay*
- Trafo arus (CT)
- Trafo tegangan (PT)
- Kabel kontrol
- *Supplay* (Batere)

Di dalam sistem proteksi untuk membaca gambar *single line* diagram maka diperlukan penomoran-penomoran dalam gambar untuk memudahkan kita membaca gambar, dimana penomoran tersebut adalah sebagai berikut:

- 2 *Time delay starting ,or closing relay*
- 21 *Distance relay*
- 25 *Synchronizing, or synchronism-check, device.*
- 27 *Undervoltage relay*
- 30 *Annunciator relay*
- 32 *Directional power relay*
- 37 *Undercurrent or underpower relay*
- 46 *Reverse-phase or phase balance current relay*
- 49 *Machine, or transformator, thermal relar*
- 50 *Instantaneous overcurrent, or rate-of rise, relay*
- 51 *AC time over current relay*
- 52 *AC Circuit Breakers*
- 55 *Power Faktor relay*
- 59 *Over voltage relay*
- 60 *Voltage balance relay*
- 61 *Current balance relay*
- 64 *Ground fould protective relay*
- 67 *AC directional over current relay*
- 68 *Blocking relay*
- 76 *DC over current relay*
- 78 *Phasa angle measuring, or uot-of step protective relay*

- 79 AC reclosing relay
- 81 Freguensi relay
- 83 Automatic selective control, or transfer, relay
- 85 Carrier, or pilot wire, receiver relay
- 86 Locking out relay
- 87 Differential Protective relay
- 92 Voltage and power directional relay

**Contoh pemakaian penomoran dalam sistem proteksi tenaga listrik**



**Gambar 1.11** Contoh Penomoran Sistem Proteksi

### 1.3 PENUTUP

#### 1.3.1 Latihan

1. Sebutkan pengertian proteksi sistem tenaga listrik!
2. Sebutkan fungsi proteksi sistem tenaga listrik!
3. Sebutkan persyaratan kualitas proteksi sistem tenaga listrik

### 1.3.2 Rangkuman

Yang dimaksud dengan proteksi terhadap tenaga listrik ialah sistem pengamanan yang dilakukan terhadap peralatan-peralatan listrik, yang terpasang pada sistem tenaga listrik tersebut. Misalnya Generator, Transformator, Jaringan transmisi/distribusi dan lain-lain terhadap kondisi operasi abnormal dari sistem itu sendiri. Yang dimaksud dengan kondisi abnormal tersebut antara lain dapat berupa:

- Hubung singkat
- Tegangan lebih/kurang
- Beban lebih
- Frekuensi sistem turun/naik
- Dan lain-lain

#### Adapun fungsi dari sistem proteksi adalah:

- Untuk menghindari atau mengurangi kerusakan peralatan listrik akibat adanya gangguan (kondisi abnormal). Semakin cepat reaksi perangkat proteksi yang digunakan, maka akan semakin sedikitlah pengaruh gangguan terhadap kemungkinan kerusakan alat.
- Untuk mempercepat melokalisasi luas/zone daerah yang terganggu, sehingga daerah yang terganggu menjadi sekecil mungkin.
- Untuk dapat memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi kepada konsumen, dan juga mutu listriknya baik.
- Untuk mengamankan manusia (terutama) terhadap bahaya yang ditimbulkan oleh listrik.

Agar sistem proteksi dapat dikatakan baik dan benar (dapat bereaksi dengan cepat, tepat dan murah), maka perlu diadakan pemilihan dengan seksama dan dengan memperhatikan faktor-faktor sebagai berikut

Proteksi dan *automatic tripping Circuit Breaker* (CB) dibutuhkan untuk:

1. Mengisolir peralatan yang terganggu agar bagian-bagian yang lainnya tetap beroperasi seperti biasa.
2. Membatasi kerusakan peralatan akibat panas lebih (*overheating*), pengaruh gaya mekanik dan sebagainya. Proteksi harus dapat

menghilangkan dengan cepat arus yang dapat mengakibatkan panas yang berlebihan akibat gangguan

$$H = I^2R \times t \text{ Joules}$$

Peralatan proteksi selain sekering adalah peralatan yang dibentuk dalam suatu sistem koordinasi relay dan *circuit breaker*. Peralatan proteksi dipilih berdasarkan kapasitas arus hubung singkat '*Breaking capacity*' atau '*Repturing Capacity*'.

Selain itu peralatan proteksi harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Selektivitas dan Diskriminasi
2. Stabilitas
3. Kecepatan operasi
4. Sensitivitas (kepekaan).
5. Pertimbangan ekonomis.
6. Realibilitas (keandalan).
7. Proteksi pendukung (*back up protection*)

### 1.3.3 Tes Formatif

Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut sesuai dengan materi diatas :

1. Jelaskan dengan singkat mengapa proteksi dibutuhkan.

Jawab :

.....  
 .....  
 .....

2. Jelaskan apa yang dimaksud dengan '*Breaking Capacity*' atau '*Repturing Capacity*' pada sistem proteksi.

Jawab :

.....  
 .....  
 .....

- 3. Jelaskan apa yang dimaksud Sektivitas dan Diskriminasi pada suatu sistem proteksi

Jawab :

.....  
 .....  
 .....

- 4. Jelaskan apa yang dimaksud dengan proteksi pendukung (*back up protection*) pada suatu sistem proteksi.

Jawab:

.....  
 .....

- 5. Sebutkan komponen dasar sistem proteksi

Jawab:

.....  
 .....  
 .....

**Jawaban Latihan**

**Jawaban Soal No 1.**

- a. Untuk mengisolir peralatan yang terganggu agar bagian-bagian yang lainnya tetap beroperasi seperti biasa.
- b. Membatasi kerusakan peralatan akibat panas yang berlebihan (*overheating*) serta pengarug gaya-gaya mekanik.

**Jawaban Soal No. 2**

Kesanggupan untuk menghilangkan gangguan tanpa merusak peralatan proteksi itu sendiri.

**Jawaban Soal No. 3**

Kesanggupan sistem dalam mengisolir gangguan pada bagian yang mengalami gangguan saja.

**Jawaban Soal No. 4**

Suatu sistem perlindungan berlapis yang dirancang apabila proteksi utama tidak bekerja.

**Jawaban Soal No. 5**

Komponen dasar sistem proteksi:

1. *Circuit Breaker*
2. *Relay*
3. Trafo Arus (CT)
4. Trafo Tegangan (PT)
5. *Supply (Batere)*

-oo0oo-





## BAB 2

---

# PEMUTUS TENAGA

## 2.1 PENDAHULUAN

### Maksud dan Tujuan

**K**ontroler memberikan aksi pengontrolan yang mengarahkan operasi sistem kontrol elektronik. Selain itu, nilai set poin untuk sebuah sistem biasanya ditetapkan oleh kontroler. Pada panel depan dari kontroler yang ditunjukkan oleh Gambar meter yang diletakkan secara vertikal dan tombol bertanda 'SP' digunakan untuk menetapkan set poin, di mana sistem mempertahankan variabel proses pada nilai tersebut. Skala meter adalah 0-25 inchi; skala meter ini ada hubungannya dengan range nilai variabel proses. Penyetelan tombol set poin (SP) dapat menggerakkan skala sampai pada nilai SP yang diinginkan, yakni yang dapat dilihat dari bagian muka meter.

Oleh karena itu tujuan dari mempelajari bab ini adalah :

1. Mendiskripsikan fungsi Pemutus Tenaga Listrik.
2. Menerangkan tujuan dan fungsi Pemutus Tenaga Listrik.
3. Mendiskripsikan Jenis-jenis Pemutus Tenaga Listrik
4. Menggunakan diagram skematis tentang Pemutus Tenaga Listrik

### 2.1.1 Deskripsi singkat

Jenis-jenis PMT berdasarkan media insulator dan material dielektriknya, adalah terbagi menjadi empat jenis, yaitu: sakelar PMT minyak, sakelar PMT udara hembus, sakelar PMT vakum dan sakelar dengan gas SF6.

#### Sakelar PMT Minyak

Sakelar PMT minyak terbagi menjadi 2 jenis, yaitu:

1. Sakelar PMT dengan banyak menggunakan minyak (*Bulk Oil Circuit Breaker*), pada tipe ini minyak berfungsi sebagai peredam loncatan bunga api listrik selama terjadi pemutusan kontak dan sebagai isolator antara bagian-bagian yang bertegangan dengan badan, jenis PMT ini juga ada yang dilengkapi dengan alat pembatas busur api listrik.
2. Sakelar PMT dengan sedikit menggunakan minyak (*Low Oil Content Circuit Breaker*), pada tipe ini minyak hanya dipergunakan sebagai peredam loncatan bunga api listrik, sedangkan sebagai bahan isolator dari bagian-bagian yang bertegangan digunakan porselen atau material isolasi dari jenis organik.

### 2.1.2 Manfaat Relevansi

Dengan mengetahui dan memahami materi ini diharapkan dapat diketahui arti penting keamanan listrik dan arti penting dari proteksi sistem tenaga listrik.

### 2.1.3 Tujuan Instruksional

Setelah mempelajari buku ajar ini mahasiswa diharapkan dapat :

- Mendiskripsikan fungsi Pemutus Tenaga Listrik.
- Menerangkan tujuan dan fungsi Pemutus Tenaga Listrik.
- Mendiskripsikan Jenis-jenis Pemutus Tenaga Listrik
- Menggunakan diagram skematis tentang Pemutus Tenaga Listrik

### 2.1.4 Saran Petunjuk Belajar

Sebelum mempelajari materi ini, kepada mahasiswa perlu memiliki pengetahuan dasar tentang dunia listrik.

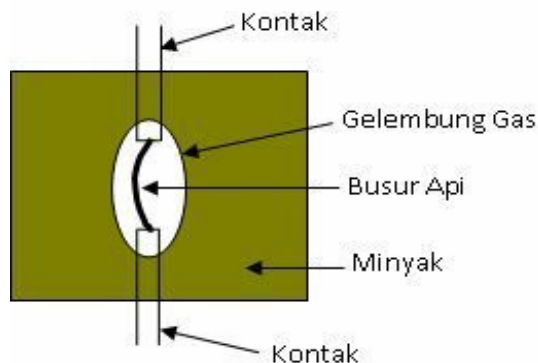
## 2.2 PENYAJIAN

### Jenis-jenis Pemutus Tenaga

Jenis-jenis PMT berdasarkan media insulator dan material dielektriknya, adalah terbagi menjadi empat jenis, yaitu: sakelar PMT minyak, sakelar PMT udara hembus, sakelar PMT vakum dan sakelar dengan gas SF<sub>6</sub>.

#### 2.2.1 Sakelar PMT Minyak

Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 10 kA dan pada rangkaian bertegangan sampai 500 kV. Pada saat kontak dipisahkan, busur api akan terjadi didalam minyak, sehingga minyak menguap dan menimbulkan gelembung gas yang menyelubungi busur api, karena panas yang ditimbulkan busur api, minyak mengalami dekomposisi dan menghasilkan gas hydrogen yang bersifat menghambat produksi pasangan ion. Oleh karena itu, pemadaman busur api tergantung pada pemanjangan dan pendinginan busur api dan juga tergantung pada jenis gas hasil dekomposisi minyak.



**Gambar 2.1** Pemadaman Busur Api pada Pemutus Daya Minyak


Gas yang timbul karena dekomposisi minyak menimbulkan tekanan terhadap minyak, sehingga minyak terdorong ke bawah melalui leher bilik. Di leher bilik, minyak ini melakukan kontak yang intim dengan busur api. Hal ini akan menimbulkan pendinginan busur api, mendorong proses rekombinasi dan menjauhkan partikel bermuatan dari lintasan busur

api. Minyak yang berada diantara kontak sangat efektif memutuskan arus. Kelemahannya adalah minyak mudah terbakar dan kekentalan minyak memperlambat pemisahan kontak, sehingga tidak cocok untuk sistem yang membutuhkan pemutusan arus yang cepat.


**Sakelar PMT minyak terbagi menjadi 2 jenis, yaitu:**

- a. Sakelar PMT dengan banyak menggunakan minyak (*Bulk Oil Circuit Breaker*), pada tipe ini minyak berfungsi sebagai peredam loncatan bunga api listrik selama terjadi pemutusan kontak dan sebagai isolator antara bagian-bagian yang bertegangan dengan badan, jenis PMT ini juga ada yang dilengkapi dengan alat pembatas busur api listrik.
- b. Sakelar PMT dengan sedikit menggunakan minyak (*Low oil Content Circuit Breaker*), pada tipe ini minyak hanya dipergunakan sebagai peredam loncatan bunga api listrik, sedangkan sebagai bahan isolator dari bagian-bagian yang bertegangan digunakan porselen atau material isolasi dari jenis organic.

**Tabel 2.1** Batas-batas Pengusahaan Minyak Pemutus Tenaga

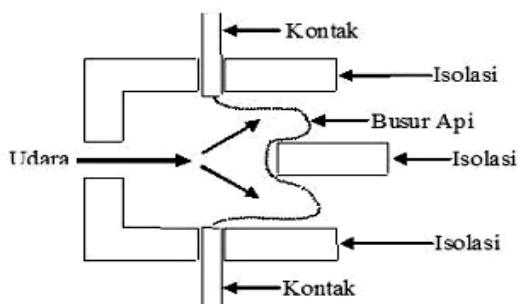
Sifat-sifat dari Minyak Pemutus Tenaga (1)	Minyak Terpakai (2)	Minyak Baru (3)	Tindakan bila kolom 2 dan 3 Tidak Terpenuhi (4)	Standar yang dipakai (5)
kekuatan dielektrik tegangan terbesar untuk tegangan kerja >60 KV 150 KV >150 KV 340 KV	80 kv/cm 110 kv/kv 140 kv/cm 180 kv/kv			
kadar	maks	0,02	0,4	
kadar	maks			
viscosity				

**Tabel 2.1** Batas-batas Pengusahaan Minyak Pemutus Tenaga (Lanjutan)

Sifat-sifat dari Minyak Pemutus Tenaga (1)	Minyak Terpakai (2)	Minyak Baru (3)	Tindakan bila kolom 2 dan 1 Tidak Terpenuhi (4)	Standar yang dipakai (5)
kadar				
Flash pusat				
warna mineral warna				

### 2.2.2 Sakelar PMT Udara Hembus (*Air Blast Circuit Breaker*)

Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 40 kA dan pada rangkaian bertegangan sampai 765 kV. PMT udara hembus dirancang untuk mengatasi kelemahan pada PMT minyak, yaitu dengan membuat media isolator kontak dari bahan yang tidak mudah terbakar dan tidak menghalangi pemisahan kontak, sehingga pemisahan kontak dapat dilaksanakan dalam waktu yang sangat cepat. Saat busur api timbul, udara tekanan tinggi dihembuskan ke busur api melalui nozzle pada kontak pemisah dan ionisasi media diantara kontak dipadamkan oleh hembusan udara tekanan tinggi itu dan juga menyingkirkan partikel-partikel bermuatan dari sela kontak, udara ini juga berfungsi untuk mencegah restriking voltage (tegangan pukul ulang).

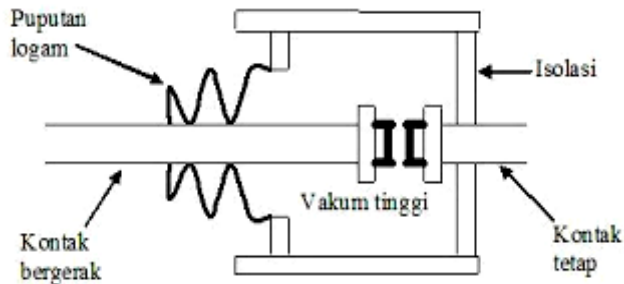


**Gambar 2.2** Pemadaman Busur Api pada Pemutus Daya Udara Hembus

Kontak pemutus ditempatkan didalam isolator, dan juga katup hembusan udara. Pada sakelar PMT kapasitas kecil, isolator ini merupakan satu kesatuan dengan PMT, tetapi untuk kapasitas besar tidak demikian halnya.

### 2.2.3 Sakelar PMT Vakum (*Vacuum Circuit Breaker*)

Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus rangkaian bertegangan sampai 38 kV. Pada PMT vakum, kontak ditempatkan pada suatu bilik vakum. Untuk mencegah udara masuk kedalam bilik, maka bilik ini harus ditutup rapat dan kontak Bergeraknya diikat ketat dengan perapat logam



**Gambar 2.3** Kontak Pemutus Daya Vakum

Jika kontak dibuka, maka pada katoda kontak terjadi emisi termis dan medan tegangan yang tinggi yang memproduksi elektron-elektron bebas. Elektron hasil emisi ini bergerak menuju anoda, elektron-elektron bebas ini tidak bertemu dengan molekul udara sehingga tidak terjadi proses ionisasi. Akibatnya, tidak ada penambahan elektron bebas yang mengawali pembentukan busur api. Dengan kata lain, busur api dapat dipadamkan.


### 2.2.4 Sakelar PMT Gas SF<sub>6</sub> (*SF<sub>6</sub> Circuit Breaker*)

Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 40 kA dan pada rangkaian bertegangan sampai 765 KV. Media gas yang digunakan pada tipe ini adalah gas SF<sub>6</sub> (Sulphur hexafluoride). Sifat gas SF<sub>6</sub> murni adalah tidak berwarna, tidak berbau, tidak beracun dan tidak mudah

terbakar. Pada suhu diatas 150° C, gas SF6 mempunyai sifat tidak merusak metal, plastic dan bermacam bahan yang umumnya digunakan dalam pemutus tenaga tegangan tinggi.

Sebagai isolasi listrik, gas SF6 mempunyai kekuatan dielektrik yang tinggi (2,35 kali udara) dan kekuatan dielektrik ini bertambah dengan pertambahan tekanan. Sifat lain dari gas SF6 ialah mampu mengembalikan kekuatan dielektrik dengan cepat, tidak terjadi karbon selama terjadi busur api dan tidak menimbulkan bunyi pada saat pemutus tenaga menutup atau membuka.

**Tabel 2.** Karakteristik Gas SF6

Uraian	Satuan	Harga	Keterangan
berak maks berat jarak 1 1 2 6			
Berat °O Su			
Berat jarak Tekanan Kandungan - SFS - Carbon - Oksigen - Air - Acatary - Hydro			

Selama pengisian, gas SF<sub>6</sub> akan menjadi dingin jika keluar dari tangki penyimpanan dan akan panas kembali jika dipompakan untuk pengisian kedalam bagian/ruang pemutus tenaga. Oleh karena itu gas SF<sub>6</sub> perlu diadakan pengaturan tekanannya beberapa jam setelah pengisian, pada saat gas SF<sub>6</sub> pada suhu lingkungan.

**Tabel 3.** Batas Tekanan Gas SF<sub>6</sub> pada Pemutus Tenaga, pada suhu 20°C, Tekanan Atmosfir 760 mmHg

Merek PMT	Tekanan GAS SF 6 Sudah Teisi dari Pabrik	Tekanan Normal	Tekanan Gas SF6 PMT pada Pengoperasian	
	Bar	Bar	Bar	Bar
Merlin Gerlin	0,03	6	5,2	5
Delle Alshon	0,203	5,05 + 0,05	4,7	4,58 - 4,62

**Sakelar PMT SF<sub>6</sub> ada 2 tipe, yaitu:**

- a. PMT Tipe Tekanan Tunggal (*Single Pressure Type*), PMT SF<sub>6</sub> tipe ini diisi dengan gas SF<sub>6</sub> dengan tekanan kira-kira 5 Kg/cm<sup>2</sup>. Selama pemisahan kontak-kontak, gas SF<sub>6</sub> ditekan kedalam suatu tabung yang menempel pada kontak bergerak. Pada waktu pemutusan kontak terjadi, gas SF<sub>6</sub> ditekan melalui nozzle dan tiupan ini yang mematikan busur api.
- b. PMT Tipe Tekanan Ganda (*Double Pressure Type*), di mana pada saat ini sudah tidak diproduksi lagi. Pada tipe ini, gas dari sistem tekanan tinggi dialirkan melalui nozzle ke gas sistem tekanan rendah selama pemutusan busur api. Pada sistem gas tekanan tinggi, tekanan gas SF<sub>6</sub> kurang lebih 12 Kg/cm<sup>2</sup> dan pada sistem gas tekanan rendah, tekanan gas SF<sub>6</sub> kurang lebih 2 kg/cm<sup>2</sup>. Gas pada sistem tekanan rendah kemudian dipompakan kembali ke sistem tekanan tinggi.
  - 1) Pengertian CB atau PMT Circuit Breaker atau Pemutus Tenaga (PMT) adalah suatu peralatan pemutus rangkaian listrik pada suatu sistem tenaga listrik, yang mampu untuk membuka dan menutup rangkaian listrik pada semua kondisi, termasuk arus



hubung singkat, sesuai dengan ratingnya. Juga pada kondisi tegangan yang normal ataupun tidak normal. Syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh suatu PMT agar dapat melakukan hal-hal diatas, adalah sebagai berikut

- 2) Mampu menyalurkan arus maksimum sistem secara terus-menerus.
- 3) Mampu memutuskan dan menutup jaringan dalam keadaan berbeban maupun terhubung singkat tanpa menimbulkan kerusakan pada pemutus tenaga itu sendiri.
- 4) Dapat memutuskan arus hubung singkat dengan kecepatan tinggi agar arus hubung singkat tidak sampai merusak peralatan sistem, membuat sistem kehilangan kestabilan, dan merusak pemutus tenaga itu sendiri.

Setiap PMT dirancang sesuai dengan tugas yang akan dipikulnya, ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam rancangan suatu PMT, yaitu:

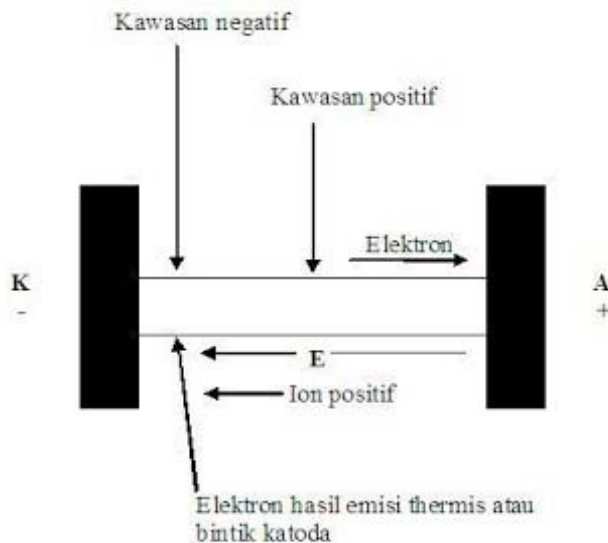
- 1) Tegangan efektif tertinggi dan frekuensi daya jaringan di mana pemutus daya itu akan dipasang. Nilainya tergantung pada jenis pentanahan titik netral sistem.
- 2) Arus maksimum kontinyu yang akan dialirkan melalui pemutus daya. Nilai arus ini tergantung pada arus maksimum sumber daya atau arus nominal beban di mana pemutus daya tersebut terpasang
- 3) Arus hubung singkat maksimum yang akan diputuskan pemutus daya tersebut.
- 4) Lamanya maksimum arus hubung singkat yang boleh berlangsung. Hal ini berhubungan dengan waktu pembukaan kontak yang dibutuhkan.
- 5) Jarak bebas antara bagian yang bertegangan tinggi dengan objek lain disekitarnya.
- 6) Jarak rambat arus bocor pada isolatornya.
- 7) Kekuatan dielektrik media isolator sela kontak.
- 8) Iklim dan ketinggian lokasi penempatan pemutus daya.

Tegangan pengenalan PMT dirancang untuk lokasi yang ketinggiannya maksimum 1000 meter di atas permukaan laut. Jika PMT dipasang pada lokasi yang ketinggiannya lebih dari 1000 meter, maka tegangan operasi maksimum dari PMT tersebut harus dikoreksi dengan faktor yang diberikan pada tabel 4.

**Tabel 4.** Faktor Koreksi antara Tegangan vs Lokasi

Ketinggian (Meter)	Faktor Koreksi
1000	1,00
1212	0,98
1515	0,95
3030	0,80

Pada waktu pemutusan atau penghubungan suatu rangkaian sistem tenaga listrik maka pada PMT akan terjadi busur api, hal tersebut terjadi karena pada saat kontak PMT dipisahkan, beda potensial diantara kontak akan menimbulkan medan elektrik diantara kontak tersebut, seperti ditunjukkan pada gambar 15.



**Gambar 2.4** Pembentukan Busur Api

Arus yang sebelumnya mengalir pada kontak akan memanaskan kontak dan menghasilkan emisi termis pada permukaan kontak. Sedangkan medan elektrik menimbulkan emisi medan tinggi pada kontak katoda (K). Kedua emisi ini menghasilkan elektron bebas yang sangat banyak dan bergerak menuju kontak anoda (A).

Elektron-elektron ini membentur molekul netral media isolasi dikawasan positif, benturan-benturan ini akan menimbulkan proses ionisasi. Dengan demikian, jumlah elektron bebas yang menuju anoda akan semakin bertambah dan muncul ion positif hasil ionisasi yang bergerak menuju katoda, perpindahan elektron bebas ke anoda menimbulkan arus dan memanaskan kontak anoda.

Ion positif yang tiba di kontak katoda akan menimbulkan dua efek yang berbeda. Jika kontak terbuat dari bahan yang titik leburnya tinggi, misalnya tungsten atau karbon, maka ion positif akan menimbulkan pemanasan di katoda. Akibatnya, emisi termis semakin meningkat.

Jika kontak terbuat dari bahan yang titik leburnya rendah, misal tembaga, ion positif akan menimbulkan emisi medan tinggi.

Hasil emisi termis ini dan emisi medan tinggi akan melanggengkan proses ionisasi, sehingga perpindahan muatan antar kontak terus berlangsung dan inilah yang disebut busur api.

Untuk memadamkan busur api tersebut perlu dilakukan usaha-usaha yang dapat menimbulkan proses deionisasi, antara lain dengan cara sebagai berikut:

1. Meniupkan udara ke sela kontak, sehingga partikel-partikel hasil ionisasi dijauhkan dari sela kontak.
2. Menyemburkan minyak isolasi kebusur api untuk memberi peluang yang lebih besar bagi proses rekombinasi.
3. Memotong busur api dengan tabir isolasi atau tabir logam, sehingga memberi peluang yang lebih besar bagi proses rekombinasi.
4. Membuat medium pemisah kontak dari gas elektronegatif, sehingga elektron-elektron bebas tertangkap oleh molekul netral gas tersebut.

Jika pengurangan partikel bermuatan karena proses deionisasi lebih banyak daripada penambahan muatan karena proses ionisasi, maka busur api akan padam. Ketika busur api padam, di sela kontak akan tetap ada terpaan medan elektrik. Jika suatu saat terjadi terpaan medan elektrik yang lebih besar daripada kekuatan dielektrik media isolasi kontak, maka busur api akan terjadi lagi.

### **Cara Kerja PMT**

Pada semua kondisi, yaitu pada kondisi normal ataupun gangguan. Secara singkat tugas pokok pemutus tenaga adalah:

- Keadaan normal, membuka/menutup rangkaian listrik.
- Keadaan tidak normal, dengan bantuan relay, PMT dapat membuka sehingga gangguan dapat dihilangkan.

Seiring dengan pesatnya perkembangan teknologi dalam bidang kelistrikan, dewasa ini dipasang sebuah alat bernama pemutus tenaga (PMT) di setiap gardu induk. PMT adalah saklar yang dapat digunakan untuk menghubungkan atau memutuskan arus/daya listrik sesuai rantingnya jika terdapat gangguan pada gardu induk atau alat transmisi lainnya, PMT digunakan untuk memutuskan hubungan secara otomatis.

Salah satu jenis PMT yang ada sekarang ini adalah dengan menggunakan media gas SF<sub>6</sub> (Sulphur Hexafluoride). Keuntungan dari PMT dengan media gas SF<sub>6</sub> adalah sifat-sifat gas SF<sub>6</sub> murni yang tidak berwarna, tidak berbau, tidak beracun dan tidak mudah terbakar dan pada temperatur 150<sup>o</sup> C gas SF<sub>6</sub> mempunyai sifat tidak merusak metal, plastik dan bermacam-macam bahan yang umumnya digunakan dalam pemutus tegangan tinggi, sebagai isolasi listrik, gas SF<sub>6</sub> mempunyai kekuatan dielektrik yang tinggi (2 <sup>1</sup>/<sub>2</sub> - 3 kali dari udara) dan kekuatan dielektrik ini bertambah dengan penambahan tekanan.

Dengan adanya alat ini, diharapkan kita dapat mewujudkan sistem tenaga listrik yang lebih terjamin dalam hal keamanan dan keandalan sehingga tidak membahayakan manusia dan lingkungannya.

### **Klasifikasi *Circuit Breaker***

Jenis-jenis PMT berdasarkan media insulator dan material dielektriknya, adalah terbagi menjadi empat jenis, yaitu: sakelar PMT minyak, sakelar PMT udara hembus, sakelar PMT vakum dan sakelar dengan gas SF<sub>6</sub>.

## **2.3 PENUTUP**

### **2.3.1 Rangkuman**

Jenis-jenis PMT berdasarkan media insulator dan material dielektriknya, adalah terbagi menjadi empat jenis, yaitu: sakelar PMT minyak, sakelar PMT udara hembus, sakelar PMT vakum dan sakelar dengan gas SF<sub>6</sub>.

**Sakelar PMT minyak terbagi menjadi 2 jenis, yaitu:**

1. Sakelar PMT dengan banyak menggunakan minyak (*Bulk Oil Circuit Breaker*), pada tipe ini minyak berfungsi sebagai peredam loncatan bunga api listrik selama terjadi pemutusan kontak dan sebagai isolator antara bagian-bagian yang bertegangan dengan badan, jenis PMT ini juga ada yang dilengkapi dengan alat pembatas busur api listrik.
2. Sakelar PMT dengan sedikit menggunakan minyak (*Low oil Content Circuit Breaker*), pada tipe ini minyak hanya dipergunakan sebagai peredam loncatan bunga api listrik, sedangkan sebagai bahan isolator dari bagian-bagian yang bertegangan digunakan porselen atau material isolasi dari jenis organik.

### **Sakelar PMT Udara Hembus (*Air Blast Circuit Breaker*)**

Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 40 kA dan pada rangkaian bertegangan sampai 765 kV. PMT udara hembus dirancang untuk mengatasi kelemahan pada PMT minyak, yaitu dengan membuat media isolator kontak dari bahan yang tidak mudah terbakar dan tidak menghalangi pemisahan kontak, sehingga pemisahan kontak dapat dilaksanakan dalam waktu yang sangat cepat. Saat busur api timbul, udara tekanan tinggi dihembuskan ke busur api melalui nozzle pada kontak pemisah dan ionisasi media diantara kontak dipadamkan oleh hembusan udara tekanan tinggi itu dan juga menyingkirkan partikel-partikel

bermuatan dari sela kontak, udara ini juga berfungsi untuk mencegah *restriking voltage* (tegangan pukul ulang).

### **Sakelar PMT vakum (*Vacuum Circuit Breaker*)**

Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus rangkaian bertegangan sampai 38 kV. Pada PMT vakum, kontak ditempatkan pada suatu bilik vakum. Untuk mencegah udara masuk kedalam bilik, maka bilik ini harus ditutup rapat dan kontak Bergeraknya diikat ketat dengan perapat logam.

### **Sakelar PMT Gas SF6 (*SF6 Circuit Breaker*)**

Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 40 kA dan pada rangkaian bertegangan sampai 765 kV. Media gas yang digunakan pada tipe ini adalah gas SF6 (Sulphur hexafluoride). Sifat gas SF6 murni adalah tidak berwarna, tidak berbau, tidak beracun dan tidak mudah terbakar. Pada suhu diatas 150° C, gas SF6 mempunyai sifat tidak merusak metal, plastic dan bermacam bahan yang umumnya digunakan dalam pemutus tenaga tegangan tinggi.

Sakelar PMT SF6 ada 2 tipe, yaitu:

1. PMT Tipe Tekanan Tunggal (*Single Pressure Type*),
2. PMT Tipe Tekanan Ganda (*Double Pressure Type*),

Syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh suatu PMT agar dapat melakukan hal-hal di atas, adalah sebagai berikut:

1. Mampu menyalurkan arus maksimum sistem secara terus-menerus.
2. Mampu memutuskan dan menutup jaringan dalam keadaan berbeban maupun terhubung singkat tanpa menimbulkan kerusakan pada pemutus tenaga itu sendiri.
3. Dapat memutuskan arus hubung singkat dengan kecepatan tinggi agar arus hubung singkat tidak sampai merusak peralatan sistem, membuat sistem kehilangan kestabilan, dan merusak pemutus tenaga itu sendiri.

Setiap PMT dirancang sesuai dengan tugas yang akan dipikulnya, ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam rancangan suatu PMT, yaitu:

1. Tegangan efektif tertinggi dan frekuensi daya jaringan di mana pemutus daya itu akan dipasang. Nilainya tergantung pada jenis pentanahan titik netral sistem.
2. Arus maksimum kontinyu yang akan dialirkan melalui pemutus daya. Nilai arus ini tergantung pada arus maksimum sumber daya atau arus nominal beban di mana pemutus daya tersebut terpasang
3. Arus hubung singkat maksimum yang akan diputuskan pemutus daya tersebut.
4. Lamanya maksimum arus hubung singkat yang boleh berlangsung. hal ini berhubungan dengan waktu pembukaan kontak yang dibutuhkan.
5. Jarak bebas antara bagian yang bertegangan tinggi dengan objek lain di sekitarnya.
6. Jarak rambat arus bocor pada isolatornya.
7. Kekuatan dielektrik media isolator sela kontak.
8. Iklim dan ketinggian lokasi penempatan pemutus daya.

### **Cara kerja PMT**

Pada semua kondisi, yaitu pada kondisi normal ataupun gangguan. Secara singkat tugas pokok pemutus tenaga adalah :

- Keadaan normal, membuka/menutup rangkaian listrik.
- Keadaan tidak normal, dengan bantuan relay, PMT dapat membuka sehingga gangguan dapat dihilangkan.

### **Klasifikasi *Circuit Breaker***

Jenis-jenis PMT berdasarkan media insulator dan material dielektriknya, adalah terbagi menjadi empat jenis, yaitu: sakelar PMT minyak, sakelar PMT udara hembus, sakelar PMT vakum dan sakelar dengan gas SF<sub>6</sub>

### **2.3.2 Tes Formatif**

Setelah mempelajari materi di atas jawablah pertanyaan pertanyaan berikut ini :

1. Sebutkan Jenis-jenis PMT berdasarkan media insulator dan material dielektriknya!

2. Sebutkan 2 tipe Sakelar PMT SF6!
3. Jelaskan cara kerja PMT!
4. Jelaskan cara-cara memadamkan busur api dengan proses deionisasi!

### **Kunci Jawaban Tes Formatif**

#### **Kunci Jawaban No. 1**

Jenis-jenis PMT berdasarkan media insulator dan material dielektriknya, adalah terbagi menjadi empat jenis, yaitu: sakelar PMT minyak, sakelar PMT udara hembus, sakelar PMT vakum dan sakelar dengan gas SF6.

#### **Kunci Jawaban No.2**

Sakelar PMT SF6 ada 2 tipe, yaitu:

1. PMT Tipe Tekanan Tunggal (*Single Pressure Type*),
2. PMT Tipe Tekanan Ganda (*Double Pressure Type*),

#### **Kunci Jawaban No.3**

Cara kerja PMT

Pada semua kondisi, yaitu pada kondisi normal ataupun gangguan. Secara singkat tugas pokok pemutus tenaga adalah :

- Keadaan normal, membuka/menutup rangkaian listrik.
- Keadaan tidak normal, dengan bantuan relay, PMT dapat membuka sehingga gangguan dapat dihilangkan.

#### **Kunci Jawaban No.4**

Untuk memadamkan busur api tersebut perlu dilakukan usaha-usaha yang dapat menimbulkan proses deionisasi, antara lain dengan cara sebagai berikut:

1. Meniupkan udara ke sela kontak, sehingga partikel-partikel hasil ionisasi dijauhkan dari sela kontak.
2. Menyemburkan minyak isolasi kebusur api untuk memberi peluang yang lebih besar bagi proses rekombinasi.
3. Memotong busur api dengan tabir isolasi atau tabir logam, sehingga memberi peluang yang lebih besar bagi proses rekombinasi.



4. Membuat medium pemisah kontak dari gas elektronegatif, sehingga elektron-elektron bebas tertangkap oleh molekul netral gas tersebut.

Jika pengurangan partikel bermuatan karena proses deionisasi lebih banyak daripada penambahan muatan karena proses ionisasi, maka busur api akan padam. Ketika busur api padam, di sela kontak akan tetap ada terpaan medan elektrik. Jika suatu saat terjadi terpaan medan elektrik yang lebih besar daripada kekuatan dielektrik media isolasi kontak, maka busur api akan terjadi lagi.

-oo0oo-



## **BAB 3**

---

# **PROTEKSI MOTOR**

### **3.1 PENDAHULUAN**

#### **Maksud dan Tujuan**

**F**aktor-faktor yang membahayakan motor listrik berasal dari komponen bergerak (rotor), jaringan suplai dan keadaan lingkungan. Supaya tidak terjadi kerusakan perlu sistem yang mampu mengontrol penggunaan komponen-komponen dan energi input sesuai yang dibutuhkan motor. Motor listrik perlu dilengkapi dengan sistem perlindungan. Perlindungan motor listrik berfungsi mencegah timbulnya gangguan terhadap motor dan komponennya. Istilah perlindungan dalam dunia industri dan sistem kelistrikan disebut proteksi. Proteksi mempunyai arti perlindungan diri dari kerugian dan keadaan berbahaya.

Beberapa alasan penting mengapa kerugian motor listrik harus diproteksi, antaranya seperti yang disebutkan oleh Fitzgeraid dkk (1997:191):Pertimbangan terhadap rugi-rugi motor listrik merupakan hal yang penting berdasarkan ketiga alasan berikut:

1. Rugi-rugi menentukan efisiensi motor dan cukup berpengaruh terhadap biaya pemakaiannya;

2. Rugi-rugi menentukan pemanasan motor sehingga menentukan pula keluaran daya atau ukuran yang diperbolehkan tanpa mempercepat keausan;
3. Rugi-rugi mempengaruhi daya tahan motor

Bila motor listrik tidak diproteksi maka tidak nyaman dan tidak aman digunakan. Motor listrik yang rusak harus diperbaiki dan membutuhkan biaya, semakin sering rusak semakin sering mengeluarkan biaya, ini sangat merugikan pemiliknya.

Selama perbaikan akan mengalami kerugian waktu akibat tidak bisa bekerja dengan motor listrik. Secara langsung kerusakan peralatan motor listrik akan mengganggu ekonomi masyarakat. Motor listrik dapat juga menimbulkan bahaya kebakaran. Penggunaan tanpa kendali mengakibatkan panas yang berlebihan dan motor terbakar.

Kebakaran motor dapat menjalar ketempat lain melalui jaringan listrik, tanpa pengamanan akan menyebabkan kebakaran rumah dan lingkungan sekitarnya. Selain itu tanpa proteksi motor listrik juga dapat menimbulkan kebisingan dari bunyi yang dihasilkannya. Untuk mengatasi masalah ini dibutuhkan proteksi yang mampu memberikan kenyamanan dan keamanan dalam menggunakan motor listrik.

**Dalam bab ini yang menjadi tujuan pembelajaran adalah :**

1. Membuat pemodelan variabel keadaan;
2. Mengidentifikasi diagram-diagram simulasi suatu sistem;
3. Merumuskan solusi persamaan keadaan;
4. Membentuk persamaan fungsi transfer.

### **3.1.1 Deskripsi Singkat**

Manusia merupakan salah satu makhluk Tuhan yang mempunyai kapasitas lebih dibandingkan dengan makhluk yang lain. Sebagai contoh dalam pekerjaannya, manusia selalu mencari berbagai kemudahan dalam menyelesaikan berbagai aktivitas, Seperti menggunakan alat-alat listrik dalam kehidupan sehari-hari. Alat-alat listrik yang dapat digunakan misalnya motor listrik.

Dewasa ini banyak sekali peralatan dalam kehidupan sehari-hari yang menggunakan motor listrik. Motor listrik didefinisikan sebagai, "Alat yang mengkonversi energi listrik menjadi energi gerak. Perubahan tenaga elektromagnetik terjadi pada saat adanya arus yang melewati kawat penghantar dalam medan magnet". (Fitzgeraid dkk.1997:123)

Gerak motor listrik dimanfaatkan untuk memudahkan pekerjaan manusia. Motor listrik merupakan perangkat elektromagnetis yang menghasilkan energi mekanik. Energi mekanik digunakan untuk memutar berbagai peralatan seperti impeller pompa, fan atau blower, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan material berat dan lain-lain.

Motor listrik digunakan juga di dalam rumah tangga seperti pada mixer, bor listrik dan kipas angin. Motor listrik disebut juga "kuda kerja industri" karena sekitar 70% beban listrik total di industri di gunakan untuk motor-motor listrik. (Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia. Online [www. Energy efficien cyasia.org](http://www.energyefficiencyasia.org)) Motor listrik ada menggunakan arus bolak balik atau disebut arus AC (Alternative Current) dan ada yang menggunakan arus searah atau disebut arus DC (Direct current).

Kedua jenis motor ini memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Penggunaan motor listrik baik arus searah maupun arus bolak-balik tergantung pada tempat dan kebutuhan, sehingga motor listrik dapat dimanfaatkan secara efektif.

Motor listrik AC atau DC yang dirancang sedemikian rupa selalu dilengkapi dengan sistem perlindungan. Apabila tidak dilengkapi sistem perlindungan, maka motor listrik akan cepat rusak. Kerusakan yang terjadi sangat rugi dan berbahaya bagi pemakai ataupun lingkungannya. Motor listrik dapat terbakar karena terjadi hubungan pendek yang menyebabkan terbakarnya isolasi kabel.

Jika terlambat mematikan motor maka mengakibatkan rotor hangus dan tidak dapat digunakan lagi. Pemakaian yang melebihi beban menyebabkan panas yang tinggi, sehingga terjadi kemacetan putar akibat pemuaiian komponen motor yang berputar.

### 3.1.2 Manfaat Relevansi

Dengan mengetahui dan memahami materi ini diharapkan dapat diketahui arti penting keamanan listrik dan arti penting dari proteksi motor.

### 3.1.3 Tujuan Instruksional

Setelah mempelajari buku ajar ini mahasiswa diharapkan dapat :

- Menjelaskan pengertian proteksi motor
- Menjelaskan cara kerja proteksi motor
- Menjelaskan komponen – komponen proteksi motor

### 3.1.4 Saran Petunjuk Belajar

Sebelum mempelajari materi ini , kepada mahasiswa perlu memahami materi pada bab sebelumnya.

## 3.2 PENYAJIAN

### 3.2.1 Pengertian Motor Listrik

Motor listrik ialah alat berupa mesin yang bergerak menggunakan energi listrik. Motor listrik merupakan seperangkat elektromekanis yang mengubah energi listrik menjadi energi putar. Motor listrik digunakan sebagai sumber penggerak berbagai macam alat yang digunakan dalam kehidupan manusia. Desain motor listrik berupa lingkaran atau silinder dari logam campuran aluminium sebagai bodi motor.

Bagian dalamnya berupa gulungan kawat yang terikat pada poros utama. Gulungan kawat ini diletakkan di dalam medan magnet. Gulungan kawat yang dialiri arus di dalam medan magnet inilah yang menyebabkan terjadinya putaran pada poros utama. Lebih jelasnya akan dijelaskan pada bagian prinsip kerja motor listrik.



Sumber: .....

**Gambar 3.1** Motor Listrik DC

Motor listrik bermula dari karya fisikawan abad ke-19 yang menunjukkan bahwa listrik dan magnetisme adalah dua gaya yang benar-benar sama. Seorang fisikawan Denmark, Hans Christian Oersted (1777-1851), menemukan bahwa arus listrik bisa menghasilkan medan magnet. Andre-Marie Ampere (1775-1836), Fisikawan Prancis, memecahkan teori matematis yang menjelaskan bagaimana arus listrik menghasilkan medan magnet. Satuan arus listrik, Ampere diambil dari namanya. Selanjutnya Fisikawan dan Kimiawan Inggris yang belajar secara otodidak, Michael Faraday (1791-1867) membuktikan bahwa ketika medan magnet berbeda kekuatannya, medan magnet itu bisa menghasilkan listrik.

Motor listrik dikembangkan setelah dua ilmuwan membuat elektromagnet pertama yang bekerja secara praktis. Mereka adalah Joseph Henry (1797-1878) dari Amerika Serikat dan William Sturgeon (1783-1850) dari Inggris Raya. Sturgeon adalah orang yang menciptakan motor listrik pertama, pada tahun 1832.

Kunci penciptaan motor oleh Sturgeon adalah alat yang disebut komutator, yang membalik arus listrik yang dipasokkan elektromagnet secara terus-menerus. Kebanyakan motor listrik yang digunakan saat ini masih berdasarkan pada rancangan asli Sturgeon (Chris Woodford, 2006:39).

Seiring perkembangan teknologi motor listrik telah digunakan dalam berbagai bidang seperti bidang industri, ekonomi, pertanian, dan perikanan. Selain itu motor listrik juga digunakan pada peralatan rumah tangga. Contoh alat yang menggunakan motor listrik adalah kipas angin, pompa air, bor listrik, dan lain lain. Sekarang ini hampir 70 % tenaga manusia dibantu oleh motor listrik.

Berdasarkan sumber arus yang digunakan motor dibagi menjadi dua jenis yaitu motorlistrik arus searah (DC) dan motorlistrik arus bolak balik (AC). Baik motor AC maupun DC mempunyai karakteristik tersendiri yang menjadi pedoman kita dalam menggunakannya. Perbedaan karakteristik motor AC dan DC diantaranya seperti disebutkan Fitzgerald. A.E dkk (1997:123), sebagai berikut:

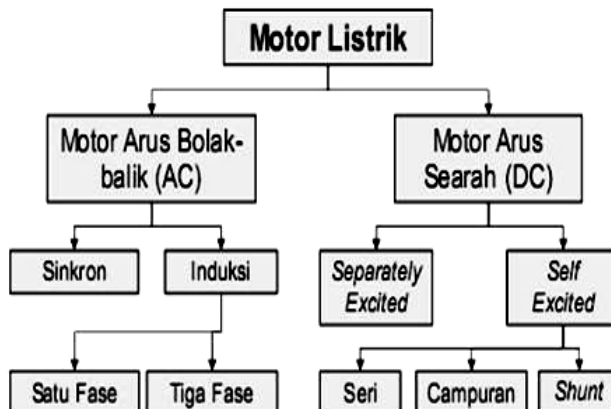
#### Karakteristik motor AC

1. Harga lebih murah
2. Pemeliharaannya lebih mudah
3. Banyak bentuk display untuk berbagai lingkungan pengoperasiannya
4. Kemampuan untuk bertahan pada lingkungan yang keras
5. Secara fisik lebih kecil dibandingkan dengan motor DC untuk HP yang sama.
6. Biaya perbaikan lebih murah.
7. Kemampuan berputar pada kecepatan di atas ukuran kecepatan kerja yang tertera nameplate

#### Karakteristik motor DC

1. Torsi tinggi pada kecepatan rendah.
2. Pengaturan kecepatan bagus pada seluruh rentang (tidak ada *low-end cogging*)
3. Kemampuan mengatasi beban-lebih lebih baik.
4. Lebih mahal dibandingkan motor AC.
5. Secara fisik lebih besar dibandingkan dengan motor AC untuk HP yang sama.
6. Pemeliharaan dan perbaikan yang diperlukan lebih rutin.





**Gambar 3.2** *Klasifikasi Jenis Utama Motor Listrik*

Adapun keistimewaan umum yang dimiliki motor AC adalah medan magnet yang diatur dengan lilitan stator. Kecepatan medan magnet putar tergantung pada jumlah kutub stator dan frekuensi sumberdaya. Kecepatan ini disebut kecepatan sinkron, dan dapat ditentukan dengan rumus matematis: (Zuhal, 1991: 66)

Di mana :

- nS = kecepatan sinkron dalam rpm
- f = frekuensi sumberdaya dalam Hz
- P = jumlah kutub

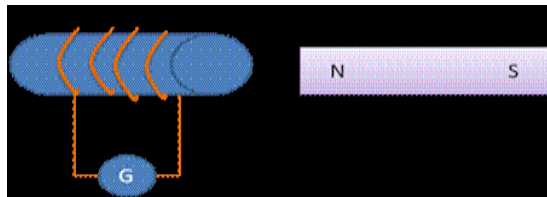
Motor listrik arus bolak-balik diklasifikasikan dengan dasar prinsip pengoperasian sebagai motor induksi atau motor sinkron. Motor induksi AC adalah motor yang paling sering digunakan karena motor ini relative sederhana dan dapat dibuat dengan lebih murah dibandingkan dengan yang lain.

Motor induksi dapat dibuat baik untuk jenis tiga fase maupun satu fase, karena pada motor induksi tidak ada tegangan eksternal yang diberikan pada rotornya. Sebagai penggantinya, arus AC pada stator menginduksikan tegangan pada celah udara dan pada lilitan rotor untuk menghasilkan arus rotor dan medan magnet. Medan magnet stator dan rotor kemudian berinteraksi dan menyebabkan rotor berputar.

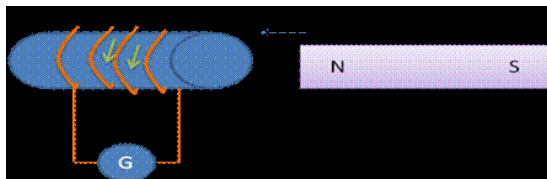
### 3.2.2 Prinsip Konversi Energi Elektromekanis

Motor listrik bekerja memanfaatkan gejala elektromagnetik. Gejala elektromagnetik ini akan dapat teramati bila medan magnet didekatkan dengan kumparan kawat. Gejala yang terjadi akibat medan magnet disekitar kumparan kawat disebut induksi elektromagnetik. Menurut Owen Bishop (2004: 45) bahwa:

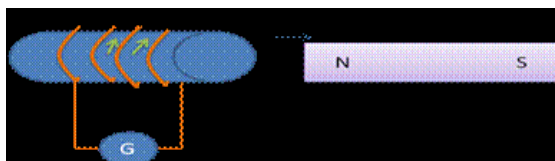
Sebuah magnet batangan yang digerakkan masuk ke dalam kumparan menginduksikan arus pada kumparan. Arus akan mengalir dan beda tegangan akan dihasilkan hanya ketika magnet berada dalam keadaan bergerak. Apabila magnet dibiarkan diam maka arus akan berhenti. Ketika magnet dikeluarkan dari kumparan maka arus akan mengalir ke arah yang berlawanan. Untuk memudahkan memahami prinsip elektromagnetik perhatikan gambar 18 dibawah ini.



a). Magnet Diam



(b). Magnet ke kiri



(c). Magnet bergerak ke kanan

**Gambar 3.3** Pengaruh Medan Magnet dalam Kumparan Kawat

**Dari gambar 18 kita perhatikan bahwa:**

- a. Magnet diam dan arus dalam kumparan tidak mengalir atau  $i=0$ .
- b. Magnet bergerak ke arah kiri dan arus dalam kumparan mengalir atau  $i \neq 0$ .
- c. Magnet bergerak ke kanan dan arus dalam kumparan mengalir  $i \neq 0$  namun berlawanan arah.

Penjelasan ini sangat sesuai dengan teori yang dikemukakan oleh Daryanto dalam bukunya Pengetahuan Teknik Elektronika.

**Menurut Daryanto (2005: 107) bahwa:**

Kita dapat membuat listrik dengan menggunakan medan magnet. Dengan magnet permanen di dalam kumparan kita dapat membangkitkan arus listrik.

Dengan mengubah arus di dalam kumparan A, pada kumparan B kita dapat mengalirkan tegangan yang berubah-ubah. Hal itu disebabkan oleh perubahan medan magnet. Jika kita berhenti mengubah arus pada kumparan A, tegangan pada B akan berhenti juga. Lebih lanjut Daryanto menjelaskan bahwa di dalam medan magnet yang disebabkan oleh arus besarnya kekuatan disebabkan oleh:

- Besarnya arus yang mengalir melalui kawat penghantar.
- Jarak antara kawat dan kutub magnet.
- Jumlah kemagnetan yang terpusat di kutub-kutub magnet.

Dari kutipan di atas dapat kita pahami bahwa kekuatan medan magnet pada suatu titik, misalkan titik P dibentuk oleh besarnya arus yang melalui kawat dan besarnya jarak yang memisahkan antara titik P dengan kawat tersebut.

Maka dapat kita simpulkan, makin besar kekuatan arus, makin besar pula medan magnetnya. Makin kecil jarak antara kawat dan titik P juga menyebabkan makin besar medan magnet di titik P.

**Menurut Owen Bishop (2004:44) mengatakan:**

Ketika arus mengalir dalam sebuah kawat, sebuah medan magnet akan terbentuk di sekeliling kawat. Apabila kawat di gulung dan di bentuk

menjadi sebuah kumparan, medan magnet yang dihasilkan akan menyerupai medan magnet dari magnet batangan.

Medan magnet direpresentasikan oleh garis-garis gaya yang mengindikasikan arah medan di dalam dan di sekitar kumparan.

Motor listrik mengkonversi energi elektromekanik yaitu energi listrik dirubah menjadi energi mekanik (gerak). Perubahan ini terjadi akibat adanya dua kutub magnet yang menghasilkan medan magnet, selanjutnya kumparan kawat di tempatkan di dalam medan magnet tersebut.

Ketika kumparan kawat ini dialiri arus listrik menyebabkan terjadinya gaya torsi yang berlawanan pada dua arah kutub magnet sehingga menimbulkan gaya gerak pada jangkar motor listrik.

Selama arus listrik masih terus dialirkan dalam kumparan kawat, selama itu pula jangkar motor akan terus berputar. Putaran jangkar selanjutnya diteruskan melalui poros utama yang terhubung langsung dengan jangkar motor. Putaran poros inilah yang dimanfaatkan sebagai kerja motor, disebut sebagai kerja elektromekanik.

Konversi energi baik dari energi listrik menjadi energi mekanik (motor), maupun sebaliknya dari energi mekanik menjadi energi listrik (generator) terjadi melalui medium magnet.

Energi sebelum diubah kebentuk lain disimpan sementara dalam medium magnet, kemudian dilepaskan kebentuk energi lain. Selain itu magnet juga berfungsi sebagai medium untuk mengkopel proses perubahan energi. Sketsa perubahan energi dapat kita lihat pada gambar berikut.



**Gambar 3.4** Proses Perubahan Energi Listrik Menjadi Energi Mekanik

Berdasarkan hukum kekekalan energi, proses konversi energi elektro-mekanik dapat kita nyatakan sebagai berikut:

Atau setelah kita jumlahkan dengan kerugiannya dapat kita kelompokkan menjadi:

**Dalam bentuk differensial dapat kita tulis**

$$dWE = dWM = dWF$$

Energi yang sementara disimpan dalam medan magnet akan dilepaskan menjadi sistem lain, secara matematis dapat kita tuliskan dalam bentuk persamaan differensial:

$$dwE = dWM + dWE \text{ (untuk aksi motor)}$$

Persamaan di atas berlaku ketika proses konversi sedang berlangsung (transien atau dinamis), jika sedang dalam keadaan tunak, dimana fluks sedang merupakan harga konstan, maka berlaku:

$$dWF = 0$$

$$dWE = dWM \text{ (Zuhal, 1991:57)}$$

### 3.2.3 Komponen-Kompenen Motor Listrik

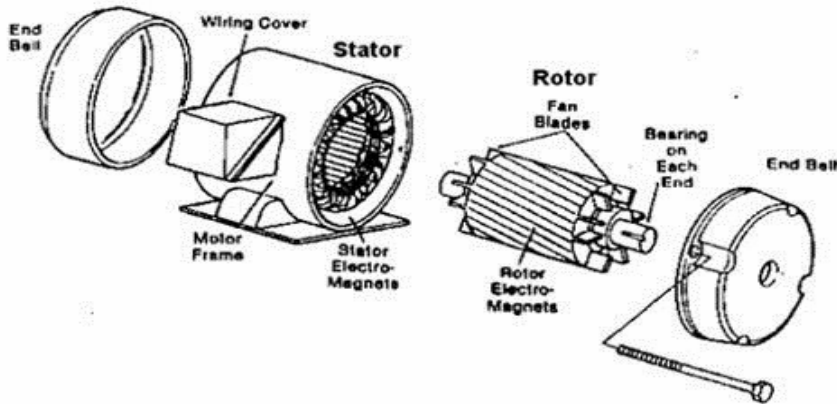
Motor listrik merupakan seperangkat kombinasi yang terdiri dari berbagai jenis komponen, sehingga membentuk sistem kerja yang teratur. Semua komponen diatur sedemikian rupa sehingga bekerja sesuai dengan fungsi masing-masing. Jika salah satu komponen terganggu atau tidak berfungsi maka seluruh komponen lain ikut terganggu sehingga motor tidak bekerja secara normal.

Zuhal (1991:64/91) menyebutkan, bahwa komponen-komponen motor listrik secara umum terdiri dari:

1. Poros utama yang dilengkapi lubang motor, komutator dan air fan.
2. Jangkar
3. Holder sikat, pegas dan sikat karbon.
4. Koil medan dan koil stator
5. Frame motor

Komponen-komponen motor listrik ini tidak mutlak seperti tersebut di atas, melainkan dapat berubah sesuai jenis motor listrik, kecuali

perangkat utamanya. Lebih jelasnya kita dapat melihat komponen-komponen utama tersebut berdasarkan gambar berikut:



**Gambar 3.5** Motor Induksi

Motor induksi memiliki dua komponen listrik utama (Gambar 20):

Ø Rotor. Motor induksi menggunakan dua jenis rotor:

- Rotor kandang tupai terdiri dari batang penghantar tebal yang dilekatkan dalam petak-petak slots paralel. Batang-batang tersebut diberi hubungan pendek pada kedua ujungnya dengan alat cincin hubungan pendek.
- Lingkaran rotor yang memiliki gulungan tiga fase, lapisan ganda dan terdistribusi. Dibuat melingkar sebanyak kutub stator. Tiga fase digulungi kawat pada bagian Peralatan Energi Listrik: Motor Listrik dalamnya dan ujung yang lainnya dihubungkan ke cincin kecil yang dipasang pada batang as dengan sikat yang menempel padanya.

Ø Stator. Stator dibuat dari sejumlah stampings dengan slots untuk membawa gulungan tiga fase. Gulungan ini dilingkarkan untuk sejumlah kutub yang tertentu. Gulungan diberi spasi geometri sebesar 120 derajat.

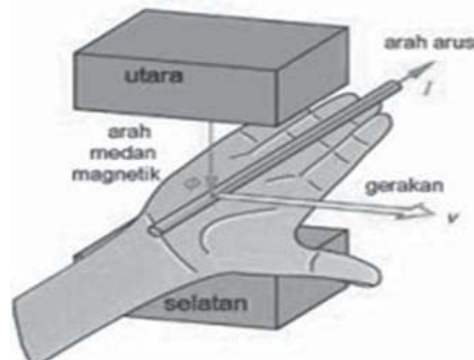
### **Prinsip Kerja Motor Listrik**

Seperti telah penulis sebutkan sebelumnya bahwa jarum magnet kompas biasanya dapat beringsut jika arus listrik dialirkan dalam kawat yang tidak

berjauhan dengannya. Dan jika magnet yang kita stasionerkan, maka yang bergerak justru kawatnya. Atas dasar ini, dapat diciptakan suatu sistem dimana kawat akan terus-menerus berputar berdekatan dengan magnet sepanjang arus listrik terus dialirkan dalam kawat.

Menurut Owen Bishop (2004:47) Menyatakan:

Ketika tegangan di berikan ketterminal-terminal rangkaian motor, arus mengalir melewati sikat bagian atas ke komutator, melewati kumparan menuju ke lempeng setengah-cincin komutator lainnya dan akhirnya kembali ke sikat bagian bawah. Arus mengalir menjauhi komutator pada bagian atas kumparan. Merujuk ke aturan Tangan-kiri Fleming, bagian atas kumparan akan terdorong oleh gaya yang kemudian menggerakkannya ke arah kanan. Menerapkan aturan yang sama terhadap bagian bawah kumparan, dimana arus mengalir menuju komutator, bagian bawah kumparan terdorong ke arah kiri. Kedua gaya ini menyebabkan kumparan berputar pada arah yang sama dengan arah jarum jam.



**Gambar 3.6** Kaidah Tangan Kiri Fleming

Secara sederhana dapat kita katakan motor listrik menggunakan energi listrik dan energi magnet untuk menghasilkan energi mekanis. Motor listrik bekerja dengan prinsip bahwa dua kutub magnet dapat dibuat berinteraksi untuk menghasilkan gaya yang menggerakkan (torsi).

Mekanisme kerja untuk seluruh jenis motor listrik secara umum sama (Gambar 3.6) dapat kita nyatakan dalam bentuk sistematsinya :

1. Arus listrik dalam medan magnet akan memberikan gaya.
2. Jika kawat yang membawa arus dibengkokkan menjadi sebuah lingkaran/loop, maka kedua sisi loop, yaitu pada sudut kanan medan magnet, akan mendapatkan gaya pada arah yang berlawanan.
3. Pasangan gaya menghasilkan tenaga putar/ torsi untuk memutar kumparan.
4. Motor-motor memiliki beberapa loop pada dinamanya untuk memberikan tenaga putaran yang lebih seragam dan medan magnetnya dihasilkan oleh susunan elektromagnetik yang disebut kumparan medan.

Prinsip dasar kerja motor listrik secara matematis adalah:

$$F = il \times B$$

- F = gaya  
 L = panjang kawat  
 I = arus yang mengalir di kawat l  
 B = fluks medan magnet

### 3.2.4 Poteksi Motor Listrik

Proteksi secara bahasa di artikan sebagai pelindung atau pengaman. Secara luas proteksi diartikan sebagai pengamanan atau perlindungan suatu sistem tertentu untuk mencegah terjadinya hal-hal yang tidak di harapkan atau bahkan merugikan sistem tersebut. Disini penulis akan membahas proteksi yang diterapkan pada sistem motor listrik, di harapkan dapat mencegah terjadinya kerusakan. Walaupun resiko kerusakan ini tidak mampu kita cegah secara ideal, setidaknya mampu meminimalisir resiko kerusakan tersebut.

Dunia internasional telah memberikan Kode International Protection untuk peralatan listrik. Peralatan listrik pada name plate tertera simbol yang berhubungan dengan tindakan pengamanan (Gambar 25). Klas I memberikan keterangan bahwa badan alat harus dihubungkan dengan pentanahan. Klas II menunjukkan alat dirancang dengan isolasi ganda dan aman dari tegangan sentuh. Klas III peralatan listrik yang menggunakan tegangan rendah yang aman, contoh mainan anak-anak.



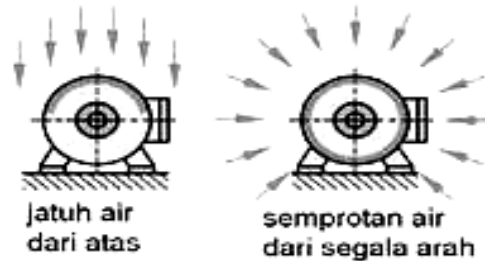
Motor listrik bahkan dirancang oleh pabriknya dengan kemampuan tahan terhadap siraman air langsung (Gambar 26). Motor listrik jenis ini tepat digunakan di luar bangunan tanpa alat pelindung dan tetap bekerja normal dan tidak berpengaruh pada kinerjanya. Name plate motor dengan IP 54, yang menyatakan proteksi atas masuknya debu dan tahan masuknya air dari arah vertikal maupun horizontal. Ada motor listrik dengan proteksi ketahanan masuknya air dari arah vertikal saja (Gambar 27a), sehingga cairan arah dari samping tidak terlindungi. Tapi juga ada yang memiliki proteksi secara menyeluruh dari segala arah cairan (Gambar 27b). Perbedaan rancangan ini harus diketahui oleh teknisi dan operator karena berpengaruh pada ketahanan dan umur teknik motor, di samping harganya juga berbeda. (pdf Sistem Pengamanan Bahaya Listrik, 2005:296)

klas proteksi	simbol	pemakaian
I		konduktor pengaman ke ground contoh body motor .
II		isolator proteksi ganda contoh mesin bor tangan
III		tegangan rendah contoh mainan anak2

**Gambar 3.7** Simbol Pengamanan pada Nameplate



**Gambar 3.8** Motor Listrik Tahan dari Siraman Air



**Gambar 3.9** Motor Listrik Tahan Siraman Air Vertikal dan Segala Arah

Ada beberapa hal yang harus dilindungi agar motor listrik tidak cepat rusak. Pertama, perlindungan fisik motor secara keseluruhan dari lingkungan sekitarnya. Kedua perlindungan mekanis motor listrik. Ketiga, perlindungan motor dari energi suplay.

### 3.2.5 Proteksi terhadap Gesekan

Pengaturan putaran motor juga sangat berperan penting dalam mencegah terjadi kerusakan pada motor listrik. Putaran yang tidak stabil dapat menyebabkan rotor tidak balance (tidak seimbang), tidak seimbang rotor berakibat cepatnya aus bagian yang bergesek. Keausan ini selain harus dicegah melalui pengaturan putaran juga dengan memperkecil gaya gesek pada bagian yang bersentuhan.

Menurut Peter Soedjo (1999:10) bahwa “Gesekan ialah gerakan relative antara 2 permukaan yang bersinggungan sedemikian hingga akibat persinggungan tersebut, gerakan yang satu terhadap yang lain menjadi tidak leluasa dan mengalami hambatan. Makin lekat atau kuat persinggungan itu, makin besar hambatan itu, yakni makin besar gesekannya”.

Dari uraian di atas maka kita ketahui bahwa gesekan antara dua permukaan besar apabila persinggungan antara kedua permukaan tersebut kuat. Pada motor listrik singgungan tersebut sangat rapat, sehingga mempunyai resiko gesekan yang besar. Pada sentuhan ini terjadi gaya gesekan  $F_g$  yang sebanding sebanding dengan gaya tekan atau sering disebut gaya normal. Secara matematis gaya gesek dapat kita nyatakan:

$$F_g = \mu N$$

Dengan  $\mu$  adalah koefisien gesek. Besaran  $\mu$  ini ditentukan oleh kekasaran kedua permukaan yang bersentuhan. Pada motor listrik, untuk memperkecil gaya gesek ini harus kita upayakan pengecilan koefisien gesek dengan memperhalus sentuhan dua permukaan. Untuk mendapatkan kehalusan sentuhan ini dapat kita gunakan zat perantara berupa pelumas. Dengan menggunakan pelumas permukaan menjadi licin, sehingga menghasilkan  $\mu$  yang relative kecil. Hal ini juga di dukung oleh pendapat Peter Soedoyo (1999:10) yang mengatakan:

Untuk gerakan benda padat di dalam fluida (cairan ataupun gas) sebagai mediunya, gaya gesekannya kecuali sebanding dengan kecepatan gerakan benda padat itu di dalam atau relatif terhadap fluida mediumnya.

Untuk benda yang berwujud bola berjari-jari  $r$  yang bergerak di dalam fluida yang koefisien viskositasnya  $\eta$  dengan kecepatan  $v$ , gaya gesekannya dinyatakan dengan rumus stokes:

$$F_g = 6 \pi r \eta v$$

Penjabaran persamaan ini sangat rumit dan tidak dibahas di sini. Untuk melindungi motor listrik dari kerusakan kita dapat menggunakan pelumas jenis rotary yang beredar di pasaran. Pelumas rotary atau yang di kenal dengan Gemuk dalam bahasa sehari-harinya, dapat memperkecil gaya gesek pada poros motor listrik. Selain itu juga dapat meredam panas akibat sentuhan tersebut. Sehingga dengan menggunakan pelumas ini dapat melindungi dari kerusakan mekanis motor dan mengurangi resiko kerusakan pada motor listrik.

Hubungan antara koefisien gesek dengan gaya gesek, serta pengaruhnya terhadap percepatan gerak putar dapat kita lihat dari persamaan berikut:

$$N \cdot \mu = f_g$$

$$FT = F - f_g \rightarrow a = FT/m$$

Keterangan:

$N$  = gaya normal (N)

$\mu$  = koefisien gesek

$f_g$  = gaya gesek (N)

$FT$  = gaya total untuk putaran (N)

Dari hubungan di atas terlihat bahwa, koefisien gesek mempengaruhi gaya gesek, selanjutnya gaya gesek mengurangi gaya torsi yang dihasilkan medan magnet. Akibatnya gaya output yang menjadi tenaga putar pun menjadi berkurang, berkurangnya gaya ini tentunya mempengaruhi percepatan putar motor. Artinya semakin besar koefisien gesek, maka semakin kecil putaran yang dihasilkan. Selain itu terhadap beban arus juga akan berpengaruh, hal ini akan kita jelaskan pada bahasan proteksi terhadap beban.

### 3.2.6 Proteksi terhadap Suhu

Motor listrik merupakan salah satu perangkat elektronis yang peka terhadap kerusakan. Agar resiko kerusakan ini dapat kita antisipasi di perlukan suatu sistem perlindungan yang kita kenal dengan sistem proteksi motor listrik. Fisik motor listrik harus di desain sedemikian rupa sehingga tahan terhadap keadaan lingkungan, terutama keadaan termal. Sejalan dengan lamanya bekerja motor listrik maka suhunya semakin meningkat. Bila motor listrik terus saja digunakan akan terjadi pemuaiian pada komponennya sehingga macet atau tidak dapat berputar lagi. Menurut Peter Soedoyo (1999:15) mengatakan:

Hubungan antara panas dan tenaga itu mengemuka melalui hubungan antara tenaga mekanik dan suhu. Misalnya, tenaga kinetik molekul gas pada suhu  $T$  dalam derajat Kelvin,  $^{\circ}K$  diberikan oleh  $\frac{1}{2} mv^2 = (3/2) kT$  dimana  $k$  ialah tetapan Boltzman sebesar  $1,38 \times 10^{-23}$  joule/  $^{\circ}K$ . Hubungan tersebut lalu memberikan penambahan tenaga kinetik yang sebanding dengan kenaikan suhu  $\Delta T$ . Di lain pihak, banyaknya panas yang menaikkan suhujuga sebanding dengan kenaikan suhu  $\Delta T$ . Jadi dapat diperkirakan adanya kesebandingan atau kesetaraan antara tenaga mekanik dalam satuan joule dengan banyaknya panas dalam satuan kalori.

Ternyata 1 joule setara dengan 0,24 kalori dan besaran 0,24 kalori/joule ataupun 4,2 joule/kalori, dinamakan equivalent atau tara panas mekanik joule.

Akibat adanya kenaikan temperatur pada benda maka akan terjadinya penambahan ukuran benda tersebut, yang dikenal dengan istilah pemuaian. Kenaikan temperature sebesar  $\Delta T$ , akan menyebabkan pertambahan panjang sebesar  $\Delta L$  yang sebanding dengan panjang semula  $l_0$  dan  $\Delta T$ .

$$\Delta l_0 = \alpha \cdot \Delta T \cdot l_0 \text{ (Daryanto, 2000:143)}$$

Besarnya  $\alpha$  adalah konstanta muai panjang yang tergantung pada jenis benda dan satuannya yaitu  $1/k$ .

$$\text{Dari } \Delta l = l_t \cdot l_0$$

$$l_t = l_0 + \Delta l$$

$$E = l_0 + l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

$$t = l_0(1 + \alpha \cdot \Delta l) \text{ (Daryanto, 2000: 144)}$$

Untuk benda yang memiliki volume tertentu, sejalan dengan pertambahan temperature akan mengalami pertambahan volume. Perubahan volume  $\Delta V$  pada benda padat maupun cair, yang semula bervolume  $V_0$  akibat perubahan temperature sebesar  $\Delta T$  dinyatakan oleh:

$$\Delta V = V_0 \gamma \cdot \Delta T$$

$$V_t = V_0 (1 + \gamma \cdot \Delta T) \rightarrow \gamma = 3\alpha \text{ (Daryanto, 2000:144)}$$

Untuk mencegah terjadinya pemuaian ini diperlukan suatu cara meredam kalor yang dihasilkan oleh motor listrik. Selain dengan meredam kalor juga dengan mentransfer kalor ke ketempat lain yang tidak mengganggu motor listrik, seperti ke udara di lingkungannya. Menurut Peter Soedjo (1999:69) bahwa:

Panas, kecuali mengalir dari suatu benda yang suhunya lebih tinggi ke benda lain yang suhunya lebih rendah, apabila keduanya disinggungkan satu sama lain, juga mengalir dari bagian suatu benda yang suhunya tinggi ke bagian lain dari benda itu juga yang suhunya lebih

rendah. Aliran panas demikian merupakan transfer atau pindahan tenaga kinetic getaran dari satu atom ke atom lain di sebelahnya melaluitumbukan. Sebagaimana di dalam benda pada, atom-atomitu bergetar-getar di sekitar titik setimbangny dengan tenaga kinetic  $K=1/2 MV^2=3X1/2 kT$  sesuai dengan azas equipartisitenaga atau pembagian tenaga merata yang mengatakan bahwa tenaga kinetic partikelsama dengan  $1/2 Kt$  untuk tiap derajat kebebasan.

Berdasarkan kutipan di atas maka cara yang tepat untuk mengatasi panas yang di hasilkan motor adalah dengan menghasilkan angin di sekitar body motor yang rawan menimbulkan panas. Dalam hal ini kita melihat desain bagian motor. Bagian motor yang paling cepat meningkatkan panas adalah di sekitar rotor yang berputar karena adanya proses gesekan. Untuk itu diperlukan hembusan angin yang kuat pada bagian tersebut. Untuk mengahsilkan angin maka perlu dibuat fan (kipas). Kipas dihubungkan secara langsung dengan poros utama motor. Semakin cepat putaran motor semakin cepat peningkatan panasnya, demikian juga semakin besar angin yang di hasilkan kipas sehingga mampu mengimbangi panas yang ditimbulkan. Dengan demikian motor listrik dapat dilindungi dari kerusakan akibat keadaan panas.

Hubungan penyerapan panas oleh angin tersebut dapat rumuskan dengan persamaan matematisnya sebagaimana di kutip dari Peter Soedoyo (1999: 77).

Banyaknya tumbukan yang dialami satu molekul per satuan waktu sepanjang arah gerakannya dengan kecepatan ( $v$ ) adalah sebanyak molekul yang untuk mudahnya dianggap diam, yang berada di dalam silinder yang panjangnya  $v$  dan penampang melintangnya sama dengan diameter molekul ( $d$ ). Kalau kerapatan molekulnya adalah  $n$ , maka banyaknya molekul itu adalah:

$$N = n \pi d^2 v$$

Dengan demikian jarak bebas rata-ratanya adalah:

$$\lambda = v/N = 1/ (n\pi d^2)$$

Oleh karena sebenarnya molekul-molekul itu tidak tinggal diam, melainkan juga bergerak dengan kecepatan  $v$  ke berbagai arah, maka secara efektif banyaknya molekul yang ditumbuk sebenarnya lebih banyak. Dengan demikian Maxwell mengoreksi rumus di atas menjadi:

$$\lambda = 1 / (n \pi d^2 \sqrt{2})$$

sedangkan Clausius mendapatkan:

$$\lambda = 3 / (4n \pi d^2)$$

Selanjutnya dapat dijabarkan rumus-rumus daya hantar jenis  $K$ , koefisien viskositas  $\eta$ , dan koefisien difusi  $D$  dalam hubunannya dengan  $\lambda$  dalam bentuk:

$$K = (1/3) \rho v \lambda c_v ; \eta = (1/3) \rho v ; D = (1/3) \lambda v$$

Dengan  $v$  kecepatan rata-rata yang diberikan oleh:

$$v = \int_0^\infty v n(v) 4\pi v^2 dv = (8kT / \pi m)^{1/2}$$

sedangkan  $c_v$  ialah panas jenis pada volume tetap dan  $\rho$  ialah massa jenis.

Oleh karena adanya tumbukan udara disekitar motor maka kalor yang dihasilkan motor dapat berpindah, dengan demikian suhu tetap terjaga dalam batas yang diperbolehkan. Batas suhu yang masih ditolerir bergantung pada jenis logam yang digunakan. Maka umumnya motor terbuat dari logam campuran yang tahan terhadap suhu tinggi.

### 3.2.7 Proteksi terhadap Beban

Motor listrik kadang kala diberikan beban lebih tanpa disadari. Beban yang berlebihan dapat membuat beberapa komponen tak sanggup menahannya, akibatnya terjadi kerusakan. Misalnya, motor digunakan untuk memutar beban melebihi kapasitas putaran motor sehingga arus disupply melebihi daya tahan kawat, akibatnya kawat kumparan hangus dan tidak dapat digunakan lagi. Untuk kejadian seperti ini, proses proteksi motor listrik dapat kita bantu dengan menggunakan rangkaian.

Adapun secara umum motor listrik diproteksi terhadap beban menggunakan rangkaian meliputi beberapa hal, antara lain pembebanan

lebih, hubungan singkat, dan tegangan rendah. Beberapa komponen elektronis yang berperan penting dalam rangkaian proteksi motor listrik seperti dijelaskan oleh Djiteng Marsudi (2004:42) bahwa ada beberapa relai yang digunakan untuk memproteksi motor listrik:

- a. Relai Arus Lebih dan Skring Lebur  
Untuk memproteksi motor listrik dari pembebanan lebih maupun hubungan singkat kita dapat menggunakan relai arus lebih.
- b. Relai Stall  
Stall adalah fenomena dimana putaran motor sewaktu start tidak dapat dinaikkan dengan cepat karena beban yang terlalu berat. Relai arus lebih harus distel sedemikian rupa dimana relai arus lebih selama periode start harus membolehkan arus start yang tinggi selama tidak melampaui batas waktu tertentu yang menyangkut kemampuan termal motor.
- c. Relai tegangan rendah/hilang  
Saklar motor listrik umumnya menggunakan magnet pemegang kontak-kontak saklar (holding coil). Proteksi tegangan rendah atau hilang diperlukan karena tegangan yang rendah dapat menimbulkan arus lebih. Sedangkan tegangan pasokan hilang perlu diikuti pembukaan saklar agar jangan timbul arus berlebihan jika tegangan pasokan datang kembali.
- d. Relai arus urutan negatif  
Apabila pasokan daya dari salah satu fasa hilang, dapat menimbulkan pemanasan berlebihan dalam stator dan rotor motor. Relai ini mampu melakukan proteksi motor terhadap gangguan antar fasa, gangguan fasa-tanah, beban lebih, arus urutan negatif dan motor macet.

Dari kutipan di atas dapat diketahui bahwa ada beberapa jenis relai yang dapat kita gunakan untuk memproteksi motor listrik dari kerusakan. Relai-relai tersebut digunakan sesuai dengan fungsinya masing-masing. Dalam perkembangan zaman relai dimulai dari relai mekanis, elektro-mekanis, elektronis, dan akhirnya digital. Seiring kemajuan teknologi relai digital saat ini paling banyak digunakan, selain karena



kemampuannya untuk memproteksi juga mampu merekam kejadian gangguan. Kejadian yang dapat direkam adalah jumlah start, profil arus beban, urutan kejadian sewaktu terjadi gangguan dan juga suhu dari bagian motor yang dikehendaki.

Selain relay juga digunakan kapasitor untuk melindungi rangkaian motorlistrik. Kapasitor disebut juga kondensator, yang berupa bahan konduktor yang dapat menyimpan energi dalam bentuk muatan-muatan listrik. seperti dikatakan Peter Soedoyo (1999:171):

Kapasitor adalah sistem konduktor yang mampu menyimpan rapat (to condense) muatan listrik sehingga memiliki daya tampung, yaitu kapasitas yang besar sehingga disebut kapasitasnya besar.

Tenaga yang tersimpan di dalam konduktor dan kondensator bermuatan listrik adalah tenaga sistem titik-titik muatan yang dikandungnya. Mengingat konduktor adalah badan equipotensial maka tenaga yang tersimpan di dalam konduktor bermuatan adalah:

$$U = \frac{1}{2} \sum q_i V = \frac{1}{2} V \sum q_i = \frac{1}{2} Vq = \frac{1}{2} qV$$

Sedangkan yang di dalam kondensator bermuatan, selaku dua konduktor bermuatan diberikan oleh:

$$U = \frac{1}{2} \{qV_1 + (-q)V_2\} = \frac{1}{2} q (V_1 - V_2) = \frac{1}{2} qV$$

Jadi baik untuk konduktor bermuatan maupun kondensator bermuatan, tenaga yang dikandungnya adalah:

$$U = \frac{1}{2} Qv = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} q^2/C$$

**Menurut Owen Bishop (2004:55)**

Relay adalah sebuah saklar yang di kendalikan oleh arus. Relay memiliki sebuah kumparan tegangan rendah yang dililitkan pada sebuah inti. Terdapat sebuah armatur besi yang tertarik menuju inti apabila arus mengalir melewati kumparan. Armature terpasang pada sebuah tuas berpegas. Ketika armatur tertarik menuju inti, kontak jalur bersama akan berubah posisi dari kontak normal-tertutup ke kontak normal-terbuka.

Relay merupakan sebuah saklar, fungsinya untuk memutuskan dan menghubungkan rangkaian. Relay memiliki perbedaan dengan saklar biasa dari cara kerjanya. Saklar biasa bekerja secara manual dengan bantuan tenaga luar, sedangkan relay dibantu oleh arus yang mengalir ke kumparan. Setelah arus mengalir di dalam kumparan, inti besi menghasilkan medan magnet yang menyebabkan gaya tarik terhadap armatur. Tarikan armature ini menghubungkan kontak, sehingga arus dapat mengalir ke rangkaian kerja.

Relay dapat bekerja lebih cepat dari saklar biasa, kecepatan kerja relay bervariasi. Gambar di atas contoh relay yang dapat diaktifkan dalam waktu 10 ms. Sebagian besar relay modern ditempatkan dalam sebuah kemasan yang tertutup rapat.

#### **Menurut Owen Bishop (2004:20)**

Sekring adalah sebuah komponen yang di dalamnya berisi seutas kawat yang sangat tipis, terbuat dari bahan logam campuran khusus yang dapat meleleh pada suhu yang relatif rendah. Apabila arus yang mengalir melewati sekering terlalu besar, panas akan dihasilkan dengan cepat. Kawat sekering akan menjadi begitu panas, sehingga meleleh dan menyebabkan terputusnya rangkaian. Pemutusan ini mengakibatkan penghentian pemasokan arus ke rangkaian.

Sekring memiliki kapasitas tertentu untuk dilewati arus, artinya bila arus melebihi rating yang ditetapkan maka sekering akan memutuskan aliran arus tersebut. Untuk memenuhi berbagai kebutuhan peralatan listrik maka dibuat sekring dengan berbagai ukuran yang sesuai. Contoh sekring yang biasa digunakan untuk listrik PLN memiliki rating, 3A, 5A dan 13A. Gunakanlah sekring yang sesuai kebutuhan.

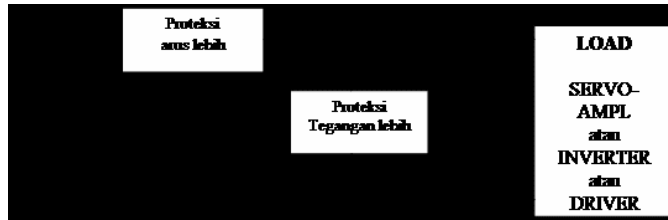
Proteksi arus dan tegangan lebih tujuannya adalah untuk sistem pengamanan arus dan tegangan lebih. Pada kebanyakan peralatan listrik memerlukan sistem pengamanan untuk melindungi terjadinya beban lebih. Arus yang besar pada rangkaian listrik terjadi akibat hubung singkat, sehingga menimbulkan kerugian peralatan (kerusakan mekanis dan

bahkan kebakaran). Oleh karena itu untuk melindungi terjadinya hubung singkat dilakukan pemasangan sekering (fuse).

Cara kerja dari fuse adalah berdasarkan pelelehan bahan sehingga akan memberikan hubungan terbuka pada rangkaian karena beban lebih atau hubung singkat. Semua jenis sekering mempunyai sifat sensitif terhadap temperatur (dari temperatur ambang 25o C), serta mempunyai spesifikasi rating arus dan tegangan.

Sekering dalam rangkaian konverter harus dari jenis khusus yaitu dari jenis ultra high speed fuse. Biasanya hanya konverter jenis thyristor yang dapat menggunakan pengaman sekering. Sedangkan jenis saklar solid state lain tidak teramankan oleh sekering tersebut (tidak cukup cepat putus oleh arus yang membahayakan saklar solid statenya). Untuk konverter transistor misalnya, digunakan pengaman arus elektronik yang mampu bereaksi jauh lebih cepat dari pada sekering.

Di dalam konverter, servo amplifier dan inverter diperlukan pembatas arus dan tegangan. Bila konverter digunakan untuk menjalankan motor, kecepatan motor dikurangi dari putaran tinggi ke putaran rendah, sehingga motor berfungsi sebagai generator. Akibatnya arus akan diumpun-balikkan pada kapasitor antara terminal power suplai. Hal ini akan terjadi pengisian kembali pada kapasitor dan dapat menaikkan tegangan sehingga dapat merugikan transistor. Sumber tegangan lebih yang lain datang dari kerja ON dan OFF dari sklar solid state. Pada setiap operasi OFF timbul tegangan lebih akibat adanya GGL lawan dari beban induktor. Jenis tegangan lebih ini terjadi tidak pada terminal masukan konverter tetapi pada setiap saklar solid state dalam konverter tersebut. Oleh karenanya peralatan seperti konverter harus mempunyai pembatas arus dan proteksi tegangan lebih seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.10. Sedangkan salah satu contoh rangkaian untuk proteksi arus lebih seperti ditunjukkan pada gambar 25.

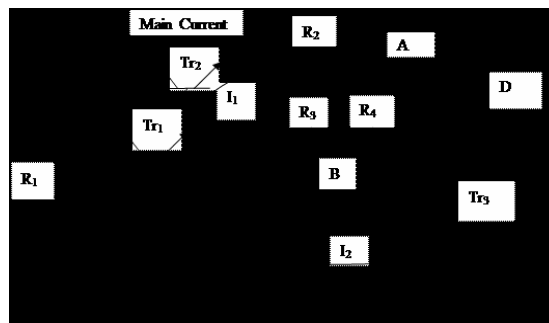


**Gambar 3.10** Konfigurasi Proteksi Arus dan Tegangan Lebih

Pada gambar 26, arus  $I_1$  mengalir melalui  $R_1$  dan melalui  $Tr_1$  dan  $Tr_2$  pada rangkaian darlington sehingga transistor ON stte.  $R_2$  adalah tahanan rendah untuk mendeteksi arus.  $R_3$  dan  $R_1$  untuk mengatur deteksi tegangan pada titik B. Selama potensial pada titik B memberikan respek ke A yang merupakan arus utama yang lebih kecil dari 0,6 volt maka tegangan maju minimum memberikan respek ke titik A, kemudian  $Tr_3$  menutup yang menyebabkan arus  $I_3$  mengalir. Setelah ini  $I_1$  cenderung berkurang sebab impedansi loop arus  $I_1$  lebih tinggi dari  $I_2$  dan transistor Darlington  $Tr_1$  dan  $Tr_2$  membuka untuk mencegah arus utama menjadi lebih tinggi dari nilai yang diset yaitu ;

$$\text{Arus yang diset} = (0,6/R_2)(R_3 + R_4) / (\zeta R_3 + R_4) \quad (1)$$

$\zeta$  = faktor dari



**Gambar 3.11** Rangkaian Pembatas Arus Lebih

**Contoh perhitungan arus pembatas dalam rangkaian di atas:**

Jika rangkaian pembatas arus pada gambar 27 mempunyai  $R_1 = 10 \text{ K}$ ,  $R_2 = 0,1$  (5watt),  $R_3 = 200$ , dan  $\zeta$  (faktor dari  $R_3$ ) = 0 sampai 1, tentukan besarnya arus yang bisa diatur ( $I_s$ ).

**Penyelesaian:**

Untuk harga  $\zeta = 0$ , maka besarnya arus yang diset :

$$I_s = (0,6 / R_2)(R_3 + R_4) / (R_3 + R_4)$$

$$I_s = (0,6 / 0,1)(200 + 200) / (0 + 200) = 12 \text{ A}$$

Untuk harga  $\zeta = 1$ , maka besarnya arus yang diset :

$$I_s = (0,6 / 0,1)(200 + 200) / (200 + 200) = 6 \text{ A}$$

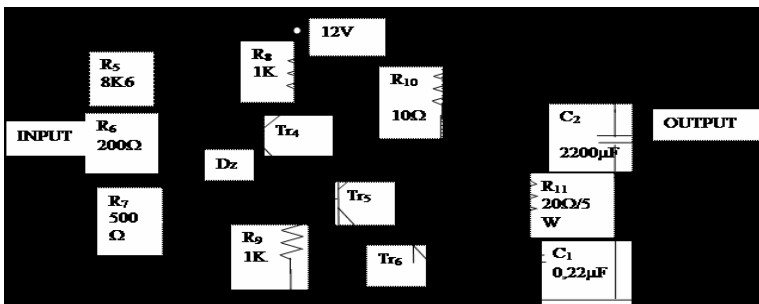
Sehingga besarnya arus yang diset ( $I_s$ ) antara 6 A sampai dengan 12 A.

Pada gambar 31 bila beban sebagai generator maka arus DC diumpun balikkan dari konverter ke sumber daya. Jika arus ini terus mengalir maka tegangan pada kapasitor C2 akan melebihi rating tegangan pada transistor. Untuk mencegah hal ini, tegangan pada titik C dibandingkan dengan tegangan breakdown diode zener Dz. Bila tegangan melebihi tegangan breakdown dan tegangan maju basis ke emitor maka transistor Tr4, Tr5, dan Tr6 akan ON sampai kapasitor C2 terisi. Bila tegangan pada titik C berkurang dan diode zener akan kembali normal, maka Tr5 dan Tr6 akan kembali beroperasi. Jadi tegangan ini digunakan untuk menjaga agar powernya tetap.

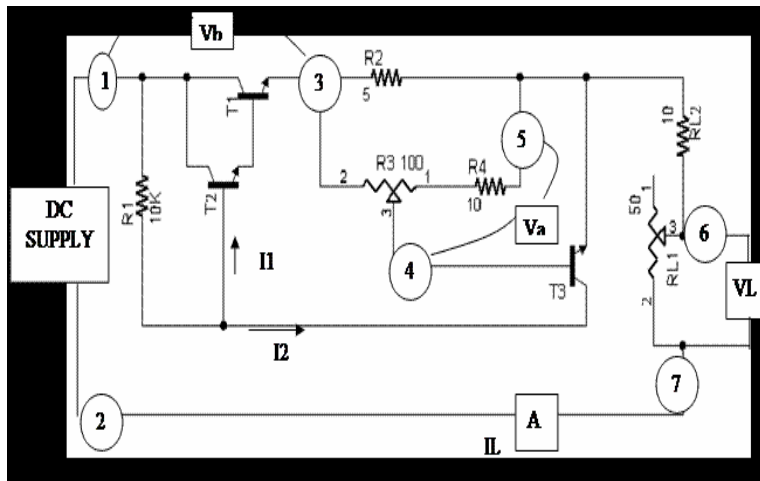
$$V_{max} = (V_z + 0,6)(R_5 + R_6 + R_7) / (R_6 + R_7) \quad (2)$$

t = faktor dari R6 (dari 0 sampai 1)

Vz = tegangan breakdown pada diode zener



Gambar 3.12 Proteksi Tegangan Lebih



Gambar 3.13 Menunjukkan Rangkaian Percobaan Proteksi Arus Lebih

### 3.2.8 Faktor-faktor yang Memengaruhi Terjadi Kerusakan Motor Listrik

Pada kebanyakan motor listrik memerlukan sistem pengaman untuk melindungi agar tidak terjadinya kerusakan. Ada banyak faktor yang menyebabkan terjadinya kerusakan motor listrik. Menurut Djiteng Marsudi (2004: 67)

Faktor-faktor yang membahayakan motor listrik berasal dari komponen bergerak (rotor), jaringan suplai dan keadaan lingkungan. Supaya tidak terjadi kerusakan perlu sistem yang mampu mengontrol penggunaan komponen-komponen dan energi input sesuai yang dibutuhkan motor. Motor listrik perlu dilengkapi dengan sistem perlindungan. Perlindungan motor listrik berfungsi mencegah timbulnya gangguan terhadap motor dan komponennya. Istilah perlindungan dalam dunia industri dan sistem kelistrikan disebut proteksi. Proteksi mempunyai arti perlindungan diri dari kerugian dan keadaan berbahaya.

Sebelumnya sudah kita sebutkan hal-hal yang perlu kita proteksi, yaitu Pertama, perlindungan fisik motor secara keseluruhan dari lingkungan sekitarnya. Kedua perlindungan mekanis motor listrik. Ketiga, perlindungan motor dari energi suplai. Jadi dapat kita lihat faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya kerusakan itu sebagai berikut:

### **Faktor Pengkaratan**

Pengkaratan tergolong kedalam kerusakan mekanis. Pengkaratan terjadi pada bagian-bagian motor yang terbuat dari logam. Pengkaratan dapat terjadi karena adanya korosi dan kontak fisik antara logam tak sejenis dalam kondisi basah. Widharto (2004:2) mengatakan, "karat dapat berupa tekik-tekik atau sumur-sumur kecil pada permukaan logam, terbentuknya rust (selaput tipis kerak) pada permukaan, penipisan yang merata, perapuhan/keropos, keretakan, dan perforasi".

Banyak sekali jenis karat yang terjadi di alam ini, tidak kita sadari telah merugikan kita. Jenis karat ini terjadi karena adanya proses kimiawi atau elektro kimiawi antara dua bagian atau lebih pada benda padat khususnya metal besi, hal ini dapat terjadi jika adanya beda potensial dan berhubungan langsung dengan udara terbuka atau udara beruap. Widharto (2004:3) juga menyebutkan, "penyebab terjadinya karat itu sebagai berikut: tidak bebasnya metal besi dari kotoran zat lain, terjadinya oksidasi dari metal besi akibat bereaksi dengan zat asam di udara, perbedaan struktur molekuler material, serta perbedaan tegangan di dalam bagian -bagian metal besi tersebut".

Di dalam udara terdapat banyak sekali kotoran dalam bentuk-bentuk debu, partikel debu ini menimbulkan larutan yang sangat asam jika bercampur dengan partikel-partikel air. Jika keadaan udara dingin dan basah atau jika terjadi hujan, maka akan terbentuk bintik-bintik embun di permukaan metal sehingga menjadi basah. Secara alami hal ini menimbulkan perbedaan potensial antara bagian-bagian, ini menyebabkan sebagian dari metal bersifat katodis. Selain itu titik embun yang larutan PH-nya rendah berfungsi sebagai bahan elektrolit (penghantar), sehingga terjadilah karat pada bintik-bintik uap basah tersebut.

Dari uraian di atas untuk menghindari pengkaratan ini usahakanlah metal tidak basah, untuk itu tempatkan motor listrik pada tempat yang selayaknya. Dan bersihkanlah selalu motor listrik dengan zat yang dapat menetralkan zat asam, seperti menggunakan minyak tanah dan lain-lain.

### **Faktor Efek Termal/Panas**

Panas adalah energi yang diakibatkan pergerakan partikel atau atom-atom dalam suatu benda. Energi panas dapat berpindah dari benda yang suhunya lebih tinggi ke benda yang suhunya lebih rendah. Energi panas adakalanya menguntungkan bagi manusia dikala dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, seperti memasak, menyetrika, pembangkit listrik, motor bakar dan lain-lain. Namun demikian tidak sedikit panas dapat merugikan manusia, seperti melelehnya gunung es di kutub, melelehnya peralatan elektronika, dan lain-lain.

Pada motor listrik panas dapat menyebabkan pemuai pada komponen motor listrik. Panas ini ditimbulkan dari gesekan mekanis, dari perubahan energi listrik menjadi energi gerak, dan hubungan singkat/korslet. Panas yang demikian dapat menjadi pengaruh terhadap kerusakan motor listrik. Beberapa jenis kerusakan yang ditimbulkan oleh efek panas menurut Daryanto (1999:49-50):

1. Terbakarnya komutator
2. Kebocoran arus
3. Terjadinya hubungan ke masa
4. Terjadi pemuai dan keausan
5. Mengurangi daya hantar

Semua kerusakan ini dapat kita cegah jika pengkondisian panas dapat terjaga sesuai batas toleransi motor listrik. Setiap pabrik telah melakukan upaya pengendalian panas ini sesuai dengan jenis dan desain motor listrik tertentu. Dengan demikian panas tidak membahayakan motor listrik, untuk lebih baik operator motor listrik diharapkan selalu mengawasi dan menjaga dalam penggunaannya.

### **Faktor arus lebih**

Arus lebih adalah arus yang memiliki nilai lebih besar dari pada rating arus kerja yang telah ditetapkan untuk sebuah motor listrik. Arus lebih ini dapat muncul karena dua sebab, yaitu terjadinya beban lebih dan terjadinya hubungan singkat. Kondisi ini perlu diproteksi untuk menghindari terjadinya kerusakan pada konduktor dan komponen motor



listrik yang lain. Dalam praktiknya, sekring dan pemutus daya (circuit breaker, CB) menjadi alternative yang lazim digunakan untuk memenuhi kebutuhan proteksi ini. (Brian, 2004:72)

### **Faktor beban lebih**

Beban lebih adalah arus lebih yang terjadi pada rangkaian yang sehat atau tidak mengalami gangguan. Arus beban lebih ini contohnya dapat terjadi karena gangguan pada motor listrik atau karena terlalu banyaknya sambungan, atau bekerja dengan beban di atas kapasitas motor. .( brian, 2004:72)

### **Faktor hubung singkat**

Arus yang besar pada rangkaian motor listrik terjadi akibat hubung singkat, sehingga menimbulkan kerugian peralatan (kerusakan mekanis dan bahkan kebakaran). Arus hubung singkat adalah arus yang akan mengalir jika terjadi hubung pendek atau kontak fisik kawat yang berarus ( fasa -ke-netral) arus hubungan singkat prospektif pada dasarnya sama dengan arus hubungan singkat, namun istilah ini sering digunakan untuk menunjukkan nilai hubung singkat yang penting untuk di perhatikan pada posisi pemasangan sekring atau cb.

Arus hubung-singkat prospektif merupakan parameter yang sangat penting. Namun demikian, kita tidak mengkaji lebih lanjut tentang arus hubung-singkat prospektif ini, karena yang lebih penting kita pahami dalam proses proteks ini adalah sekring dan karakteristiknya.

Selain faktor-faktor yang sudah kita jelaskan di atas, masih banyak faktor-faktor lain yang sering di anggap sepele oleh pemakai motor listrik. Padahal faktor-faktor lain ini sangat membahayakan motor listrik. Faktor faktor lain yang tidak kita bahas, akan dapat dicegah jika kita menggunakan motor listrik dengan penuh kehati-hatian dan selalu merawat atau memelihara motor listrik dengan baik.

### 3.3 PENUTUP

#### 3.3.1 Rangkuman

##### Pengertian Motor Listrik

Motor listrik ialah alat berupa mesin yang bergerak menggunakan energi listrik. Motor listrik merupakan seperangkat elektromekanis yang mengubah energi listrik menjadi energi putar. Motor listrik digunakan sebagai sumber penggerak berbagai macam alat yang digunakan dalam kehidupan manusia. Desain motor listrik berupa lingkaran atau silinder dari logam campuran aluminium sebagai bodi motor.

Seiring perkembangan teknologi motor listrik telah digunakan dalam berbagai bidang seperti bidang industri, ekonomi, pertanian, dan perikanan. Selain itu motor listrik juga digunakan pada peralatan rumah tangga. Contoh alat yang menggunakan motor listrik adalah kipas angin, pompa air, bor listrik, dan lain lain. Sekarang ini hampir 70 % tenaga manusia dibantu oleh motor listrik.

Perbedaan karakteristik motor AC dan DC diantaranya seperti disebutkan Fitzgerald. A.E dkk (1997:123), sebagai berikut:

##### Karakteristik motor AC

1. Harga lebih murah
2. Pemeliharannya lebih mudah
3. Banyak bentuk display untuk berbagai lingkungan pengoperasiannya
4. Kemampuan untuk bertahan pada lingkungan yang keras
5. Secara fisik lebih kecil dibandingkan dengan motor DC untuk HP yang sama.
6. Biaya perbaikan lebih murah.
7. Kemampuan berputar pada kecepatan di atas ukuran kecepatan kerja yang tertera nameplate

##### Karakteristik motor DC

1. Torsi tinggi pada kecepatan rendah.
2. Pengaturan kecepatan bagus pada seluruh rentang (tidak ada *low-end cogging*)

3. Kemampuan mengatasi beban-lebih lebih baik.
4. Lebih mahal dibandingkan motor AC.
5. Secara fisik lebih besar dibandingkan dengan motor AC untuk HP yang sama.
6. Pemeliharaan dan perbaikan yang diperlukan lebih rutin.

Adapun keistimewaan umum yang dimiliki motor AC adalah medan magnet yang diatur dengan lilitan stator. Kecepatan medan magnet putar tergantung pada jumlah kutub stator dan frekuensi sumberdaya. Kecepatan ini disebut kecepatan sinkron, dan dapat ditentukan dengan rumus matematis:

(Zuhal, 1991:66)

Dimana :  $n_s$  = kecepatan sinkron dalam rpm

$f$  = frekuensi sumberdaya dalam Hz

$P$  = jumlah kutub

### **Prinsip Konversi Energi Elektromekanis**

Motor listrik bekerja memanfaatkan gejala elektromagnetik. Gejala elektromagnetik ini akan dapat teramati bila medan magnet didekatkan dengan kumparan kawat. Gejala yang terjadi akibat medan magnet disekitar kumparan kawat disebut induksi elektromagnetik.

### **Komponen-Komponen Motor Listrik**

Motor listrik merupakan seperangkat kombinasi yang terdiri dari berbagai jenis komponen, sehingga membentuk sistem kerja yang teratur. Semua komponen diatur sedemikian rupa sehingga bekerja sesuai dengan fungsi masing-masing. Jika salah satu komponen terganggu atau tidak berfungsi maka seluruh komponen lain ikut terganggu sehingga motor tidak bekerja secara normal.

Zuhal (1991:64/91) menyebutkan, bahwa komponen-komponen motor listrik secara umum terdiri dari:

1. Poros utama yang dilengkapi lubang motor, komutator dan air fan.
2. Jangkar

3. Holder sikat, pegas dan sikat karbon.
4. Koil medan dan koil stator
5. Frame motor

Komponen-komponen motor listrik ini tidak mutlak seperti tersebut di atas, melainkan dapat berubah sesuai jenis motor listrik, kecuali perangkat utamanya.

### **Prinsip Kerja Motor Listrik**

Seperti telah penulis sebutkan sebelumnya bahwa jarum magnet kompas biasanya dapat bergerak jika arus listrik dialirkan dalam kawat yang tidak berjauhan dengannya. Dan jika magnet yang kita stasionerkan, maka yang bergerak justru kawatnya. Atas dasar ini, dapat diciptakan suatu sistem dimana kawat akan terus-menerus berputar berdekatan dengan magnet sepanjang arus listrik terus dialirkan dalam kawat.

### **Proteksi Motor Listrik**

Proteksi secara bahasa di artikan sebagai pelindung atau pengaman. Secara luas proteksi diartikan sebagai pengamanan atau perlindungan suatu sistem tertentu untuk mencegah terjadinya hal-hal yang tidak di harapkan atau bahkan merugikan sistem tersebut. Disini penulis akan membahas proteksi yang diterapkan pada sistem motor listrik, di harapkan dapat mencegah terjadinya kerusakan. Walaupun resiko kerusakan ini tidak mampu kita cegah secara ideal, setidaknya mampu meminimalisir resiko kerusakan tersebut.

### **Proteksi Terhadap Gesekan**

Pengaturan putaran motor juga sangat berperan penting dalam mencegah terjadi kerusakan pada motor listrik. Putaran yang tidak stabil dapat menyebabkan rotor tidak balance (tidak seimbang), tidak seimbang rotor berakibat cepatnya aus bagian yang bergesek. Keausan ini selain harus dicegah melalui pengaturan putaran juga dengan memperkecil gaya gesek pada bagian yang bersentuhan.

### **Proteksi Terhadap Suhu**

Motor listrik merupakan salah satu perangkat elektronis yang peka terhadap kerusakan. Agar resiko kerusakan ini dapat kita antisipasi di perlukan suatu sistem perlindungan yang kita kenal dengan sistem proteksi motor listrik. Fisik motor listrik harus di desain sedemikian rupa sehingga tahan terhadap keadaan lingkungan, terutama keadaan termal. Sejalan dengan lamanya bekerja motor listrik maka suhunya semakin meningkat. Bila motor listrik terus saja digunakan akan terjadi pemuaiian pada komponennya sehingga macet atau tidak dapat berputar lagi.

### **Proteksi Terhadap Beban**

Motor listrik kadang kala diberikan beban lebih tanpa disadari. Beban yang berlebihan dapat membuat beberapa komponen tak sanggup menahannya, akibatnya terjadi kerusakan. Misalnya, motor digunakan untuk memutar beban melebihi kapasitas putaran motor sehingga arus disuplay melebihi daya tahan kawat, akibatnya kawat kumparan hangus dan tidak dapat digunakan lagi. Untuk kejadian seperti ini, proses proteksi motor listrik dapat kita bantu dengan menggunakan rangkaian.

### **Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Terjadi Kerusakan Motor Listrik**

Pada kebanyakan motor listrik memerlukan sistem pengaman untuk melindungi agar tidak terjadinya kerusakan. Ada banyak faktor yang menyebabkan terjadinya kerusakan motor listrik. Menurut Djiteng Marsudi (2004: 67) Faktor-faktor yang membahayakan motor listrik berasal dari komponen bergerak (rotor), jaringan suplai dan keadaan lingkungan.

Jadi dapat kita lihat faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya kerusakan itu sebagai berikut:

1. Faktor Pengkaratan
2. Faktor Efek Termal/Panas
3. Faktor arus lebih
4. Faktor beban lebih
5. Faktor hubung singkat

### 3.3.2 Tes Formatif

Setelah mempelajari materi diatas jawablah pertanyaan - pertanyaan berikut ini :

1. Jelaskan pengertian motor listrik !
2. Jelaskan perbedaan karakteristik motor AC dan DC !
3. Sebutkan komponen - komponen motor listrik !
4. Jelaskan apa yang dimaksud dengan proteksi motor listrik !
5. Sebutkan faktor penyebab terjadinya kerusakan pada motor listrik !

#### KUNCI JAWABAN TES FORMATIF

##### Jawaban No. 1

Motor listrik ialah alat berupa mesin yang bergerak menggunakan energi listrik. Motor listrik merupakan seperangkat elektromekanis yang mengubah energi listrik menjadi energi putar. Motor listrik digunakan sebagai sumber penggerak berbagai macam alat yang digunakan dalam kehidupan manusia. Desain motor listrik berupa lingkaran atau silinder dari logam campuran aluminium sebagai bodi motor.

##### Jawaban No. 2

Perbedaan karakteristik motor AC dan DC diantaranya seperti disebutkan Fitzgerald. A.E dkk (1997:123), sebagai berikut:

##### Karakteristik Motor AC

1. Harga lebih murah
2. Pemeliharaannya lebih mudah
3. Banyak bentuk display untuk berbagai lingkungan pengoperasiannya
4. Kemampuan untuk bertahan pada lingkungan yang keras
5. Secara fisik lebih kecil dibandingkan dengan motor DC untuk HP yang sama.
6. Biaya perbaikan lebih murah.
7. Kemampuan berputar pada kecepatan di atas ukuran kecepatan kerja yang tertera nameplate

**Karakteristik Motor DC**

1. Torsi tinggi pada kecepatan rendah.
2. Pengaturan kecepatan bagus pada seluruh rentang (tidak ada *low-end cogging*)
3. Kemampuan mengatasi beban-lebih lebih baik.
4. Lebih mahal dibandingkan motor AC.
5. Secara fisik lebih besar dibandingkan dengan motor AC untuk HP yang sama.
6. Pemeliharaan dan perbaikan yang diperlukan lebih rutin.

**Jawaban No. 3**

Zuhal (1991:64/91) menyebutkan, bahwa komponen-komponen motor listrik secara umum terdiri dari:

1. Poros utama yang dilengkapi lubang motor, komutator dan air fan.
2. Jangkar
3. Holder sikat, pegas dan sikat karbon.
4. Koil medan dan koil stator
5. Frame motor

**Jawaban No. 4**

Proteksi secara bahasa di artikan sebagai pelindung atau pengaman. Secara luas proteksi diartikan sebagai pengamanan atau perlindungan suatu sistem tertentu untuk mencegah terjadinya hal-hal yang tidak di harapkan atau bahkan merugikan sistem tersebut. Disini penulis akan membahas proteksi yang diterapkan pada sistem motor listrik, di harapkan dapat mencegah terjadinya kerusakan. Walaupun resiko kerusakan ini tidak mampu kita cegah secara ideal, setidaknya mampu meminimalisir resiko kerusakan tersebut.

**Jawaban No. 5**

Jadi dapat kita lihat faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya kerusakan itu sebagai berikut:

- Faktor Pengkaratan
- Faktor Efek Termal/Panas

- Faktor arus lebih
- Faktor beban lebih
- Faktor hubung singkat

-oo0oo-



## **BAB 4**

---

# **PROTEKSI TRANSFORMATOR**

## **4.1 PENDAHULUAN**

### **Maksud dan Tujuan**

Yang menjadi maksud dan tujuan dari bab ini adalah:

1. Mendiskripsikan jenis-jenis proteksi pada generator di Gardu Induk.
2. Mendiskripsikan jenis-jenis proteksi di Pembangkit Tenaga Listrik.

### **4.1.1 Deskripsi Singkat**

**P**erengkapan dalam sistem kontrol proses yang menunjukkan keadaan variabel proses di titik tertentu pada proses kontrol umumnya mengacu pada peralatan penunjang. Biasanya, letak peralatan penunjang ini ditentukan oleh letak indikator yang mudah terbaca sehingga dapat memberikan informasi terbaik yang diperlukan oleh operator, teknisi, dan personel lainnya yang terkait dengan pengoperasian sistem sebagaimana mestinya.

Fungsi dasar setiap indikator sistem adalah menunjukkan keadaan operasi pada sistem. Indikator-indikator itu biasanya ditemukan pada sistem kontrol dalam bentuk rekorder, meteran, dan alarm. Rekorder melakukan perekaman secara permanen tentang kondisi variabel proses pada periode waktu tertentu. Meter memberikan indikasi visual yang

konstan dari kondisi variabel proses pada titik spesifik dalam proses kontrol.

Sistem alarm dapat memberikan indikasi visual atau audio dari kondisi tidak normal yang berhubungan dengan status variabel proses.

#### **4.1.2 Manfaat Relevansi**

Dengan mengetahui dan memahami materi ini diharapkan dapat diketahui arti penting keamanan listrik dan arti penting dari proteksi sistem tenaga listrik.

#### **4.1.3 Tujuan Instruksional**

Setelah mempelajari buku ajar ini mahasiswa diharapkan dapat :

- Mendiskripsikan jenis-jenis proteksi pada generator di Gardu Induk. – Mendiskripsikan jenis-jenis proteksi di Pembangkit Tenaga Listrik.

#### **4.1.4 Saran Petunjuk Belajar**

Sebelum mempelajari materi ini , kepada mahasiswa perlu memahami materi pada bab sebelumnya.

## **2.2 PENYAJIAN**

Perlengkapan dalam sistem kontrol proses yang menunjukkan keadaan variabel proses di titik tertentu pada proses kontrol umumnya mengacu pada peralatan penunjang. Biasanya, letak peralatan penunjang ini ditentukan oleh letak indikator yang mudah terbaca sehingga dapat memberikan informasi terbaik yang diperlukan oleh operator, teknisi, dan personel lainnya yang terkait dengan pengoperasian sistem sebagaimana mestinya.

Fungsi dasar setiap indikator sistem adalah menunjukkan keadaan operasi pada sistem. Indikator-indikator itu biasanya ditemukan pada sistem kontrol dalam bentuk rekorder, meteran, dan alarm. Rekorder melakukan perekaman secara permanen tentang kondisi variabel proses

pada periode waktu tertentu. Meter memberikan indikasi visual yang konstan dari kondisi variabel proses pada titik spesifik dalam proses kontrol. Sistem alarm dapat memberikan indikasi visual atau audio dari kondisi tidak normal yang berhubungan dengan status variabel proses.

Pada sistem yang dicontohkan pada unit ini, indikator sistem adalah tiga buah meter (meter output, meter DP, meter posisi), rekorder, dan sistem alarm.

#### 4.2.1 Meter

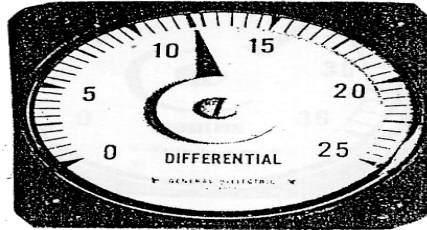
Meter output pada sistem yang dibahas di bab ini menunjukkan nilai sinyal output dari transmiter. Seperti ditunjukkan dalam Gambar 4.1, meter ini memiliki dua skala. Skala bagian atas menunjukkan sinyal output dari transmiter dalam bentuk persentasi sinyal output maksimum yang dihasilkannya, dan skala bagian bawah menunjukkan nilai sinyal dari transmiter dalam bentuk fungsi akar pangkat dua. (Indikator ini berkaitan dengan besarnya aliran gas pada *scruber*, yang tidak dibahas disini)

Seperti yang telah dibahas, range sinyal output dari transmiter adalah 4-20 miliampere. Apabila indikator meter yang menunjuk pada angka 0 berhenti, berarti ada 4 miliampere sinyal output; sedangkan indikator menunjuk 100% berarti ada 20 miliampere sinyal output. Karena setiap sinyal output antara 4 dan 20 miliampere sudah ada



**Gambar 4.1** Meteran untuk Mengukur Output dari Transmitter

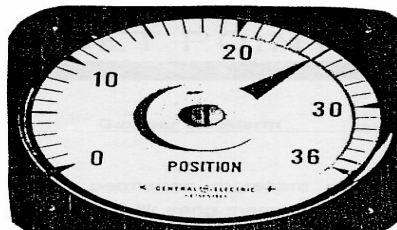
Hubungannya dengan pembacaan pada meter antara 0 dan 100%, maka teknisi dapat melihat meter ini dan menentukan berapa output dari transmiter nantinya.



**Gambar 4.2** Meter DP

Meter DP dalam sistem ini (Gambar 4.2) juga menerima sinyal dari transmiter. Meter ini mengubah sinyal dari transmiter ke tampilan angka yang menunjukkan besarnya DP pada *scrubber* yang dirasakan oleh transmiter. Dari meter ini, teknisi dapat menyimpulkan apakah sistem mencapai SP.

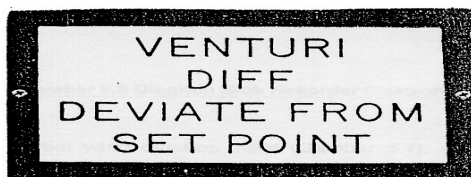
Meteran posisi, ditunjukkan oleh Gambar 4.2, menerima inputnya dari rangkaian motor/*plumb bob*. Meter ini mengubah sinyal elektrik ke indikator letak *plumb bob* yaitu antara 0 dan 36 inchi. Indikator 0 menunjukkan jenis *plumb bob* yang dalam posisi tertutup rapat, sedangkan indikator 36 inchi menunjukkan posisi *plumb bob* dalam keadaan terbuka sepenuhnya, yakni pada titik maksimum gerakannya. Meter ini menginformasikan kepada teknisi di mana *plumb bob* berada, apakah *plumb bob* bergerak atau tidak, jika bergerak arahnya ke mana.



**Gambar 4.3** Meter yang Menunjukkan Posisi Plumb Bob

### 4.2.2 Sistem Alarm

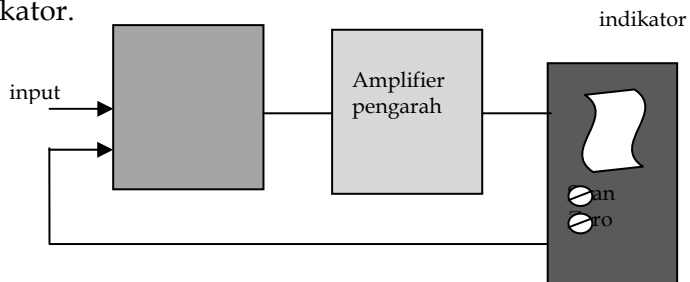
Dalam bab ini, sistem alarm menerima sinyal dari kontroler sistem alarm mempunyai dua indikator: Audio dan visual (Gambar 4.4). Alarm diaktifkan bila DP pada scrubber adalah 8% di atas atau di bawah SP. Tujuan alarm ini adalah untuk mengindikasikan bahwa kondisi variabel proses telah berubah (secara signifikan). Personel yang mengoperasikan selanjutnya harus menentukan apakah perubahan itu disebabkan oleh kesalahan fungsi sistem atau perubahan drastis dalam sistem yang memerlukan waktu untuk menanganinya.



Gambar 4.4 Alarm

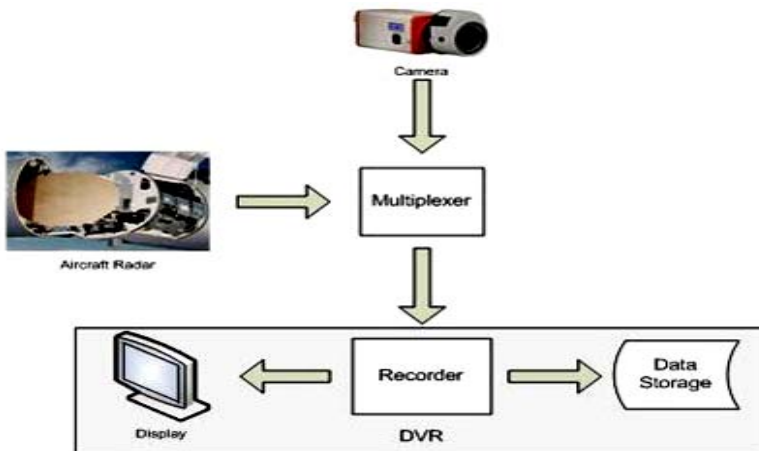
### 4.2.3 Rekorder

Rekorder secara permanen merekam nilai variabel proses. Gambar 4.5 adalah diagram blok yang menunjukkan sirkuit dasar pada rekorder elektronik sederhana. Sirkuit ini dibagi menjadi tiga bagian dasar: (1) bagian amplifier pembanding, (2) bagian amplifier pengarah (direksional), dan (3) sistem indikator. Operasi rekorder berdasar pada dua bentuk sinyal: (1) sinyal input variabel proses dari transmitter, dan (2) sinyal referensi yaitu sinyal *feedback* dari bagian sistem indikator.



Gambar 4.5 Diagram Blok Rekorder

Pada sistim yang dibahas disini (Gambar 34), sinyal variabel proses pada range 4-20 miliampere. Bila sinyal ini dialirkan ke rekorder bagian input, sinyal ini diubah menjadi sinyal 0-4 volt supaya memenuhi syarat khusus bagi sirkuit rekorder. Sinyal 0-4 volt itu kemudian dialirkan ke salah satu input sirkuit komparator. Input kedua ke pembanding (*Comparator*) adalah sinyal *feedback* sebesar 0-4 volt. Bila dua sinyal input ke sirkuit komparator itu besarnya sama, output dari sirkuit adalah 0 volt. Namun, bila sinyal variabel proses sinyal lebih besar daripada sinyal *feedback*, outputnya adalah sinyal positif; jika sinyal variabel proses sinyal lebih kecil dari sinyal *feedback*, maka outputnya adalah sinyal negatif.



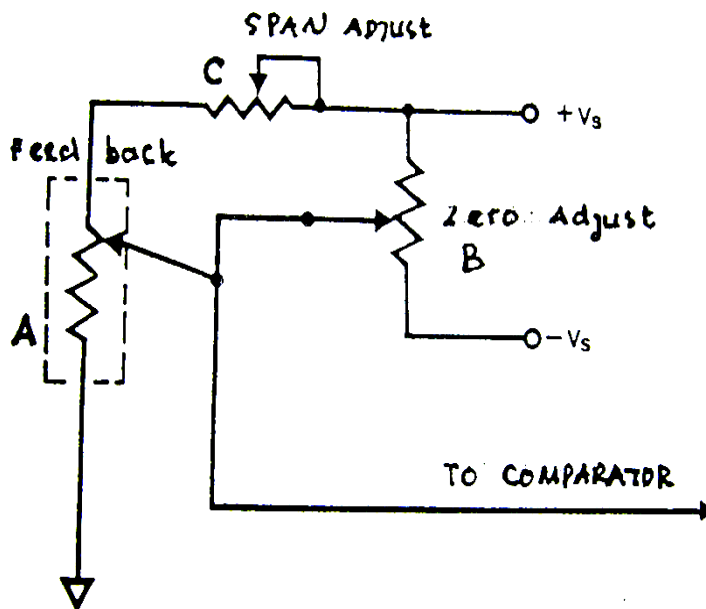
**Gambar 4.6** Jalur Sinyal pada Rekorder

Output Komparator dialirkan ke amplifier direksional. Sinyal input positif menyebabkan motor balans dalam sistem indikator ke putaran dengan arah yang menyebabkan kom-ponen-komponen lain dalam sistem indikator menunjukkan kenaikan nilai variabel proses. Sinyal input negatif menyebabkan motor balans ke putaran pada arah yang berlawanan, sehingga sistem indikator menunjukkan pengurang-an nilai variabel proses.

Sinyal yang berperan sebagai input motor dihasilkan oleh sirkuit dalam sistem indikator (Gambar34). Komponen-komponen pada sistem indikator meliputi: *Strip chart*, pen, skala, *pointer* motor *balan-ching*, *Chart*

*drive motor* (tidak ditunjukkan), dan *slide wire assembly*, yang terdiri dari tiga potensiometer.

Bila mesin penyeimbang dihidupkan, rangkaian indikator bergerak naik atau turun, yang menyebabkan pen merekam nilai variabel proses pada chart dan pointer menunjukkan nilai variabel proses pada skala. Rangkaian *slide wire* sebenarnya adalah poten-siometer; gerakan rangkaian menyebabkan jarum penunjuk bergerak melintasi *slide wire*. Gerakan jarum penunjuk *slide wire* menghasilkan tegangan yang menghasilkan sinyal *feedback* menuju ke sirkuit amplifier komparator pada rekorder.



Gambar 4.7 Diagram Skematis dari Slide Wire Assembly

Bila perubahan pada sinyal variabel proses yang dialirkan ke sirkuit komparator lebih besar daripada sinyal *feedback*, maka sinyal output dari sirkuit komparator adalah positif. Sinyal output positif ini menyebabkan motor penyeimbang menuju putaran dalam arah yang menyebabkan pena penunjuk menunjukkan kenaikan variabel proses. Ketika pena penunjuk bergerak, *slide wire arm* bergerak ke satu arah yang menyebabkan sinyal *feedback* naik sampai sama dengan sinyal variabel proses. Bila dua sinyal itu

sama, maka sinyal output dari komparator akan menjadi 0 volt. Sinyal 0 volt yang berasal dari komparator ini menyebabkan motor penyeimbang berhenti.

Operasi yang baru saja dideskripsikan itu akan terbalik bila sinyal variabel proses lebih kecil dari sinyal *feedback*. Dalam hal ini, sistem indikator akan merekam penurunan nilai variabel proses dan sinyal *feedback* dari sirkuit *feedback* tegangan juga akan turun. Namun, segera setelah dua sinyal input ke komparator itu sam, output komparator akan nol volt. Sinyal output 0 volt dari komparator ini akan menyebabkan motor penyeimbang mati.

## 4.3 PENUTUP

### 4.3.1 Rangkuman

Perlengkapan dalam sistem kontrol proses yang menunjukkan keadaan variabel proses di titik tertentu pada proses kontrol umumnya mengacu pada peralatan penunjang. Biasanya, letak peralatan penunjang ini ditentukan oleh letak indikator yang mudah terbaca sehingga dapat memberikan informasi terbaik yang diperlukan oleh operator, teknisi, dan personel lainnya yang terkait dengan pengoperasian sistem sebagaimana mestinya.

Fungsi dasar setiap indikator sistem adalah menunjukkan keadaan operasi pada sistem. Indikator-indikator itu biasanya ditemukan pada sistem kontrol dalam bentuk rekorder, meteran, dan alarm. Rekorder melakukan perekaman secara permanen tentang kondisi variabel proses pada periode waktu tertentu.

Meter memberikan indikasi visual yang konstan dari kondisi variabel proses pada titik spesifik dalam proses kontrol. Sistem alarm dapat memberikan indikasi visual atau audio dari kondisi tidak normal yang berhubungan dengan status variabel proses.



Pada sistem yang dicontohkan pada unit ini, indikator sistem adalah tiga buah meter (meter output, meter DP, meter posisi), rekorder, dan sistem alarm.

### 4.3.2 Tes Formatif

#### Pertanyaan

1. Peralatan dalam sistem kontrol proses yang menunjukkan kondisi variabel proses pada waktu tertentu dikenal sebagai .....
2. Benar atau Salah. Meter biasanya secara permanen merekam kondisi variabel proses pada periode waktu tertentu.
3. Pada transmiter yang dicontohkan disini, indikator 100% pada output meter menunjukkan sinyal output dari .....
4. Benar atau Salah. Tujuan alarm audio yang dideskripsikan dalam bab ini adalah untuk menunjukkan nilai variabel proses yang telah berubah secara signifikan.
5. Sirkuit rekorder elektronik yang dideskripsikan di bagian ini dibagi menjadi tiga bagian utama. Apa saja?
  - a. ....
  - b. ....
  - c. ....
6. Bila sinyal variabel proses yang diterima oleh rekorder elektronik yang digambarkan dalam bagian ini lebih kecil dari sinyal *feedback*, maka rekorder menunjukkan .....  
(kenaikan, penurunan)

#### KUNCI JAWABAN TES FORMATIF

##### Jawaban No. 1

Peralatan penunjang

##### Jawaban No. 2

Salah

**Jawaban No. 3**

transmitter nantinya.

**Jawaban No. 4**

Benar

**Jawaban No. 5**

Sirkuit ini dibagi menjadi tiga bagian dasar:

1. Bagian amplifier pembanding,
2. Bagian amplifier pengarah (direksional),
3. Sistem indikator.

**Jawaban No. 6**

jika sinyal variabel proses sinyal lebih kecil dari sinyal feedback, maka outputnya adalah sinyal negatif.

-oo0oo-

## **BAB 5**

---

# **PROTEKSI GENERATOR**

## **5.1 PENDAHULUAN**

### **Maksud dan Tujuan**

**R**elay proteksi merupakan sebuah perangkat yang bekerja secara otomatis mengatur atau memutuskan sebuah rangkaian listrik akibat adanya gangguan yang terjadi pada generator.

Relay proteksi dipasang dengan tujuan mencegah kecelakaan perorangan/personil, meminimalisir terjadinya gangguan yang terjadi pada bagian sistem dan memberikan peringatan secara otomatis yang berfungsi untuk mengisolir gangguan atau kondisi yang tidak normal, seperti overload, under voltage, reserve power dan kondisi tidak normal lainnya. Selain itu, relay dipasang dengan tujuan melokalisir dampak dari gangguan dengan memisahkan peralatan yang terganggu dari sistem karena dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan lain yang berada pada sistem tersebut.

Dengan begitu peralatan yang mengalami kerusakan dapat terlepas secara cepat sehingga stabilitas sistem tetap terjaga, dan kontinuitas serta pelayanan sistem juga tetap terjaga dengan baik.

### 5.1.1 Deskripsi Singkat

Sebagai sumber energi listrik dalam suatu sistem tenaga, generator memiliki peran yang penting, sehingga tripnya PMT/CB generator sangat tidak dikehendaki karena sangat mengganggu sistem, terutama generator yang berdaya besar. Dan juga karena letaknya di hulu, PMT/CB generator tidak boleh mudah trip tetapi juga harus aman bagi generator, walaupun didalam sistem banyak terjadi gangguan

Untuk menjaga keandalan dari kerja generator, maka dilengkapi generator dengan peralatan-peralatan proteksi. Peralatan proteksi generator harus betul-betul mencegah kerusakan generator, karena kerusakan generator selain akan menelan biaya perbaikan mem-pertimbangkan pula proteksi bagi mesin penggerakannya, karena generator digerakkan oleh mesin penggerak mula.

### 5.1.2 Manfaat Relevansi

Dengan mengetahui dan memahami materi ini diharapkan dapat diketahui arti penting proteksi generator.

### 5.1.3 Tujuan Instruksional

Setelah mempelajari bagian ini mahasiswa diharapkan dapat :

- Menjelaskan definisi proteksi generator pada sistem tenaga listrik
- Menjelaskan arti penting proteksi generator pada sistem tenaga listrik

### 5.1.4 Saran Petunjuk Belajar

Sebelum mempelajari materi ini , kepada mahasiswa perlu memahami materi pada bab sebelumnya.

## 5.2 PENYAJIAN

Mesin-mesin dengan rancangan terbaru pada umumnya jarang sekali mengalami gangguan, hal ini disebabkan karena adanya penggunaan bahan-bahan bermutu tinggi, teknis pengerjaan dan pengendalian mutu yang lebih baik, jika dibanding dengan mesin-mesin buatan terdahulu.

Walaupun demikian kemungkinan terjadinya gangguan tidak dapat dihindarkan.

### 5.2.1 Sistem Proteksi Generator

Proteksi untuk gangguan dari dalam generator yaitu: \* Differential Relay: untuk melindungi generator dari gangguan akibat hubung singkat(short circuit) antar fasa. \* Stator Ground Fault Relay: untuk mendeteksi gangguan pentanahan/grounding pada generator \*Loss of Field Relay: untuk mendeteksi kehilangan medan penguatan yang menyebabkan over heating pada kumparan stator dan arus Eddy(Eddy Current) pada kumparan rotor. \* Voltage

### 5.2.2 Peran Generator dalam Sistem dan Syarat Proteksi Generator

Sebagai sumber energi listrik dalam suatu sistem tenaga, generator memiliki peran yang penting, sehingga tripnya PMT/CB generator sangat tidak dikehendaki karena sangat mengganggu sistem, terutama generator yang berdaya besar. Dan juga karena letaknya di hulu, PMT/CB generator tidak boleh mudah trip tetapi juga harus aman bagi generator, walaupun didalam sistem banyak terjadi gangguan Untuk menjaga keandalan dari kerja generator, maka dilengkapi generator dengan peralatan-peralatan proteksi. Peralatan proteksi generator harus betul-betul mencegah kerusakan generator, karena kerusakan generator selain akan menelan biaya perbaikan mempertimbangkan pula proteksi bagi mesin penggerakannya, karena generator digerakkan oleh mesin penggerak mula.

### 5.2.3 Gangguan Generator

Gangguan Generator relatif jarang terjadi karena:

- a. *Instalasi Listrik* tidak terbuka terhadap lingkungan, terlindung terhadap petir dan tanaman.
- b. Ada *Transformator Blok* dengan hubungan Wye-Delta, sehingga mencegah arus (gangguan) urutan nol dari Saluran Transmisi masuk ke Generator.

- c. *Instalasi Listrik* dari Generator ke Rel umumnya memakai Cable Duct yang kemungkinannya mengalami gangguan kecil.
- d. Tripnya *PMT Generator* sebagian besar (lebih dari 50%) disebabkan oleh gangguan mesin penggerak generator.

Namun ada juga gangguan-gangguan yang sering terjadi pada generator, meliputi gangguan pada :

- Stator
- Rotor (SistemPenguat)
- MesinPenggerak
- Backup instalasi di luar Generator

Pengaman terhadap gangguan luar generator Generator umumnya dihubungkan ke rel (busbar). Beban dipasok oleh saluran yang dihubungkan ke rel. Gangguan kebanyakan ada di saluran yang mengambil daya dari rel. Instalasi penghubung generator dengan rel umumnya jarang mengalami gangguan. Karena rel dan saluran yang keluar dari rel sudah mempunyai proteksi sendiri, maka proteksi generator terhadap gangguan luar cukup dengan relay arus lebih dengan time delay yang relatif lama dan dengan voltage restrain.

### **Voltage Restrain**

- Arus Hubung Singkat Generator turun sebagai fungsi waktu.
- Hal ini disebabkan oleh membesarnya arus stator yang melemahkan medan magnet kutub (rotor) sehingga ggl dan tegangan jepit Generator turun.
- Untuk menjamin kerjanya Relay sehubungan dengan menurunnya arus hubung singkat Generator, diperlukan Voltage Restrain Coil.
- Mengingat karakteristik hubung singkat Generator yang demikian, pada Generator besar dipakai juga Relay Impedansi.

### **5.2.4 Pengaman Terhadap Gangguan dalam Generator**

- a. Hubung singkat antar fasa
- b. Hubung singkat fasa ke tanah
- c. Suhu tinggi

- d. Penguatan hilang
- e. Arus urutan negatif
- f. Hubung singkat dalam sirkit rotor
- g. Out of Step
- h. Over flux

#### **Hubung singkat antar fasa**

- Untuk proteksi dipergunakan relay differensial.
- Kalau relay ini bekerja maka selain mentripkan PMT generator, PMT medan penguat generator harus trip juga.
- Selain itu melalui relay bantu, mesin penggerak harus dihentikan.

#### **Hubung Singkat Fasa - Tanah**

- a. Dipakai Relay Hubung Tanah terbatas.
- b. Relay ini memerintahkan
  - PMT Generator Trip
  - PMT Medan Penguat Mesin Penggerak berhenti (melalui Relay Bantu),
  
  - Relay Tegangan yang mengukur pergeseran tegangan titik Netral terhadap tanah.
  - Relay Arus yang mengukur arus titik Netral ke tanah lewat tahanan atau kumparan.

#### **Penguatan Hilang**

- Penguatan hilang atau penguatan melemah (under excitation) bisa menimbulkan pemanasan yang berlebihan pada kepala kumparan stator
- Penguatan hilang menyebabkan gaya mekanik pada kumparan arus searah rotor hilang, terjadi out of step, menjadi Generator Asinkron, timbul arus pusar berlebihan di rotor, selanjutnya rotor mengalami pemanasan berlebihan
- Relay penguatan hilang akan mentripkan PMT Generator

### **Penggunaan Relay Mho**

- Dalam keadaan eksitasi rendah / hilang, Generator akan mengambil daya Reaktif dari sistem.
- Oleh karenanya dipakai Relay Mho yang bekerja pada kwadran 3 dan 4 dari Kurva Kemampuan Generator.
- Perlu perhatian pada Beban Kapasitif, misalnya Saluran Kosong, Daya Reaktif akan masuk ke Generator dan menyebabkan Relay ini bekerja.

### **Hubung Singkat dalam Sirkuit Rotor**

Hubung singkat dalam sirkuit rotor bisa menyebabkan penguatan hilang.

- Karena hubung singkat dalam sirkuit rotor ini, bisa timbul distorsi medan magnet dan selanjutnya timbul getaran berlebihan.
- Cara mendeteksi gangguan sirkuit rotor : Potentio Meter, AC Injection, DC Injection.

### **Relay Negatif Sequence**

- Gangguan yang menimbulkan ketidak-simetrisan Tegangan maupun arus, menimbulkan Negatif Sequence Current, tetapi tidak dapat dideteksi oleh Relay-relay yang telah disebutkan sebelumnya, maka sebelum Negatif Sequence Current terjadi diharapkan dapat dideteksi oleh Relay ini.
- Gangguan-gangguan tersebut di atas misalnya adalah :
  - Hubung Singkat antar lilitan satu fasa.
  - Hubung Tanah di dekat titik Netral.
  - Ada sambungan salah satu fasa yang kendor.
- *Negative Sequence Current* bisa menimbulkan pemanasan berlebihan pada rotor.

### **Gangguan Internal Generator yang Sulit Dideteksi**

1. Hubung singkat antar lilitan satu fasa, tidak terdeteksi oleh relay diferensial.
2. Hubung tanah di dekat titik Netral, tidak terdeteksi oleh relay hubung tanah terbatas.



3. Lilitan putus atau sambungan kendur, tidak terlihat oleh relay diferensial.
4. Diharapkan relay suhu dan relay Negatif Sequence bisa ikut mendeteksi dua gangguan ini.

Untuk Exciter berupa generator arus bolak balik yang memakai diode berputar, deteksi gangguan rotor hanya bisa lewat :

- a. Arus medan Pilot Exciter yang melewati sikat, bisa ditap untuk diamati. Arus ini akan membesar kalau ada gangguan kumparan rotor.
- b. Gangguan Kumparan rotor menimbulkan vibrasi yang bisa dideteksi oleh detektor vibrasi.

### **Gangguan dalam mesin penggerak**

Gangguan-gangguan yang demikian adalah :

- Tekanan minyak pelumas terlalu rendah
- Suhu air pendingin atau suhu bantalan terlalu tinggi
- Daya balik,

Adakalanya gangguan dalam mesin penggerak generator memerlukan tripnya PMT Generator.

### **Suhu Tinggi**

- Suhu tinggi bisa terjadi pada bantalan generator atau pada kumparan stator.
- Hal ini masing-masing di deteksi oleh relay suhu yang mula-mula membunyikan alarm kemudian mentripkan PMT generator dan memberhentikan mesin penggerak apabila yang bekerja adalah relay suhu bantalan.

### **Penyebab Suhu Tinggi**

- a. Lilitan Stator, penyebabnya:
  - 1) Beban Lebih
  - 2) Beban tidak simetris, arus urutan negatif
  - 3) Hubung singkat yang tidak terdeteksi
  - 4) Penguatan Hilang /Lemah

- 5) Ventilasi kurang baik, hidrogen bocor
  - 6) Kotoran/debu melekat pada lilitan
- b. Kumparan Rotor, penyebabnya:
- 1) Beban stator tidak seimbang, arus urutan negatif
  - 2) Hubung singkat yang tidak terdeteksi
  - 3) Out of step
  - 4) Ventilasi kurang baik, hidrogen bocor
  - 5) Kotoran/debu melekat pada lilitan
- c. Bantalan Generator, penyebabnya:
1. Pelumasan kurang lancar, tekanannya kurang tinggi
  2. Kerusakan pada bagian yang bergeseran

#### **Tekanan minyak terlalu rendah**

- Tekanan minyak pelumas yang terlalu rendah bisa merusak bantalan, oleh karenanya jika hal ini terjadi Mesin Penggerak perlu segera dihentikan melalui proses alarm terlebih dahulu apabila tekanan ini turun secara bertahap
- Berhentinya Mesin Penggerak harus bersamaan dengan tripnya PMT Generator

#### **Suhu Air Pendingin atau Suhu Bantalan terlalu tinggi**

- Sama seperti tekanan terlalu rendah

#### **Daya Balik**

Daya balik di mana generator menjadi motor dapat menimbulkan kerusakan karena pemanasan berlebihan pada sudu-sudu tekanan rendah Turbin uap. Pada Turbin air dapat meningkatkan kavitasi. Oleh karenanya diperlukan relay daya balik pada generator yang digerakkan oleh turbin uap atau turbin air dengan melalui Alarm terlebih dahulu. Untuk Turbin Gas masalahnya sama dengan untuk Turbin Uap.

#### **Putaran Lebih**

- Apabila PMT generator trip, maka akan terjadi putaran lebih yang membahayakan generator dan mesin penggerak.
- Untuk ini diperlukan relay putaran lebih yang memberhentikan mesin penggerak.

### **Tegangan Lebih**

- Apabila PMT generator trip, maka bisa terjadi tegangan lebih.
- Untuk ini diperlukan relay tegangan lebih.

### **Tekanan dan Kebocoran Hidrogen**

Untuk generator yang didinginkan dengan gas Hidrogen, harus ada relay yang mendeteksi tekanan rendah dan kebocoran Hidrogen untuk memberhentikan mesin penggerak generator dan memutus arus medan.

### **Relay Over Fluks**

Relay ini mengukur besaran volt per Hertz. Tegangan imbas volt dalam suatu kumparan adalah sebanding dengan kerapatan fluks dan frekwensi. Over fluks bisa terjadi pada Tegangan normal tetapi frekwensi rendah. Hal semacam ini bisa terjadi pada saat menstart generator dimana frekwensi masih rendah, karena putaran Generator masih rendah, tetapi sudah ada arus penguat dari exciter. Kerapatan fluks yang tinggi ini akan menimbulkan arus pusar yang tinggi sehingga timbul pemanasan berlebihan dalam inti generator dan dalam inti trafo penaik tegangan. Begitu pula dengan rugi histerisis yang menjadi makin tinggi apabila kerapatan fluks magnetik tinggi, hal ini ikut menambah pemanasan inti stator.

## **5.3 PENUTUP**

### **5.3.1 Rangkuman**

#### **Sistem Proteksi Generator**

Proteksi untuk gangguan dari dalam generator yaitu: \* Differential Relay: untuk melindungi generator dari gangguan akibat hubung singkat(short circuit) antar fasa. \* Stator Ground Fault Relay: untuk mendeteksi gangguan pentanahan/grounding pada generator \*Loss of Field Relay: untuk mendeteksi kehilangan medan penguatan yang menyebabkan over heating pada kumparan stator dan arus Eddy(Eddy Current) pada kumparan rotor. \* Voltage

### **Peran Generator dalam Sistem dan Syarat Proteksi Generator**

Sebagai sumber energi listrik dalam suatu sistem tenaga, generator memiliki peran yang penting, sehingga tripnya PMT/CB generator sangat tidak dikehendaki karena sangat mengganggu sistem, terutama generator yang berdaya besar. Dan juga karena letaknya di hulu, PMT/CB generator tidak boleh mudah trip tetapi juga harus aman bagi generator, walaupun didalam sistem banyak terjadi gangguan

Untuk menjaga keandalan dari kerja generator, maka dilengkapilah generator dengan peralatan-peralatan proteksi. Peralatan proteksi generator harus betul-betul mencegah kerusakan generator, karena kerusakan generator selain akan menelan biaya perbaikan mempertimbangkan pula proteksi bagi mesin penggerak, karena generator digerakkan oleh mesin penggerak mula.

### **Gangguan Generator**

Gangguan Generator relatif jarang terjadi karena:

- a. *Instalasi Listrik* tidak terbuka terhadap lingkungan, terlindung terhadap petir dan tanaman.
- b. Ada *Transformator* Blok dengan hubungan Wye-Delta, sehingga mencegah arus (gangguan) urutan nol dari Saluran Transmisi masuk ke Generator.
- c. *Instalasi Listrik* dari Generator ke Rel umumnya memakai Cable Duct yang kemungkinannya mengalami gangguan kecil.
- d. Tripnya *PMT Generator* sebagian besar (lebih dari 50%) disebabkan oleh gangguan mesin penggerak generator.

Namun ada juga gangguan-gangguan yang sering terjadi pada generator, meliputi gangguan pada :

- Stator
- Rotor (SistemPenguat)
- MesinPenggerak
- Backup instalasi di luar Generator

### **Pengaman terhadap gangguan luar generator**

Generator umumnya dihubungkan ke rel (busbar). Beban dipasok oleh saluran yang dihubungkan ke rel. Gangguan kebanyakan ada di saluran yang mengambil daya dari rel. Instalasi penghubung generator dengan rel umumnya jarang mengalami gangguan. Karena rel dan saluran yang keluar dari rel sudah mempunyai proteksi sendiri, maka proteksi generator terhadap gangguan luar cukup dengan relay arus lebih dengan time delay yang relatif lama dan dengan voltage restrain.

#### **Voltage Restrain**

- Arus Hubung Singkat Generator turun sebagai fungsi waktu.
- Hal ini disebabkan oleh membesarnya arus stator yang melemahkan medan magnet kutub (rotor) sehingga ggl dan tegangan jepit Generator turun.
- Untuk menjamin kerjanya Relay sehubungan dengan menurunnya arus hubung singkat Generator, diperlukan Voltage Restrain Coil.
- Mengingat karakteristik hubung singkat Generator yang demikian, pada Generator besar dipakai juga Relay Impedansi.

#### **Pengaman Terhadap Gangguan dalam Generator**

- a. Hubung singkat antar fasa
- b. Hubung singkat fasa ke tanah
- c. Suhu tinggi
- d. Penguatan hilang
- e. Arus urutan negatif
- f. Hubung singkat dalam sirkit rotor
- g. Out of Step
- h. Over flux

### **5.3.2 Tes Formatif**

Setelah mempelajari materi diatas jawablah pertanyaan - pertanyaan dibawah ini :

1. Jelaskan apa yang di maksud dengan sistem proteksi generator !
2. Jelaskan peran generator dalam sistem dan syarat proteksi generator !

3. Sebutkan gangguan-gangguan yang biasa terjadi pada generator !
4. Jelaskan Pengamanan terhadap gangguan luar generator !
5. Sebutkan Pengamanan terhadap gangguan dalam generator

### **Kunci Jawaban Tes Formatif**

#### **Jawaban No. 1**

Proteksi untuk gangguan dari dalam generator yaitu: \* Differential Relay: untuk melindungi generator dari gangguan akibat hubung singkat(short circuit) antar fasa. \* Stator Ground Fault Relay: untuk mendeteksi gangguan pentanahan/grounding pada generator \*Loss of Field Relay: untuk mendeteksi kehilangan medan penguatan yang menyebabkan over heating pada kumparan stator dan arus Eddy(Eddy Current) pada kumparan rotor. \* Voltage

#### **Jawaban No. 2**

Sebagai sumber energi listrik dalam suatu sistem tenaga, generator memiliki peran yang penting, sehingga tripnya PMT/CB generator sangat tidak dikehendaki karena sangat mengganggu sistem, terutama generator yang berdaya besar. Dan juga karena letaknya di hulu, PMT/CB generator tidak boleh mudah trip tetapi juga harus aman bagi generator, walaupun di dalam sistem banyak terjadi gangguan. Untuk menjaga keandalan dari kerja generator, maka dilengkapi generator dengan peralatan-peralatan proteksi. Peralatan proteksi generator harus betul-betul mencegah kerusakan generator, karena kerusakan generator selain akan menelan biaya perbaikan mempertimbangkan pula proteksi bagi mesin penggeraknya, karena generator digerakkan oleh mesin penggerak mula.

#### **Jawaban No. 3**

Gangguan-gangguan yang sering terjadi pada generator, meliputi gangguan pada:

- Stator
- Rotor (Sistem Penguat)
- Mesin Penggerak
- Backup instalasi di luar Generator

**Jawaban No. 4**

Generator umumnya dihubungkan ke rel (busbar). Beban dipasok oleh saluran yang dihubungkan ke rel. Gangguan kebanyakan ada di saluran yang mengambil daya dari rel. Instalasi penghubung generator dengan rel umumnya jarang mengalami gangguan. Karena rel dan saluran yang keluar dari rel sudah mempunyai proteksi sendiri, maka proteksi generator terhadap gangguan luar cukup dengan relay arus lebih dengan time delay yang relatif lama dan dengan voltage restrain.

**Jawaban No. 5**

- a. Hubung singkat antar fasa
- b. Hubung singkat fasa ke tanah
- c. Suhu tinggi
- d. Penguatan hilang
- e. Arus urutan negatif
- f. Hubung singkat dalam sirkit rotor
- g. Out of Step
- h. Over flux





## BAB 6

# PROTEKSI JARINGAN DISTRIBUSI

## 6.1 PENDAHULUAN

### Maksud dan Tujuan

Jaringan distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang paling dekat dengan pelanggan/ konsumen. Ditinjau dari volume fisiknya jaringan distribusi pada umumnya lebih panjang dibandingkan dengan jaringan transmisi dan jumlah gangguannya (sekian kali per 100 km pertahun) juga paling tinggi dibandingkan jumlah gangguan pada saluransaluran transmisi.

Jaringan distribusi seperti diketahui terdiri dari jaringan distribusi tegangan menengah (JTM) dan jaringan distribusi tegangan rendah (JTR). Jaringan distribusi tegangan menengah mempunyai tegangan antara 3 kV sampai 20 kV. Pada saat ini PLN hanya mengembangkan jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV.

Jaringan distribusi tegangan menengah sebagian besar berupa saluran udara tegangan menengah dan kabel tanah.

Pada saat ini gangguan pada saluran udara tegangan menengah ada yang mencapai angka 100 kali per 100 km per tahun. Sebagian besar gangguan pada saluran udara tegangan menengah tidak disebabkan oleh petir melainkan oleh sentuhan pohon, apalagi saluran udara tegangan

menengah banyak berada di dalam kota yang memiliki bangunan-bangunan tinggi dan pohon-pohon yang lebih tinggi dari tiang saluran udara tegangan menengah.

Hal ini menyebabkan saluran udara tegangan menengah yang ada di dalam kota banyak terlindung terhadap sambaran petir tetapi banyak diganggu oleh sentuhan pohon. Hanya untuk daerah di luar kota selain gangguan sentuhan pohon juga sering terjadi gangguan karena petir. Gangguan karena petir maupun karena sentuhan pohon ini sifatnya temporer (sementara), oleh karena itu penggunaan penutup balik otomatis (recloser) akan mengurangi waktu pemutusan penyediaan daya (supply interrupting time)

### **5.1.1 Deskripsi Singkat**

#### **Gangguan Hubung Singkat**

1. Gangguan hubung singkat dapat terjadi antar fase (3fase atau 2fase) atau 1 fase ketanah dan sifatnya bisa temporer atau permanen.
2. Gangguan permanen: Hubung singkat pada kabel, belitan trafo, generator, (tembusnya isolasi).
3. Gangguan temporer: Flashover karena sambaran petir, flashover dengan pohon, tertiuap angin.

#### **Gangguan Beban Lebih**

Gangguan beban lebih terjadi karena pembebanan sistem distribusi yang melebihi kapasitas sistem terpasang. Gangguan ini sebenarnya bukan gangguan murni, tetapi bila dibiarkan terus-menerus berlangsung dapat merusak peralatan.

#### **Gangguan Tegangan Lebih**

Gangguan tegangan lebih termasuk gangguan yang sering terjadi pada saluran distribusi. Berdasarkan penyebabnya maka gangguan tegangan lebih ini dapat dikelompokkan atas dua hal, yaitu :

1. Tegangan lebih power frekwensi. Pada sistem distribusi hal ini biasanya disebabkan oleh kesalahan pada AVR atau pengatur tap pada trafo distribusi.
2. Tegangan lebih surja Gangguan ini biasanya disebabkan oleh surja hubung atau surja petir.

Dari jenis gangguan tersebut, gangguan yang lebih sering terjadi dan berdampak sangat besar bagi sistem distribusi adalah gangguan hubung singkat. Sehingga istilah gangguan pada sistem distribusi lazim mengacu kepada gangguan hubung singkat dan peralatan proteksi yang dipasang cenderung mengatasi gangguan hubung singkat ini.

### **5.1.2 Manfaat Relevansi**

Setelah mempelajari bab ini diharapkan mahasiswa bisa memahami pentingnya proteksi jaringan distribusi sistem tenaga listrik

### **5.1.3 Tujuan Instruksional**

Setelah mempelajari bab ini diharapkan mahasiswa agar dapat :

- Mengidentifikasi jenis-jenis gangguan jaringan distribusi;
- Mengidentifikasi jenis-jenis proteksi distribusi
- Menggambarkan skema proteksi proteksi jaringan distribusi
- Menjelaskan cara kerja proteksi jaringan distribusi

### **5.1.4 Saran Petunjuk Belajar**

Sebelum mempelajari materi ini mahasiswa harus memahami materi pada bab sebelumnya

## **6.2 PENYAJIAN**

Klasifikasi Jaringan Distribusi Tegangan Menengah Sistem distribusi tenaga listrik didefinisikan sebagai bagian dari sistem tenaga listrik yang menghubungkan gardu induk/pusat pembangkit listrik dengan konsumen. Sedangkan jaringan distribusi adalah sarana dari sistem distribusi tenaga listrik di dalam menyalurkan energi ke konsumen. Dalam

menyalurkan tenaga listrik ke pusat beban, suatu sistem distribusi harus disesuaikan dengan kondisi setempat dengan memperhatikan faktor beban, lokasi beban, perkembangan dimasa mendatang, keandalan serta nilai ekonomisnya.

### **Berdasarkan Tegangan Pengenal**

Berdasarkan tegangan pengenalnya sistem jaringan distribusi dibedakan menjadi dua macam, yaitu :

- a. Sistem jaringan tegangan primer atau Jaringan Tegangan Menengah (JTM), yaitu berupa Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) atau Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM). Jaringan ini menghubungkan sisi sekunder trafo daya di Gardu Induk menuju ke Gardu Distribusi, besar tegangan yang disalurkan adalah 6 kV, 12 kV atau 20 kV.
- b. Jaringan tegangan distribusi sekunder atau Jaringan Tegangan Rendah (JTR), salurannya bisa berupa SKTM atau SUTM yang menghubungkan Gardu Distribusi/sisi sekunder trafo distribusi ke konsumen.

Tegangan sistem yang digunakan adalah 220 Volt dan 380 Volt.

### **Berdasarkan Konfigurasi Jaringan Primer**

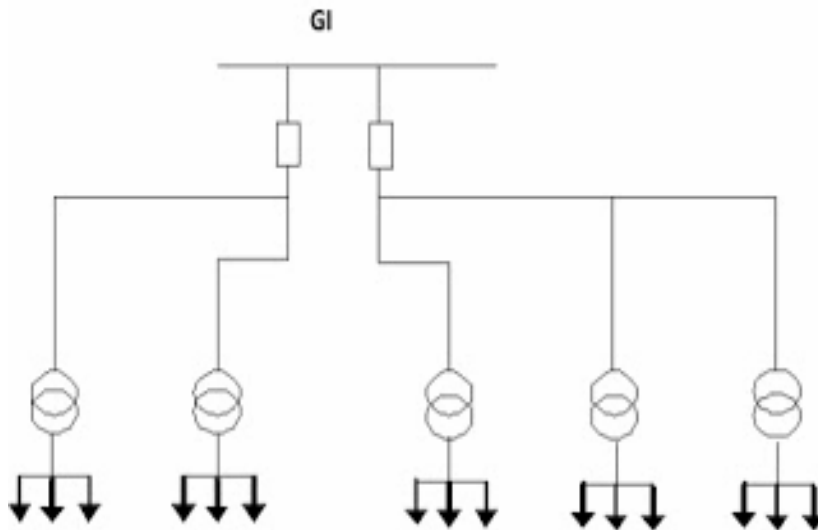
Konfigurasi jaringan distribusi primer pada suatu sistem jaringan distribusi sangat menentukan mutu pelayanan yang akan diperoleh khususnya mengenai kontinuitas pelayanannya. Adapun jenis jaringan primer yang biasa digunakan adalah:

- a. Jaringan distribusi pola radial
- b. Jaringan distribusi pola loop
- c. Jaringan distribusi pola grid
- d. Jaringan distribusi pola spindle

#### **6.2.1 Jaringan Distribusi Pola Radial**

adalah jaringan yang setiap saluran primernya hanya mampu menyalurkan daya dalam satu arah aliran daya. Jaringan ini biasa dipakai

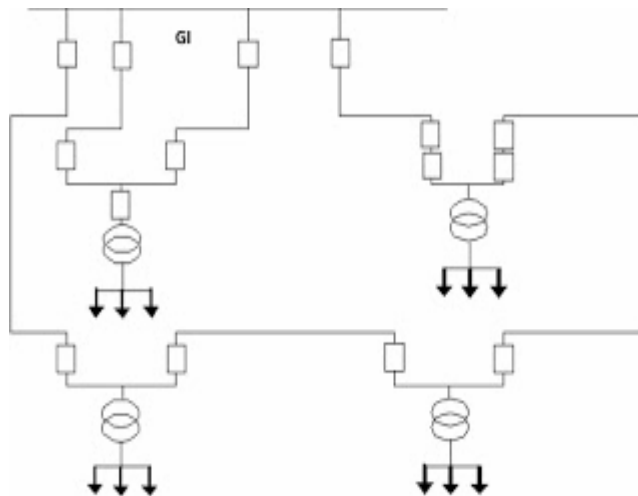
untuk melayani daerah dengan tingkat kerapatan beban yang rendah. Keuntungannya ada pada kesederhanaan dari segi teknis dan biaya investasi yang rendah. Adapun kerugiannya apabila terjadi gangguan dekat dengan sumber, maka semua beban saluran tersebut akan ikut padam sampai gangguan tersebut dapat diatasi.



**Gambar 6.1** Pola Jaringan Radial

### 6.2.2 Jaringan Distribusi Pola Loop

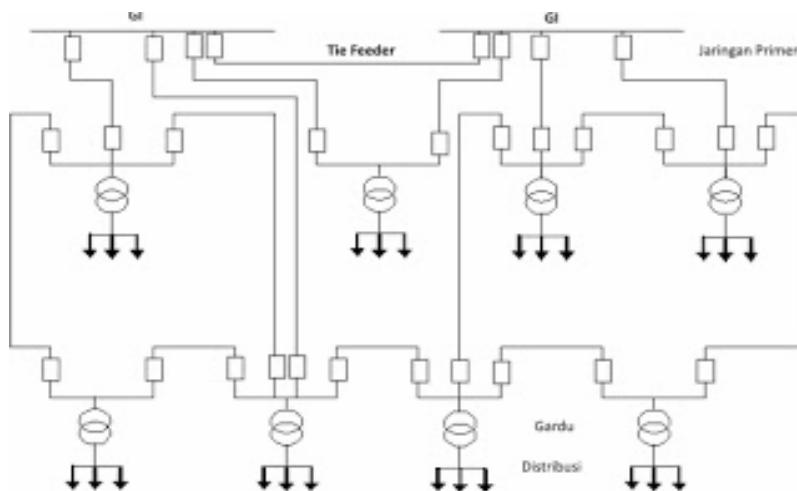
Jaringan pola loop adalah jaringan yang dimulai dari suatu titik pada rel daya yang berkeliling di daerah beban kemudian kembali ke titik rel daya semula. Pola ini ditandai pula dengan adanya dua sumber pengisian yaitu sumber utama dan sebuah sumber cadangan. Jika salah satu sumber pengisian (saluran utama) mengalami gangguan, akan dapat digantikan oleh sumber pengisian yang lain (saluran cadangan). Jaringan dengan pola ini biasa dipakai pada sistem distribusi yang melayani beban dengan kebutuhan kontinuitas pelayanan yang baik (lebih baik dari pola radial).



**Gambar 6.2** Pola Jaringan Loop

### 6.2.3 Jaringan Distribusi Pola Grid

Pola jaringan ini mempunyai beberapa rel daya dan antara rel-rel tersebut dihubungkan oleh saluran penghubung yang disebut tie feeder. Dengan demikian setiap gardu distribusi dapat menerima atau mengirim daya dari atau ke rel lain.



**Gambar 6.3** Pola Jaringan Grid

Keuntungan dari jenis jaringan ini adalah:

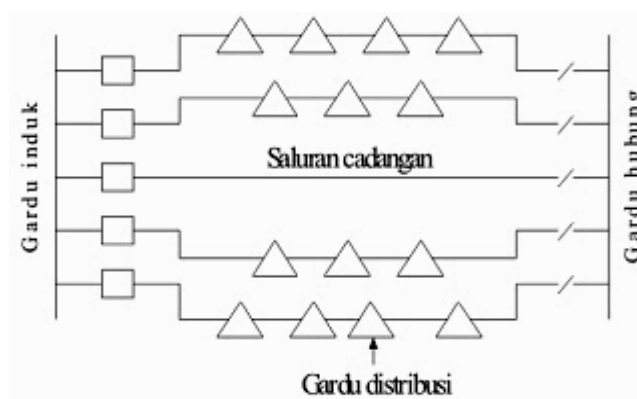
- a. Kontinuitas pelayanan lebih baik dari pola radial atau loop.
- b. Fleksibel dalam menghadapi perkembangan beban.
- c. Sesuai untuk daerah dengan kerapatan beban yang tinggi.

Adapun kerugiannya terletak pada sistem proteksi yang rumit dan mahal dan biaya investasi yang juga mahal.

### 6.2.4 Jaringan Distribusi Pola Spindel

Jaringan primer pola spindel merupakan pengembangan dari pola radial dan loop terpisah. Beberapa saluran yang keluar dari gardu induk diarahkan menuju suatu tempat yang disebut gardu hubung (GH), kemudian antara GI dan GH tersebut dihubungkan dengan satu saluran yang disebut express feeder.

Sistem gardu distribusi ini terdapat disepanjang saluran kerja dan terhubung secara seri. Saluran kerja yang masuk ke gardu dihubungkan oleh saklar pemisah, sedangkan saluran yang keluar dari gardu dihubungkan oleh sebuah saklar beban. Jadi sistem ini dalam keadaan normal bekerja secara radial dan dalam keadaan darurat bekerja secara loop melalui saluran cadangan dan GH. Untuk lebih jelasnya perhatikan gambar 6.4.



**Gambar 6.4** Sistem Jaringan Spindel

Keuntungan pola jaringan ini adalah : Sederhana dalam hal teknis pengoperasiannya seperti pola radial. Kontinuitas pelayanan lebih baik dari pada pola radial maupun loop.

- a. Pengecekan beban masing-masing saluran lebih mudah dibandingkan dengan pola grid.
- b. Penentuan bagian jaringan yang terganggu akan lebih mudah dibandingkan dengan pola grid. Dengan demikian pola proteksinya akan lebih mudah.
- c. Baik untuk dipakai di daerah perkotaan dengan kerapatan beban yang tinggi.

### **Operasi Sistem Distribusi**

Pengertian dari Operasi Sistem Distribusi adalah segala kegiatan yang mencakup pengaturan, pembagian, pemindahan, dan penyaluran tenaga listrik dari pusat pembangkit kepada konsumen dengan efektif serta menjamin kelangsungan penyalurannya / pelayanannya.

Sebagai tolok ukur pada kegiatan operasi terdapat beberapa parameter, yaitu :

#### **1. Mutu listrik**

Ada 2 hal yang menjadi ukuran mutu listrik yaitu tegangan dan frekuensi. Batas toleransi tegangan pelayanan yaitu pada konsumen TM adalah  $\pm 5\%$ , dan pada konsumen TR adalah maksimum 5 % dan minimum 10 %. Sedangkan untuk batas toleransi frekuensi adalah  $\pm 1\%$  dari frekuensi standar 50 Hz.

#### **2. Keandalan penyaluran tenaga listrik**

Sebagai indikator keandalan penyaluran adalah angka lama pemadaman/gangguan atau yang disebut *Sistem Average Interruption Duration Index* (SAIDI) dan angka seringnya pemadaman/gangguan atau yang disebut *Sistem Average Interruption Frequency Index* (SAIFI). Rumus perhitungannya yaitu :



$$a. \text{ SAIDI} = \frac{\Sigma(\text{Jam Pelanggan Padam})}{\text{Jumlah Pelanggan Total}} \times \text{jam pelanggan/ tahun}$$

$$b. \text{ SAIFI} = \frac{\text{Jam Pelanggan Padam}}{\text{Jumlah Pelanggan Total}} \times \text{jam pelanggan/ tahun}$$

3. Keamanan dan Keselamatan

Sebagai indikator dari keamanan dan keselamatan adalah jumlah angka kecelakaan akibat listrik pada personel dan kerusakan pada instalasi / peralatan serta pada lingkungan.

4. Biaya pengoperasian

Sebagai indikatornya adalah angka susut jaringan, yaitu selisih antara energi yang dikeluarkan oleh pembangkit dengan energi yang digunakan oleh pelanggan. Penyebab susut jaringan antara lain yaitu pencurian listrik, kesalahan alat ukur, jaringan yang terlalu panjang, faktor daya rendah serta konfigurasi jaringan yang kurang tepat.

5. Kepuasan pelanggan

Sebagai indikator akan kepuasan pelanggan adalah apabila kebutuhan akan listrik oleh konsumen baik kualitas, kuantitas serta kontinuitas pelayanan terpenuhi.

**Peralatan Saluran Distribusi Tegangan Menengah**

Ditinjau dari jenis konstruksinya, sistem distribusi listrik dapat dibedakan atas dua jenis yaitu sistem distribusi dengan saluran udara dan sistem distribusi dengan saluran bawah tanah. Namun pada laporan kali ini hanya akan membahas tentang sistem distribusi dengan saluran udara. Konstruksi dan struktur jaringan sistem distribusi yang akan digunakan dalam sistem distribusi merupakan kompromi antara kepentingan teknis disatu pihak dan alasan ekonomi dilain pihak. Secara teknis, konstruksi dan struktur dari jaringan yang akan digunakan harus memenuhi syarat keandalan minimum jaringan.

Konstruksi jaringan distribusi dengan saluran udara terdiri dari beberapa komponen peralatan utama, yaitu :

## 1. Tiang

Tiang listrik merupakan salah satu komponen utama dari konstruksi jaringan distribusi dengan saluran udara. Pada jaringan distribusi tiang yang biasa digunakan adalah tiang beton. Tiang listrik harus kuat karena selain digunakan untuk menopang hantaran listrik juga digunakan untuk meletakkan peralatan-peralatan pendukung jaringan distribusi tenaga listrik tegangan menengah. Penggunaan tiang listrik disesuaikan dengan kondisi lapangan.

Tiang listrik yang dipakai dalam distribusi tenaga listrik harus memiliki sifat-sifat antara lain :

- a. Kekuatan mekanik yang tinggi
- b. Perawatan yang mudah
- c. Mudah dalam pemasangan konduktor saluran dan perlengkapannya

## 2. Isolator

Isolator adalah suatu peralatan listrik yang berfungsi untuk mengisolasi konduktor atau penghantar dengan tiang listrik. Menurut fungsinya, isolator dapat ditinjau dari dua segi yaitu :

- a. Fungsi dari segi elektrik: Untuk menyekat/mengisolasi antara kawat fasa dengan tanah dan kawat fasa lainnya.
- b. Fungsi dari segi mekanis: Menahan berat dari konduktor/kawat penghantar, mengatur jarak dan sudut antar konduktor/kawat penghantar serta menahan adanya perubahan pada kawat penghantar akibat temperatur dan angin.

Bahan yang digunakan untuk pembuatan isolator yang banyak digunakan pada sistem distribusi tenaga listrik adalah isolator dari bahan porselin/keramik dan isolator dari bahan gelas. Kekuatan elektrik porselin dengan ketebalan 1,5 mm dalam pengujian memiliki kekuatan 22 sampai 28 kVrms/mm. Kekuatan mekanis dengan diameter 2 cm sampai 3 cm mampu menahan gaya tekan 4,5 ton/cm<sup>2</sup>.

Kegagalan kekuatan elektrik sebuah isolator dapat terjadi dengan jalan menembus bahan dielektrik atau dengan jalan loncatan api

(flashover) di udara sepanjang permukaan isolator. Kasus pertama dapat diatasi dengan cara memilih kualitas bahan isolator dan pengolahan/perawatan yang baik. Kasus ke dua dapat diatasi dengan memperbaiki tipe atau konstruksi dari isolatornya. Pada umumnya semua konstruksi isolator direncanakan untuk tegangan tembus yang lebih tinggi dari tegangan flashover, sehingga biasanya kekuatan elektrik isolator dikarakteristikan oleh tegangan flashovernya

Ada beberapa jenis konstruksi isolator dalam sistem distribusi, antara lain :

- a. Isolator gantung (*suspension type insulator*)
- b. Isolator jenis pasak (*pin type insulator*)
- c. Isolator batang panjang (*long rod type insulator*)
- d. Isolator jenis post saluran (*line post type insulator*)



**Gambar 6.5** *Isolator Gantung (Suspension Type Insulator)*



**Gambar 6.6** *Isolator Jenis Post Saluran (Pin Post Type Insulator)*

### 3. Penghantar

Penghantar pada sistem jaringan distribusi berfungsi untuk menghantarkan arus listrik dari suatu bagian keinstalasi atau bagian yang lain. Penghantar ini harus memiliki sifat-sifat sebagai berikut :

- a. Memiliki daya hantar yang tinggi
- b. Memiliki kekuatan tarik yang tinggi
- c. Memiliki berat jenis yang rendah
- d. Memiliki fleksibilitas yang tinggi
- e. Tidak cepat rapuh
- f. Memiliki harga yang murah

Jenis-jenis bahan penghantar, antara lain :

- a. Kawat logam biasa, contohnya AAC (*All Aluminium Conductor*).
- b. Kawat logam campuran, contohnya AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*).



**Gambar 6.7** Pengahntar AAAC

### 4. Transformator

Transformator adalah suatu alat listrik yang digunakan untuk mentransformasikan daya atau energi listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya, melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi-elektromagnet. Dengan alat yang bernama

trafo maka pilihan tegangan dapat disesuaikan dengan kebutuhan tegangan pada pelanggan.



Sumber: .....

**Gambar 6.8** *Trafo Distribusi Satu Fasa*



Sumber: .....

**Gambar 6.9** *Trafo Distribusi Tiga Fasa*

### 5. Fuse Cut Out (FCO)



**Gambar 6.10** Fuse Cut Out, Fuse Link

Fuse Cut Out (FCO) adalah sebuah alat pemutus rangkaian listrik yang berbeban pada jaringan distribusi yang bekerja dengan cara meleburkan bagian dari komponennya (fuse link) yang telah dirancang khusus dan disesuaikan ukurannya. FCO ini terdiri dari :

1. Rumah Fuse (Fuse Support)
2. Pemegang Fuse (Fuse Holder)
3. Fuse Link

Berdasarkan sifat pemutusannya Fuse Link terdiri dari 2 tipe yaitu :

1. Tipe K (pemutus cepat)
2. Tipe T (pemutus lambat)

FCO pada jaringan Distribusi digunakan sebagai pengaman percabangan 1 phasa maupun sebagai pengaman peralatan listrik (trafo Distribusi non CSP, kapasitor).

## 6. Auto Voltage Regulator (AVR)



Sumber: .....

**Gambar6.11** *Auto Voltage Regulator*

Auto Voltage Regulator (AVR) merupakan auto transformer yang berfungsi untuk mengatur/menaikan tegangan secara otomatis. Rangkaian dari regulator ini terdiri dari auto transformer penaik tegangan.

## 7. Meter Expor-Import



Sumber: .....

**Gambar 6.12** *Meter Expor-Import*

Meter Kirim - Terima disini berfungsi untuk mengetahui berapa kWh yang dikirim dan diterima antar UPJ. Pada Meter Ex-Im terdapat CT dan PT yang berfungsi untuk mentransformasikan tegangan dan arus dari yang lebih tinggi ke yang lebih rendah untuk proses pengukuran.

## 8. Peralatan Hubung

Yang termasuk dalam peralatan hubung antara lain ABSw, LBS, Recloser, Sectionalizer, dan lain sebagainya.

### Prosedur Pengoperasian Sistem Distribusi

Yang dimaksud dengan prosedur operasi pengaturan dan pengusahaan jaringan tegangan menengah adalah usaha menjamin kelangsungan penyaluran tenaga listrik, mempercepat penyelesaian gangguan - gangguan yang timbul, serta dilain pihak menjaga keselamatan baik petugas pelaksana operasi maupun instalasinya sendiri.

Pengoperasian jaringan distribusi tegangan menengah tersebut dilaksanakan dengan :

- a. Memanuver atau memanipulasi jaringan, dengan menggunakan telekontrol maupun dilapangan.
- b. Menerima informasi - informasi mengenai keadaan jaringan dan kemudian membuat penilaian (observasi) seperlunya guna menetapkan tindak lanjutan.
- c. Menerima besaran-besaran pengukuran pada jaringan yang kemudian membuat penilaian (observasi) seperlunya guna menetapkan tindak lanjutan.
- d. Mengkoordinasikan pelaksanaannya dengan pihak - pihak lain yang bersangkutan.
  - 1) Mengawasi jaringan secara kontinyu.
  - 2) Mengusut dan melokalisir gangguan jaringan.
- e. Mendeteksi gangguan jaringan sehingga titik gangguannya dapat ditemukan untuk diperbaiki.

Kegiatan operasi distribusi ini dibedakan dalam dua keadaan yaitu keadaan normal dan keadaan gangguan. Operasi sistem distribusi juga



tergantung dari beberapa hal, antara lain berdasarkan pada konfigurasi dan pola jaringan sistem distribusi yang digunakan.

Dalam operasi sistem distribusi, setiap alur tugas dari pekerjaan ditentukan oleh prosedur tetap yang biasa disebut Standing Operation Procedure (SOP), di mana SOP adalah prosedur yang dibuat berdasarkan kesepakatan/ketentuan yang harus dipatuhi oleh seseorang atau tim untuk melaksanakan tugas/fungsinya agar mendapatkan hasil yang optimal dan untuk Mengantisipasi kesalahan manuver, kerusakan peralatan dan kecelakaan manusia.

### **Manuver Jaringan Distribusi**

Manuver/manipulasi jaringan distribusi adalah serangkaian kegiatan membuat modifikasi terhadap operasi normal dari jaringan akibat dari adanya gangguan atau pekerjaan jaringan yang membutuhkan pemadaman tenaga listrik, sehingga dapat mengurangi daerah pemadaman dan agar tetap tercapai kondisi penyaluran tenaga listrik yang semaksimal mungkin. Kegiatan yang dilakukan dalam manuver jaringan antara lain :

- a. Memisahkan bagian-bagian jaringan yang semula terhubung dalam keadaan bertegangan ataupun tidak bertegangan dalam kondisi normalnya.
- b. Menghubungkan bagian-bagian jaringan yang semula terpisah dalam keadaan bertegangan ataupun tidak bertegangan dalam kondisi normalnya.

Optimalisasi atas keberhasilan kegiatan manuver jaringan dari segi teknis ditentukan oleh konfigurasi jaringan dan peralatan manuver yang tersedia di sepanjang jaringan. Peralatan yang dimaksud adalah peralatan - peralatan jaringan yang berfungsi sebagai peralatan hubung.

Peralatan tersebut antara lain yaitu :

#### **1. Pemutus Tenaga (PMT)**

Pemutus tenaga (PMT) adalah adalah alat pemutus tenaga listrik yang berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan hubungan listrik

(switching equipment) baik dalam kondisi normal (sesuai rencana dengan tujuan pemeliharaan), abnormal (gangguan), atau manuver system, sehingga dapat memonitor kontinuitas system tenaga listrik dan keandalan pekerjaan pemeliharaan

Syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh suatu pemutus tenaga atau Circuit Breaker (CB) adalah :

- a. Harus mampu untuk menutup dan dialiri arus beban penuh dalam waktu yang lama.
- b. Dapat membuka otomatis untuk memutuskan beban atau beban lebih.
- c. Harus dapat memutus dengan cepat bila terjadi hubung singkat.
- d. Celah (Gap) harus tahan dengan tegangan rangkaian, bila kontak membuka.
- e. Mampu dialiri arus hubung singkat dengan waktu tertentu.
- f. Mampu memutuskan arus magnetisasi trafo atau jaringan serta arus pemuatan (*Charging Current*)
- g. Mampu menahan efek dari *arching* kontakannya, gaya elektromagnetik atau kondisi termal yang tinggi akibat hubung singkat.

PMT tegangan menengah ini biasanya dipasang pada Gardu Induk, pada kabel masuk ke busbar tegangan menengah (*Incoming Cubicle*) maupun pada setiap rel/busbar keluar (*Outgoing Cubicle*) yang menuju penyulang keluar dari Gardu Induk (Yang menjadi kewenangan operator tegangan menengah adalah sisi *Incoming Cubicle*). Ditinjau dari media pemadam busur apinya PMT dibedakan atas :

- PMT dengan media minyak (*Oil Circuit Breaker*)
- PMT dengan media gas SF<sub>6</sub> (*SF<sub>6</sub> Circuit Breaker*)
- PMT dengan media vacum (*Vacuum Circuit Breaker*)

Konstruksi PMT sistem 20 kV pada Gardu Induk biasanya dibuat agar PMT dan mekanisme penggerakannya dapat ditarik keluar/*drawable* (agar dapat ditest posisi apabila ada pemadaman karena pekerjaan pemeliharaan maupun gangguan).

Di wilayah kerja PT. PLN (Persero) pada umumnya terdapat 7 feeder beserta PMT Feeder yang aktif. Adapun masing-masing Feeder tersebut beserta PMT feeder yang aktif meliputi :

- WBO 01
- WBO 02
- WBO 03
- WBO 04
- WBO 05
- DG 01
- DNG02

## 2. Disconnector (DS) / Saklar Pemisah

Adalah sebuah alat pemutus yang digunakan untuk menutup dan membuka pada komponen utama pengaman/recloser, DS tidak dapat dioperasikan secara langsung, karena alat ini mempunyai desain yang dirancang khusus dan mempunyai kelas atau spesifikasi tertentu, jika dipaksakan untuk pengoperasian langsung, maka akan menimbulkan busur api yang dapat berakibat fatal. Yang dimaksud dengan pengoperasian langsung adalah penghubungan atau pemutusan tenaga listrik dengan menggunakan DS pada saat DS tersebut masih dialiri tegangan listrik.



Sumber: .....

**Gambar 6.13** *Disconnecting Switch (DS)*

Pengoperasian DS tidak dapat secara bersamaan melainkan dioperasikan satu per satu karena antara satu DS dengan DS yang lain tidak berhubungan, biasanya menggunakan stick (tongkat khusus) yang dapat dipanjangkan atau dipendekkan sesuai dengan jarak dimana DS itu berada, DS sendiri terdiri dari bahan keramik sebagai penopang dan sebuah pisau yang berbahan besi logam sebagai switchnya.

### 3. Air Break Switch (ABS<sub>w</sub>)

Air Break Switch (ABS<sub>w</sub>) adalah peralatan hubung yang berfungsi sebagai pemisah dan biasa dipasang pada jaringan luar. Biasanya medium kontakannya adalah udara yang dilengkapi dengan peredam busur api / interrupter berupa hembusan udara.

ABS<sub>w</sub> juga dilengkapi dengan peredam busur api yang berfungsi untuk meredam busur api yang ditimbulkan pada saat membuka / melepas pisau ABS<sub>w</sub> yang dalam kondisi bertegangan . Kemudian ABS<sub>w</sub> juga dilengkapi dengan isolator tumpu sebagai penopang pisau ABS<sub>w</sub> , pisau kontak sebagai kontak gerak yang berfungsi membuka / memutus dan menghubungkan / memasukan ABS<sub>w</sub> , serta stang ABS<sub>w</sub> yang berfungsi sebagai tangkai penggerak pisau ABS<sub>w</sub>.

Perawatan rutin yang dilakukan untuk ABS<sub>w</sub> karena sering dioperasikan, mengakibatkan pisau-pisaunya menjadi aus dan terdapat celah ketika dimasukkan ke peredamnya / kontakannya. Celah ini yang mengakibatkan terjadi lonjakan bunga api yang dapat membuat ABS<sub>w</sub> terbakar.



**Gambar 6.14** Air Break Switch, Handle ABS<sub>w</sub>

Pemasangan ABSw pada jaringan, antara lain digunakan untuk :

- a. Penambahan beban pada lokasi jaringan
- b. Pengurangan beban pada lokasi jaringan
- c. Pemisahan jaringan secara manual pada saat jaringan mengalami gangguan.

ABSW terdiri dari :

- a. Stang ABSW
- b. Cross Arm Besi
- c. Isolator Tumpu
- d. Pisau Kontak
- e. Kawat Pentanahan
- f. Peredam Busur Api
- g. Pita Logam Fleksibel

#### **4. Load Break Switch (LBS)**

*Load Break Switch* (LBS) atau saklar pemutus beban adalah peralatan hubung yang digunakan sebagai pemisah ataupun pemutus tenaga dengan beban nominal. Proses pemutusan atau pelepasan jaringan dapat dilihat dengan mata telanjang. Saklar pemutus beban ini tidak dapat bekerja secara otomatis pada waktu terjadi gangguan, dibuka atau ditutup hanya untuk memanipulasi beban.



**Gambar 6.15** *Load Break Switch (LBS)*

### 5. Recloser (Penutup Balik Otomatis / PBO )

Recloser adalah peralatan yang digunakan untuk memproteksi bila terdapat gangguan, pada sisi hilirnya akan membuka secara otomatis dan akan melakukan penutupan balik (reclose) sampai beberapa kali tergantung penyetalannya dan akhirnya akan membuka secara permanen bila gangguan masih belum hilang (lock out). Penormalan recloser dapat dilakukan baik secara manual maupun dengan sistem remote. Recloser juga berfungsi sebagai pembatas daerah yang padam akibat gangguan permanen atau dapat melokalisir daerah yang terganggu

Recloser mempunyai 2 (dua) karakteristik waktu operasi (dual timing), yaitu operasi cepat (fast) dan operasi lambat (delay)

Menurut fasanya recloser dibedakan atas :

- a. Recloser 1 fasa
- b. Recloser 3 fasa

Menurut sensor yang digunakan, recloser dibedakan atas :

- a. Recloser dengan sensor tegangan (dengan menggunakan trafo tegangan) digunakan di jawa timur
- b. Recloser dengan sensor arus (dengan menggunakan trafo arus) digunakan di jawa tengah



**Gambar 6.16** Recloser

### **Optimasi Sistem Distribusi**

Optimasi sistem distribusi adalah pengoperasian jaringan distribusi yang paling menguntungkan dengan memaksimalkan perangkat-perangkat jaringan namun tetap berada pada sistem yang ditetapkan, yaitu :

- a. Daya terpasang tidak berlebihan.
- b. Beban tidak terlalu kecil.
- c. Rugi tegangan dan daya dalam batas-batas normal.
- d. Keandalan sistem distribusi menjadi prioritas.
- e. Keamanan terhadap lingkungannya terjaga.
- f. Secara ekonomis menguntungkan.
- g. Susut umur peralatan sesuai rencana.

Peralatan jaringan yang dapat dioptimasi antara lain :

#### **6. Kawat Penghantar**

Optimasi pembebanan pada kawat penghantar adalah memaksimalkan batasan besar arus yang dilalukan melewati penghantar sesuai dengan KWA dan kondisi sekitarnya, sebab apabila berlebihan akan dapat mengakibatkan :

- a. Pelunakan pada titik tumpu penghantar.
- b. Pelunakan pada titik tumpu ikatan penghantar.
- c. Berkurangnya jarak aman / andongan.
- d. Kerusakan pada isolasi.

#### **7. Trafo Distribusi**

Transformator adalah suatu alat listrik yang digunakan untuk mentransformasikan daya atau energi listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya, melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi-elektromagnet.

Trafo yang umum digunakan untuk sistem distribusi yaitu trafo 1 phasa dan trafo 3 phasa. Sedangkan berdasar sistem pengamannya, trafo distribusi dibagi menjadi dua macam, yaitu trafo CSP dan trafo non CSP.

Trafo distribusi non CSP memiliki sistem pengamanan , diantaranya :

- a. Pengaman TM terdiri dari :
  - 1) Pemisah lebur : 20 kV, disesuaikan dengan kapasitas trafo yang dipergunakan.
  - 2) Arester 18 kV, 5 kA
  - 3) Pembumian, dengan menunjuk SPLN yang ada untuk menetapkan nilai pembumiannya.
- b. Pengaman TR terdiri dari :  
Kotak dengan pengaman lebur, untuk trafo dengan kapasitas lebih dari atau sama dengan 50 kVA.

Sedangkan untuk trafo CSP (completely self protection), memiliki sistem pengaman berupa pemutus tenaga pada sisi sekunder, dan pengaman lebur serta arrester pada sisi primer. Ketiga pengaman tersebut merupakan suatu kesatuan trafo CSP.

Pembebanan trafo bisa dilakukan melebihi daya pengenalnya pada suhu sekitar trafo tersebut pada nilai tertentu tetapi harus dibatasi oleh lamanya pembebanan lebih, agar susut umur trafo sesuai dengan yang direncanakan. Susut trafo sangat dipengaruhi oleh suhu titik panas pada lilitan.

**Tabel 6.1** *Susut Umur pada Trafo*

$\sigma C$ (°C)	Susut Umur
80	0,125
86	0,25
92	0,5
98	1
104	2
110	4
116	8
122	16
128	32
134	64
140	128



Trafo dengan susut umur sama dengan 1,0 berarti trafo tersebut akan mempunyai susut umur normal, dan itu terjadi bila suatu suhu titik panas pada lilitan mencapai 98 °C. Suhu tersebut tercapai untuk trafo yang bekerja pada daya dengan suhu sekitar 20°C. Pada umumnya suhu sekitar di Indonesia terutama di kota-kota besar suhu sekitar rata-rata tahunan sekitar 25,5°C. dan mengingat sifat beban di Indonesia, maka dimungkinkan trafo dapat dipakai sampai batas waktu yang direncanakan pabriknya.

### **Pemeliharaan Sistem Distribusi**

Pemeliharaan merupakan suatu pekerjaan yang dimaksudkan untuk mendapatkan jaminan bahwa suatu sistem / peralatan akan berfungsi secara optimal, umur teknisnya meningkat dan aman baik bagi personil maupun bagi masyarakat umum.

Sesuai dengan Surat Edaran Direksi PT. PLN (Persero), maksud diadakannya pelaksanaan kegiatan pemeliharaan jaringan distribusi antara lain adalah :

1. Menjaga agar peralatan / komponen dapat dioperasikan secara optimal berdasarkan spesifikasinya sehingga sesuai dengan umur ekonomisnya.
2. Menjamin bahwa jaringan tetap berfungsi dengan baik untuk menyalurkan energi listrik dari pusat listrik sampai ke sisi pelanggan.
3. Menjamin bahwa energi listrik yang diterima pelanggan selalu berada pada tingkat keandalan dan mutu yang baik.
4. Mendapatkan jaminan bahwa sistem/peralatan distribusi aman baik bagi personil maupun bagi masyarakat umum.
5. Untuk mendapatkan efektivitas yang maksimum dengan memperkecil waktu tak jalan peralatan sehingga ongkos operasi yang menyertai diperkecil.
6. Menjaga kondisi peralatan atau sistem dengan baik, sehingga kualitas produksi atau kualitas kerja dapat dipertahankan.
7. Mempertahankan nilai atau harga diri peralatan atau sistem, dengan mencegah timbulnya kerusakan-kerusakan.

8. Untuk menjamin keselamatan bagi karyawan yang sedang bekerja dan seluruh peralatan dari kemungkinan adanya bahaya akibat kerusakan dan kegagalan suatu alat.
9. Untuk mempertahankan seluruh peralatan dengan efisiensi yang maximum.
10. Dan tujuan akhirnya yaitu untuk mendapatkan suatu kombinasi yang ekonomis antar berbagai factor biaya dengan hasil kerja yang optimum.

### **Gangguan**

Salah satu faktor yang mempengaruhi keandalan sistem adalah masalah gangguan, baik yang terjadi pada peralatan maupun yang terjadi pada sistem. Definisi gangguan adalah terjadinya suatu kerusakan didalam sirkuit listrik yang menyebabkan aliran arus dibelokkan dari saluran yang sebenarnya.

#### **1. Macam - macam gangguan**

Penyebab gangguan dapat dikelompokkan menjadi :

- a. Gangguan intern (dari dalam), yaitu gangguan yang disebabkan oleh sistem itu sendiri. Misalnya gangguan hubung singkat, kerusakan pada alat, switching kegagalan isolasi, kerusakan pada pembangkit dan lain-lain.
- b. Gangguan extern (dari luar), yaitu gangguan yang disebabkan oleh alam atau diluar sistem. Misalnya terputusnya saluran/kabel karena angin, badai, petir, pepohonan, layang - layang dan sebagainya.
- c. Gangguan karena faktor manusia, yaitu gangguan yang disebabkan oleh kecerobohan atau kelalaian operator, ketidak telitian, tidak mengindahkan peraturan pengamanan diri, dan lain-lain.

#### **2. Akibat Gangguan**

Akibat gangguan yang terjadi pada sistem antara lain :

- a. Beban lebih  
Pada saat terjadi gangguan maka sistem akan mengalami keadaan kelebihan beban karena arus gangguan yang masuk ke sistem dan

mengakibatkan sistem menjadi tidak normal, jika dibiarkan berlangsung dapat membahayakan peralatan sistem.

b. Hubung singkat

Pada saat hubung singkat akan menyebabkan gangguan yang bersifat temporer maupun yang bersifat permanen. Gangguan permanen dapat terjadi pada hubung singkat 3 phasa, 2 phasa ketanah, hubung singkat antar phasa maupun hubung singkat 1 phasa ketanah. Sedangkan pada gangguan temporer terjadi karena flashover antar penghantar dan tanah, antara penghantar dan tiang, antara penghantar dan kawat tanah dan lain - lain.

c. Tegangan lebih

Tegangan lebih dengan frekuensi daya, yaitu peristiwa kehilangan atau penurunan beban karena switching, gangguan AVR, over speed karena kehilangan beban. Selain itu tegangan lebih juga terjadi akibat tegangan lebih transient surja petir dan surja hubung / switching.

d. Hilangnya sumber tenaga

Hilangnya pembangkit biasanya diakibatkan oleh gangguan di unit pembangkit, gangguan hubung singkat jaringan sehingga rele dan CB bekerja dan jaringan terputus dari pembangkit.

### Jenis-jenis Pemeliharaan

Oleh karena luas dan kompleknya keadaan jaringan distribusi serta tidak sedikitnya sistem jaringan dan peralatan distribusi yang perlu dipelihara serta adanya gangguan – gangguan yang sering muncul di sistem distribusi, maka pemeliharaan jaringan distribusi dikelompokkan dalam tiga macam pemeliharaan yaitu :

#### 1. Pemeliharaan Rutin (*Preventive Maintenance*)

Pemeliharaan rutin adalah pemeliharaan untuk mencegah terjadinya kerusakan peralatan tiba-tiba dan mempertahankan unjuk kerja jaringan agar selalu beroperasi dengan keadaan dan efisiensi yang tinggi. Berdasarkan tingkat kegiatannya pemeliharaan preventif dapat dibedakan atas pemeriksaan rutin dan pemeriksaan sistematis.

### **Pemeriksaan Rutin**

Pemeriksaan rutin adalah pekerjaan pemeriksaan jaringan secara visual (inspeksi) untuk kemudian diikuti dengan pelaksanaan pekerjaan-pekerjaan pemeliharaan sesuai dengan saran-saran (rekomendasi) dari hasil inspeksi, antara lain penggantian, pembersihan, peneraan dan pengetesan.

Hasil pekerjaan diharapkan dari pekerjaan pemeriksaan rutin ini adalah dapat ditemukannya kelainan - kelainan atau hal - hal yang dikawatirkan bisa menyebabkan terjadinya gangguan sebelum periode pemeliharaan rutin berikutnya terselenggara.

Suatu sistem jaringan dapat dinyatakan sudah mengalami pemeliharaan rutin apabila sistem jaringan sudah diperiksa secara visual dan saran-saran sudah dilaksanakan, kecuali saran pekerjaan yang bersifat perubahan / rehabilitasi jaringan.

### **Pemeriksaan Rutin Sistematis**

Pemeliharaan sistematis adalah pekerjaan pemeliharaan yang dimaksudkan untuk menemukan kerusakan atau gejala kerusakan yang tidak ditemukan/diketahui pada saat pelaksanaan inspeksi yang kemudian disusun saran-saran untuk perbaikan.

Pekerjaan dalam kegiatan pemeriksaan rutin sistematis akan lebih luas jangkauannya dan akan lebih teliti, bisa sampai tahap bongkar pasang (over haul).

Suatu sistem jaringan dapat dikatakan sudah dilaksanakan pemeliharaan rutin sistematis apabila sistem jaringan tsb sudah dipelihara secara sistematis termasuk pekerjaan-pekerjaan yang sifatnya penyempurnaan/perubahan.

## **2. Pemeliharaan Korektif ( *Corrective Maintenance* )**

Pemeliharaan korektif dapat dibedakan dalam 2 kegiatan yaitu: terencana dan tidak terencana. Kegiatan yang terencana diantaranya adalah pekerjaan perubahan/penyempurnaan yang dilakukan pada jaringan

untuk memperoleh keandalan yang lebih baik (dalam batas pengertian operasi) tanpa mengubah kapasitas semula. Kegiatan yang tidak terencana misalnya mengatasi/perbaiki kerusakan peralatan/gangguan.

Perbaikan kerusakan dalam hal ini dimaksudkan suatu usaha/pekerjaan untuk mempertahankan atau mengembalikan kondisi sistem atau peralatan yang mengalami gangguan/kerusakan sampai kembali pada keadaan semula dengan kepastian yang sama.

Pekerjaan-pekerjaan yang termasuk pemeliharaan korektif diantaranya adalah :

- a. Pekerjaan penggantian kabel yang rusak
- b. Pekerjaan JTM yang putus
- c. Penggantian bushing trafo yang pecah
- d. Penggantian tiang yang patah

Perubahan/penyempurnaan dalam hal ini yang dimaksudkan adalah suatu usaha/pekerjaan untuk penyempurnaan sistem atau peralatan distribusi dengan cara mengganti/merubah sistem peralatan dengan harapan agar daya guna dan keandalan sistem peralatan yang lebih tinggi dapat dicapai tanpa merubah kapasitas sistem peralatan semula. Pekerjaan itu antara lain :

- a. Pekerjaan rehabilitasi gardu.
- b. Pekerjaan rehabilitasi JTM.
- c. Pekerjaan rehabilitasi JTR.

### **3. Pemeliharaan Darurat ( Emergency Maintenance )**

Pemeliharaan darurat atau disebut juga pemeliharaan khusus adalah pekerjaan pemeliharaan yang dimaksud untuk memperbaiki jaringan yang rusak yang disebabkan oleh bencana alam seperti gempa bumi, angin rebut, kebakaran dsb yang biasanya waktunya mendadak. Dengan demikian sifat pekerjaan pemeliharaan untuk keadaan ini adalah sifatnya mendadak dan perlu segera dilaksanakan, dan pekerjaannya tidak direncanakan. Contoh kegiatan pemeliharaan darurat adalah :

- a. Perbaikan/penggantian JTR yg rusak akibat kebakaran
- b. Perbaikan/penggantian instalasi gardu yang rusak.
- c. Perbaikan/penggantian gardu dan jaringan yang rusak akibat bencana alam.

### **Jadwal Pemeliharaan**

Salah satu usaha untuk meningkatkan mutu, daya guna, dan keandalan tenaga listrik yang telah tercantum dalam tujuan pemeliharaan adalah menyusun program pemeliharaan periodik dengan jadwal tertentu.

Menurut siklusnya kegiatan pelaksanaan pemeliharaan distribusi dapat dikelompokkan dalam empat kelompok yaitu :

#### **1. Pemeliharaan Bulanan**

Pemeliharaan bulanan dilaksanakan tiap satu bulan sekali. Kegiatan pemeliharaan bulanan antara lain :

- a. Inspeksi jaringan SUTM meliputi tiang, bracket, cross arm, pentanahan, penghantar, isolator, lightning arrester dan lain-lain.
- b. Inspeksi jaringan SUTR
- c. Inspeksi gardu distribusi
- d. Pengukuran beban pada trafo distribusi

#### **2. Pemeliharaan Tri Wulanan**

Pemeliharaan tri wulanan atau 3 bulanan adalah suatu kegiatan dilapangan yang dilaksanakan dalam tiga bulan dengan maksud untuk mengadakan pemeriksaan kondisi sistem. Dengan harapan langkah-langkah yang perlu dilaksanakan perbaikan sistem peralatan yang terganggu dapat ditentukan lebih awal.

Bila ada keterbatasan dalam masalah data pemeliharaan, program pemeliharaan triwulan dapat dibagi untuk memelihara bagian-bagian jaringan distribusi yang rawan gangguan, diantaranya adalah saluran telanjang atau tidak berisolasi. Dimana saluran udara semacam ini diperkirakan paling rawan terhadap gangguan external misalnya pohon-pohon, benang layang-layang dsb.

Kegiatan yang perlu dilakukan dalam program triwulanan adalah :

- a. Mengadakan inspeksi terhadap saluran udara harus mempunyai jarak aman yang sesuai dengan yang di iijinkan ( 2 m ).
- b. Mengadakan evaluasi terhadap hasil inspeksi yang telah dilaksanakan dan segera mengadakan tindak lanjut.

### **3. Pemeliharaan Semesteran ( 6 Bulan )**

Pemeliharaan semesteran atau enam bulanan adalah suatu kegiatan yang dilakukan di lapangan dengan maksud untuk mengetahui sendiri kemungkinan keadaan beban jaringan dan tegangan pada ujung jaringan suatu penyulang TR (tegangan rendah). Di mana besarnya regulasi tegangan yang diijinkan oleh PLN pada saat ini adalah maksimal 5% untuk sisi pengirim dan minimal 10% untuk sisi penerima. Perbandingan beban untuk setiap fasanya pada setiap penyulang TR tidak kurang dari 90%; 100% dan 110%. Hal ini untuk menjaga adanya kemiringan tegangan yang terlalu besar pada saat terjadi gangguan putus nya kawat netral ( Nol ) di jaringan TR.

Kegiatan yang perlu dilakukan dalam pemeliharaan ini adalah :

- a. Melakukan pengukuran beban.
- b. Melaksanakan pengukuran tegangan ujung jaringan.
- c. Mengadakan evaluasi hasil pengukuran dan menindak lanjuti.
- d. Memeriksa keadaan penghantar/kawat.
- e. Membersihkan isolator.
- f. Memeriksa kondisi tiang.

### **4. Pemeliharaan Tahunan**

Pemeliharaan tahunan merupakan suatu kegiatan yang dilaksanakan untuk mengadakan pemeriksaan dan perbaikan sistem peralatan. Kegiatan pemeliharaan tahunan biasanya dilaksanakan menurut tingkat prioritas tertentu. Pekerjaan perbaikan sistem peralatan yang sifatnya dapat menunjang operasi secara langsung atau pekerjaan-pekerjaan yang dapat mengurangi adanya gangguan operasi sistem perlu mendapat prioritas yang lebih tinggi.

Kegiatan pemeliharaan tahunan dapat dilaksanakan dalam dua keadaan yaitu :

a. Pemeliharaan Tahunan Keadaan Bertegangan

Pekerjaan-pekerjaan yang perlu dilakukan untuk pemeliharaan tahunan keadaan bertegangan adalah mengadakan pemeriksaan secara visual (inspeksi) dengan maksud untuk menemukan hal-hal atau kelainan-kelainan yang dikawatirkan / dicurigai dapat menyebabkan gangguan pada operasi sistem, sebelum periode pemeliharaan tahunan berikutnya terselenggara.

Pemeliharaan semacam ini pada pelaksanaannya menggunakan chek list untuk memudahkan para petugas memeriksa dan mendata hal - hal yang perlu diperhatikan dan dinilai.

Ketentuan bekerja pada keadaan bertegangan yaitu :

- 1) Petugas/pelaksana pekerjaan mempunyai kompetensi yang dibutuhkan
- 2) Memiliki surat ijin kerja dari yang berwenang
- 3) Dalam keadaan sehat, sadar, tidak mengantuk atau tidak dalam keadaan mabuk
- 4) Saat bekerja harus berdiri pada tempat atau mempergunakan perkakas yang berisolasi dan andal
- 5) Menggunakan perlengkapan badan yang sesuai dan diperiksa setiap dipakai sesuai petunjuk yang berlaku
- 6) Dilarang menyentuh perlengkapan listrik yang bertegangan dengan tangan telanjang
- 7) Keadaan cuaca tidak mendung/hujan
- 8) Dilarang bekerja di ruang dengan bahaya kebakaran/ledakan, lembab dan sangat panas.

b. Pemeliharaan Tahunan Keadaan Bebas Tegangan

Pemeliharaan tahunan keadaan bebas tegangan adalah pemeliharaan peralatan/perlengkapan jaring distribusi TM/TR yang dilaksanakan dimana obyeknya dalam keadaan tanpa tegangan atau pemadaman.



Hal ini bukan berarti disekitar obyek pemeliharaan benar-benar sama sekali tidak bertegangan.

Pekerjaan-pekerjaan pemeliharaan tahunan pada keadaan bebas tegangan adalah pekerjaan-pekerjaan yang meliputi pemeriksaan, pembersihan, pengetesan dan penggantian material bantu, misal : fuse link, sekering.

### **5. Pemeliharaan 3 Tahunan**

Pemeliharaan tiga tahunan merupakan program pemeliharaan sebagai tindak lanjut dari kegiatan pemeliharaan tahunan yang telah diselenggarakan.

Kegiatan pemeliharaan tiga tahunan dilaksanakan dalam keadaan bebas tegangan dimana sifat pemeliharanya baik teliti dan penyaluran, biasa sampai tahap bongkar pasang (over houl). Dengan keadaan ini, pelaksanaan pemeliharaan tiga tahunan merupakan kegiatan pemeliharaan rutin yang termasuk pekerjaan pemeriksaan rutin sistematis.

#### **Peralatan pengukuran tenaga listrik**

Dalam operasi dan pemeliharaan jaringan distribusi kemampuan penggunaan alat ukur sangat dibutuhkan untuk mengetahui kondisi dan indikasi kerusakan dari sistem distribusi serta komponen pendukungnya. Berikut ini peralatan pengukuran yang digunakan dalam operasi dan pemeliharaan jaringan distribusi

#### **Clampmeter**

Clampmeter ataupun tangmeter dapat digunakan untuk mengukur arus, tegangan maupun resistansi. tangmeter ini ada beberapa tipe dan yang digunakan di PLN tangmeternya mempunyai dua cara dalam pengukuran pada rangkaian.

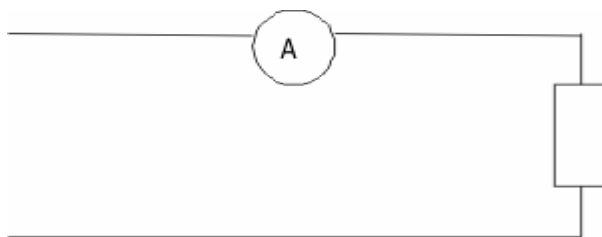


**Gambar 6.17** *Clampmeter*

Yang pertama dengan dijepit, yaitu dengan cara memasukan salah satu kabel agar berada di tengah-tengah penjepit. Dan yang satunya lagi dengan menggunakan probe, probe merah dan probe hitam. Caranya dapat dilihat seperti gambar dibawah ini.

- a. Clampmeter digunakan sebagai amperemeter

Amperemeter adalah alat untuk mengukur kuat arus listrik dalam rangkaian tertutup. Amperemeter biasanya dipasang secara seri (berderet) dengan elemen listrik. Amperemeter biasanya digunakan untuk mengukur besarnya arus yang mengalir pada kawat penghantar.



**Gambar 6.18** *Pengawatan Amperemeter*

- b. Clampmeter digunakan sebagai voltmeter

voltmeter adalah alat untuk mengukur besarnya tegangan. Voltmeter biasanya dipasang secara parallel dengan sumber tegangan maupun beban.



**Gambar 6.19** Pengawatan Voltmeter

**KWH meter**

KWH meter digunakan untuk mengukur energi arus bolak-balik, alat ukur ini biasa digunakan oleh konsumen listrik ataupun oleh PLN sendiri, alat ini banyak terpasang dirumah-rumah penduduk berguna untuk menentukan besar kecilnya rekening listrik si pemakai.

Mengingat sangat pentingnya arti kwhmeter, maka agar diperhatikan benar cara penyambungan alat ukur ini.



Sumber: .....

**Gambar 6.20** KWH Meter 1 Fasa

**Gambar 6.21**KWH Meter 3 Fasa

**Megger**

Megger dipergunakan untuk mengukur tahanan isolasi dari alat-alat listrik maupun instalasi-instalasi, output dari alat ukur ini umumnya adalah tegangan tinggi arus searah, yang diputar oleh tangan. Megger ini banyak digunakan petugas dalam mengukur tahanan isolasi antara lain untuk: kabel instalasi pada rumah-rumah/bangunan, kabel tegangan rendah, kabel tegangan tinggi, transformator, OCB dan peralatan listrik lainnya.



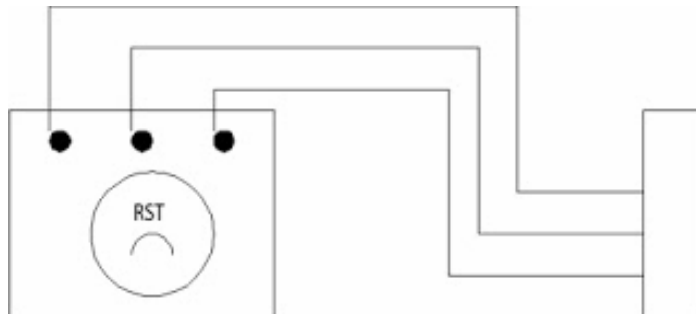
Sumber: .....

**Gambar 6.22** *Megger*

### Phasa Sequence

Alat ukur ini digunakan untuk mengetahui benar / tidaknya urutan phasa system tegangan listrik 3 phasa. Alat ini sangat penting khususnya dalam melaksanakan penyambungan gardu-gardu ataupun konsumen listrik, karena kesalahan urutan phasa dapat menimbulkan :

- kerusakan pada peralatan/mesin antara lain putaran motor listrik terbalik
- putaran piringan kwh meter menjadi lambat ataupun berhenti sama sekali cara penyambungannya adalah sebagaimana terlihat pada gambar berikut



**Gambar 6.23** *Pengawatan Phasa Sequence*

## **6.3 Penutup**

### **6.3.1 Rangkuman**

#### **Klasifikasi Jaringan Distribusi Tegangan Menengah**

Sistem distribusi tenaga listrik didefinisikan sebagai bagian dari sistem tenaga listrik yang menghubungkan gardu induk/pusat pembangkit listrik dengan konsumen. Sedangkan jaringan distribusi adalah sarana dari sistem distribusi tenaga listrik di dalam menyalurkan energi ke konsumen.

Berdasarkan tegangan pengenalnya sistem jaringan distribusi dibedakan menjadi dua macam, yaitu :

- a. Sistem jaringan tegangan primer atau Jaringan Tegangan Menengah (JTM), yaitu berupa Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) atau Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM). Jaringan ini menghubungkan sisi sekunder trafo daya di Gardu Induk menuju ke Gardu Distribusi, besar tegangan yang disalurkan adalah 6 kV, 12 kV atau 20 kV.
- b. Jaringan tegangan distribusi sekunder atau Jaringan Tegangan Rendah (JTR), salurannya bisa berupa SKTM atau SUTM yang menghubungkan Gardu Distribusi/sisi sekunder trafo distribusi ke konsumen. Tegangan sistem yang digunakan adalah 220 Volt dan 380 Volt.

#### **Berdasarkan Konfigurasi Jaringan Primer**

Konfigurasi jaringan distribusi primer pada suatu sistem jaringan distribusi sangat menentukan mutu pelayanan yang akan diperoleh khususnya mengenai kontinuitas pelayanannya. Adapun jenis jaringan primer yang biasa digunakan adalah:

- a. Jaringan distribusi pola radial
- b. Jaringan distribusi pola loop
- c. Jaringan distribusi pola grid
- d. Jaringan distribusi pola spindle

#### a. Jaringan Distribusi Pola Radial

adalah jaringan yang tiap saluran primernya hanya mampu menyalurkan daya dalam satu arah. Jaringan ini biasa dipakai untuk melayani tingkat kerapatan beban rendah. Keuntungannya, jaringan ini sederhana, biaya rendah. Kerugian dekat sumber padam.

#### b. Jaringan Distribusi Pola Loop

Jaringan pola loop adalah jaringan yang dimulai dari suatu titik pada rel daya yang berkeliling di daerah beban kemudian kembali ke titik rel daya semula. Pola ini ditandai pula dengan adanya dua sumber pengisian yaitu sumber utama dan sebuah sumber cadangan. Jika salah satu sumber pengisian (saluran utama) mengalami gangguan, akan dapat digantikan oleh sumber pengisian yang lain (saluran cadangan). Jaringan dengan pola ini biasa dipakai pada sistem distribusi yang melayani beban dengan kebutuhan kontinuitas pelayanan yang baik (lebih baik dari pola radial).

#### c. Jaringan Distribusi Pola Grid

Pola jaringan ini mempunyai beberapa rel daya dan antara rel-rel tersebut dihubungkan oleh saluran penghubung yang disebut tie feeder. Dengan demikian setiap gardu distribusi dapat menerima atau mengirim daya dari atau ke rel lain.

#### d. Jaringan Distribusi Pola Spindel

Jaringan primer pola spindel merupakan pengembangan dari pola radial dan loop terpisah. Beberapa saluran yang keluar dari gardu induk diarahkan menuju suatu tempat yang disebut gardu hubung (GH), kemudian antara GI dan GH tersebut dihubungkan dengan satu saluran yang disebut express feeder.

Sebagai tolok ukur pada kegiatan operasi terdapat beberapa parameter, yaitu :

1. Mutu listrik
2. Keandalan penyaluran tenaga listrik
3. Keamanan dan keselamatan
4. Biaya pengoperasian
5. Kepuasan pelanggan

Peralatan Saluran Distribusi Tegangan Menengah Konstruksi jaringan distribusi dengan saluran udara terdiri dari beberapa komponen peralatan utama, yaitu :

1. Tiang
2. Isolator
3. Penghantar
4. Transformator

#### Pemeliharaan Sistem Distribusi

Pemeliharaan merupakan suatu pekerjaan yang dimaksudkan untuk mendapatkan jaminan bahwa suatu sistem/peralatan akan berfungsi secara optimal, umur teknisnya meningkat dan aman baik bagi personil maupun bagi masyarakat umum.

Sesuai dengan Surat Edaran Direksi PT. PLN (Persero), maksud diadakannya pelaksanaan kegiatan pemeliharaan jaringan distribusi antara lain adalah :

1. Menjaga agar peralatan/komponen dapat dioperasikan secara optimal berdasarkan spesifikasinya sehingga sesuai dengan umur ekonomisnya.
2. Menjamin bahwa jaringan tetap berfungsi dengan baik untuk menyalurkan energi listrik dari pusat listrik sampai ke sisi pelanggan.
3. Menjamin bahwa energi listrik yang diterima pelanggan selalu berada pada tingkat keandalan dan mutu yang baik.
4. Mendapatkan jaminan bahwa sistem/peralatan distribusi aman baik bagi personil maupun bagi masyarakat umum.
5. Untuk mendapatkan efektivitas yang maksimum dengan memperkecil waktu tak jalan peralatan sehingga ongkos operasi yang menyertai diperkecil.

6. Menjaga kondisi peralatan atau sistem dengan baik, sehingga kualitas produksi atau kualitas kerja dapat dipertahankan.
7. Mempertahankan nilai atau harga diri peralatan atau sistem, dengan mencegah timbulnya kerusakan-kerusakan.
8. Untuk menjamin keselamatan bagi karyawan yang sedang bekerja dan seluruh peralatan dari kemungkinan adanya bahaya akibat kerusakan dan kegagalan suatu alat.
9. Untuk mempertahankan seluruh peralatan dengan efisiensi yang maximum.
10. Dan tujuan akhirnya yaitu untuk mendapatkan suatu kombinasi yang ekonomis antar berbagai factor biaya dengan hasil kerja yang optimum.

### **Gangguan**

Salah satu faktor yang mempengaruhi keandalan sistem adalah masalah gangguan, baik yang terjadi pada peralatan maupun yang terjadi pada sistem. Definisi gangguan adalah terjadinya suatu kerusakan didalam sirkuit listrik yang menyebabkan aliran arus diblokkan dari saluran yang sebenarnya.

#### 1. Macam - macam gangguan

Penyebab gangguan dapat dikelompokkan menjadi :

- a. Gangguan intern (dari dalam), yaitu gangguan yang disebabkan oleh sistem itu sendiri. Misalnya gangguan hubung singkat, kerusakan pada alat, switching kegagalan isolasi, kerusakan pada pembangkit dan lain - lain.
- b. Gangguan extern (dari luar), yaitu gangguan yang disebabkan oleh alam atau diluar sistem. Misalnya terputusnya saluran/kabel karena angin, badai, petir, pepohonan, layang - layang dan sebagainya.
- c. Gangguan karena faktor manusia, yaitu gangguan yang disebabkan oleh kecerobohan atau kelalaian operator, ketidak telitian, tidak mengindahkan peraturan pengamanan diri, dan lain-lain.



2. Akibat gangguan

Akibat gangguan yang terjadi pada sistem antara lain :

- a. Beban lebih
- b. Hubung singkat
- c. Tegangan lebih
- d. Hilangnya sumber tenaga

**Jenis-jenis Pemeliharaan**

Oleh karena luas dan kompleknya keadaan jaringan distribusi serta tidak sedikitnya sistem jaringan dan peralatan distribusi yang perlu dipelihara serta adanya gangguan-gangguan yang sering muncul di sistem distribusi, maka pemeliharaan jaringan distribusi dikelompokkan dalam tiga macam pemeliharaan yaitu :

1. Pemeliharaan Rutin ( Preventive Maintenance )

Pemeliharaan rutin adalah pemeliharaan untuk mencegah terjadinya kerusakan peralatan tiba-tiba dan mempertahankan unjuk kerja jaringan agar selalu beroperasi dengan keadaan dan efisiensi yang tinggi. Berdasarkan tingkat kegiatannya pemeliharaan preventif dapat dibedakan atas pemeriksaan rutin dan pemeriksaan sistematis.

2. Pemeriksaan rutin

3. *Pemeliharaan Korektif (Corrective Maintenance)*

Pemeliharaan korektif dapat dibedakan dalam 2 kegiatan yaitu: terencana dan tidak terencana. Kegiatan yang terencana diantaranya adalah pekerjaan perubahan / penyempurnaan yang dilakukan pada jaringan untuk memperoleh keandalan yang lebih baik (dalam batas pengertian operasi) tanpa mengubah kapasitas semula. Kegiatan yang tidak terencana misalnya mengatasi / perbaikan kerusakan peralatan / gangguan.

Pekerjaan-pekerjaan yang termasuk pemeliharaan korektif diantaranya adalah :

- a. Pekerjaan penggantian jumperan kabel yang rusak
- b. Pekerjaan JTM yang putus

- c. Penggantian bushing trafo yang pecah
- d. Penggantian tiang yang patah

Jadwal Pemeliharaan

### 6.3.2 Tes Formatif

Setelah mempelajari materi di atas jawablah pertanyaan - pertanyaan berikut ini !

1. Jelaskan pengertian sistem distribusi tenaga listrik !
2. Berdasarkan tegangan pengenalnya sistem jaringan distribusi dibedakan menjadi dua macam. Sebutkan !
3. Sebutkan jenis-jenis jaringan primer yang biasa digunakan !
4. Sebutkan jenis-jenis pemeliharaan jaringan distribusi
5. Sebutkan pekerjaan-pekerjaan yang termasuk pemeriksaan korektif !

#### Kunci Jawaban Tes Formatif

##### Jawaban no. 1

Sistem distribusi tenaga listrik didefinisikan sebagai bagian dari sistem tenaga listrik yang menghubungkan gardu induk/pusat pembangkit listrik dengan konsumen. Sedangkan jaringan distribusi adalah sarana dari sistem distribusi tenaga listrik di dalam menyalurkan energi ke konsumen.

##### Jawaban no. 2

Berdasarkan tegangan pengenalnya sistem jaringan distribusi dibedakan menjadi dua macam, yaitu :

- a. Sistem jaringan tegangan primer atau Jaringan Tegangan Menengah (JTM), yaitu berupa Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) atau Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM). Jaringan ini menghubungkan sisi sekunder trafo daya di Gardu Induk menuju ke Gardu Distribusi, besar tegangan yang disalurkan adalah 6 kV, 12 kV atau 20 kV.
- b. Jaringan tegangan distribusi sekunder atau Jaringan Tegangan Rendah (JTR), salurannya bisa berupa SKTM atau SUTM yang menghubungkan Gardu Distribusi/sisi sekunder trafo distribusi ke

konsumen. Tegangan sistem yang digunakan adalah 220 Volt dan 380 Volt.

**Jawaban no. 3**

Adapun jenis jaringan primer yang biasa digunakan adalah:

- a. Jaringan distribusi pola radial
- b. Jaringan distribusi pola loop
- c. Jaringan distribusi pola grid
- d. Jaringan distribusi pola spindle
- e. Jaringan Distribusi Pola Radial.

**Jawaban no. 4**

1. Pemeliharaan Rutin ( *Preventive Maintenance* )
2. Pemeriksaan rutin
3. Pemeliharaan Korektif ( *Corrective Maintenance* )

**Jawaban no. 5**

Pekerjaan-pekerjaan yang termasuk pemeliharaan korektif diantaranya adalah :

- a. Pekerjaan penggantian jumperan kabel yang rusak
- b. Pekerjaan JTM yang putus
- c. Penggantian bushing trafo yang pecah
- d. Penggantian tiang yang patah

Jadwal Pemeliharaan



## **BAB 7**

---

# **RELAY PROTEKSI**

## **7.1 PENDAHULUAN**

### **Maksud dan Tujuan**

**Y**ang dimaksud dengan proteksi terhadap tenaga listrik ialah sistem pengamanan yang dilakukan terhadap peralatan-peralatan listrik, yang terpasang pada sistem tenaga listrik tersebut. Misalnya Generator, Transformator, Jaringan transmisi / distribusi dan lain-lain terhadap kondisi operasi abnormal dari sistem itu sendiri. Yang dimaksud dengan kondisi abnormal tersebut antara lain dapat berupa :

- Hubung singkat
- Tegangan lebih/kurang
- Beban lebih
- Frekuensi sistem turun/naik
- Dan lain-lain

### **7.1.1 Deskripsi Singkat**

Adapun fungsi dari sistem proteksi adalah:

- Untuk menghindari atau mengurangi kerusakan peralatan listrik akibat adanya gangguan (kondisi abnormal). Semakin cepat reaksi perangkat proteksi yang digunakan, maka akan semakin sedikitlah pengaruh gangguan terhadap kemungkinan kerusakan alat.

- Untuk mempercepat melokalisasi luas/zone daerah yang terganggu, sehingga daerah yang terganggu menjadi sekecil mungkin.
- Untuk dapat memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi kepada konsumen, dan juga mutu listriknya baik.
- Untuk mengamankan manusia (terutama) terhadap bahaya yang ditimbulkan oleh listrik.

Agar sistem proteksi dapat dikatakan baik dan benar (dapat bereaksi dengan cepat, tepat dan murah), maka perlu diadakan pemilihan dengan seksama dan dengan memperhatikan faktor-faktor sebagai berikut

1. Macam saluran yang diamankan.
2. Pentingnya saluran yang dilindungi.
3. Kemungkinan banyaknya terjadi gangguan.
4. Tekno-ekonomis sistem yang digunakan.

Peralatan utama yang dipergunakan untuk mendeteksi dan memerintahkan peralatan proteksi bekerja adalah relay

### **7.1.2 Manfaat Relevansi**

Dengan mempelajari bab ini mahasiswa diharapkan dapat memahami pentingnya pengamanan dalam sistem tenaga listrik dan salah satunya adalah pengamanan jenis relay.

### **7.1.3 Tujuan Instruksional**

Setelah mempelajari buku ajar ini mahasiswa diharapkan dapat :

1. Menjelaskan pengertian relay
2. Menjelaskan jenis – jenis relay
3. Menjelaskan jenis – jenis relay elektromagnetis
4. Menjelaskan jenis – jenis arus lebih

### **7.1.4 Saran Petunjuk Belajar**

Sebelum mempelajari materi ini, kepada mahasiswa perlu mempelajari materi sebelumnya yaitu gangguan dalam sistem tenaga listrik

## 7.2 PENYAJIAN

Sistem pengaman tenaga listrik merupakan sistem pengaman pada peralatan-peralatan yang terpasang pada sistem tenaga listrik, seperti generator, bus bar, transformator, saluran udara tegangan tinggi, saluran kabel bawah tanah, dan lain sebagainya terhadap kondisi abnormal operasi sistem tenaga listrik tersebut (J. Soekarto, 1985).

Kegunaan sistem pengaman tenaga listrik, antara lain untuk

1. Mencegah kerusakan peralatan-peralatan pada sistem tenaga listrik akibat terjadinya gangguan atau kondisi operasi sistem yang tidak normal;
2. Mengurangi kerusakan peralatan-peralatan pada sistem tenaga listrik akibat terjadinya gangguan atau kondisi operasi sistem yang tidak normal;
3. Mempersempit daerah yang terganggu sehingga gangguan tidak melebar pada sistem yang lebih luas;
4. Memberikan pelayanan tenaga listrik dengan keandalan dan mutu tinggi kepada konsumen;
5. Mengamankan manusia dari bahaya yang ditimbulkan oleh tenaga listrik.

### 7.2.1 Syarat-syarat Relay Pengaman

Syarat-syarat agar peralatan relay pengaman dapat dikatakan bekerja dengan baik dan benar adalah:

#### 1. Cepat Bereaksi

Relay harus cepat bereaksi/bekerja bila sistem mengalami gangguan atau kerja abnormal.

Kecepatan bereaksi dari relay adalah saat relay mulai merasakan adanya gangguan sampai dengan pelaksanaan pelepasan circuit breaker (C.B) karena komando dari relay tersebut.

Waktu bereaksi ini harus diusahakan secepat mungkin sehingga dapat menghindari kerusakan pada alat serta membatasi daerah yang mengalami gangguan / kerja abnormal.

Mengingat suatu sistem tenaga mempunyai batas-batas stabilitas serta kadang-kadang gangguan sistem bersifat sementara, maka relay yang semestinya bereaksi dengan cepat kerjanya perlu diperlambat (time delay), seperti yang ditunjukkan persamaan :

$$t_{op} = t_p + t_{cb} \quad (1.1.)$$

di mana :  $t_{op}$  = total waktu yang dipergunakan untuk memutuskan hubungan  $t_p$  = waktu bereaksinya unit relay  $t_{cb}$  = waktu yang dipergunakan untuk pelepasan C.B

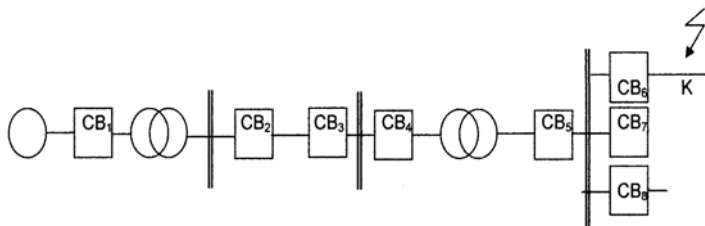
Pada umumnya untuk  $t_{op}$  sekitar 0,1 detik kerja peralatan proteksi sudah dianggap bekerja cukup baik.

## 2. Selektif

Yang dimaksud dengan selektif di sini adalah kecermatan pemilihan dalam mengadakan pengamanan, di mana hal ini menyangkut koordinasi pengamanan dari sistem secara keseluruhan.

Untuk mendapatkan keandalan yang tinggi, maka relay pengaman harus mempunyai kemampuan selektif yang baik. Dengan demikian, segala tindakannya akan tepat dan akibatnya gangguan dapat dieliminir menjadi sekecil mungkin.

Berikut diberikan contohnya pada Gambar 7.1:



**Gambar 7.1** Suatu Sistem Tenaga Listrik yang Sederhana Mengalami Gangguan pada Titik K



Dalam sistem tenaga listrik seperti gambar di atas, apabila terjadi gangguan pada titik K, maka hanya C.B.6 saja yang boleh bekerja sedangkan untuk C.B.1, C.B.2 dan C.B. - C.B. yang lain tidak boleh bekerja,

### 3. Peka / Sensitif

Relay harus dapat bekerja dengan kepekaan yang tinggi, artinya harus cukup sensitif terhadap gangguan didaerahnya meskipun gangguan tersebut minimum, selanjutnya memberikan jawaban/response .

### 4. Andal / Reliability

Keandalan relay dihitung dengan jumlah relay bekerja/mengamankan daerahnya terhadap jumlah gangguan yang terjadi. Keandalan relay dikatakan cukup baik bila mempunyai harga : 90 % - 99%. Misal, dalam satu tahun terjadi gangguan sebanyak 25 X dan relay dapat bekerja dengan sempurna sebanyak 23 X, maka :

$$\begin{aligned} \text{keandalan relay} &= \\ 23/25 \times 100 \% &= 92 \% \end{aligned}$$

Keandalan dapat di bagi 2 :

- a. *Dependability* : relay harus dapat diandalkan setiap saat.
- b. *Security* : tidak boleh salah kerja / tidak boleh bekerja yang bukan seharusnya bekerja.

### 5. Sederhana / Simplicity

Makin sederhana sistem relay semakin baik, mengingat setiap peralatan/komponen relay memungkinkan mengalami kerusakan. Jadi sederhana maksudnya kemungkinan terjadinya kerusakan kecil (tidak sering mengalami kerusakan).

### 6. Murah / Economy

Relay sebaiknya yang murah, tanpa meninggalkan persyaratan-persyaratan yang telah tersebut di atas.

## 7.2.2 Klasifikasi Relay

Dari beberapa macam relay yang ada, dapatlah kita membedakannya menurut klasifikasi berikut :

### 1. Berdasarkan prinsip Kerjanya

- Relay elektro-magnetis; tarikan dan induksi
- Relay termis
- Relay elektronik

### 2. Berdasarkan konstruksinya

- Tipe angker tarikan
- tipe batang seimbang
- tipe cakram induksi
- tipe kap induksi
- tipe kumparan yang bergerak
- tipe besi yang bergerak
- dan lain-lain

### 3. Berdasarkan besaran yang diukur

- Relay tegangan
- relay arus
- relay impedansi
- relay frekwensi
- dan lain-lain

Selain itu pada relay-relay di atas masih juga dapat dibedakan seperti berikut :

- Over, yaitu relay akan bekerja bila besaran ukuran yang telah ditentukan dilampaui.
- under, yaitu relay akan bekerja bila berada sebelum i bawah harga besaran yang telah ditentukan.
- directional, yaitu bekerjanya relay ditentukan oleh arah aliran tenaga listriknya.

#### 4. Berdasarkan cara menghubungkan sensing element :

Primary relay ; sensing element berhubungan langsung dengan sirkit yang harus diamankan. secondary relay ; sensing element mendapatkan arus dan atau tegangan dari trafo arus dan atau tegangan secara tidak langsung.

#### 5. Berdasarkan Cara Kerja Kontrol Elemen

- a. *Direct acting*; kontrol elemen bekerja langsung memutuskan aliran / hubungan.
- b. *Indirect acting*; kontrol elemen hanya digunakan untuk menutup kontak, suatu peralatan lain digunakan memutuskan rangkaian / aliran. Pada indirect acting selalu dipakai sumber DC, mengingat :
  - 1) Segi Keuntungan:
    - a) Keamanan lebih terjamin
    - b) Pada waktu memeriksa atau reparasi tidak perlu memutuskan aliran utama
    - c) Terpisah secara elektris dari tegangan kerja sistem
    - d) Tak tergantung dari besarnya tegangan sistem yang diamankan
  - 2) Segi Kerugian:
    - a) Dibandingkan dengan direct acting, maka konstruksinya lebih kompleks
    - b) Untuk tegangan rendah kurang ekonomis

#### 6. Berdasarkan Macam Tugas / Kegunaan

- a. Main relay; sebagai elemen utama didaiam sistem pengaman, jadi berhubungan langsung dengan besaran-besaran listrik yang diukur (arus, tegangan dan lain-lain).
- b. Supplementary relay; sebagai relay pembantu, misal memperbanyak kontak, menjalankan sinyal dan lain-lain.

#### 7. Berdasarkan Karakteristik

- a. *Instantaneous*
- b. *Definite time delay*, yakni relay yang bekerjanya dengan kelambatan waktu.

Definite time delay dapat dibedakan 2 macam yaitu yang dapat diatur (*regulable time delay*) waktunya dan yang tidak dapat diatur waktunya (*non-regulable time delay*).

c. inverse

#### 8. Berdasarkan Macam Kontaktor

- a. *Normally open*, kontak dalam keadaan terbuka, bila lilitan pada inti tidak mendapatkan tenaga (*de-energized*)
- b. *Normally closed*, tertutup bila *de-energized*

### 7.2.3 Fungsi Relay Pengaman

Fungsi dari relay pengaman adalah untuk menentukan dengan segera pemutusan/penutupan pelayanan penyaluran setiap elemen sistem tenaga listrik bila mendapatkan gangguan atau kondisi kerja yang abnormal, yang dapat mengakibatkan kerusakan alat atau akan mempengaruhi sistem/sebagian sistem yang masih beroperasi normal. Pemutusan beban (C.B.) merupakan satu rangkaian dengan relay pengaman.

Oleh karena itu C.B. harus mempunyai kemampuan untuk memutuskan arus hubung singkat yang mengalir melaluinya. Selain itu, juga harus mampu terhadap penutupan pada kondisi hubung singkat yang kemudian diputuskan lagi sesuai dengan sinyal yang diterima relay. Bila pemakaian relay pengaman dan C.B. diperhitungkan tidak ekonomis, maka dapat dipakai fuse / sekering.

Fungsi yang lain dari relay pengaman adalah untuk mengetahui letak dan jenis gangguan. Sehingga dari pengamatan ini dapat dipakai untuk pedoman perbaikan peralatan yang rusak.

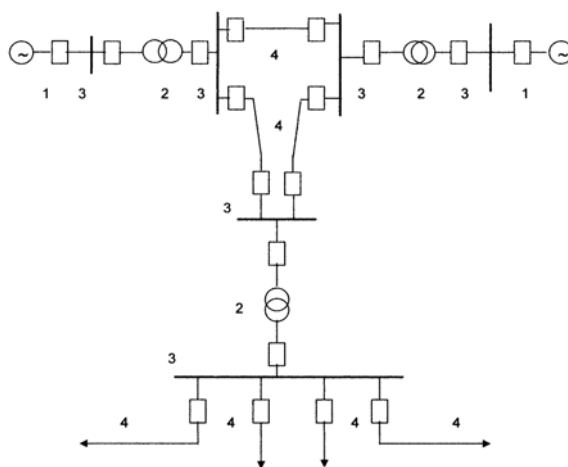
Biasanya data tersebut dianalisa secara efektif guna langkah pencegahan terhadap gangguan dan juga untuk mengetahui kekurangan-kekurangan apa yang ada pada sistem dan pada pengaman (termasuk relay) itu sendiri.

### 7.2.4 Daerah Pengamanan (*Protective Zone*)

Untuk mendapatkan sistem pengaman yang cukup baik didalam sistem tenaga listrik, sistem tenaga tersebut dibagi dalam beberapa daerah pengamanan yakni dengan pemutusan sub-sistem seminimum mungkin. Adapun yang dimaksud dengan keterangan diatas adalah :

1. Generator
2. Transformator daya
3. Bus-bar
4. Transmisi, sub-transmisi dan distribusi
5. Beban

Pembagian ke 5 daerah pengamanan diatas dilaksanakan secara saling meliputi (*over lapping*), seperti yang diperlihatkan pada Gambar 7.2.

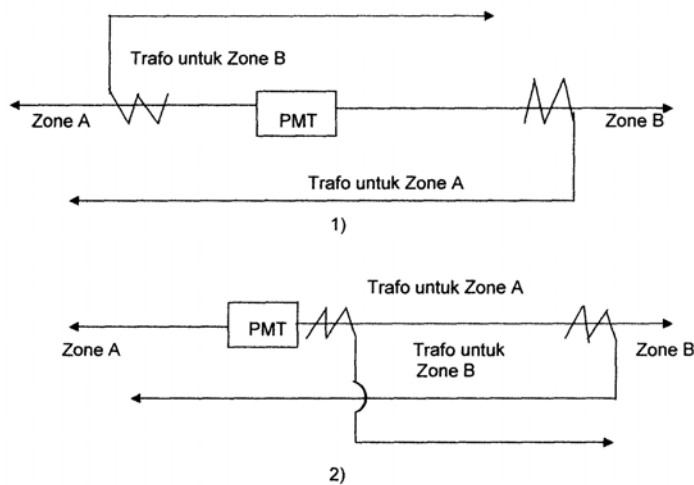


**Gambar 7.2** Diagram Satu Garis Suatu Sistem Tenaga Listrik dengan Daerah-Daerah Pengamanannya

Yang dimaksud dengan saling meliputi adalah bahwa pada suatu tempat sistem pengamanannya (daerah) berfungsi. Hal ini diperlukan untuk menghindari kemungkinan adanya daerah yang tidak teramankan. Adapun pelaksanaan saling meliputi tersebut dapat dilakukan dengan cara mengnubungkan relay dengan trafo arus seperti yang diperlihatkan pada Gambar 7.3.

Daerah yang dibicarakan di atas adalah daeran jangkauan dari relay pengaman utama, yang berarti relay pengaman utama mendeteksi adanya gangguan/kerja ab-normal dan meneruskan keadaan ini (berupa sinyal) ke C. B .

Apabila karena suatu sebab relay pengaman gagal dalam menjalankan tugasnya, maka harus ada relay pengaman kedua untuk menggantikan fungsi relay yang gagal tadi. Relay pengaman kedua ini disebut *back-up relay*.

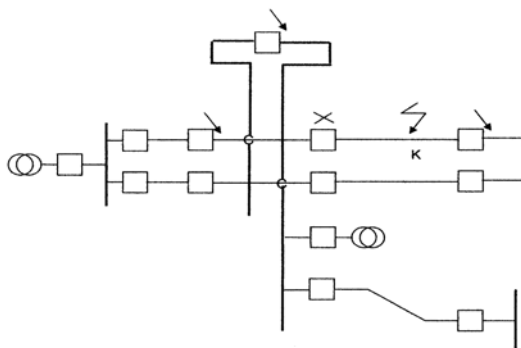


**Gambar 7.3** Prinsip Saling Meliputi Dari Rangkaian Relay Pengaman 1) C.B Diapit Oleh Dua Trafo Arus 2) Kedua Trafo Arus Diletakkan Disamp[ing C.B

Relay pengaman kedua tersebut dapat diletakkan pada satu lokasi dengan relay pengaman utama atau dapat juga dengan relay pengaman yang terletak di sisi selanjutnya yang berdampingan (ditempatkan) pada lokasi/stasion yang berlainan.

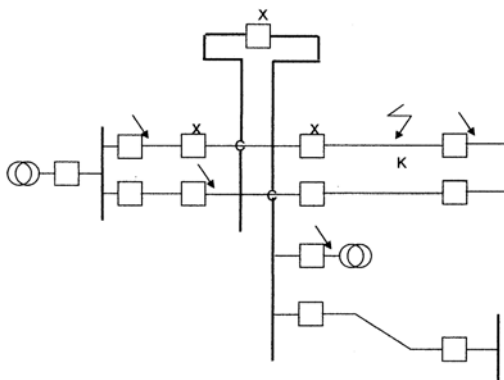
Sebagai contoh dari penempatan satu tempat antara relay pengaman utama dan back-up relays adalah pada pilot relay, sedangkan yang kedua adalah pada distance relay untuk S.U.T.T. Apabila relay pengaman utama berada pada satu lokasi dengan back-up relays disebut *local back-up*, bila back-up relay berada pada sisi selanjutnya yang berdampingan disebut

*remote back-up*. Seperti yang dijelaskan pada Gambar 7.4 tampak bahwa dengan terjadinya gangguan pada titik K, semestinya ke dua C.B. yang berada disebelah kiri dan kanannya bekerja. Akan tetapi bila karena suatu sebab C.B. yang berada disebelah kiri tidak bekerja, maka C.B. - C.B. yang lain harus bekerja seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.4a. Demikian pula penjelasannya untuk Gambar 7.4b.



**Gambar 7.4.a** Prinsip Lokal Back-Up

X = C.B. gagal trip  
 = C.B. trip



**Gambar 7.4.b** Prinsip Remote Back-Up

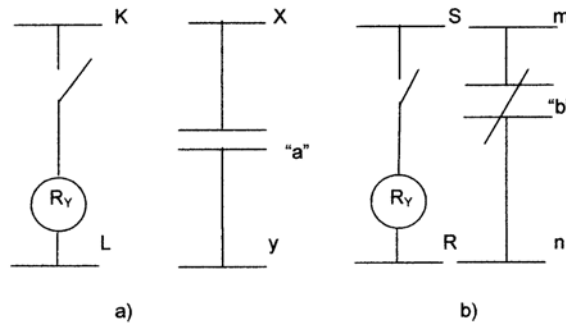
X = C.B. gagal trip  
 = C.B. trip

### 7.2.5 Prinsip Dasar Kerja Relay Elektro-Magnetis dan Sifat-sifatnya

Untuk lebih mudah mempelajari maupun mengevaluasi cara kerja sistem, kiranya perlu terlebih dahulu kita ketahui pengertian-pengertian umum yang biasanya dipakai, rangkaian dasar sistem proteksi dan cara kerja (prinsip dasar) relay beserta sifat-sifatnya. Pada buku ini khususnya dibahas relay elektro-magnetis, sedangkan untuk relay-relay yang lain mudah-mudahan dapat ditambahkan pada kesempatan yang lain.

Suatu relay disebut beroperasi/bekerja bila kontak-kontak yang terdapat pada relay tersebut bergerak membuka atau menutup dari suatu kondisi mulanya (tertutup atau terbuka).

Kontak relay yang mempunyai posisi terbuka pada kondisi mula dan kemudian relay bekerja sehingga mengakibatkan kontak relay tersebut menutup, maka kontak yang demikian ini dinamakan kontak terbuka atau biasa disebut normally open dan sesuai dengan standar internasional diberi simbol " a " contact. Untuk yang sebaliknya disebut " b " contact. Agar lebih jelasnya berikut. diberikan penjelasannya.



**Gambar 7.5** Simbol Kontak Relay: a) Normally Open b) Normally Close

Pada relay Normally open (NO) gambar 7.5 a) KL terbuka, maka relay R<sub>y</sub> dalam kondisi de-energize, sehingga rangkaian x-y terbuka. Hal ini disebabkan karena kontak dari pada relay R<sub>y</sub> adalah kontak terbuka atau " a " contact.



Untuk relay Normally close (NC) gambar 7.5 b), bila rangkaian SR terbuka, maka relay RY dalam kondisi de-energize sehingga rangkaian m-n tertutup karena kontak relay RY adalah kontak tertutup atau " b " contact.

Bila relay mulai bekerja untuk membuka kontak " b " atau menutup kontak " a " disebut "*pick-up*" dan suatu besaran harga terkecil yang menentukan kerja tersebut dimulai dari harga nol selanjutnya dinaikkan perlahan-lahan sampai pada suatu harga tertentu sehingga relay bekerja disebut *harga "pick-up"*. Sedangkan bila relay mulai bekerja untuk menutup kontak "b" atau bergerak untuk berhenti pada posisi kontak "b" disebut "reset", dan suatu besaran harga yang menyebabkan relay tersebut bergerak dengan cara memperkecil besaran input secara perlahan-lahan disebut *harga "reset"*. Bila suatu relay mulai bekerja untuk membuka kontak "a" tapi reset disebut "drop-off".. Harga terbesar sehingga drop-off terjadi disebut *harga "drop-off"*.

### 7.2.6 Beberapa Macam Tipe / Konstruksi Relay Elektro-Magnetis

Beberapa jenis relay elektro-magnetis yang banyak digunakan dalam peralatan-peralatan proteksi sistem jaringan tenaga listrik antara lain adalah:

- Tipe torak (*plunger*)
- Tipe armatur yang digantung (*hinged armature*)
- Tipe batang seimbang (*balanced beam*)
- Tipe cakram induksi (*induction disc*)
- Tipe kap induksi (*induction cup*)

Urutan pertama dan kedua tersebut di atas termasuk dalam relay angker tarikan (*attracted armature*).

Selain relay angker tarikan, maka relay batang seimbang menggunakan sumber arus searah untuk bekerjanya relay, sedangkan untuk relay cakram induksi dan kap induksi, sesuai dengan namanya menggunakan motor induksi, sehingga tentu saja besaran input yang diperlukan adalah besaran arus bolak-balik.

### 1. Relay Tipe Torak (*Plunger*)

Relay tipe torak mempunyai kumparan yang berbentuk silinder, di mana pada bagian luarnya dilengkapi dengan rangkaian magnetik. Torak (*plunger*) -nya terletak ditengah-tengah kumparan dan dapat bergerak bebas ke atas-bawah. Bila kumparan tersebut mendapatkan tegangan yang harganya melebihi harga pick-upnya, maka torak akan bergerak ke atas selanjutnya menggerakkan kontaktor gerak dan akan menempel pada kontaktor diam.

Bergeraknya torak tersebut adalah disebabkan adanya gaya tarik elektro-magnet pada elemen yang bergerak dan besarnya sebanding dengan kuadrat fluksi ( $\phi^2$ ).

$$F = k.(\phi^2)$$

Misalkan arus yang mengalir pada kumparan I, maka dari hukum Ampere untuk celah udara:

$$N.I = H. d I$$

→

$$N.d I = H. d I \quad H = \frac{N.I}{L}$$

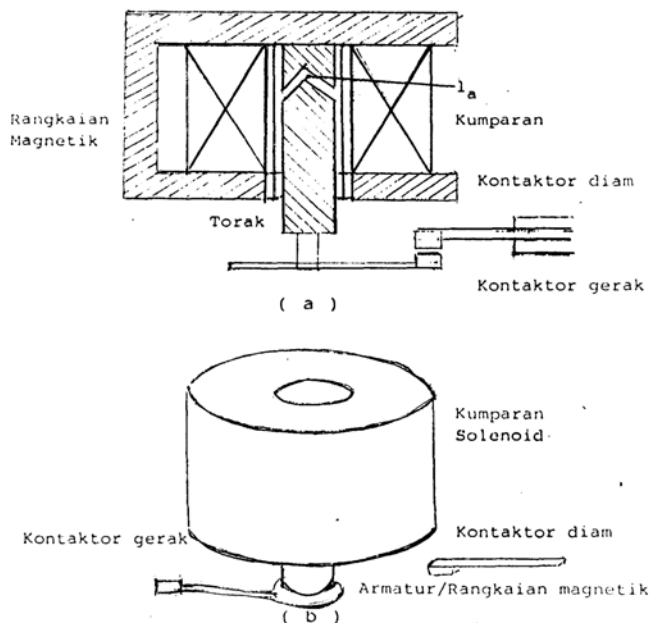
$$\text{Jadi } F = k. \left(\frac{N.I}{L}\right)^2 = k. \left(\frac{N.I}{L}\right)^2 I^2 = k. I^2$$

Selain gaya tarik yang disebabkan oleh besaran input, ada gaya lawan yang disebabkan oleh pergesekan atau berat toraknya sendiri dan dinyatakan dalam  $K_s$ , sehingga :

$$SF = K. I^2 - K_s .$$

Konstruksi dari relay ini sangat sederhana sekali input dapat berupa besaran arus atau tegangan.

Dengan adanya kumparan yang diberi penguatan artinya kumparan mengalami energize, sehingga akan membuat menjadi magnet (besi yang dilingkupinya akan bersifat magnet), selanjutnya akan menarik angker, kemudian menutup kontak dan akhirnya rangkaian trip akan tertutup.



**Gambar 7.6** Relay Tipe Torak (Plunger): a) Hubungan Relay b) Kontak Relay

Reaksi relay jenis ini sangat cepat sekali, yaitu berkisar antara 5 sampai dengan 50 mili-sekon sehingga banyak digunakan sebagai relay sesaat (instantaneous relay).

Keuntungannya :

Keuntungan dari relay tipe ini adalah :

1. Dapat digunakan untuk besaran arus bolak-balik maupun besaran searah.
2. Bentuk konstruksinya sederhana.
3. Waktu reaksi kerjanya sangat cepat
4. Harganya murah
5. Dapat di reset dengan tangan maupun otomatis
6. Dapat disetel untuk memperoleh drop-off yang tinggi

Kerugiannya:

Kerugian dari relay tipe ini adalah:

- a. Terdapat torsi vibrasi bila digunakan pada besaran input arus bolak-balik.
- b. Tidak dapat dioperasikan secara terus-menerus pada posisi pick-up
- c. Pick-upnya akan menjadi lebih kecil pada besaran arus yang bentuk gelombangnya offset (cacat) dibandingkan dengan bentuk gelombang sinusoidal yang simetris.
- d. Tidak dapat membedakan arah (indirectional).
- e. Hanya bereaksi terhadap salah satu besaran ukur listrik saja, yaitu untuk arus atau tegangan saja.

## 2. Relay Tipe Armatour yang Digantung (*Hinged Armature*)

Relay ini mempunyai plat datar sebagai armature yang salah satu sisinya diikat oleh engsel pada suatu titik yang tetap, sedangkan sisi yang lain dapat bergerak ke kutub kumparan akibat gaya tarik elektromagnetis.

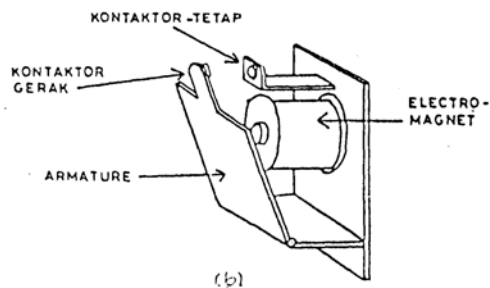
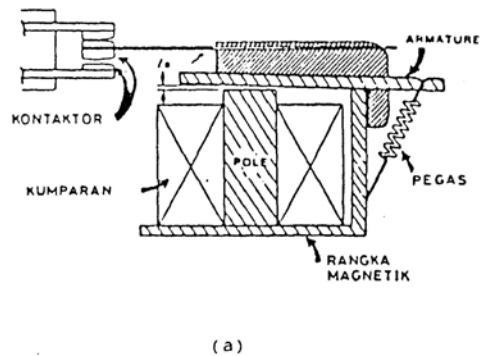
Pada armature tersebut terdapat kontaktor gerak yang juga akan mengenai kontaktor tetap bilamana armature tersebut pick-up.

Keuntungannya

1. Dapat digunakan untuk besaran ac atau dc.
2. Bentuk konstruksinya sederhana.
3. Waktu reaksi kerjanya sangat cepat.
4. Harganya murah.
5. Dapat direset dengan tangan ataupun secara otomatis.
6. Dapat mempunyai kontaktor yang banyak.
7. Tekanan kontakannya baik.

Kerugiannya

1. Perbandingannya antara drop-off dengan pick-upnya rendah
2. Pick-up dan drop-offnya tidak dapat disetel secara teliti.
3. Hanya bereaksi terhadap satu besaran ukur listrik saja, yaitu arus ataupun tegangan saja.



**Gambar 7.7** Relay Armature yang Digantung: a) Hubungan Relay b) Kontaktor Relay

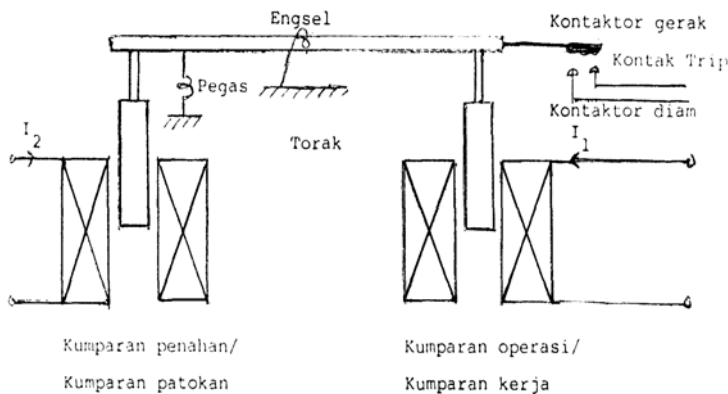
### Penggunaannya

1. Sebagai relay bantu (auxiliary relay) untuk memperbanyak kontaktor dari relay yang lebih sensitif dan lebih presisi.
2. Sedagai relay bantu untuk memperbesar kapasitas pemutusan arus dari rele yang lebih sensitif dan lebih presisi.
3. Dengan menggunakan relay ini yang direset secara manual akan dapat digunakan untuk memblokir sirkit penutupan breaker untuk mencegah reclosing.

Hal ini lasim digunakan pada relay differential

### 3. Relay Tipe Batang Seimbang (*Balanced Beam Relay*)

Relay jenis ini mempunyai 2 kumparan, yaitu kumparan penahan (restraining coil) dan kumparan operasi (operating coil). Batang seimbang dipasang horisontal di mana pada bagian tengahnya diberi engsel, sehingga menyerupai permainan anak-anak (jomplang). Pada keadaan awalnya posisi batang adalah horisontal (kontak trip dalam keadaan terbuka). Pada posisi ini maka antara bagian kiri (gaya-gaya yang ada adalah pegas/spring dan torak/plunger) dan bagian kanan (gaya-gayanya adalah berat torak dan kontak trip) seimbang. Apabila momen sebelah kanan melebihi sebelah kiri, maka kontak akan tertutup. Sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 7.8.



**Gambar 7.8** Relay Batang Seimbang

Secara matematiknya disimbolkan sebagai berikut:

$$T = K_1 I_1^2 - K_2 I_2^2$$

Di mana :

$T$  = momen pada poros

$I_1$  = Arus pada kumparan operasi

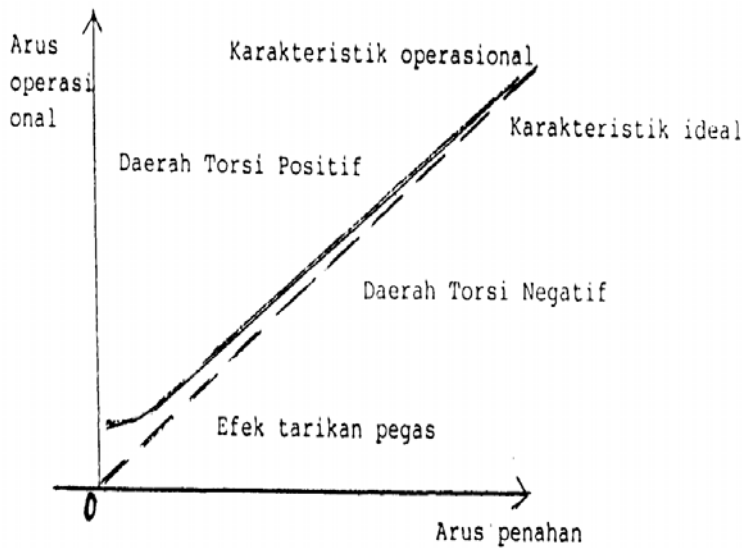
$I_2$  = Arus pada kumparan penahan

$K_1$  dan  $K_2$  = konstante

Pada harga batas akan beroperasi,

$$T = 0. \text{ Jadi: } K_1 \cdot I_1^2 = K_2 \cdot I_2^2 \Rightarrow \frac{I_1}{I_2} = \sqrt{\frac{K_2}{K_1}} = \text{konstan}$$

Karakteristik operasional relay jenis ini diperlihatkan pada Gambar 69



**Gambar 7.9** Karakteristik Operasional Relay Batang Seimbang

Keterangan gambar :

- Merupakan efek tarikan dari pegas.
- Merupakan karakteristik ideal dari relay.
- Merupakan karakteristik operasional dari relay.
- Merupakan daerah di mana torsi yang terjadi positif.
- Merupakan daerah di mana torsi yang terjadi negatif.

Apabila salah satu kumparan (misal disebelan kanan) dioperasikan pada tegangan  $v_1$  dan padakumparan yang lain mengalir arus  $I_2$ . Maka impedansi dari relay adalah  $\frac{v_1}{I_2} = K$  yang merupakan bilangan konstan.

**Catatan :**

- a. Relay tipe ini sulit direncanakan untuk dapat beroperasi pada skala yang besar karena gaya yang terjadi berbanding lurus dengan kuadrat dari arus.
- b. Pada relay modern, perlu tambahan elektro magnet dalam kumparan inti udara, sehingga relay dapat mempunyai waktu orde 1 cycle.
- c. Antara besarnya resetting dan operating dapat diperoleh dengan perbandingan yang besar.
- d. Untuk memperoleh ketelitian yang tinggi dan beban VA yang rendah dilakukan dengan menggunakan kumparan gerak relay dari magnet permanen.

**4. Relay Tipe Cakram Induksi**

Elemen relay tipe ini mempunyai cakram/piringan (disk) yang terbuat dari tembaga atau aluminium yang dapat berputar diantara celah-celah elektro magnet.

Ada 2 (dua) metode yang umum digunakan untuk menggerakkan relay tipe cakram induksi ini, yaitu :

## a. Shaded Pole Methode

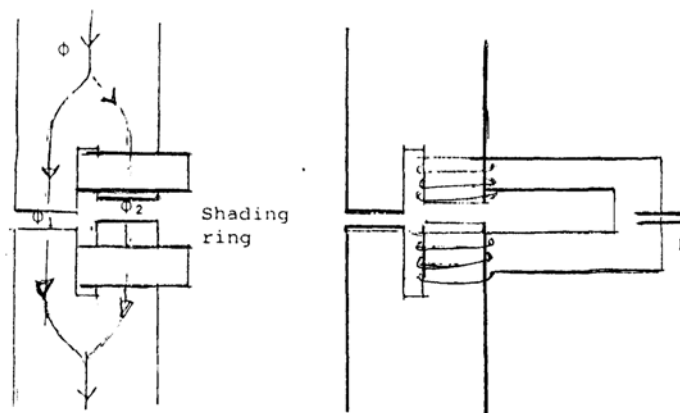
Pada metode ini, sebagian dari muka kutub elektro-magnet dihubungkan singkatkan dengan menggunakan cincin tembaga ataupun kumparan, sehingga mengakibatkan selisih sudut fasa antara fluksi yang melalui cincin ( $\Phi_2$ ) dengan fluksi yang tidak melalui cincin ( $\Phi_1$ ).

Fluksi total yang dibangkitkan oleh kumparan utama pada magnet yang berbentuk U (seperti Gambar 1.10.) adalah sebesar  $\Phi$ , jadi :

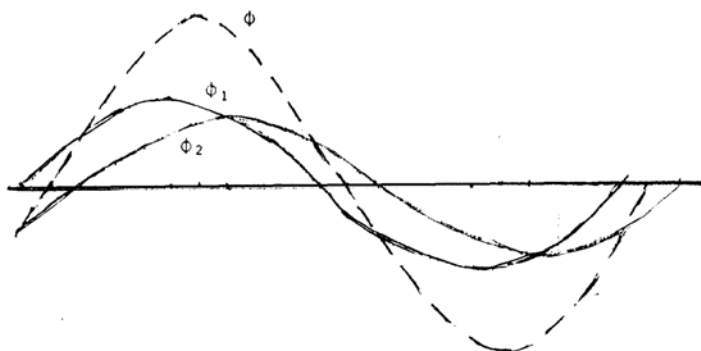
$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2$$

Fluksi  $\Phi_2$  adalah lagging (terbelakang) terhadap  $\Phi_1$  dan  $\Phi$ .  
kontaktor





(a)

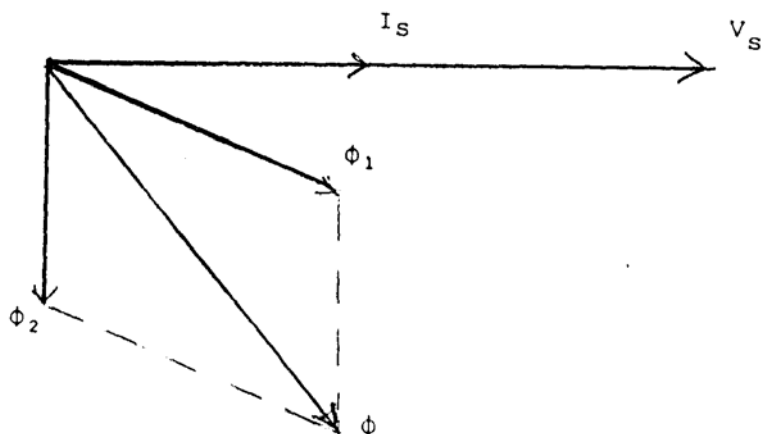


(b)

**Gambar 7.10** Detail Shading Ring (a) Detail Shading Rings (b) Bentuk Fluksi  $\phi_1$ ,  $\phi_2$  dan  $\phi$

Bila kontaktor terbuka, maka sirikit kumparan terbuka dan berarti tidak akan terjadi selisih sudut fasa pada fluksi-fluksi tersebut. Hal inilah yang mengakibatkan relay ini dapat digunakan sebagai relay arah (directional relay).

Diagram fasa dari induction disk:



**Gambar 7.11** Diagram Fasa

Dari Induction Disk

Arus eddy tersebut memberikan induksi lawan, sehingga selanjutnya interaksi antar kedua fluksi itu akan menimbulkan torsi yang dapat menggerakkan piringan tersebut.

b. Watt Metric Methode

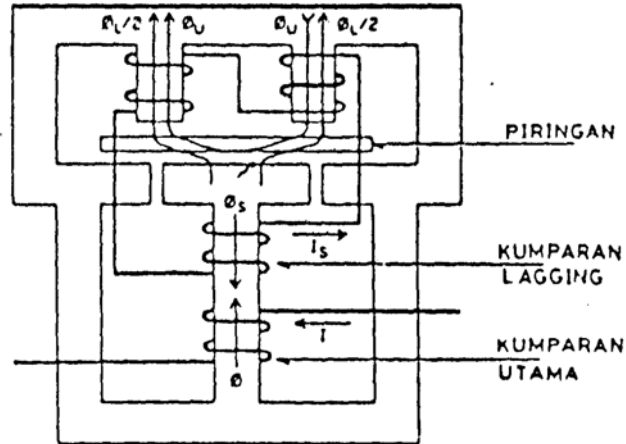
Pada metoda ini digunakan satu set kumparan di atas piringan dan satu set lagi berada dibawah piringan tersebut.

Arus yang mengalir melalui piringan sebagai fluksi  $\Phi_L$ .

$\Phi_L$  terbagi dua pada kedua kutub yang berada di atas piringan tersebut.

Arus  $I_S$  diperoleh sebagai reaksi transformator (gaya gerak listrik pada sirkit tertutup) mengalir melalui kedua kutub yang di atas tersebut dan menghasilkan fluksi  $\Phi_U$ .  $\Phi_U$  ini mengalir dari atas ke bawah pada kutub atas yang sebelah kanan, dan dari bawah ke atas pada kutub atas yang sebelah kiri.

Selanjutnya interaksi antara fluksi  $\Phi_U$  dan  $\Phi_L$  terhadap fluksi yang diperoleh dari arus eddy yang diinduksikan pada piringan akan menggerakkan piringan tersebut untuk berputar sesuai arah jarum jam.



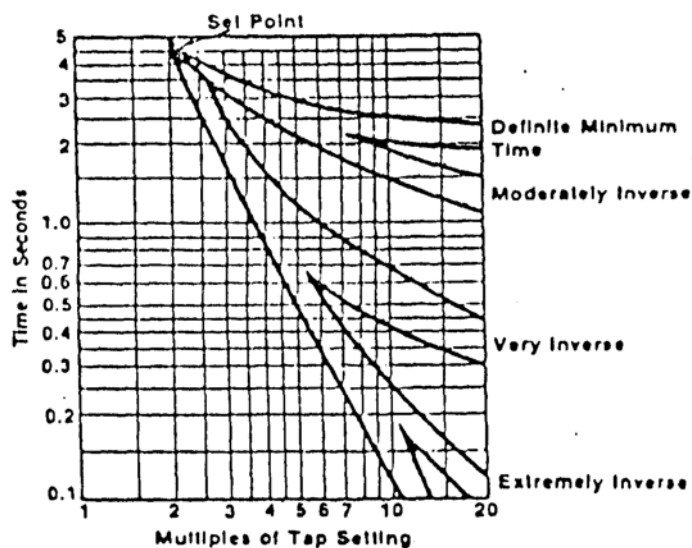
**Gambar 7.12** Potongan Membujur Relay Cakram Induksi

### Keuntungannya

1. Torsi yang ditimbulkan adalah merata dan halus serta tidak terjadi vibrasi untuk besaran bolak-balik
2. Berbagai karakteristik antara arus terhadap waktu dapat diperoleh, misalnya: Definite Minimum Time, Moderatly Inverse, Very Inverse, Extremely Inverse dan lain-lainnya.
3. Dapat dioperasikan untuk satu besaran: untuk jumlah ataupun selisih dua besaran: atau juga untuk perkalian antara kedua besaran dan sinus sudut apit antara kedua besaran fluksi tersebut.
4. Dapat dioperasikan secara terus menerus pada kondisi picked-up
5. Mempunyai drop-off yang tinggi
6. Dapat mengontrol arah.
7. Pick-upnya sama untuk bentuk gelombang besaran yang off-set maupun untuk gelombang bolak-balik simetris

### Kerugiannya

1. Tidak dapat digunakan untuk besaran searah (dc)
2. Kerja relay ini dipengaruhi oleh frekuensi
3. waktu untuk reset (*reset time*) panjang



Gambar 7.13 Berbagai Karakteristik Kerja Relay Arus Lebih Yang Inverse

### 5. Relay Tipe Kap Induksi (*Induction Cup*)

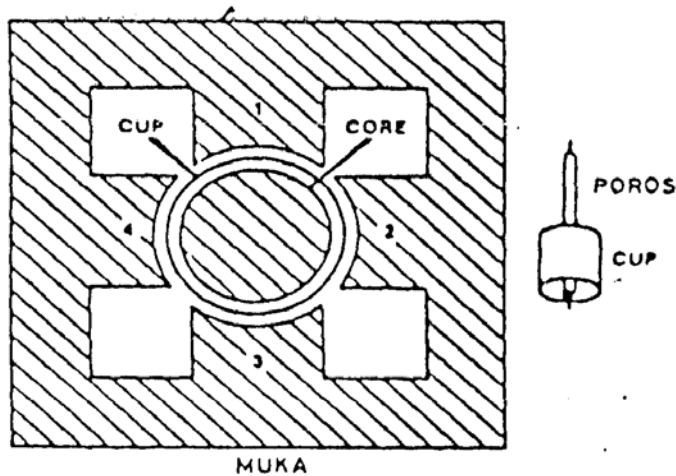
Prinsip kerjanya adalah mirip dengan motor induksi yang mempunyai kutub salient pada statornya. Pada relay itu terdapat suatu rotor aluminium berbentuk silinder yang ditengahnya terdapat inti magnetis, sehingga silinder aluminium tersebut dapat berputar bebas di antara kutub salient dan inti magnetis.

### Keuntungannya

1. Torsinya halus pada besaran arus bolak-balik, dan tidak ada vibrasinya (tidak bergetar)
2. Kecepatannya tinggi
3. Dapat dioperasikan untuk satu besaran; untuk jumlah ataupun selisih dua besaran; atau juga untuk perkalian antara kedua besaran dengan

sinus sudut apit antara fluksi yang dihasilkan oleh kedua besaran itu sendiri.

4. Dapat dioperasikan secara terus menerus pada kondisi picked-up
5. Mempunyai drop-off yang tinggi
6. Dapat mengontrol arah
7. Pick-upnya sama untuk besaran gelombang berbentuk off-set, maupun untuk gelombang bolak-balik simetris
8. Karakteristiknya stabil
9. Kontruksinya tidak sederhana



**Gambar 7.14** Relay Kup Induksi Tipe 4 Kutub

### Kerugiannya

1. Tidak dapat dipergunakan untuk besaran arus searah
2. Kerjanya dipengaruhi oleh frekuensi
3. Pada setting yang sensitif, kontaktornya dapat bergetar (vibrasi) sewaktu penutupan, diakibatkan oleh adanya shock.

### 7.2.7 Relay Arus Lebih (*Over Current Relay*)

Beberapa jenis relay elektro-magnetis yang banyak digunakan dalam peralatan-peralatan proteksi sistem jaringan tenaga listrik antara lain adalah:

- Tipe torak (*plunger*)
- Tipe armatur yang digantung (*hinged armature*)
- Tipe batang seimbang (*balanced beam*)
- Tipe cakram induksi (*induction disc*)
- Tipe kap induksi (*induction cup*)

Urutan pertama dan kedua tersebut di atas termasuk dalam relay angker tarikan (*attracted armature*).

Selain relay angker tarikan, maka relay batang seimbang menggunakan sumber arus searah untuk bekerjanya relay, sedangkan untuk relay cakram induksi dan kap induksi, sesuai dengan namanya menggunakan motor induksi, sehingga tentu saja besaran input yang diperlukan adalah besaran arus bolak-balik.

### 7.2.8 Relay Tipe Torak (*Plunger*)

Relay tipe torak mempunyai kumparan yang berbentuk silinder, di mana pada bagian luarnya dilengkapi dengan rangkaian magnetik. Torak (*plunger*) -nya te

Relay arus lebih adalah suatu relay di mana bekerjanya berdasarkan adanya kenaikan arus yang melewatinya. Agar peralatan tidak rusak bila dilewati arus yang melebihi kemampuannya, selain peralatan tersebut diamankan terhadap kenaikan arusnya, maka peralatan pengamannya harus dapat bekerja pada jangka waktu yang telah ditentukan.

Seperti yang telah disinggung di depan, maka pengaturan waktu ini selain untuk keamanan peralatan juga sering dikaitkan dengan masalah koordinasi pengamanan.

Berdasarkan pada prinsip kerja dan konstruksinya, maka relay jenis ini termasuk relay yang paling sederhana, murah dan mudah dalam penyetelannya.

Relay jenis ini digunakan untuk mengarnankan peralatan terhadap gangguan hubung singkat antar fasa, hubung singkat satu fasa ke tanah dan beberapa hal dapat digunakan sebagai pengaman beban lebih.

Digunakan sebagai pengaman utama pada jaringan distribusi dan sub transmisi sistem radial, sebagai pengaman cadangan untuk generator, transformator daya dan saluran transmisi.

### 7.2.9 Prinsip Kerja dan Karakteristik Pengamanannya

Ada 3 macam jenis relay arus lebih, yaitu :

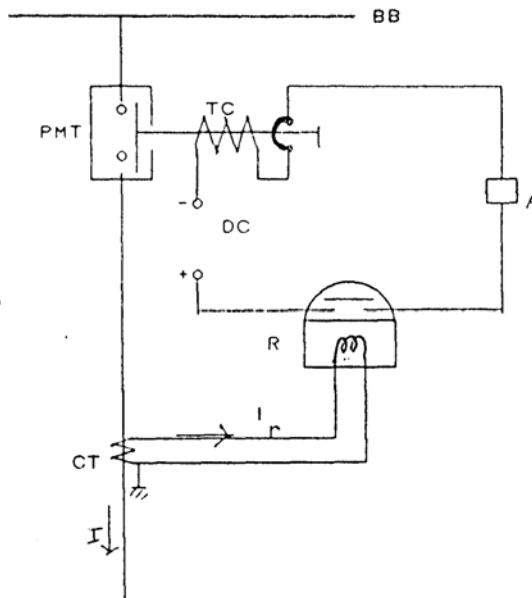
1. Relay arus lebih seketika (*moment-instantaneous*)
2. Relay arus lebih waktu tertentu (*definite time*)
3. Relay arus lebih berbanding terbalik (*inverse*):
  - a) Relay berbanding terbalik biasa.
  - b) Relay sangat berbanding terbalik.
  - c) Relay sangat berbanding terbalik sekali

#### 1. Relay Arus Lebih Seketika

Relay arus lebih seketika adalah jenis relay arus lebih yang paling sederhana di mana jangka waktu kerja relay yaitu mulai saat relay mengalami pick-up sampai selesainya kerja relay sangat singkat yakni sekitar 20 □□100 mili detik tanpa adanya penundaan waktu.

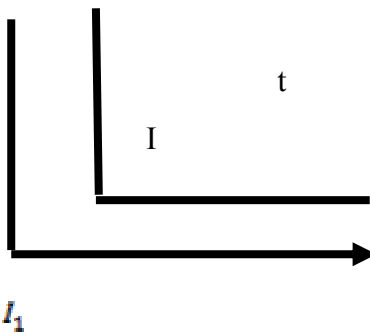
Keterangan gambar:

- BB = Bus-bar
- PMT = Pemutus (Circuit Breaker)
- TC = Kumparan pemutus (Tripping Coil)
- DC = Sumber arus searah
- = Polaritas negatif sumber arus searah
- + = Polaritas positif sumber arus searah
- A = Tanda bahaya (Alarm)



**Gambar 7.15** Rangkaian Relay Arus Lebih Seketika

- R = Relay arus lebih seketika  
 CT = Transformator arus (Current transformer)  
 $I_r$  = Arus yang melewati kumparan relay  
 I = Arus beban  
 = Pentanahan



$I_1$

**Gambar 7.16** Karakteristik Relay Arus Lebih Seketika

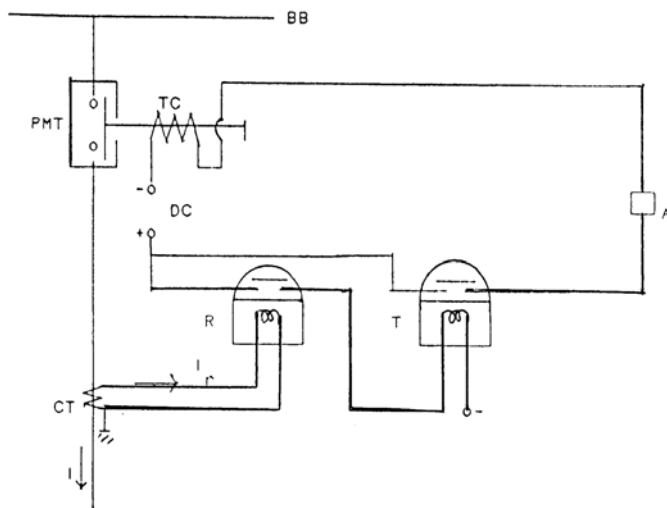


Bila karena suatu hal sehingga harga arus beban  $I$  naik melebihi harga yang diijinkan, maka harga  $I_r$  juga akan naik. Bila naiknya harga arus ini melebihi harga perasi dari relay, maka relay arus lebih seketika akan bekerja. Kerja dari relay ini ditandai dengan bergeraknya kontaktor gerak relay untuk menutup kontak. Dengan demikian, rangkaian pemutus/trip akan tertutup.

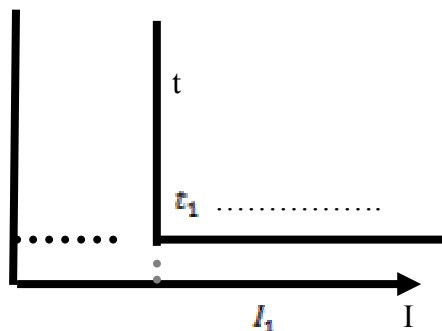
Mengingat pada rangkaian ini terdapat sumber arus searah, maka pada kumparan pemutus akan dialiri arus searah yang selanjutnya akan mengerjakan Kontak Pemutus sehingga bagian sistem yang harus diamankan terbuka. Untuk mengetahui bahwa relay harus bekerja, maka perlu dipasang suatu alarm.

## 2. Relay Arus Lebih Waktu Tertentu

Relay arus lebih waktu tertentu adalah jenis relay arus lebih di mana jangka waktu relay mulai pick-up sampai selesainya kerja relay dapat diperpanjang dengan nilai tertentu dan tidak tergantung dari besarnya arus yang mengerjakannya (tergantung dari besarnya arus setting, melebihi arus setting maka waktu kerja relay ditentukan oleh waktu settingnya)



**Gambar 7.17** Rangkaian Relay Arus Lebih



**Gambar 7.18** Karakteristik Relay Arus Lebih Tertentu

Dengan memasang relay kelambatan waktu T (Time lag relay) seperti gambar 7.19, maka beroperasinya rangkaian relay akan tergantung pada penyetelan / setting waktu pada relay kelambatan waktunya. Sedangkan karakteristik kerjanya dapat dilihat pada gambar 7.20

Dengan pemasangan relay kelambatan waktu, maka pengaman akan bekerja bila dipenuhi kondisi sebagai berikut:

$$t_{tr} = t_{mg} + t_{pr} + t_{pp} \quad (3.1)$$

di mana:

$t_{tr}$  = waktu total relay mulai terjadinya gangguan sampai dengan pemutus bekerja

$t_{mg}$  = waktu mulai terjadinya gangguan sampai dengan relay pick-up

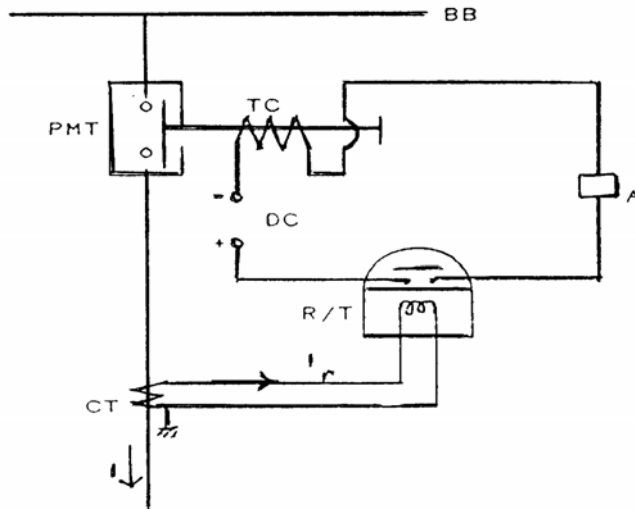
$t_{pr}$  = waktu penundaan kerja relay

$t_{pp}$  = waktu yang dibutuhkan pemutus bekerja

### 3. Relay Arus Lebih Berbanding Terbalik

Relay arus lebih dengan karakteristik waktu-arus berbanding terbalik adalah jenis relay arus lebih di mana jangka waktu relay mulai pick-up sampai dengan selesainya kerja relay tergantung dari besarnya arus yang melewati kumparan relaynya, maksudnya relay tersebut mempunyai sifat terbalik untuk nilai arus dan waktu bekerjanya

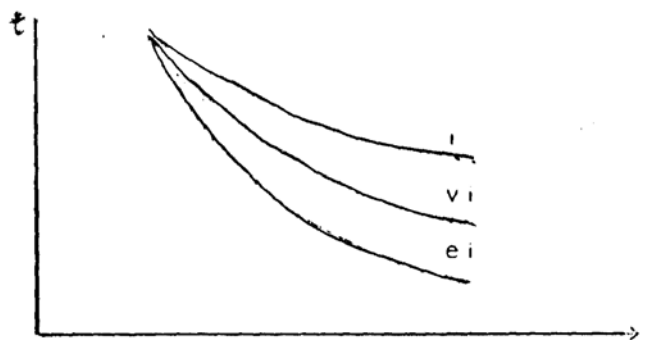
Adapun rangkaian dan karakteristiknya dapat dilinat pada gambar 7.19 dan 7.20 :



**Gambar 7.19** Rangkaian Relay Arus Lebih Berbanding Terbalik

Bentuk sifat keterbalikan antara arus dan waktu kerja ini bermacam-macam, akan tetapi kesemuanya itu dapat digolongkan menjadi 3 golongan sebagai berikut:

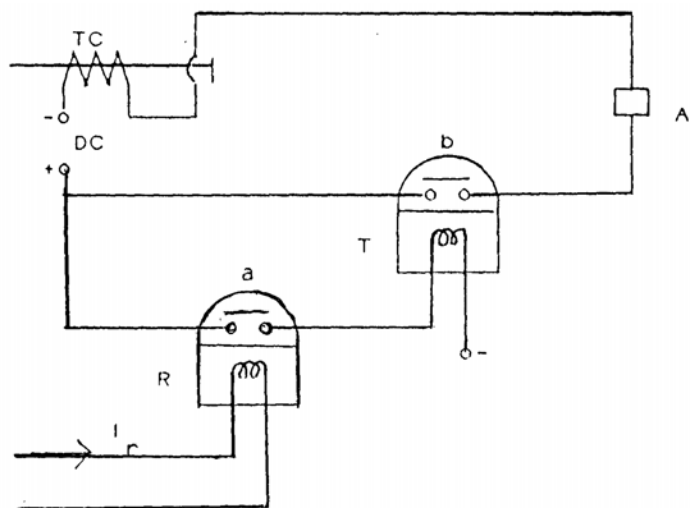
1. Berbanding terbalik biasa (*inverse*)
2. Sangat berbanding terbalik (*very inverse*)
3. Sangat berbanding terbalik sekali (*extremely inverse*)



**Gambar 7.20** Karakteristik Relay Arus Lebih Berbanding Terbalik

### 7.2.10 Arus Kerja (*pick-up*) dan Arus Kembali (*drop-off*)

Guna menjelaskan apa yang dimaksud dengan arus pick-up dan arus drop-off pada relay arus lebih, dengan melihat Gambar 7.21 dan Gambar 7.22 akan lebih memperjelas permasalahannya.



**Gambar 7.21** Rangkaian Relay Arus Lebih dan Relau Waktu

Keterangan gambar:

TC = Triping Coil

A = Alarm

DC = Sumber Arus Searah

+ = Polaritas positif sumber arus searah

- = Polaritas negatif sumber arus searah

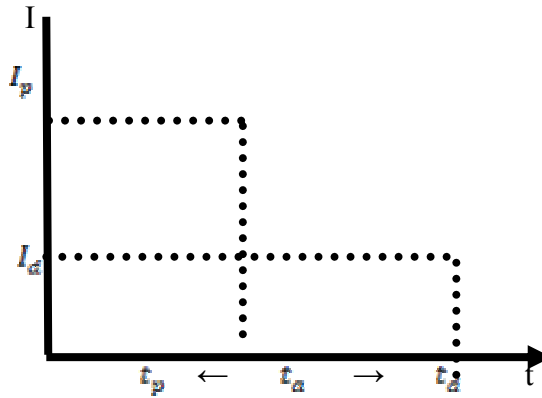
T = Relay defenite time

O = Kontaktor relay definite time

R = Relay over current

A = Kontaktor relay over current

I<sub>r</sub> = Arus sekunder transformator arus



**Gambar 7.22** Karakteristik Operasi Arus Pick-Up Dan Drop-Off

Keterangan gambar:

$I_p$  = arus pick-up

$I_d$  = arus drop-off

$t_p$  = nilai waktu yang dibutuhkan untuk pick-up

$t_d$  = nilai waktu yang dibutuhkan untuk drop-off

$t_a$  = selisih waktu yang dibutuhkan untuk drop-off dan pick-up

$t_s$  = nilai setting dari pengaman  $I_p$  adalah nilai arus di mana relay arus lebih akan bekerja menutup kontak a, sehingga rangkaian kumparan relay definite tertutup (relay waktu bekerja).

Sedangkan  $I_d$  adalah nilai arus di mana relay arus lebih berhenti bekerja, yakni setelah pemutus bekerja memutuskan aliran listrik.

Bila nilai  $t_a$  lebih kecil dari nilai  $t_s$ , maka relay tidak bekerja. Sedangkan bila  $t_a$  lebih besar dari pada  $t_s$ , maka relay dinyatakan bekerja.

Suatu harga perbandingan antara nilai arus drop-off dan arus pick-up biasanya dinyatakan dengan huruf  $k_d$ , sehingga  $k_d$  dapat dituliskan dengan rumus:

$$k_d = \frac{I_d}{I_p} \tag{3.2}$$

di mana:

kd mempunyai nilai: 0,7 – 0,9 untuk relay definite dan 1,0 untuk relay inverse.

### 7.2.11 Konstruksi Relay Arus Lebih

Umumnya sistem konstruksi relay arus lebih yang sering digunakan adalah:

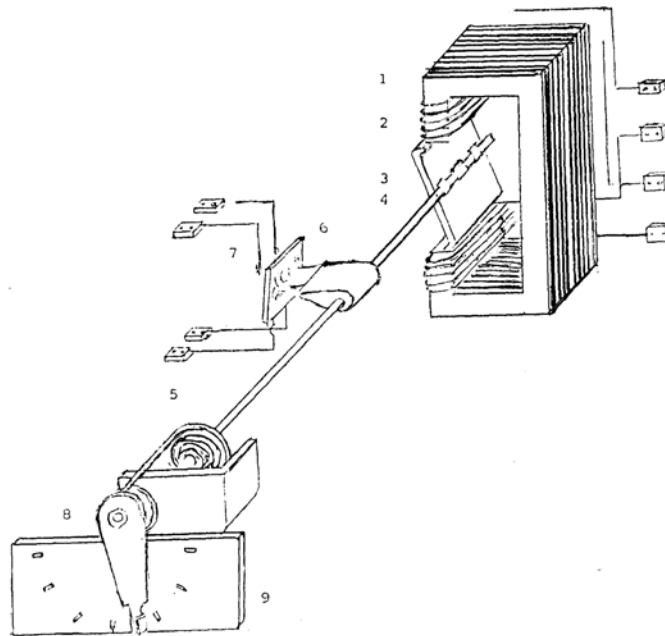
- Elektro-magnetik.
- Induksi.

Relay ini sangat sederhana dan mudah dalam mengoperasikannya. Banyak dipakai dalam sistem tenaga listrik, baik untuk peralatan pengamanan utama maupun pengamanan back-up (cadangan), khususnya dalam sistem jaringan distribusi tenaga listrik tegangan menengah, yakni pada sistem distribusi radial dan open loop. Atau juga kita dapatkan pada peralatan pengaman beban lebih pada motor listrik tegangan rendah.

Mengingat pemakaiannya yang langsung sering kita jumpai dilapangan maka dalam buku ini perlu diberikan bagaimana konstruksi pengaman ini sehingga diluarapikan dapat dipakai untuk pegangan khususnya dalam hal perbaikan atau perawatannya.

Gambar 81 menunjukkan peralatan pengaman beban lebih yang menggunakan relay arus lebih jenis elektro-magnetik. Bila arus  $I_r$  mengalir melalui kumparan, maka akan menimbulkan kerja elektro-magnetis dan akan menggerakkan jangkar 3 dengan torsi sebesar:  $T = k \cdot I_r$  torsi tersebut diimbangi oleh torsi yang disebabkan oleh pegas 5. Bila torsi  $T > T_{\text{pegas}}$ , maka akan terjadi penutupan pada bridge contact 6 pada kontak tetap 7 dan hal ini berarti relay bekerja. Setting relay dilakukan dengan memutar-mutar adjusting refer 8, atausama dengan mengeras/ngendorkan pegas 5. Adapun angka setting dapat dibaca pada platpenunjuk setting 9.

Untuk keperluan tertentu, misalnya untuk pengamanan terhadap perbedaan tegangan, maka jenis relay arus lebih elektro-magnetik dapat diubah menjadi relay tegangan elektro-magnetik, yakni dengan mengadakan perubahan pada jumlah dan ukuran kawat belitannya.



**Gambar 7.23** *Elektro-Magnetik Over Current Relay*

Dengan Armatur-armatur yang Berputar

Keterangan gambar:

1 = inti magnetik

2 = kumparan

3 = jangkar

4 = tangkai relay

5 = pegas

6 = kontak jembatan (Bridge Contact)

7 = kontaktor tetap

8 = adjusting refer

9 = plat indikator penyetelan

Ada 2 macam relay tegangan elektro-magnetik, yaitu over voltage (tegangan lebih) dan under voltage tegangan kurang). Sesuai dengan istilahnya, relay tegangan lebih akan bekerja bila tegangan operasional melebihi tegangan settingnya, sedangkan relay tegangan kurang harus bekerja bila tegangan operasional turun sampai di bawah nilai settingnya.

Untuk menyatakan keadaan operasi normalnya, umumnya ditunjukkan oleh suatu harga perbandingan pick-up ( $k_d$ ) yaitu harga perbandingan antara harga reset dan operasinya, yang dinyatakan dalam rumus:

Pick-up ratio

$$k_d = \frac{U_d}{U_p} > 1, \text{ Untuk Overvoltage} \quad (3)$$

$$k_d = \frac{U_d}{U_p} < 1, \text{ untuk under voltage} \quad (3.4)$$

di mana :

$U_d$  = tegangan reset (*reset voltage*)

$U_p$  = tegangan operasional (*operation voltage*)

### Pemilihan/setting Arus kerja dan Kelambatan waktu

Sebelum membahas tentang penyetelan baik untuk arus kerja maupun untuk kelambatan waktu, terlebih dahulu di sini dijelaskan prinsip dasarnya, untuk selanjutnya akan diberikan contohnya.

### Prinsip Dasar Perhitungan Penyetelan Arus (IS)

Batas penyetelan minimum dinyatakan bahwa relay arus tidak boleh bekerja pada saat terjadi beban maksimum, sehingga:

$$I_s = \frac{k_{fk} \times I_{maks}}{k_d}$$

di mana:

$I_s$  = Penyetelan arus

$k_{fk}$  = Faktor keamanan, mempunyai nilai antara 1,1  $\approx$  1,2

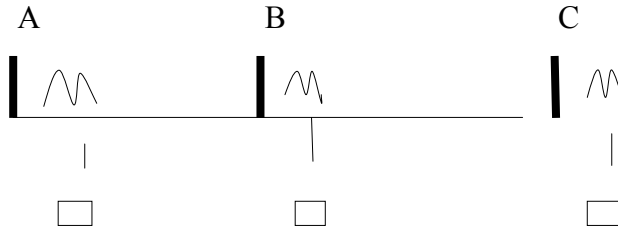
$k_d$  = Faktor arus kembali,  $I_d$  antara 0,7  $\approx$  0,9 untuk relay definite,  $I_p = 1,0$  untuk relay inverse

$I_{maks}$  = Arus maksimum yang diijinkan pada peralatan yang diamankan, di mana pada umumnya diambil nilai arus nominalnya.



**Batas Penyetelan Maksimum Relay Arus Lebih**

Batas penyetelan maksimum relay arus lebih adalah bahwa relay harus bekerja bila terjadi gangguan hubung singkat pada rel seksi berikutnya.



**Gambar 7.24** Jaringan Listrik Terbagi Dalam 3 Zone Pengaman

Relay yang terdapat di A merupakan pengaman utama zone AB, sebagai pengaman cadangan untuk zone berikutnya (BC dan C)

Batas penyetelan maksimumnya adalah:

$I_s \approx I_{hs} 2$  fase pada pembangkitan minimum

Cara penyetelan Arus

Relay Arus Lebih Definite

Penyetelan arus IS:

$$I_s = k \cdot I_n \tag{3.6}$$

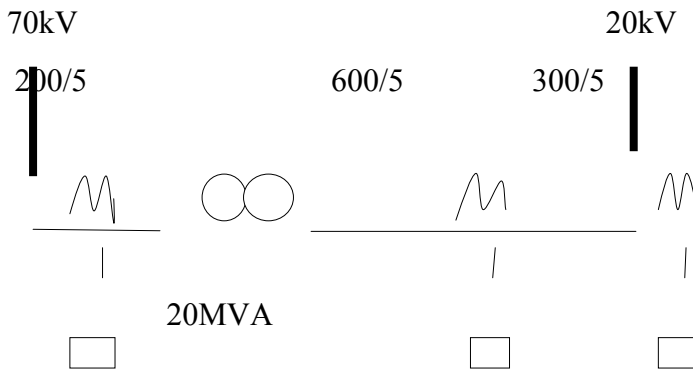
di mana:

k = suatu konstanta perbandingan, harganya tergantung dari pabrik pembuat relay, umumnya nilainya adalah 0,6  $\approx$  1,4 atau 1,0  $\approx$  2,0

$I_n$  = arus nominal, dapat merupakan dua nilai yang merupakan kelipatannya. Misalnya 2,5 A atau 5,0 A ; 1,0 A atau 2,0 A dan seterusnya.

Relay Arus Lebih Inverse Penyetelan arus IS langsung dalam Ampere; sebagaimana contoh berikut:

### Contoh Cara Penyetelan Arus



**Gambar 7.25** Suatu Rangkaian Gardu Induk 20 MVA, 70/20 kV

Diketahui suatu rangkaian Gardu Induk seperti pada Gambar 7.25. Tentukan penyetelan arus pada sisi primer dan sekundernya serta feeder distribusinya, bila arus maksimum pada transformator daya sama dengan arus nominalnya sedangkan pada feeder distribusi adalah 300 A

Penyelesaian:

$$I_n = (70\text{kV}) = \frac{20.000}{\sqrt{3} \times 20} \text{ A} = 164,9$$

$$I_n = (20\text{kV}) = \frac{20.000}{\sqrt{3} \times 20} \text{ A} = 577 \text{ A}$$

Penyetelan arus:

$$I_s = \frac{k_{fk}}{k_d} \cdot I_{maks}$$

a. Untuk relay definite:

$$k_d = 0,8 \text{ karena nilai } k_d \text{ berkisar antara } 0,7 \approx 0,9$$

$$k_{fk} = 1,1 \text{ karena nilai } k_{fk} \text{ berkisar antara } 1,1 \approx 1,2$$

$$I_s (70 \text{ kV}) = \frac{1,1}{0,8} \times 164,9 \text{ A} = 227 \text{ A}$$

Jadi arus yang melewati kumparan relay , adalah :

$$= 227 \text{ A} \times \frac{5}{200} \text{ A} = 5,67 \text{ A}$$

$$I_s (20 \text{ kV}) = \frac{1,1}{0,8} \times 164,9 \text{ A} = 793 \text{ A}$$

Jadi arus yang melewati kumparan relay adalah :

$$= 793 \text{ A} \times \frac{5}{600} \text{ A} = 6,6 \text{ A}$$

$$I_{\text{feeder}} = \frac{1,1}{0,8} \times 300 \text{ A} = 412,5 \text{ A}$$

Jadi arus yang melewati kumparan relay, adalah

$$= 412,5 \text{ A} \times \frac{5}{300} \text{ A} = 6,87 \text{ A}$$

Misalkan relay arus lebih dengan  $I_n = 2,5 \text{ A}$  atau  $5 \text{ A}$ , maka dari hasil di atas semua ditulis:

$$I_n = 5 \text{ A} \text{ dan } I_s = 1,0 \approx 2,0 I_n$$

Penyetelan arus untuk:

b. Sisi 70 kV :  $I_S = \frac{6,67}{5} \times I_n$   
 $\approx 1,1 I_n$

c. Sisi 20 kV :  $I_S = \frac{6,6}{5} \times I_n$   
 $\approx 1,31 I_n$

d. Feeder 20 kV :  $I_S = \frac{6,87}{5} \times I_n$   
 $\approx 1,37$  atau  $1,4 I_n$

e. Untuk relay inverse: kfk = 1,1  
kd = 1,0

$$I_S (70 \text{ kV}) = \frac{1,1}{1,0} \times 164,9 \text{ A} = 180 \text{ A}$$

Jadi arus yang melewati kumparan relay, adalah

$$= 180 \text{ A} \times \frac{5}{200} \text{ A} = 45 \text{ A} \text{ -----} \rightarrow 5 \text{ A}$$

$$I_S (20 \text{ kV}) = \frac{1,1}{1,0} \times 577 \text{ A} = 634,7 \text{ A}$$

Jadi arus yang melewati kumparan relay, adalah

$$= 634,7 \text{ A} \times \frac{5}{600} \text{ A} = 5,29 \text{ A} \text{-----} \rightarrow 5 \text{ A}$$

$$\text{IS Feeder } 20 \text{ kV} = \frac{1,1}{1,0} \times 300 \text{ A} = 330 \text{ A}$$

Jadi arus yang melewati kumparan relay, adalah

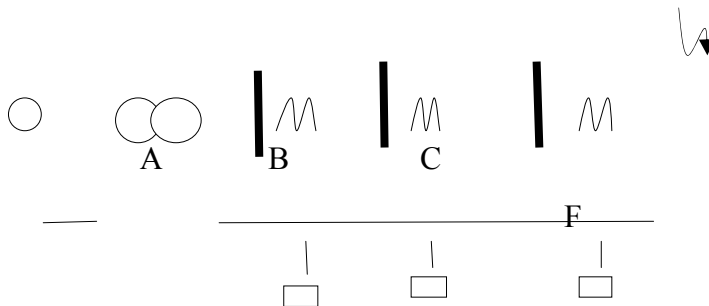
$$= 330 \text{ A} \times \frac{5}{300} \text{ A} = 5,5 \text{ A} \text{-----} \rightarrow 6 \text{ A}$$

### Prinsip Dasar Perhitungan Penyetelan Waktu

Penyetelan arus pada relay arus lebih pada umumnya didasarkan pada penyetelan batas minimumnya, dengan demikian adanya gangguan hubung singkat di beberapa seksi berikutnya, relay arusnya akan bekerja.

Untuk mendapatkan pengamanan yang selektif, maka penyetelan waktunya dibuat secara bertingkat. Selain hal itu persyaratan lain yang harus dipenuhi adalah bahwa pengamanan sistem secara keseluruhan harus rasial bekerja secepat mungkin, akan tetapi masih selektif.

### Relay Arus Lebih Definite Time



**Gambar 7.26** Prinsip Dasar Penyetelan Waktu Sistem Radial

Karena untuk penyetelan arus lebih pada umumnya didasarkan pada batas minimum, maka adanya gangguan di titik F terdapat kemungkinan:

$$\text{If di } F > \text{IP di } A > \text{IP di } B > \text{IP di } C$$

dengan demikian seluruh relay di A, B dan C akan pick-up.

Untuk mendapatkan pengamanan yang selektif, maka:

$$t_A > t_B > t_C$$

Karena pada relay arus lebih definite time waktu kerja relay tidak dipengaruhi oleh besarnya arus, maka untuk mendapatkan pengamanan yang baik, yang paling penting adalah menentukan beda waktu (tingkat waktu,  $\Delta t$ ) antara 2 tingkatan pengamanan.

Jadi penyetelan waktu pada rangkaian gambar 7.26 adalah:

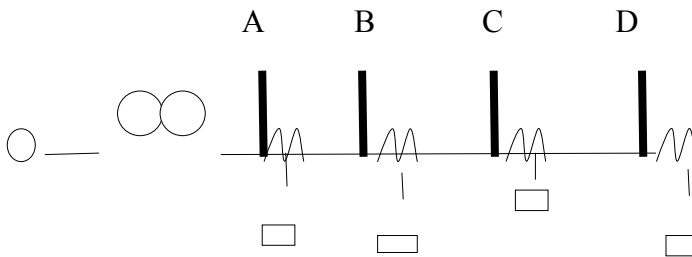
$$t_C = t_1$$

$$t_B = t_2 = t_1 + \Delta t$$

$$t_A = t_3 = t_1 + 2 \Delta t$$

### Contoh:

Buatkan setting waktu relay arus lebih dengan karakteristik waktu - arus tertentu untuk jaringan listrik sistem radial seperti Gambar 7.27



**Gambar 7.27** Jaringan Listrik Radial

Setting relay waktu di Bus D dipilih yang paling cepat, dengan waktu  $t_D = 0,2$  detik. Untuk menghindari agar relay tidak bekerja saat ada pemasukan beban baru, maka beban waktu dapat dipilih sebesar  $0,5$  detik, sehingga relay akan bekerja dengan perbedaan waktu sebagai berikut:

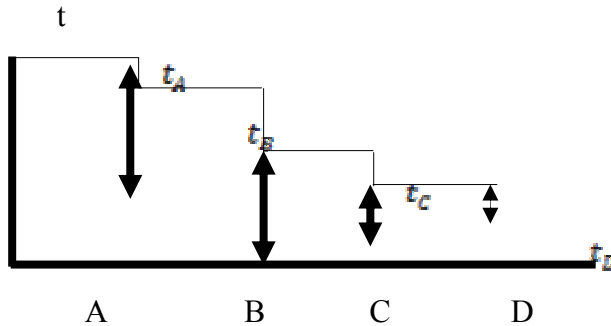
$$t_D = 0,2 \text{ detik}$$

$$t_C = 0,2 \text{ detik} + 0,5 \text{ detik} = 0,7 \text{ detik}$$

$$t_B = 0,2 \text{ detik} + 2 \times 0,5 \text{ detik} = 1,2 \text{ detik}$$

$$t_A = 0,2 \text{ detik} + 3 \times 0,5 \text{ detik} = 1,7 \text{ detik}$$

Karakteristik arus -waktunya dapat dilihat pada Gambar 7.28



**Gambar 7.28** Karakteristik Arus-Waktu Relay Definite Jaringan Gambar 87

### Relay Arus Lebih Inverse

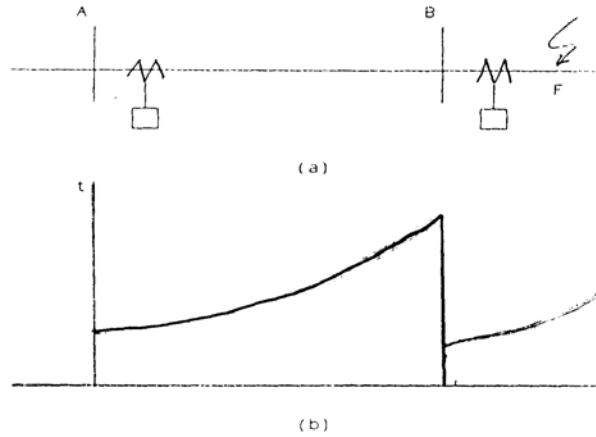
Syarat untuk men-setting waktu ( dalam hal ini adalah  $T_d$  / Time dial atau TMS/Time Multiple setting) dari relay arus lebih dengan karakteristik waktu berbalik, harus diketahui data berikut:

- Besarnya arus hubung singkat pada setiap seksi,
- Penyetelan/setting arusnya I S.
- Kurva karakteristik relay yang dipakai.

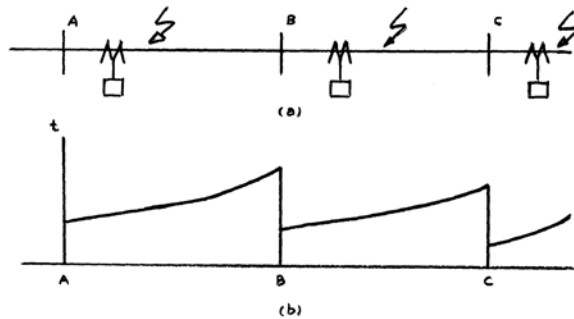
Ketentuan-ketentuan yang berlaku pada relay waktu tertentu, berlaku pula pada penyetelan relay ini, yaitu bahwa kerja relay secara keseluruhan harus cepat bereaksi, tetapi harus tetap selektif. Sehingga waktu kerja relay untuk dua seksi yang berurutan pada lokasi gangguan yang sama harus mempunyai beda waktu  $\Delta t$  minimum 0,4 ~ 0,5 detik.

Adapun untuk terapat/lokasi gangguan yang berlainan pada satu jaringan (maksudnya untuk satu pengamanan), maka relay akan bekerja sesuai dengan arus perkaliannya.

Untuk jelasnya, berikut diberikan gambar, contoh karakteristik relay (Westinghouse Tipe CO 9) serta contoh soal.



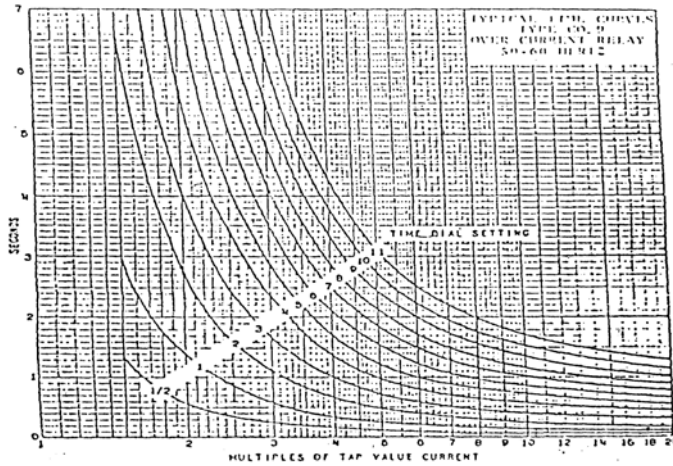
**Gambar 7.29** Setting Relay Arus Lebih Untuk 1 Lokasi Fault (a) Sistem Jaringan Dan Lokasi Gangguan (b) Kurva Karakteristik Relay



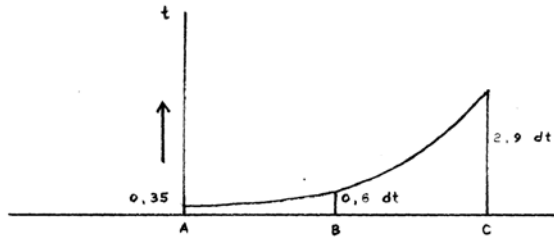
**Gambar 7.30** Setting Relay Arus Lebih Untuk Beberapa Fault (a) Sistem Jaringan Dan Lokasi Gangguan (b) Kurva Karakteristik Relay

Keterangan Gambar 7.29:

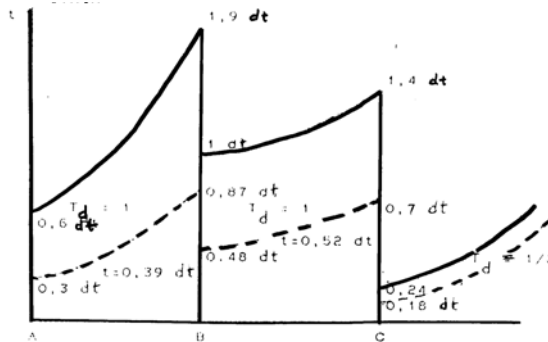
Untuk arah mendatar (absis) merupakan perkalian dari penyetelan arus, sedangkan kearah vertikal (ordinat) menunjukkan waktu kerja relay. Adapun penyetelan waktunya ditunjukkan dengan lengkungan yang dinyatakan dengan angka  $\frac{1}{2}$ , 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 dan 11 (Td). Dengan demikian, pada relay jenis ini penyetelan waktu tidak langsung dinyatakan dalam detik, melainkan dengan lengkung / kurva karakteristik yang digunakan.



Gambar 7.31 Karakteristik Relay Arus Lebih untuk Waktu Berbalik



Gambar 7.32 Karakteristik Waktu Kerja Relay



Gambar 7.33 Karakteristik Waktu-Arus Pembangkitan Minimum dan Maksimum



Keterangan :

= Pembangkitan Minimum

= Pembangkitan Maksimum

Dari Gambar 7.32 dapat dilihat dengan jelas, bahwa waktu kerja relay untuk disemua lokasigangguan makin lambat, demikian pula  $t$ , sehingga pengamanan tersebut tetap selektif. Pada pembangkitan minimum, perlu dicek apakah relay masih dapat bekerja bila terjadi gangguan pada ujung seksi berikutnya, sehingga relay ini disamping menjadi pengaman utama, dapat juga merupakan pengaman cadangan untuk seksi berikutnya.

### 7.2.12 Kaidah Penyetelan Relay Arus Lebih dengan Karakteristik Waktu-Arus

Kaidah yang dipakai dalam penyetelan relay arus lebih dengan karakteristik waktu-arus berbanding terbalik adalah sebagai berikut: Relay arus tidak boleh bekerja pada keadaan beban maksimum, sehingga penyetelan arusnya harus 1,2 - - - 1,5 kali arus maksimum. Dalam beberapa hal, nominal CT-nya merupakan arus maksimumnya, dengan demikian penyetelan arusnya 1,2 - - - 1,5 kali arus nominal CT. Relay harus dapat mencapai paling sedikit adalah ujung dari seksi berikutnya pada arus gangguan yang minimum (jumlah pembangkit yang beroperasi minimum).

Untuk relay fasa diambil gangguan dua fasa. Pada penyetelan arus, harus diperhatikan kesalahan harga pick-upnya.

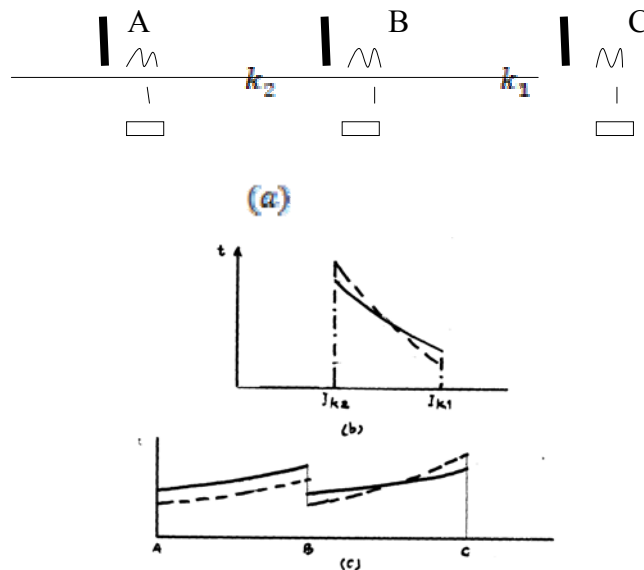
Berdasarkan British Standard (B.S) kesalahan pick-up berkisar antara 1,03 - - - 1,3 dari setiap penyetelan arusnya. Jika pembangkitnya banyak berubah, penyetelan nilai arus pick-upnya di set pada harga yang cukup rendah. Bila pembangkitnya tidak banyak berubah, nilai arus pick-upnya di set lebih tinggi, sehingga relay bekerja pada cara inverse, dengan demikian akan didapatkan waktu secara keseluruhan lebih cepat. Penyetelan waktu atau  $T_d$  harus dapat dipilih secepat mungkin untuk relay di seksi yang paling hilir, tetapi jarak kontak tidak boleh terlalu kecil sehingga memungkinkan terjadinya salah kerja akibat kejutan atau getaran

mekanis. Pada umumnya  $T_d$  minimum di set  $\frac{1}{2}$  atau 1, untuk relay dengan skala  $T_d$  0,1 - - - 1,0.

Di seksi berikutnya (seksi hulunya),  $T_d$  harus di set pada nilai yang dapat memberikan  $\Delta t = 0,4 - - - 0,5$  detik terhadap relay dihilirnya pada keadaan arus hubung singkat maksimum (jumlah pembangkit yang beroperasi maksimum, dan hubung singkat 3 fasa), sehingga pengamanan dapat selektif.

### 7.2.13 Relay Arus Lebih dengan Karakteristik Waktu-Arus Sangat Berbanding Terbalik (*Very Inverse*)

Relay arus lebih dengan karakteristik waktu-arus sangat berbanding terbalik (V.I.R) dapat memberikan beda waktu ( $\Delta t$ ) yang lebih besar jika terjadi gangguan diujung dan dipangkal dari seksi yang diamankan, bila dibandingkan dengan relay arus lebih dengan karakteristik inverse biasa, jadi jika dipakai relay inverse yang biasa, tidak memberikan beda waktu ( $\Delta t$ ) yang cukup.



**Gambar 7.34** Sistem Pengamanan Relay Arus Lebih VIR

Relay dengan karakteristik VIR memberikan waktu pengaman yang pendek dengan beda waktu dua tingkat dibandingkan relay dengan karakteristik inverse biasa, tetapi relay ini tidak cocok untuk keadaan di mana kapasitas beban sering berubah-ubah.

- a. Sistem Yang Harus Diamankan
- b. Karakteristik Relay VIR
- c. Karakteristik Sistem Pengamanannya

#### **7.2.14 Relay Arus Lebih dengan Karakteristik Sangat Berbanding Terbalik Sekali (*Extremily Inverse*, $I^2 t = k$ )**

Untuk sistem dengan pembangkit dan impedansi saluran pada setiap seksi kecil, relay dengan karakteristik *extremily inverse* sangat cocok digunakan, karena hanya dengan sedikit perbedaan arus telah didapat perbedaan waktu yang cukup. Relay ini sangat cocok untuk mengamankan peralatan karena pemanasan lebih, sebab mempunyai karakteristik  $I^2 \cdot t = k$  sesuai dengan karakteristik dari peralatan pada umumnya. Disampingn itu, relay ini dapat dikoordinasikan dengan pengaman lebur, sedangkan relay dengan karakteristik inverse biasa atau IDMT sukar untuk dapat dikoordinasikan dengan pengaman lebur. Relay dengan karakteristik sangat berbanding terbalik digunakan pada elemen relay urutan negatif yang telah difilter dan merupakan pengaman rotor, trafo daya, trafo pentanahan dan kabel yang mahal.

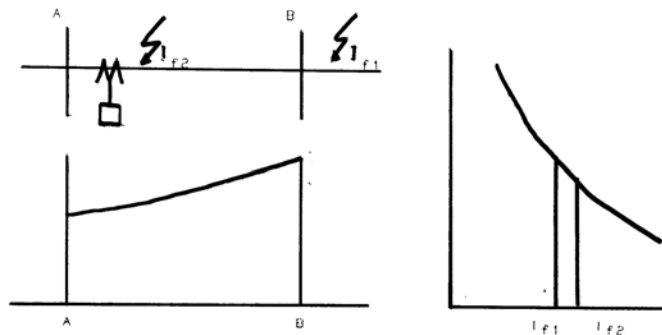
#### **7.2.15 Relay Arus Lebih Waktu Tertentu Dibandingkan dengan Waktu Terbalik.**

Relay arus lebih waktu tertentu, waktu kerja relay untuk seksi-seksi semakin dekat dengan sumber, semakin besar dan arus hubung singkatnyapun juga semakin besar. Dan apabila jumlah seksinya banyak, waktu kerja relay pada seksi terdekat dengan sumber menjadi lama.

Untuk relay arus lebih waktu terbalik, tidak demikian halnya, karena waktu kerja relay tergantung besarnya dengan arus gangguan. Semakin besar arus gangguan, maka semakin singkat waktu

## Perbedaan relay arus lebih waktu tertentu dan inverse:

<p>1. Penyetelannya mudah, dalam hal ini hanya diperlukan arus maksimum yang mungkin terjadi ataupun arus nominal dari peralatannya.</p> <p>2. Arus kerja maupun waktu kerjanya lebih teliti dibandingkan dengan relay arus lebih dengan waktu terbalik.</p> <p>3. Bila bebannya mempunyai kejutan-kejutan atau mempunyai start yang tinggi dan kemudian menurun (misalnya motor listrik dengan start langsung), relay ini praktis tidak dapat digunakan/sukar penyetelannya</p> <p>4. Waktu kerja relay tidak terlalu dipengaruhi oleh besarnya arus.</p> <p>5. Relay ini akan naik, baik untuk sistem yang terpisah dan seksinya yang hanya sedikit</p>	<p>1. Penyetelannya disamping memerlukan arus maksimum yang mungkin terjadi ataupun nominal dari peralatannya, juga perlu diketahui besarnya arus hubung singkat untuk setiap seksi serta kurva karakteristik relay.</p> <p>2. Arus kerja maupun waktu kerjanya kurang teliti dibandingkan dengan relay arus lebih dengan waktu tertentu</p> <p>3. Bila bebannya mempunyai kejutan-kejutan atau mempunyai start yang tinggi dan kemudian menurun (misalnya motor listrik dengan start langsung), relay ini praktis jauh lebih mudah penyetelannya.</p> <p>4. Waktu kerja relay bila arusnya besar maka perlu dicek, karena terdapat kemungkinan tidak bekerja atau bekerja dengan waktu yang lama. Bila terjadi hal yang demikian, perlu ditinjau kembali penyetelannya.</p> <p>Pada relay ini, terdapat dua hal yang kurang menguntungkan dibandingkan dengan waktu tertentu, yaitu:</p> <p>a. <math>ZS</math> sedemikian besarnya, misalnya untuk relay gangguan tanah pada sistem dengan pentanahan impedansi, <math>ZS \cdot (Z_t + Z_g)</math> mendekati 1, maka arus gangguan diujung saluran yang diamankan dan dipangkal / didekat relay besarnya hampir sama, dengan demikian waktu kerja relay diujung dan dipangkal saluran hampir sama. Hal ini juga akan terjadi diseksi-seksi hilir yang jauh dari sumber.</p> <p>b. Jika kapasitas pembangkitan berubah-ubah, arus gangguan juga berubah-ubah, hal ini menyebabkan waktu kerja relay berubah-ubah pula.</p> <p>Pada saat kapasitas pembangkitan kecil, waktu kerja relay akan menjadi lebih lama. Biasanya, perubahan ini tidak mempengaruhi selektivitas dari sistem pengamanan, karena ketika menset waktu / <math>T</math>, yaitu diambil pada saat kapasitas pembangkitannya maksimum.</p> <p>5. Relay ini akan lebih menguntungkan untuk sistem radial yang jumlah seksinya banyak atau sistem loop. Hal ini disebabkan waktu kerja secara keseluruhan dapat menjadi lebih singkat.</p>
---	---



**Gambar 7.35** Karakteristik Relay Arus Lebih Waktu Tertentu dan Inverse

### 7.2.16 Relay Arus Lebih dengan Karakteristik Waktu Tertentu atau Waktu Terbalik yang Dikombinasikan dengan Relay Seketika

Seperti yang telah disinggung sebelumnya, bahwa relay dengan karakteristik waktu-arus tertentu atau berbanding terbalik sering dikombinasikan dengan relay seketika. Dalam hal ini, yang perlu diperhatikan adalah penyetelan arus dari elemen seketika. Hal ini disebabkan karena relay seketika bekerjanya tanpa perlambatan waktu, sehingga untuk menciptakan pengamanan yang selektif, gradingnya ialah besaran arus, bukan waktu.

Relay seketika ini dapat dimanfaatkan dengan baik ataupun diset dengan mudah bila besarnya arus gangguan diujung dan dipangkal seksi yang diamankan mempunyai beda arus yang cukup besar, hal ini umumnya akan terjadi pada seksi-seksi yang dekat dengan sumber pembangkitnya. Relay ini akan sangat memperbaiki pengamanan untuk relay arus lebih terutama yang mempunyai karakteristik waktu tertentu.

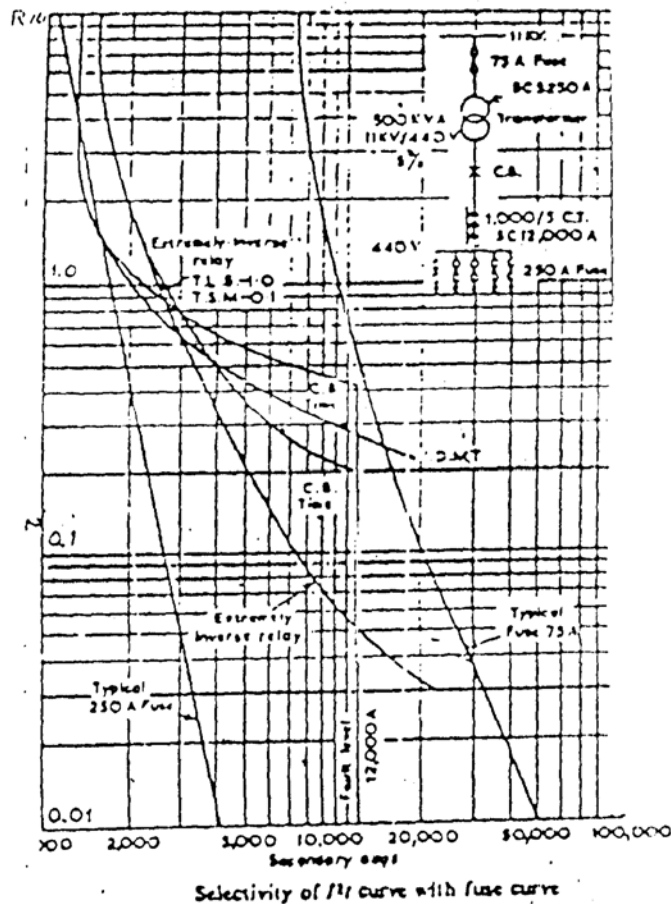
Hal ini disebabkan karena pada relay arus lebih waktu tertentu, justru untuk seksi dekat dengan sumber, waktu kerjanya lama sedang arus gangguannya besar.

Dengan mengkombinasikan relay ini dengan relay seketika, maka adanya gangguan dekat sumber di mana arus gangguannya sangat besar

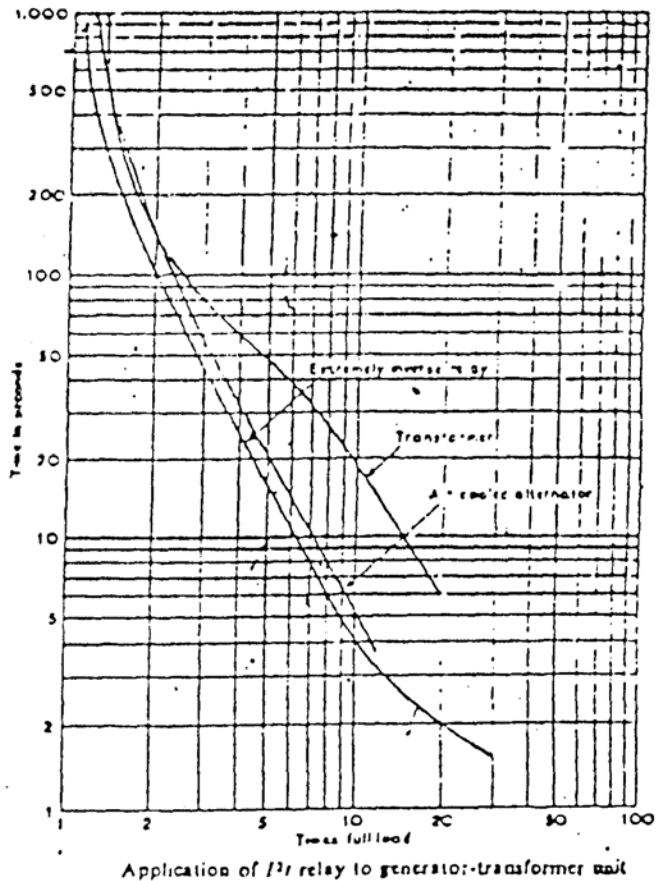
relay seketiknya segera bekerja. Jadi seolah-olah pengaman ini dipotong tanpa menunggu waktu.

Karena penyetelan didasarkan pada arus grading, maka adanya gangguan di seksi berikutnya relay harus tidak bekerja.

Untuk menghindari salah kerja, maka penyetelannya harus pada saat pembangkitan dalam keadaan maksimum, tetapi ada kelemahannya bahwa pada pembangkitan minimum jangkauannya menjadi lebih pendek dan mungkin relay seketika ini malah tidak bekerja.



Gambar 7.36 Penggunaan Relay  $I^2t$  Terhadap Generator Dan Unit Transformator



Gambar 7.37 Selektivitas Kuroa  $I^2 t$  Dengan Kuroa Fuse

## 7.3 PENUTUP

### 7.3.1 Rangkuman

Relay adalah sebuah saklar elektronis yang dapat dikendalikan dari rangkaian elektronik lainnya. Relay terdiri dari 3 bagian utama, yaitu:

1. koil : lilitan dari relay
2. common : bagian yang tersambung dengan NC(dlm keadaan normal)
3. kontak : terdiri dari NC dan NO

## Jenis-jenis Relai

### Berdasarkan Cara Kerja

1. Normal terbuka. Kontak sakelar tertutup hanya jika relai dihidupkan.
2. Normal tertutup. Kontak sakelar terbuka hanya jika relai dihidupkan.
3. Tukar-sambung. Kontak sakelar berpindah dari satu kutub ke kutub lain saat relai dihidupkan.
4. Bila arus masuk Pada gulungan maka seketika gulungan, maka seketika gulungan akan berubah menjadi medan magnet. gaya magnet inilah yang akan menarik luas sehingga saklar akan bekerja

### Berdasarkan Konstruksi

Relai menggrendel. Jenis relai yang terus bekerja walaupun sumber tenaga kumparan telah dihilangkan.

1. Relai lidi. Digunakan untuk pensakelaran cepat daya rendah. Terbuat dari dua lidiferomagnetik yang dikapsulkan dalam sebuah tabung gelas. Kumparan dililitkan pada tabung gelas.

### Jenis- jenis Relay Proteksi dan Fungsinya

Sistem proteksi memiliki komponen utama yaitu Relay, jenis-jenis relay ini dapat di gunakan pada system pembangkitan, transmisi tenaga listrik, system distribusi dll.

Adapun jenis-jenisnya adalah sbb :

No	Nama Relay	Fungsi Relay
1	Relay jarak (distance relay)	Untuk mendeteksi gangguan 2 fasa atau 3 fasa di muka generator sampai batas jangkauannya.
2	Relay periksa sinkron	Pengaman Bantu generator untuk mendeteksi persaratan sinkronisasi (parallel).
3	Relay tegangan kurang (under voltage relay)	Mendeteksi turunnya tegangan sampai dibawah harga yang di izinkan (relay ini bekerja apabila sebelum rele loss of field bekerja)



No	Nama Relay	Fungsi Relay
4	Relay daya balik (reverse power relay)	Untuk mendeteksi daya balik, sehingga mencegah generator bekerja sebagai motor.
5	Relay kehilangan medan penguat	Untuk mendeteksi kehilangan medan penguat generator.
6	Relay fasa urutan negative	Untuk mendeteksi arus urutan negatif yang disebabkan oleh beban tidak seimbang pada batas-batas yang tidak diizinkan
7	Relay arus lebih seketika (over current relay instantaneous)	Untuk mendeteksi besaran arus yang melebihi batas yang ditentukan dalam waktu seketika.
8	Relay arus lebih dengan waktu tunda (time over current relay)	Untuk mendeteksi besaran arus yang melebihi batas dalam waktu yang diizinkan.
9	Relay penguat lebih (over excitation relay)	Untuk mendeteksi penguat lebih pada generator.
10	Relay tegangan lebih	bila terpasang di titik netral generator atau trafo tegangan yang di hubungkan segitiga terbuka untuk mendeteksi gangguan stator hubungan tanah. bila terpasang pada terminal generator untuk mendeteksi tegangan lebih.
11	Relay keseimbangan tegangan (voltage balanced relay)	Untuk mendeteksi hilangnya tegangan dari trafo tegangan pengatur tegangan otomatis (AVR dan relay).
12	Relay waktu (time delay)	Untuk memperlambat waktu.
13	Relay stator gangguan tanah (stator ground fault relay)	Untuk mendeteksi kondisi a sinkron pada generator yang sudah paralel dengan sistem.
14	Relay kehilangan sinkronisasi (out of step relay)	Untuk mendeteksi kondisi a sinkron pada generator yang sudah paralel dengan sistem.

No	Nama Relay	Fungsi Relay
15	Relay pengunci (lock out relay)	Untuk menerima signal trip dari relay-relay proteksi dan kemudian meneruskan signal trip ke PMT, alarm dan peralatan lain serta mengunci.
16	Relay frekuensi (frekuensi relay)	Mendeteksi besaran frekuensi rendah/lebih di luar harga yang diizinkan.
17	Relay diferensial (diferensial relay)	Untuk mendeteksi gangguan hubungan singkat pada daerah yang diamankan.

### 7.3.2 Tes Formatif

Setelah mempelajari materi diatas jawablah pertanyaan - pertanyaan dibawah ini :

1. Jelaskan apa yang dimaksud dengan reley !
2. Sebutkan jenis - jenis reley berdasarkan cara kerjanya !
3. Sebutkan jenis - jenis reley proteksi dan fungsinya !
4. Sebutkan Perbedaan relay arus lebih waktu tertentu dan inverse !

#### Kunci Jawaban Tes Formatif

##### Kunci jawaban no. 1

Relay adalah sebuah saklar elektronis yang dapat dikendalikan dari rangkaian elektronik lainnya. Relay terdiri dari 3 bagian utama, yaitu:

1. koil : lilitan dari relay
2. common : bagian yang tersambung dengan NC(dlm keadaan normal)
3. kontak : terdiri dari NC dan NO

##### Kunci Jawaban No. 2

##### Berdasarkan Cara Kerja

1. Normal terbuka. Kontak sakelar tertutup hanya jika relai dihidupkan.
2. Normal tertutup. Kontak sakelar terbuka hanya jika relai dihidupkan.

3. Tukar-sambung. Kontak sakelar berpindah dari satu kutub ke kutub lain saat relai dihidupkan.
4. Bila arus masuk Pada gulungan maka seketika gulungan, maka seketika gulungan akan berubah menjadi medan magnet. gaya magnet inilah yang akan menarik luas sehingga saklar akan bekerja

### Kunci Jawaban No. 3

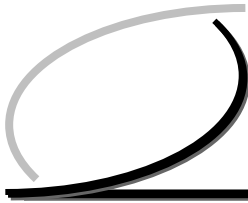
No	Nama Relay	Fungsi Relay
1	Relay jarak (distance relay)	Untuk mendeteksi gangguan 2 fasa atau 3 fasa di muka generator sampai batas jangkauannya.
2	Relay periksa sinkron	Pengaman Bantu generator untuk mendeteksi persaratan sinkronisasi (parallel).
3	Relay tegangan kurang (under voltage relay)	Mendeteksi turunnya tegangan sampai dibawah harga yang di izinkan (relay ini bekerja apabila sebelum rele loss of field bekerja)
4	Relay daya balik (reverse power relay)	Untuk mendeteksi daya balik, sehingga mencegah generator bekerja sebagai motor.
5	Relay kehilangan medan penguat	Untuk mendeteksi kehilangan medan penguat generator.
6	Relay fasa urutan negative	Untuk mendeteksi arus urutan negatif yang disebabkan oleh beban tidak seimbang pada batas-batas yang tidak diizinkan
7	Relay arus lebih seketika (over current relay instanteneous)	Untuk mendeteksi besaran arus yang melebihi batas yang ditentukan dalam waktu seketika.
8	Relay arus lebih dengan waktu tunda (time over current relay)	Untuk mendeteksi besaran arus yang melebihi batas dalam waktu yang diizinkan.
9	Relay penguat lebih (over excitation relay)	Untuk mendeteksi penguat lebih pada generator.

No	Nama Relay	Fungsi Relay
10	Relay tegangan lebih	bila terpasang di titik netral generator atau trafo tegangan yang di hubungkan segitiga terbuka untuk mendeteksi gangguan stator hubungan tanah. bila terpasang pada terminal generator untuk mendeteksi tegangan lebih.
11	Relay keseimbangan tegangan (voltage balanced relay)	Untuk mendeteksi hilangnya tegangan dari trafo tegangan pengatur tegangan otomatis (AVR dan relay).
12	Relay waktu (time delay)	Untuk memperlambat waktu.
13	Relay stator gangguan tanah (stator ground fault relay)	Untuk mendeteksi kondisi a sinkron pada generator yang sudah paralel dengan sistem.
14	Relay kehilangan sinkronisasi (out of step relay)	Untuk mendeteksi kondisi a sinkron pada generator yang sudah paralel dengan sistem.
15	Relay pengunci (lock out relay)	Untuk menerima signal trip dari relay-relay proteksi dan kemudian meneruskan signal trip ke PMT, alarm dan peralatan lain serta mengunci.
16	Relay frekuensi (frekuensi relay)	Mendeteksi besaran frekuensi rendah/lebih di luar harga yang diizinkan.
17	Relay diferensial (diferensial relay)	Untuk mendeteksi gangguan hubungan singkat pada daerah yang diamankan.

## Kunci jawaban no. 4

Relay Arus Lebih Waktu Tertentu	Relay Arus Lebih Waktu Inverse
<p>1. Penyetelannya mudah, dalam hal ini hanya diperlukan arus maksimum yang mungkin terjadi ataupun arus nominal dari peralatannya.</p> <p>2. Arus kerja maupun waktu kerjanya lebih teliti dibandingkan dengan relay arus lebih dengan waktu terbalik.</p> <p>3. Bila bebannya mempunyai kejutan-kejutan atau mempunyai start yang tinggi dan kemudian menurun (misalnya motor listrik dengan start langsung), relay ini praktis tidak dapat digunakan/sukar penyetelannya</p> <p>4. Waktu kerja relay tidak terlalu dipengaruhi oleh besarnya arus.</p> <p>5. Relay ini akan naik, baik untuk sistem yang terpisah dan seksinya yang hanya sedikit</p>	<p>1. Penyetelannya disamping memerlukan arus maksimum yang mungkin terjadi ataupun nominal dari peralatannya, juga perlu diketahui besarnya arus hubung singkat untuk setiap seksi serta kurva karakteristik relay.</p> <p>2. Arus kerja maupun waktu kerjanya kurang teliti dibandingkan dengan relay arus lebih dengan waktu tertentu</p> <p>3. Bila bebannya mempunyai kejutan-kejutan atau mempunyai start yang tinggi dan kemudian menurun (misalnya motor listrik dengan start langsung), relay ini praktis jauh lebih mudah penyetelannya.</p> <p>4. Waktu kerja relay bila arusnya besar maka perlu dicek, karena terdapat kemungkinan tidak bekerja atau bekerja dengan waktu yang lama. Bila terjadi hal yang demikian, perlu ditinjau kembali penyetelannya.</p> <p>Pada relay ini, terdapat dua hal yang kurang menguntungkan dibandingkan dengan waktu tertentu, yaitu:</p> <p>a. ZS sedemikian besarnya, misalnya untuk relay gangguan tanah pada sistem dengan pentanahan impedansi, <math>ZS \cdot (Z_t + Z_g)</math> mendekati 1, maka arus gangguan diujung saluran yang diamankan dan dipangkal /didekat relay besarnya hampir sama, dengan demikian waktu kerja relay diujung dan dipangkal</p>

Relay Arus Lebih Waktu Tertentu	Relay Arus Lebih Waktu Inverse
	<p>saluran hampir sama. Hal ini juga akan terjadi diseksi-seksi hilir yang jauh dari sumber.</p> <p>b. Jika kapasitas pembangkitan berubah-ubah, arus gangguan juga berubah-ubah, hal ini menyebabkan waktu kerja relay berubah-ubah pula.</p> <p>Pada saat kapasitas pembangkitan kecil, waktu kerja relay akan menjadi lebih lama. Biasanya, perubahan ini tidak mempengaruhi selektivitas dari sistem pengamanan, karena ketika menset waktu / T, yaitu diambil pada saat kapasitas pembangkitan nya maksimum.</p> <p>5. Relay ini akan lebih menguntungkan untuk sistem radial yang jumlah seksinya banyak atau sistem loop. Hal ini disebabkan waktu kerja secara keseluruhan dapat menjadi lebih singkat.</p>



---

## DAFTAR PUSTAKA

- Parker Smith, *Elektrical Engineering Design Manual*, 2nd Edition Revised, Chapman And Hall Ltd, London, 1950.
- Ravindranath, *Power System Protection And Switchgear*, 1997 Arief Budianto,
- Admin. *Listrik itu Apa?* (<http://www.blogsvertise.com/yuksinau/listrik-itu-apa/>) (diakses 23 Juni 2011).
- \_\_\_\_\_. *Rangkaian Listrik* (<http://www.blogsvertise.com/yuksinau/rangkaian-listrik.htm>) (diakses 23 Juni 2011).
- Erizkhanuryani. *Pengetian Fisika*. <http://erizkhanuryani.weebly.com/1/post/2011/05/first-post.html> (diakses 22 Juni 2011).
- Farmasiku. *Alat Listrik, Amperemeter*. [http://www.farmasiku.com/indeks.php?target&category\\_id=393](http://www.farmasiku.com/indeks.php?target&category_id=393) (diakses 11 Pebruari 2011).
- Febriana, Fredy. *Pengertian Informasi*. 2010, <http://f123dynaonnya.wordpress.com/pengertian-informasi> (diakses 02 Mei 2011).
- Hariato, Eddy. *Pengertian Teknologi Informasi*. 19 Pebruari 2008, <http://www.balinter.net/pengertian-teknologi-informasi> (diakses 24 april 2011).
- Hayt, W. *Rangkaian Listrik* (Terjemahan Kastawan). Jakarta: Erlangga, 2005.

<http://elektrojiwaku.blogspot.com/2011/04/sistem-proteksi-tenaga-listrik.html>

<http://www.blogsvertise.com/youksinau/listrik-itu-apa?>

<http://www.blogsvertise.com/youksinau/rangkaian-listrik.htm>

<http://erizkhanuryani.weebly.com/1/post/2011/05/first-post.html>

<http://www.farmasiku.com/indeks.php?>

<http://f123dynaonnya.wordpress.com/pengertian-informasi>

<http://www.blogger.com/resolusi-rijal.blogspot/2011/04/kemampuan-awal-prior-knowledge.html>

<http://www.pustakasekolah.com/>

<http://karyailmiah.um.ac.id/index.php/kimia/article/view/9352>

<http://id.shvoong.com/socialsciences/education/2090813-pengertian-pengetahuan>

<http://Ummusalsa-bilablog.blogspot./metakognisi.html>

<http://www.merriam-webster.com/dictionary/define-theory.htm>

<http://www.sayelectric.com/konsep-dasar-rangkaian-listrik>

<http://www.merriam-webster.com/dictionary/define-theory.htm>

<http://karyailmiah.um.ac.id/index.php/kimia/article/view/9352UNS>

<http://ajidedim.wordpress/pengertian-teknologi.htm>

<http://www.balinter.net/pengertian-teknologi-informasi>

[http://risyana.wordpress.com/pengantar-teknologi-informasi-komunikasi.](http://risyana.wordpress.com/pengantar-teknologi-informasi-komunikasi)

<http://etd.eprints.ums.ac.it/view/divions/A410/>

<http://www.sayelectric.com/konsep-dasar-rangkaian-listrik>

<http://en.wikipedia.org/wiki/define-Theory.htm>



- <http://newsletterdisdik.wordpress.com/menciptakan-komunikasi-aktif-dalam-proses-pembelajaran>
- [http://sholahuddin.edublogspot.org/2011/03/14/pembelajaran-berbasis-informasi-dankomunikasi\\_EDUNETMTsKAB.TEGAL.htm](http://sholahuddin.edublogspot.org/2011/03/14/pembelajaran-berbasis-informasi-dankomunikasi_EDUNETMTsKAB.TEGAL.htm)
- <http://jiynkpe/s1/eman/2008/jiunkpens-s1-2008-31403361-9052-hanurda-chapter2.pdf> htm
- <http://www.wikipedia.org/wiki/instruction>. htm
- [http://in.wikipedia.org/theory/sirkut\\_listrik.htm](http://in.wikipedia.org/theory/sirkut_listrik.htm)
- <http://en.wiktionary.org/wiki/theories-and-concepts-in-technology.htm>
- Kurikulum Kompetensi Keahlian Teknik Instalasi Tenaga Listrik, Manado: SMK Negeri 2 Manado.
- McGraw-Hill Science, *Information Technology*, <http://www.answers.com/library/Sci%2DTech.Encyclopedia-cit-2256735> (diakses 30 April 2011).
- \_\_\_\_\_, *Theory*, 12 Juni 2007, <http://www.merriam-webster.com/dictionary/define-theory.htm> (diakses 30 April 2011).
- Mulawarman, A. Dedi. *Pengertian Teknologi*, 2011. <http://ajidedim.wordpress.com/pengertian-teknologi.htm> (diakses 15 Mei 2011).
- Mulyasa, E. *Menjadi Kepala Sekolah Profesional Dalam Konteks Menyukkseskan MBS dan KBK*. Bandung: Remaja Rosdakarya, 2005.
- Masruroh, Ummi. *Metakognisi*, 2011. <http://Ummusalsabilablog.blogspot./metakognisi.html> (diakses 18 Juli 2011).
- Oxford Dictionary. <http://id.shvoong.com/social-sciences/education/2090813-pengertian-pengetahuan> (diakses 18 Mei 2011).
- Prasmono, Ari. Universitas Sebelas Maret Solo, Program Pascasarjana, 2010, <http://karya-ilmiah.um.ac.id/index.php/kimia/article/view/9352>. UNS.Solo (diakses 13 Juni 2011).

- Pustaka Sekolah. *Pengertian Matematika*. <http://www.pustakasekolah.com/matematika-sejarah-dan-manfaat-matematika.html> (diakses 22 Juni 2011).
- Reksoatmodjo, Tedjo Narsoyo. *Pengembangan Kurikulum Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*. Bandung: PT. Refika Aditama, 2010.
- Rijal. *Kemampuan Awal*, 17 April 2011. <http://www.blogger.com/resolusirijal.blogspot/2004/kemampuan-awal-prior-knowledge.html> (diakses 03 Mei 2011).
- Risyana E. Pribadi. *Pengantar Teknologi Informasi dan Komunikasi*, 23 Juli 2010. <http://risyana.wordpress.com/pengantar-teknologi-informasi-komunikasi.htm> (diakses 30 April 2011).
- Robin. *Kemampuan Awal*. Petra University Library, <http://jiynkpe/s1/eman/2008/jiunkpens-s1-2008-31403361-9052-hanurda-chapter2.pdf> (diakses 04 April 2011).
- Rohmanto. Universitas Muhammadiyah, 2011, <http://etd.eprints.ums.ac.it/view/divions/A410/> (diakses 13 Juni 2011).
- Saroni, M. 2010, <http://enewsletterdisdik.wordpress.com/menciptakan-komunikasi-aktif-dalam-proses-pembelajaran> (diakses 24 Pebruari 2011).
- Sholahuddin. *Pembelajaran Berbasis Teknologi Informasi dan Komunikasi*, 2011. [http://sholahuddin.edublogspot.org/2011/03/14/pembelajaran-berbasis-informasi-dan-komunikasi\\_EDUNETMTsKAB.TEGAL.htm](http://sholahuddin.edublogspot.org/2011/03/14/pembelajaran-berbasis-informasi-dan-komunikasi_EDUNETMTsKAB.TEGAL.htm) (diakses 24 April 2011).
- \_\_\_\_\_. *Metoda Statistika*. Bandung: Tarsito, 2005.
- Supranto, J. *Analisis Multivariat: Arti dan Interpretasi*. Jakarta: Rineka Cipta, 2004.
- Sutondo, Nanang. *Definisi Rangkaian Listrik*. <http://sutondoscript.blogspot.com/2011/03/definisi-rangkaian-listrik-elemen.html> (diakses 12 Mei 2011).

- Universitas Sebelas Maret Solo, 31 Januari 2011, Program Pascasarjana  
[.http://karyailmiah.um.ac.id/index.php/kimia/article/view/9352](http://karyailmiah.um.ac.id/index.php/kimia/article/view/9352)UNS. Solo (diakses 13 Juni 2011).
- Webster, Merriam. *Practical*, 2011, <http://www.merriam-webster.com/dictionary/define-practical.htm> (diakses 30 April 2011).
- Wibisana, S. Lukita. *Konsep Dasar Rangkaian Listrik*, 01 Januari 2011.  
<http://www.sayelectric.com/konsep-dasar-rangkaian-listrik>  
(diakses 24 April 2011).
- Wikipedia. *Define Theory*. 27 April 2011, <http://en.wikipedia.org/wiki/define-Theory.htm> (diakses 30 April 2011)
- \_\_\_\_\_. *Instruction*. 14 April 2011, <http://www.wikipedia.org/wiki/instruction.htm> (diakses 30 April 2011).
- \_\_\_\_\_. *Sirkuit Listrik*. [http://in.wikipedia.org/theory/sirkuit\\_listrik.htm](http://in.wikipedia.org/theory/sirkuit_listrik.htm)  
(diakses 23 Juni 2011).
- \_\_\_\_\_. *Technology*, 2010. <http://en.wiktionary.org/wiki/theories-and-concepts-in-technology.htm> (diakses 02 Mei 2011).





## GLOSARIUM

Auxiliary Relay yaitu	suatu rele yang operasinya dalam merespon membuka atau menutup dari operasi rangkaian membantu rele lain dari penampilan fungsinya. Rele ini bekerjanya instantenous (sesaat)
Burden yaitu,	rele bekerja berdasarkan beban dan Rele ini menggunakan besaran arus dan tegangan (VA) yang dihasilkan oleh rafo arus dan trafo tegangan atau impedansi.
Blocking yaitu,	mencegah rele untuk bekerja, itu adalah memiliki sifat sendiri dan ini merupakan ree tambahan.
Dependent time - delay relay. Yaitu suatu waktu tunda rele yang mana waktu tundanya berbeda-beda dengan nilai kuantitas operasinya.	
Dropout or reset yaitu,	suatu rele drop out ketika bergerak dari posisi hidup ke posisi tidak bekerja.

- Energizing quantity yaitu, kuantitas listrik berupa arus atau tegangan hanya salah satu kombinasi dari besaran listriknya untuk mengerjakan rele.
- Independent time - delay relay yaitu, suatu waktu tunda rele yang mana waktu tundanya adalah secara bebas dari kuantitas (jumlah) operasinya.
- Instantaneous relay yaitu, suatu rele yang operasinya secara instant (sesaat) tanpa menggunakan waktu.
- Invers time - delay relay yaitu, suatu waktu tunda rele yang mana operasi waktunya berfungsi invers dari sifat kuantitas listriknya.
- Invers time-delay relay with definite minimum yaitu, suatu rele dengan waktu tunda invers berubah ubah dengan sifat kuantitas naik untuk nilai yang pasti setelah waktu tunda menjadi waktu dasarnya.
- Pickup yaitu, suatu rele dikatakan picup apabila terjadinya pertukaran posisi normal ke posisi bekerja atau proses relay bekerja sampai ke proses pemutusan system)
- Protective Gear yaitu, peralatan termasuk relay pengaman, transformator, dan peralatan-peralatan bantu untuk digunakan pada sistem proteksi.
- Protective Scheme. yaitu, susunan dari koordinasi untuk pengamanan dari system tenaga listrik .
- Protective Relay yaitu: suatu peralatan yang digunakan unruk mengamankan sistem tenaga untuk pengoperasian sinyal alarm pada kondisi gangguan atau pada kondisi tidak normal.
- Protective System yaitu. kombinasi dari protective gear didesain untuk aman pada kondisi yang ditetapkan sebelumnya.

Resetting value yaitu,	nilai maksimum dari kuantitas bekerjanya rele yang dan menghungkan kontak rele menutup setelah dioperasikan.
Setting yaitu nilai actual dari bekerjanya rele atau besaran yang mana rele didesain beroperasi dibawah kondisi yang diberikan.	
Time delay relay yaitu,	suatu rele yang mempunyai peralatan waktu tunda.
( APP) Alat milik PT PLN (Persero) yang berfungsi untuk membatasi daya listrik yang dipakai serta mengukur pemakaian energi listrik	
Ampere (A)	Satuan Arus Listrik
Badan Usaha (BUPTL)	Penunjang Tenaga Listrik : Instalatir yang bergerak dalam pembangunan dan pemasangan peralatan ketenagalistrikan
Biaya Beban (BB)	Komponen biaya dalam rekening listrik yang besarnya tetap, dihitung berdasarkan daya tersambung
Biaya Keterlambatan (BK)	Adalah biaya yang dibebankan pada pelanggan karena tidak memenuhi kewajiban membayar tagihan PLN tepat pada waktunya
Biaya Penyambungan (BP)	Biaya yang harus dibayar kepada PLN oleh calon pelanggan atau pelanggan untuk memperoleh penyambungan baru atau tambah daya
Curah ( C )	Yaitu golongan tarif untuk keperluan penjualan secara Curah (Bulk) kepada Pemegang Izin Usaha
Current Transformer atau Trafo Arus (CT)	Alat untuk menurunkan arus listrik untuk keperluan pengukuran energi
Daya Tersambung	Besarnya daya yang disepakati oleh PLN dan pelanggan dalam Perjanjian Jual Beli Tenaga Listrik yang menjadi dasar perhitungan biaya beban
Faktor daya atau Cos Perbandingan	antara pemakaian daya dalam Watt dengan pemakaian daya dalam Volt-Ampere

Faktor Ketidak Seimbangan Tegangan Perbandingan komponen tegangan urutan negative terhadap komponen tegangan urutan positif	
Hertz (HZ)	Satuan frekuensi listrik
Jam nyala Pemakaian kWh dalam satu bulan dibagi dengan kVA tersambung	
Jaringan Tegangan Ekstra Tinggi (JTET) : Jaringan Tenaga Listrik (JTL ) yang dioperasikan dengan TET yang mencakup seluruh bagian jaringan tersebut beserta perlengkapannya	
Jaringan Tegangan Menengah (JTM) JTL yang dioperasikan dengan TM yang mencakup seluruh bagian jaringan tersebut beserta perlengkapannya	
Jaringan Tegangan Rendah (JTR) JTL yang dioperasikan dengan TR yang mencakup seluruh bagian jaringan tersebut beserta perlengkapannya	
Jaringan Tegangan Tinggi (JTT) JTL yang dioperasikan dengan TT yang mencakup seluruh bagian jaringan tersebut beserta perlengkapannya	
Jaringan Tenaga Listrik (JTL) Sistem penyaluran/pendistribusian tenaga listrik milik PLN yang dioperasikan dengan TR, TM, TT atau TET	
JBST	Jual Beli Tenaga Listrik Secara Terbatas
Kilo Meter Sirkuit (kms)	Satuan panjang jaringan transmisi atau distribusi tenaga listrik tiga fasa
Kilo Volt Ampere (kVA)	Seribu Volt Ampere, adalah satuan daya
Kilo Volt (kV)	Seribu Volt, adalah satuan tegangan listrik
Kilo Watt (kW)	Satuan daya listrik nyata (aktif)
Kilo Watt Hour (kWh)	Satuan energy listrik nyata (aktif)
kVA max-Meter	Alat untuk mengukur pemakaian daya tertinggi dalam satuan kVA untuk kurun bulan dibagi dengan kVA tersambung waktu satu bulan, khusus bagi pelanggan B3, I4 dan I3 tanur busur, T



KVARh	Kilo Volt Ampere Reactive Hour, satuan energy listrik semu (reaktif)
kVARh	Meter Alat ukur pemakaian energi listrik semu (reaktif)
kWh Meter	Alat ukur pemakaian energi listrik
kWh Meter	Tarif Ganda kWh Meter yang mempunyai dua register, satu register untuk mengukur pemakaian energy pada WBP dan satu register lainnya untuk mengukur energy pada LWBP
kWh Meter Tarif Tunggal	kWh Meter yang mempunyai satu register untuk mengukur pemakaian energi
LWBP	Luar Waktu Beban Puncak (jam 22.00 - 18.00)
M/TR, TM,	TT Tarif Multiguna yang diperuntukan bagi pengguna listrik yang memerlukan pelayanan khusus, baik di Tegangan Rendah, Tegangan Menengah maupun Tegangan Tinggi
MVA	Mega Volt Ampere (Sejuta Volt Ampere)
Pajak Penerangan Jalan Umum (PPJU)	Pajak yang dibayar oleh semua pelanggan PLN, dipungut oleh PLN dan selanjutnya disetor ke kas Pemerintah Daerah
Papan Hubungi Bagi (PHB)	Bagian instalasi listrik milik pelanggan yang digunakan untuk membagi-bagikan aliran listrik
PB	Penyambungan Baru
PD	Penambahan Daya/Perubahan Daya
Pemutusan Rampung	Penghentian untuk seterusnya penyaluran tenaga listrik ke instalasi pelanggan dengan mengambil sebagian atau seluruh peralatan untuk penyaluran tenaga listrik ke instalasi pelanggan
Pemutusan Sementara	Penghentian penyaluran tenaga listrik ke instalasi pelanggan untuk sementara

- Penerangan Jalan Umum (PJU) Penerangan untuk jalan dan prasarana umum yang dipasang secara resmi oleh pemda atau badan resmi lainnya dan mendapat pasokan tenaga listrik dari PLN secara legal
- Penertiban Pemakaian Tenaga Listrik (P2TL) Pemeriksaan oleh PLN terhadap instalasi PLN dan instalasi pelanggan dalam rangka penertiban pemakaian/pemanfaatan tenaga listrik
- Potensial Transformator (Trafo Tegangan) Alat untuk menurunkan tegangan listrik yang diperlukan khusus bagi pengukuran energi listrik atau peralatan pengaman dan pengendali listrik lainnya
- Saluran Masuk Pelayanan (SMP) Kabel milik PLN yang menghubungkan antara jaringan Tegangan Rendah dengan APP yang terpasang di rumah pelanggan
- Sambungan Langsung Adalah sambungan JTL atau SL termasuk peralatannya sedemikian sehingga tenaga listrik disalurkan tanpa melalui APP
- Sambungan Tenaga Listrik (STL) Penghantar di bawah atau di atas tanah termasuk peralatannya sebagai bagian instalasi PLN yang merupakan sambungan antara JTL milik PLN dengan instalasi pelanggan
- Tagihan Listrik Perhitungan biaya atas pemakaian daya dan energi listrik oleh pelanggan setiap bulan
- Tagihan Susulan Tagihan kemudian sebagai akibat adanya penyesuaian dengan ketentuan atau sebagai akibat adanya pelanggaran
- Tarif Dasar Listrik (TDL) Ketentuan pemerintah yang berlaku mengenai golongan tarif dan harga jual tenaga listrik yang disediakan oleh PLN
- Tegangan Ekstra Tinggi (TET) Tegangan sistem diatas 245.000 Volt

Tegangan Menengah (TM)	Tegangan sistem diatas 1.000 Volt sampai dengan 35.000 Volt
Tegangan Rendah (TR)	Tegangan sistem sampai dengan 1.000 Volt
Tegangan Tinggi (TT)	Tegangan sistem diatas 35.000 Volt sampai dengan 245.000 Volt
Titik Penyambungan Bersama	Titik terdekat dengan pelanggan dimana tersambung juga pelanggan yang lain pada JTR atau JTM atau JTr atau JTET
Uang Muka Tagihan Listrik (UMTL)	Penerimaan pembayaran untuk pemakaian daya dan energy listrik mendahului transaksi penyerahan daya dan energi berlangsung
Volt Ampere (VA)	Satuan daya (daya buta)
Volt (V)	Satuan Tegangan Listrik
Waktu Beban Puncak (WBP)	Waktu jam 18.00 sampai dengan jam 22.00 waktu setempat
Watt	Satuan daya listrik nyata

