



---

---

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pemutus Tenaga atau *Circuit Breaker*<sup>1</sup>

Berdasarkan *IEV (International Electrotechnical Vocabulary)* 441-14-20 disebutkan bahwa *Circuit Breaker (CB)* atau Pemutus Tenaga (PMT) merupakan peralatan saklar/*switching* mekanis, yang mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal serta mampu menutup, mengalirkan (dalam periode waktu tertentu) dan memutus arus beban dalam kondisi abnormal/gangguan seperti kondisi hubung singkat (*short circuit*).

Sedangkan definisi PMT berdasarkan IEEE C37.100:1992 (Standard definitions for power switchgear) adalah merupakan peralatan saklar/ *switching* mekanis, yang mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal sesuai dengan ratingnya serta mampu menutup, mengalirkan (dalam periode waktu tertentu) dan memutus arus beban dalam spesifik kondisi abnormal/gangguan sesuai dengan ratingnya.

Fungsi utamanya adalah sebagai alat pembuka atau penutup suatu rangkaian listrik dalam kondisi berbeban, serta mampu membuka atau menutup saat terjadi arus gangguan (hubung singkat) pada jaringan atau peralatan lain.

##### 2.1.1 Klasifikasi PMT

Klasifikasi Pemutus Tenaga dapat dibagi atas beberapa jenis, antara lain berdasarkan tegangan rating/nominal, jumlah mekanik penggerak, media isolasi, dan proses pemadaman busur api jenis gas SF<sub>6</sub>.

1. Berdasarkan Besar/ Kelas Tegangan (Um)

PMT dapat dibedakan menjadi:

- PMT tegangan rendah (*Low Voltage*)

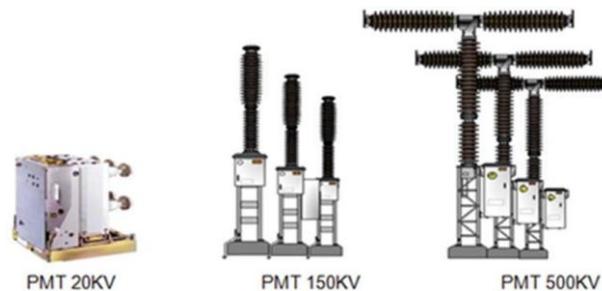
Dengan range tegangan 0.1 s/d 1 kV (SPLN 1.1995 - 3.3)

---

<sup>1</sup> PT. PLN (Persero). 2014. *Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga (PMT)*. Jakarta. Hal 1



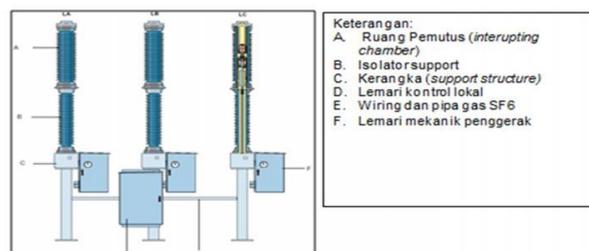
- PMT tegangan menengah (*Medium Voltage*)  
Dengan range tegangan 1 s/d 35 kV (SPLN 1.1995 – 3.4)
- PMT tegangan tinggi (*High Voltage*)  
Dengan range tegangan 35 s/d 245 kV (SPLN 1.1995 – 3.5)
- PMT tegangan extra tinggi (*Extra High Voltage*)  
Dengan range tegangan lebih besar dari 245 kVAC (SPLN 1.1995 –3.6)



**Gambar 2.1** Macam – macam PMT

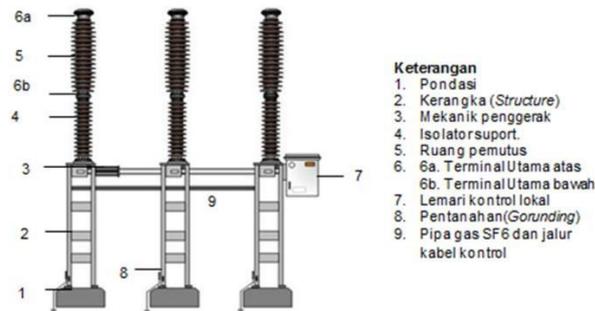
2. Berdasarkan Jumlah Mekanik Penggerak / Tripping Coil  
PMT dapat dibedakan menjadi:

- PMT Single Pole  
PMT *type* ini mempunyai mekanik penggerak pada masing-masing *pole*, umumnya PMT jenis ini dipasang pada bay penghantar agar PMT bisa reclose satu fasa.



**Gambar 2.2** PMT Single Pole

- PMT Three Pole  
PMT jenis ini mempunyai satu mekanik penggerak untuk tiga fasa, guna menghubungkan fasa satu dengan fasa lainnya di lengkapi dengan kopel mekanik, umumnya PMT jenis ini di pasang pada bay trafo dan bay kopel serta PMT 20 kV untuk distribusi.



**Gambar 2.3** PMT Three Pole

3. Berdasarkan Media Isolasi

Jenis PMT dapat dibedakan menjadi:

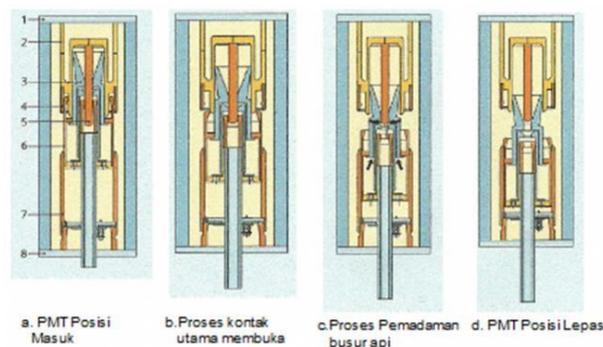
- PMT Gas SF6
- PMT Minyak
- PMT Udara Hembus (*Air Blast*)
- PMT Hampa Udara (*Vacuum*)

4. Berdasarkan Proses Pemadaman Busur Api Listrik Diruang Pemutus

PMT SF6 dapat dibagi dalam 2 (dua) jenis, yaitu:

- PMT Jenis Tekanan Tunggal (*single pressure type*)

PMT terisi gas SF6 dengan tekanan kira-kira 5 Kg/cm<sup>2</sup>, selama terjadi proses pemisahan kontak – kontak, gas SF6 ditekan (*fenomena thermal overpressure*) ke dalam suatu tabung/cylinder yang menempel pada kontak bergerak selanjutnya saat terjadi pemutusan, gas SF6 ditekan melalui *nozzle* yang menimbulkan tenaga hembus/tiupan dan tiupan ini yang memadamkan busur api.



**Gambar 2.4** Cara kerja PMT

Keterangan Gambar:

1. Terminal Utama atas (Rod Kontak diam)



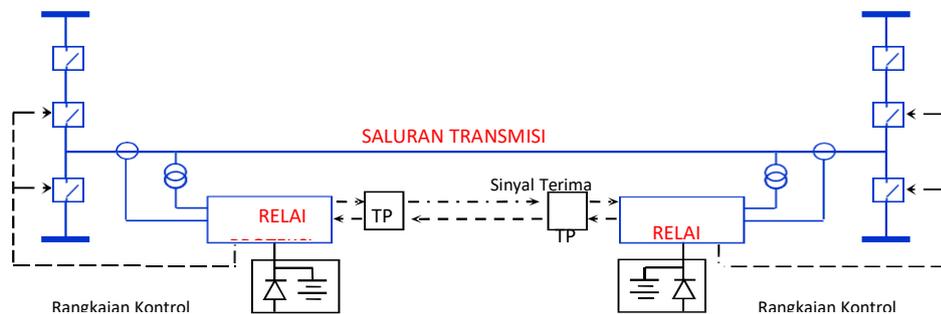
2. Support Kontak diam
  3. Nozzle
  4. Kontak Utama (main contact)
  5. Arcing contact
  6. Kontak bergerak
  7. Support kontak bergerak
  8. Terminal utama bawah
- PMT Jenis Tekanan Ganda (*double pressure type*)

PMT terisi gas SF<sub>6</sub> dengan sistem tekanan tinggi kira-kira 12 Kg / cm<sup>2</sup> dan sistem tekanan rendah kira-kira 2 Kg / cm<sup>2</sup>, pada waktu pemutusan busur api gas SF<sub>6</sub> dari sistem tekanan tinggi dialirkan melalui *nozzle* ke sistem tekanan rendah. Gas pada sistem tekanan rendah kemudian dipompakan kembali ke sistem tekanan tinggi, saat ini PMT SF<sub>6</sub> tipe ini sudah tidak diproduksi lagi.

## 2.2 Proteksi dan Kontrol Penghantar<sup>2</sup>

### 2.2.1 Gambaran Umum

Sistem proteksi *bay* penghantar adalah suatu sistem yang berfungsi untuk mengamankan/mengisolir penghantar (saluran udara/saluran kabel) tegangan tinggi atau tegangan ekstra tinggi dari gangguan temporer dan gangguan permanen yang terjadi pada penghantar tersebut. Secara umum, bagian dari sistem proteksi penghantar dapat digambarkan pada Gambar 2.5 dan Gambar 2.6 sebagai berikut :



**Gambar 2.5** Typical Komponen Sistem Proteksi SUTET

<sup>2</sup>PT. PLN (Persero). 2014. *Buku Pedoman Pemeliharaan Proteksi dan Kontrol Penghantar*. Jakarta. Hal 1



Komponen sistem proteksi terdiri dari transformator arus (CT), transformator tegangan (PT/CVT), relai proteksi, pemutus tenaga (PMT), catudaya rangkaian pengawatannya (*wiring*) dan teleproteksi.



**Gambar 2.6** Typical Komponen Sistem Proteksi SUTT

Daerah kerja proteksi *bay* penghantar adalah daerah di antara 2 (dua) atau lebih CT pada gardu-gardu induk berhadapan yang disebut sebagai unit proteksi penghantar. Relai proteksi mempunyai bagian-bagian utama sebagai terlihat pada Gambar 2.7 berikut.



**Gambar 2.7** Komponen Utama Relai Proteksi

### 2.2.2 Pola Proteksi Penghantar

Proteksi penghantar yang umum digunakan adalah skema proteksi menggunakan relai jarak (*distance relay*) dan relai diferensial saluran (*line current differential*). Pola proteksi untuk *bay* penghantar dapat diklasifikasikan sebagai berikut :



## 1. Pola Proteksi Penghantar 150 KV dan 70 KV

**Tabel 2.1** Pola Proteksi Penghantar 150 KV dan 70 KV (TT) SPLN T5.002-1:2010

Saluran yang Diproteksi	Proteksi Utama	Proteksi Cadangan	Saluran Telekomunikasi
SUTT 150 KV  Saluran pendek (SIR >4)	Teleproteksi CD	Cad 1:Z+DEF (DEF Optional) Cad 2: + OCR GFR	FO
SUTT 15 KV  Saluran Sedang (0.5 ≤SIR≤4)  dan Panjang (SIR<0.5)	Teleproteksi Z+DEF (DEF Optional)	OCR + GFR	PLC / FO
SKTT 150 KV  Saluran Pendek	Plot Wire CD	OCR + GFR	FO
SKTT 150 KV  Saluran Sedang dan Panjang	Teleproteksi CD	OCR + GFR	Pilot Wire/ FO
SUTT 70 KV	Alternatif 1:  Fasa fasa: relay jarak (Reactance Relay)  Fasa tanah: 64V +	Alternatif 1:  OCR + GFR	



Pentanahan netral dengan tahanan tinggi	50SG ( <i>Selective Ground Relay</i> ) atau Phasa tanah: 67G + 50G ( <i>Directional Selective Ground Relay</i> )  Alternatif 2 : Phasa – Phasa Teleproteksi Z  Phasa – Netral Teleproteksi DEF	Alternatif 2: OCR + GFR	PLC / FO
SUTT 70 KV  Pentanahan netral dengan tahanan rendah	Teleproteksi Z+DEF (DEF Optional)	OCR + GFR	PLC / FO
SKTT 70 KV  Pentanahan netral dengan tahanan tinggi dan tahanan rendah	Phasa – Phasa : Teleproteksi CD  Phasa – Tanah : Teleproteksi CD	Relay Jarak  OCR + GFR	Pilot Wire / FO

## 2. Pola Proteksi Penghantar 500 KV dan 275 KV

**Tabel 2.2** Pola Proteksi Penghantar 500 KV dan 275 KV (TET)SPLN T5.002-2:2010

Saluran yang Diproteksi	Skema Proteksi A	Skema Proteksi B
Saluran Pendek	Utama:Teleproteksi CD dengan FO  Cadangan: Teleproteksi	Utama: Teleproteksi CD dengan FO  Cadangan:Teleproteksi Z+DEF dengan



	Z+DEF dengan PLC	PLC
Saluran Sedang dan Panjang	<p><b>Alternatif I</b></p> <p>Utama: Teleproteksi Z+DEF dengan PLC</p> <p>Cadangan: Z</p> <p><b>Alternatif II</b></p> <p>Utama: Teleproteksi Z+DEF dengan FO</p> <p>Cadangan: Z</p>	<p><b>Alternatif I</b></p> <p>Utama : Teleproteksi CD dengan FO</p> <p>Cadangan: Teleproteksi Z+DEF</p> <p><b>Alternatif II</b></p> <p>Utama: Teleproteksi Z+DEF dengan PLC</p> <p>Cadangan: Z</p>

### 2.2.3 Autoreclose Relay (AR)

Sistem *Autoreclose Relay* (AR) atau relai penutup balik otomatis dipasang pada *bay* penghantarsaluran udara baik pada sistem tegangan tinggi (SUTT) maupun tegangan ekstra tinggi (TET). Hal ini didasarkan pada pertimbangan bahwa saluran udara merupakan salah satu bagian sistem penyaluran yang paling sering mengalami gangguan, sebagian besar dari penyebab gangguan tersebut bersifat temporer yang akan segera hilang setelah PMT *trip*. Agar kesinambungan pasokan tenaga listrik tetap terjaga serta batas stabilitas tetap terpelihara maka pengoperasian *autorecloser* sangat dibutuhkan. Sebagai pertimbangan dalam menentukan waktu tunda penutupan durasi (*dead time*) minimal lebih lama dari waktu pemadaman busur api dan kemampuan duty cycle PMT sedangkan maksimalnya tergantung dari kemampuan stabilitas sistem.

Sebagai referensi waktu pemadaman busur api minimum dapat diperkirakan dengan rumus sebagai berikut:

$$T_{min} = 10.5 + V/34.5 \text{ cycles (Ref. Power System Protection, P.M Anderson)}$$

**Tabel 2.3** Setting Waktu Auto Reclose

Tegangan Sistem (kV)	Waktu (detik)
66	0.25
150	0.30
275	0.37
500	0.5

Pertimbangan dalam penerapan *Auto Recloser*<sup>3</sup> :

1. Pola operasi *Auto Reclose* untuk sistem 70 kV, 150 kV, dan 275 kV diprioritaskan menggunakan SPAR (*Single Pole Auto Reclose*) dengan sekali *reclose* (*single shoot*).
2. Pola operasi TPAR (*Three Pole Auto Reclose*) dengan sekali *reclose* (*single shoot*) dapat juga digunakan pada sistem 70 kV dan 150 kV dengan inisiasi gangguan fasa-fasa, fasa-tanah, atau keduanya.
3. Untuk penghantar yang memasok GI – GI ujung, harus menggunakan pola TPAR.
4. Pola operasi TPAR (*Three Pole Auto Reclose*) tidak dapat menggunakan inisiasi gangguan 3 fasa kecuali untuk jenis relai yang tidak dapat membedakan inisiasi *reclose* antara fasa-fasa dan tiga fasa.
5. Pengoperasian TPAR harus menggunakan relai cek sinkron, dengan pola *live bus live line* (murni sinkron), *live bus dead line*, atau *dead bus live line*.

Setelan waktu relai *Autorecloser*.

1. Pola SPAR adalah :
  - *Dead time* : 0.8 - 1 detik \*)
  - *Reclaim Time* :  $\geq 30$  detik. \*\*)
  - *Pole Discrepancy PMT* : *Dead time* + 0.5 detik

<sup>3</sup> PT. PLN (Persero) P3B Sumatera. 2007. Pedoman Operasi dan Pemeliharaan (O&M) Rele Proteksi. Padang. Hal 11



2. Pola TPAR adalah :

- *Dead time* TPAR Lambat : 3 - 8 detik (Sirkuit Radial)
- *Dead time* TPAR cepat : 1 - 3 detik (interkoneksi)
- *Reclaim Time* :  $\geq 30$  detik \*\*)

6. Dalam kondisi-kondisi tertentu, *Autorecloser* (AR) tidak boleh bekerja (*block* AR) seperti :

PMT dibuka secara manual atau beberapa saat setelah PMT ditutup secara manual.

- a. PMT trip oleh *Circuit Breaker Failure* (CBF) atau *Direct Transfer Trip* (DTT).
- b. PMT trip oleh pengaman cadangan (Z2, Z3, OCR/GFR).
- c. PMT trip oleh *Switch On To Fault* (SOTF).
- d. PMT trip oleh *out of step protection*.

### 2.3 Pengujian Auto Reclose<sup>4</sup>

Pengujian Auto Recloser merupakan pemeliharaan pada saat shutdown testing berupa pengujian individu dan fungsi yaitu pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kinerja dan karakteristik relai itu sendiri apakah masih laik dioperasikan atau tidak dengan mensimulasikan gangguan menggunakan alat injeksi sekunder dan melakukan uji fungsi trip circuit breaker 150kV. Pengujian individu dan fungsi Auto Recloser dilakukan pada proteksi utama Distance Relay. Selain pada saat pemeliharaan rutin, pengujian individu dan fungsi juga harus dilakukan jika terdapat perubahan nilai setelan relai proteksi.

Pengujian individu Auto Recloser Relay dilakukan dengan menggunakan alat injeksi sekunder sekunder 3 fasa ke CT test block dan VT test block yang terdapat di panel relai yang terhubung ke sistem proteksi. Pengujian individu Auto Recloser Relay dilakukan untuk mengetahui kinerja dan karakteristik pada Auto Recloser Relay. Pengujian ini diantaranya adalah SPAR (Single Phase Auto

<sup>4</sup> Andika SR & Iwan K. 2020. *MapSource: Analisis Pengujian Auto Recloser Circuit Breaker 150 Kv Menggunakan Alat Uji DOBLE F6150*  
[https://www.academia.edu/32869553/Analisis\\_Pengujian\\_Auto\\_Recloser\\_Circuit\\_Breaker\\_150k\\_V\\_Menggunakan\\_Alatt\\_Uji\\_DOBLE\\_F6150](https://www.academia.edu/32869553/Analisis_Pengujian_Auto_Recloser_Circuit_Breaker_150k_V_Menggunakan_Alatt_Uji_DOBLE_F6150)



Recloser) dan TPAR (Three Phase Auto Recloser). Pengujian SPAR (Single Phase Auto Recloser) dilakukan dengan mensimulasikan arus gangguan fasa ke fasa atau fasa ke tanah terhadap Auto Recloser Relay SPAR sehingga hanya satu pole fasa circuit breaker yang reclose bila terjadi gangguan temporer seperti pada tabel II. Sedangkan Pengujian TPAR (Three Phase Auto Recloser) dilakukan dengan mensimulasikan arus gangguan fasa ke fasa, fasa ke tanah terhadap Auto Recloser Relay MVTR01 TPAR sehingga ketiga pole fasa circuit breaker akan reclose bila terjadi gangguan temporer.

**Tabel 2.4** Jenis Pengujian SPAR

PROTEKSI	SIMULASI GANGGUAN	SWITCH A/R
Zona 1 Fasa-Netral	Injeksi Sekunder $\Phi R$	ON
DEF Fasa-Netral + Receive	Injeksi Sekunder $\Phi S$	ON
ZONE 2 Fasa-Netral + Receive	Injeksi Sekunder $\Phi T$	ON
ZONE 1 Fasa-Fasa	Injeksi Sekunder $\Phi R-S/S-T/T-R$	ON

**Tabel 2.5** Jenis Pengujian TPAR

PROTEKSI	SIMULASI GANGGUAN	SWITCH A/R
Zona 1 Fasa-Netral	Injeksi Sekunder $\Phi R/ \Phi S/ \Phi T$	ON
Zona 1 Fasa-Netral	Injeksi Sekunder $\Phi RS$	ON
Zona 1 Fasa-Netral	Injeksi Sekunder $\Phi ST$	ON
Zona 1 Fasa-Fasa	Injeksi Sekunder $\Phi TR$	ON
Zona 2 Fasa-Fasa + Receive	Injeksi Sekunder $\Phi RS/ST/TR$	ON
Zona 1 Fasa-Fasa (Permanen)	Injeksi Sekunder $\Phi RS/ST/TR$ (pada saat reclaim time)	ON
Zona 1 3 Fasa	Injeksi Sekunder $\Phi R-S-T$	ON
Zona 1 Fasa-Netral	Injeksi Sekunder $\Phi R/ \Phi S/ \Phi T$	OFF
Zona 1 Fasa-Fasa	Injeksi Sekunder $\Phi R-S/S-T/T-R$	OFF

Setiap relai proteksi yang bekerja mentriapkan circuit breaker harus dilengkapi dengan alarm dan annunciator. Alarm dibunyikan untuk menginformasikan kepada harjargdi bahwa circuit breaker trip, sedangkan annunciator berfungsi untuk menginformasikan relai yang bekerja.

Uji trip dan fungsi Auto Recloser Relay dilakukan untuk memastikan rangkaian tripping dari relai sampai dengan circuit breaker terhubung dengan



benar. Uji trip dilakukan untuk Proteksi Utama maupun Proteksi Cadangan. Uji fungsi Auto Recloser Relay hanya dilakukan untuk proteksi yang menerapkan sistem Auto Reclose.

Uji trip dan fungsi Auto Reclose circuit breaker adalah pengujian dengan menggunakan alat injeksi sekunder sampai memberikan sinyal trip atau reclose ke circuit breaker untuk buka atau tutup (open atau close). Pengujian ini dapat berupa perintah trip circuit breaker (buka) maupun perintah reclose.

#### 2.4 Setting Auto Reclose<sup>5</sup>

Auto recloser adalah suatu peralatan kontrol yang merupakan bagian dari sistem proteksi yang berfungsi memberikan perintah PMT untuk tutup kembali (*reclose*) setelah relai proteksi penghantar (*distance*) memberikan perintah buka (*tripping*) pada PMT akibat gangguan temporer yang terjadi pada saluran transmisi.

Pada saluran udara tegangan tinggi dan ekstra tinggi sebagian besar gangguan bersifat temporer, dimana gangguan tersebut akan hilang (*clear*) setelah pembukaan PMT di kedua sisi, sehingga untuk mempertahankan kesinambungan penyaluran daya dan mempertahankan stabilitas sistem, maka penormalan gangguan setelah PMT di kedua sisi membuka dapat segera dilakukan dengan mengoperasikan Penutup Balik Otomatis (Auto Reclose).

Pengoperasian auto-recloser diharapkan dapat meningkatkan availability (ketersediaan) SUTT / SUTET, hal ini berarti peluang (lama dan frekuensi) konsumen terjadi padam dapat dikurangi. Pada kedua proteksi utama, fungsi penutup balik otomatis harus diaktifkan dengan menggunakan setelan yang sama.

1. **Pola A/R Berdasarkan Pemutusan Fasa (Pole Tripping)**
  - SPAR (single pole autoreclose) dengan inisiate gangguan 1-fasa tanah.
  - TPAR ( three pole autoreclose) dengan inisiate gangguan fasa- fasa
2. **Pola A/R Berdasarkan Waktu Kerja**
  - Umumnya A/R cepat (high speed autoreclse) , dipakai

<sup>5</sup> PT. PLN (Persero) PUSAT PENDIDIKAN DAN PELATIHAN. *Perhitungan Setting Relai Autoreclose dan Relai Sinkro Cek*. Hal 131



1. SPAR cepat dengan inisiate gangguan 1-fasa tanah
2. TPAR cepat dengan inisiate gangguan 1-fasa tanah dan atau fasa-fasa
  - A/R lambat (low speed autoreclse), dipakai  
TPAR lambat dengan inisiate gangguan 1-fasa tanah dan atau fasa-fasa. Pengoperasian TPAR lambat harus dikontrol oleh relai synchro check atau relai lain (seperti rele daya) yang dapat berfungsi untuk memastikan bahwa kondisi sinkron pada PMT yang akan reclose masih terpenuhi.
3. **Pola A/R Berdasarkan Jumlah Penutup Balik**
  - Penutupan balik satu kali (single shot autoreclose)
  - Penutupan balik beberapa kali (multiple shot autoreclose)

#### 2.4.1 Waktu Penutup Balik (*Dead Time*)

Waktu penutupan balik (dead time) adalah waktu tunda fungsi penutup balik untuk memberikan perintah penutupan kembali (*reclosing*) pada PMT sejak rele proteksi memberikan perintah pemutusan gangguan pada PMT, Lamanya setelan dead time dipengaruhi oleh :

1. Minimal oleh waktu pemutusan busur api dan deionisasi udara.
2. Maksimal oleh kestabilan sistem.

Selain itu dead time juga dipengaruhi oleh pola auto reclose yang dipergunakan. Sebagai referensi waktu pemutusan busur api minimum dapat diperkirakan dengan rumus sebagai berikut :

$$T_{min} = 10.5 + V/34.5 \text{ cycles (Ref, Power System Protection, P.M Anderson)}$$

**Tabel 2.6** Setting *Dead Time* Auto Reclose

Tegangan Sistem (kV)	Waktu De-ionisasi (detik)
66	0.25
150	0.30
275	0.37
500	0.50

Berdasarkan pertimbangan pertimbangan diatas maka batasan pemilihan setting waktu tunda (dead time ) adalah sbb :



1. Pola SPAR harus lebih kecil dari CB Pole Discrepancy dan GFR, maka untuk SPAR paling cepat **0.8-1.0 detik**.
2. Pola TPAR cepat (high speed) dipilih **1.0-2.0 detik**
3. Pola TPAR lambat (low speed) dipilih **3.0-10 detik**.
4. Setting waktu (Dead Time) untuk pola TPAR harus dibedakan di sisi source dan di sisi GI di depannya dengan selisih waktu minimum **1 detik**, untuk memberikan kepastian bahwa relai sinkron sudah bekerja dengan benar.

#### **2.4.2 Reclaim Time**

Reclaim time adalah rentang waktu tertentu diantara PMT tutup kembali dengan siklus penuh autoreclose reset kembali. Setelan Reclaim time harus diatas waktu kesiapan PMT untuk dapat close pada siklus berikutnya. Gangguan yang terjadi di dalam reclaim time akan dianggap sebagai gangguan yang bersifat permanen.

#### **2.4.3 Manual Close Time**

Adalah rentang waktu tunda tertentu diantara penutupan PMT secara manual oleh operator untuk mem-blok rangkaian starting autoreclose dari relai utama (distance relay). Selama rentang waktu tersebut A/R tidak aktif (di-blok).