

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Relai Proteksi

Relai proteksi atau relai pengaman adalah susunan peralatan yang berfungsi untuk mendeteksi atau merasakan adanya gangguan atau mulai merasakan adanya ketidak normalan pada peralatan atau bagian sistem tenaga listrik. Relai proteksi dapat mendeteksi atau merasakan adanya gangguan pada peralatan yang diamankan dengan mengukur atau membandingkan besaran-besaran yang diterimanya, misalnya arus, tegangan, daya, sudut fasa, frekuensi, impedansi dan sebagainya dengan besaran yang telah ditentukan.

Relai secara otomatis membuka Pemutus Tenaga (PMT) atau *Circuit Breaker* (CB) untuk memisahkan peralatan atau bagian dari sistem yang terganggu dan memberi isyarat berupa lampu atau alarm (bel) yang menandakan sistem telah terjadi gangguan.

2.1.1. Fungsi Relai Proteksi

Dari uraian di atas maka relai proteksi pada sistem tenaga listrik berfungsi untuk :

- a. Merasakan, mengukur dan menentukan bagian sistem yang terganggu serta memisahkan secepatnya sehingga sistem lainnya tidak terganggu dan dapat beroperasi secara normal.
- b. Mengurangi kerusakan yang lebih parah dari peralatan atau bagian sistem yang terganggu.
- c. Mengurangi pengaruh gangguan terhadap bagian sistem lain yang tidak terganggu di dalam sistem tersebut serta mencegah meluasnya gangguan.
- d. Memperkecil bahaya bagi manusia.

Sistem pengamanan yang baik harus mampu :

- a. Melakukan koordinasi dengan sistem pengamanan yang lain.
- b. Mengamankan peralatan dari kekuasaan yang lebih luas akibat gangguan.
- c. Membatasi kemungkinan terjadinya kecelakaan.
- d. Secepatnya membebaskan pemadaman karena gangguan.
- e. Membatasi daerah pemadaman akibat gangguan.
- f. Mengurangi frekuensi pemutusan permanen karena gangguan.

2.1.2. Syarat – Syarat Relai Proteksi

Relai proteksi dirancang untuk dapat merasakan atau mengukur adanya gangguan atau mulai merasakan adanya ketidak normalan pada peralatan atau bagian sistem tenaga listrik. Maka dari itu relai proteksi harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :

a. Dapat diandalkan (*Reliable*)

Dalam keadaan normal (tidak ada gangguan) relai tidak boleh bekerja. Tetapi bila suatu saat terjadi gangguan yang mengharuskan relai bekerja, maka relai tidak boleh gagal bekerja untuk mengatasi gangguan tersebut. Disamping itu relai tidak boleh salah bekerja, sehingga menimbulkan pemadaman yang tidak seharusnya ataupun menyulitkan analisa gangguan yang terjadi. Relai pengamanan diharapkan mempunyai jangka waktu pemakaian yang lama.

b. *Selektif*

Relai bertugas mengamankan peralatan atau bagian sistem dalam daerah pengamanannya. Dengan kata lain pengamanan dinyatakan selektif bila relai dan PMT yang bekerja hanyalah pada daerah yang terganggu saja.

c. Waktu kerja relai cepat (*Responsif*)

Relai pengamanan harus dapat bekerja dengan cepat segera setelah merasakan adanya gangguan pada sistem guna mengurangi kerusakan yang lebih parah dari peralatan atau bagian sistem yang terganggu.

d. Peka (*Sensitif*)

Relai harus dapat bekerja dengan kepekaan yang tinggi, artinya harus cukup sensitif terhadap gangguan didaerahnya meskipun gangguan tersebut *minimum*.

e. Ekonomis dan sederhana

Penggunaan relai pengaman harus dipertimbangkan sisi ekonomisnya tanpa mempengaruhi fungsi relai tersebut.

2.2. Jenis – jenis Relai Proteksi

a. Jenis-jenis Relai berdasarkan prinsip kerjanya :

- Relai elektromagnetis

Relai elektromagnetis atau yang disebut dengan *electromechanical relai*. Relai ini menghubungkan rangkaian beban ON dan OFF dengan pemberian energi elektromagnetis, yang membuka dan menutup kontak pada rangkaian listrik maupun elektronis. Relai ini dapat digunakan untuk mengontrol rangkaian beban tegangan tinggi dengan control tegangan rendah.

- Relai Termis

Sesuai dengan namanya relai ini menggunakan panas sebagai pembatas arus, khususnya pada motor. Relai ini biasanya disebut *Thermis Over load Relai*. Cara kerja relai ini adalah dengan mengkonversi arus yang mengalir menjadi panas untuk mempengaruhi bimetal. Bimetal akan menggerakkan tuas untuk menghentikan aliran listrik pada motor melalui suatu control motor starter. Pengaturan dilakukan dengan mengatur besaran arus pada dial di alat tersebut.

- Relai Elektronik

Mekanisme relai elektronik adalah bekerja karena adanya medan magnet yang digunakan untuk menggerakkan saklar. Saat kumparan diberikan tegangan sebesar tegangan kerja relai maka akan timbul medan magnet pada kumparan karena adanya arus yang mengalir pada lilitan kawat. Kumparan yang bersifat sebagai elektromagnet ini kemudian akan menarik saklar dari kontak NC (*Normally Close*) ke kontak NO (*Normally Open*). Jika tegangan – tegangan pada kumparan dimatikan maka medan magnet pada kumparan akan hilang, sehingga pegas akan menarik saklar ke kontak NC (*Normally Close*).

b. Jenis-jenis Relai berdasarkan konstruksinya :

- Tipe angker tarikan
- Tipe batang seimbang
- Tipe cakram induksi
- Tipe kumparan bergerak

c. Jenis-jenis Relai berdasarkan besaran yang diatur :

- Relai Tegangan adalah relai yang bekerja berdasarkan pengaturan tegangan yang ada pada sistem.
- Relai Arus adalah relai yang bekerja berdasarkan pengaturan arus yang akan bekerja pada sistem.
- Relai Impedansi adalah relai yang bekerja berdasarkan batasan impedansi pada sistem.
- Relai Frekuensi adalah relai yang bekerja berdasarkan pengaturan frekuensi yang telah ditentukan.

d. Jenis-jenis Relai berdasarkan cara kerja kontrol elemen :

- *Direct acting* : Bagian elemen kontrol yang bekerja langsung memutuskan aliran.

- *Indirect acting* : Bagian kontrol elemen hanya digunakan untuk menutup kontak suatu peralatan lain yang digunakan untuk memutus rangkaian.

2.3. Relai Arus Lebih (OCR)

Relai arus lebih adalah suatu relai yang bekerjanya berdasarkan kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengamanan tertentu dan dalam jangka waktu tertentu, sehingga relai ini dapat dipakai sebagai pola pengaman arus lebih. Relai ini pada dasarnya mengamankan adanya arus lebih yang disebabkan oleh gangguan hubung singkat atau beban lebih. Relai arus lebih akan bekerja bila besarnya arus input melebihi suatu harga tertentu (arus kerja) yang dapat diatur dan dinyatakan menurut kumparan sekunder dari trafo arus. Relai arus lebih akan memberi isyarat kepada PMT (Pemutus Tenaga) bila terjadi gangguan hubung singkat untuk membuka rangkaian sehingga kerusakan alat akibat gangguan dapat dihindari.

Elemen dasar dari proteksi arus lebih adalah relai arus. Proteksi arus lebih meliputi proteksi terhadap gangguan hubung singkat yang dapat berupa gangguan hubung singkat fasa-fasa, satu fasa ke tanah serta hubung singkat antar fasa. Proteksi terhadap hubung singkat antar fasa dikenal sebagai proteksi arus lebih dan relai yang digunakan disebut relai arus lebih (*over current relai*). Jika arus gangguan mengalir melalui tanah, gangguan ini disebut gangguan hubung singkat ke tanah dan relai yang digunakan disebut relai hubung tanah (*ground fault relai*).

Pada proteksi transformator daya, relai arus lebih digunakan sebagai tambahan bagi relai differensial untuk memberikan tanggapan terhadap gangguan luar. Relai arus lebih yang digunakan adalah relai arus lebih tanpa perlambatan waktu, relai arus lebih dengan karakteristik waktu yang berbanding terbalik dengan besar arus dan relai arus lebih dengan komponen arah.

Pengamanan dengan menggunakan relai arus lebih mempunyai beberapa keuntungan yaitu :

- a. Dapat mengamankan arus lebih yang terjadi karena hubung singkat atau beban lebih.
- b. Dapat berfungsi sebagai pengaman utama dan juga merupakan pengaman cadangan.
- c. Harganya relatif murah.

Adapun beberapa kerugian atau kekurangan pengamanan dengan menggunakan relai arus lebih adalah :

- a. Untuk jaringan dengan sirkuit ganda tanpa dilengkapi dengan relai arah tidak dapat selektif.
- b. Untuk jaringan yang interkoneksi tidak dapat sebagai pengaman utama, karena sukar untuk dapat selektif bila tidak dilengkapi dengan relai arah.

Dengan demikian pemakaian relai arus lebih pada sistem tenaga listrik umumnya digunakan pada :

- a. Jaringan tegangan menengah atau saluran transmisi.
- b. Jaringan sub-transmisi radial.
- c. Pengaman untuk motor-motor tegangan menengah yang kecil.
- d. Pengaman cadangan untuk generator, motor yang besar, transformator daya, jaringan transmisi tegangan tinggi.

Bila dilengkapi dengan relai arah dapat digunakan sebagai pengaman saluran transmisi sirkuit ganda dan pengaman gangguan tanah sampai tegangan ekstra tinggi.

2.3.1. Fungsi

Pemakaian relai arus lebih pada sistem tenaga listrik dapat difungsikan sebagai :

1. Pengaman utama.

Relai pengaman sebagai pengaman utama adalah relai yang pertama kali merespon dan bertindak jika terjadi gangguan pada sistem.

2. Pengaman cadangan

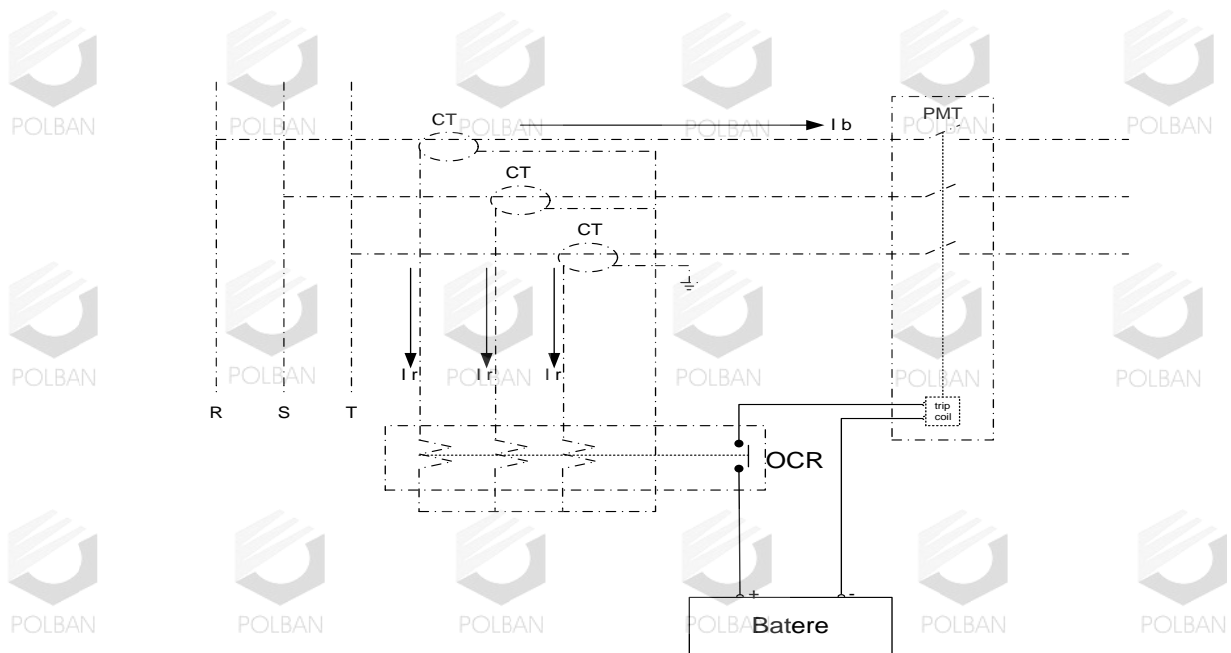
Sedangkan sebagai pengaman cadangan, relai pengaman cadangan baru akan merespon dan bekerja jika relai pengaman utama gagal bekerja.

2.3.2. Cara Kerja

Relai arus lebih adalah suatu relai proteksi yang dikerjakan oleh suatu besaran arus gangguan akibat hubung singkat yang mengalir pada rangkaian kumparan geraknya. Apabila besarnya arus yang dideteksi melebihi batas settingnya, maka akan bekerja, kemudian dalam waktu tertentu akan memberikan perintah trip ke PMT untuk mengeliminir gangguan tersebut.

Prinsip kerja relai arus lebih yang bekerja berdasarkan besaran arus lebih akibat adanya gangguan hubung singkat dan memberikan perintah trip ke PMT sesuai dengan karakteristik waktunya.

Gambar 2.1 merupakan contoh gambar rangkaian relai arus lebih waktu sesaat pada SUTM.



Gambar 2.1 Rangkaian Relai Arus Lebih.

Kondisi normal arus beban (I_b) mengalir pada SUTM dan oleh trafo arus besaran arus ini ditransformasikan ke besaran sekunder (I_r). Arus I_r mengalir pada kumparan relai, tetapi karena arus ini masih lebih kecil dari pada suatu harga yang ditetapkan (setting), maka relai tidak bekerja.

Bila terjadi gangguan hubung singkat, arus I_b akan naik dan menyebabkan arus I_r naik pula. Apabila arus I_r naik melebihi suatu harga yang telah ditetapkan (diatas setting) maka relai akan bekerja dan memberikan perintah trip coil untuk bekerja dan membuka PMT, sehingga SUTM yang terganggu dipisahkan dari jaringan.

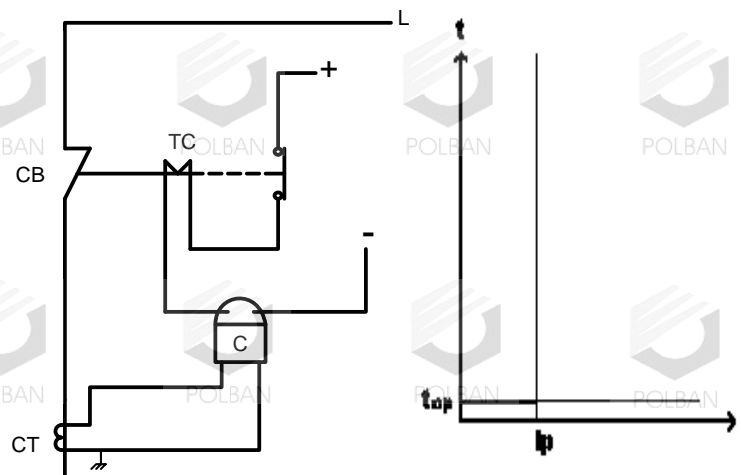
2.4. Karakteristik Relai Proteksi

Waktu pemutusan gangguan merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam menentukan suatu skema proteksi. Hal ini dikarenakan suatu peralatan proteksi harus dikoordinasikan waktunya dengan peralatan proteksi yang lain agar hanya peralatan proteksi yang paling dekat dengan gangguan saja yang bekerja. Waktu pemutusan suatu peralatan proteksi berkaitan erat dengan karakteristik dari peralatan proteksi tersebut.

Karakteristik kerja relai proteksi didasarkan pada waktu kerjanya, yaitu:

1. Relai arus lebih waktu seketika (*moment-instantaneous*)

Relai ini akan memberi perintah kepada Pemutus Tenaga (PMT) pada saat terjadi gangguan bila arus gangguan besarnya melampaui penyetelannya, dan jangka waktu kerja relai mulai pick-up sampai kerja relai sangat singkat tanpa penundaan waktu yaitu 20 – 60 ms.



Gambar 2.2 Relai Arus Lebih dengan Karakteristik Waktu Kerja Seketika

Keterangan Gambar 2.2 :

CB : *circuit breaker* / PMT

C : relai arus lebih

CT : *current transformer*

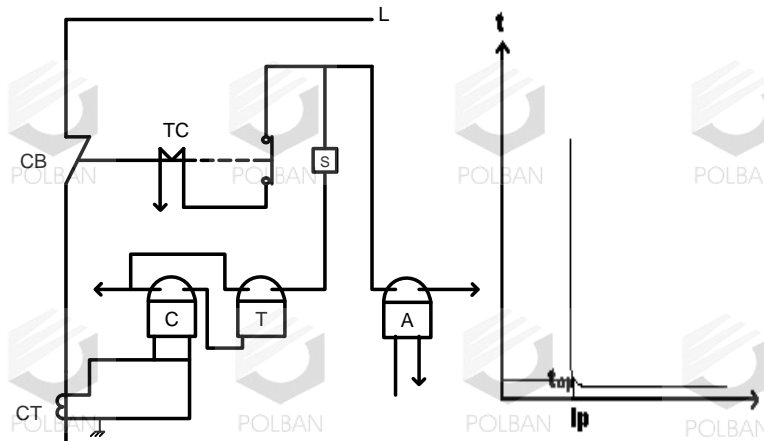
t_{op} : waktu operasi

TC : *tripping coil*

I_p : arus *setting* relai

2. Relai arus lebih waktu tertentu (*definite time*)

Relai ini akan memberi perintah kepada Pemutus Tenaga (PMT) pada saat terjadi gangguan bila besarnya arus gangguan melampaui penyetelannya, dan jangka waktu kerja relai mulai *pick-up* sampai kerja relai waktunya ditunda dengan harga tertentu tidak dipengaruhi oleh besarnya arus gangguan.



Gambar 2.3 Relai Arus Lebih dengan Karakteristik Waktu Kerja Tertentu

Keterangan Gambar 2.3 :

CB : *circuit breaker* / PMT

CT : *current transformer*

TC : *tripping coil*

C : relai arus lebih

S : relai sinyal

t_{op} : waktu operasi

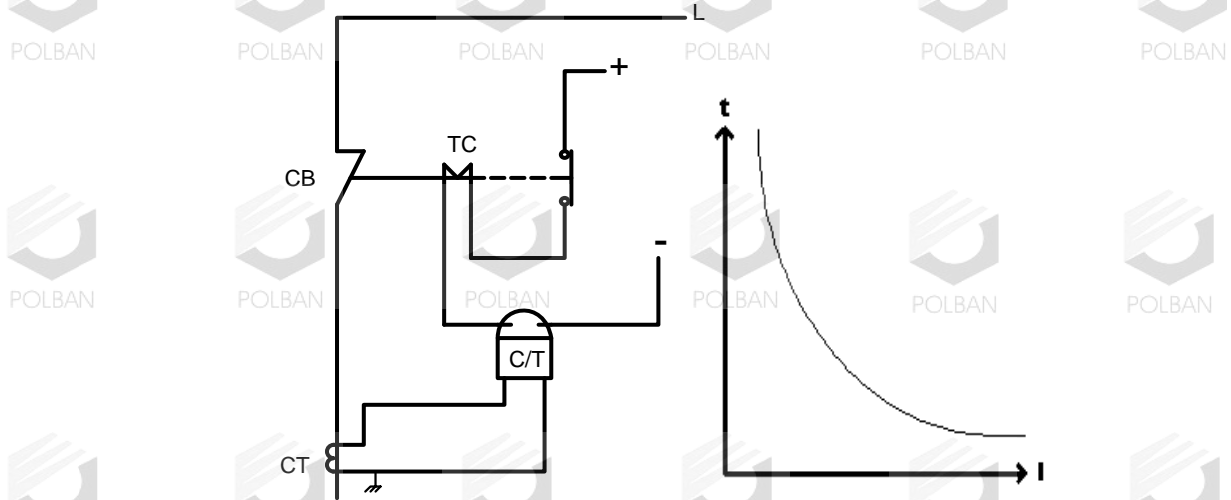
I_p : arus *setting* (arus kerja)

A : relai bantu

T : relai waktu tunda

3. Relai arus lebih berbanding terbalik (*inverse*)

Relai ini akan memberi perintah kepada Pemutus Tenaga (PMT) pada saat terjadi gangguan bila besarnya arus gangguan melampaui penyetelannya, dan jangka waktu kerja relai mulai pick-up sampai kerja relai waktu tundanya berbanding terbalik dengan besarnya arus gangguan. Terdapat 4 macam relai *inverse* yaitu *Standard Inverse Time* (SIT), *Very Inverse Time* (VIT), *Extremelly Inverse Time* (EIT), dan *Long Time Inverse* (LTI).



Gambar 2.4 Relai Arus Lebih dengan Karakteristik Waktu Kerja Terbalik

Keterangan Gambar 2.4 :

CB : *circuit breaker* / PMT

CT : *current transformer*

TC : *tripping coil*

C : relai arus lebih

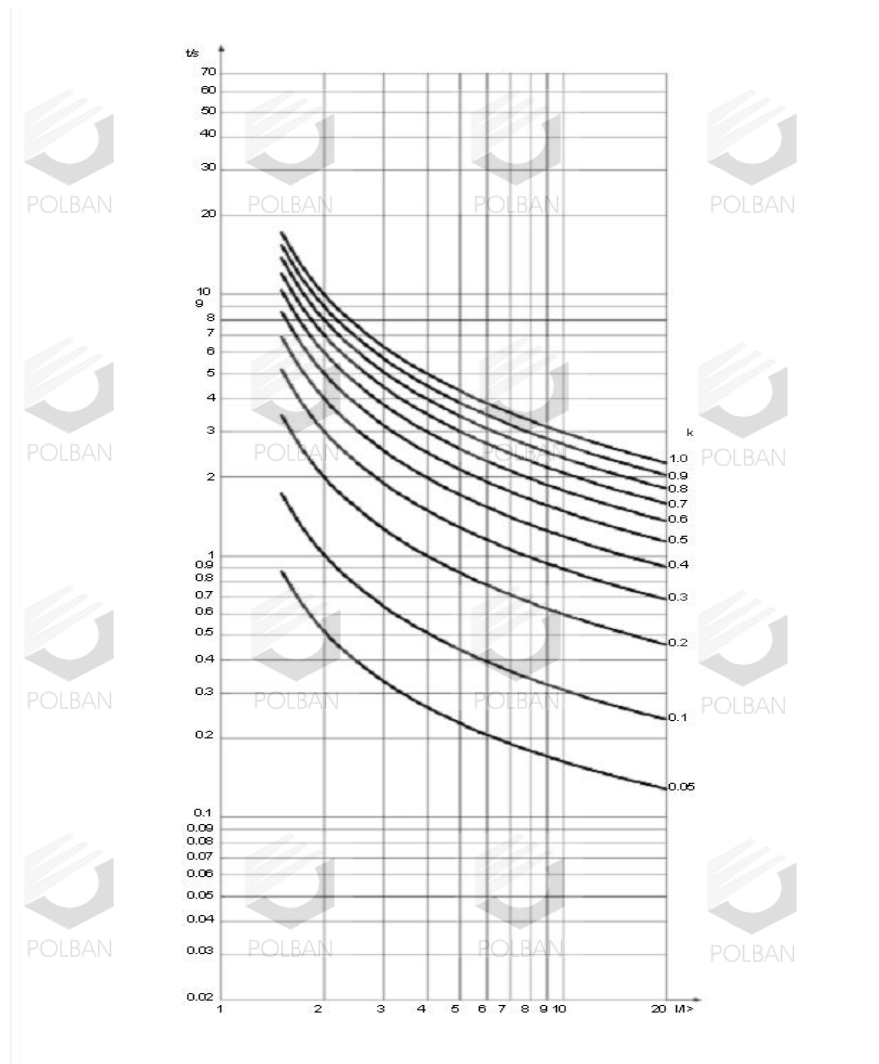
T : relai waktu tunda

Macam – macam karakteristik Relai *Inverse* :

- **Standard Inverse Time (SIT)**

Yaitu karakteristik yang menunjukkan perbandingan antara besar arus dengan waktu kerja relai yang standar, ditulis dengan rumus :

$$t = \frac{0,14}{I^{0,02} - 1} \text{TMS}$$

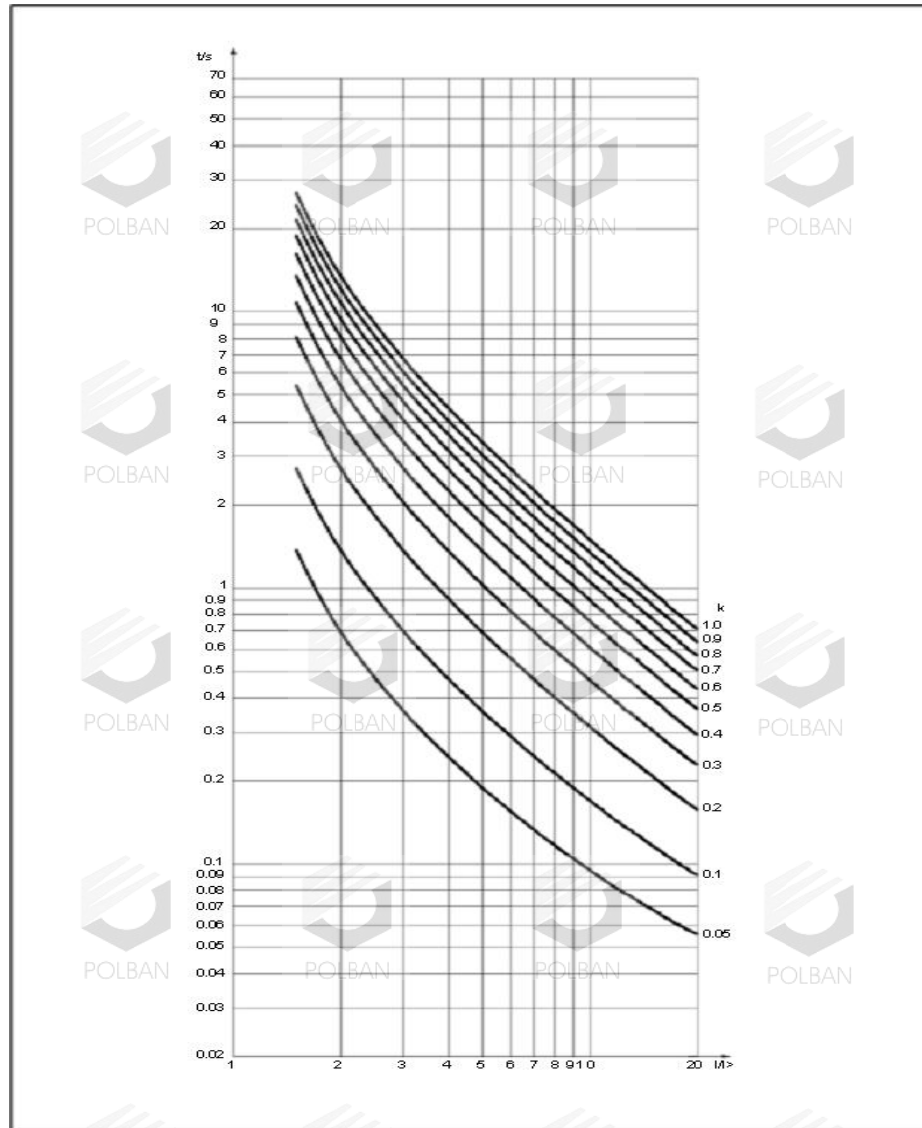


Gambar 2.5 Kurva Karakteristik Waktu Standar Normal *Inverse*

- **Very Inverse Time (VIT)**

Yaitu karakteristik yang menunjukkan perbandingan antara besar arus dengan waktu kerja relai yang lebih cepat/tinggi dari standar *inverse*, ditulis dengan rumus :

$$t = \frac{13,5}{I - 1} \text{ TMS}$$

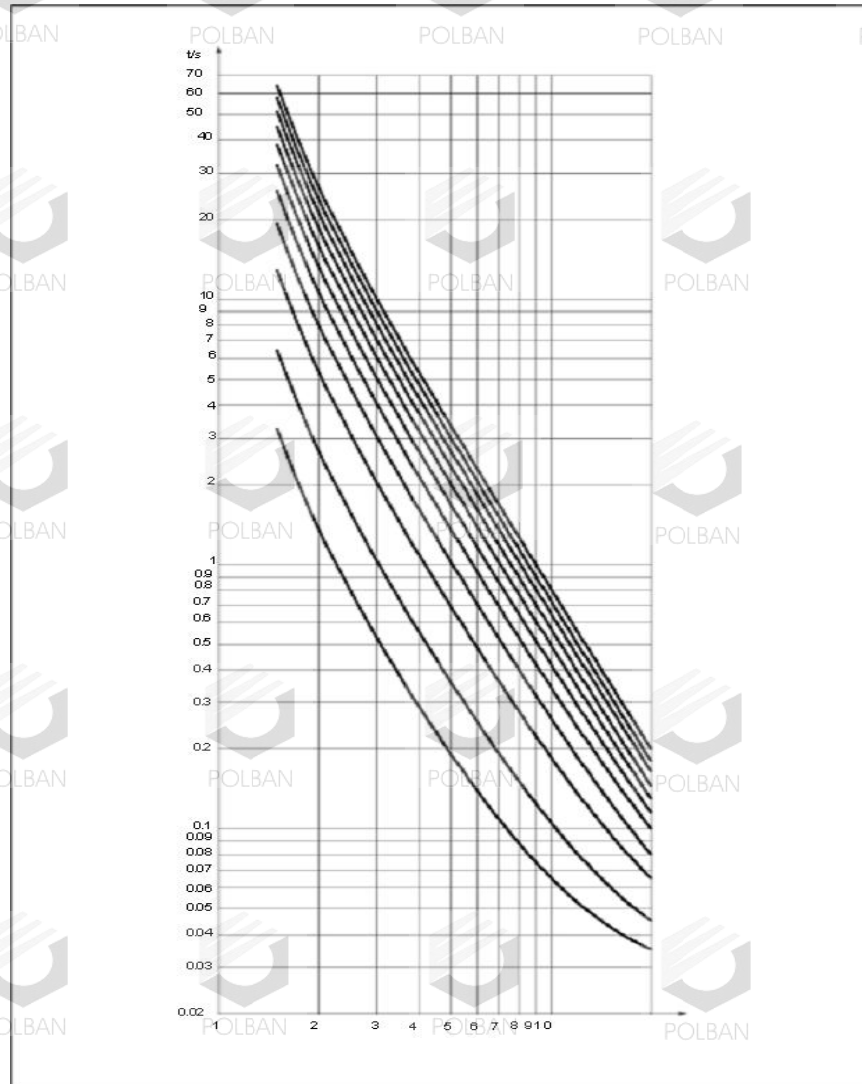


Gambar 2.6 Kurva Karakteristik Waktu Very Inverse

- **Extremely Inverse Time (EIT)**

Yaitu karakteristik yang menunjukkan perbandingan antara besar arus dengan waktu kerja relai yang lebih cepat/tinggi dari *standard* dan *very inverse*,

inverse, ditulis dengan rumus : $t = \frac{80}{I^2-1} \text{ TMS}$

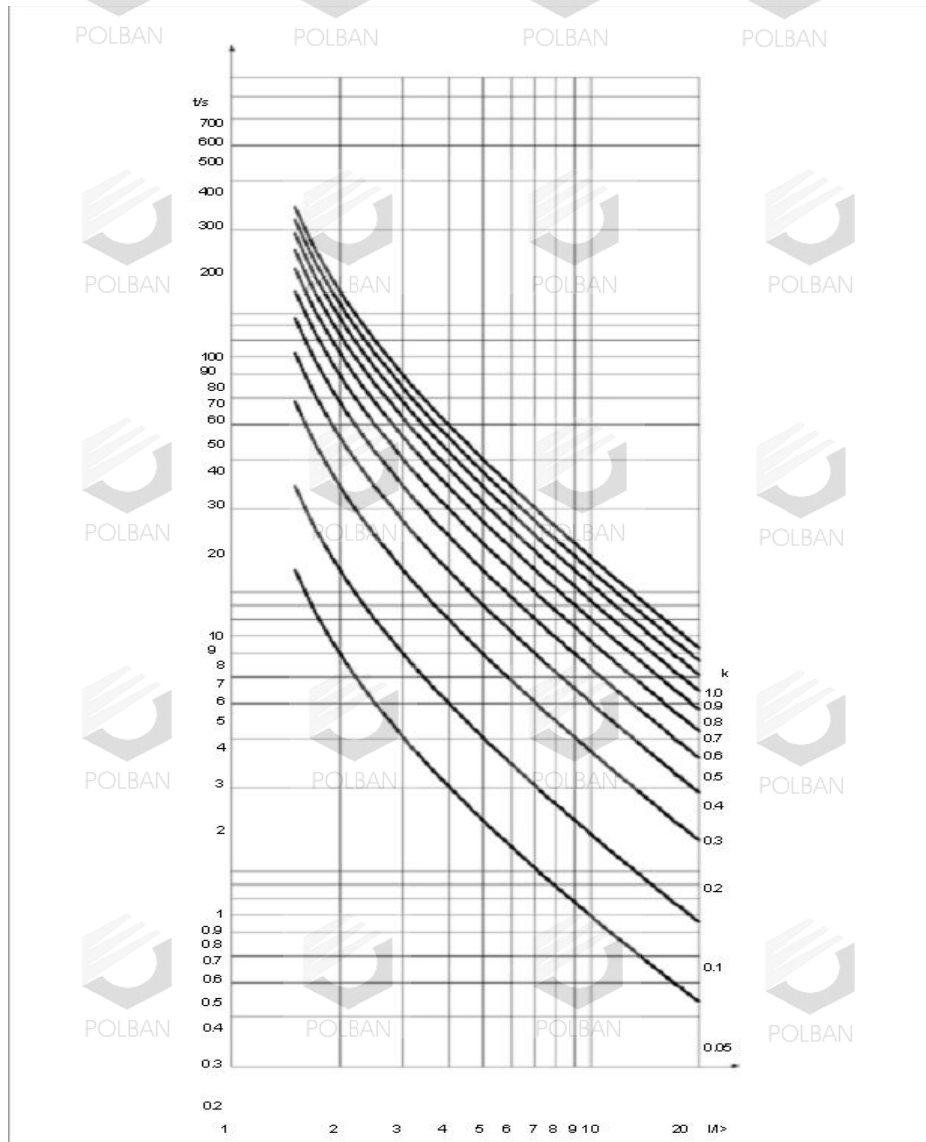


Gambar 2.7 Kurva Karakteristik Waktu Extremely Inverse

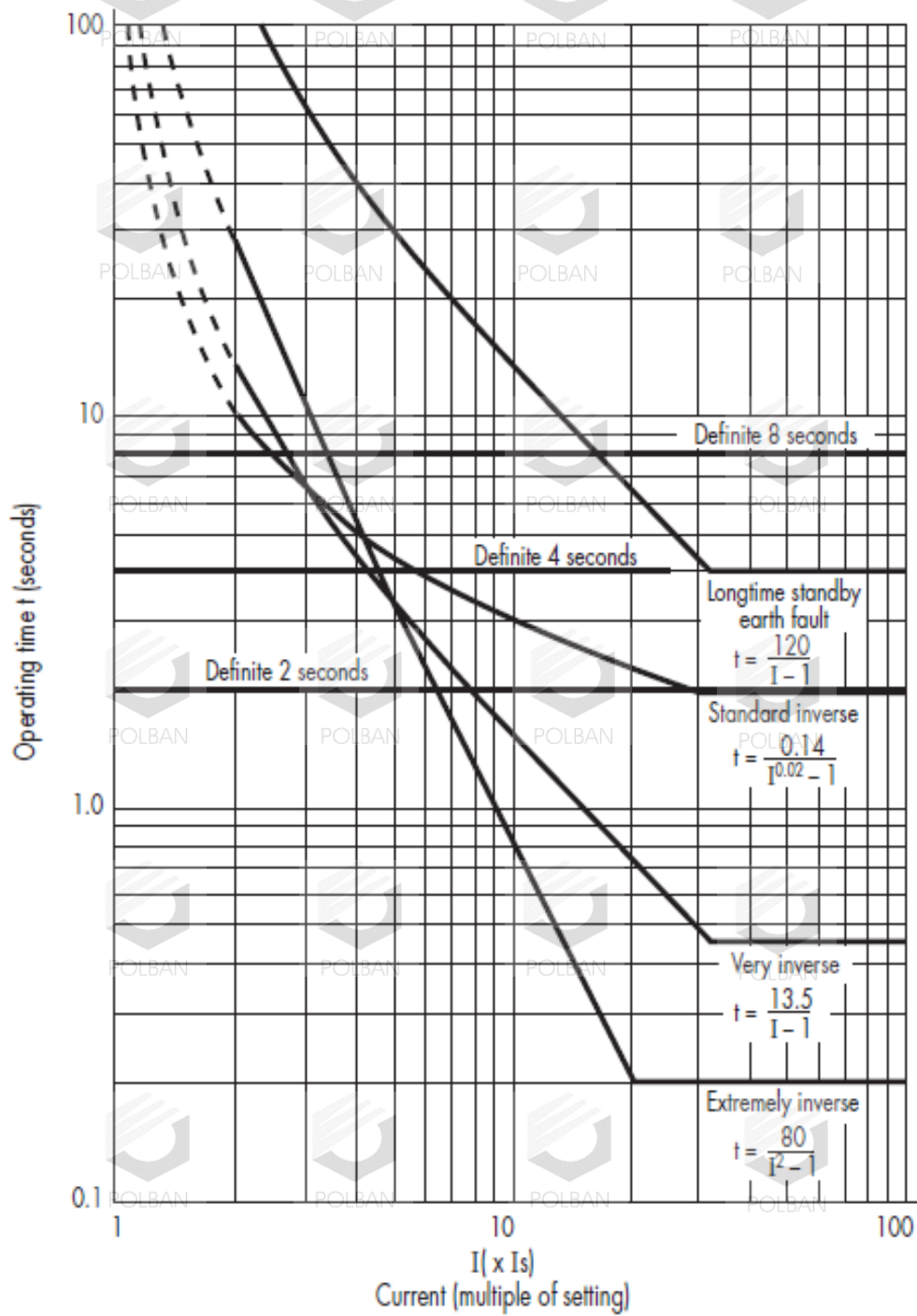
- **Long Time Inverse (LTI)**

Yaitu karakteristik yang menunjukkan perbandingan antara besar arus dengan waktu kerja relai yang lebih lambat/rendah diantara karakteristik

yang lain, ditulis dengan rumus : $t = \frac{120}{I-1} \text{TMS}$



Gambar 2.8 Kurva Karakteristik Waktu *Long Time Inverse*



Gambar 2.9 Kurva Karakteristik *Inverse Time* IEC

2.5. Relai SEPAM T20

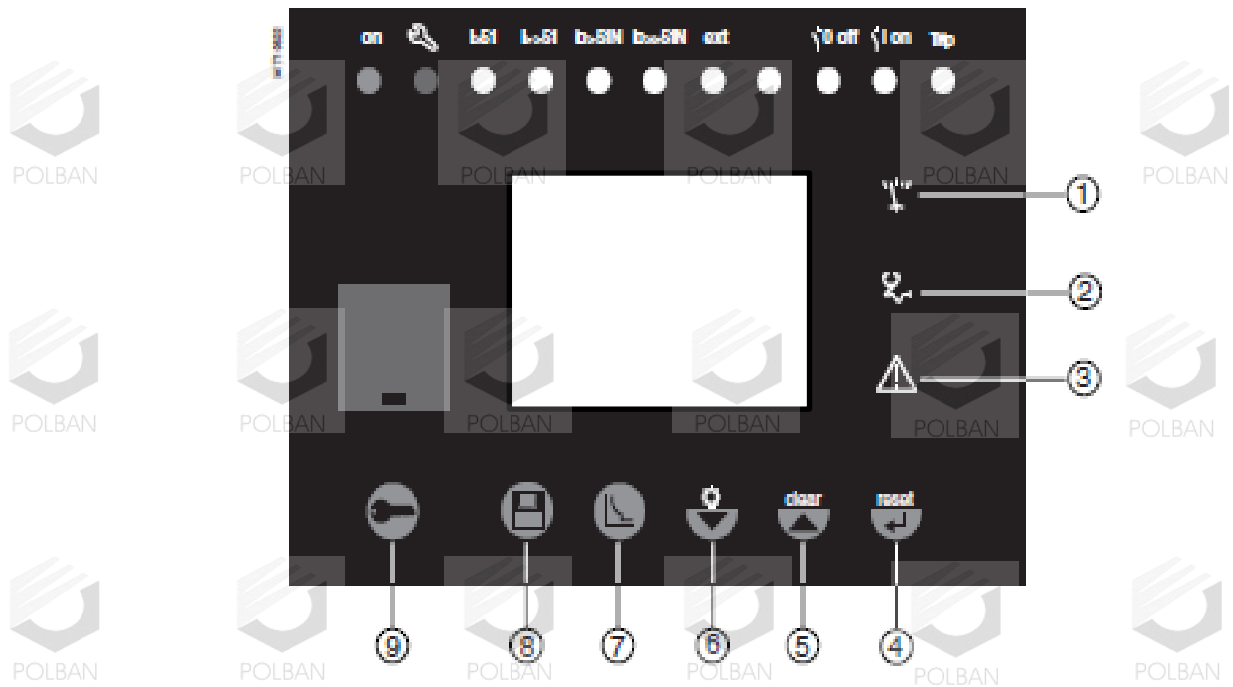
Spesifikasi Relai Sepam T20 :

Sumber : 220 Volt AC

I0 > *Time Delay*

I0 >> *Time Instantaneous*

2.5.1. Tampilan Relai SEPAM T20

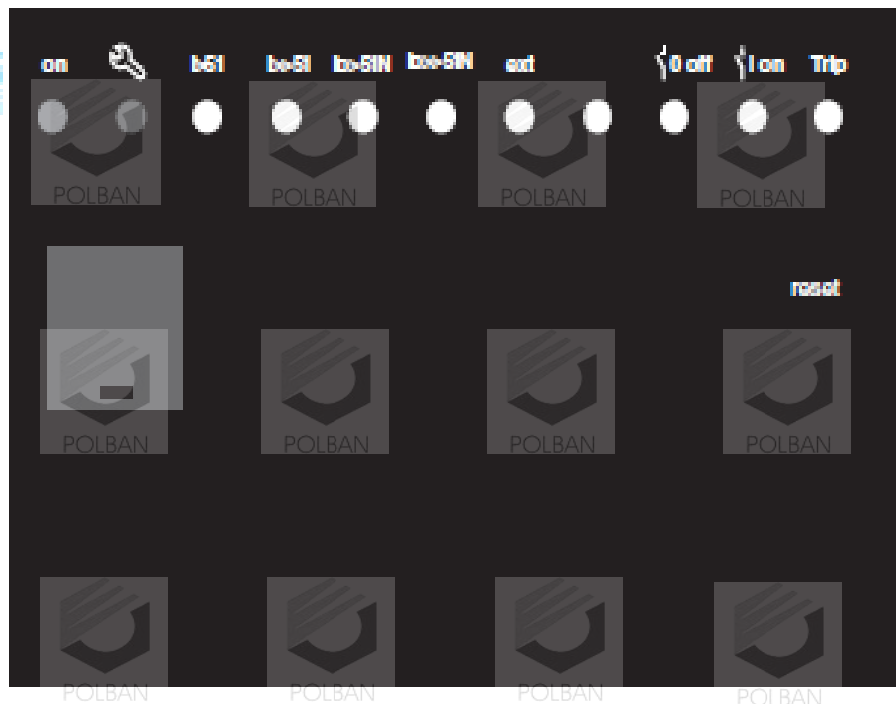


Gambar 2.10 Tampilan Relai SEPAM T20

Keterangan gambar :




1. Tombol tampilan pengukuran
2. Tombol tampilan *switchgear* dan *network diagnosis data*
3. Tombol tampilan alarm
4. Tombol reset
5. Tombol *Clear*
6. Tombol lampu penerangan relai
7. Tombol seting proteksi
8. Tombol seting parameter relai sepam T20
9. Tombol *Password*

2.5.2. Lampu Indikator Relai SEPAM T20



Gambar 2.11 Indikator Lampu Relai Sepam T20

Keterangan gambar :

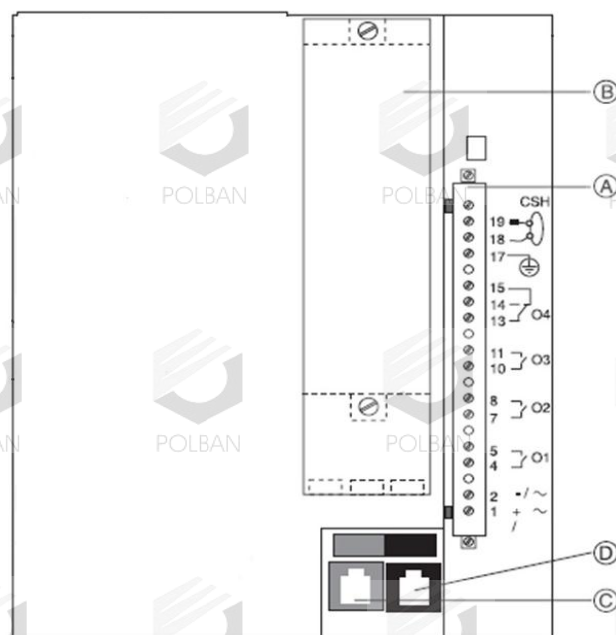
1. On : tanda bahwa relai sudah menyala/on
2.  : tanda bahwa relai belum siap digunakan
3. I>51 : Tanda lampu OCR dengan menggunakan seting *time delay*
4. I>>51 : Tanda lampu OCR dengan menggunakan seting *instantaneous*
5. I>51N : Tanda lampu GFR dengan menggunakan seting *time delay*
6. I>>51N : Tanda lampu GFR dengan menggunakan seting *instantaneous*
7. EXT : Tanda lampu saat keluar/mematikan Relai
8.  : Tanda lampu pada saat relai trip
9.  : Tanda lampu pada saat relai tidak trip

2.5.3. Terminal – terminal Relai SEPAM T20

Di dalam relai Sepam T20 ini mempunyai 1 terminal *input*, 1 terminal *output*, dan 2 buah terminal komunikasi untuk scada. Pada terminal input yang juga digambarkan pada bagian B digunakan untuk memasukan arus dari CT di jaringan, sedangkan terminal *output* yang juga digambarkan pada bagian A digunakan sebagai sumber tegangan Relai ini dan juga untuk *setting* relai tersebut.

Pada bagian A terdapat 15 terminal yang berfungsi berbeda – beda, untuk terminal no 1 dan 2 berfungsi untuk sumber tegangan relai ini. Sedangkan untuk terminal no 7 sampai dengan no 15 digunakan untuk *setting* relai ini, terminal no 17 untuk *grounding* relai dan terminal no 18 dan 19 untuk *zero ct*.

Pada bagian C dan D digunakan untuk komunikasi yang terdapat pada scada sehingga memerlukan peralatan yang lain untuk menunjang komunikasi tersebut.



Gambar 2.12 Terminal Relai Sepam T20