

BAB II

PENGUKURAN DAN PEMBATAAN ENERGI LISTRIK

2.1 Pengukuran Energi Listrik dengan kWh Meter

APP merupakan singkatan dari Alat Pengukuran dan Pembatas, adalah alat yang digunakan untuk keperluan transaksi energi listrik. Pengukuran yang dimaksud ialah menentukan besarnya pemakaian daya dan energi listrik. Alat pengukuran (meter kWh, meter kVARh, meter kVA maksimum, meter arus dan meter tegangan). Pembatasan yang dimaksud ialah untuk menentukan batas pemakaian daya sesuai daya tersambung. Yang termasuk alat pembatas adalah (MCB, MCCB, NFB, Fuse, OCR + PMT). Energi (kWh) adalah sebagai bentuk pemakaian listrik, yang dikeluarkan oleh pusat dan dipakai oleh beban.

Persamaan energi :

$$\text{Beban 1 fasa} = V_{\text{fase}} \cdot I \cdot \cos \phi \cdot \text{pemakaian (jam)}$$

$$\text{Beban 3 fasa} = \sqrt{3} \cdot V_{\text{fase}} \cdot I \cdot \cos \phi \cdot \text{pemakaian (jam)}$$

$$\text{Satuan} = (\text{kilo watt hour}) \text{ kWh}$$

Jadi kWh adalah sebagai patokan energi, bila ditinjau dari pusat listrik sebagai patokan energi yang di keluarkan oleh pusat listrik berhubungan dengan pemakaian bahan bakar. Bila ditinjau dari beban (pelanggan) adalah sebagai patokan untuk mengetahui pemakaian energi (kWh) yang dipergunakannya. Untuk mengetahui energi (kWh) yang dipergunakan oleh beban (pelanggan) atau yang dikeluarkan oleh pusat listrik, dipasang alat yang disebut kWh meter sebagai alat pengukur energi.

Pemasok tenaga listrik (PLN), memasok listrik ke pelanggan dalam bentuk tegangan (V) dan arus (I), dan permintaan listrik oleh pelanggan yang bermacam-macam kebutuhannya, untuk itu dipasang alat pembatas arus sesuai permintaan daya oleh pelanggan disebut alat pembatas. Bila pelanggan berlangganan TR sebagai pembatas mempergunakan miniature circuit breaker (MCB). Bila pelanggan berlangganan TM dan TT sebagai pembatas mempergunakan over load relay.

2.2 Daya Listrik

Dalam pengukuran listrik dibedakan pengertian antara daya dan energi listrik. Daya listrik adalah merupakan hasil perkalian tegangan dan arus yang terjadi pada suatu saat tertentu, sedangkan energi listrik adalah jumlah dari daya listrik pada suatu periode waktu tertentu. Oleh karena itu pengukuran yang dibaca sesaat sedangkan pengukuran energi listrik adalah pengukuran yang harus dikaitkan dengan fungsi waktu, hal ini dapat dibedakan dari satuan-satuan besarnya daya listrik dengan satuan-satuan besarnya energi listrik yang digunakan.

Daya listrik merupakan nilai sesaat dari perkalian tegangan dan arus $V \times I$. Sedangkan energi listrik adalah nilai daya \times waktu.

Daya $P = V \cdot I$ (watt)

Energi $= V \cdot I \cdot \Delta T$ (watt detik)

Energi dalam 1 jam (watt jam) :

$$\sum_{\Delta T=1}^{\Delta T=1 \text{ jam}} V \cdot I \cdot \Delta T$$

Daya diukur dengan watt meter sedangkan energi diukur dengan kWh meter. Prinsip dasar dari alat ukur daya listrik dengan alat ukur energi listrik mempunyai peralatan yang dinamakan “Register” yaitu alat yang setiap saat menghitung jumlah pemakaian energi listrik yang telah digunakan. Hasil dari jumlah pemakaian yang dimaksud selalu dapat dibaca melalui penunjukan angka yang ada pada register tersebut.

2.2.1 Daya Listrik Satu Fasa

Daya - daya listrik pada system bolak – balik dapat dinyatakan dalam persamaan – persamaan berikut :

$$\text{Daya aktif} : E \cdot I \cos \varphi$$

$$\text{Daya reaktif} : E \cdot I \sin \varphi$$

$$\text{Daya semu} : E \cdot I$$

$$\text{Daya sesaat} : P = e \cdot i$$

Dimana :

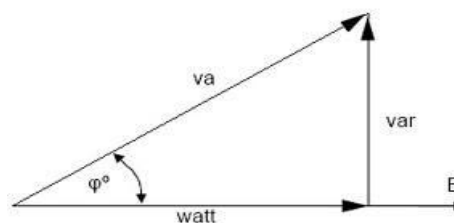
e = tegangan sesaat

i = tegangan sesaat

p = daya sesaat

$$\text{Maka } P = E \max \cdot I \max \sin \varphi$$

Hubungan antara daya aktif dan daya reaktif serta daya semu dapat di gambarkan secara vector, sebagai berikut :

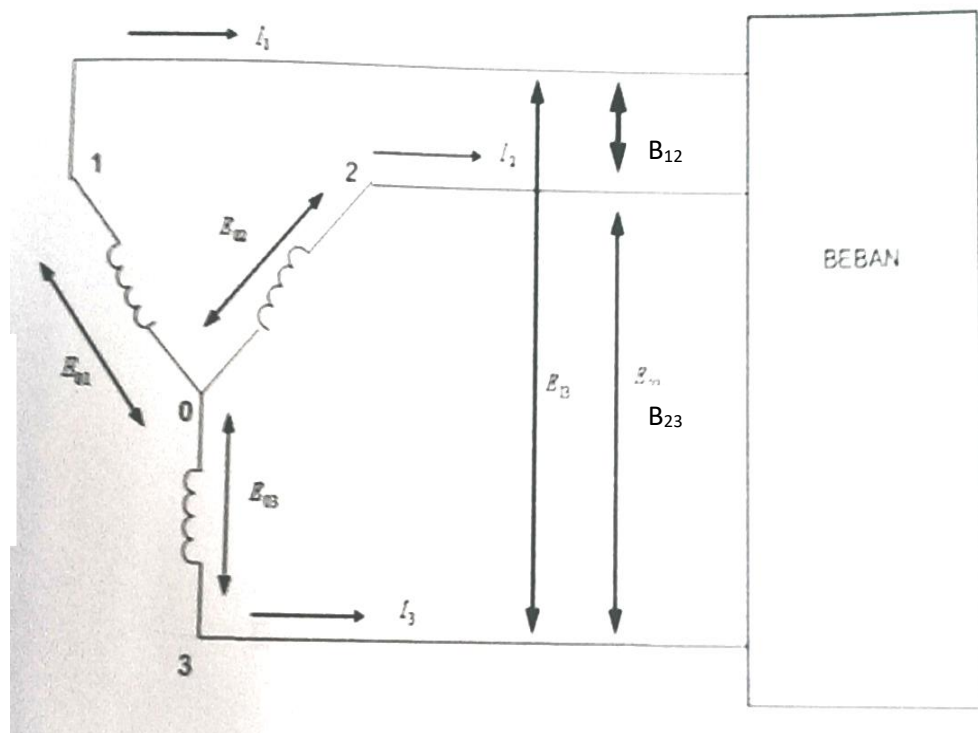


Gambar 2.1 Segitiga daya

2.2.2 Daya Listrik Tiga Fasa

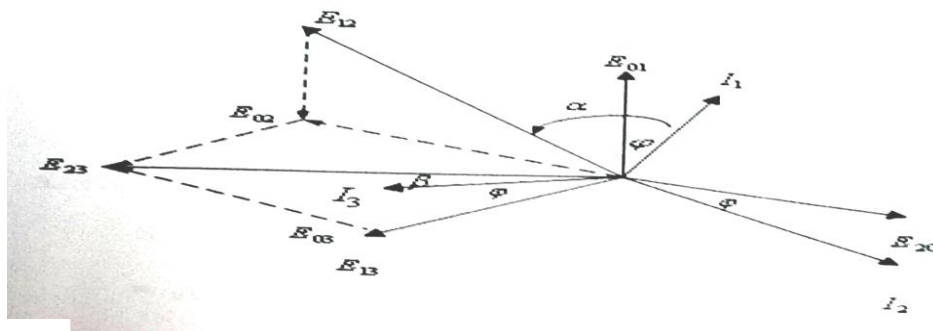
Untuk mendapatkan daya listrik arus bolak – balik tiga fasa dapat diuraikan melalui gambar vector tegangan dan arus dari system tiga fasa tersebut, supaya lebih mudah dan sederhana dalam penguraiannya, maka perlu ditentukan batasan – batasan sebagai berikut :

1. Besar tegangan untuk setiap fasa adalah sama dan seimbang demikian juga untuk masing – masing arus dari setiap fasanya sama dan seimbang.
2. Setiap arus tertinggal terhadap arus fasa lain dalam beda sudut sebesar 120°
3. Untuk gambar liniernya seperti gambar di bawah ini :



Gambar 2.2a Diagram line daya listrik tiga fasa

Untuk vector diagram tegangan dan arusnya dapat di gambarkan sebagai berikut :

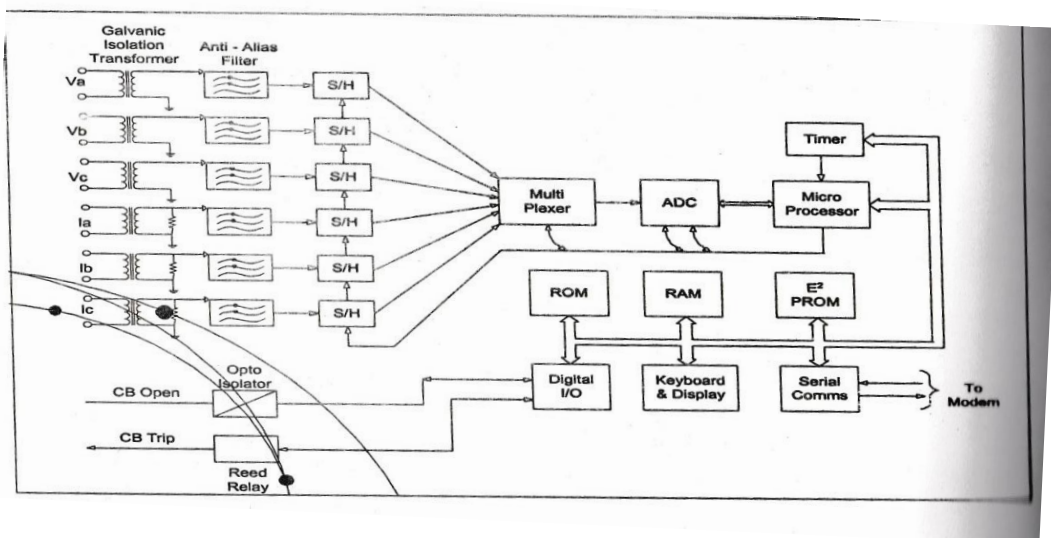


Gambar 2.2b Vektor diagram

2.3 Pengukuran Secara Elektronik

Dibandingkan kWh meter analog, kWh meter elektronik memiliki kelebihan dengan tampilan layar LCD, pembacaan lebih akurat, menggunakan memory untuk menyimpan data pencatat meter, serta perhitungan lainnya. Ada pun kWh elektronik dapat dilihat pada gambar 2.3, yaitu terdiri dari beberapa processor dan display.

Processor diprogram untuk menghitung periode T tertentu, misal untuk 1 bulan ($T=1$ bulan) untuk hasil perhitungan kWh 1 bulan. Perhitungan penjumlahan ini dilakukan dengan cara scanning 6MHz.

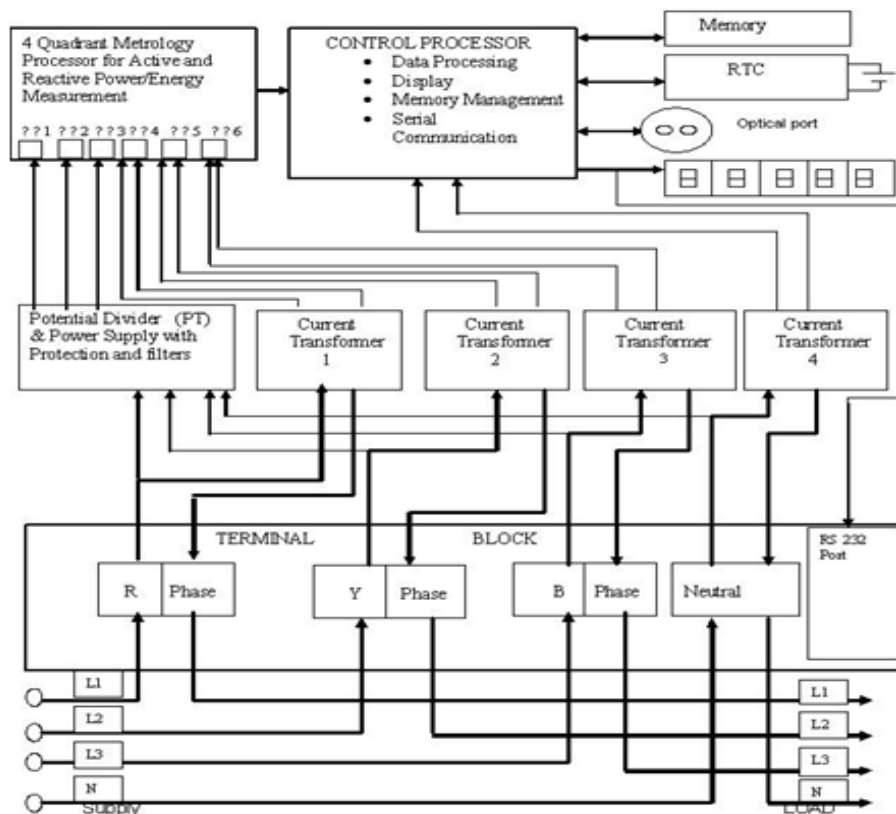


Gambar 2.3 Blok diagram meter elektronik

Fungsi bagian – bagian blok di atas adalah :

- a. Galvanit Transformer berfungsi memisahkan sirkuit daya (power) dengan sirkuit elektronik pemisahan ini diperlukan karena sirkuit elektronik hanya bisa menerima tegangan sekitar 6 volt.
- b. Antialias Filter berfungsi menyaring harmonisa yang terkadang dalam sirkuit daya karena harmonisa ini bisa menimbulkan kesalahan pengukuran.
- c. Simplehebold berfungsi mengambil dan mencatat besaran analog dengan sample waktu scanning tertentu. Periode scanning bisa mencapai 60 mHz makin banyak jumlah sample per detik makin berkualitas yang di dapat.
- d. Multi Plekser berfungsi untuk mengubah pengukuran paralel menjadi pengukuran seri.
- e. ADC berfungsi merubah besaran analog menjadi digital.

Setelah di dapat besaran digital maka besaran digital ini selanjutnya masuk ke dalam processor elektronik. Processor elektronik bisa merupakan bagian dari relay proteksi yang berfungsi mentrip circuit breaker (CB). Proses elektronik bisa juga dari bagian kWh meter. Apabila processor elektronik merupakan dari bagian kWh meter, maka rangkaiannya seperti gambar dibawah ini :



Gambar 2.4 Diagram blok kWh meter elektronik

Processor bisa juga deprogram untuk menghitung besaran lain. Missal kVA maks, kWh LWBP dan kWh WBP. Pemakaian kWh meter elektronik di kembangkan menjadi 2 macam kWh ME :

1. kWh ME Postpaid adalah suatu layanan PLN bagi pelanggan dalam mengelola pemakaian listrik melalui meter elektronik pascabayar.
2. kWh ME Prepaid adalah suatu layanan PLN bagi pelanggan dalam mengelola pemakaian listrik melalui meter elektronik prabayar.

Dengan modem yang di kombinasikan dengan kWh ME postpaid, maka sangat memungkinkan pencatatan meter dilakukan dengan jarak jauh. Pada kWh meter elektronik setelah data di proses maka sesuai program bisa di dapat :

- a. Nilai kWh untuk periode waktu tertentu di waktu beban puncak dan di luar waktu beban puncak.

- b. Nilai kilo watt max pada periode waktu tertentu.
- c. Nilai kVA max untuk periode waktu tertentu.
- d. Nilai kVARh untuk periode waktu tertentu.

kWh elektronik bisa juga dilengkapi dengan kartu prabayar. Kartu prabayar di program untuk jumlah kWh tertentu, melampaui kWh yang di program dalam kartu prabayar meter maka relay akan open. kWh meter elektronik bisa di lengkapi dengan modem untuk telekomunikasi sehingga bisa di lakukan dengan AMR (Automatic Meter Reading) dari jarak jauh.

Beberapa keuntungan PLN dari penggunaan kWh meter pra-bayar :

1. Mendapatkan uang kas lebih awal sebelum listrik di produksi
2. Pengendalian transaksi lebih mudah sehingga mengurangi kemungkinan tagihan yang tidak terbayar dan pencurian listrik.
3. Pengurangan overhead atau biaya yang diperlukan untuk pengecekan konsumsi listrik ke rumah-rumah atau konsumen.
4. Lebih aman dari penyalagunaan, karena memiliki program yang lebih baik.

Sedangkan keuntungan bagi konsumen adalah :

1. Pengendalian penggunaan listrik dapat lebih baik, karena pembayaran yang dilakukan di awal jadi dapat digunakan untuk membatasi konsumsi pemakaian listrik.
2. Perbaikan system pengukuran karena perangkat elektronik yang di gunakan adalah alat dengan ketelitian dan keamanan yang lebih tinggi.
3. Mengurangi kesalahan penagihan yang disebabkan human error.

2.4 Pembatas

Pembatas adalah batas pemakaian daya, sesuai daya tersambung yang mempergunakan alat pembatas yang meliputi untuk sambungan TR mempergunakan MCB (Miniature Circuit Breaker), sambungan TM dan TT mempergunakan OLR (Over Load Relay).

Persamaan untuk menentukan pembatas :

Untuk daya 1 fasa : $I = S/E$ (Amp)

Untuk daya 3 fasa : $I = S/\sqrt{3}.E$ ph-ph (Amp)

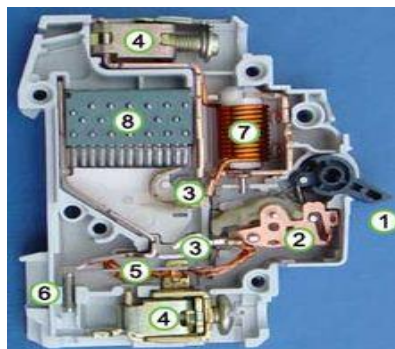
Dimana : S = Daya pelanggan

E = Tegangan fasa-netral

E(ph-ph) = Tegangan antar fasa

2.4.1 MCB (Miniature Circuit Breaker)

MCB adalah pengaman pada system tenaga listrik, yang sering dipergunakan pada tegangan rendah, baik terpasang di Perlengkapan Hubung Bagi (PHB) atau dipergunakan sebagai pembatas yang terpasang pada kotak kWh meter. Prinsip kerja MCB didasarkan pada karakteristik thermal dimana arus besar yang melewati MCB, akan memanaskan bimetallic trip. Penjelasan tentang MCB :



Gambar 2.5 Kontruksi MCB yang terpasang pada PHB

Penjelasan nomor yang berada di MCB pada gambar 2.6 :

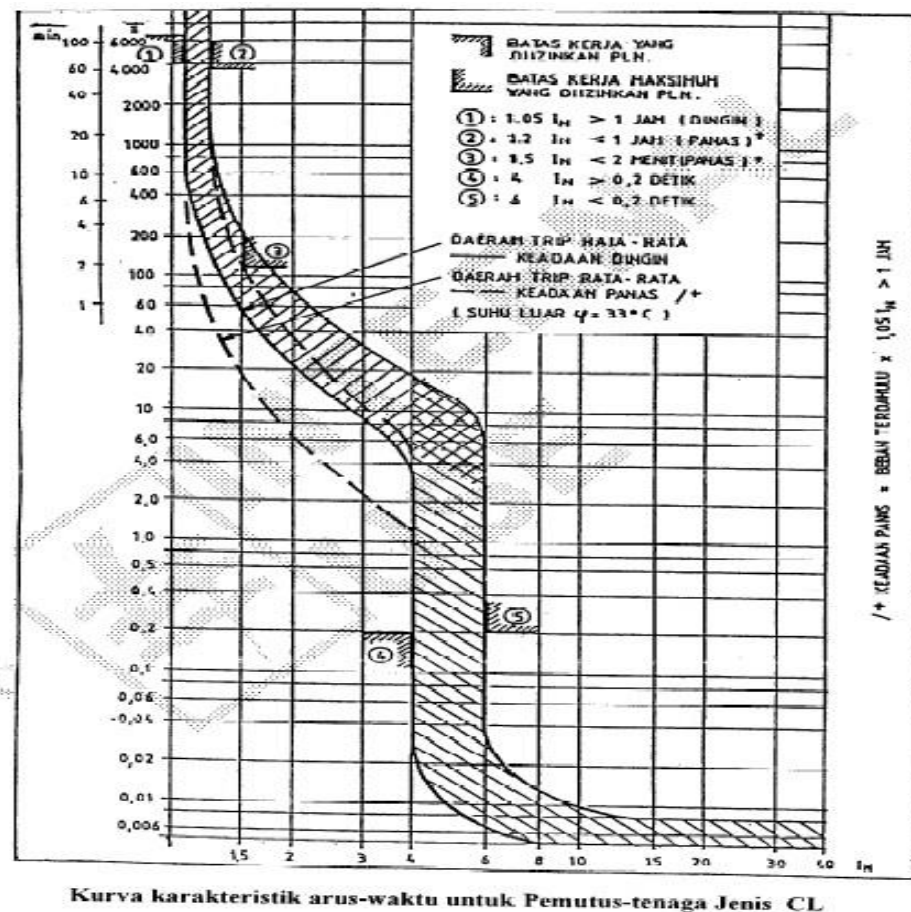
1. On/off trip dipergunakan secara manual untuk mengoperasikan atau membuka MCB, dan menandakan status MCB trip/operasi atau terbuka.
2. Peralatan mekanis untuk pengait, kontak ini bekerja bersamaan dengan peralatan lain.
3. Kontak, mengalirkan atau memutuskan arus ketika MCB memperoleh arus besar dari setelahnya.
4. Terminal, untuk disambungkan ke peralatan yang diamankan.
5. Bimetallic trip.
6. Penyetelan arus secara manual untuk kalibrasi di pabrikan / laboratorium.
7. Solenoid.
8. Pemadam arcing akibat MCB trip.

Berdasarkan waktu pemutusannya, pengaman – pengaman otomatis seperti MCB dapat terbagi atas 3 jenis, yaitu Otomat-L (untuk hantaran), Otomat-H (untuk instalasi rumah), dan Otomat-G.

MCB yang dipergunakan oleh PT PLN adalah tipe khusus yaitu tipe CL (Current Limited), MCB ini dilengkapi sistem hammer trip, dimana saat ada gangguan MCB akan trip secara cepat (tidak perlahan-lahan). Dengan kecepatan trip MCB beban terlindung dari gangguan hubung singkat.

Karakteristik MCB tipe CL :

- Bila beban lebih bekerjanya didasarkan/sesuai karakteristik thermal.
- Bila ada gangguan di beban bekerjanya instantenous (cepat).

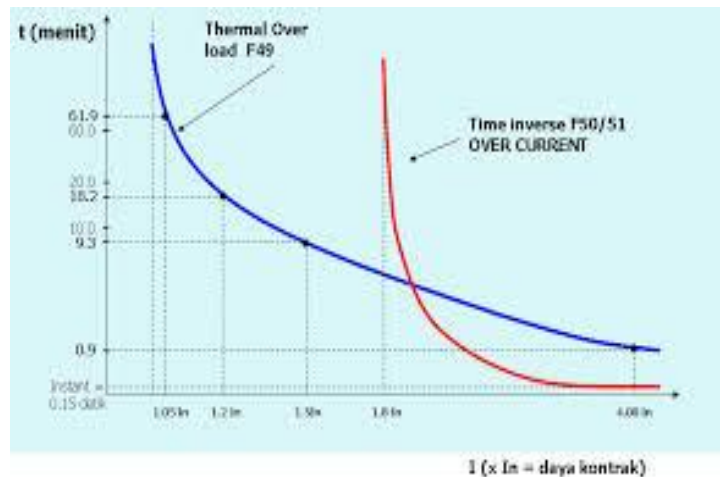


Gambar 2.6 Grafik MCB tipe CL

2.4.2 OLR (Over Load Relay)

Over Load Relay (OLR) adalah pengamanan dan pembatas yang terpasang pada sisi tegangan menengah 20kV. Dipergunakan untuk pelanggan yang berlangganan TM/TM/TM atau TM/TM/TR. Karakteristik OLR sama dengan karakteristik pada MCB tipe CL pada tegangan rendah. Bagaimana melihat karakteristik OLR seperti dijelaskan dibawah ini :

Kurva thermal Over Load Relay



Gambar 2.7 Grafik asymptot untuk melihat karakteristik OLR

Penjelasan grafik diatas :

Sesuai dengan pengertian diatas dimana nilai arus beban yang mulai menyentuh karakteristik tripping untuk hampir pada setiap Over Load Relay adalah sebesar 1.05 p.u (per unit), sebagian pabrikan mensetnya secara tetap dan sebagian pabrikan lain membuat nilai ini bisa dipilih. Simbol nilai konstanta ini seperti disebutkan diatas adalah “k”. Apabila dilihat pada karakteristik Over Load Relay, garis vertical yang ditarik dari nilai arus beban senilai “k” yang menyentuh karakteristik ini ternyata adalah garis asymptot.

Bila $I_{set} = 1$ p.u, arus beban senilai 1.05 p.u belum memberikan relay pada waktu (t) yang lama sekali (garis vertical yang ditarik pada $t \rightarrow \infty$, ini yang dimaksud dengan garis asymptot). Pada titik setelan ini, karakteristik pembatas yang diperlukan TDL 1.045 p.u dan arus beban yang dialirkan ke relai tetap 1.05 p.u, barulah terpenuhi karakteristik pembatas TDL. Pada realisasi setelah di Over Load Relay, symptot itu tidak digeser, tetapi nilai setelan arus relay yang dibuat lebih kecil dari 1 p.u, sehingga berdasarkan hal ini, nilai setelan arus Over Load Relay yang difungsikan sebagai pembatas

daya listrik diambil nilai sebesar $(1.045/1.05)$ p.u atau $= 0.99524$ p.u dimana nilai 1.0 p.u nya adalah nilai arus beban sesuai daya kontrak pembelian tenaga listrik.