

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Permasalahan

Membangun gardu distribusi khusus pelanggan, adalah bertujuan untuk memenuhi kebutuhan energy listrik konsumen secara terus-menerus. Gardu distribusi mempunyai system proteksi. Salah satu peralatan listrik pendukung proteksi adalah trafo arus/*current transformer (CT)*, dimana *current transformer* adalah peralatan listrik yang berfungsi untuk memperkecil arus yang besar. Untuk kebutuhan pengukuran yaitu KWH meter. Oleh karena itu setiap *current transformer (CT)* sebelum dipasang, harus diuji terlebih dahulu agar sesuai dengan daya kontraknya. Demikian juga apa bila dikemudian hari ditemukan kegagalan dari *current transformer(CT)*. maka akan selalu dilakukan pengujian *current transformer (CT)* terlebih dahulu sebelum mengambil suatu tindakan. Pada umumnya yang sering terjadi kasus pada pelanggan daya besar adalah adalah ditemukan adanya bahagian alat ukur (misalnya segel rusak), Yang umum terjadi kasus adalah terjadinya **error KWH Meter, ada CT pada setiap fasa R, S, T tidak bekerja standar**, yang menyebabkan pencatatan KWH Meter menjadi error. Hal inilah yang melatar belakangi penelitian ini, karena akan terjadi perkara antara PT. PLN sebagai penjual energi dan perusahaan (konsumen besar) selaku pelanggan khusus.

1.2. Perumusan Masalah

Jika terjadi peningkatan kebutuhan daya listrik pada Pelanggan, maka PT. PLN akan memberi Gardu khusus kepada pelanggan besar (Industri), misalnya untuk kapasitas daya Trafo ≥ 200 kVA, Pada umumnya sebelum adanya penambahan daya, maka diperlukan pengujian setiap komponen Gardu untuk pelanggan tersebut seperti, Fuse Cut Out (FCO), Ligthing Arrester (LA), *current transformers (CT)*. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa semua komponen tersebut layak atau tidak dan apakah semua komponen bekerja sesuai

standart atau tidak. Untuk Gardu dengan ***Sistem Pengukuran energi listrik secara tidak langsung*** dalam penelitian ini **diasumsikan** bahwa *Current Transformers* (CT) untuk pengukuran mempunyai ketelitian tinggi pada daerah arus pengukuran beban nominal dan jenuh pada arus gangguan yang besar. Semakin jenuh dan teliti CT tersebut, maka semakin baik dan aman untuk digunakan. *Current transformers* (CT) untuk proteksi mempunyai ketelitian/*error* kecil pada daerah arus gangguan hubung singkat dan tidak cepat jenuh, maka semakin tinggi keandalan alat proteksi tersebut. Dengan asumsi bahwa *Current Transformers* (CT) mempunyai ketelitian tinggi. Terjadinya Pihak PLN melakukan Tagihan susulan terhadap konsumen, sesuai ***Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia*** Tentang Ketentuan Pelaksanaan Tarif Tenaga Listrik akibat tuduhan **melakukan pemakaian tenaga listrik secara tidak sah atau pelanggaran pemakaian tenaga listrik**. Maka perlu mengkaji beberapa kemungkinan yang menyebabkan terjadinya **error KWH Meter**.

1.3. Batasan Masalah

Adapun pembatasan masalah yang dilakukan dalam penulisan penelitian ini agar memiliki arah dan tujuan yang jelas dan bermanfaat, berikut adalah masalah yang dibahas yaitu:

1. Menghitung nilai rasio CT sesuai daya pelanggan, kesalahan trafo, kesalahan arus, nilai I_{th} , nilai I_{dyn} dan saat pengujian *current transformer (CT)* pada pelanggan khusus.
2. Menentukan kelayakan *current transformer (CT)* untuk digunakan berdasarkan perhitungan yang sudah dilakukan.
3. Pemeriksaan dan pengujian pada setiap komponen Gardu untuk pelanggan tersebut seperti, Fuse Cut Out (FCO), Ligthing Arrester (LA), *current transformers* (CT).

1.4. Tujuan Tugas Akhir

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan pengkajian beberapa kemungkinan yang menyebabkan terjadinya **error KWH Meter**, melakukan analisis penyebab kerusakan/kegagalan suatu komponen listrik pada Gardu, dan memberikan solusi tindakan yang perlu dilakukan **Perusahaan Perseroan (Persero) PT. Perusahaan Listrik Negara dan konsumen** agar dikemudian hari dapat menghindari/memperkecil kerugian material. Memberikan suatu langkah antisipasi untuk menghindari/meminimalisir terjadinya kerugian energy listrik.

1.5. Kontribusi Tugas Akhir

Penelitian ini akan memberikan kontribusi kepada pelanggan PLN pemakai Gardu khusus, Apa saja kemungkinan yang dapat timbul untuk pelanggan berkapasitas besar. Untuk mengetahui bagaimana cara pengujian current transformer (CT) baik dengan alat uji maupun dengan perhitungan pada pelanggan khusus.

1.6. Metodologi Penulisan

Metode penulisan yang akan dilakukan adalah dengan melakukan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Studi literatur

Studi literatur ialah pendekatan penelitian yang dilakukan dengan cara mencari referensi atas landasan teori yang relevan dengan kasus atau permasalahan yang ditemukan. Referensi tersebut bisa dicari dari buku, jurnal, artikel, laporan penelitian dan situs-situs online di internet. Output yang dihasilkan dari studi literatur ialah terkoleksinya referensi yang relevan dengan rumusan masalah.

2. Observasi Lapangan

Melakukan Observasi Lapangan, dengan pengamatan secara langsung ke lapangan untuk kasus yang terjadi. Wawancara adalah

teknik pengumpulan data dengan melakukan Tanya jawab secara langsung.

3. Pengolahan Data dan Penulisan Laporan

Penulisan laporan disusun sesuai data yang diperoleh secara langsung dan dengan menggunakan rumus yang berkaitan, dengan permasalahan, sehingga menjadi laporan penelitian yang dapat menggambarkan penelitian secara utuh.

1.7. Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah dalam pemahaman tugas akhir ini, maka diuraikan penulisan sebagai berikut ;

Bab I Pendahuluan

Berisi tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan tugas akhir, kontribusi tugas akhir, metodologi penulisan dan sistematika penulisan.

Bab II Landasan Teori

Menjelaskan tentang Trafo Arus (*current transformer*) dan prinsip kerjanya terutama yang ada pada pelanggan khusus dan hasil-hasil penelitian yang berhubungan dengan batasan masalah yang sudah ditentukan.

Bab III Metode Penelitian

Menjelaskan tentang metode penelitian, bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian untuk mengamati kelayakan pada Trafo Arus (*current transformer*) waktu dan tempat dimana dilakukanya penelitian tersebut.

Bab IV Hasil dan Pembahasan

Menjelaskan tentang data penelitian dan pembahasan dan hasil perhitungan yang diambil dari hasil penelitian.

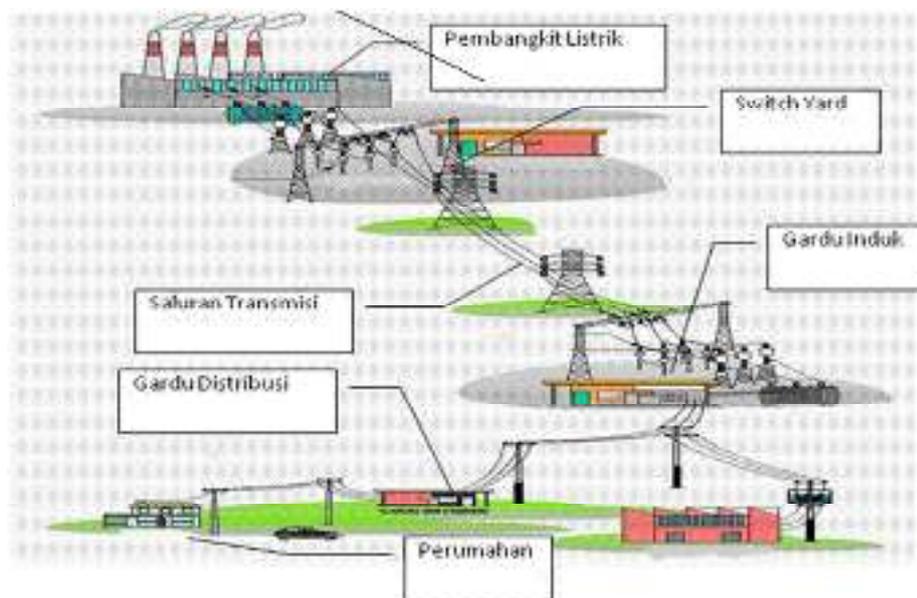
Bab V Penutup

Menjelaskan tentang kesimpulan penulisan tugas akhir, dan saran

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem yang terdiri dari beberapa komponen berupa pembangkitan, transmisi, distribusi, dan beban yang saling berhubungan dan bekerjasama untuk melayani kebutuhan energi listrik bagi pelanggan sesuai kebutuhan.



Gambar 2.1 Skema Sistem Tenaga Listrik

2.1.1 Pembangkit Tenaga Listrik

Pembangkit Tenaga Listrik adalah bagian dari sistem tenaga listrik yang berfungsi membangkitkan energi listrik dengan mengubah sumber energi lain menjadi energi listrik. Sumber energi tersebut dapat berupa energi air, bahan bakar minyak, batu bara, angin, matahari, dan lain-lain. Masing-masing pembangkit mempunyai sifat dan karakteristik yang berbeda-beda, sehingga penggunaannya disesuaikan dengan kepentingannya. Pembangkit tenaga listrik biasanya digolongkan menurut prinsip kerja dan sumber energi yang digunakan.

Pembangkit Non Termis

1. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)
2. Pembangkit Listrik Tenaga Angin/Bayu (PLTB)
3. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Termis

1. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)
2. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)
3. Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)
4. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN)
5. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)

2.1.2 Saluran Transmisi

Saluran Transmisi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berupa sejumlah konduktor yang dipasang membentang sepanjang jarak antara pusat pembangkit sampai pusat beban. Saluran transmisi berfungsi untuk mengirimkan energi listrik dari pusat pembangkit sampai pusat beban.

Macam-macam Saluran Transmisi:

1. **Saluran udara:** Kawat atau konduktor telanjang (tanpa isolasi) yang digantung dengan ketinggian tertentu pada tower dengan menggunakan isolator.
2. **Saluran bawah tanah:** kabel atau konduktor berisolasi yang ditanam dalam tanah dengan kedalaman tertentu.
3. **Saluran bawah laut:** kabel atau konduktor berisolasi yang diletakkan di dasar laut

Level tegangan saluran transmisi:

1. **Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)** berkisar antara 70 s/d 150 kV
2. **Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET)** di atas 150 kV s/d 750 kV
3. **Saluran Udara Tegangan Ultra Tinggi (SUTUT)** di atas 750 kV

Saluran transmisi berfungsi untuk mengirimkan energi listrik dari pusat pembangkit ke pusat beban. Pemilihan jenis saluran transmisi sangat ditentukan

oleh jumlah energi yang akan disalurkan dan jarak atau panjang saluran transmisinya.

2.1.3 Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berupa jaringan penghantar yang menghubungkan gardu induk pusat beban ke pelanggan. Jaringan distribusi ini berfungsi untuk mendistribusikan energi listrik ke pelanggan sesuai kebutuhan.

Jaringan distribusi dalam operasinya tidak bisa dipisahkan dengan gardu induk distribusi. Gardu induk distribusi ada yang berada di ujung saluran transmisi, yang berfungsi mengatur distribusi daya yang diterima dari saluran transmisi sekaligus menurunkan tegangan dari level saluran transmisi ke level jaringan distribusi. Gardu induk juga ada yang berada di antara jaringan distribusi yang berfungsi untuk membagi aliran daya dan menurunkan tegangan distribusi ke tegangan rendah.

2.1.4 Pelanggan-Pelanggan Khusus PLN

Pelanggan khusus adalah pelanggan yang menggunakan sebagian atau seluruhnya tenaga listrik dari PLN untuk kegiatannya dan biasanya memiliki gardu distribusi sendiri. Biasanya dilihat dari segi tarif listriknya lebih besar. Yang termasuk pelanggan-pelanggan khusus di PLN yaitu:

1. Perhotelan
2. Perbankan
3. Pabrik-Pabrik
4. Perusahaan Industri
5. PT (Perseroan Terbatas) dan CV (Perseroan Komanditer)
6. Rumah Sakit
7. Apartement dan sebagainya.

2.2 Transformator Arus (Current Transformer (CT))

Transformer arus juga biasa disebut Current Transformer (CT) adalah salah satu komponen untuk menyesuaikan besaran arus pada sistem tenaga listrik menjadi besaran arus untuk sistem pengukuran atau proteksi.



Gambar 2.2 Gambar fisik Trafo Arus (20 KV)

2.2.1 Fungsi Current Transformer

Fungsi dari trafo arus adalah :

- a. Mengkonversi besaran arus pada sistem tenaga listrik dari besaran primer ke besaran sekunder untuk keperluan sistem metering dan proteksi.
- b. Mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primer, sebagai pengaman terhadap manusia atau operator yang melakukan pengukuran.
- c. Standarisasi besaran sekunder, untuk arus nominal 1Amp dan 5 Amp.

Secara fungsi trafo arus dibedakan menjadi dua yaitu :

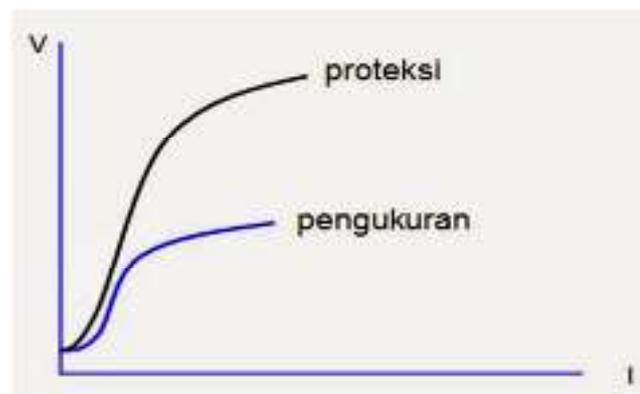
1. Trafo Arus pengukuran

Trafo arus digunakan untuk pengukuran arus yang besarnya ratusan ampere dan arus yang mengalir dalam jaringan tegangan tinggi. Jika arus yang hendak diukur mengalir pada jaringan tegangan rendah dan besarnya di bawah 5 A, maka pengukuran dapat dilakukan secara langsung dengan menggunakan suatu ammeter yang dihubungkan seri dengan jaringan. Kawasan kerja trafo arus yang digunakan untuk pengukuran biasanya 0,05 sampai 1,2 kali arus yang akan diukur. Penggunaan trafo arus pengukuran untuk Amperemeter, Watt-meter, VARh-meter, dan $\cos \phi$ meter. Trafo Arus Pengukuran untuk KWH meter memiliki ketelitian tinggi, tergantung dari kelasnya dan tingkat kejenuhan yang relatif rendah dibandingkan trafo arus untuk proteksi

2. Trafo Arus proteksi

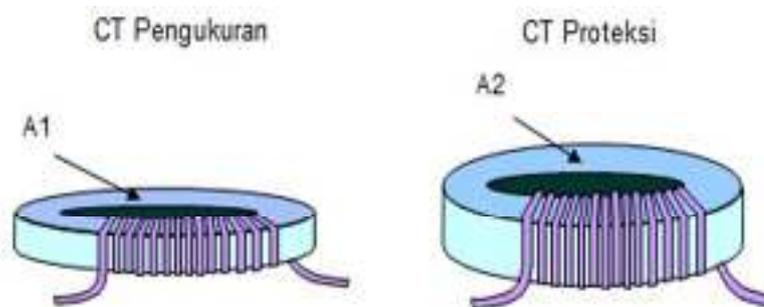
Trafo Arus Proteksi memiliki ketelitian tinggi pada saat terjadinya gangguan dimana arus yang mengalir beberapa kali dari arus pengenalnya dan tingkat kejenuhan cukup tinggi. Penggunaan trafo arus proteksi yaitu pada relai beban lebih, relai diferensial, relai daya dan relai jarak. Trafo arus untuk tujuan proteksi biasanya harus mampu bekerja lebih dari 10 kali arus pengenalnya.

Perbedaan mendasar antara trafo arus pengukuran dengan trafo arus proteksi adalah pada titik saturasinya seperti pada gambar 2.3 kurva saturasi dibawah.



Gambar 2.3 Kurva kejenuhan CT (pengukuran dan proteksi)

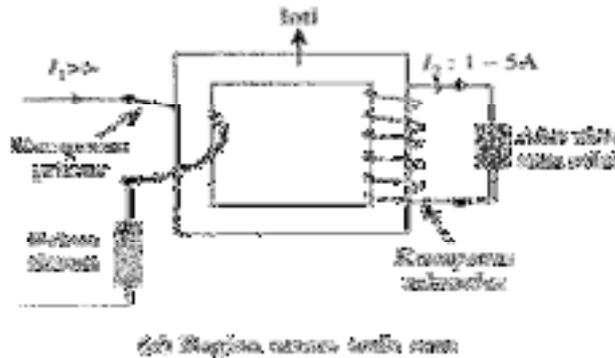
trafo arus untuk pengukuran dirancang supaya lebih cepat jenuh dibandingkan trafo arus untuk proteksi, sehingga luas penampangnya intinya berukuran lebih kecil seperti pada gambar 2.4 Luas Penampang inti trafo dibawah.



Gambar 2.4 Luas Penampang inti trafo

2.2.2 Prinsip Kerja Trafo Arus

Trafo arus dibutuhkan untuk mengubah arus kuat menjadi arus lemah sebesar 1 – 5 A yang sebanding dan satu fasa dengan arus primer. Perhatikan Gambar 2.5



Gambar 2.5 Bagian Utama Trafo Arus

Prinsip kerjanya sama dengan trafo arus satu fasa. Jika pada kumparan primer mengalir arus I_1 , maka pada kumparan primer akan timbul gaya gerak magnet sebesar $N_1 I_1$. Gaya gerak magnet ini memproduksi fluks pada inti. Fluks ini membangkitkan gaya gerak listrik pada kumparan sekunder (E_2). Jika terminal kumparan sekunder tertutup, maka pada kumparan sekunder mengalir arus I_2 . Arus ini menimbulkan gaya gerak magnet $N_2 I_2$ pada kumparan sekunder. Bila trafo arus tidak ada rugi-rugi daya (trafo ideal). Maka berlaku persamaan:

$$N_1 I_1 = N_2 I_2 \dots\dots\dots 2.1$$

Atau

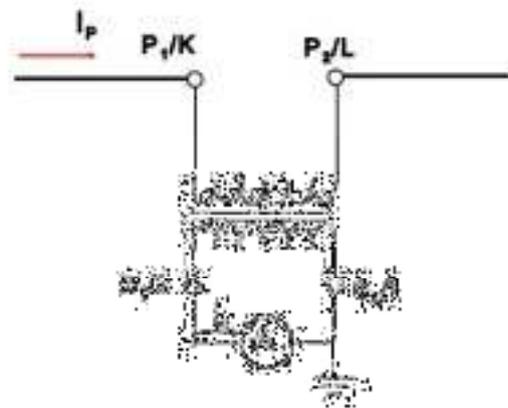
$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \dots\dots\dots 2.2$$

- Dimana: N_1 = Jumlah belitan kumparan primer
- N_2 = Jumlah belitan kumparan sekunder
- I_1 = Arus pada kumparan primer (A)
- I_2 = Arus pada kumparan sekunder (A)

2.2.3 Rangkaian Trafo Arus

Current transformer (CT) terdiri dari belitan primer, belitan sekunder dan inti magnetik. Pada terminal pertama, disisi primer arus mengalir ke terminal P1/k dan di sisi sekunder arus mengalir ke terminal S1/k seperti yang terlihat pada gambar dibawah.

Pada terminal kedua, di sisi primer arus mengalir ke beban melalui P1/k pada terminal P2/L dan di sisi sekunder arus mengalir ke terminal S2/l melalui S1/k. sehingga polaritas pada sisi sekunder harus berdasarkan dengan arus yang datang pada terminal sisi primer.



Gambar 2. 6 Rangkaian Ekuivalen CT

Sesuai standar IEC, terminal S2/I ditanahkan karena terminal tersebut berfungsi sebagai pengaman bagi current transformers di sisi sekunder. Karena adanya tegangan tinggi, maka mengakibatkan sudut antara arus primer dan sekunder yaitu nol. Sebaliknya, jika terminal S1/k yang ditanahkan, maka mengakibatkan sudutnya yaitu 180°. Pentanahan yang dilakukan pada current transformers yaitu jenis pentanahan langsung (solidly grounded).

2.2.4 Jenis-Jenis Trafo Arus

Jenis-jenis trafo arus terbagi atas beberapa bagian yaitu sebagai berikut:

1. Jenis Menurut Jumlah Kumputan Primer

Jenis trafo arus ditinjau dari konstruksi belitan primernya terdiri atas jenis kumputan (wound type) dan jenis bar (bar type).

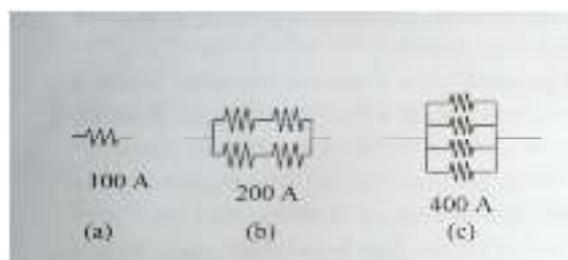
Jenis kumparan digunakan untuk pengukuran arus rendah atau beban yang besar atau pengukuran yang memerlukan ketelitian tinggi. Jumlah belitan primernya tergantung pada arus primer yang akan diukur, biasanya dibatasi tidak lebih dari 5 belitan dan dirancang menghasilkan gaya gerak magnet kira-kira 1.200 ampere. Penambahan jumlah belitan primer akan mengurangi faktor thermal dan dinamis arus hubung singkat.

Jenis bar digunakan untuk pengukuran arus besar (ribuan ampere). Konstruksinya sangat sederhana dan kokoh sehingga trafo ini mampu mempunyai faktor thermal dan dinamis waktu singkat yang tinggi. Keburukannya bahwa efisiensi pengukuran yang lebih tinggi, yakni ukuran inti yang ekonomis, didapat hanya pada arus pengenal yang besar, yakni kira-kira 1000 A.

2. Jenis Menurut Jumlah Rasio

Supaya trafo arus dapat digunakan untuk mengukur arus yang besar, maka belitan primer biasanya dibagi ke dalam beberapa kelompok yang dapat dihubungkan seri atau parallel. Dengan demikian perbandingan transformasi pengenal trafo dapat bervariasi, misalnya hingga 1:2:4 arus pengenal, dan pada keadaan itu untuk kerja galat tetap tidak berubah.

Jenis trafo arus dilihat dari banyaknya rasio yang disediakan terdiri atas trafo arus rasio tunggal dan trafo arus rasio ganda. Pada trafo arus jenis bar, rasio ganda diperoleh dengan membuat sadapan di kumparan sekundernya. Tetapi perlu diperhatikan bahwa daya keluar sebanding dengan kuadrat ampere-belitan sekundernya. Jika rasio dikurangi menjadi setengah, maka kapasitas dayanya berkurang menjadi seperempat dari semula. Rasio ganda pada trafo arus jenis kumparan diperoleh dengan merangkai kumparan primernya dalam hubungan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.7.

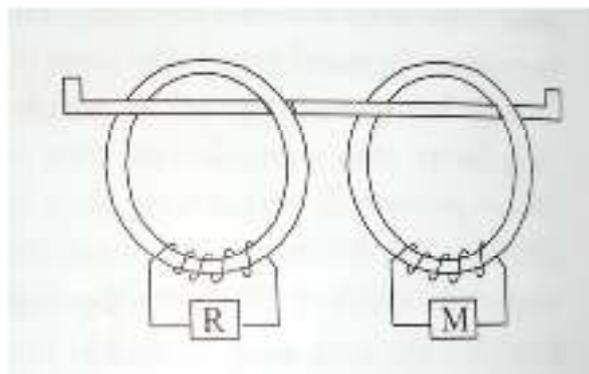


Gambar 2.7 Rangkaian Kumparan Primer untuk Memperoleh Rasio Ganda

Jika arus pengenal masing-masing kumparan dimisalkan 100 A, maka arus pengenal jika dirangkai seperti pada Gambar 2.7.b menjadi 200 A dan jika dirangkai seperti pada Gambar 2.7.c menjadi 400 A. Rancangan seperti ini sangat menguntungkan terutama jika tidak ada arus hubung singkat yang mengalir pada sisi primernya, misalnya trafo arus yang digunakan di laboratorium. Beberapa ragam rasio dapat diperoleh tanpa mengorbankan burden dan ketelitian.

3. Jenis Menurut Jumlah Inti

Berdasarkan jumlah intinya, trafo arus dapat juga dibagi atas dua jenis, yaitu trafo arus inti tunggal dan trafo arus inti ganda. Trafo arus inti ganda digunakan jika sistem membutuhkan arus untuk pengukuran dan proteksi. Pada Gambar 2.8 ditunjukkan trafo arus dua inti, satu intinya digunakan untuk keperluan proteksi dan satu lagi untuk keperluan pengukuran.

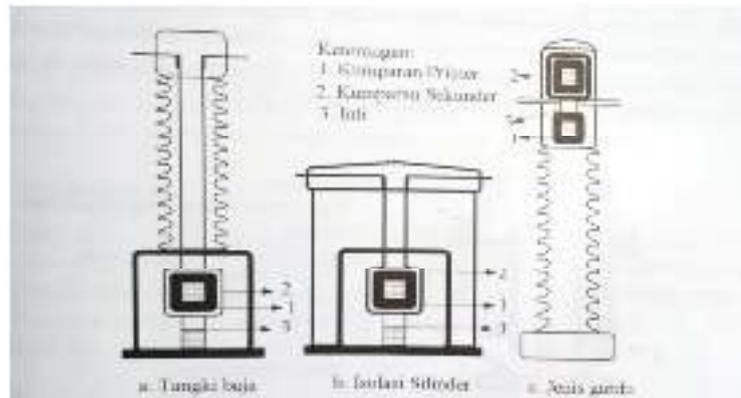


Gambar 2.8 Trafo Arus Inti Ganda

Inti yang digunakan untuk pengukuran terbuat dari bahan yang jenuh pada arus rendah, sehingga besar arus sekunder tetap dalam batas kemampuan ammeter sekalipun arus di primer naik beberapa puluh kali arus pengenalnya, sehingga ammeter tidak rusak pada saat arus primer sangat besar. Sebaliknya, inti yang digunakan untuk rele proteksi harus terbuat dari bahan yang jenuh pada arus tinggi, sehingga arus sekunder tetap sebanding dengan arus primer sampai sepuluh atau lima belas kali arus pengenal primer.

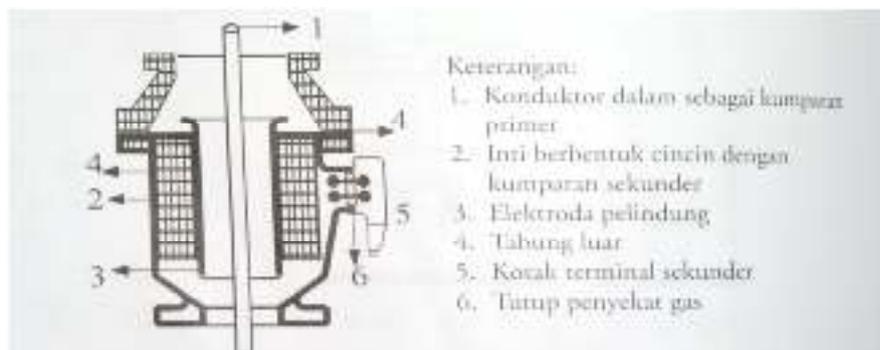
4. Jenis Menurut Konstruksi Isolasi

Trafo arus bertegangan tinggi untuk gardu induk pasangan luar dibuat dengan isolasi minyak-kertas dan dipampatkan dalam kerangka porselen. Jenis konstruksi trafo ini dibedakan atas susunan bagian-bagian aktifnya (inti, belitan), yaitu jenis tangki logam, jenis kerangka isolasi dan jenis gardu (Gambar 2.9). trafo arus jenis gardu memiliki kelebihan di mana penyulangan pada rangkaian primernya lebih pendek, digunakan untuk arus pengenal dan arus hubung singkat yang besar.



Gambar 2.9 Trafo Arus Tegangan Tinggi

Pada sistem isolasi koaksial seperti pada kabel, bushing trafo arus atau rel daya yang diisolasi dengan SF₆, selalu mungkin dibuat trafo arus konduktor tunggal tanpa isolasi khusus. Dalam hal ini sangat sering digunakan inti berbentuk cincin dengan belitan sekunder yang dibelit secara seragam pada cincin dan dimasukkan dalam isolasi, dengan demikian terbuka jalan untuk membawa lapisan terluar bagian yang dibumikan keluar dari trafo arus. Pada Gambar 2.10 ditunjukkan sebuah trafo arus inti cincin di dalam rel daya gardu induk yang di isolasi dengan SF₆ (GIS).



Gambar 2.10 Trafo Arus Inti Cincin Di Dalam Rel Daya Isolasi SF₆

2.2.5 Kesalahan Trafo Arus

1. Kesalahan Transformator (*Transformasi error*)

Adalah perbandingan antara arus primer dan arus sekunder.

$$K_n = \frac{I_p}{I_s} \dots\dots\dots 2.3$$

Dimana :

K_n = Perbandingan transformasi

I_p = Arus Primer (A)

I_s = Arus Sekunder (A)

2. Kesalahan Arus (*current error*)

$$\varepsilon = \frac{K_n \times (I_s - I_p)}{I_p} \times 100\% \dots\dots\dots 2.4$$

Dimana :

K_n = Perbandingan transformasi

I_s = Arus sekunder sebenarnya (Amp)

I_p = Arus primer sebenarnya (Amp)

ε = Kesalahan Arus (%)

3. Factor Keselamatan Instrumen (*Instrument Security Factor*), F_s

Adalah perbandingan arus keamanan dengan arus pengenal primer atau dapat dituliskan :

$$F_s = \frac{I_{ps}}{I_{pnom}} \dots\dots\dots 2.5$$

Dimana:

F_s = *Security factor*

I_{ps} = Nilai arus lebih primer (A)

I_{pnom} = Nilai arus primer (A)

Nilai F_s untuk peralatan instrument biasanya 5 atau 10

4. Rate Dynamic Current (I_{dyn})

Adalah nilai puncak dari arus primer current transformer (CT), tanpa ada kerusakan dari segi apapun. Persamaannya yaitu:

$$I_{dyn} = 2,5 \times I_{th} \dots\dots\dots 2.6$$

Dimana:

I_{dyn} = Nilai puncak dari arus primer CT (kA/1s)

2,5 = Ketetapan konstanta

5. Rated Short – Time Thermal (I_{th})

Adalah nilai arus primer current transformer (CT) yang tidak rusak dalam satu detik pada gangguan hubung singkat

$$I_{th}, t = \frac{I_{th}}{\sqrt{t}} \dots\dots\dots 2.7$$

Dimana:

$I_{th,t}$ = Nilai rms arus primer per satuan detik

I_{th} = Nilai rms CT (kA/1s)

t = waktu (1 s)

6. Kesalahan Komposit (*composite error*)

Adalah kesalahan gabungan karena adanya kesalahan rasio, kesalahan sudut, dan perbedaan bentuk gelombang arus sekunder dengan arus primer. Persamaannya dapat ditulis sebagai berikut:

$$Ec = \frac{100}{I_p} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (K_n i_s - i_p^2) dt} \% \dots\dots\dots 2.8$$

Dimana :

E_c = kesalahan komposit (%)

K_n = transformation ratio pengenal

I_p = nilai rms dari arus primer (A)

i_p = nilai sesaat dari arus primer (A)

i_s = nilai sesaat dari arus sekunder (A)

T = waktu dalam satu periode dalam detik

2.2.6 Ketelitian Trafo Arus

Ketelitian trafo arus dinyatakan dalam tingkat kesalahannya. Semakin kecil tingkat kesalahan trafo arus, semakin tinggi tingkat ketelitian atau akurasinya.

1. Batas Ketelitian Arus Primer (*Accuracy Limit Primary Current*)

Batas ketelitian arus primer adalah batasan arus primer minimum dimana kesalahan komposit dari trafo arus sama atau lebih kecil dari 5% atau 10% pada saat sekunder dibebani arus pengenalnya. Atau arus primer tertinggi (I_{pm}) dimana ketelitian belum melebihi batas ketelitiannya.

2. Faktor Batas Ketelitian (*Accuracy Limit Factor*)

Faktor batas ketelitian disebut juga faktor kejenuhan inti adalah batasan perbandingan nilai arus primer minimum terhadap arus primer pengenal dimana kesalahan komposit dari trafo arus sama atau lebih kecil dari 5% atau 10% pada sekunder yang dibebani arus pengenalnya. *ALF* merupakan perbandingan dari $\frac{I_{primer}}{I_{rated}}$

2.2.7 Kelas Ketelitian Trafo Arus

1. Kelas Ketelitian Trafo Arus Pengukuran

Trafo arus metering memiliki ketelitian tinggi untuk daerah pengukuran sampai 1,2 kali nominalnya. Daerah kerja trafo arus metering antara : 1-1,2 x I_N trafo arus. Kelas ketelitian trafo arus metering dinyatakan dalam persentase kesalahan rasio pengukuran baik untuk arus maupun pergeseran sudut fasa seperti pada tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Batas Kesalahan Trafo Arus Metering

Kelas Ketelitian	+/- % Kesalahan Rasio Arus pada % dari Arus Pengenal				+/- Pergeseran Fase pada % dari Arus Pengenal Menit (1/60 derajat)			
	5	20	100	120	5	20	100	120
0,1	0,4	0,2	0,1	0,1	15	8	5	5
0,2	0,75	0,35	0,2	0,2	30	15	10	10
0,5	1,5	0,75	0,5	0,5	90	45	30	30
1,0	3,0	1,5	1,0	1,0	180	90	60	60

Tabel 2.2 Kelas Ketelitian Trafo Arus Metering

Kelas	Penggunaan
0,1	Pengujian yang teliti dan sebagai sub-standar pada pengujian trafo arus yang digunakan di laboratorium
0,2	Untuk laboratorium, untuk pengujian meter ketelitian tinggi, dan sebagai sub-standar pada pengujian trafo arus industry
0,5	Untuk alat ukur industry ketelitian tinggi, komersial dan industry
1,0	Untuk meter komersial dan meter yang dipakai pada industry
3,0	Untuk wattmeter dan ammeter
5,0	Untuk pengukuran di mana ketelitian rasio tidak terlalu penting

2. Kelas Ketelitian Trafo Arus Proteksi

Ketelitian trafo arus yang digunakan untuk proteksi, ditentukan oleh kesalahan komposisi tertinggi yang diizinkan pada saat batas ketelitian arus primer sama dengan yang ditetapkan untuk kelasnya. Kelas trafo arus ini dinyatakan dengan tanda “nP”, di mana n menunjukkan kelas ketelitian dan P menunjukkan trafo arus adalah untuk proteksi. Batas ketelitian trafo arus yang digunakan untuk proteksi diberikan pada tabel 2.3 dibawah ini.

Tabel 2.3 Batas Kesalahan Trafo Arus Proteksi

Kelas	Galat Rasio (γ) saat arus primer = arus pengenalan	Galat Sudut (δ) saat arus primer = arus pengenalan	Galat Komposit saat γ dan δ = galat pengenalnya
5P	$\pm 1,0$	$\pm 60,0$	5
10P	$\pm 3,0$	-	10
15P	$\pm 5,0$	-	15

Tabel 2.4 Kelas Ketelitian Trafo Arus Proteksi

No	Penggunaan	Kelas
1	Rele arus lebih reaksi cepat <i>(Instantaneous over current relay)</i>	15P Faktor Batas Ketelitian (FBK) = 5
2	Rele arus lebih, karakteristik arus terbalik, dari waktu tunda minimum tertentu <i>(Inverse and definite minimum time lag)</i>	10P
3	Rele arus tanah karakteristik arus terbalik dan waktu tunda minimum tertentu <i>(Inverse and definite minimum time lag earth fault relay)</i> yang tidak membutuhkan stabilitas pada saat terjadi gangguan fasa-fasa dan peningkatan waktu yang teliti	10 P atau 15 P di mana $S_n \times \text{FBK} = 150$ $S_n = \text{Daya keluaran pengenalan penyetelan arus rele} > 20\%$ bunder rele pada setelan arus pengenalan $< 4 \text{ VA}$
4	Rele arus tanah yang membutuhkan kestabilan pada saat gangguan fasa-fasa dan penambahan waktu yang teliti	5 P $S_n \times \text{FBK} = 150$
5	Rele diferensial dan rele jarak	5P dan 10P

2.2.8 Burden Trafo Arus

Burden adalah batasan maksimum *current transformer* (CT) menampung beban dalam satuan VA pada sisi sekunder CT dimana beban tersebut sesuai batasan beban yang dapat ditampung pada sisi sekunder.

Burden dinyatakan dalam impedansi dan faktor daya atau daya dalam VA. Burden nominal suatu trafo arus ditetapkan lebih besar daripada burden total yang akan terdapat pada rangkaian sekunder trafo arus tersebut. Jumlah semua impedansi pada rangkaian sekunder adalah:

$$\text{Burden total} = Z_s + Z_b + Z_k \dots\dots\dots 2.9$$

Dalam hal ini, Z_s adalah impedansi kumparan sekunder trafo arus, Z_b adalah impedansi alat ukur, relai, atau peralatan yang terhubung pada terminal sekunder trafo arus; dan Z_k adalah impedansi kabel penghubung peralatan dengan terminal trafo arus.

Impedansi kabel penghubung dapat dianggap hanya berupa resistansi (R_k). Nilai tahanannya bergantung pada penggunaan trafo arus. Jika jarak antara terminal trafo arus dengan peralatan adalah l (meter), resistivitas kabel adalah ρ (ohm . mm²/m) dan luas penampang kabel adalah A (mm²), maka nilai resistansi kabel penghubung adalah seperti diperlihatkan pada Tabel 2.5.

Jika S_n (VA) adalah burden satu peralatan pada rangkaian sekunder trafo arus dan arus nominal peralatan tersebut dalam ampere adalah I_n , maka impedansi peralatan tersebut dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini:

$$Z_b = \frac{S_n}{I_n^2} \dots\dots\dots 2.10$$

Burden berbagai alat ukur diperlihatkan pada Tabel 2.6, sedangkan burden berbagai relai diperlihatkan pada Tabel 2.7.

Tabel 2.5 Nilai Resistansi Kabel Penghubung

Penggunaan CT	Nilai Resistansi Kabel Penghubung (ohm)
Meter satu fasa	$R_k = \frac{2\rho l}{A}$
Meter tiga fasa beban setimbang	$R_k = \frac{\rho l}{A}$
Meter tiga fasa beban tidak seimbang	$R_k = \frac{2\rho l}{A}$
Relai gangguan fasa ke tanah Netral sistem pembumian	$R_k = \frac{2\rho l}{A}$
Relai gangguan fasa ke tanah Netral sistem tidak dibumikan	$R_k = \frac{\rho l}{A}$
Relai gangguan tiga fasa	$R_k = \frac{\rho l}{A}$

Burden nominal yang tercantum pada papan nama suatu trafo arus adalah total burden tertinggi pada rangkaian sekunder trafo arus, yang membuat kesalahan pengukuran sama dengan ketelitian yang tercantum pada papan nama trafo arus tersebut. Burden nominal trafo arus yang sudah distandarisasi antara lain adalah: 2,5; 5; 7,5; 10; 15; dan 30 VA.

Tabel 2.6 Burden Alat Ukur Pada 5A/50 Hz

Alat Ukur	Burden (VA)
Ammeter	3
Wattmeter	5
Faltor daya-meter	5
Perekam arus	3
Perekam daya	5
Perekam faktor daya	5
kWH dan KVAR meter	5

Tabel 2.7 Burden Relai Pada Arus Nominal

Jenis Relai	Burden (VA)
Relai Arus Lebih	2
Relai arus lebih-waktu terbalik	1,5 – 5
Relai arus balik	1,8
Relai daya balik	0,07 – 3,5
Relai daya	0,23 – 11,5
Relai diferensial	0,8 – 6
Relai jarak	2 – 25

2.2.9 Kejenuhan Trafo Arus

Pada karakteristik utama dari *current transformer* (CT) untuk proteksi adalah akurasi rendah (kesalahan lebih besar bila dibandingkan untuk pengukuran) dan kejenuhan tegangan (saturation voltage) tinggi.

Accuracy Limit Factor (ALF) dikenal dengan sebutan kejenuhan tegangan. Dimana yaitu *ratio* antara nilai arus lebih primer dan arus primer. Nilai kejenuhan dari *current transformers* di sisi proteksi dapat diekspresikan dengan persamaan dibawah ini:

$$n = nALF \times \frac{S_n + R_{CT} \times I^2 S_n}{S + R_{CT} \times I^2 S_n} \dots\dots\dots 2.11$$

Dimana:

- N = Nilai kejenuhan CT
- nALF = *Acuracy limit factor* (5P15)
- S_n = Burden pengenalan (VA)
- S = Burden sesungguhnya (VA)
- I_{sn} = Arus pengenalan sekunder (A)
- R_{CT} = Tahanan dalam CT pada 75°C (Ω)

Nilai kejenuhan untuk *current transformer* (CT) yang terpasang untuk pengukuran dapat diekspresikan sebagai nilai n, sebagai berikut:

$$n = F_s \times \frac{S_n + R_{CT} \times I^2 S_n}{S + R_{CT} \times I^2 S_n} \dots\dots\dots 2.12$$

Dimana:

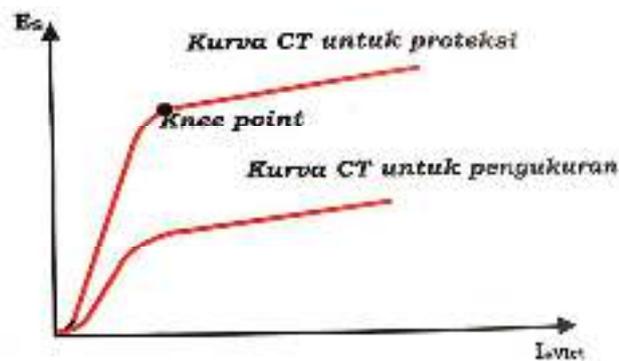
- n = Kejenuhan CT
- F_s = *Security factor* (5 atau 10)
- S_n = Burden pengenalan (VA)
- S = Burden sesungguhnya (VA)
- I_{sn} = Arus pengenalan sekunder (A)
- R_{CT} = Tahanan dalam CT pada 75°C (Ω)

Nilai F_s adalah *instrument security factor*, untuk *current transformer* (CT) yang dipergunakan untuk pengukuran biasanya mempunyai nilai 5 ($F_s = 5$) atau 10 ($F_s = 10$).

Adapun beban *current transformer* (CT) sesuai IEC 60044-1 adalah 2,5 VA, 5 VA, 7,5 VA, 10 VA, 15 VA, 20 VA dan 30 VA.

Catatan: Klas akurasi dikatakan baik, apabila beban antara 25% sampai dengan 100% dari beban pengenal. Perbedaan kejenuhan antara trafo arus untuk pengukuran dan trafo arus untuk proteksi adalah pada tingkat kejenuhannya seperti terlihat pada gambar 2.11.

Pada saat pemberian arus primer tertentu pada trafo arus baik di sisi proteksi maupun pengukuran, arus eksitasi di sekunder akan belok, meskipun arus dinaikkan terus menerus. Pada kondisi ini tegangan eksitasi (E_s) tidak bisa naik lagi sehingga, terjadilah pembelokan dari grafik yang disebut dengan *knee point* (titik lutut) yang diartikan sebagai lutut manusia bengkok (tidak lurus).



Gambar 2.11 Kurva Magnetisasi CT

2.2.10 Pemilihan Trafo Arus

Hal-hal berikut ini perlu dipertimbangkan dalam pemilihan trafo arus:

1. Jenis Trafo Arus

Jika digunakan bersama pemutus daya minyak (bulk oil circuit breaker), maka trafo arus jenis bushing adalah lebih murah. Untuk jenis pemutusan daya yang lain digunakan trafo arus tonggak (post). Ada kalanya trafo arus jenis tonggak dengan belitan terpisah digunakan bersama pemutus daya minyak. Hal ini

dilakukan karena keterbatasan burden dan ketelitian jenis bushing. Jika tegangan pengenal sekunder dirancang 5 A, kabel ukur yang digunakan cukup panjang dan trafo arus yang akan digunakan adalah jenis bushing, maka harus diperiksa apakah burden total dapat dipikul oleh trafo tersebut.

2. Jumlah Kumparan Sekunder

Umumnya trafo dilengkapi dengan dua kumparan sekunder, satu untuk alat ukur dan satu lagi untuk keperluan proteksi. Jika sistem proteksi terdiri atas proteksi primer dan proteksi cadangan, maka dibutuhkan trafo arus dengan inti terpisah.

3. Kelas Ketelitian

Ketelitian untuk berbagai trafo arus pengukuran dan trafo arus untuk proteksi diberikan pada Tabel 2.2 dan Tabel 2.4

4. Pemilihan Burden Pengenal

Burden pengenal trafo arus yang ditetapkan lebih besar daripada burden total, yaitu jumlah impedansi kumparan sekunder trafo, peralatan, dan kabel.

$$\text{Burden total} = Z_s + Z_m + Z_R + Z_k \dots\dots\dots 2.13$$

Di mana :

Z_s = tahanan kumparan sekunder trafo arus

Z_m = tahanan alat ukur

Z_R = tahanan rele

Z_k = tahanan kabel

Impedansi alat ukur dan rele dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini:

$$Z_b = \frac{S_n}{I_n^2} \dots\dots\dots 2.14$$

Di mana :

S_n = beban peralatan (VA)

I_n = arus pengenal (A)

5. Faktor Batas Ketelitian

Untuk meter berinti besi, faktor batas ketelitian tidak perlu tinggi. Untuk keamanan alat ukur, lebih disukai memakai trafo arus yang intinya jenuh pada harga arus sedikit di atas kawasan arus kerja alat ukur. Untuk rele diferensial diperlukan dua set trafo arus, tiap set harus mempunyai karakteristik yang sama. Faktor batas ketelitian untuk rele jarak, biasanya diambil 20, jarang di bawah 10. Faktor batas ketelitian berhubungan dengan beban. Jika beban hanya setengah dari beban pengenal, maka faktor batas ketelitian dapat menjadi dua kali lipat.

6. Pengenal Arus Waktu Singkat

Tekanan mekanis yang dialami trafo arus pada saat hubung singkat tergantung pada harga arus puncak tertinggi, jumlah belitan kumparan primer, dan konfigurasi kumparan. Tekanan mekanis dapat dikurangi dengan mengurangi jumlah belitan dan memperkecil diameter kumparan. Puncak arus tertinggi yang dapat dipikul suatu trafo arus tergantung pada faktor dinamis waktu singkat. Faktor ini umumnya 50 – 100. Untuk trafo komersil dapat dirancang antara 200 sampai dengan 400. Jika faktor dinamis waktu singkat lebih dari 400, maka sebaiknya digunakan trafo arus jenis bar. Tetapi trafo arus jenis bar mempunyai beban, ketelitian, dan faktor batas ketelitian yang terbatas. Jika beban, ketelitian, dan faktor batas ketelitian trafo arus jenis bar tidak sesuai dengan kebutuhan, maka dipilih trafo arus jenis belitan yang arus pengenal primernya ditinggikan sedemikian sehingga faktor dinamis waktu singkat tidak melebihi 400.

7. Tingkat Isolasi

Trafo arus harus mampu memikul sistem pada keadaan normal maupun ketika terjadi tegangan lebih. Oleh karena itu, trafo arus memiliki suatu spesifikasi yang disebut tingkat isolasi, yaitu nilai tegangan uji frekuensi daya, tegangan uji implus petir 1,2/50 μ s, dan tegangan uji implus hubung-buka 250/2500 μ s, yang dapat dipikul trafo arus tersebut. Trafo arus yang akan dipasang pada sistem tegangan di bawah 300 kV harus memiliki spesifikasi tegangan uji frekuensi daya pada kondisi kering dan basah; dan tegangan uji implus petir. Trafo arus yang akan dipasang pada sistem tegangan \geq 300 kV harus memiliki spesifikasi tegangan uji frekuensi daya pada kondisi kering; tegangan uji implus petir; dan tegangan uji hubung-buka pada kondisi basah. Menurut IEC 61869-1, tingkat isolasi trafo arus adalah seperti diperlihatkan pada tabel 2.8.

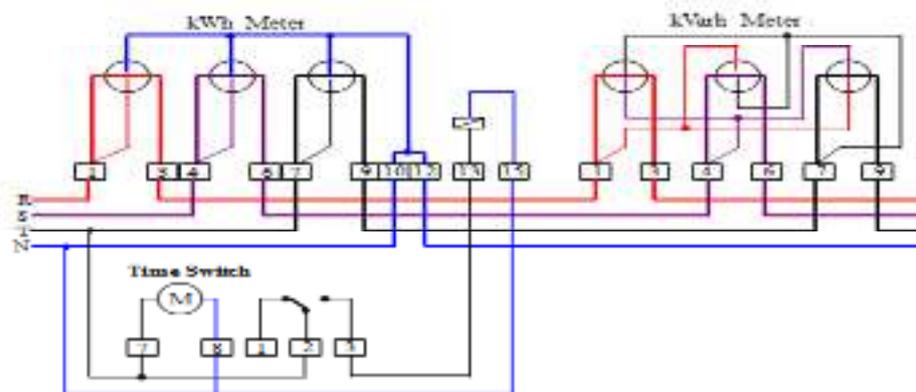
Tabel 2.8 Tingkat Isolasi Trafo Arus

Tegangan Tertinggi Peralatan (V_{maks} , KV-rms)	Ketahanan Terhadap Uji			
	Tegangan Frekuensi Daya (kV-rms)		Tegangan Implus Petir (kV- Puncak)	Tegangan Implus Hubung-Buka (kV-Puncak)
	Kering	Basah		
36	70	70	170	-
52	95	95	250	-
72,5	140	140	325	-
123	230	230	550	-
145	275	275	650	-
170	325	325	750	-
245	460	460	1050	-
300	460	-	1050	850

362	510	-	1175	950
420	630	-	1425	1050
550	680	-	1550	1175
800	975	-	2100	1550
<i>Catatan: Pengujian di Ketinggian <1000 m di atas permukaan laut, titik netra dibumikan</i>				

2.3 KWH meter Tarif Ganda

KWH meter adalah alat yang digunakan untuk mengukur energi listrik. KWH meter yang dipasang oleh PT PLN (Persero) bertujuan untuk mengetahui pemakaian beban listrik yang digunakan oleh pelanggan. Diagram Pengawatan KWH meter Tarif ganda ditunjukkan Gambar 2.13.

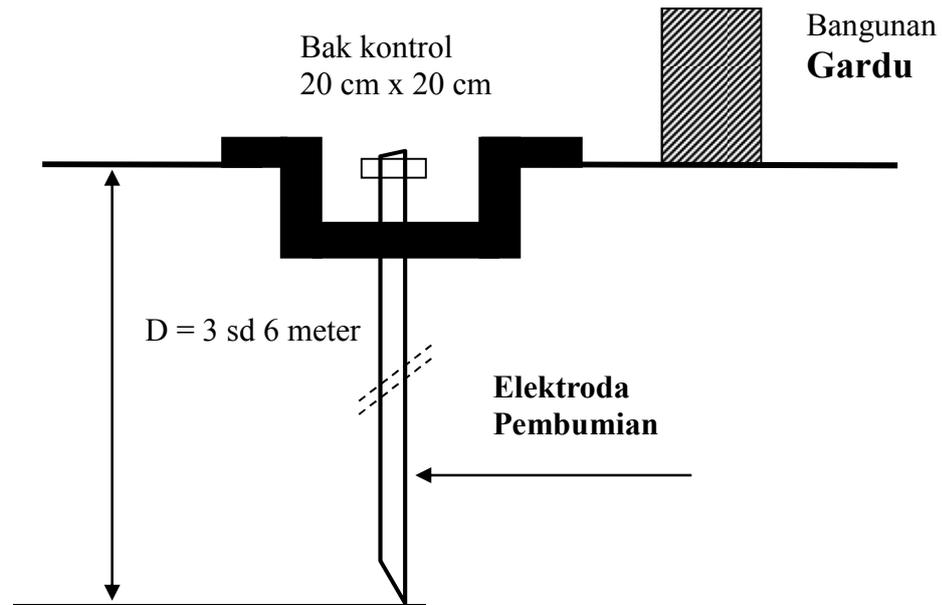


Gambar 2.12. Diagram Pengawatan KWH meter Tarif ganda

Energy Listrik yang di distribusikan ke pelanggan di ukur dengan menggunakan alat pengukur yaitu KWh meter, KVarhmeter. KWh meter berfungsi untuk mengukur energy aktif/daya aktif sedangkan KVarhmeter mengukur energy reaktif/daya reaktif. Alat ukur tersebut merupakan meter yang digunakan sebagai alat transaksi jual beli energy listrik dengan pelanggan.

2.4 Instalasi Pembumian (Grounding)

Instalasi pembumian pada gardu berdasarkan ketentuan yang diberlakukan. Adapun tujuan utamanya adalah mendapatkan nilai pentanahan elektroda sebesar ≤ 5 ohm.



Gambar 2.13a. Instalasi Pembumian

Instalasi pembumian di PT. PLN pada umumnya menggunakan 1 x 50 mm² Cu Penggunaan elektroda batang pada gardu distribusi, memakai elektroda dengan kedalaman 3-6 meter. Jarak tanam minimal 2 meter atau sejarak 1 x panjang elektroda. Pada terminal keluar harus diberi bak kontrol untuk memudahkan dilakukan pemeliharaan dan melakukan pengukuran tahanan pentanahan.

Pembumian sistem adalah hubungan secara Elektris antara sistem dengan tanah melalui transformator yang mempunyai belitan Y.

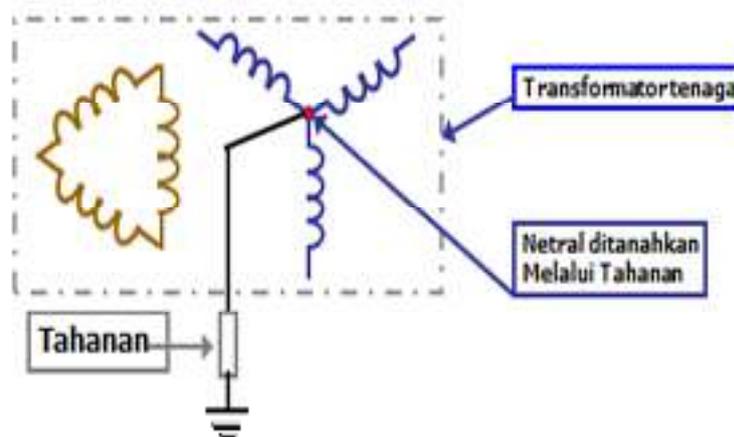
Kegunaan (pada sistem 3 fasa adalah Pengaman Sistem dari gangguan tanah, Pengaman Isolasi Peralatan Instalasi akibat tegangan lebih sewaktu gangguan fasa-tanah

Pembumian Peralatan adalah hubungan antara peralatan listrik dengan tanah/bumi, Kegunaannya adalah Sebagai pengaman bagi manusia dan peralatan instalasi jika terjadi kebocoran listrik pada peralatan.

Macam / Jenis pembumian system adalah Pentanahan melalui tahanan (*resistance grounding*), Pentanahan melalui reaktor (*reactor grounding*), Pentanahan langsung (*effective grounding*), Pentanahan melalui reaktor yang impedansinya dapat berubah-ubah (*resonant grounding*) atau pentanahan dengan kumparan Petersen (*Petersen Coil*). Pembumian Netral Melalui Tahanan ditunjukkan Gambar 2.13b.

Netral Sistem dari transformator 3 fasa dengan hubungan Y yang dihubungkan dengan tanah melalui tahanan

Guna: Membatasi besar arus gangguan tanah tetapi relai gangguan tanah masih kerja baik



Gambar 2.13b. Pembumian Netral Melalui Tahanan

nilai tertentu dalam waktu yang cukup, terdiri dari pelebur jenis pembatas arus yang kerjanya dalam selang waktu tertentu, membatasi arus yang lewat ke suatu nilai yang cukup rendah dari arus puncak arus perkiraannya

2.7 Ligthing Arrester (LA)

Komponen system yang berfungsi untuk memperkecil terjadinya gangguan internal maupun eksternal untuk mencegah kerusakan pada peralatan akibat sambaran petir adalah pemasangan arrester. Arrester adalah peralatan pengaman instalasi dari gangguan tegangan lebih akibat sambaran petir (Ligthing surge) maupun oleh surja hubung (Switching surge). Arrester berfungsi sebagai alat untuk melindungi instalasi atau mengamankan instalasi dari gangguan tegangan lebih yang di akibatkan oleh sambaran petir atau tegangan transient yang tinggi dari suatu penyambung atau pemutus ragkaian, alat ini bersifat sebagai by-pass di sekitar instalasi yang membentuk jalan yang mudah dilalui oleh arus kilat ke sistem pentanahan sehingga menimbulkan tegangan lebih yang tinggi dan tidak merusak isolasi peralatan listrik. By-pass ini harus sedemikian rupa sehingga tidak mengganggu aliran daya ke konsumen.

Komponen arrester memiliki kemampuan untuk mengamankan peralatan listrik dari gangguan sambaran petir. Alat pengaman ini memiliki nilai tahanan yang tidak linear pada setiap tingkat tegangan dan arus. kinerja arrester sangat di pengaruhi oleh krakteristik arrester terutama dalam merespon tegangan lebih yang datang pada terminalnya. oleh sebab itu sangat penting mengetahui bentuk kerja arrester ,dalam merespon (menaggapi) tegangan lebih dengan berbagai macam muka gelombang (wafe front). Disamping itu perlu diketahui juga nilai tegangan residu arrester, karena implus merupakan ancaman yang membahayakan bagi peralatan listrik apabila besarnya melebihi BIL peralatan yang dilindungi.

Dalam sistem gardu tenaga listrik arrester merupakan kunci koordinasi isolasi. saat surja (surge) tiba di gardu kemudian arrester akan melepaskan muatan listrik dan muatan abnormal yang akan mengenai gardu induk dan peralatan akan berkurang. Setelah surja dilepaskan melalui arrester masih terdapat arus mengalir di karenakan tegangan sistem yang di sebut sebagai arus dinamik atau arus susulan (follow current). Arrester harus memiliki ketahanan termis yang cukup terhadap energi dari arus susulan tersebut, serta harus mampu memutuskannya. termis yang cukup terhadap energi dari arus susulan tersebut, serta harus mampu memutuskannya.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Perancangan Penelitian

Perancangan penelitian adalah suatu rencana yang terperinci dan spesifik tentang bagaimana menganalisis dan menginterpretasi data. Dalam perancangan penelitian ini metode yang digunakan adalah metode kuantitatif. Metode kuantitatif merupakan suatu metode penelitian dimana datanya berupa angka-angka dan analisis statistik. Sedangkan, dalam proses pengambilan data metode yang digunakan adalah metode observasi. Metode observasi adalah suatu metode dimana peneliti terlibat langsung dalam pengambilan data. Berikut ini adalah tahapan-tahapan dalam penelitian yaitu :

3.1.1 Studi Literatur

Penulis melakukan kegiatan dengan studi literatur untuk mencari teori-teori yang relevan dengan permasalahan yang ditemukan. Pencarian dilakukan dari berbagai sumber yaitu buku referensi dan jurnal-jurnal. Sehingga informasi yang didapat dari studi ini dijadikan rujukan untuk argumentasi yang ada.

3.1.2 Observasi Lapangan

Observasi adalah metode pengumpulan data melalui pengamatan langsung atau peninjauan secara cermat dan langsung dilapangan atau lokasi penelitian. Dalam hal ini peneliti dengan berpedoman kepada desain penelitiannya perlu mengunjungi lokasi penelitian untuk mengamati langsung berbagai hal atau kondisi yang ada di lapangan. Penemuan ilmu pengetahuan selalu dimulai dengan observasi dan kembali kepada observasi untuk membuktikan kebenaran ilmu pengetahuan tersebut.

Penelitian ini dilakukan dengan pengamatan secara langsung ke lapangan tempat peneliti melaksanakan penelitian, dalam hal ini peneliti melakukan penelitian yaitu di PT. Beng P Garuda Mas.

3.1.3 Pengumpulan Data

Pengumpulan data-data yang dibutuhkan dalam penyelesaian proyek tugas akhir adalah dengan cara:

a. Pengukuran Langsung

Teknik pengumpulan data dilakukan dengan alat uji

b. Wawancara

Teknik pengumpulan data dengan melakukan Tanya jawab secara langsung dengan pegawai atau petugas, yang berkaitan dengan judul penelitian.

3.1.4 Pengolahan Data

Pengolahan data merupakan sebuah proses manipulasi data untuk menjadi sebuah informasi. Kumpulan data yang awalnya tidak memiliki informasi yang dapat disimpulkan jika dilakukan proses pengolahan data maka akan menghasilkan informasi. Informasi merupakan hasil dari pemrosesan data tertentu yang bermakna serta dapat digunakan untuk mengambil keputusan suatu perusahaan terkait. Pengolahan data terdiri dari beberapa kegiatan yaitu pencarian data, pengumpulan data, pemeliharaan data, pemeriksaan data, perbandingan data dan penggunaan data.

Pada penelitian ini peneliti menggunakan metode kuantitatif dan kuantitatif adalah melakukan perhitungan dengan data yang ada pada nameplate alat tersebut.

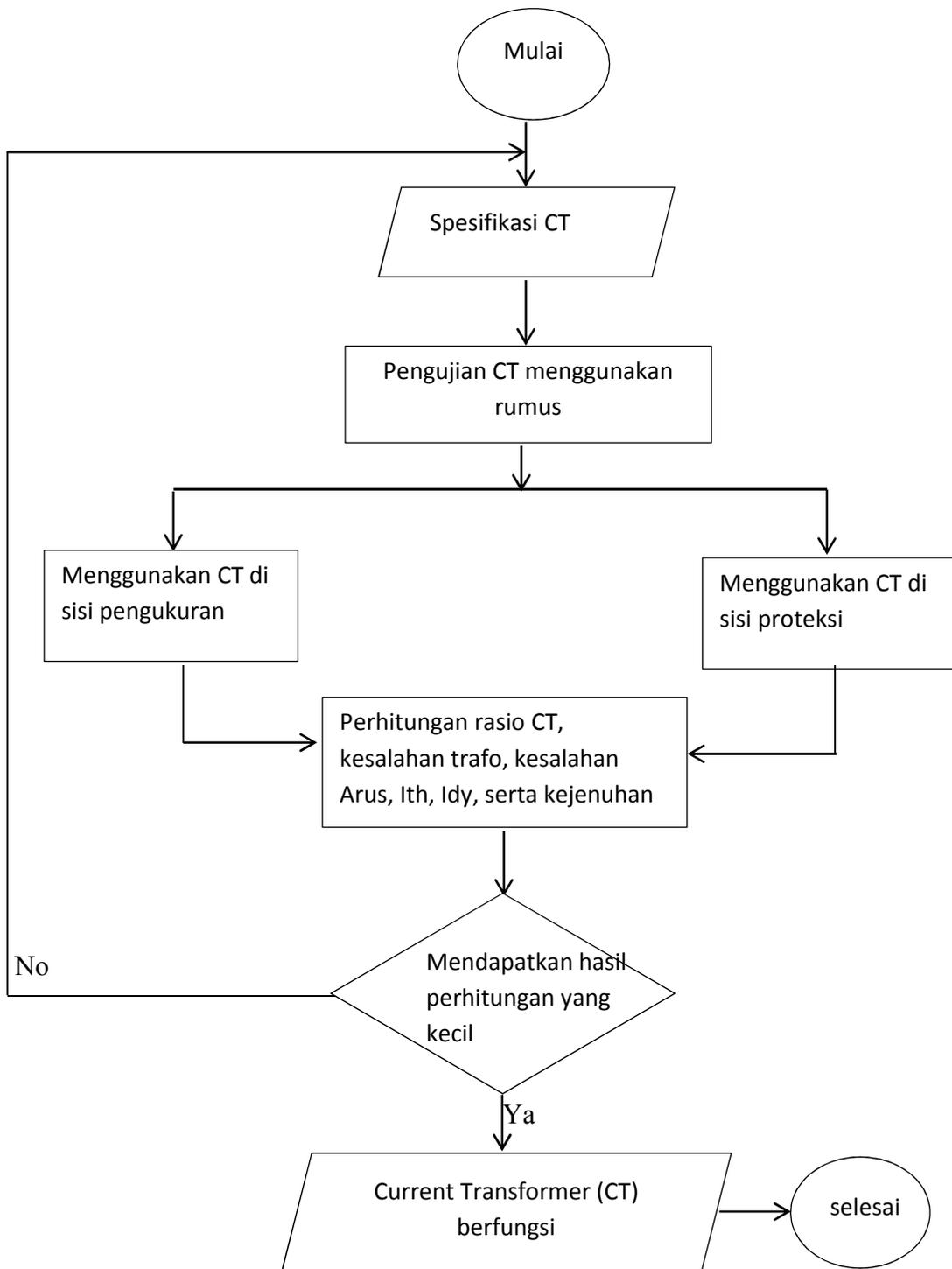
3.1.5 Fokus Penelitian

Yang menjadi focus penelitian pada proyek akhir ini yaitu kesalahan pengukuran energi listik akibat *current transformer (CT)* tidak berfungsi sesuai standart pada pelanggan khusus di PT. PLN (Persero).

3.1.6 Penulisan Laporan

Penulisan laporan disusun sesuai data yang diperoleh secara langsung dari nameplate yang ada pada alat uji dan secara tidak langsung dengan menggunakan rumus yang berkaitan, sehingga menjadi laporan penelitian yang dapat memberikan gambaran penelitian secara utuh.

3.1.7 Diagram Alir (Flowchart)



Gambar 3.1 Flowchart Diagram Alir Kegiatan

3.2 Teknik Analisis

Penelitian kuantitatif merupakan pendekatan penelitian yang banyak menggunakan angka mulai dari pengumpulan data hingga ke penampilan hasilnya, dimana pengambilan data dilakukan dengan menggunakan metode observasi yaitu penulis terlibat langsung dalam pengujian *Current Transformer (CT)* apakah CT berfungsi sesuai dengan standart pada pelanggan khusus.

3.3 Meneliti Kesesuaian Spesifikasi Teknis

Meneliti spesifikasi teknis dari semua material yang terpasang dalam sistem Gardu Distribusi. Uji fisik hasil pelaksanaan yaitu meneliti:

1. Apakah hasil pelaksanaan telah memenuhi persyaratan fisik (***Sudah kokoh, tidak goyang***), tekukan, belokan kabel dan lain-lain
2. Meneliti mekanisme kerja peralatan
3. Meneliti kebenaran pengkabelan, pengawatan instalasi
4. Meneliti kekencangan ikatan-ikatan mur, baut, konektor dan lain-lain
5. Meneliti kabel-kabel instalasi bahwa tidak menahan beban mekanik selain beban sendiri
6. Meneliti pengkabelan (wiring) instalasi control
7. Melakukan uji tahanan isolasi dengan alat megger pada tiap antar fasa dan fasa tanah (**referensi PUIL 1 volt = 1 kilo ohm**), pada sisi TM dan TR
8. Melakukan Uji tahanan pada transformator. Uji ketahanan Impulse, uji withstand test 50 kV per 1 menit. Uji Power Frekwensi, uji tegangan 24 kV selama 15 menit
9. Melakukan Uji alat proteksi : Uji fisik pengaman lebur dengan multi meter, Uji Relay proteksi , Uji alat-alat control
10. Setelah dioperasikan maka dilakukan uji untuk kerja alat-alat kontrol (lampu, voltmeter, ampere meter)
11. Tim Komisioning akan mendokumentasikan Hasil uji layak operasi

3.4 Kesalahan Transformator (*Transformer error*)

Dengan rumus yaitu:

$$K_n = \frac{I_p}{I_s} \dots\dots\dots 3.1$$

Dimana :

K_n = Perbandingan transformasi

I_p = Arus Primer (A)

I_s = Arus Sekunder (A)

3.5 Kesalahan Arus (*current error*)

$$\varepsilon = \frac{K_n * I_s - I_p}{I_p} * 100\% \dots\dots\dots 3,2$$

Dimana :

K_n = Perbandingan transformasi

I_s = Arus sekunder sebenarnya (Amp)

I_p = Arus primer sebenarnya (Amp)

ε = Kesalahan Arus (%)

3.6 Factor Keselamatan Instrumen (*Instrument Security Factor*), F_s

Adalah perbandingan arus keamanan dengan arus pengenal primer atau dapat dituliskan :

$$F_s = \frac{I_{ps}}{I_{pnom}} \dots\dots\dots 3.3$$

Dimana:

F_s = *Security factor*

I_{ps} = Nilai arus lebih primer (A)

I_{pnom} = Nilai arus primer (A)

Nilai F_s untuk peralatan instrument biasanya 5 atau 10

3.7 Rate Dynamic Current (I_{dyn})

Adalah nilai puncak dari arus primer current transformer (CT), tanpa ada kerusakan dari segi apapun. Persamaannya yaitu:

$$I_{dyn} = 2,5 \times I_{th} \dots\dots\dots 3.4$$

Dimana:

I_{dyn} = Nilai puncak dari arus primer CT (kA/1s)

2,5 = Ketetapan konstanta

3.8 Rated Short – Time Thermal (I_{th})

Adalah nilai arus primer current transformer (CT) yang tidak rusak dalam satu detik pada gangguan hubung singkat

$$I_{th, t} = \frac{I_{th}}{\sqrt{t}} \dots\dots\dots 3.5$$

Dimana:

$I_{th,t}$ = Nilai rms arus primer per satuan detik

I_{th} = Nilai rms CT (kA/1s)

t = waktu (1 s)

3.9 Kejenuhan CT

Kejenuhan CT ada dua yaitu pada sisi primer CT dan pada sisi sekunder CT. Adapun rumusnya yaitu:

1. Kejenuhan CT pada sisi primer (proteksi)

$$n = nALF \times \frac{S_n + R_{CT} \times I^2 S_n}{S + R_{CT} \times I^2 S_n} \dots\dots\dots 3.6$$

Dimana:

N = Nilai kejenuhan CT

nALF = *Acuracy limit factor* (5P15)

S_n = Burden pengenalan (VA)

S = Burden sesungguhnya (VA)

I_{sn} = Arus pengenalan sekunder (A)

RCT = Tahanan dalam CT pada 75°C (Ω)

2. Kejenuhan CT pada sisi sekunder (Pengukuran)

$$n = F_s \times \frac{S_n + R_{CT} \times I^2 S_n}{S + R_{CT} \times I^2 S_n} \dots\dots\dots 3.7$$

Dimana:

n = Kejenuhan CT

Fs = *Security factor* (5 atau 10)

Sn = Burden pengenal (VA)

S = Burden sesungguhnya (VA)

Isn = Arus pengenal sekunder (A)

RCT = Tahanan dalam CT pada 75°C (Ω)