

ANALISIS KEGAGALAN CURRENT TRANSFORMER (CT) TIPE DUA BELITAN SEKUNDER DENGAN INTI MAGNETIK TERPISAH PADA SISTEM PROTEKSI DAN PEMBATAS DAYA

Iriandi Ilyas dan Muhamad Taufan Agassy

program Studi Teknik Elektro FTI-ISTN

Jl. Moh. Kahfi II Jagakarsa, Jakarta Selatan

email : iriandiilyas@istn.ac.id dan mtaufanagassy@yahoo.com

ABSTRAK

Current transformer berfungsi untuk mentransformasikan arus besar ke arus kecil yang digunakan untuk instrument pengukuran energi listrik pembatas daya dan proteksi jaringan tenaga listrik , current transformer mempunyai banyak tipe , penggunaan current transformer dalam fakta sesungguhnya seperti daya listrik yang diminta oleh konsumen kepada produsen penyedia tenaga listrik pada daya 53 kVA sampai 197 kVA menggunakan tipe current transformer rasio tunggal dan daya >197 kVA menggunakan tipe transformator dua belitan sekunder dengan inti magnetik terpisah Pada tipe inilah current transformer dengan rasio yang berbeda mempunyai nilai kejenuhan yang berbeda juga akibat nilai arus gangguan yang tinggi , sehingga tidak mampu memberikan nilai arus sekunder yang akurat sesuai kelas dan kemampuan current transformer terhadap instrument pengukuran, pembatas daya dan proteksi jaringan tenaga listrik dengan menganalisa kegagalan tipe tersebut dapat menjadi referensi atau acuan dalam penggunaan current transformer dengan pemilihan tipe , rasio dan kelas akurasi yang sesuai pada jaringan tenaga listrik

Kata kunci : Current transformer (CT) , Arus gangguan , Kejenuhan

ABSTRACT

Current transformers function to transform large currents into small currents used for electrical energy measurement instruments, power limitation and protection of electric power networks, current transformers have many types, the use of current transformers in actual facts such as electrical power requested by consumers to producers of electricity providers at 53 kVA to 197 kVA using a single ratio current transformer type and > 197 kVA using a secondary twisting transformer type with a separate magnetic core In this type of current transformers with different ratios have different saturation values also due to high interference current values, so they are not able to provide an accurate secondary current value according to the class and the ability of current transformers against measuring instruments, power limitation and protection of electric power networks By analyzing the failure of these types can be a reference or reference in the use of current transformers by selecting the appropriate type, ratio and accuracy class on the electricity network

Keywords: Current transformers (CT), Fault currents, Saturation

I PENDAHULUAN

Proteksi ketenaga listrikan memberikan efek terganggu sehingga upaya penormalan sistem yang cepat dan handal disamping itu sebagai produsen penyedia jasa energi listrik maka pengguna ketenagalistrikan memiliki kontrak jual beli tenaga listrik dengan produsen penyedia energi listrik atau dalam hal ini konsumen menyepakati daya kontrak yang di ajukan kepada perusahaan listrik negara, berdasarkan kinerja sistem proteksi yang kurang handal serta setting pembatas daya yang gagal diterapkan karena kondisi-kondisi tertentu serta belum adanya regulasi perusahaan listrik negara penggunaan current transformer (CT) pada tipe dua belitan sekunder dengan inti magnetik terpisah yang berpengaruh terhadap proteksi dan pembatas daya tersebut. (SPLN, 2019)

II CURRENT TRANSFORMER DAN INSTRUMENT CURRENT TRANSFORMER

2.1. Current transformer (CT)

CT berfungsi mentransformasikan arus besar menjadi arus kecil , yang digunakan untuk pengukuran atau proteksi dan juga sebagai isolasi antara sisi tegangan yang diukur / di proteksi dengan alat ukurnya, selain itu fungsi current transformer Sebagai isolasi sirkuit sekunder dari sisi primernya. konstruksi Current transformer dengan tipe dua belitan sekunder banyak terpasang pada Jaringan tenaga listrik dari konsumen 125 kV sampai 20 kV dan ditempatkan pada Setiap current transformer yang akan diuji kelayakan berdasarkan spesifikasi dan standard kelistrikan dan produsen penyedia energi listrik , maka dari itu perlu di lakukan penelitian dan pengujian laboratorium untuk menentukannya.

2.2 Definisi Sistem proteksi

Jaringan distribusi berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik ke pihak konsumen. Karena fungsinya tersebut maka keandalan menjadi sangat penting dan untuk itu jaringan distribusi perlu dilengkapi dengan alat pengamanan , gardu

Distribusi Berfungsi untuk tempat pengumpul pembagi serta menyalurkan tenaga listrik serta tempat untuk pengubah tegangan sebelum disalurkan ke konsumen

III KEJENUHAN CURRENT TRANSFORMER TERHADAP SISTEM PROTEKSI DAN PEMBASTAS DAYA

3.1 kejenuhan current transformer

Kejenuhan di pengaruhi oleh pemilihan serta penggunaan yang tepat khususnya bagaimana kinerja CT dapat memberikan output yang tepat untuk ditangkap oleh relai sebagai sistem proteksi ataupun sebagai pembatas daya maka dari itu di perlukan instrument yang mendukung dan dipergunakan dengan peralatan lain seperti relai alat ukur atau rangkaian kontrol dan instrument lainnya. Arus primer membangkitkan fluks ϕ pada inti besi makin besar arus primer maka makin padat fluks ϕ yang mengalir di inti besi , pada nilai arus primer tertentu inti besi tidak mampu menampung fluks ϕ yang harus dialirkan, akibatnya nilai (E_s) tidak mampu untuk naik lagi sehingga error ratio mulai naik sehingga membuat output sekunder current transformer menjadi collapse.

3.2 Menghitung kejenuhan current transformer

Menghitung kejenuhan current transformer dapat dilakukan dengan memperhatikan factor kejenuhan inti dan tegangan Knee (V_k) dimana akurasi masih bisa dicapai

3.2.1 Metode unjuk kerja kurva eksitasi

Yang perlu diperhatikan apakah current transformer tidak jenuh jika arus yang melewati sama / lebih kecil dari batas arus dari standar ketelitian atau arus composite , dan bahan untuk dilakukan analisis didapatkan dari hasil pengujian current transformer dengan alat uji analyzer current transformer, dengan metode ini ada beberapa cara yang dapat dipakai yaitu pertama cara standar VDE 0414.b.12.62 Eogl , dan perhitungan over current factor n

$$\frac{U_o}{I_o} = 7 (Z + Z_i) \dots \dots \dots (1)$$

Dimana : $Z_i = R_i (0,8 + 0,6 \tan \phi_i)$

$Z = \text{rated burden } (VA / I_2^2)$

Z_i = beban operating current transformer
 R_i / R_{ct} = tahanan belitan sekunder current transformer
 U_o = tegangan eksitasi sekunder hasil uji
 I_o = arus eksitasi sekunder hasil uji
 jenis current transformer tipe bar maka tan β adalah 0,75 dan yang ring adalah 0 (nol)
 Dan nilai arus lebih n adalah

$$n = \frac{U_o / I_2 n}{0,9 (Z + Z_i)} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana :
 $I_2 n$ = arus nominal sekunder
 n untuk pengukuran < x , dan untuk proteksi > x , x = rated arus lebih
 dengan cara yang kedua di kenal dengan sebutan Fs (security factor) untuk core pengukuran dan ϵ_c (composite) untuk proteksi dengan hasil uji current transformer , persamaan untuk Fs (security factor) core pengukuran adalah

$$Z_b = \frac{S_b}{(I_2 n)^2} \dots \dots \dots (3)$$

$$X_b = Z_b \sin \beta \dots \dots \dots (4)$$

$$R_b = Z_b \cos \beta \dots \dots \dots (5)$$

$$R_{75} = \frac{234.5 + 75}{234.5 + V_o} \times R_o \dots \dots \dots (6)$$

$$Z = \sqrt{(R_{75} + R_b)^2 + X_b^2} \dots \dots \dots (7)$$

$$F_s = \frac{U_o}{I_2 n \times Z} \dots \dots \dots (8)$$

Persamaan kesalahan ϵ_c (proteksi)

$$\epsilon_c = \frac{I_o}{I_2 n \times ALF} \dots \dots \dots (9)$$

$$U_o = I_2 n \times Z \times ALF \dots \dots \dots (10)$$

Dimana pada perhitungan factor kemanan Fs
 U_o diukur pada $I_o = 10\% \times I_2 n \times F_s N$
 R_o diukur pada temperature ruang V_o $R_o =$ total tahanan sekunder
 $V_o =$ temperature ruang
 $F_s N =$ factor keamanan instrument
 $I_2 n =$ arus sekunder CT
 $S_b =$ beban CT
 $I_o / I_e =$ arus eksitasi
 $V_o / V_e =$ tegangan eksitasi $\cos \beta = 0,8$

3.2.2 Metode IEEE

Dengan metode ini untuk melihat ketelitian current transformer dengan perhitungan tegangan yang dihasilkan pada sisi sekunder pada saat arus melewati sisi primer sebesar arus composite atau lebih kecil dari arus

composite,
 Burden relay =

$$\frac{\text{Arus settingan}}{(\text{Arus sekunder CT})^2} \dots \dots \dots (11)$$

$$\text{Total beban} = Z_s + Z_{id} + Z_r \dots \dots \dots (12)$$

Dimana:
 Z_s / R_{ct} = secondary winding resistance
 Z_{id} = resistance kabel penghubung
 $Z_r /$ beban relay

$$V_{sf} = I \text{ gangguan sekunder CT} \times \text{total burden} \dots \dots \dots (13)$$

Jika kedua arus sefasa

$$I_s = I \text{ sekunder CT} + \text{Nilai I eksitasi hasil uji} \dots \dots \dots (14)$$

$$I_p = \text{Rasio CT} \times I_s$$

$$\text{Jika kedua arus berbeda fase } 90^\circ I_s = \sqrt{I \text{ sekunder CT}^2 + \text{Nilai I eksitasi uji}^2} \dots \dots \dots (15)$$

Mencari nilai n kali arus setelan dengan nilai arus hubung singkat pada metode ini:
 Besar arus hubung singkat minimum = Arus hubung singkat minimum / I_p besar arus hubung singkat maksimum = Arus hubung singkat maksimum / I_p , arus gangguan sisi sekunder current transformer Arus gangguan maksimum / rasio CT , Penggunaan Over load Relay yaitu mencari nilai Arus setting menggunakan persamaan

$$I_{set \text{ primer}} = ("K") \times \text{Arus nominal} \dots \dots (16)$$

$I_{set \text{ sekunder}} = 9,923519048 /$ rasio current transformer ,dimana: Setting thermal : 13,49 menit

Penggunaan Over current relay adalah Selain pembatas daya, pasokan ke konsumen maupun pada penyulang diperlukan proteksi dari gangguan hubung singkat yang dalam hal ini menggunakan over current relai , konsumen di izinkan untuk menarik daya listrik sebesar 1,5 x arus daya kontrak selama kurang dari 5 menit untuk relai over load , dalam menentukan arus gangguan hubung singkat memerlukan beberapa data MVA hubung singkat pada bus 150 kV , kemudian data atau name plate transformator , impedansi urutan positif, negative dan impedansi Nol pada penyulang, Arus beban penyulang dan rasio current transformer penyulang

MVA short circuit = *MVA di busbar* x arus hubung singkat 3 fasa.....(17)
 Perhitungan Impedansi sumber diambil dari arus beban puncak dari system interkoneksi ke gardu induk, impedansi sumber pembangkit, impedansi transformator tenaga di pusat listrik dan impedansi transmisi, perhitungan arus gangguan hubung singkat pada sisi 20 kV , maka impedansi sumber tersebut harus dikonversi ke

sisi 20 kV , sehingga arus gangguan hubung singkat nanti mempergunakan tegangan 20 kV

$$X_{sumber} = \frac{kV^2}{MVA_{sc}} \dots\dots\dots(18)$$

$$X_{sc} \text{ (sisi 20 kV)} = \frac{20^2}{150^2} \text{ impedansi sumber}$$

 Perhitungan reaktansi urutan positif dan negative dimana $X_{T1} = X_{T2}$

$$X_T \text{ (pada 100\%)} = \frac{kV^2}{MVA}$$

Nilai reaktansi trafo ini adalah yaitu nilai reaktansi urutan positif dan negative $X_{T1} = X_{T2}$ sehingga dengan menggunakan persamaan dibawah untuk mencari X_{T1} dan X_{T0} , $X_{t1} = (\text{impedansi trafo}/100) \times (\text{teg.sekunder trafo})^2 / (\text{kapasitas trafo})$(19)

dimana: $X_{T1} = X_{T1} (\%) \times X_{T1} \text{ (ohm)}$
 $X_{T0} = 3 \times X_{T1}$

Kemudian perhitungan impedansi penyulang tergantung dari besarnya impedansi per km (ohm/km) dari penyulang yang dihitung , dan menyesuaikan dengan jenis penghantar , luas penampang dan panjang jaringan SUTM (saluran udara tegangan menengah) atau SKTM (saluran kabel tegangan menengah)

Mencari nilai Impedansi kabel dengan persamaan dibawah ini:

$$Z = (R + jX) \text{ ohm/km} \dots\dots\dots(20)$$

Perhitungan impedansi ekuivalen dan arus gangguan adalah perhitungan besarnya nilai impedansi ekuivalen urutan positif , negative dan urutan Nol dari titik gangguan sampai ke sumber perhitungan tersebut menjumlahkan impedansi- impedansi yang ada , dan untuk impedansi urutan nol dimulai dari titik gangguan sampai ke transformator yang netralnya

diketanahkan dalam menentukan R fault dan X fault menggunakan persamaan(21)

$$R_{1GI-fault} = R_{1sumber} + R_{1trafo} + R_{1GI-RG215} + R_{1RG215-GH158}$$

$$X_{1GI-fault} = X_{1sumber} + X_{1trafo} + X_{1GI-RG215} + X_{1RG215-GH158}$$

$$R_{0trafo} \text{ dicari menggunakan persamaan } R_{0trafo} = R + (3 \times \text{nilai NGR}) \dots\dots\dots(22)$$

Perhitungan impedansi ekuivalen didasarkan dengan perhitungan arus gangguan 3 fasa , 2 fasa , dan 1 fasa-tanah , dalam perhitungan tiap 1% , 5% sampai 100% panjang jaringan mencari arus

gangguan 3 fasa adalah $I_{f3\phi} = \frac{E_{fasa}}{Z_1 + Z_f}$, dalam hal ini perhitungan dilakukan pada segment gangguan yang melewati GH 58 ke RG215 dan Gardu induk sampai kesumber Arus gangguan pada saat 3 fasa segment

$$\frac{V_{l-i}/\sqrt{3}}{\sqrt{(R_{1GI-fault})^2 + (X_{1GI-fault})^2}} \dots\dots\dots(23)$$

Pada arus gangguan 2 fasa adalah

$$I_{f2fasa} = \frac{E_{fasa-fasa}}{2Z_1 + Z_f}$$
 , dengan perhitungan segment dibawah arus gangguan pada saat 2 fasa segment

$$\frac{V_{l-i}}{\sqrt{(2 \times R_{1GI-fault})^2 + (2 \times X_{1GI-fault})^2}} \dots\dots\dots(24)$$

Pada arus gangguan 1 fasa-tanah adalah

$$I_{f1fasa-tanah} = \frac{3 \times E_{fasa}}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f}$$
 , dan perhitungan segment nya sebagai berikut arus gangguan pada saat 1 fasa - tanah segment

$$\frac{3 \times V_{l-i}/\sqrt{3}}{\sqrt{(2 \times R_{1GI-fault} (+) + R_{0gi-fault} (0))^2 + (2 \times X_{1GI-fault} + X_{0GI-fault} (0))^2}} \dots\dots\dots(25)$$

IV PERHITUNGAN DAN ANALISIS

4.1 Perhitungan Arus Hubung Singkat

current transformer yang akan di uji dengan data sebagai berikut ,

Tabel 1 Data pengujian current transformer

| NO | NO SERI | KODE GARDU | RASIO |
|----|-----------|------------|-------|
| 1 | 18t48942 | RG 215 | 150/5 |
| 2 | 19c031687 | RG 215 | 800/5 |
| 3 | 0815160/2 | RG 215 | 20/5 |
| 4 | 13c111160 | RG 215 | 40/5 |
| 5 | 19t12404 | RG 215 | 10/5 |
| 6 | 18t48905 | RG 215 | 100/5 |
| 7 | 201603636 | RG 215 | 100/5 |
| 8 | 19t00869 | RG 215 | 300/5 |

Rasio diatas adalah Rasio CT yang telah di uji mulai dari rasio transformasi terendah sampai rasio CT transformasi yang paling tinggi dan pernah digunakan pada gardu distribusi

Arus hubung singkat yang melewati gardu RG215

| | | |
|-------------------------------|--------|--------------------|
| Kapasitas | 60 | MVA |
| Impedansi Trafo | 12,7 | %, Xt1= 0,8467 Ohm |
| Volt Primer | 150 | kV |
| Volt Sekunder | 20 | kV |
| Belitan Delta | ADA | Xto = 2,54 Ohm |
| Kapasitas Delta | 20 | MVA |
| I Nominal 20 kV | 1732,1 | Amper |
| Ratio C.T (20 kV) | 2000 | 2 |
| Pentanahan Netral 20 kV (NGR) | 12 | |

Gambar 1 Name plate trafo 3 GI kemang
 Menghitung impedansi sumber dari data hubung singkat sisi bus 150 kV ,Arus hubung singkat 3 phasa 26,44849 kA , Arus hubung singkat 1 phasa 28,44002 kA MVA short circuit dicari menggunakan persmaan 17

MVA short circuit = 3967,27 MVA dibusbar Impedansi sumber dengan persamaan 18
 $X_{sc} (sisi 20 kV) = 0,10 ohm$

$X_T (pada 100%) = \frac{kV^2}{MVA} = \frac{20^2}{60} = 6,66 ohm$
 Nilai reaktansi trafo ini adalah nilai reaktansi urutan positif dan negative $X_{T1} = X_{T2}$ sehingga $X_{T1} = X_{T1} (\%) \times X_{T1} (ohm) = 12,7 \% \times 6,666 ohm = 0,84 ohm$

$X_{T0} = 3 \times X_{T1} = 3 \times 0,846582 = 2,53 ohm$
 luas penampang dan panjang jaringan saluran udara tegangan menengah atau jaringan saluran kabel tegangan menengah penghantar 20 kV

menggunakan kabel tanah XLPE 3 x 300 mm² Impedansi kabel luas penampang 300 mm² dihitung dengan persamaan 20

$Z = (R + jX) ohm/km$
 $Z_1 = Z_2 = (0,100 + j 0,0940) ohm/km$
 $Z_0 = (0,2500 + j 0,2820) ohm/km$

Jika panjang GI ke Gardu RG215 adalah 5344,52 meter , dan RG215 ke GH 158 adalah 506,53 meter maka perhitungannya adalah :

$Z_1 = Z_2 = (0,530 + j 0,498) ohm$
 $Z_1 = Z_2 = (0,051 + j 0,048) ohm$
 $Z_0 = (1,325 + j 1,495) ohm$
 $Z_0 = (0,127 + j 0,143) ohm$

4.2.1 Perhitungan Arus gangguan hubung singkat penyulang Hebat

untuk mencari nilai Impedansi urutan positif pada penyulang hebat

$$R_{1GI-RG215} = 0,0053 \quad , \quad X_{1GI-RG215} = 0,0050$$

$$R_{1RG215-GH158} = 0 \quad , \quad X_{1RG215-GH158} = 0$$

Menentukan nilai R fault dan X fault menggunakan persamaan 21 pada semua segment

$$R_{1GI-fault} = 0,0053, X_{1GI-fault} = 0,9525$$

Arus gangguan 3 fasa

$$= \frac{20.000}{\sqrt{3}} = \sqrt{(0,0053)^2 + (0,9525)^2} = 12122,65 A$$

Arus gangguan 2 fasa

$$= \frac{20.000}{\sqrt{(2 \times 0,0053)^2 + (2 \times 0,9525)^2}} = 14847,15 A$$

Impedansi urutan Nol pada penyulang hebat $R_{0sumber} = 0, X_{0sumber} = 0$

$$z_{0t} = R + jX trafo \quad R_{0trafo} = 36$$

$$X_{0trafo} = 60 / 20 \times 0,8467 = 2,5400$$

$$R_{0gi-RG215} = 0,0133, X_{0gi-RG215} = 0,0149$$

$$R_{0RG215-GH158} = 0, X_{0RG215-GH158} = 0$$

$$R_{0GI-fault} = 36,0133, X_{0GI-fault} = 2,5549$$

Arus gangguan 1 fasa

$$= \frac{3 \times 20.000}{\sqrt{3}} = \sqrt{(2 \times 36,0186)^2 + (2 \times 3,5074)^2}$$

$$= 954,32 A$$

4.2.2 Perhitungan Arus gangguan hubung singkat RG215

$$X_{1GI-RG215} = X_{Z1}$$

$$R_{1GI-RG215} = 0,530$$

$$X_{1GI-RG215} = 0,498,$$

$$R_{1RG215-GH158} = 0,0025$$

$$X_{1RG215-GH158} = 0,024, R_{1GI-fault} = 0,5325$$

$$X_{1GI-fault} = 1,4481$$

Arus gangguan pada saat 3 fasa

$$= \frac{20.000}{\sqrt{3}} = \sqrt{(0,5325)^2 + (1,4481)^2} = 7857,04 A$$

Arus gangguan 2 fasa

$$= \frac{20.000}{\sqrt{(2 \times 0,5325)^2 + (2 \times 1,4481)^2}} = 9165,92 A$$

Impedansi urutan Nol pada RG 215

$$R_{0sumber} = 0, X_{0sumber} = 0$$

$$z_{0t} = R + jX trafo,$$

$$\begin{aligned}
 R_{Otrafo} &= 36 \\
 X_{Otrafo} &= 60 / 20 \times 0,8467 = 2,5400 \\
 R_{0gi-RG215} &= R_{Z0}, R_{0gi-RG215} = 1,325 \\
 X_{0gi-RG215} &= X_{Z0}, \\
 X_{0gi-RG215} &= 1,4946, \\
 R_{ORG215-GH158} &= 0,0063, \\
 X_{ORG215-GH158} &= 0,0071 \\
 R_{OGI-fault} &= 37,3313, \\
 X_{OGI-fault} &= 4,0417 \\
 \text{Arus gangguan 1 fasa} \\
 &= \frac{\frac{3 \times 20.000}{\sqrt{3}}}{\sqrt{(2 \times 37,8638)^2 + (2 \times 5,4898)^2}} = 887,81 \text{ A}
 \end{aligned}$$

4.3 Perhitungan unjuk kerja current transformer

4.3.1 Metode over current factor

Daya Kabel + Daya current transformer + Daya kWh meter elektronik = 2,15 VA + 3,87 VA + 0,50 VA = 6,52 VA

$$n = n_{FS} * \frac{S_n + R_{CT} * I_{Sn}^2}{S + R_{CT} * I_{Sn}^2} \text{ Persamaan}$$

Faktor security yang diuji adalah menggunakan nilai 5.0, sehingga didapat nilai n adalah 5,47 dan arus yang melalui beban sekunder yang menjadi factor kejenuhan current transformer sebesar 27,34 A arus tersebut didapatkan dari nilai rasio sekunder dikali dengan nilai n, dan untuk arus yang melalui beban primer sebesar 54,69 A yaitu di dapatkan dari nilai arus sekunder jenuh di kalikan rasio current transformer

Tabel 2 Kejenuhan current transformer

| kejenuhan CT pengukuran | | | |
|-------------------------|-------|---|-------|
| Fs : | 5 | | |
| Ratio CT | 10 | 5 | rasio |
| Beban CT | 6,52 | | VA |
| Rct = | 0,156 | | Ohm |
| n = | 5,47 | | |
| Isek = | 27,34 | | A |
| Ipri = | 54,69 | | A |

Tabel 3 spesifikasi Kabel

| mm ² | kabel NYY 1000 Volt | |
|-----------------|---------------------|---------|
| | Reff dc | Reff ac |
| | ohm/km | ohm/km |
| 4 x 1,5 | 14,47 | 14,47 |
| 4 x 2,5 | 8,71 | 8,71 |
| 4 x 4 | 5,45 | 5,45 |
| 4 x 6 | 3,62 | 3,62 |
| 4 x 10 | 2,16 | 2,16 |
| 4 x 16 | 1,36 | 1,36 |
| 4 x 25 | 0,863 | 0,863 |

5P 10 yang berarti error arus sekunder sudah sampai 5% pada saat arus primer sebesar 10 kali arus nominal

$$n = n_{ALF} * \frac{S_n + R_{CT} * I_{Sn}^2}{S + R_{CT} * I_{Sn}^2} \text{ Persamaan}$$

Daya kabel NYY + Daya current transformer + Daya relay = 0,07 VA + 3,45 VA + Daya relay 0,5 VA = 4,02 sehingga di dapat maka dengan persamaan diatas nilai n adalah 11,31 dengan begitu arus sekunder yang menjadi factor kejenuhan sebesar 56,54 atau hasil perkalian nilai n dengan rasio sekunder current transformer kemudian dari nilai sekunder maka cerminan atau transformasi primernya adalah sebesar 113,08 A, jika arus ini melalui current transformer maka akan jenuh dengan nilai tersebut

Tabel 4 Kejenuhan CT metering

| kejenuhan CT proteksi | |
|-----------------------|-----------|
| tegangan | 20 kV |
| kelas proteksi | 5P 10 |
| R _{CT} | 0,138 ohm |
| n = | 11,25 |
| Arus sisi sekunder | 56,27 A |
| Arus sisi primer | 112,53 A |

Dengan perhitungan yang sama didapatkan hasil dari pengujian dan perhitungan untuk current transformer yang lain dengan tabel berikut

4.3.2 Metode VDE (Verband der Elektronik) 0414

Pada current transformer core proteksi tipe bar (TCI-24-2B) pada rasio 10/5 dengan no seri 19t12404 dengan core proteksi di dapatkan kelas ketelitian sesuai name plate dan pengujian test setting pada table 5 adalah 5P-10 yang nominal burden dan operating burdennya adalah 5,0 VA cos θ 0,8, Rct atau secondary winding CT tersebut adalah 0,138 ohm maka dapat dicari nilai n number dengan persamaan berikut

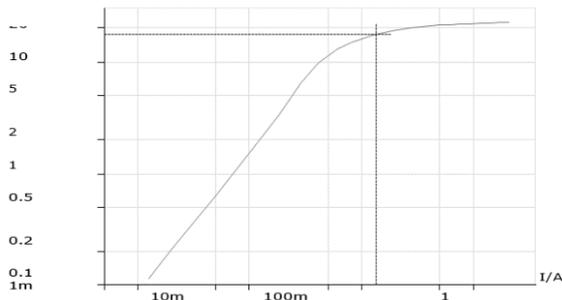
Langkah 1 Mencari nilai Z dengan persamaan, Z_i = 0,1725 ohm

Langkah 2 menggunakan persamaan 1

$$u_o / i_o = 2,6075 \text{ ohm}$$

Langkah 3 Pada hasil pengujian didapatkan 17.57V 271,5mA kurva eksitasi sebagai berikut

V/V



Gambar 2 Grafik pengujian eksitasi CT Analyzer core proteksi 19t12404

Pada perbandingan $u_o/i_o = 2,6075$ ohm Langkah 4 menggunakan persamaan 2 $n = 3,514 / 0.3352 = 10,4817$

Bahwa current transformer , akan jenuh setelah arus yang melewati sisi primer lebih besar dari 10,4817 kali arus nominal dengan catatan beban sekunder rangkaian tidak melebihi beban pengenalan , artinya current transformer tersebut tidak berada dalam kelasnya meskipun alat pengujian analyzer tester menunjukkan kelas 5P-10

| Results with nominal Burden: | | Results with operating burden: | |
|------------------------------|---------------------|--------------------------------|---------------------|
| Burden: | 5.0 VA cos φ: 0.8 | Burden: | 5.0 VA cos φ: 0.8 |
| ALF: | >14.11 | ALF: | >14.11 |
| ALFi: | 13.89 | ALFi: | 13.89 |
| Is: | 1.355s | Is: | 1.355s |
| ε-ij: | 0.405% (@ ALF = 10) | ε-ij: | 0.405% (@ ALF = 10) |

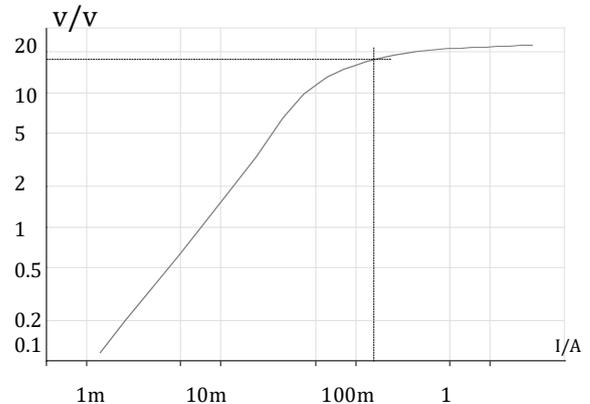
Pada current transformer core metering tipe bar (TCI-24-2B) pada rasio 10/5 dengan no seri 19t12404 dengan core metering di dapatkan kelas ketelitian sesuai name plate dan pengujian test setting pada table 5 adalah 0,2s - Fs 5 yang nominal burden dan operating burdennya adalah 7,5 VA cos θ 0,8 , Rct atau secondary winding CT tersebut adalah 0,156 ohm maka dapat dicari nilai n number dengan persamaan yang sama dalam menghitung core proteksi

4.3.3 Metode IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers)

Pada core proteksi data dengan nomer seri 19t12404 rasio 10/5 kelas 5P-10 , rated burden = 5,0 VA , Rct = 0.138fi , resistansi kabe& NYY 1000 volt 4x6 mm²

3,62 ohm/km (0,00724 ohm/m) dengan panjang kabel 2 meter , dengan instrument relai yang settinganya 5,0 A , burden relay 0,5 VA arus beban maksimum sisi primer 10 A , arus hubung singkat minimum jaringan 881 A dan maksimumnya adalah 7484 A maka , kejenuhan current transformer tersebut dapat dicari , burden relay dicari dengan persamaan 11 ,total

burden dicari menggunakan persamaan 12 $=Z_s + Z_{id} + Z_r = 0,34524$ ohm , Tegangan yang dibutuhkan untuk arus 5,0 A adalah menghitung nilai V_{ef} dengan persamaan 13 $V_{ef} = 5,0 \times 0,34524 = 1,7262$ volt



Gambar 3 Grafik pengujian eksitasi CT Analyzer core proteksi 19t12404

Pada gambar tersebut untuk $V_{ef} = 1,7262$ volt di dapat $I_e = 0,02216$ Kedua arus ini kemudian di jumlahkan pada referensi sisi primer Jika kedua arus sefasa menggunakan persamaan 14

$$I_s = 5,02216 \text{ A}, I_p = 10,04432 \text{ A}$$

Besar arus hubung singkat minimum = 87,75108718 x Arus setelan , dan Besar arus hubung singkat maksimum = 745,0977269 x Arus setelan , jika kedua arus berbeda fase 90° menggunakan Persamaan 15

$$I_s = 5,000049106, I_p = 10,00009821 \text{ A}$$

I hubung singkat minimum = 88,13913439 x Arus setelan , Arus hubung singkat maksimum

= 748,39265 x Arus setelan , jika burden relai pada arus gangguan maksimum dianggap sama dengan burden maka , burden total = 0,34524 , I gangguan sisi sekunder CT = 7484/2 = 3742 A , tegangan yang dibutuhkan pada sekunder CT untuk arus gangguan maksimum =

$$V_{ef} = 3742 \times 0,34524 = 1291,88 \text{ volt}$$

Dari gambar grafik untuk $V_{ef} : 1291,88$ volt berada pada garis atas tegangan titik jenuh kneepoint current transformer

Pada core metering data dengan nomer seri 19t12404 rasio 10/5 kelas 0,2sfs5 , rated burden = 7,5 VA , Rct = 0.156fi , resistansi kabe& NYY 1000 volt 4x6 mm² 3.62 ohm/km (0,04344 ohm/m) dengan panjang kabel 12 meter, dengan instrument relai yang

settingnya 5,0 A , beban relay 0,5 VA arus beban maksimum sisi primer 10 A kejenuhan current transformer tersebut dapat dicari dengan perhitungan yang sama pada core proteksi

4.4 Perhitungan Over load daya dan Over current

konsumen daya 345 kVA dengan kapasitas transformator miliknya sendiri adalah 630 kVA In dicari menggunakan persamaan 23 yaitu di dapatkan Arus jatah sebesar 9,97 A ,dengan arus jatah tersebut maka di pilihlah current transformer yang rasionya mendekati yaitu rasio 10/5-5 , setting pembatas dayanya menggunakan persamaan 16 adalah : Iset primer = 9,923519048 A , maka Iset sekunder = 4,961759524 dan K = 1,05 sehingga pembatasnya adalah Arus sama dengan 1,05 kali arus nominal yaitu : $1,05 \times I_n = 1,05 \times 9,9710 = 10,46955$ dari formula tersebut diperoleh Ttrip = 62,81 menit (sesuai pembatas TDL)

Tabel 5 Hitungan pembatas daya sesuai Tarif dasar listrik

| Hitungan | Amper | menit | seusai pembatas TDL |
|-------------------|----------|---------|-----------------------------|
| $1,05 \times I_n$ | 10,46955 | 62,81 | $1,05 \times I_n$ >60menit |
| $1,20 \times I_n$ | 11,9652 | 19,1594 | $1,20 \times I_n$ <20menit |
| $1,50 \times I_n$ | 14,9565 | 8,9608 | $1,50 \times I_n$ <5menit |
| $4,00 \times I_n$ | 39,884 | 0,9536 | $4,00 \times I_n$ Koord OCR |

setting OCR dengan persamaan tersebut $1,8 \times 9,9710 \text{ A} = 17,9478 \text{ A}$ dan setting moment over current $3.31 = 71,7912 \text{ A}$, In tranformator dengan persamaan 23 yaitu di dapatkan Arus jatah sebesar 18,2080 A, maka setting GFR dengan persamaan , yaitu $0,2 \times 18,2080 = 3,64161 \text{ A}$.dan setting moment ground fault relay menggunakan persamaan yaitu $4 \times$ dari GFR = $4 \times 3,64161 = 14,56644 \text{ A}$

5. KESIMPULAN

1. Pada metode unjuk kerja current transformer menunjukkan hasil kejenuhan yang dominan pada rasio 10/5 sampai 300/5 sedangkan rasio 800/5 mempunyai tingkat kejenuhan yang lebih kecil dengan batasan 10 atau 15 kali arus nominalnya yaitu 8000 A atau 12000 A sesuai spesifikasi current transformer
2. Arus hubung singkat diatas 12 kA mempengaruhi tingkat kejenuhan current transformer pada rasio tertinggi yaitu 800/5 dan arus hubung singkat

didas 882 A mempengaruhi tingkat kejenuhan pada rasio 10/5 sampai 300/5

DAFTAR PUSTAKA

1. VDE.0414.b.12.62.Eugl , *instrument transformer* , Pengujian CT Armaini 1994.
2. BS.3938 , 1973 , *Spesification for current transformer* , Pengujian CT Armaini 1994
3. J lewis Blackburn , *Protective Relaying , principles and aplications*, Marcel Dekker , 1987
4. Instrument transformer Aplication guide ABB , CT Analyzer user manual
5. Standard IEC 60044-1 *Current transformer* , IEC 60044-2 *inductive voltage transformer*
6. Current transformer requirements siemens , Sepam series 20 protective relays user manual
7. Power system Analysis –john j.grainger & William D.stevenson , jr 1994SPLN 56 - 2 : 1994 PT PLN (persero) *Sambungan tenaga listrik tegangan menengah* , Jakarta 1994
8. SPLN D3.020-1 :2019/2015 PT PLN (persero) *Perangkat hubung bagi tegangan menengah* , Jakarta 2019
9. SPLN D3.014-1 : 2019 *Transformator instrument untuk distribusi* , Jakarta 2019