

Perencanaan Belitan Transformator Distribusi 20 Kv 50 Kva

Arif Budiawan¹, Andri Indrawan²¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah MakassarEmail : Andriindrawan01@gmail.com¹, arifbudiawans.t@gmail.com²

Abstract : Arif Budiawan and Andri Indrawan (2022) Distribution Transformer Winding Planning 20 kv 50 kva yzn5, supervised by Rizal A Duyo, S.T.,M.T And Dr. Eng. Ir. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng. This study aims to plan the windings of the 20 kV 50 kVA YZn5 transformer and determine the impedance value and copper losses. The results of these two objectives will be compared according to PLN standards. The standard power losses in the transformer are 5-10% of the nominal voltage. The method used in this study is to carry out planning based on mathematical analysis, namely calculations using formulas from the appropriate equations. The analysis is adjusted to the specifications of the planned transformer by considering technical matters such as the core planning of the number of turns. The results of the research show that the planned transformer windings are in accordance with the PLN standard as a reference. This is in accordance with the value of the resulting winding losses and the impedance value obtained according to PLN standards. The value of the resulting losses is 1045.18 Watts with a large impedance (z) of 3.9 Ohms.

Keywords ; Winding, Transformer and Distribution

Intisari : Arif Budiawan dan Andri Indrawan (2022) Perencanaan Belitan Transformator Distribusi 20 kv 50 kva yzn5, dibimbing oleh Rizal A Duyo, S.T.,M.T And Dr. Eng. Ir. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan perencanaan belitan tranformator 20 kV 50 kVA YZn5 serta menentukan nilai impedansi dan rugi-rugi tembaga. Hasil dari kedua tujuan ini akan dibandingkan menurut standar PLN. Standar rugi-rugi daya pada transformator yaitu 5 – 10 % dari

tegangan nominal. Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan perencanaan berdasarkan anaisa matematis yaitu perhitungan menggunakan rumus dari persamaan-persamaan yang sesuai. Analisa disesuaikan dengan spesifikasi transformator yang direncanakan dengan mempertimbangkan hal-hal teknis seperti perencanaan inti dari jumlah lilitan. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa belitan transformator yang direncanakan sesuai dengan standarisasi PLN sebagai rujukan. Hal ini sesuai dengan nilai rugi-rugi belitan yang dihasilkan serta nilai impedansi yang diperoleh sesuai dengan standar PLN. Besarnya Nilai rugi-rugi yang dihasilkan sebesar 1045,18 Watt dengan besar impedansi (z) sebesar 3,9 Ohm.

Kata kunci ; Belitan, Tranformator dan Distribusi

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kemajuan industry dan perkembangan teknologi disegala bidang mendorong berkembangnya kebutuhan akan energi listrik. Kebutuhan akan energi listrik menyangkut semua bidang kehidupan baik industri maupun pemukiman. Selain memperhatikan pemenuhan kebutuhan listrik, kehandalan dari suatu system tenaga juga harus diperhatikan demi peningkatan kualitas system tenaga tersebut.

Adapun rumusan masalah dalam penulisan perencanaan belitan transformator distribusi ini adalah : 1. Bagaimana cara merancang belitan transformator 20kv 50KVA Yzn5 yang sesuai dengan standar PLN. 2. Bagaimana cara menghitung nilai rugi-rugi, impedansi (Z) serta membandingkan hasilnya dengan standar PLN. Adapun tujuan penulisan skripsi tentang perencanaan

belitan transformator ini ialah : 1. Merencanakan belitan transformator distribusi 3 fasa 20KV 50KVA Yzn5 yang sesuai dengan standar PLN. 2. Dapat menghitung nilai rugi-rugi, impedansi (Z) serta membandingkan hasilnya dengan standar PLN. Adapun manfaat penulisan skripsi tentang perencanaan belitan transformator ini ialah : 1. Mengingat harga transformator distribusi cukup mahal dan tidak dijual bebas dipasaran maka penulis mencoba merencanakan transformator distribusi 3 fasa 20kV 50 KVA. 2. Transformator distribusi tersebut harus handal demi menjaga kualitas listrik yang akan didistribusikan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Transformator

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi Listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain dengan frekuensi yang sama, melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi electromagnet. Transformator atau sering disingkat dengan istilah trafo dapat mengubah taraf suatu tegangan AC ke taraf lainnya. Maksud dari perubahan taraf tersebut diantaranya seperti menurunkan tegangan AC dari tegangan 220 VAC ke 12 VAC ataupun menaikkan tegangan dari 110 VAC ke 220 VAC. Transformator memegang peranan yang sangat penting dalam pendistribusian tenaga listrik. Transformator menaikkan listrik yang berasal dari pembangkit listrik PLN hingga ratusan kilo volt untuk di distribusikan, dan kemudian transformator lainnya menurunkan tegangan listrik tersebut ke tegangan yang diperlukan oleh setiap rumah tangga maupun perkantoran yang pada umumnya menggunakan tegangan AC 220 volt.[1]

Berdasarkan penggunaannya maka transformator dapat dibagi menjadi [1]

1. Transformator daya
2. Transformator distribusi
3. Transformator instrument dan transformator Pengukuran
4. Transformator pengujian

Bagian bagian terpenting dari transformator [2]

1. Inti/teras/kern
2. Gulungan primer, dihubungkan dengan sumber listrik
3. Gulungan sekunder, dihubungkan dengan beban.

B. Prinsip Kerja Transformator

Apabila kumparan dihubungkan dengan tegangan (sumber), maka akan mengalir arus bolak-balik I pada kumparan tersebut. Oleh karena kumparan mempunyai inti, arus I, menimbulkan fluks magnet yang juga berubah-ubah pada intinya. Akibat adanya fluks magnet yang berubah-ubah, pada kumparan primer akan timbul GGL induksi .

Besarnya GGL induksi pada kumparan primer adalah: [2]

$$\int e_p = - N_p \frac{d\Phi}{dt} \text{ volt (1)}$$

Dimana

: GGL induksi pada kumparan primer

N_p : Jumlah lilitan kumparan primer

: Perubahan garis-garis gaya magnet dalam satuan weber (weber = 10⁸ maxwell).

dt : Perubahan waktu dalam satuan detik. [2]

Bila pada terminal sekunder dihubungkan dengan beban maka pada belitan sekunder akan mengalir arus. Sehingga arus pada pimer menjadi:

$$I_1 = I_0 + I_2 \text{ (2)}$$

Dimana :

I_1 = Arus total yang mengalir pada sisi primer (Ampere)

I_0 = Arus penguatan (Ampere)

I_2 = Arus yang mengembalikan harga fluks (Ampere). [2]

Fluks magnet yang menginduksikan GGL induksi juga dialami oleh kumparan sekunder karena merupakan fluks bersama (mutual fluks). Dengan demikian fluks tersebut menginduksikan GGL induksi pada kumparan sekunder.

Besarnya GGL induksi pada kumparan sekunder adalah : [3]

$$e_s = - N_s \frac{d\Phi}{dt} \text{ volt (3)}$$

Dimana :

N_s : jumlah lilitan kumparan sekunder.[3]

Dari dua persamaan diatas didapatkan perbandingan lilitan berdasarkan perbandingan GGL induksi yaitu :

$$a = \frac{e_p}{e_s} = \frac{N_p}{N_s} \quad (4)$$

Dimana:

a : adalah nilai perbandingan lilitan transformator (turn ratio). [4]

Apabila nilai $a > 1$ maka transformator tersebut adalah transformator penurun tegangan (step down) dan bila $a < 1$ maka transformator tersebut adalah transformator penaik tegangan (step up).

Bila tegangan bolak-balik V diberikan pada belitan primer dengan belitan sekunder terbuka (tanpa beban), maka pada belitan primer akan mengalir arus penguatan I yang menghasilkan fluks bolak-balik didalam inti. Fluks yang mengalir dalam inti akan memotong kedua belitan sehingga akan menginduksikan tegangan pada kedua belitan.

Sehingga pada belitan sekunder akan diinduksikan tegangan sebesar :

$$e_2 = 4,44 \cdot N_2 \cdot f \cdot \phi_{maks} \quad (5)$$

dimana:

= Tegangan yang diinduksikan pada sekunder (volt)

N_2 = Jumlah lilitan pada sekunder (lilit)

f = Frekuensi (Hz)

= Fluks yang dihasilkan (Wb).

Apabila transformator dianggap ideal, sehingga dianggap tidak terdapat kerugian-kerugian daya, maka daya input P_1 dapat dianggap sama dengan daya output P_2 , maka

$$V_1 I_1 = V_2 I_2$$

$$I_1 / I_2 = V_2 / V_1$$

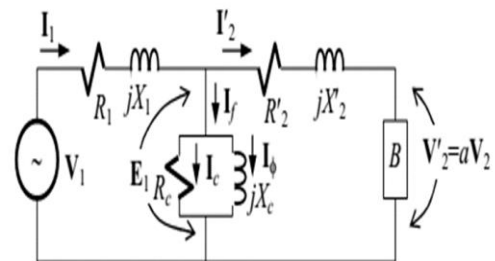
Dari persamaan diatas didapatkan untuk trafo ideal berlaku: [4]

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \quad (6)$$

- Yang dimaksud transformator ideal disini adalah :
- Kerugian karena arus pusar (eddy Current) dan kerugian hysteresis didalam teras besi tidak ada.
 - Kerugian tahanan pada kawat tembaga tidak ada
 - Dan tidak ada kebocoran fluks pada kumparan primer maupun sekunder. [5]

C. Rangkaian Ekuivalen

Transformator adalah piranti listrik. Dalam analisis, piranti-piranti listrik biasanya dimodelkan dengan suatu rangkaian listrik ekuivalen yang sesuai. Secara umum, rangkaian ekuivalen hanyalah penafsiran secara rangkaian listrik dari suatu persamaan matematik yang menggambarkan perilaku suatu piranti. Rangkaian ekuivalen dari suatu transformator dapat dilihat pada gambar di bawah ini: [6]



Gbr.1 Rangkaian ekuivalen transformator.

Adanya fluks bocor pada belitan primer ditunjukkan dengan X_1 dan sekunder dengan X_2 . Rugi-rugi tahanan ditunjukkan dengan R_1 dan R_2 . Arus I_c merupakan arus rugi tembaga sehingga perkaliannya dengan tegangan V_1 merupakan tegangan yang hilang. Arus I_m merupakan arus pemagnetan yang menghasilkan fluks(ϕ). [6]

D. Sistem Pengujian

1. Pengujian tak berbeban(Uji beban no)

Pengujian beban nol dilakukan dengan memberikan tegangan pada sisi primer dengan sisi sekunder terbuka (tanpa beban). Rugi-rugi I^2R primer yang disebabkan oleh arus penguatan seluruhnya dapat diabaikan sehingga daya masuk P_1 hampir sama besar dengan rugi inti P_i . [6]

2. Pengujian hubung singkat

Pengujian hubung singkat dilakukan dengan menghubungkan singkatkan terminal sekunder dan memberikan tegangan sebesar 5 s/d 10% dari tegangan Nominal pada terminal primer atau memberikan arus 75 – 100% yang diberikan tegangan, jika V_{sc} , I_{sc} , P_{sc} masing-masing adalah tegangan, Arus primer dan daya masuk yang diberikan. [6]

E. Rugi-Rugi

Rugi pada transformator timbul dari 2 sisi yaitu sisi primer dan sisi sekunder. Ada beberapa komponen penyebab rugi – rugi pada transformator yaitu rugi besi (hysteresis dan eddy current), flux bocor dan rugi tembaga. Adapun dengan diketahuinya rugi-rugi yang terjadi pada transformator maka efisiensi transformator juga dapat diketahui.

F. Ciri-ciri Transformator Distribusi

Suatu transformator distribusi dalam beberapa hal sama dengan transformator pada umumnya. Transformator distribusi memiliki beberapa ciri- ciri sebagai berikut: [7]

1. Perbandingan jumlah lilitan (turn ratio N) lebih besar daripada perbandingan daripada transformator tenaga (power transformator).
2. Kapasitas kVA nya kecil dibandingkan dengan kapasitas transformator tenaga.
3. Transformator yang digunakan adalah transformator 3 fasa. Hal ini disebabkan dalam pengujian dilakukan fasa demi fasa.
4. Umumnya salah satu ujung lilitannya (terminal) ditanahkan (grounded) untuk keperluan keamanan dengan pengamanan. [7]

G. Komponen-komponen Transformator

1. Inti

Inti besi berfungsi untuk mempermudah jalan fluksi, magnetik yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Inti besi trafo tidak dibuat berbentuk besi tunggal, tetapi dibuat dari pelat besi yang berlapis – lapis. Dibuat dari lempengan-

lempengan besi tipis yang berisolasi, untuk mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan. [8]

2. Kumparan Transformator

Kumparan transformator adalah beberapa lilitan kawat berisolasi yang membentuk suatu kumparan atau gulungan. Kumparan tersebut terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder yang diisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap antar kumparan dengan isolasi padat seperti karton, pertinak dan lain-lain. Kumparan tersebut sebagai alat transformasi tegangan dan arus. [8]

3. Tap Changer

Tap Changer berfungsi untuk menjaga tegangan keluaran yang diinginkan dengan input tegangan yang berubah-ubah. Kualitas operasi tenaga listrik jika tegangan nominalnya sesuai ketentuan, tapi pada saat operasi dapat saja terjadi penurunan tegangan sehingga kualitasnya menurun, untuk itu perlu alat pengatur tegangan agar tegangan selalu pada kondisi terbaik, konstan dan berkelanjutan.

Ditinjau dari cara pengoperasiannya, tap changer terdiri dari dua tipe yaitu onload yang bekerja secara otomatis jika merasakan tegangan kurang/lebih dan off-load yang dapat dipindah tap hanya jika trafo tidak berbeban/bertegangan. [8]

4. Isolasi

Isolasi pada peralatan system tenaga berfungsi untuk memisahkan bagian-bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan atau dapat juga antara bagian bertegangan dengan bagian bertegangan lain agar diantara bagian tersebut tidak terjadi lompatan listrik (flash over). [9]

5. Peralatan Pelengkap Transformator

Komponen pelengkap ditujukan untuk mempermudah dalam proses pemeliharaan transformator

tersebut. Perlengkapan yang harus ada pada setiap trafo meliputi: [10]

a. Roda

Roda pada trafo diperlukan untuk memudahkan pemindahan dari transformer karena bobot karena dari transformer sangat berat.

b. Oil level

Yang berfungsi untuk mengetahui titik tertinggi kondisi minyak yang ada dalam trafo.

c. Thermometer

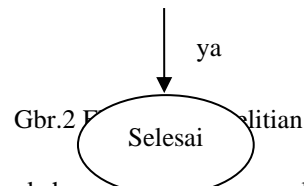
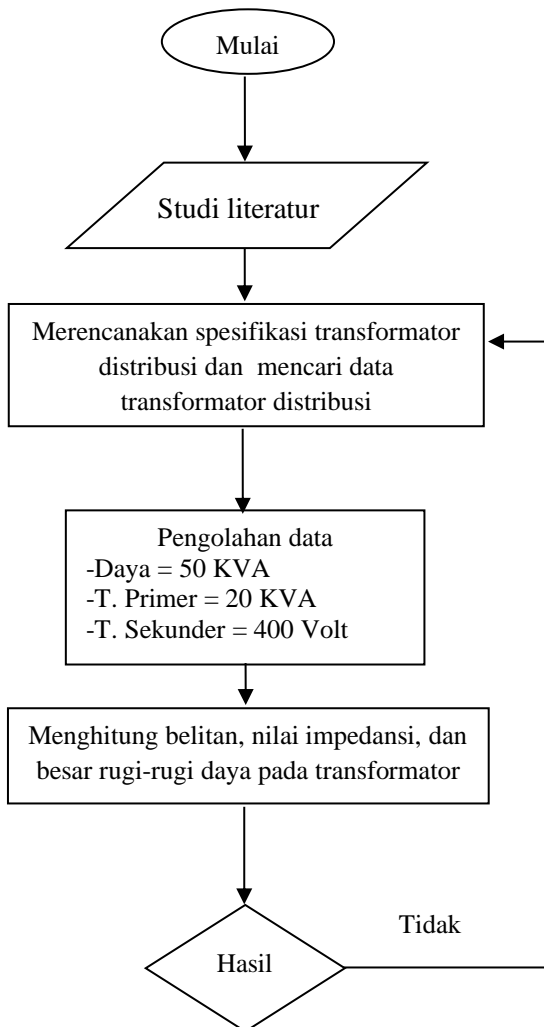
Alat ukur ini untuk mengetahui temperature daripada trafo.

d. Pressure valve

Berfungsi melepaskan tekanan udara/minyak yang ada didalam trafo agar kondisi tangka atau setiap pendingin tidak rusak. [10]

III. METODOLOGI PENELITIAN

Alur penelitian



Langkah pertama dalam penelitian ini ialah dengan melakukan tinjau pustaka dalam hal ini pengambilan literatur dari berbagai sumber selanjutnya menentukan waktu dan tempat dilakukannya penelitian. Langkah selanjutnya adalah perancangan dan pengujian alat serta mengambil dan mengolah data yang didapat dari.

1. *Observasi* (Pengamatan Langsung)

Observasi dilakukan pengecekan transformator untuk mengetahui spesifikasi transformator .

2. Wawancara

Wawancara yang dilakukan kepada pihak.

3. Dokumentasi

Dokumentasi yang dilakukan adalah memperoleh data spesifikasi transformator .

A. Menghitung belitan

Transformator atau trafo adalah perangkat elektronika yang dapat menaikkan atau menurunkan tegangan listrik. Sifat menaikkan atau menurunkan tegangan tergantung pada jumlah lilitan primer dan sekundernya. Sehingga, rumus menghitung lilitan primer adalah:

$$N_p = \frac{V_p}{V_s} \times N_s$$

Dengan :

N_p = Jumlah lilitan primer

N_s = Jumlah lilitan sekunder

V_p = Tegangan primer (input)

V_s = Tegangan sekunder (output)

Sedangkan, rumus menghitung lilitan sekunder adalah:

$$N_s = \frac{V_s}{V_p} \times N_p$$

Dengan :

N_p = Jumlah lilitan primer

N_s = Jumlah lilitan sekunder

V_p = Tegangan primer (input)

V_s = Tegangan sekunder

B. Nilai impedansi

Jika dituliskan dalam persamaan impedansi total maka cara menghitungnya akan seperti berikut:

$$Z = \sqrt{R^2 + (XL - XC)^2}$$

Dengan:

Z = Impedansi

R = Resistansi

XL=Reaktansi induktor

XC=Reaktansi kapasitif

C. Besar rugi-rugi

Secara umum total rugi-rugi pada transformator dirumuskan pada persamaan berikut:

$$P_{losses} = P_{copper} + P_{core}$$

Dimana:

P_{losses} = Total rugi-rugi transformator

P_{copper} = Rugi-rugi kumparan transformator

P_{core} = Rugi-rugi inti besi transformator

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

1. Spesifikasi Transformator

Dalam tugas akhir ini transformator yang direncanakan dan adalah transformator dengan spesifikasi sebagai berikut :

Jenis : Transformator Distribusi

Rating : 50 kVA , 3 Phasa

Tegangan : Primer : 20.000 Volt
 Sekunder : 400 Volt

Frekuensi : 50 Hz

Hubungan : Yzn5

Sadapan : $2 \times \pm 5 \%$

Polaritas : Subtractive

Pendingin : ONAN

Dimensi Inti Magnetik

A inti : 117 cm²

LN : 260 mm

EA : 240 mm

HC : 120 mm

Øinti : 127 mm

2. Perhitungan Arus dan Tegangan Tiap Sedapan (Tapping)

Berdasarkan spesifikasi transformator di atas, maka dapat dihitung arus primer dan sekunder :

$$I_1 = \frac{S}{V_1 \sqrt{3}}$$

$$= \frac{50.000}{20.000 \sqrt{3}}$$

$$= 1,443 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{S}{V_2 \sqrt{3}}$$

$$= \frac{50.000}{400 \sqrt{3}}$$

$$= 72,17 \text{ A}$$

Tegangan nominal 20.000 V (Tap 2) dan (Tap 4) dengan tap $2 \times \pm 5 \%$, maka :

$$\begin{aligned} \text{Tap 2} \quad V_2 &= V_3 + \frac{(V_3 \cdot 5)}{100} \\ &= 20 \text{ kV} + \frac{(20 \text{ kV} \cdot 5)}{100} \\ &= 21 \text{ kV} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tap 4} \quad V_4 &= V_3 - \frac{(V_3 \cdot 5)}{100} \\ &= 20 \text{ kV} - \frac{(20 \text{ kV} \cdot 5)}{100} \\ &= 19 \text{ kV} \end{aligned}$$

Maka tegangan tap 2 dan Tap 4 diperoleh masing – masing 21 dan 19 kV.

3. Perhitungan Jumlah Lilitan

Dengan diketahuinya luas penampang inti (Cross Section Area) A_{inti} : 117,32 cm dan kerapatan arus (B_m) ; 13456 gauss, maka :

$$\begin{aligned} \frac{V}{I} &= \frac{A \cdot f \cdot B_m}{225 \cdot 10^5} \\ &= \frac{(117) \cdot (50) \cdot (13456)}{225 \cdot 10^5} \\ &= 3,508 \text{ V/I} \end{aligned}$$

Sehingga jumlah lilitan pada masing – masing belitan adalah sebagai berikut :

- Pada sisi sekunder (hubungan Z)

$$\begin{aligned} N_2 &= \frac{2 \cdot V_2}{3 \cdot \frac{V}{I}} \\ &= \frac{2 \cdot (400)}{3 \cdot (3,508)} \\ &= 76 \text{ lilit} \end{aligned}$$

- Pada sisi primer (hubungan Y), dengan mengambil tegangan tertinggi

$$NI_1 = \frac{V'_1}{\sqrt{3} \cdot I}$$

$$= \frac{22.000}{\sqrt{3} \cdot (3,508)} = 3621 \text{ lilit}$$

$$\delta = \frac{I_2}{A_2}$$

$$= \frac{72,17}{29,60}$$

$$= 2,43 \text{ A/mm}^2$$

Jadi, pada sisi sekunder jumlah lilitan sebanyak 76 lilitan dan di sisi primer sebanyak 3621 lilitan.

Sedang tegangan pada tap nominal (Tap 3) :

$$NI_3 = \frac{V'_3}{\sqrt{3} \cdot I}$$

$$= \frac{22.000}{\sqrt{3} \cdot (3,508)}$$

$$= 3291 \text{ lilit}$$

Jadi jumlah lilitan tiap tap (dari tap 1 ke tap yang lainnya) adalah :

$$\frac{N}{\text{tap}} = \frac{\text{lilitan tap 1} - \text{lilitan tap 3}}{2}$$

$$= \frac{3621 - 3291}{2}$$

$$= 165 \text{ lilit}$$

Untuk tap 2, dengan tegangan 21 kV

$$= N \text{ tap 1} - N/\text{tap}$$

$$= 3621 - 165$$

$$= 3456 \text{ lilit}$$

Untuk tap 4, dengan tegangan 19 kV

$$= N \text{ tap 3} - N/\text{tap}$$

$$= 3291 - 165$$

$$= 3456 \text{ lilit}$$

Untuk tap 5, dengan tegangan 18 kV

$$= N \text{ tap 4} - N/\text{tap}$$

$$= 3126 - 165$$

$$= 2961 \text{ lilit}$$

4. Perhitungan Data Pemilihan Kawat Belitan

- Kawat Sekunder

Dari nilai kerapatan arus 1 – 2,5 A/mm² dan arus yang besar pada sisi sekunder, maka dimensi penghantar yang dipilih adalah rectangular copper (meplat) ukuran 9 x 3,35 mm dengan luas penampungan sebagai berikut :

$$A_2 = (p \times l) - \Delta s$$

$$= (9 \times 3,35) - 0,55$$

$$A_2 = 29,6 \text{ mm}^2$$

- Kawat Primer

Jenis kawat yang digunakan adalah enameled round wire atau biasa disebut email dengan ukuran 0,9 mm, karena arus pada sisi primer kecil dan batas kerapatan arus yang dipilih adalah 1 – 2,5 A/mm², sehingga :

$$A_1 = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$= \frac{3,14(0,9)^2}{4}$$

$$= 0,636 \text{ mm}^2$$

dan

$$\delta_1 = \frac{I_1}{A_1}$$

$$= \frac{1,44}{0,636}$$

$$= 2,27 \text{ A/mm}^2$$

5. Perhitungan Jumlah Lilitan Tiap Lapis

- Sisi Sekunder

Untuk memudahkan dalam proses desain dan pembuatan maka sisi sekunder dibuat menjadi 4 lapis sehingga jumlah lilitan tiap lapis adalah :

$$Z_2 = \frac{N_2}{Y_2}$$

$$= \frac{76}{4}$$

$$= 19 \text{ lilit/lapis}$$

- Sisi Primer

Pada sisi primer jumlah lapis dibuat 18 lapis sehingga jumlah lilitan tiap lapis adalah :

$$Z_1 = \frac{N_1}{Y_1}$$

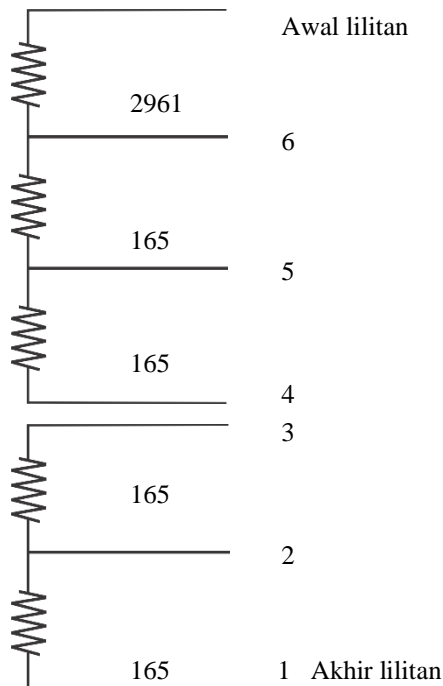
$$= \frac{3621}{18}$$

$$= 201,1 \text{ lilit/lapis}$$

Karena pada sisi primer tegangan mempunyai tap, maka lilitan tiap lapis dijadikan 202 lilit, sehingga struktur lilitan menjadi :

$$\text{Lapis : } 14 \times 202 \text{ lilit}$$

- 2 x 201 lilit = 3621 lilitan/phase
- 1 x 191 lilit
- 1 x 200 lilit



Gbr. 3 posisi tap changer

6. Perhitungan Tube (isolasi belitan terhadap inti)

- Tube

$$\varnothing_{inti} = 127 \text{ mm}$$

$$LN = 260 \text{ mm}$$

Agar supaya diameter dalam tube tidak terlalu rapat terhadap inti maka dibutuhkan toleransi $2 \times 2,5 \text{ mm}$ sehingga

$$\begin{aligned} \varnothing_{in \text{ tube}} &= \varnothing_{inti} + (2 \times 2) \\ &= 132 + 4 \\ &= 136 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dimensi tube itu sendiri adalah $\varnothing_{out \text{ tube}} = 136 \text{ mm}$ dan tinggi tube = 255 mm (karena antara inti dengan kedua pinggir belitan diberi isolasi pressboard proteksi kulus dengan ketebalan masing – masing 2,5 mm)

$$\begin{aligned} P_{tube} &= (\varnothing_{out \text{ tube}} \cdot \pi) + \text{toleransi} \\ &= (136 \cdot 3,14) + 20 \\ &= 447 \text{ mm} \end{aligned}$$

7. Perhitungan Tinggi dan Diameter Belitan

Karena tinggi dan lebar jendela diketahui maka dapat dihitung tinggi dan diameter belitan yaitu :

- Sekunder

Kawat penghantar $9 \times 3,35 \text{ mm}$ dengan ketebalan isolasi kertas penghantar $3 \times 0,15 \text{ mm}$. Sehingga tebal keseluruhan penghantar menjadi $9,9 \times 4,25 \text{ mm}$. Maka dapat diperoleh tinggi lilitan sekunder :

$$\begin{aligned} t_2 &= (19 \text{ lilit/lapis} \times 9,9) + 9,9 \\ &= 198 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena diameter tube 132 mm maka tebal penghantar sisi sekunder menjadi :

$$\begin{aligned} d_1 &= (\Sigma \text{ lapis} \times \text{tebal meplat}) + (\Sigma \text{ kanal} \times (\text{tebal kanal} + \text{tebal kertas isolasi})) + ((\Sigma \text{ lapis} - 2) \times \text{tebal kertas isolasi}) \\ &= (4 \times 4,25) + (1 \times (3 + 0,15)) + (-1 + ((4 - 2) \times 0,15)) \\ &= 20,45 \text{ mm} \end{aligned}$$

Perhitungan tebal isolasi antara LV dan HV, jarak antara LV dan HV adalah $\geq 8 \text{ mm}$ dengan isolasi sebagai berikut :

$$\begin{aligned} d_2 &= (\Sigma \text{ lapis} \times t_{ki}) + (t_k \times t_{ki}) + (\Sigma \text{ lapis} \times t_{ki}) \\ &= (16 \text{ lapis} \times 0,15) + (3 \times 0,15) + (16 \text{ lapis} \times 0,15) \\ &= 7,95 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$d_2 = 8 \text{ mm}$$

Jadi, diameter isolasi yang disarankan adalah 8 mm^2 .

jadi diameter belitan tegangan rendah adalah

$$\begin{aligned} &= \varnothing_{tube} + (2 \times d_1) \\ &= 136 + (2 \times 20,75) \\ &= 176,9 \text{ atau } 177 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Primer

Kawat penghantar yang dipakai $0,9 \text{ mm}$ dengan tebal isolasi $0,045 \text{ mm}$ sehingga diameter kawat menjadi $0,99$. Jumlah lilit tiap lapis adalah 202 lilit/lapis, maka :

$$\begin{aligned} \text{Tinggi lilitan primer} &= (202 \times 0,99) + 0,99 \\ &= 200,97 \end{aligned}$$

$$t_1 = 201 \text{ mm}$$

$$\text{diameter belitan} = (\Sigma \text{ lps} \times \text{tebal email}) + (\text{tebal kanal} + \text{tebal kertas isolasi}) +$$

$$((\Sigma \text{ lps} - 2) \times \text{tebal kertas isolasi})$$

$$= (1,8 \times 0,99) + (1 \times (3 + 0,35)) + (16 \times 0,15)$$

$$= 23,37 \text{ mm}$$

$$d_3 \approx 23,5 \text{ mm}$$

sehingga total diameter belitan adalah :

$$\begin{aligned} \varnothing_{\text{total}} &= \varnothing_{2v} + 2 \cdot d_2 + 2 \cdot d_3 \\ &= 177 + (2 \cdot 8) + (2 \cdot 23,5) \end{aligned}$$

$$D = 240 \text{ mm}$$

- Perhitungan D_m

$$\begin{aligned} 2 \text{ Dm LV} &= \varnothing_{\text{tube}} + \varnothing_{\text{out LV}} \\ &= 136 + 177 \\ &= 313 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2 \text{ Dm HV} &= \varnothing_{\text{in HV}} + \varnothing_{\text{out HV}} \\ &= 193 + 240 \\ &= 433 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2 \text{ Dm tot} &= \text{Dm LV} + \text{Dm HV} \\ &= 313 + 433 \\ &= 746 \text{ mm} \end{aligned}$$

8. Perhitungan Kertas Isolasi & Saluran Perdinginan / Kanal (oil duct)

a. Kertas Isolasi LV

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{\varnothing_{\text{tube}} + \varnothing_{\text{out LV}}}{2} \times \pi \times \Sigma f_{\text{asa}} \times \Sigma l_{\text{ps}} \times f_k \\ &= \frac{136 + 177}{2} \times 3,14 \times 3 \times 4 \times 1,1 \\ &= 6489,9 \text{ mm} \\ &\approx 6,5 \text{ m} \end{aligned}$$

b. Kertas Isolasi antara LV & HV

$$\begin{aligned} a_2 &= \frac{\varnothing_{\text{out LV}} + \varnothing_{\text{in HV}}}{2} \times \pi \times \Sigma f_{\text{asa}} \times \Sigma l_{\text{ps}} \times f_k \\ &= \frac{177 + 193}{2} \times 3,14 \times 3 \times 4 \times 1,1 \\ &= 61374 \text{ mm} \\ &\approx 61,5 \text{ m} \end{aligned}$$

c. Kertas Isolasi HV

$$\begin{aligned} a_3 &= \frac{\varnothing_{\text{in HV}} + \varnothing_{\text{out HV}}}{2} \times \pi \times \Sigma f_{\text{asa}} \times \Sigma l_{\text{ps}} \times f_k \\ &= \frac{193 + 240}{2} \times 3,14 \times 3 \times 4 \times 1,1 \\ &= 40401 \text{ mm} \\ &\approx 40,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi panjang keseluruhan kertas isolasi yang dibutuhkan adalah :

$$\begin{aligned} A &= a_1 + a_2 + a_3 \\ &= 6,5 + 61,5 + 40,5 \\ &= 108,5 \text{ m} \\ &\approx 110 \text{ m} \end{aligned}$$

- **Kanal LV**

$$\begin{aligned} b_1 &= \frac{\varnothing_{\text{tube}} + \varnothing_{\text{out LV}}}{2} \times \pi \times \Sigma f_{\text{asa}} \times \Sigma l_{\text{ps}} \times f_k \\ &= \frac{136 + 177}{2} \times 3,14 \times 3 \times 1 \times 1,1 \\ &= 1621,6 \text{ mm} \\ &= 1,6 \text{ m} \\ &\approx 2 \text{ m} \end{aligned}$$

- **Kanal antara LV & HV**

$$\begin{aligned} b_2 &= \frac{\varnothing_{\text{out LV}} + \varnothing_{\text{in HV}}}{2} \times \pi \times \Sigma f_{\text{asa}} \times \Sigma l_{\text{ps}} \times f_k \\ &= \frac{177 + 193}{2} \times 3,14 \times 3 \times 1 \times 1,1 \\ &= 1917,9 \text{ mm} \\ &\approx 2 \text{ m} \end{aligned}$$

- **Kanal HV**

$$\begin{aligned} b_3 &= \frac{\varnothing_{\text{in HV}} + \varnothing_{\text{out HV}}}{2} \times \pi \times \Sigma f_{\text{asa}} \times \Sigma l_{\text{ps}} \times f_k \\ &= \frac{193 + 240}{2} \times 3,14 \times 3 \times 1 \times 1,1 \\ &= 2244,5 \text{ mm} \\ &\approx 2,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi panjang keseluruhan kanal yang dibutuhkan adalah :

$$\begin{aligned} b &= b_1 + b_2 + b_3 \\ &= 6,5 \text{ m} \end{aligned}$$

9. Perhitungan Isolasi Akhir Lilitan / End Pack

- Belitan sekunder

$$\begin{aligned} E_2 &= \frac{t_B - t_2}{2} \\ &= \frac{255 - 198}{2} \\ &= 28,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Belitan primer

$$\begin{aligned} E_1 &= \frac{t_B - t_1}{2} \\ &= \frac{255 - 201}{2} \\ &= 27 \text{ mm} \end{aligned}$$

10. Jadi Perhitungan Berat, Rugi – rugi Tembaga (Pcu) dan Impedansi (Z)

$$\begin{aligned} \text{a)} \Rightarrow P_{meplat} &= \frac{\phi_{tube} + \phi_{LV}}{2} \times \pi \times \Sigma_{paralel} l_{meplat} \times N_2 \times \\ &\quad \Sigma_{fasa} \times f_k \\ &= \frac{136+177}{2} \times 3,14 \times 1 \times 76 \times 3 \times 1,1 \\ &= 123308 \text{ mm} \\ &\approx 123,308 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{meplat} &= p \times l \times t \\ &= 123,308 \times 9 \times 3,35 \\ &= 3717740,421 \text{ mm}^2 \\ &= 3,7 \text{ dm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{meplat} &= V_m \times P_{cu} \\ &= 3,7 \times 8,89 \\ &= 3,3 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{email} &= \frac{\phi_{in HV} + \phi_{out HV}}{2} \times \pi \times \Sigma_{paralel} l_{email} \\ &\quad \times N_2 \times \Sigma_{fasa} \times f_k \\ &= \frac{193 + 240}{2} \times 3,14 \times 1 \times 3621 \times 3 \times 1,1 \\ &= 8127373,865 \text{ mm} \\ &\approx 8127,37 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{email} &= \frac{\pi}{4} d^2 \\ &= \frac{\pi}{4} (0,9)^2 \\ &= 0,636 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{email} &= A \times p \\ &= 0,636 \times 8127373,865 \\ &= 5169009,778 \text{ mm}^3 \\ &\approx 5,169 \text{ dm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{email} &= V_{email} \times P_{cu} \\ &= 5,169 \times 8,89 \\ &= 45,95 \\ &\approx 46 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b)} \Rightarrow P_{cu} &= W_{meplat} \times 2,42 \times (\delta_{LV})^2 \\ &= 33 \times 2,42 \times (2,27)^2 \\ &= 573,62 \text{ watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi } P_{cubelian} &= P_{cu 2} + P_{cu 1} \\ &= 471,56 + 573,62 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 1045,18 \text{ watt} \\ \text{c)} \Rightarrow Z &= \frac{(31) \times 2Dm \times N_{LV} \times i_{LV} \times \left(\frac{d_1 + d_3}{3} + d_2 \right) \times 0,95 \cdot 10^{-6}}{\frac{V}{l} \times \frac{ts+tp}{2}} \\ &= \frac{(31) \times 746 \times 76 \times 72,17 \times \left(\frac{20,45 + 23,5}{3} + 8 \right) \times 0,95 \cdot 10^{-6}}{3,508 \times \frac{198 + 201}{2}} \\ &= 3,8999 \\ &\approx 3,9 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

Tabel 1. Summary

No.	Keterangan	Nilai
1.	Arus Pada Sisi Primer	1,443 A
2.	Arus Pada Sisi Sekunder	72,17 A
3.	Tegangan Pada Tap 2	21 kV
4.	Tegangan Pada Tap 4	19 V

Jenis kawat yang digunakan adalah enameled round wire atau biasa disebut dengan email dengan ukuran 0,9 mm, karena arus pada sisi primer kecil dan batas perapatan harus yang di pilih adalah 1 – 2,5 A/mm². Dari nilai kerapatan arus 1 – 2,5 A/mm² dan arus yang besar pada sisi sekunder, maka dimensi penghantar yang dipilih adalah rektangular copper (meplat) ukuran 9 x 3,35 mm.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

KESIMPULAN

Dari pembahasan dan perhitungan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan antara lain :

1. Perencanaan belitan transformator distribusi 20KV 50KVA yzn5 sesuai dengan standar PLN sebagai rujukan dalam melakukan perencanaan belitan transformator
2. Besarnya nilai impedansi (z) dari hasil perencanaan tersebut sebesar 3,9 ohm, dengan besar rugi-rugi yang di hasilkan adalah : 1045,18 Watt.

SARAN

Adapun saran yang dapat penulis diberikan,

Untuk merencanakan sebuah transformator sebaiknya yang perlu diperhatikan adalah nilai impedansi yang sesuai dengan standar yang digunakan. Dalam melakukan perencanaan, material yang digunakan harus disesuaikan dengan waktu penggunaannya. Semoga penelitian ini bisa bermanfaat dijadikan referensi dalam melakukan sebuah perencanaan sebuah transformator distribusi.

REFERENSI

- [1]. Aditya dkk. 2021. *Transformer*. Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia. Jakarta
- [2]. Sumanto. 2000. *Teori Transformator*. Penerbit Andi. Yogyakarta.
- [3]. Georgilakis, P.S. 2020. *Spotlight of Modern Transformer Design*. Springer Dordrecht Heidelberg London New York. London.
- [4]. Aslimeri dkk. 2021. *Teknik Transmisi Tenaga Listrik Jilid 1*. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan. Jakarta.
- [5]. Suswanto, Daman. 2020. *Sistem Distribusi Tenaga Listrik Untuk Mahasiswa Teknik Elektro*. Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia. Jakarta.
- [6]. Sumardjati dkk. 2021. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik*. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan. Jakarta.
- [7]. Maruwoan. 2021. *Rancang Bangun Transformator Distribusi 100 kVA*. Jurnal Penelitian Teknologi. Politeknik Negeri Ujung Pandang. Makassar.
- [8]. Soliukhuodion. 2020. *Studi Gangguan Intebus Transformer (IBT-1) 500/150 KV di GITET 500 KV Kembangan – Jakarta Barat (Tesis)*. Program Pasca Sarjana Bidang Ilmu Teknik Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia. Depok.
- [9]. March, Bastian. 2020. *Penilaian Kondisi Isolasi Trafo Dengan Metode Pembobotan Analytic Hierarchy Process (Skripsi S1)*. Program Studi Teknik Elektro Universitas Indonesia. Depok.
- [10]. Sutadi dkk. 2021. *Rancangan Transformator 625 VA Terisolasi Pada Tegangan Tinggi 300 KV Untuk Catu Daya Filamen Sumber Elektron MBE Lateks*. Pusat

Teknologi Akselerator dan Proses Bahan (PTAPB) – BATAN. Jakarta.