

# Perencanaan Transformator Distribusi 125 kVA

Yaved Pasereng Tondok, Lily Setyowaty Patras, Fielman Lisi

Teknik Elektro, Universitas Sam Ratulangi Manado, Jl. Kampus Bahu-Unsrat Manado, 95115

Email: Paserengyaved@gmail.com, lilypatras@unsrat.ac.id, fielmanlisi@unsrat.ac.id

**Abstract --** *Transformer is an electrical equipment that can move and convert electrical energy from one or more electrical circuits to another electrical circuit. In load transformers, the power coming out of the transformer (transformer output power) is not always 100% because there are losses when channeling to the load, both losses caused by current flowing on the copper wire which results in the output power (output power) of the transformer to the load is not the same as the incoming power (input power) to the transformer. Therefore the transformer is designed so that the power losses that occur will be reduced and the efficiency released by the transformer is close to 100%.*

**Key words:** *Transformer, Transformer Planning, Power Loss.*

**Abstrak —** Transformator adalah suatu peralatan listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain. Pada transformator keadaan berbeban, daya yang keluar dari transformator (daya output transformator) tidak selalu 100% karena terdapat rugi-rugi pada saat penyaluran ke beban, baik rugi yang disebabkan arus mengalir pada kawat tembaga yang mengakibatkan daya yang keluar (daya output) dari transformator ke beban tidak sama dengan daya yang masuk (daya input) ke transformator. Oleh karena itu transformator di desain agar rugi-rugi daya yang terjadi akan mengecil dan efisiensi yang di keluarkan transformator tersebut mendekati 100%.

**Kata Kunci :** Transformator, Rugi-rugi Daya Perencanaan Transformator.

## I. PENDAHULUAN

Transformator adalah suatu peralatan listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain melalui suatu gandengan magnet berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Pada bidang industri, transformator digunakan sebagai penaik tegangan (transformator step up) dan digunakan sebagai penurun tegangan (transformator step down). Transformator tersebut biasanya dihubungkan ke beban-beban. Pada transformator keadaan berbeban, daya yang keluar dari transformator (daya output transformator)

tidak selalu 100% karena terdapat rugi-rugi pada saat penyaluran ke beban.

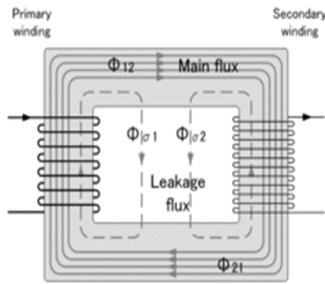
Baik rugi yang disebabkan arus mengalir pada kawat tembaga, rugi yang disebabkan fluks bolak-balik pada inti besi, maupun rugi yang disebabkan arus pusar pada inti besi yang mengakibatkan daya yang keluar (daya output) dari transformator ke beban tidak sama dengan daya yang masuk (daya input) ke transformator. Hal ini di kenal sebagai efisiensi transformator.

Untuk itu perlu adanya pemilihan bahan yang sesuai dengan suatu transformator yang di inginkan supaya suatu transformator yang di desain sesuai dengan pemakaian yang dilakukan agar rugi-rugi daya yang terjadi akan mengecil dan efisiensi yang di keluarkan transformator tersebut mendekati 100%.

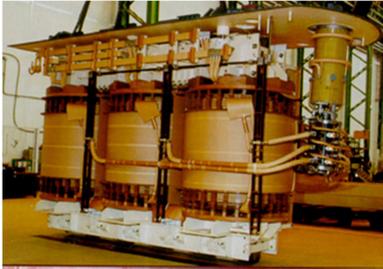
### A. Transformator

Transformator adalah suatu peralatan mesin listrik statis yang bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik untuk menyalurkan tenaga/daya listrik dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain tanpa merubah frekuensi. Pada umumnya transformator terdiri dari 2 belitan yaitu belitan primer dan belitan sekunder, dan ada juga transformator yang secara khusus memiliki belitan tersier sehingga menjadi 3 belitan. Bagian utama transformator adalah dua buah kumparan yang keduanya dililitkan pada sebuah inti besi lunak. Kedua kumparan tersebut memiliki jumlah lilitan yang berbeda. Kumparan yang dihubungkan dengan sumber tegangan AC. Dalam teknik tenaga listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi [1]:

- 1) Transformator daya, Transformator daya memiliki peranan sangat penting dalam sistem tenaga listrik. Transformator daya digunakan untuk menyalurkan daya dari generator bertegangan menengah ke transmisi jaringan distribusi. Kebutuhan transformator daya bertegangan tinggi dan berkapasitas besar, menimbulkan persoalan dalam perencanaan isolasi, ukuran bobotnya.
- 2) Transformator distribusi, Transformator distribusi digunakan untuk mengubah tegangan menengah menjadi tegangan rendah. Sebagaimana halnya dengan komponen-komponen lain dari rangkaian distribusi, rugi-rugi energi dan turun tegangan yang



Gambar 1. Belitan Transformator



Gambar 2. Kumbaran Transformator

disebabkan arus listrik mengalir menuju beban merupakan penentuan untuk pemilihan dan lokasi transformator.

- 3) Transformator pengukuran, Dalam prakteknya tidaklah aman menghubungkan instrumen, alat ukur atau peralatan kendali langsung ke rangkaian tegangan tinggi. Transformator Instrumen umumnya digunakan untuk mengurangi tegangan tinggi dan arus hingga harga aman dan dapat digunakan untuk kerja peralatan demikian.

### B. Prinsip Kerja Transformator

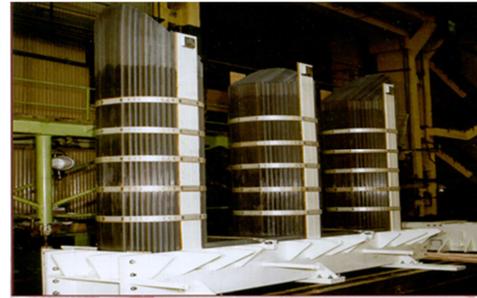
Transformator akan bekerja berdasarkan prinsip induksielektromagnetik. Tegangan masukan bolak-balik yang membentangi primer menimbulkan fluks magnet yang idealnya semua bersambung dengan lilitan sekunder. Fluks bolak-balik ini menginduksikan GGL dalam lilitan sekunder. Jika efisiensi sempurna, semua daya pada lilitan primer akan dilimpahkan ke lilitan sekunder [1], untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 1.

### C. Bagian-bagian Transformator

Bagian-bagian transformator terdiri atas[1][2]:

#### 1) Kumbaran Transformator

kumbaran trafo terdiri dari beberapa lilitan kawat tembaga yang dilapisi dengan bahan isolasi (karton, pertinax, dll) untuk mengisolasi baik terhadap inti besi maupun kumbaran lain. Untuk trafo dengan daya besar lilitan dimasukkan dalam minyak trafo sebagai media pendingin. Banyaknya lilitan akan menentukan besar tegangan dan arus yang ada pada sisi sekunder. Kadang kala transformator memiliki kumbaran tertier. Kumbaran tertier diperlukan untuk memperoleh



Gambar 3. Inti Besi



Gambar 4. Bushing

tegangan tertier atau untuk kebutuhan lain. Untuk kedua keperluan tersebut, kumbaran tertier selalu dihubungkan delta. Kumbaran tertier sering juga untuk dipergunakan penyambungan peralatan bantu seperti kondensator synchrone, kapasitor shunt dan reactor shunt. Bentuk dari kumbaran transformator dapat dilihat pada gambar 2.

#### 2) Inti Besi

Inti besi digunakan sebagai media mengalirnya flux yang timbul akibat induksi arus bolak balik pada kumbaran yang mengelilingi inti besi sehingga dapat menginduksi kembali ke kumbaran yang lain. Dibentuk dari lempengan – lempengan untuk mengurangi eddy current yang merupakan arus sirkulasi pada inti besi hasil induksi medan magnet, dimana arus tersebut akan mengakibatkan rugi – rugi. Bentuk inti besi dapat dilihat pada gambar 3.

#### 3) Bushing

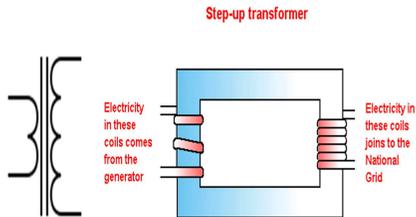
Bushing merupakan sarana penghubung antara belitan dengan jaringan luar. Bushing terdiri dari sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator. Isolator tersebut berfungsi sebagai penyekat antara konduktor bushing dengan body main tank transformator. Bentuk bushing dapat dilihat pada gambar 4.

#### 4) Pendinginan

Suhu pada trafo yang sedang beroperasi akan dipengaruhi oleh kualitas tegangan jaringan, rugi-rugi pada trafo itu sendiri dan suhu lingkungan. Suhu operasi yang tinggi akan mengakibatkan rusaknya isolasi kertas pada trafo. Oleh karna itu pendinginan yang efektif sangat diperlukan. Minyak isolasi trafo selain merupakan media isolasi dia juga berfungsi



Gambar 5. Tangki dan Konservator



Gambar 7. Transformator Step-Up

sebagai pendingin. Pada saat minyak bersirkulasi, panas yang berasal dari belitan akan dibawah oleh minyak sesuai jalur sirkulasinya dan akan didinginkan pada sirip-sirip radiator. Adapun proses pendinginan ini dapat dibantu oleh adanya kipas dan pompa sirkulasi guna meningkatkan efisiensi pendinginan.

5) *Tangki dan Konservator*

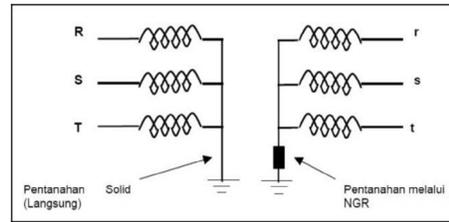
Tangki Konservator berfungsi untuk menampung minyak cadangan dan uap/udara akibat pemanasan trafo karena arus beban. Diantara tangki dan trafo dipasangkan relai bucholz yang akan meyerap gas produksi akibat kerusakan minyak. Untuk menjaga agar minyak tidak terkontaminasi dengan air, ujung masuk saluran udara melalui saluran pelepasan/venting dilengkapi media penyerap uap air pada udara, sering disebut dengan silica gel dan dia tidak keluar mencemari udara disekitarnya. Bentuk tangka dan konsevator dapat dilihat pada gambar 5.

6) *Tap Charger*

Kestabilan tegangan dalam suatu jaringan merupakan salah satu hal yang dinilai sebagai kualitas tegangan. Transformator dituntut memiliki nilai tegangan output yang stabil sedangkan besarnya tegangan input tidak selalu sama. Dengan mengubah banyaknya belitan pada sisi primer diharapkan dapat mengubah ratio antara belitan primer dan sekunder dan dengan demikian tegangan output/sekunderpun dapat di proses perubahan ratio belitan ini dapat dilakukan pada saat transformator sedang berbeban (*On load tap changer*) atau saat transformator tidak berbeban (*Off load tap changer*).

7) *NGR (Netral Ground Resistant)*

Salah satu metode pentanahan adalah dengan menggunakan NGR. NGR adalah sebuah tahanan



Gambar 6. NGR

yang dipasang serial dengan netral sekunder pada transformator sebelum terhubung ke ground/tanah. Tujuan dipasangnya NGR adalah untuk mengontrol besarnya arus gangguan yang mengalir dari sisi netral ke tanah. Bentuk NGR dapat dilihat pada gambar 6.

8) *Peralatan Proteksi*

peralatan yang mengamankan trafo terhadap bahaya fisis, elektris maupun kimiawi

9) *Indikator*

untuk mengawasi selama transformator beroperasi, maka perlu adanya indikator pada transformator yang antara lain sebagai berikut:

- a. indikator suhu minyak
- b. indikator permukaan minyak
- c. indikator sistem pendingin
- d. indikator kedudukan tap

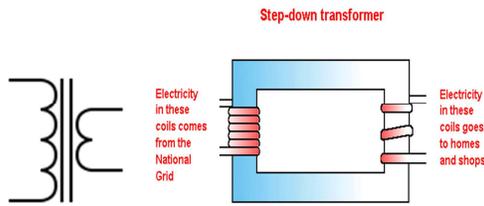
D. *Jenis-jenis Transformator*

1) *Step-Up*

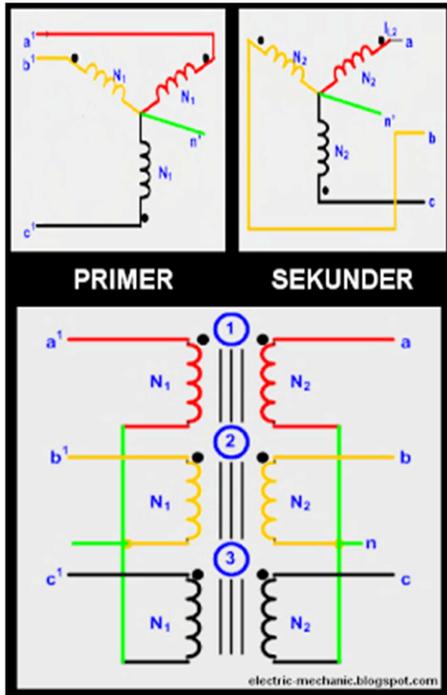
Transformator *step-up* adalah transformator yang memiliki lilitan sekunder lebih banyak daripada lilitan primern, sehingga berfungsi sebagai penaik tegangan. Transformator ini biasa ditemui pada pembangkit tenaga listrik sebagai penaik tegangan yang dihasilkan generator menjadi tegangan tinggi yang digunakan dalam transmisi jarak jauh. Transformator *step-up* dapat dilihat pada gambar 7.

2) *Step Down*

Transformator *step-down* memiliki lilitan sekunder lebih sedikit daripada lilitan primer, sehingga berfungsi sebagai penurun tegangan. Transformator jenis ini sangat mudah ditemui, terutama dalam adaptor AC-DC. Transformator *step-down* dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Transformator Step-Down



Gambar 9. Hubungan Y-Y

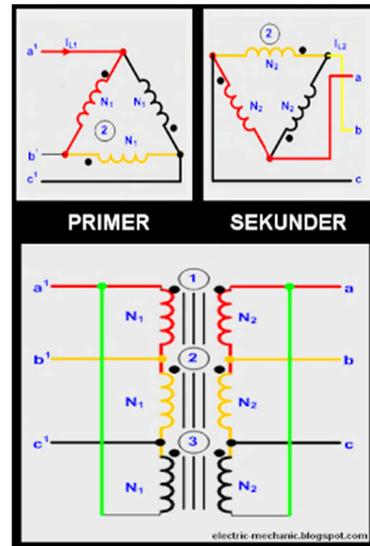
3) *Auto Transformator*

*Auto transformator* adalah transformator listrik dengan hanya menggunakan satu belitan atau satu kumparan. Awalan ‘otomatis’ (Bahasa Yunani untuk ‘diri’) mengacu pada kumparan tunggal yang bekerja sendiri, bukan pada mekanisme otomatis apapun. Dalam autotransformator, bagian-bagian dari belitan sama dengan sisi primer dan sekunder transformator. Sebaliknya transformator biasa memiliki belitan primer dan sekunder yang terpisah yang tidak terhubung secara listrik.

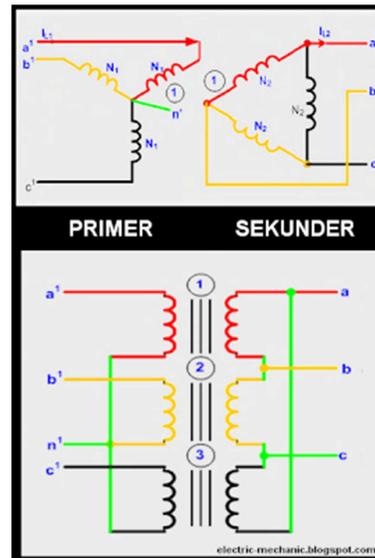
E. *Transformator Tiga Fasa*

Transformator 3 fasa pada dasarnya merupakan Transformator 1 fasa yang disusun menjadi 3 buah dan mempunyai 2 belitan, yaitu belitan primer dan belitan sekunder. Ada dua metode utama untuk menghubungkan belitan primer yaitu hubungan segitiga dan bintang (delta dan wye). Sedangkan pada belitan sekundernya dapat dihubungkan secara segitiga, bintang dan zig-zag (Delta, Wye dan Zig-zag). Ada juga hubungan dalam bentuk khusus yaitu hubungan open-delta (VV connection).

F. *Hubungan Belitan Transformator 3 fasa* [3][4]



Gambar 10. Hubungan (Δ - Δ)



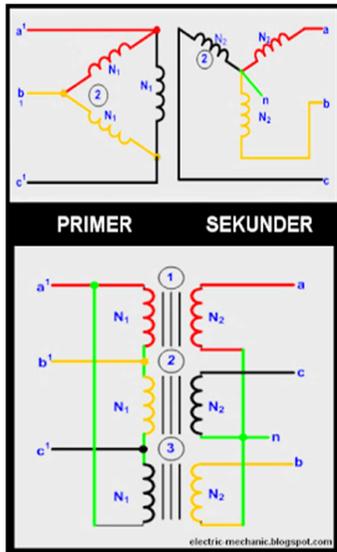
Gambar 11. Hubungan (Y - Δ)

1) *Hubungan Bintang-Bintang*

Pada jenis ini ujung-ujung pada masing-masing terminal yang dihubungkan secara bintang. Kemudian titik netralnya dijadikan menjadi satu. Sehingga hubungan bintang-bintang (Y-Y) ini lebih ekonomis dan untuk memiliki arus nominal yang kecil pada transformator tegangan tinggi. Gambar hubungan bintang-bintang (Y-Y) dapat dilihat pada gambar 9.

2) *Hubungan Segitiga-segitiga*

Pada jenis ini ujung fasa dihubungkan dengan ujung netral kumparan lain yang secara keseluruhan akan terbentuk hubungan delta/ segitiga. Hubungan ini umumnya digunakan pada sistem yang menyalurkan arus besar pada tegangan rendah dan yang paling utama saat keberlangsungan dari pelayanan harus dipelihara meskipun salah satu fasa mengalami kegagalan. Gambar hubungan segitiga – segitiga dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 12. Hubungan (Δ - Y)

3) *Hubungan Bintang-Segitiga*

Pada hubung ini, kumparan pafa sisi primer dirangkai secara bintang (wye) dan sisi sekundernya dirangkai delta. Umumnya digunakan pada trafo untuk jaringan transmisi dimana tegangan nantinya akan diturunkan (*Step- Down*). Perbandingan tegangan jala- jala  $1/\sqrt{3}$  kalinperbandingan lilitan transformator. Tegangan sekunder tertinggal 300 dari tegangan primer. Gambar hubungan bintang-segitiga dapat dilihat pada gambar 11.

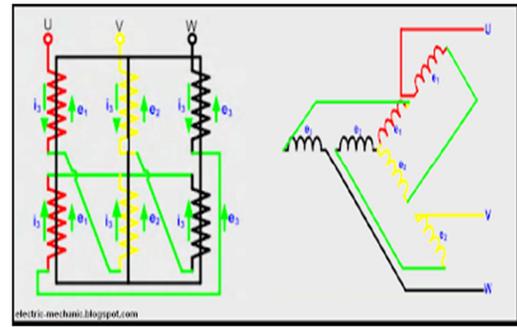
4) *Hubungan Segitiga-Bintang (Δ - Y)*

Pada hubung ini, sisi primer trafo dirangkai secara delta sedangkan pada sisi sekundernya merupakan rangkaian bintang sehingga pada sisi sekundernya terdapat titik netral. Biasanya digunakan untuk menaikkan tegangan (*Step -up*) pada awal sistem transmisi tegangan tinggi. Dalam hubungan ini perbandingan tegangan 3 kali perbandingan lilitan transformator dan tegangan sekunder mendahului sebesar  $30^\circ$  dari tegangan primernya. Gambar hubungan segitiga-bintang dapat dilihat pada gambar 12.

5) *Hubungan Zig-Zag*

Kebanyakan transformator distribusi selalu dihubungkan bintang, salah satu syarat yang harus dipenuhi oleh transformator tersebut adalah ketiga fasanya harus diusahakan seimbang. Apabila beban tidak seimbang akan menyebabkan timbulnya tegangan titik bintang yang tidak diinginkan, karena tegangan pada peralatan yang digunakan pemakai akan berbeda-beda. Untuk menghindari terjadinya tegangan titik bintang, diantaranya adalah dengan menghubungkan sisi sekunder dalam hubungan Zigzag.

Dalam hubungan Zig-zag sisi sekunder terdiri atas enam kumparan yang dihubungkan secara khusus. Gambaran hubungan zig-zag dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13. Hubungan (Z-Z)

G. *Jam Transformator*

Vektor tegangan primer dan sekunder suatu transformator dapat dibuat searah atau berlawanan dengan mengubah cara melilit kumparan. Untuk transformator 3 fasa, arah tegangan akan menimbulkan perbedaan fasa. Arah dan besar fasa tersebut mengakibatkan adanya berbagai kelompok hubungan pada transformator untuk hubungan delta ada pada gambar 14 dan hubungan bintang dapat dilihat pada gambar 15, Dalam menentukan kelompok hubungan diambil beberapa patokan sebagai berikut[5][6][7]:

- 1) Notasi untuk hubungan delta, bintang, dan hubungan zig-zag, masing-masing adalah D, Y, dan Z untuk sisi tegangan tinggi dan d,y,z untuk sisi tegangan rendah.
- 2) Untuk urutan fasa dipakai notasi U, V, W untuk tegangan tinggi dan u, v, w tegangan sekunder sebagai tegangan rendah.
- 3) Tegangan Primer dianggap sebagai tegangan tinggi dan tegangan sekunder dianggap sebagai tegangan rendah.
- 4) Angka jam menyatakan bagaimana letak sisi kumparan tegangan tinggi terhadap sisi tegangan rendah.
- 5) Jarum jam panjang selalu dibuat menunjuk angka 12 dan dibuat berhimpit (dicocokkan) dengan vektor fasa VL tegangan tinggi line to line.
- 6) Bergantung dari perbedaan fasanya, vektor fasa tegangan rendah (u, v, w) dapat dilukiskan, letak vektor fasa v1 tegangan rendah line to line menunjukkan arah jarum jam pendek.
- 7) Sudut antara jarum jam panjang dan pendek adalah pergeseran antara vektor fasa V dan v.

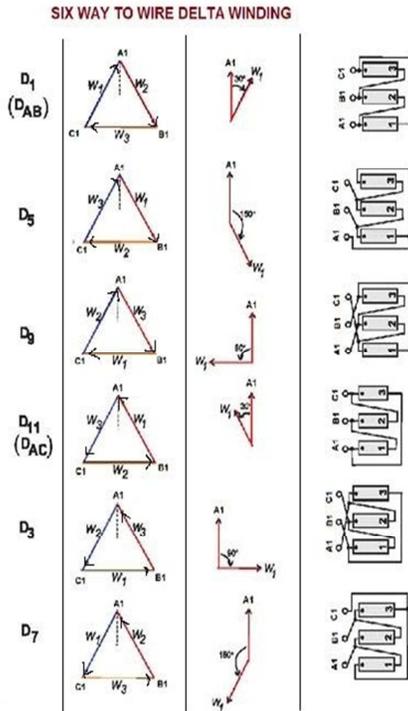
II. METODE

A. *Perencanaan Transformator*

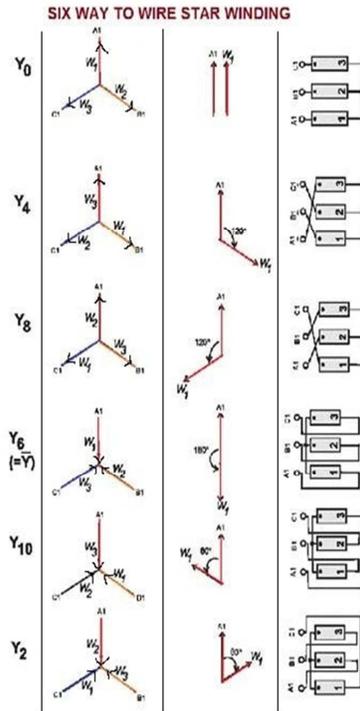
Perencanaan transformator terdiri atas [8][9][10]:

1) *Perencanaan Inti*

Perencanaan inti adalah salah satu bagian yang penting, karena inti menentukan dimensi dan berat transformator serta berfungsi sebagai lintasan fluks magnetic. Bentuk ideal inti adalah lingkaran yang merupakan susunan lembaran baja silikon [3].pada persamaan (1),(2) dan (3).



Gambar 14. Arah Jam Hubungan Delta



Gambar 15. Arah Jam Hubungan Bintang

Tegangan perlilitan  $E_t = K\sqrt{S}/3$  (1)

Fluks  $\Phi_m = \frac{Et}{4,44.f}$  (2)

Luas inti  $A_i = \frac{\Phi_m}{B_m}$  (3)

Di mana:

$A_i$  = luas inti fluks ( $m^2$ )

$B_m$  = kerapatan fluks maksimum ( $Wb/m^2$ )

$\Phi_m$  = fluks maksimum ( $Wb$ )

$E_t$  = tegangan per lilitan ( $Volt/lilitan$ )

$K$  = konstanta transformator

$F$  = frekuensi ( $Hz$ )

2) Perencanaan Jendela

Untuk menghitung jendela menggunakan persamaan (4) – (11).

$K_w = \frac{10}{30+kV}$  (50 sampai 200 KVA) (4)

$K_w = \frac{12}{30+kV}$  (kira-kira 1000 KVA) (5)

$K_w = \frac{8}{30+kV}$  (kira-kira 10 KVA) (6)

Luas jendela diperoleh pada pers: (7)

$A_w = \frac{S}{3,33.f.Bm\delta Kw.Ai.10}$  (8)

Luas jendela  $A_w =$  tinggi jendela x lebar jendela

$= H_w \times W_w$  (9)

Rasio tinggi jendela dan lebar jendela adalah antara 2 sampai 4

Dimana Tinggi jendela  $H_w = \sqrt{2A_w}$  (10)

Lebar jendela  $W_w = \frac{H_w}{2}$  (11)

3) Perencanaan Yoke

Luas yoke diambil 15% sampai 25% lebih besar daripada inti transformator yang menggunakan *hot rolled silicon steel*. Ini dilakukan untuk mengurangi harga fluks yang terdapat pada yoke. Ini mengurangi rugi-rugi besi dan arus magnetisasi. Untuk transformator yang menggunakan *cold rolled grain oriented steel*, luas yoke diambil sama dengan inti.

Luas Yoke menggunakan persamaan (12).

$A_y = 1,15 \times A_i$  (12)

Dimana :

$A_y =$  Luas yoke ( $m^2$ )

$A_i =$  luas penampang inti ( $m^2$ )

Tinggi dan Lebar Yoke

Untuk lebar yoke menggunakan persamaan (13).

$$B_y = 0,9 \times d \tag{13}$$

Untuk tinggi yoke menggunakan persamaan (14).

$$H_y = \frac{A_y}{B_y} \tag{14}$$

Dimana :

d = diameter lingkaran luar inti (cm)

A<sub>y</sub> = luas yoke (m<sup>2</sup>)

B<sub>y</sub> = lebar yoke (m)

Panjang Yoke menggunakan persamaan (15)

$$W_y = 2 \cdot D + 0,9 \cdot d \tag{15}$$

Dimana :

W<sub>y</sub> = Panjang Yoke (cm)

D = jarak antar pusat inti (cm)

d = diameter inti (cm)

4) *Ukuran Keseluruhan Kerangka*

Untuk keseluruhan kerangka menggunakan persamaan (16) dan (17)

$$D = d + W_w ; D_Y = a \tag{16}$$

$$H = H_w + 2H_Y ; W = 2D + B_y ; \tag{17}$$

Dimana:

H = Tinggi keseluruhan (cm)

H<sub>w</sub> = Tinggi jendela (cm)

H<sub>Y</sub> = Tinggi yoke (cm)

D = Jarak antar pusat inti (cm)

B<sub>y</sub> = Lebar yoke (cm)

5) *Perencanaan Belitan*

Untuk tegangan sekunder per fasa pada persamaan (18)

$$V_s = \frac{380}{\sqrt{3}} \tag{18}$$

Jumlah lilitan pada belitan primer pada persamaan (19)

$$N_1 = \frac{\text{tegangan belitan primer}}{\frac{\text{tegangan per lilitan}}{Et}} = \frac{V_1}{Et} \tag{19}$$

Jumlah lilitan pada belitan sekunder pada persamaan (20)

$$N_2 = \frac{\text{tegangan belitan sekunder}}{\frac{\text{tegangan per lilitan}}{Et}} = \frac{V_2}{Et} \tag{20}$$

Untuk arus pada belitan sekunder pada persamaan (21)

$$I_s = \frac{s}{3 \cdot V_s} \tag{21}$$

Untuk arus pada belitan primer pada persamaan (22)

$$I_p = \frac{s}{3 \cdot V_p} \tag{22}$$

Luas konduktor dalam belitan primer dan sekunder ditentukan setelah memilih kerapatan arus yang cocok yang digunakan dalam belitan pada persamaan (23) untuk primer (24) untuk sekunder.

$$\text{Luas konduktor primer } a_p = \frac{I_1}{\delta_p} \tag{23}$$

$$\text{Luas konduktor sekunder } a_s = \frac{I_2}{\delta_s} \tag{24}$$

Dimana:

a<sub>p</sub> = luas konduktor primer (mm<sup>2</sup>)

a<sub>s</sub> = luas konduktor sekunder (mm<sup>2</sup>)

δ<sub>p</sub> = kerapatan arus primer (A/mm<sup>2</sup>)

δ<sub>s</sub> = kerapatan arus sekunder (A/mm<sup>2</sup>)

V<sub>1</sub> = tegangan primer (Volt)

V<sub>2</sub> = tegangan sekunder (Volt)

I<sub>1</sub> = arus primer (A)

I<sub>2</sub> = arus sekunder (A)

6) *Perencanaan Isolasi*

Rumusan praktis yang digunakan untuk menentukan ketebalan isolasi antara belitan tegangan rendah dan belitan tegangan tinggi, seperti persamaan (25) berikut ini:

$$\text{Ketebalan isolasi} = 5 + 0,9kV \text{ (mm)} \tag{25}$$

Dimana kV adalah tegangan dalam kilovolt antara belitan tegangan tinggi dan bumi atau antara belitan. Ketebalan ini sudah meliputi lebar duct minyak yang disediakan di antaranya [3][4].

7) *Effisiensi* [6]

Effisiensi menggunakan pada persamaan (26).

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \tag{26}$$

dimana:

η = effisiensi (%)

P<sub>out</sub> = daya keluaran (Watt)

P<sub>in</sub> = daya masukan (Watt)

### III HASIL DAN PEMBAHASAN

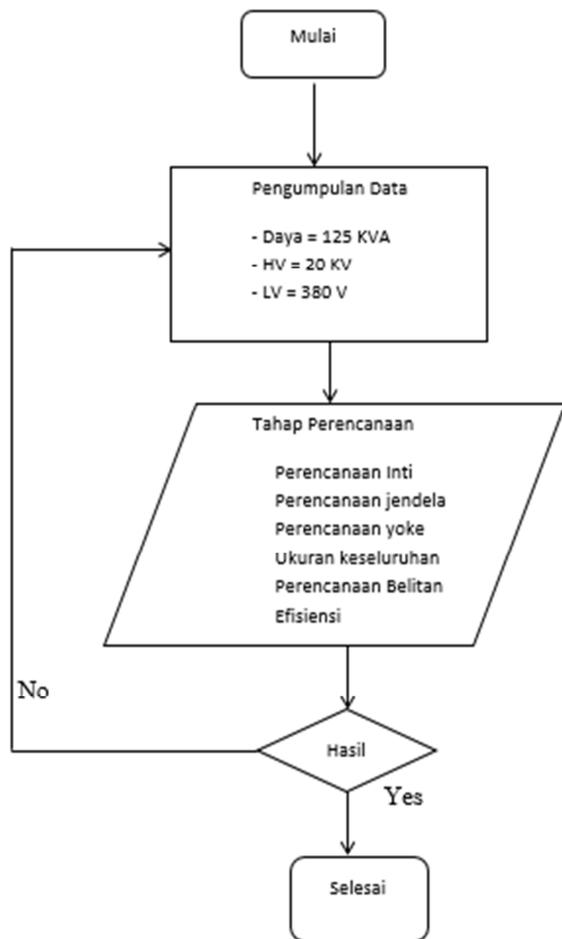
Hasil perhitungan perencanaan transformator distribusi dengan spesifikasi sebagai berikut :

Trafo 3 fasa distribusi 3 fasa :

- Daya : 125 kVA
- Tegangan Saluran : HV = 20 kV , LV = 380 V
- Tegangan Fasa : HV = 20 kV , LV = 220 V
- Frekuensi : 50 Hz
- Hubungan Belitan : Ynd-5

$$L = \frac{A_w}{D-d} = \frac{1300}{39,4-13,9} = \frac{1300}{25,5} = 50,9 \text{ cm}$$

Untuk hasil perencanaan inti dapat di lihat pada Tabel I.



Gambar 16. Flow Chart Perencanaan Transformator

A. Perencanaan Jendela

Koefisien jendela

$$K_w = \frac{10}{30+kV} = \frac{10}{30+20} = 0,2$$

Luas jendela

$$A_w = \frac{s}{3,33 \cdot f \cdot B_m \cdot A_i \cdot K_w \cdot \delta \cdot 10^3}$$

$$= \frac{125}{3,33 \cdot 50 \cdot 1,5 \cdot 0,0087 \cdot 0,2 \cdot 2,2 \cdot 1000}$$

$$= 0,13m^2 = 1300cm^2$$

Tinggi Jendela

$$H_w = \sqrt{2A_w} = \sqrt{2 \cdot 1300} = 51 \text{ c}$$

Lebar Jendela

$$W_w = \frac{H_w}{2} = \frac{51}{2} = 25,5 \text{ cm}$$

Untuk hasil perencanaan jendela dapat di lihat pada Tabel II.

B. Perencanaan Yoke

Luas Yoke

$$A_y = 1,15 \times A_i = 1,15 \times 0,0087$$

$$= 0,01 \text{ m}^2$$

Panjang Yoke

$$W_y = 2 \cdot D + 0,9 \cdot d = 2 \cdot 39,4 + 0,9 \cdot 13,9$$

$$= 78,8 + 12,51 = 91,31 \text{ cm}$$

$$= 0,913 \text{ m}$$

Untuk hasil perencanaan yoke dapat di lihat pada Tabel III.

C. Ukuran Kerangka Keseluruhan

Tinggi Keseluruhan

$$H = H_w + 2 \cdot H_y = 51 + 2 \cdot 8$$

$$= 51 + 16 = 67 \text{ cm}$$

Lebar Keseluruhan

$$W = D + B_y = 39,4 + 12,51 = 51,91 \text{ cm}$$

Untuk hasil keseluruhan kerangka dapat dilihat pada Tabel IV.

D. Perencanaan Belitan

Belitan Tegangan Rendah :

Besar tegangan per fasa

$$V_s = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ V}$$

Jumlah lilitan per fasa

$$N_s = \frac{V_s}{E_t} = \frac{220}{2,9} = 75,86 = 76 \text{ lilitan}$$

Arus Sekunder

$$I_s = \frac{s}{3 \cdot V_s} = \frac{125000}{3 \cdot 220} = \frac{125000}{660} = 189,4 \text{ A}$$

Luas konduktor Sekunder

$$a_s = \frac{I_s}{\delta} = \frac{189,4}{2,2} = 86,1 \text{ mm}^2$$

Belitan Tegangan Tinggi

Besar tegangan per fasa

$$V_p = 20.000 \text{ V}$$

Jumlah lilitan per fasa

$$N_p = \frac{V_p}{V_s} \cdot N_s = \frac{20000}{220} \cdot 76 = 7254 \text{ lilitan}$$

Arus Primer

$$I_p = \frac{s}{3 \cdot V_p} = \frac{125000}{3 \cdot 20000} = \frac{125000}{60000} = 2,08 \text{ A}$$

Luas konduktor primer

$$a_p = \frac{l_p}{\delta} = \frac{2,08}{2,2} = 0,95 \text{ mm}^2$$

Untuk hasil perencanaan belitan dapat dilihat pada Tabel V.

**E. Perencanaan Isolasi**

Ketebalan isolasi = 5 + 0.9(kV) = 5 + 0.9(20) = 23 m

Untuk Isolasi belitan sekunder (tegangan rendah) menggunakan tipe NYFGbY&NYY dengan ketebalan 70 mm., sedangkan untuk belitan primer (tegangan tinggi) digunakan isolasi dengan ketebalan 23 mm.

**F. Effisiensi**

Impedansi

Untuk menghitung impedansi digunakan persamaan sebagai berikut ;

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

Dimana :  $kV^2$  = Tegangan sisi sekunder transformator tenaga (kV)

MVA = Kapasitas daya trafo (MVA)

Sehingga ;

$$X_t \text{ (pada 100\%)} = \frac{kV^2}{MVA} = \frac{0,38^2}{0,125} = \frac{0,1444}{0,125} = 1,1552 \text{ ohm}$$

Reaktansi

Untuk reaktansi tersebut, akan dihitung reaktansi sekunder (urutan positif dan urutan negatif) dan reaktansi primer ( urutan nol).

Reaktansi sekunder (urutan positif dan negatif)

Untuk menghitung reaktansi sekunder digunakan persamaan sebagai berikut ;

$X_{t1}$  = % impedansi yang diketahui x  $X_t$  (pada 100%)  
 Dimana :  $X_t$  (pada 100%) = impedansi transformator % impedansi yang diketahui = 4% (SPLN D3-002)  
 Sehingga ;

$$X_{t1} = \% \text{ impedansi yang diketahui} \times X_t \text{ (pada 100\%)} \\ = 0,04 \times 1.552 \\ = 0,046 \text{ ohm}$$

Reaktansi primer (urutan nol)

Untuk menghitung reaktansi primer digunakan persamaan sebagai berikut ;

$$X_{t0} = 3. X_{t1}$$

Dimana :  $X_{t1}$  = Reaktansi sekunder (ohm)

Sehingga ;

$$X_{t0} = 3. X_{t1} = 3. 0,046 = 0,138 \text{ ohm}$$

Resistansi

Untuk resistansi tersebut, akan dihitung resistansi sekunder dan resistansi primer.

Resistansi sekunder

$$L_{mts} = \pi \cdot D_{ks} = 3,14 \cdot 10,47 = 32,8758 \text{ mm}$$

$$R_s = \rho \frac{N_s L_{mts}}{a_s} \\ = 1,68 \times 10^{-844} \cdot \frac{32,8758}{86,1} \\ = 1,68 \times 10^{-8} \cdot 16,8 \\ = 28,224 \times 10^{-8} \text{ ohm}$$

Resistansi primer

Untuk menghitung resistansi sekunder digunakan rumus sebagai berikut ini :

$$R_p = \rho \frac{N_p L_{mtp}}{a_p} \tag{27}$$

Dimana :

$N_p$  = Jumlah lilitan primer

$L_{mtp}$  = Panjang rata-rata perbelitan primer (mm)

$a_p$  = Luas konduktor primer ( $mm^2$ )

$\rho$  = Hambatan jenis kawat tembaga (ohm/m)

TABEL I  
HASIL PERENCANAAN INTI

1	Konstanta	K	0,45
2	Tegangan/lilitan	$E_t$	2,9 V/lilitan
3	Diameter inti (Tebal inti)	D	13,9 cm
4	Luas Inti	$A_i$	87 $cm^2$
5	Kerapatan fluks	$B_m$	1,5 Wb/ $m^2$
6	Berat		234 kg
7	Fluks	$\Phi_m$	0,013 Wb
8	Asumsi tinggi kumapran	L	50,9 cm
9	Panjang Inti		78,8 cm

TABEL III  
HASIL PERENCANAAN YOKE

1	Luas yoke	$A_y$	0,01 $m^2$
2	Lebar yoke	$B_y$	0,1251 m
3	Tinggi yoke	$H_y$	0,08 m
4	Panjang yoke	$W_y$	0,913 m

TABEL IV  
HASIL PERENCANAAN SELURUH KERANGKA

1	Jarak antara pusat inti	D	39,4 cm
2	Tinggi keseluruhan	H	67 cm
3	Lebar keseluruhan	W	51.91 cm

TABEL V  
HASIL PERENCANAAN BELITAN

No	Belitan	L,V	H,V
1	Hubungan	Star	Delta
2	Luas konduktor	86,1 $mm^2$	0,95 $mm^2$
3	Kerapatan arus	2,2 A/ $mm^2$	2,2 A/ $mm^2$
4	Arus	189,4 A	2,08 A
5	Jumlah lilitan per fasa	76 lilitan	7254 lilitan
6	Jumlah lapisan	2	16
7	Diameter konduktor	1,047 cm	0,11 cm
8	Tinggi belitan	49,209 cm	49,94 cm

TABEL VI  
HASIL PERHITUNGAN IMPENDANSI

No	Impedansi	L.V	H.V
1	Resistansi	$28,224 \times 10^{-8} \Omega$	$2,6 \times 10^{-4} \Omega$
2	Reaktansi	$0,046 \Omega$	$0,138 \Omega$
3	Impedansi	$1,1552 \Omega$	

Sehingga ;

$$L_{mtp} = \pi \cdot D_{kp} \\ = 3,14 \cdot 1,1 = 3,454 \text{ mm}$$

$$R_p = \rho \frac{N_p L_{mtp}}{a_p} \\ = 1,68 \times 10^{-8} \frac{4200 \cdot 3,454}{0,95} = 1,68 \times 10^{-8} \cdot 15270,3 \\ = 2,6 \times 10^{-4} \text{ ohm}$$

Untuk hasil perhitungan impedansi dapat dilihat pada Tabel VI.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{71972}{74546,0111} \times 100\% = 96,5 \%$$

Untuk hasil perhitungan efisiensi dapat dilihat pada Tabel VII.

Dari data hasil di atas dapat di analisa untuk transformator distribusi sebagai berikut :

- 1) Jadi untuk mendapat nilai efisiensi transformator distribusi yang baik yaitu mendekati ato sma dengan 100%, maka kita harus memperkecil nilai rugi-rugi pada inti besi maupun rugi-rugi tembaga
- 2) Untuk rugi-rugi arus eddy sesuai hasil perencanaan pada bab 3 yaitu 2531,25 Watt jadi untuk memperkecil rugi-rugi arus eddy tersebut maka kita membuat inti besi berlapis-lapis.
- 3) Hasil efisiensi yang didapatkan pada hasil tersebut ialah 96,5% menunjukkan bahwa transformator tersebut dalam keadaan baik atau normal.
- 4) Pemilihan material sangat penting karena akan mempengaruhi efisiensi dari transformator tersebut.

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

##### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan yang saya lakukan ,maka dapat disimpulkan bahwa nilai kerapatan arus dan kerapatan fluks akan mempengaruhi bentuk dari jendela trafo dan luas inti, semakin besar nilai nya maka semakin kecil bentuk trafo tersebut. Kemudian semakin kecil nilai tegangan perlilitan maka makin banyak jumlah lilitan pada lilitan sekunder dan lilitan primer. Pemilihan memungkinkan

TABEL VII  
HASIL PERHITUNGAN EFFISIENSI

1	Daya keluaran	71972 Watt
2	Daya masukan	74546,01111 Watt
3	Effisiensi	96,5 %

material sangat penting karna akan mempengaruhi efisiensi transformator tersebut. Rugi-rugi yang besar yaitu rugi pada inti besi, untuk mengurangi rugi tersebut di buatlah inti trafo itu berlapis-lapis. Untuk kemampuan daya pada perencanaan transformator tersebut ialah 125.400 VA, melebihi kapasitas yang telah ditentukan

##### B. Saran

Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan membuat program jika memungkinkan

#### V KUTIPAN

- [1] A. Kadir, *Pengantar Teknik Tenaga Listrik*. Jakarta: LP3ES, 1984.
- [2] PT. PLN PERSERO, *Panduan Pemeliharaan Trafo Tenaga, No Dokumen : P3B/O&M Trafo/001.01.*
- [3] A. . Goldman and C. . Pebler, "Power Transformers, Vol. 2, Electrical Power Research Institute," Palo Alto, CA, 1987.
- [4] J. H. Harlow, *Electric power transformer engineering series 9*. 2004.
- [5] K. . Gebrt and K. . Edwards, *Transformers*. Homewood: American Technical, 1974.
- [6] R. . Bean, N. Chackan, H. . Moore, and E. . Wentz, *Transformers for the Electric Power Industry*. New York, 1959.
- [7] H. Kan, *Problems related to cores of transformers and reactors*. Electra, 94, 1984.
- [8] C. R.H, H. T. M. Soelaiman, and S. M, "Pnggunaan Anlisi Tensor Dalam Perencanaan Mengevaluasi Perencanaan Transformator."
- [9] IEEE, *Guide for Transformers Directly Connected to Generators, IEEE C57.116-1989*. Piscataway, NJ, 1989.
- [10] S. . Mehta, N. Aversa, and M. . Walker, *Transforming transformers, IEEE Spectrum*, 34,7,43-49. 1997.



Penulis bernama lengkap Yaved Pasereng Tondok, lahir sebagai anak terakhir dari empat bersaudara, lahir di Rantepao pada tanggal 14 Maret 1996 dari pasangan suami istri Agustinus Tondok ( ayah ) dan Budiwidiastuti Pasereng ( ibu ). Penulis menempuh Pendidikan secara berturut-turut di TK KATOLIK Rantepao ( 2001-2002), SD KATOLIK Rantepao ( 2002-2008),

SMP Negeri 1 Rantepao ( 2008-2011 ), dan SMA Negeri 1 Rantepao ( 2011-2014). Pada tahun 2014, penulis melanjutkan studi di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi dan mengambil jurusan Teknik Elektro. Pada Tahun 2016 memilih konsentrasi minat Tenaga Listrik. Penulis melaksanakan kerja praktek di PT Pertamina Geothermal Energy Area Lahendong Unit 5 dan 6 selama 2 bulan yaitu pada tangga 15 Januari 2018 sampai 15 Maret 2018 dan mengikuti Kuliah Kerja Terpadu angkatan 115 di desa Tadoy, Kecamatan Bolaang Timur, Kabupaten Bolaang Mongondow.