



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Transformator¹

Transformator merupakan suatu alat magnet elektrik yang sederhana, andal, dan efisien untuk mengubah tegangan arus bolak-balik dari satu tingkat ke tingkat yang lain. Pada umumnya transformator terdiri atas sebuah inti, yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Rasio perubahan tegangan akan tergantung dari rasio jumlah lilitan pada kedua kumparan itu. Biasanya kumparan terbuat dari kawat tembaga yang dibelit seputar "kaki" inti transformator. Secara umum dapat dibedakan dua jenis transformator menurut konstruksinya, yaitu tipe inti, dan tipe cangkang. Pada tipe inti terdapat dua kaki, dan masing-masing kaki dibelit oleh satu kumparan. Sedangkan tipe cangkang mempunyai tiga buah kaki, dan hanya kaki yang tengah-tengah dibelit oleh kedua kumparan. Kedua kumparan saling tergabung secara magnetik melalui inti. Kumparan-kumparan itu tidak tergabung secara elektrik. Bagian datar dari inti dinamakan pemikul.

Penggunaan transformator yang sangat sederhana dan andal itu merupakan salah satu sebab penting bahwa arus bolak-balik sangat banyak dipergunakan untuk pembangkitan dan penyaluran tenaga listrik. Pada penyaluran tenaga listrik terjadi kerugian energi sebesar FR watt.detik. Kerugian ini akan banyak berkurang apabila tegangan dinaikkan. Dengan demikian maka saluran-saluran transmisi tenaga listrik senantiasa mempergunakan tegangan yang tinggi. Tegangan transmisi yang tertinggi di Indonesia pada saat ini adalah 500 kV, atau kilovolt, yaitu sama dengan 500.000 volt. Hal ini dilakukan terutama untuk mengurangi kerugian energi yang terjadi. Dan menaikkan tegangan listrik di pusat listrik dari tegangan generator yang biasanya berkisar antara 6 sampai 20 kV pada awal

¹ Abdul Kadir.2010.*Transformator*, Jakarta: Universitas Indonesia,hlm,01.



saluran transmisi, kemudian menurunkannya lagi pada ujung akhir saluran itu ke tegangan yang lebih rendah, yang dilakukan dengan transformator.

Transformator yang dipakai pada jaringan tenaga listrik merupakan transformator tenaga. Di samping itu ada jenis-jenis transformator lain yang banyak dipergunakan, dan yang pada umumnya merupakan transformator yang jauh lebih kecil. Misalnya transformator yang dipakai di rumah tangga untuk menyesuaikan tegangan dari lemari es dengan yang dari jaringan listrik umum. Atau transformator yang lebih kecil, yang dipakai pada lampu TL. Atau, lebih kecil lagi, transformator "mini" yang dipergunakan pada berbagai alat elektronik, seperti pesawat penerima radio, televisi, dan lain sebagainya.

Transformator disebut peralatan statis karena tidak ada bagian yang bergerak atau berputar, tidak seperti motor atau generator. Dalam bentukannya yang paling sederhana, transformator terdiri dari atas dua kumparan yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Kumparan primer adalah kumparan yang menerima daya dan dinyatakan sebagai terminal masukan dan kumparan sekunder adalah kumparan yang melepaskan daya dan sebagai terminal keluaran. Kedua kumparan ini dililitkan di dalam inti besi transformator.

Trafo merupakan jantung dari distribusi dan transmisi yang diharapkan beroperasi maksimal (kerja terus menerus tanpa henti). Agar dapat berfungsi dengan baik, maka trafo harus dipelihara dan dirawat dengan baik menggunakan sistem dan peralatan yang tepat. Trafo dapat dibedakan berdasarkan tenaganya, trafo 500/150 kv dan 150/70 kv biasa disebut trafo Interbus Transformator (IBT) dan trafo 150/20 kv dan 70/20 kv disebut trafo distribusi. Trafo pada umumnya ditanahkan pada titik netral sesuai dengan kebutuhan untuk sistem pengamanan atau proteksi. Sebagai contoh trafo 150/20 kv ditanahkan secara langsung di sisi netral 150 kv dan trafo 70/20 kv ditanahkan dengan tahanan rendah atau tahanan tinggi atau langsung di sisi netral 20 kv.



2.2 Prinsip Kerja Transformator¹

Transformator atau trafo bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Berdasarkan pada hukum tersebut maka apabila sebuah kumparan (primer) dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik (AC) maka akan timbul fluks bolak-balik pada inti yang terbungkus kumparan. Kumparan tersebut membuat jaringan tertutup, sehingga mengalir arus primer. Karena adanya fluks pada kumparan primer, maka pada kumparan primer terjadi induksi sendiri (*self induction*). Pengaruh induksi dari kumparan primer membuat kumparan sekunder juga terjadi induksi. Transformator terdiri dari dua gulungan kawat yang terpisah satu sama lain, yang dibelitkan pada inti yang sama. Daya listrik dipisahkan dari kumparan primer ke kumparan sekunder dengan perantaraan garis gaya magnet (fluks magnet), yang dibangkitkan oleh aliran listrik yang mengalir melalui kumparan primer.

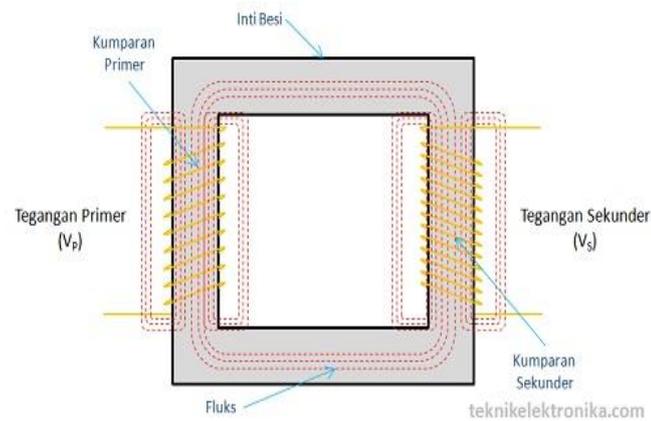
Untuk dapat membangkitkan tegangan listrik pada kumparan sekunder, fluks magnet yang dibangkitkan oleh kumparan primer harus berubah-ubah. Untuk memenuhi hal ini, aliran listrik yang mengalir melalui kumparan primer haruslah aliran listrik bolak-balik.

Saat kumparan primer dihubungkan ke sumber listrik AC, pada kumparan primer timbul gaya gerak magnet bersama yang bolak-balik juga. Dengan adanya gaya gerak magnet ini, di sekitar kumparan primer timbul fluks magnet bersama yang juga bolak-balik. Adanya fluks magnet bersama ini pada ujung-ujung kumparan sekunder timbul gaya gerak listrik induksi sekunder yang mungkin sama, lebih tinggi, atau lebih rendah dari gaya gerak listrik primer. Hal ini tergantung pada perbandingan transformasi kumparan transformator tersebut.

¹ Abdul Kadir.2010.*Transformator*, Jakarta: Universitas Indonesia,hlm,03.



Jika kumparan sekunder dihubungkan ke beban, maka pada kumparan sekunder timbul arus listrik bolak-balik sekunder akibat adanya gaya gerak listrik induksi sekunder. Hal ini mengakibatkan timbul gaya gerak magnet pada kumparan sekunder dan akibatnya pada beban timbul tegangan sekunder.



Gambar 2. 1 Prinsip Kerja Transformator

2.3 Bagian-Bagian Transformator⁴

1. Inti Besi

Inti besi, yang merupakan bahan ferro magnet berfungsi untuk melipat gandakan nilai atau mempermudah jalan fluksi yang ditimbulkan oleh arus listrik yang dialirkan melalui kumparan. Nilai induksi atau kerapatan fluksi di dalam inti besi jauh lebih besar dan nilai induksi kumparan yang sama jika intinya terbuat dari bahan non ferro, karena nilai permeabilitas bahan ferro ribuan kali lebih besar dari nilai permeabilitas bahan non ferro magnet. Inti besi juga berfungsi menghantarkan dan mengarahkan arus magnet (fluksi), sehingga hampir seluruh fluksi yang dibangkitkan kumparan primer menerobos kumparan sekunder sehingga di kumparan sekunder terinduksi GGL yang selanjutnya memasok energi

⁴ Primasetya, Patra Novear.2012. *Proses Rewinding Transformatro Distribusi 100 KVA Fasa 3 PT.PLN (Persero) APJ Kediri*, Jakarta: Sekolah Tinggi Teknik PLN



listrik ke beban. Dengan demikian, hampir seluruh energi listrik di kumparan primer dipindahkan dan diubah menjadi energi listrik dikumparan sekunder melalui medan magnet. Namun, inti besi juga memberikan efek negatif pada operasi transformator, yaitu menyebabkan timbulnya rugi-rugi energi yang disebut rugi besi yaitu :

- Rugi-rugi arus pusar, rugi-rugi ini timbul akibat fluksi bolak-balik menerobos inti besi sehingga timbul arus pusar yang mengalir di dalam inti besi tersebut sehingga mengakibatkan timbulnya panas.
- Rugi-rugi histerisis, rugi-rugi ini juga menimbulkan panas pada inti besi tersebut. Nilai rugi histerisis proporsional dengan luas lengkung kemagnetan inti besi tersebut.

Untuk menekan rugi besi akibat arus pusar, inti besi harus dibuat berlapis dengan dilaminasi antar lapis satu dengan lapis lain agar nilai arus pusar dapat ditekan. Dengan demikian, inti besi merupakan salah satubagian yang paling utama, karena inti sebagai jalan sirkulasi fluks magnet, maka bahan yang digunakan pada inti besi harus dipilih yang mempunyai rugi histerisis rendah yang dikenal dengan nama besi lunak.

Luas penampang inti besi sangat menentukan terhadap desain transformator yang akan dibuat. Dimensi yang diinginkan baik itu lebarnya maupun tingginya dapat diatur melalui luas dan tinggi dari inti besi yang dibuat. Tulisan ini tidak menampilkan proses menghitung atau menentukan luas penampang dan inti besi. Luas penampang dan tinggi inti besi mengikuti desain yang ada atau yang sudah didesain oleh pabrikan, hanya mengikuti desain yang ada dan menghitung ulang terhadap material yang rusak untuk direkondisi supaya kembali ke spesifikasi semula seperti merekondisi kumparan primer yang sering mengalami kerusakan yang sangat parah sehingga diperlukan penggantian dan penggulangan ulang.



Gambar 2. 2 Inti Besi

2. Kumbaran Transformator

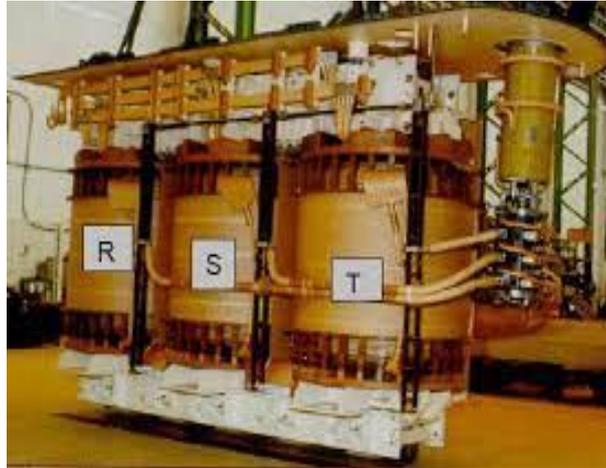
Kumbaran atau lilitan adalah media tempat mengalirnya arus yang besarnya disesuaikan dengan kebutuhan. Kumbaran menggunakan kawat tembaga yang dilapisi isolasi email, penggunaannya harus mempertimbangkan daya hantar arus yang tinggi, kemampuan menahan panas, dan tekanan elektromagnetis akibat pembebanan yang berlebihan dan sebagainya.

Kumbaran tersebut terdiri dari kumbaran primer, dan kumbaran sekunder yang diisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap antar kumbaran dengan isolasi padat seperti karton, pertinak dan lain-lain. Lilitan pada transformator distribusi berfungsi sebagai pembangkit fluks magnet pada rangkaian magnetik. Lilitan transformator distribusi terdiri dari lilitan primer (*High Voltage Winding*) dan lilitan sekunder (*Low Voltage Winding*).

Pada transformator distribusi, lilitan primer dihubungkan tegangan input atau tegangan tinggi, dan lilitan sekunder dihubungkan dengan beban tegangan rendah. Arus yang keluar dari lilitan sekunder ini akan didistribusikan ke konsumen. Bila terminal kumbaran primer dihubungkan dengan tegangan sumber arus bolak-balik, dan karenanya pada kumbaran tersebut timbul fluksi. Fluksi ini akan menginduksikan GGL (gaya gerak listrik) pada kumbaran primer dan



sekunder. Bila rangkaian sekunder ditutup (bila ada rangkaian beban) maka, akan menghasilkan arus pada kumparan ini. Jadi, kumparan merupakan sebagai alat transformasi tegangan dan arus.



Gambar 2. 3 Kumparan Transformator

3. Bushing

Bushing adalah sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator yang berfungsi untuk menghubungkan kumparan transformator ke jaringan luar, selain itu juga berfungsi sebagai penyekat antara konduktor dengan tangki transformator.

Terdapat dua macam pada setiap transformator yaitu *High Voltage Bushing* dan *Low Voltage Bushing*. Untuk *High Voltage Bushing* bentuknya lebih besar daripada *Low Voltage Bushing*.



Gambar 2. 4 Busing High dan Low Voltage

Secara garis besar bushing dapat dibagi menjadi empat bagian utama yaitu isolasi, konduktor, klem koneksi dan asesoris. Isolasi pada bushing terdiri dari 2 jenis yaitu *oil impregnated paper* dan *resin impregnated paper*. Pada tipe *oil impregnated paper* isolasi yang digunakan adalah kertas isolasi dan resin.

Terdapat jenis-jenis konduktor pada bushing yaitu *hollow conductor* dimana terdapat besi pengikat atau penengah ditengah lubang konduktor utama, konduktor pejal dan *flexible lead*. Klem koneksi merupakan sarana pengikat antara stud bushing dengan konduktor penghantar diluar bushing. Asesoris bushing terdiri dari indikasi minyak, seal atau gasket dan tap pengujian. Seal atau gasket pada bushing terletak di bagian bawah *mounting flange*.

4. Tangki Transformator

Tangki transformator merupakan bagian untuk menempatkan perlengkapan transformator distribusi seperti : bushing, inti besi, kumparan (primer dan sekunder), minyak transformator, tap changer, dan sebagainya. Bentuk tangki transformator bermacam-macam sesuai produk merknya, misalnya : berbentuk kotak (segi empat), dan oval. Dari berbagai bentuk ada yang menggunakan sirip-sirip dan ada pula yang tidak menggunakan sirip-sirip. Hal tersebut, diperhitungkan sesuai fungsinya untuk memperlebar area penyerapan



panas dari kumparan, dan inti yang disalurkan melalui minyak trafo yang selanjutnya dibuang melalui udara di sekitarnya.

Semakin besar daya transformator maka semakin banyak sirip, dan semakin lebar area penyerapan dan pembuangan panas sehingga transformator dapat bertahan walaupun beban dan panas timbul secara terus menerus.



Gambar 2. 5 Tangki Transformator

5. Minyak Transformator

Minyak transformator memiliki fungsi sebagai penyekat dan media pendingin pada transformator. Minyak transformator mempunyai sifat media pemindah panas (disirkulasi) dan harus mempunyai daya tegangan tembus tinggi. Kumparan-kumparan dan inti besi pada transformator tenaga yang berkapasitas besar direndam dalam minyak transformator.



Gambar 2. 6 Minyak Transformator

Minyak transformator juga harus diperhatikan keadaannya agar tidak mempengaruhi kualitasnya ketika dimasukkan kedalam bodi trafo dan gas apa saja yang terkandung didalam minyak transformator tersebut.

Isolasi minyak transformator yang baik mempunyai karakteristik fisik diantaranya, yaitu :⁵

- a. Kejernihan penampilan dilihat dari warna minyak, warna minyak yang baik memiliki warna yang jernih, bersih, dan bebas endapan. Selama transformator dioperasikan, isolasi minyak akan melarutkan suspensi atau endapan. Semakin banyak isolasi minyak mengalami endapan yang terlarut, maka warna minyak akan semakin gelap.
- b. Viskositas minyak adalah suatu hal yang sangat penting karena minyak transformator yang baik akan memiliki viskositas yang rendah, sehingga dapat bersirkulasi dengan baik dan akhirnya pendinginan inti dan belitan transformator dapat berlangsung dengan baik pula. Nilai viskositas untuk minyak baru harus $\leq 18\text{Cst}$. Uji viskositas hanya dilakukan untuk minyak isolasi baru. Metoda yang dipakai mengacu pada ISO 3104.
- c. Massa Jenis minyak transformator harus mempunyai massa jenis yang

⁵ Badaruddin, Fery Agumng Firdianto .2016.*Analisa Minyak Transformator Pada Transformator 3 Fasa*, Jakarta: Universitas Mercu Buana



kecil, agar partikel-partikel dalam minyak dapat mengendap dengan cepat. Massa jenis merupakan perbandingan massa suatu volume cairan pada suhu $15,56^{\circ}\text{C}$ dengan massa volume air. Massa jenis isolasi minyak transformator harus lebih ringan dari pada massa jenis air.

- d. Titik nyala dari minyak transformator yang baru tidak boleh lebih kecil dari 135°C , sedangkan suhu minyak bekas tidak boleh kurang dari 130°C . Flash point (titik nyala) suatu minyak transformator perlu diketahui dengan pertimbangan keamanan. IEC menetapkan pengujian titik nyala minyak transformator dengan menggunakan metode pensky martin tertutup. Karakteristik titik nyala minyak menentukan terjadinya penguapan dalam minyak. Jika titik nyala minyak rendah, mengidentifikasi terdapat kandungan yang bersifat volatile combusite, sehingga minyak akan mudah menguap dan menyebabkan volume minyak akan berkurang yang pada akhirnya minyak semakin kental (viskositasnya semakin tinggi).
- e. Titik tuang dipakai untuk mengidentifikasi dan menentukan jenis peralatan yang akan menggunakan minyak isolasi. Titik tuang merupakan nilai batas isolasi minyak akan terus mengalir saat didinginkan pada temperatur di bawah normal. Semakin rendah nilai titik tuang semakin baik isolasi minyak.

2.4 Peralatan Bantu⁴

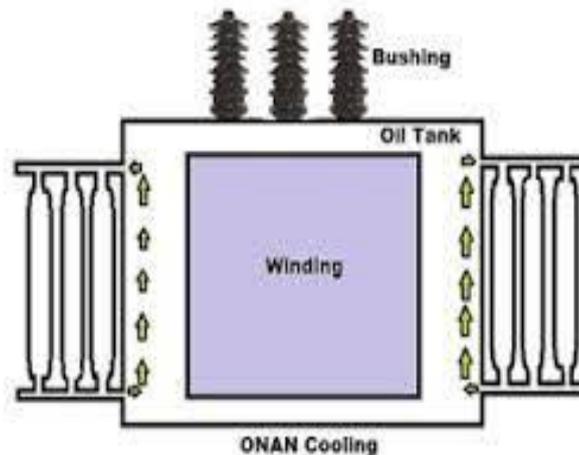
1. Sistem pendinginan

Suhu pada transformator yang sedang beroperasi akan dipengaruhi oleh kualitas tegangan jaringan, *losses* pada trafo itu sendiri, dan suhu lingkungan. Suhu operasi yang tinggi akan mengakibatkan rusaknya isolasi kertas pada transformator. Oleh karena itu pendinginan yang efektif sangat diperlukan. Minyak isolasi transformator selain merupakan media isolasi juga berfungsi sebagai pendingin. Pada saat minyak bersirkulasi, panas yang berasal dari belitan

⁴ Primasetya, Patra Novear. 2012. *Proses Rewinding Transformator Distribusi 100 KVA Fasa 3 PT.PLN (Persero) APJ Kediri*, Jakarta: Sekolah Tinggi Teknik PLN



akan dibawa 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.



Gambar 2. 7 Sistem Pendingin

Transformator perlu dilengkapi dengan sistem pendingin yang bisa memanfaatkan sifat alamiah dari cairan pendingin dan dengan cara mensirkulasikan secara teknis baik yang menggunakan sistem radiator, sirip-sirip yang tipis berisi minyak dan dibantu dengan hembusan angin dari kipas-kipas sebagai pendingin yang dapat beroperasi secara otomatis berdasarkan pada setting rele temperature dan sirkulasi air yang bersinggungan dengan pipa minyak isolasi panas.

2. Tap Changer

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 merubah ratio antara belitan primer dan sekunder dan dengan demikian tegangan *output*/sekunder pun dapat disesuaikan dengan kebutuhan sistem berapapun tegangan *input*/primernya. Penyesuaian ratio belitan ini disebut *Tap changer*.



Gambar 2. 8 Tap Changer

Tap changer transformator terdiri dari dua jenis yaitu:

a. *Off load tap changer*

Tipe tap changer yang dapat beroperasi hanya pada saat keadaan tidak berbeban. Tipe *off load* tap changer hanya bisa dioperasikan secara manual.

b. *On load tap changer*

Tipe tap changer yang dapat beroperasi pada saat keadaan berbeban dapat dioperasikan secara manual dan otomatis.

3. Indikator-indikator Pada Trafo

Untuk mengawasi selama transformator beroperasi, maka diperlukan adanya indikator pada transformator sebagai berikut :

- indikator suhu minyak
- indikator permukaan/ level minyak transformator
- indikator sistem pendingin
- indikator kedudukan *tap changer*
- indikator lainnya supaya mudah dalam pemeliharaan



2.5 Macam – Macam Transformator³

2.5.1 Letak Kumparan Terhadap Inti Transformator

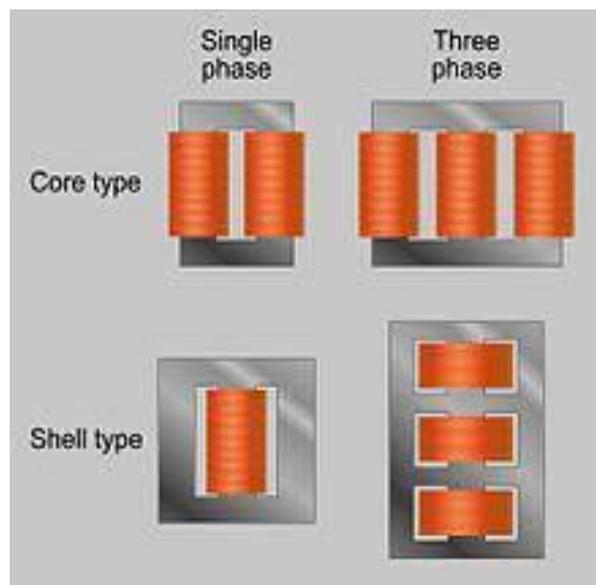
Berdasarkan cara melilitkan kumparan pada inti, dikenal 2 macam transformator yaitu transformator tipe inti dan transformator tipe cangkang.

1. *Core Type* (Jenis Inti).

Pada transformator tipe inti, kumparan mengelilingi inti dan konstruksi dari intinya berbentuk huruf **L** atau huruf **U**.

2. *Shell Type* (Jenis Cangkang)

Pada transformator tipe cangkang, kumparan atau belitan transformator dikelilingi oleh inti dan konstruksi intinya berbentuk huruf **E**, huruf **I**, dan huruf **F**.



Gambar 2. 9 Core dan Shell Type

2.5.2 Ditinjau dari Jumlah Fasa

Sebagaimana diketahui, bahwa fasa tegangan listrik yang umum digunakan adalah tegangan satu dan tiga fasa. Berdasarkan hal tersebut dikenal 2 jenis transformator yaitu :

³ Zuhail dan Zhanggishan.2004.*Prinsip Dasar Elektroteknik*, Jakarta: Gramedia Pustaka Utama



- Transformator satu fasa, bila transformator digunakan untuk memindahkan tenaga satu fasa.
- Transformator tiga fasa, bila transformator digunakan untuk memindahkan tenaga tiga fasa.

Sebenarnya konstruksi satu fasa dan tiga fasa tidak mempunyai perbedaan yang prinsip, sebab tiga fasa adalah transformator satu fasa yang disusun dalam tata cara tertentu dari 3 buah transformator satu fasa.

2.6 Kerusakan Pada Transformator Distribusi⁴

2.6.1 Kerusakan Akibat Hubung Singkat Pada Lilitan

Apabila pada lilitan transformator terjadi hubung singkat, maka akan terjadi kenaikan suhu pada lilitan. Kenaikan suhu ini menyebabkan melemahnya daya mekanis penghantar dan perubahan komposisi isolasi yang dapat menimbulkan gas. Faktor umur transformator yang sudah tua sebagai salah satu akibat dari terjadinya hubung singkat. Pengaruh suhu karena hubung singkat sebanding dengan I^2t dimana I merupakan harga rms area hubung singkat atau arus kesalahan dan t merupakan waktu adanya arus kesalahan. Pengaruh mekanis arus hubung singkat mungkin merupakan aspek yang paling penting dari mode kesalahan transformator dalam kesalahan-kesalahan selanjutnya. Kuat mekanis pada penghantar sebanding dengan hasil kali arus sesaat dalam penghantar dan besarnya kerapatan fluks magnetis pada penghantar. Kuat elektromagnetis yang ditimbulkan sebanding dengan kuadrat arus.

2.6.2 Kerusakan Akibat Pembebanan Yang Buruk

Pengoperasian transformator harus sesuai dengan rekomendasi dari pabrik pembuatannya, faktor yang terpenting yang harus diperhatikan pada pembebanan

⁴ Primasetya, Patra Novear.2012. *Proses Rewinding Transformatro Distribusi 100 KVA Fasa 3 PT.PLN (Persero) APJ Kediri*, Jakarta: Sekolah Tinggi Teknik PLN



trafo adalah suhu atau temperatur trafo. Pertambahan kenaikan temperatur dari yang direncanakan akan mengurangi umur trafo yang secara normal adalah 20 tahun, kemampuan memikul beban lebih oleh transformator direkomendasikan tidak melebihi waktu yang ditentukan. Mungkin karena alasan ekonomis kadang-kadang diizinkan pembebanan lebih terhadap trafo distribusi yang digunakan. Walaupun demikian dengan adanya beban yang semakin membesar, tentu akan mempengaruhi umur transformator distribusi tersebut yang digunakan. Makin sering dan makin lama waktu pembebanan lebih yang dilakukan, maka makin pendek juga umur transformator tersebut. Adanya pembebanan lebih tersebut, tentu akan sangat mempengaruhi isolasi belitan transformator atau minyak transformator akibat timbulnya panas yang berlebihan di dalam transformator.

2.6.3 Penurunan Nilai Tahanan Isolasi Kertas Maupun Minyak

Penurunan nilai tahanan isolasi merupakan salah satu sebab kerusakan transformator. Menurunnya nilai tahanan isolasi berarti nilainya tidak memenuhi standart atau aturan yang telah ditetapkan sesuai SPLN. Hal ini menyebabkan perfoma dari minyak maupun kertas sebagai isolator menjadi tidak maksimal. Sehingga kertas dan minyak tidak mampu menahan tegangan sesuai dengan unjuk kerjanya.

2.6.4 Usia Transformator

Usia transformator adalah lama pemakaian dari transformator itu sendiri. Transformator yang sudah dipakai dalam waktu yang lama sekali tanpa adanya perawatan maka akan mempengaruhi perfoma dari transformator. Misalnya pada bagian tangki mengalami korosi, keausan, dan oksidasi yang berakibat bocornya tangki. Bagian packing sering kali juga mengalami kerusakan jika packing sudah mulai mengeras yang berarti fleksibilitas packing berkurang yang dapat berakibat merembesnya minyak trafo keluar tangki.



2.6.5 Terjadi Kebocoran Pada Tangki Transformator

Tangki yang sudah berusia lama dapat terjadi korosi yang berakibat pada kebocoran tanki. Tangki yang bocor akan berakibat pada masuknya partikel lain seperti air, debu dan udara yang dapat mengkontaminasi minyak. Hal ini berakibat nilai tegangan tembus minyak menjadi berkurang dan terjadi kegagalan isolasi.

2.6.6 Kegagalan pada Bushing

Kegagalan pada bushing adalah ketidakmampuan bushing dalam menyekat tegangan rambat sehingga akan terjadi flash over (loncatan bunga api) yang dapat merusak transformator.

2.7 Peralatan Perbaikan Transformator Distribusi

Sebelum melakukan perbaikan diperlukan adanya peralatan – peralatan yang mendukung proses perbaikan. Peralatan – peralatan tersebut antara lain :

1. Mesin Gulung Lilitan

Mesin gulung lilitan adalah suatu mesin dengan tenaga penggerak utama menggunakan motor listrik kemudian dihubungkan ke poros. Penghubung ke poros dapat berupa sabuk, rantai atau roda . Pada poros kemudian diletakkan mal sesuai dengan dimensi dari *cooker* belitan yang akan digulung. Jumlah lilitan dapat diketahui dari *counter* yang di *couple* dengan poros.



Gambar 2. 10 Mesin Gulung Lilitan Transformator

2. Mesin Pemanas (Oven)

Mesin pemanas adalah suatu mesin yang mengubah energi listrik menjadi energi panas dengan menggunakan prinsip tahanan murni. Mesin pemanas ini mempunyai pengatur suhu sehingga panas yang dihasilkan dapat diatur sesuai keinginan. Mesin pemanas berfungsi untuk memanaskan bagian inner dari lilitan yang bertujuan mengurangi kadar air (minyak) dalam inner sehingga akan didapat nilai tahanan isolasi yang baik.



Gambar 2. 11 Mesin Oven Transformator



3. Mesin Purifikasi Minyak Trafo

Mesin ini digunakan untuk proses pemurnian dan penyaringan minyak trafo dari kandungan material yang dapat menurunkan tahanan isolasinya. Kandungan material yang sering menyebabkan kualitas minyak trafo menjadi rendah adalah adanya kandungan air, endapan akibat korosi, kandungan gas dan lain – lain.



Gambar 2. 12 Mesin Purifikasi Minyak Transformator

4. Alat Penguji Tegangan Tembus Minyak Transformator

Pengujian tegangan tembus adalah suatu pengujian dimana minyak transformator diberi tegangan pada frekuensi (50 Hz). Tegangan ini terdapat pada dua buah elektroda yang di letakkan dalam minyak trafo.



Gambar 2. 13 Alat Uji Tegangan Tembus BDV



5. Megger

Mega ohm meter atau yang biasa disebut megger adalah salah satu alat ukur yang berfungsi untuk mengukur resistansi insulasi suatu instalasi atau untuk mengetahui apakah konduktor suatu instalasi memiliki koneksi langsung, apakah antara fase dengan fase atau dengan nol atau dengan pembumian.



Gambar 2. 14 Megger

2.8 Pemilihan Penampang Kawat Kumparan Primer Dan Sekunder²

Kawat yang digunakan untuk belitan trafo adalah Kawat yang digunakan untuk belitan trafo adalah kawat tembaga terisolasi email. Kawat yang tersedia dipasaran berpenampang bulat dalam berbagai ukuran diameternya, kira-kira mulai dari 0,05 mm hingga 1,5 mm pemilihan kawat tergantung dari besarnya arus yang mengalir melalui kawat tersebut.

Kerapatan arus atau biasa juga di sebut padat arus adalah perbandingan besarnya arus dan penampang kawat. Padat arus yang dipilih untuk transformator yang kecil dengan gulungan yang tipis dan dipasang di tempat dengan aliran udara yang lancar. Padat arus yang kecil diambil bagi transformator yang lebih besar

² Liklikwatil, Yakob.2014.*Mesin – Mesin Listrik Edisi Pertama*, Yogyakarta: Deepublish



dan dipasang dalam kotak berna-sama komponen-komponen yang mengeluarkan panas lainnya. Pendekatan ukuran dan kumparan kuat hantar arus kawat tembaga dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. 1 Beban Material Transformator¹

Daya Nominal (KVA)	Rapat Arus $s = A/mm$	Induksi B (50Hz) Wb/m
30	2,3	1,15
40	2,4	1,20
50	2,5	1,20
75	2,6	1,20
100	2,7	1,25
300	2,8	1,30
1000	2,9	1,35
>1000	3,0	1,40

Pada pekerjaan ini penulis mengambil pada pekerjaan rekondisi dengan data trafo sebagai berikut :

$$P = 100 \text{ KVA} = 100.000 \text{ VA}$$

$$\text{Fasa - Fasa} = 400 \text{ V}$$

$$V = 20 \text{ KV} = 20.000 \text{ V}$$

$$\text{Fasa - Netral} = 220 \text{ V}$$

$$\begin{aligned} \text{Diameter kawat skunder} &= \sqrt{\frac{1}{2}} \text{ Volt} \times 0,025 \\ &= \sqrt{\frac{1}{2}} (20.000) \times 0,025 \\ &= \sqrt{10.000} \times 0,025 \\ &= 100 \times 0,025 \\ &= 2,5 \text{ kawat skunder} \end{aligned}$$

$$\text{Diameter kawat primer} = \frac{2,5}{2} = 1,25 \text{ kawat primer}$$

¹ Kadir, Abdul.2010.*Transformator*, Jakarta: Universitas Indonesia hlm 153



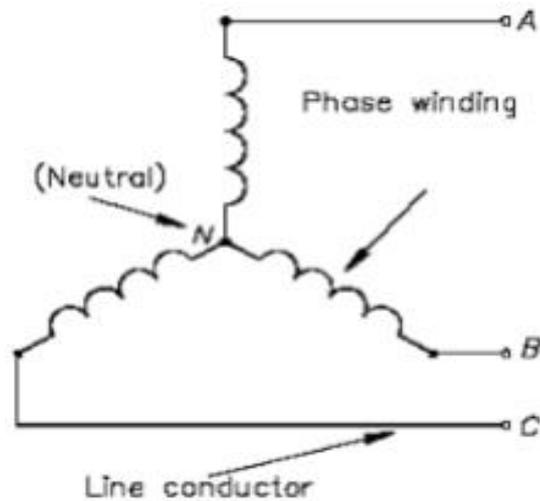
Sedangkan pada pekerjaan rekondisi trafo untuk menentukan ukuran diameter kawat dapat dipakai alat ukur jangka sorong terhadap kawat yang terpasang dari pabrikan, hal tersebut untuk akurasi spesifikasi trafo dari pabrikan. Karena besarnya dan banyaknya belitan kumparan primer sangat terkait dengan banyaknya belitan sekunder, kita tinggal menyesuaikan dengan spesifikasi yang diinginkan. Misalkan spesifikasi yang diperlukan adalah tegangan primer 20 KV, tegangan sekunder 400/231 volt dan daya 100 KVA, maka konfigurasi kumparan primer dan kumparan sekunder dapat mengikuti desain dari pabrikan. Kecuali kerusakan yang sangat parah (hancur kumparannya) maka perhitungan rekondisi dapat mengikutinya dengan dasar perhitungan dari luas penampang inti besi yang sudah ada dari pabrik.

2.9 Hubungan Belitan Transformator

Didalam Pelaksanaannya, tiga buah lilitan fasa pada sisi primer dan sisi sekunder dapat dihubungkan dalam bermacam – macam hubungan, seperti bintang dan segitiga (delta), dengan kombinasi Y-Y, Y- Δ , Δ -Y, Δ - Δ , bahkan untuk kasus tertentu lilitan sekunder dapat di hubungkan secara berliku-liku (zig-zag), sehingga didapatkan kombinasi Δ -Z dan Y-Z. Hubungan zig – zag merupakan sambungan bintang “istimewa”, hubungan ini untuk mengantisipasi kejadian yang mungkin terjadi apabila dihubungkan secara bintang dengan beban setiap fasanya tidak seimbang.

2.9.1 Hubungan Bintang

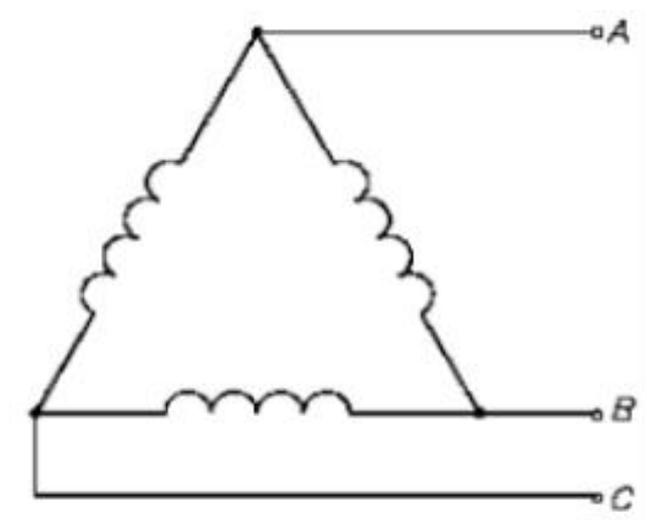
Pada hubungan bintang tiga ujung bersamaan dari ketiga kumparan dihubungkan pada apa yang dinamakan titik bintang. Simbol untuk sisi tegangan tingginya adalah Y (dengan huruf kapital), dan y untuk sisi tegangan rendahnya dengan huruf kecil.



Gambar 2. 15 Kumparan Hubungan Bintang

2.9.2 Hubungan Delta

Dalam hubungan delta (segitiga) tiap ujung kumparan disambung pada ujung yang berlainan kumparan berikutnya, sehingga terbentuk semacam segitiga. Simbol untuk hubungan ini adalah D untuk sisi tegangan tinggi, dan d untuk sisi tegangan rendah transformator.



Gambar 2. 16 Kumparan Hubungan Delta

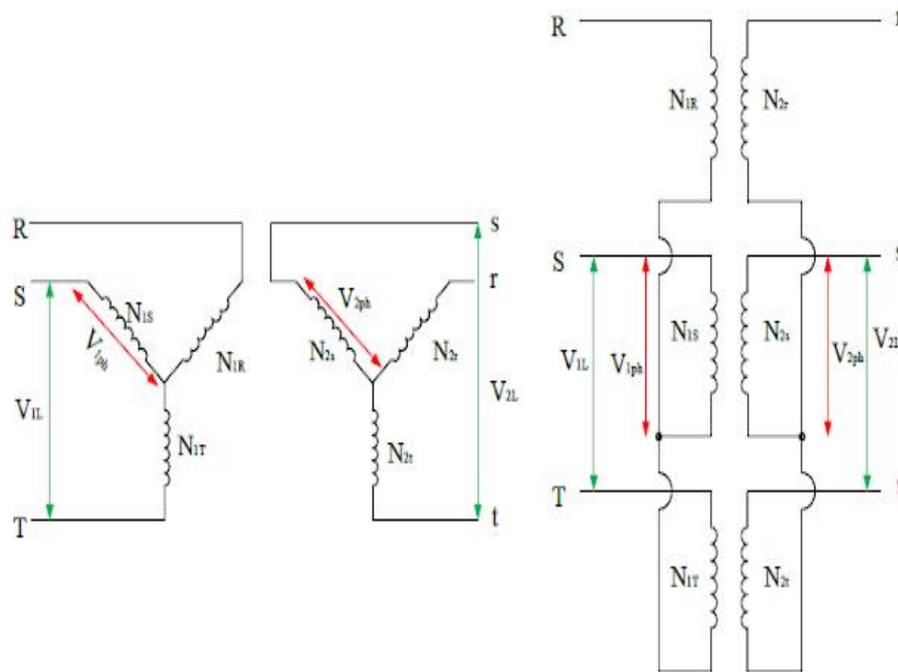


2.10.1 Hubungan Wye-wye (Y-Y)

Pada hubungan bintang-bintang, rasio tegangan fasa-fasa (L-L) pada primer dan sekunder adalah sama dengan rasio setiap trafo. Sehingga, terjadi pergeseran fasa sebesar 30° antara tegangan fasa-netral (L-N) dan tegangan fasa-fasa (L-L) pada sisi primer dan sekundernya.

Hubungan bintang-bintang ini akan sangat baik hanya jika pada kondisi beban seimbang. Karena, pada kondisi beban seimbang menyebabkan arus netral (IN) akan sama dengan nol. Dan apabila terjadi kondisi tidak seimbang maka akan ada arus netral yang kemudian dapat menyebabkan timbulnya rugi-rugi.

Tegangan phasa primer sebanding dengan tegangan phasa sekunder dan perbandingan belitan transformator maka, perbandingan antara tegangan primer dengan tegangan sekunder pada transformator hubungan Y-Y.

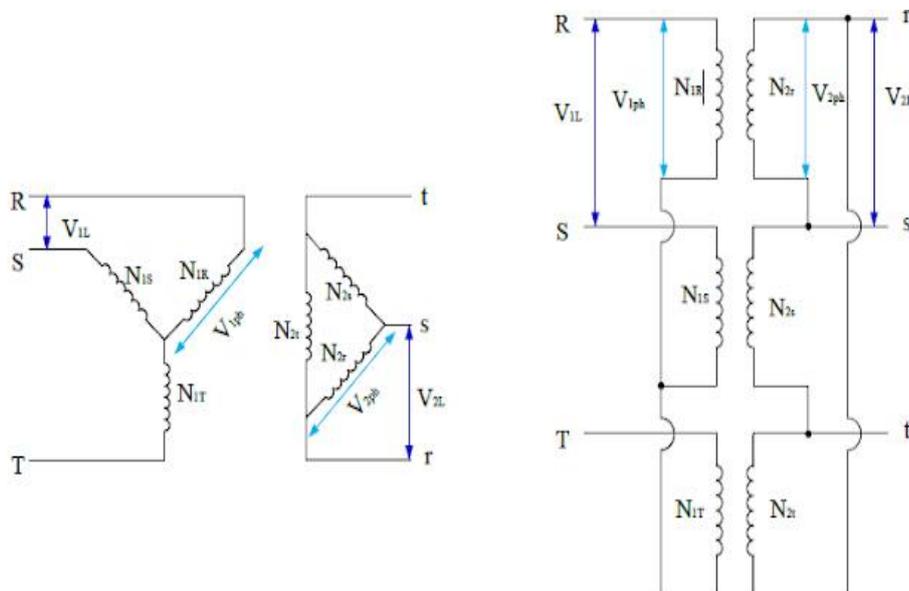


Gambar 2. 18 Transformator 3 phasa hubungan Y-Y



2.10.2 Hubungan Wye-delta (Y-Δ)

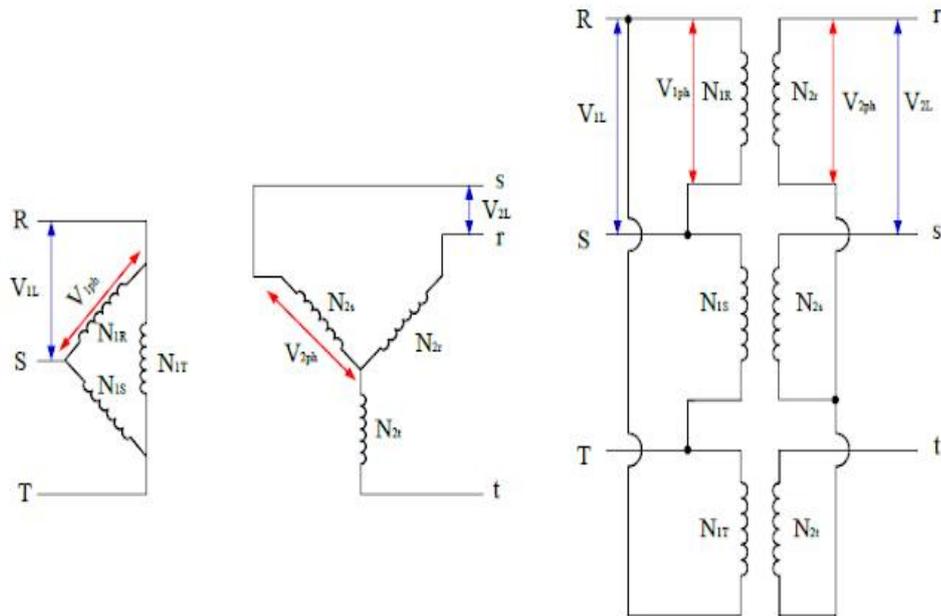
Transformator hubungan Y-Δ, digunakan pada saluran transmisi sebagai penaik tegangan. Rasio antara sekunder dan primer tegangan fasa-fasa adalah $1/\sqrt{3}$ kali rasio setiap trafo. Terjadi sudut 30° antara tegangan fasa-fasa antara primer dan sekunder yang berarti bahwa trafo Y-Δ tidak bisa diparalelkan dengan trafo Y-Y atau trafo Δ-Δ. Hubungan transformator Y-Δ dapat dilihat pada Gambar. Pada hubungan ini tegangan kawat ke kawat primer sebanding dengan tegangan fasa primer ($V_{LP} = \sqrt{3}V_{phP}$), dan tegangan kawat ke kawat sekunder sama dengan tegangan fasa ($V_{LS} = V_{phS}$).



Gambar 2. 19 Transformator 3 fasa hubungan Y-Δ

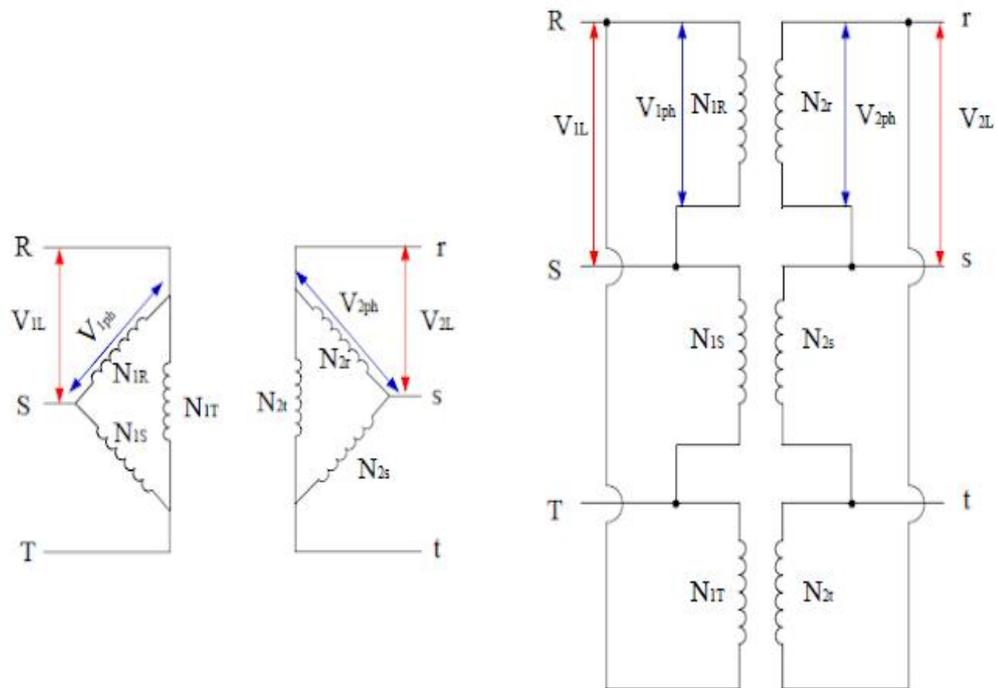
2.10.3 Hubungan Delta-wye (Δ-Y)

Transformator hubungan Δ-Y, digunakan untuk menurunkan tegangan dari tegangan transmisi ke tegangan rendah. Transformator hubungan Δ-Y dapat dilihat pada Gambar. Pada hubungan Δ-Y, tegangan kawat ke kawat primer sama dengan tegangan fasa primer ($V_{LP} = V_{phP}$), dan tegangan sisi sekundernya ($V_{LS} = \sqrt{3}V_{phS}$).

Gambar 2. 20 Transformator 3 fase hubungan Δ -Y

2.10.4 Hubungan Delta – delta (Δ - Δ)

Pada transformator hubungan Δ - Δ , tegangan kawat ke kawat dan tegangan fasa sama untuk sisi primer dan sekunder transformator ($V_{RS} = V_{ST} = V_{TR} = V_{LN}$)

Gambar 2. 21 Transformator 3 fasa hubungan Δ - Δ

2.11 Perhitungan Lilitan Transformator⁶

$$N_p = \frac{N_s}{V_s} \times V_p - 10\% \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

N_s = jumlah lilitan sekunder

V_s = tegangan sekunder (volt)

V_p = tegangan primer (volt)

Jumlah tegangan persadapan dinyatakan dengan rumus :

⁶ Darma, Surya.2018.*Analisis Pengaruh Perubahan Lilitan Primer Transformator Distribusi 20 KV Menjadi 18 KV*, Palembang: Universitas Palembang



$$N_p = \frac{N_s}{V_s} \times 1000 - 10\% \dots \dots \dots (2.2)$$

Atau

$$N_p = \frac{N_s}{V_s} \times 500 - 10\% \dots \dots \dots (2.3)$$

N_s = jumlah lilitan sekunder

V_s = tegangan sekunder (volt)

2.12 Efisiensi Transformator

Dari bagian desain transformator yang diproduksi perlu diperhatikan pula adanya efisiensi transformator, yaitu supaya transformator dapat beroperasi dengan baik.

$$\text{Efisiensi (\%)} = \dots \times 100 \% \dots \dots \dots (2.4)$$

Efisiensi transformator dirumuskan:

$$\eta = \frac{P}{V\sqrt{3}} \times 100 \% \dots \dots \dots (2.5)$$

$$\eta = \frac{V - I_o \cdot \{AVR\}}{V} \times 100 \% \dots \dots \dots (2.6)$$

η = Efisiensi

P = daya transformator

V = Tegangan

I_o = Jumlah Arus