



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Transformator

Transformator adalah suatu alat untuk memindahkan daya listrik arus bolak-balik dari suatu rangkaian lainnya secara induksi elektromagnetik. Transformator merupakan peralatan listrik yang statis untuk mentransferkan energi listrik dari satu rangkaian listrik ke rangkaian lainnya dengan cara mengubah nilai tegangan tanpa merubah nilai frekuensi.³

Transformator disebut sebagai peralatan yang statis karena tak terdapat bagian yang bergerak atau berputar, tidak seperti generator atau motor. Cara pengubahan tegangan ini dilakukan dengan memanfaatkan prinsip induktansi elektromagnetik pada lilitan. Fenomena induksi elektromagnetik ini terjadi dalam satu waktu pada transformator adalah induktansi sendiri pada masing-masing lilitan yang diikuti oleh induktansi bersamaan antar lilitan. Untuk lebih sederhananya transformator terbagi menjadi tiga bagian, yaitu lilitan primer, lilitan sekunder dan inti besi. Lilitan primer adalah bagian transformator yang terhubung dengan rangkaian sumber energi (catu daya). Lilitan sekunder adalah bagian transformator yang terhubung dengan rangkaian bebannya. Inti besi adalah bagian transformator yang bertujuan untuk mengarahkan keseluruhan flux magnet yang dari lilitan primer agar masuk ke lilitan sekunder.

2.2 Prinsip Kerja Transformator⁴

Transformator merupakan 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 gandingan magnet dan berdasarkan prinsip kerja induksi elektromagnet.

³ Sumanto. 1991. *Teori Transformator*. Yogyakarta : Andi Offset.

⁴ Sumardjati, Prih dkk. 2008. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 3*. Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.



Secara konstruksinya transformator terdiri atas dua kumparan yaitu primer dan sekunder. Bila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, maka fluks bolak-balik akan terjadi pada kumparan sisi primer, kemudian fluks tersebut akan mengalir pada inti transformator, dan selanjutnya fluks ini akan mengimbas pada kumparan yang ada pada sisi sekunder yang mengakibatkan timbulnya fluks magnet di sisi sekunder, sehingga pada sisi sekunder akan timbul tegangan atau pada sisi sekunder menghasilkan gaya gerak listrik. Ketika rangkaian sekunder ini diberi beban maka mengalirlah arus sekunder akibat dari gaya gerak listrik yang terjadi. Bisa dikatakan trafo ini meneruskan tenaga listrik secara magnetik.

2.3 Jenis-jenis Transformator

2.3.1 Berdasarkan Aplikasi dan Penggunaan⁷

Transformator yang digunakan untuk mengkonversikan energi dapat diklasifikasikan ke dalam 5 kategori berdasarkan aplikasi dan penngunaanya.

1. Transformator Distribusi

Sebuah transformator distribusi memiliki rating 3-500 kVA. Ada berbagai jenis transformator distribusi, tergantung pada media pendingin dan isolasi, layanan aplikasi, dan metode pemasangan. Hampir semua transformator distribusi dengan pendinginan sendiri.

2. Transformator Daya

Transformator ini memiliki rating lebih dari 500 kVA dan terutama digunakan dalam mengubah energi dari stasiun pembangkit ke jaringan transmisi, dari jalur transmisi untuk gardu distribusi, atau dari jalur layanan utilitas untuk pembangkit gardu distribusi.

3. Transformator Penyearah (*rectifier*)

Transformer ini digunakan dalam penyearahan AC ke DC dalam proses di

⁷ Candra, Maulani.2013.“*Laporan KKN-Praktik Maintenance Departemen Electrical Section PT BADAQ NGL Bontang*”. Bontang : Universitas Brawijaya.



Industri. Transformer ini sepsial dirancang untuk tahan terhadap tekanan mekanis akibat arus yang tinggi.

4. Transformer Jaringan

Transformator ini memiliki karakteristik serupa dengan transformator distribusi. Namun, penerapannya berbeda. Memiliki persyaratan yang khusus untuk layanan jaringan, seperti ventilasi, ukuran lemari besi, kemampuan perendaman, dan persyaratan hubung singkat. Transformer Jaringan dapat memiliki peringkat kVA lebih dari 500 kVA dan tegangan primer sampai 23 kV.

5. Transformator *Arc-Furnace*

Transformator *Arc-Furnace* adalah transformator tujuan khusus yang digunakan dalam proses industri. Ini adalah transformator tegangan rendah dan ampere tinggi dan khusus bersiap untuk menahan tekanan mekanis yang disebabkan oleh fluktuasi arus yang telah ditentukan. Karena gelombang terdistorsi karena busur, ia memiliki tambahan isolasi kumparan.

2.3.2 Berdasarkan Prinsip kerja¹³

1. Transformator Step-Up Step-Down

Yang pertama ialah trafo step-up dan step-down, keduanya memiliki fungsi masing-masing yang diperlukan oleh supply rangkaian alat elektronika tertentu. Adapun penjelasan lengkapnya ialah sebagai berikut :

a. Transformator *Step-Up*

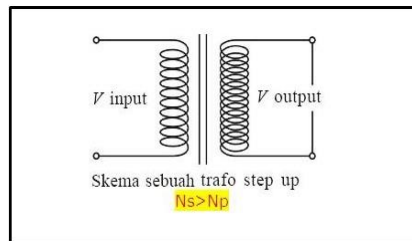
Trafo step-up ialah jenis transformator yang berfungsi untuk menaikkan tegangan. Trafo step-up seringkali digunakan pada pembangkit tenaga listrik sebagai peningkat tegangan yang dihasilkan oleh generator menjadi tegangan tinggi yang digunakan dalam transmisi jarak jauh.

Sebagai contoh sumber daya listrik memiliki tegangan 130 volt, sedangkan alat elektronika membutuhkan tegangan listrik sebesar 150 volt, maka dibutuhkan

¹³ <https://www.pinhome.id/blog/jenis-jenis-trafo/> Diakses pada 20 Juni 2022



trafo step-up untuk menjalankannya. Karena berfungsi untuk menaikkan tegangan, maka trafo step-up membutuhkan lilitan sekunder yang lebih banyak dibandingkan dengan lilitan primer. Trafo ini seringkali ditemui pada alat elektronik yang memerlukan tegangan tinggi seperti televisi, inverter dan lain sebagainya.

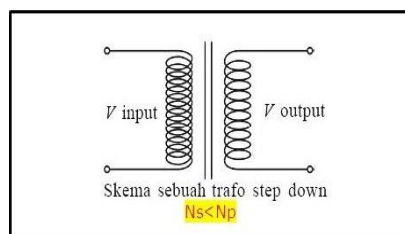


Gambar 2.1 Trafo step up

(Sumber : <https://blogpelajaransekolahumum.blogspot.com/2015/10/macam-macam-dan-ciri-ciri-transformator.html>)

b. Transformator Step-Down

Jika tadi ada trafo *step-up* yang berfungsi untuk menaikkan tegangan, trafo *step-down* memiliki fungsi sebaliknya. Transformator *step-down* berfungsi untuk menurunkan tegangan, karena memiliki lilitan sekunder lebih sedikit ketimbang lilitan primer. Trafo ini juga dapat ditemui dengan mudah seperti pada adaptor AC-DC



Gambar 2.2 Trafo step down

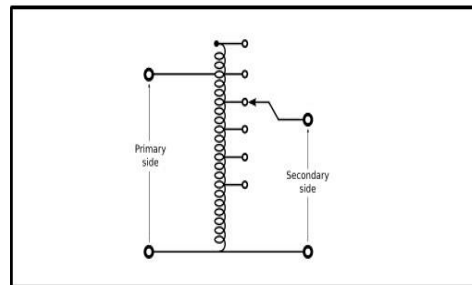
(Sumber : <https://blogpelajaransekolahumum.blogspot.com/2015/10/macam-macam-dan-ciri-ciri-transformator.html>)

2. Autotransformator

Autotransformator merupakan jenis trafo yang hanya memiliki satu lilitan yang berlanjut secara listirk dengan sadapan tengah. Dalam trafo ini, sebagian lilitan primer juga merupakan lilitan sekunder. Fasa arus dalam lilitan sekunder



selalu berlawanan dengan arus primer, sehingga untuk tarif daya yang sama lilitan sekunder bisa dibuat dengan kawat yang lebih tipis dibandingkan transformator biasa.



Gambar 2.3 *Autotransformator*

(sumber : <https://en.wikipedia.org/wiki/Autotransformer>)

3. Transformator Frekuensi

Trafo frekuensi dapat dibagi menjadi tiga buah kelompok yang dapat dibedakan dari berapa besar frekuensi trafo tersebut berjalan. Adapun kelompok tersebut, terdiri dari trafo frekuensi rendah, menengah dan tinggi.

a. Transformator *Frekuensi Rendah*

Trafo frekuensi rendah merupakan trafo yang bekerja pada frekuensi audio antara 20 Hz sampai dengan 20 KHz dan frekuensi di atasnya selama masih dalam cakupan frekuensi rendah. Trafo jenis ini biasanya menggunakan inti besi lunak, sebagai contoh ialah trafo input/output (I/O) dan trafo adaptor.

b. Transformator *Frekuensi Menengah*

Trafo ini seringkali disebut dengan nama trafo IF (*Intermediate Frequency*) yang banyak digunakan pada radio penerima AM/FM dan bekerja pada frekuensi 455 KHz/10.7 MHz. Pada trafo ini sudah terdapat lilitan primer dan sekunder yang sudah di paralel dengan sebuah kapasitor khusus yang menjadi sebuah rangkaian resonansi L-C.



c. Transformator Frekuensi Tinggi

Trafo frekuensi tinggi banyak digunakan untuk keperluan pembangkitan frekuensi (osilator), lilitan resonansi dan flyback pada rangkaian TV tabung. Trafo jenis ini seringkali disebut *spul osilator*, sebuah lilitan osilator yang memiliki dua jenis yaitu osilator hartley dan osilator coolpits.

4. Transformator Switching

Trafo *switching* merupakan salah satu komponen trafo yang digunakan untuk teknologi *switching* pada sebuah *power supply*. *Power supply* yang menggunakan sistem pembangkitan frekuensi tinggi yang mempunyai efisiensi lebih baik daripada power supply yang menggunakan trafo dengan frekuensi rendah. Trafo jenis ini seringkali digunakan pada alat elektronika modern, seperti printer, DVD player, PSU komputer dan lain sebagainya.

5. Transformator Isolasi

Trafo isolasi memiliki jumlah lilitan yang sama antara lilitan sekunder dan lilitan primer, sehingga memiliki tegangan yang sama antara sekunder dan primer. Trafo ini digunakan untuk memisahkan peralatan atau beban listrik dari sumber listrik. Listrik dari sumber yang mengalir pada lilitan primer akan diinduksikan ke pada lilitan sekunder yang dapat digunakan oleh peralatan-peralatan listrik. Semua trafo isolasi memiliki perbandingan jumlah lilitan yang sama yaitu 1 : 1 antara lilitan primer dan sekunder.

6. Transformator Pulsa

Trafo pulsa merupakan transformator yang didesain khusus untuk mengeluarkan gelombang pulsa. Trafo ini biasanya menggunakan bahan yang cepat naik, sehingga ketika pada titik tertentu arus primer akan menghasilkan fluks magnet pada saat arus pada lilitan primer berbalik arah.



2.4 Bagian-bagian Transformator¹¹

1. Inti/Core/Kern trafo

Inti trafo merupakan bagian pada transformator yang dililit oleh kawat penghantar. Jumlah kumparan dan banyaknya lilitan yang melilit inti trafo berbeda beda sesuai dengan desain rancangan besar tegangan dan arus yang diinginkan. Saat kumparan primer trafo diberikan arus listrik, maka akan timbul aliran fluks magnetik di dalam inti trafo. Aliran ini akan menginduksi kumparan sekunder sehingga menimbulkan tegangan induksi pada kumparan sekunder tersebut. Bentuk dan jenis bahan pembuat inti bermacam macam sesuai desain pabriknya. Namun secara umum, inti trafo terbuat dari bahan besi atau baja lunak yang berbentuk lembaran lembaran dan disusun dalam formasi bentuk tertentu.



Gambar 2.4 Inti trafo

(sumber:<https://www.ruangteknisi.com/wpcontent/uploads/2021/05/fungsi-trafo-step-up.jpg>)

Pemilihan bahan inti trafo dan desain bentuknya ini akan berpengaruh terhadap nilai kerugian daya yang dihasilkan oleh transformator. Karena itu diperlukan desain trafo dan penggunaan bahan inti trafo bermutu tinggi agar bisa menekan jumlah kerugian daya hingga 99%.

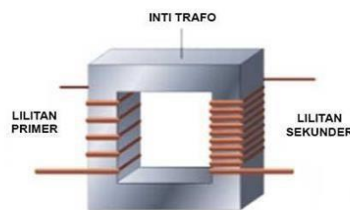
2. Kumparan

Kumparan transformator merupakan kawat penghantar yang dililitkan pada inti transformator. Jenis kawat tembaga bermutu tinggi sering digunakan sebagai

¹¹ <https://www.ruangteknisi.com/wpcontent/uploads/2021/05/Bagian-bagian-transformator.jpg>
Diakses pada 20 Juni 2022



bahan kawat kumparan karena merupakan tipe penghantar listrik yang baik. Setiap transformator setidaknya memiliki dua buah kumparan yang dililitkan pada inti yang sama, yaitu kumparan primer yang terhubung dengan sumber tegangan dan kumparan sekunder yang terhubung ke beban. Ketika kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan, maka pada kumparan sekunder akan timbul tegangan induksi sebagai akibat dari medan magnet yang tercipta pada kumparan primer. Kumparan primer berfungsi membangkitkan medan magnet. Luas penampang kawatnya lebih besar dibandingkan dengan luas penampang kumparan sekunder. Jumlah lilitan primer lebih sedikit dari pada kumparan sekunder



Gambar 2.5 Kumparan trafo

(sumber <https://www.ruangteknisi.com/wpcontent/uploads/2021/05/fungsi-trafo-step-up.jpg>)

Bentuk dan jumlah lilitan pada jenis transformator bermacam macam sesuai dengan rancangan dari pabrik pembuatnya. Perbandingan jumlah lilitan primer dan sekunder akan mempengaruhi besar tegangan induksi yang akan dihasilkan oleh transformator.

3. *Bushing*

Bushing atau terminal pada transformator berfungsi untuk menghubungkan transformator ke sirkuit. *Bushing* dipasang pada tiap ujung dari kumparan transformator, baik kumparan primer maupun sekunder. Pada model transformator daya rendah seperti yang kita lihat pada berbagai peralatan elektronika, bentuk *bushing* sangat sederhana dan biasanya terbuat dari bahan logam. Untuk menghubungkan *bushing* ke rangkaian biasanya cukup menggunakan solder saja. *Bushing* dibuat dari bahan isolasi jenis keramik atau porselen. ini dimaksudkan untuk menciptakan hubungan antara transformator



dengan sirkuit agar lebih aman dari bahaya hubungan singkat arus listrik.



Gambar 2.6 Bushing Trafo

(sumber <https://www.ruangteknisi.com/wpcontent/uploads/2021/05/fungsi-trafo-step-up.jpg>)

4. Lapisan Isolasi

Lapisan isolasi diperlukan agar tidak terjadi hubungan singkat antar tiap bagian yang ada pada transformator. Isolasi ini mencegah hubungan antara kumparan dan inti transformator yang merupakan bahan dari logam. Selain itu, isolasi juga diperlukan untuk mencegah adanya hubungan antar kawat atau kumparan di dalam transformator. Bahan isolasi dibuat dari jenis bahan yang memiliki daya resistensi sangat tinggi sehingga tidak mudah ditembus oleh arus listrik. Jenis bahan isolasi yang bermutu tinggi mampu menjamin tiap bagian transformator tidak saling bersentuhan.

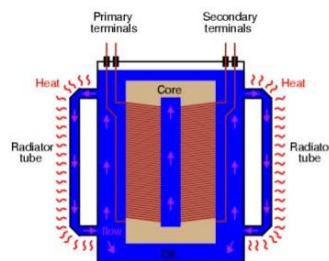
5. Tanki atau Wadah Transformator

Tanki atau wadah ini merupakan bentuk transformator secara keseluruhan. Fungsi utama dari wadah adalah untuk melindungi transformator dari lingkungan luar, seperti hujan atau elemen lainnya. Tanki juga merupakan tempat atau wadah tempat meletakkan transformator. Jenis transformator yang menggunakan wadah seperti ini biasanya adalah transformator tegangan tinggi yang berhubungan dengan arus listrik yang sangat besar. Umumnya bentuk tanki transformator memiliki ukuran yang besar dan tertutup. Bahan pembuat tanki transformator biasanya dari pelat baja atau aluminium dengan ketebalan tertentu. Pada sisi luar tanki dirancang dengan bentuk bersirip untuk membantu proses pendinginan transformator agar lebih maksimal.



6. Oli Pendingin

Transformator daya tinggi seperti yang ada pada jaringan distribusi listrik akan menghasilkan panas yang tinggi ketika beroperasi. Ini akibat dari adanya nilai kerugian daya yang dimiliki oleh setiap komponen listrik atau elektronika. Kerugian daya ini dihamburkan dalam bentuk panas yang ada di sekitar kumparan dan inti trafo. Karena itu diperlukan adanya system pendinginan yang baik pada desain transformator untuk membuang panas. Karena jika tidak, panas yang dihasilkan oleh trafo akan dapat merusak lapisan isolasi di dalam struktur desain trafo sehingga bisa menyebabkan hubungan singkat. Oli atau minyak pendingin untuk trafo dibuat dari jenis bahan khusus yang memiliki titik nyala tinggi sekitar 375 derajat celsius. Minyak ini ditampung di dalam wadah atau tanki trafo dan merendam struktur inti dan kumparan transformator.



Gambar 2.7 Ilustrasi Minyak Trafo

7. Konservator Transformator

Konservator berfungsi ketika adanya kenaikan suhu saat operasi pada transformator, sehingga minyak isolasi memuai yang berdampak pada volume yang bertambah. Sebaliknya ketika terjadi penurunan suhu saat beroperasi, maka minyak menyusut dan juga volume minyak terjadi penurunan. Dari hal tersebut, volume udara akan bertambah dan berkurang. Untuk mengatasi minyak isolasi transformator tidak mendapatkan kontaminasi oleh kelembaban dan oksigen dari udara luar (tanpa *rubber bag*) maka udara yang masuk kedalam konservator harus difilter menggunakan silicagel sehingga kandungan dari uap air bisa diminimalisir.



Gambar 2.8 Konservator Transformator

(sumber : Dokumentasi penulis, 2022)

8. *Breather*

Bagian transformator yang satu ini berfungsi untuk mengatur aliran udara pada tanki transformator. Dengan adanya sistem ini, minyak pendingin yang ada didalam tanki akan terhindar dari kelembaban yang berdampak kurang baik. Sirkulasi udara akan diatur oleh sistem *breather* sehingga aliran udara yang keluar masuk tanki dapat berlangsung dengan bebas seiring peningkatan dan penyusutan minyak pendingin oleh suhu trafo. *Breather* dipasang pada ujung pipa udara yang terhubung ke tanki sehingga udara luar bisa keluar masuk ke tanki melewatinya. *Silica gel* yang ada di dalam *breather* akan mencegah sirkulasi udara di dalam tanki menjadi lembab

2.5 *Rectifier*

Rectifier atau dalam bahasa Indonesia disebut dengan Penyearah Gelombang adalah suatu bagian dari Rangkaian Catu Daya atau *Power Supply* yang berfungsi sebagai pengubah sinyal AC (*Alternating Current*) menjadi sinyal DC (*Direct Current*).²

Rangkaian *Rectifier* atau Penyearah Gelombang ini pada umumnya menggunakan Dioda sebagai Komponen Utamanya. Hal ini dikarenakan Dioda memiliki karakteristik yang hanya melewatkan arus listrik ke satu arah dan menghambat arus listrik dari arah sebaliknya. Jika sebuah Dioda dialiri arus Bolak-balik (AC), maka Dioda tersebut hanya akan melewatkan setengah gelombang, sedangkan setengah gelombangnya lagi diblokir.

² PT.PLN. 2014. *Pedoman Pemeliharaan Sistem Suplai AC/DC*. Jakarta



Gambar 2.9 Bentuk gelombang

(Sumber <https://www.teknik-otomotif.com/2018/01/peyearah-gelombang-penuh-full-wave.html?m=1>)

2.5.1 Penyearah gelombang penuh dengan empat buah diode¹²

Penyearah Gelombang Penuh dengan menggunakan 4 Dioda adalah jenis *Rectifier* yang paling sering digunakan dalam rangkaian *Power Supply* karena memberikan kinerja yang lebih baik dari jenis Penyearah lainnya. Penyearah Gelombang Penuh 4 Dioda ini juga sering disebut dengan Penyearah Jembatan.

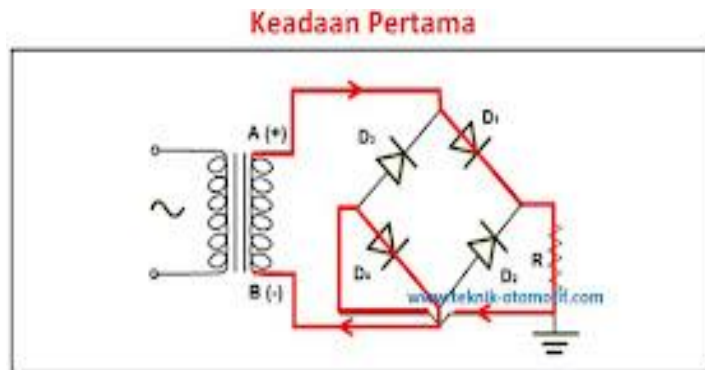


Gambar 2.10 Skema penyearah gelombang penuh sistem jembatan

(Sumber <https://www.teknik-otomotif.com/2018/01/peyearah-gelombang-penuh-full-wave.html?m=1>)

Berdasarkan gambar diatas, pada sisi A dan pada sisi B. Misalnya pada periode pertama pada sisi A adalah tegangan positif dan pada sisi B adalah tegangan negatif maka dioda D1 dan D4 dapat menghantarkan atau dilewati arus karena kedua dioda ini pada posisi *forward* bias (bias maju). Sedangkan dioda D2 dan D3 akan berada pada posisi *reverse* bias (bias mundur) sehingga tidak akan dapat dilewati arus. Untuk lebih jelasnya perhatikan gambar di bawah ini :

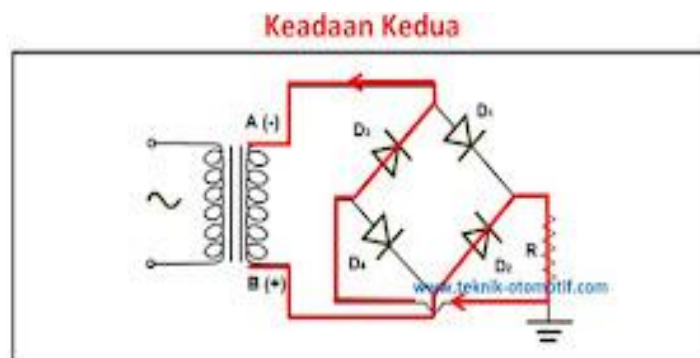
¹² <https://www.teknik-otomotif.com/2018/01/peyearah-gelombang-penuh-full-wave.html?m=1>
Diakses pada 20 Juni 2022



Gambar 2.11 siklus penyearah jembatan mode A

(Sumber <https://www.teknik-otomotif.com/2018/01/peyearah-gelombang-penuh-full-wave.html?m=1>)

Pada saat periode kedua maka sisi A akan menjadi tegangan negatif dan sisi B akan menjadi tegangan positif maka dioda D2 dan D3 dapat menghantarkan atau dilewati arus karena kedua dioda ini pada posisi *forward* bias (bias maju). Sedangkan dioda D1 dan D4 akan berada pada posisi *reverse* bias (bias mundur) sehingga tidak akan dapat dilewati arus. Untuk lebih jelasnya perhatikan gambar di bawah ini :



Gambar 2.12 siklus penyearah jembatan mode B

(Sumber <https://www.teknik-otomotif.com/2018/01/peyearah-gelombang-penuh-full-wave.html?m=1>)



2.6 Jenis-Jenis Gangguan Transformator ⁵

1. *Overload* dan Beban Tidak Seimbang

Overload terjadi karena beban yang terpasang pada trafo melebihi kapasitas maksimum yang dapat dipikul trafo dimana arus beban melebihi arus beban penuh (*full load*) dari trafo. *Overload* akan menyebabkan trafo menjadi panas dan kawat tidak sanggup lagi menahan beban, sehingga timbul panas yang menyebabkan naiknya suhu lilitan tersebut. Kenaikan ini menyebabkan rusaknya isolasi lilitan pada kumparan trafo.

2. *Loss Contact* Pada Terminal Bushing

Gangguan ini terjadi pada bushing trafo yang disebabkan terdapat kelonggaran pada hubungan kawat fasa (*kabel schoen*) dengan terminal bushing. Hal ini mengakibatkan tidak stabilnya aliran listrik yang diterima oleh trafo dan dapat juga menimbulkan panas yang dapat menyebabkan kerusakan belitan trafo

3. *Isolator Bocor/Bushing Pecah*

Gangguan akibat isolator bocor/bushing pecah dapat disebabkan oleh:

a. *Flash Over*

Flash Over dapat terjadi apabila muncul tegangan lebih seperti pada saat terjadi sambaran petir/surja hubung. Bila besar surja tegangan yang timbul menyamai atau melebihi ketahanan impuls isolator, maka kemungkinan akan terjadi flash over pada bushing.

b. *Bushing Kotor*

Kotoran pada permukaan bushing dapat menyebabkan terbentuknya lapisan penghantar di permukaan bushing. Kotoran ini dapat mengakibatkan jalannya arus melalui permukaan bushing sehingga mencapai body trafo. Umumnya kotoran ini tidak menjadi penghantar sampai endapan kotoran tersebut basah karena hujan embun

⁵ Arif, Syky Nur. 2017. “Analisis Kegagalan Kinerja Electrostatic Precipitator (ESP) Pada Transformer Rectifier ESP 506B Unit 2” Yogyakarta : Universitas Gadjah Mada.



4. Kegagalan Isolasi Minyak Trafo

Kegagalan isolasi minyak trafo dapat terjadi akibat penurunan kualitas minyak trafo sehingga kekuatan dielektrisnya menurun. Hal ini disebabkan oleh:

1. Packing bocor, sehingga air masuk dan volume minyak trafo berkurang.
2. Karena umur minyak trafo sudah tua
3. Terdapat gas-gas yang terkandung dalam minyak trafo

2.7 Pengertian Tahanan Isolasi

Tahanan isolasi adalah tahanan yang terdapat diantara dua kawat saluran (kabel) yang diisolasi satu sama lain atau tahanan antara satu kawat saluran dengan tanah (ground) (Andriyanto, 2016). Tujuan pengukuran tahanan isolasi ini adalah untuk mengetahui besarnya tahanan isolasi dari suatu peralatan listrik merupakan hal yang penting untuk menentukan apakah peralatan tersebut dapat dioperasikan dengan aman. Nilai-nilai tahanan isolasi berubah dengan suhu dan jumlah kelembapan yang terdapat. Nilai isolasi berbanding terbalik dengan suhu dan dianjurkan bahwa personel yang menilai hasil pengukuran memiliki pengalaman dan pengertian yang cukup dalam bidang ini. Nilai tahanan isolasi juga merupakan suatu fungsi dari kelembapan. Selain dari pada itu, hasil pengukuran dipengaruhi juga oleh jenis dan besar daya transformator, nilai tegangan uji dan lama waktu tegangan uji diterapkan.

Karena terdapat banyak *variable* adalah penting bahwa semua faktor seperti suhu dan kelembapan dicatat bersamaan pada saat pengujian dilakukan. Faktorfaktor itu perlu diperbandingkan bilamana di kemudian hari dilakukan pengujian-pengujian lagi, guna menentukan kecenderungan-kecenderungan yang berlangsung. Pengujian-pengujian ini biasanya dilakukan dengan sebuah megger yang mengukur tahanan atau resistansi di antara berbagai belitan dan antara belitan dan tanah.

Secara umum jika akan mengoperasikan peralatan tenaga listrik seperti generator, transformator dan motor, sebaiknya terlebih dahulu memeriksa tahanan isolasinya, tidak peduli apakah alat tsb baru atau lama tidak dipakai. Untuk mengukur tahanan isolasi digunakan Mega Ohm Meter / Insulation tester. Isolasi



yang dimaksud adalah isolasi antara bagian yang bertegangan dengan bertegangan maupun dengan bagian yang tidak bertegangan seperti body/ ground. Untuk mengetahui bahwa isolasi kabel listrik dalam keadaan baik, dan berfungsi untuk mencegah kebocoran listrik, maka setiap isolasi listrik harus memiliki nilai tahanan minimum 1000 ohm dikali tegangan listrik kabel tersebut. Pengukuran tahanan isolasi belitan transformator adalah proses pengukuran dengan suatu alat ukur insulation taster untuk memperoleh hasil (besaran) tahanan isolasi trafo tenaga antara bagian yang diberi tegangan (fasa) terhadap badan (case) maupun antar belitan primer, sekunder. Pengukuran tahanan isolasi dilakukan untuk mengetahui nilai tahanan isolasi trafo ukur seperti trafo arus dan trafo tegangan namun ada beberapa ketentuan (batasan-batasan) yang harus dipenuhi sehingga diperoleh harga yang optimal.

2.7.1. Faktor Nilai Tahanan Isolasi

Faktor yang Mempengaruhi Nilai Tahanan Isolasi :

1. Suhu
2. Jalur bocor pada permukaan eksternal, seperti kotoran pada bushing
3. Alat uji
4. Usia transformator

2.7.2. *Insulation Resistansi (IR)*¹

Insulation Resistance Test / Megger Test merupakan pengujian yang paling mudah dan sederhana untuk menentukan kemampuan isolasi. Pengukuran tahanan isolasi belitan trafo ialah proses pengukuran dengan suatu alat ukur *Insulation Tester (megger)* untuk memperoleh hasil (nilai/besaran) hambatan isolasi belitan / kumparan trafo tenaga antara bagian yang diberi tegangan (fasa) terhadap badan (*Case*) maupun antar belitan primer dan sekunder. Pada dasarnya pengukuran hambatan isolasi belitan trafo adalah untuk mengetahui besar (nilai) kebocoran arus (*leakage current*) yang terjadi pada isolasi belitan atau kumparan primer dan sekunder. Kebocoran arus yang menembus isolasi peralatan listrik

¹ PT.PLN. 2014. *Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga*. Jakarta



memang tidak dapat dihindari. Oleh karena itu, salah satu cara meyakinkan bahwa trafo cukup aman untuk diberi tegangan adalah dengan mengukur hambatan isolasinya. Kebocoran arus yang memenuhi ketentuan yang ditetapkan akan memberikan jaminan bagi trafo itu sendiri sehingga terhindar dari kegagalan isolasi.

Nilai tahanan isolasi minimal berdasarkan standar VDE (catalogue 228/4) minimum besarnya tahanan isolasi kumparan trafo

“ 1 kiloVolt = 1 MΩ (Mega Ohm) “

Adapun untuk mengetahui nilai minimum tahanan isolasi transformator berdasarkan standar IEEE didapatkan dari rumus berikut:

$$R = \frac{CE}{\sqrt{KVA}} \dots \dots \dots (2.1)$$

dimana:

- R = Nilai minimum *Insulation Resistance* (MΩ)
- C = 1.5 untuk trafo berisi oli
- E = Rating tegangan tertinggi primer trafo (V)
- kVA = Rating kapasitas belitan yang diuji.

Nilai rata-rata insulation resistansi dapat dihitung menggunakan rumus berikut⁶ :

$$IR = \frac{\sum IR}{n} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

- IR = Nilai rata-rata insulation resistansi
- ∑IR = Insulation resistansi hasil pengukuran
- n = Banyaknya nilai tahanan isolasi

Adapun untuk mengetahui kebocoran arus dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$$I_{is} = \frac{V(LL)}{IR \text{ rata-rata}} \dots \dots \dots (2.3)$$

⁶ Padang, Gracelia Regina. 2020. *Asesmen Untuk Menjaga Performa Electrostatic Precipitator (ESP) Boiler PLTU Indramayu*. Jakarta : Institut Teknologi PLN.



Dimana :

I_{is} = Arus bocor (mA)

V (LL) = Tegangan kerja

IR rata-rata = Nilai rata-rata tahanan isolasi

2.7.3. *Indek Polarisasi Trafo (IP)*¹

Tujuan dari pengujian index polarisasi adalah untuk memastikan peralatan tersebut layak dioperasikan atau bahkan untuk dilakukan *over voltage test*. Indeks yang biasa digunakan dalam menunjukkan pembacaan tahanan isolasi trafo dikenal sebagai *dielectric absorption*, yang diperoleh dari pembacaan berkelanjutan untuk periode waktu yang lebih lama dengan sumber tegangan yang konstan.

Pengujian berkelanjutan dilakukan dalam selama 10 menit, tahanan isolasi akan mempunyai kemampuan untuk mengisi kapasitansi tinggi ke dalam isolasi trafo, dan pembacaan resistansi akan meningkat lebih cepat jika isolasi bersih dan kering. Rasio pembacaan 10 menit dibandingkan pembacaan 1 menit dikenal sebagai *Polarization Index (PI)* atau Indeks Polarisasi (IP). Jika nilai Indeks Polarisasi (IP) terlalu rendah ini mengindikasikan bahwa isolasi telah terkontaminasi.

Untuk mengetahui kondisi tahanan isolasi pada transformator, maka diperlukan pengukuran polarization index (PI) dengan persamaan sebagai berikut:⁶

$$IP = \frac{R \ 10 \ min}{R \ 1 \ min} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

IP : *Indek polaritas*

R 10 min : pengukuran tahanan isolasi selama 10 menit

R 1 min : pengukuran tahanan isolasi selama 1 menit

¹ PT.PLN. 2014. *Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga*. Jakarta

⁶ Padang, Gracelia Regina. 2020. *Asesmen Untuk Menjaga Performa Electrostatic Precipitator (ESP) Boiler PLTU Indramayu*. Jakarta : Institut Teknologi PLN.

**Tabel 2.1** Standar *Index Polarisasi*

Kondisi	Indek Polaritas
Berbahaya	< 1,0
Jelek	1,0 – 1,1
Dipertanyakan	1,1 – 1,25
Baik	1,25 – 2,0
Sangat Baik	Di atas 2.0

2.8. Pengertian Minyak Transformator⁸

Minyak transformator adalah cairan yang dihasilkan dari proses pemurnian minyak mentah. Selain itu minyak ini juga berasal dari bahan – bahan organik, misalnya minyak piranol dan silicon.

Minyak transformator merupakan salah satu bahan isolasi cair yang digunakan sebagai isolasi dan pendingin pada transformator. Sebagian bahan isolasi minyak harus memiliki kemampuan untuk menahan tegangan tembus, sedangkan sebagai pendingin minyak transformator harus mampu meredam panas yang ditimbulkan, sehingga dengan kedua kemampuan ini maka minyak transformator diharapkan akan mampu melindungi transformator dari gangguan.

2.8.1. Jenis - Jenis Minyak Isolasi

1. Minyak Organik

Kelompok minyak organik meliputi minyak sayur, minyak damar, dan ester. Jenis minyak ini mulai banyak dipakai sebagai bahan isolasi pada akhir abad ke19, terlebih dengan semakin menipisnya cadangan mineral tak terbarukan dan masih kecilnya pemakaian minyak sintetik membuat minyak organik mendapatkan perhatian lebih.

⁸ Jumardin, Jumiati Ilham, Sardi Salim. 2019. *Studi Karakteristik Minyak Nilam Sebagai Alternatif Pengganti Minyak Transformator*. Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering



2. Minyak mineral

Minyak isolasi mineral adalah minyak isolasi yang bahan dasarnya berasal dari minyak bumi yang diproses dengan cara destilasi. Minyak isolasi hasil destilasi ini harus mengalami beberapa proses lagi agar diperoleh tahanan isolasi yang tinggi, stabilitas panas yang baik, mempunyai karakteristik panas yang stabil, dan memenuhi syarat-syarat teknis yang lain. Minyak isolasi mineral banyak digunakan pada transformator daya, kabel, pemutus daya (CB) dan kapasitor.

3. Minyak sintesis

Minyak isolasi sintetis adalah minyak isolasi yang diolah dengan proses kimia untuk mendapatkan karakteristik yang lebih baik. Sifat – sifat penting dari minyak isolasi sintetis bila dibandingkan dengan minyak isolasi mineral adalah memiliki kekuatan dielektriknya di atas 40 kV. Berat jenisnya adalah 1.56 dan jika dicampur dengan air, minyak isolasi berada di bawah permukaan air sehingga mempermudah dalam proses pemurnian dan pemisahan kadar air dalam minyak. Pada kondisi pemakaian yang sama dengan minyak mineral, uap lembab akan menyebabkan oksidasi yang berlebih serta penurunan kekuatan dielektrik lebih cepat pada minyak sintetis bila dibandingkan dengan minyak mineral.

4. Minyak Nilam

Minyak nilam adalah minyak yang diperoleh dengan cara penyulingan uap daun tanaman *Pogostemon Cablin* BETNH (Dewan Standarisasi Nasional,1998). Standar mutu minyak nilam belum seragam belum seragam untuk seluruh dunia, karena setiap negara penghasil dan pengekspor menentukan standar mutu minyak nilam sendiri, misalnya standar mutu minyak nilam dari indonesia

2.8.2. Minyak Transformator Sebagai Pendingin⁹

Dalam menyalurkan perannya sebagai pendingin, kekentalan minyak transformator ini tidak boleh terlalu tinggi agar mudah bersirkulasi, dengan

⁹ Badaruddin, Fery Agung Firdianto. 2016. *Analisa Minyak Transformator Pada Transformator Tiga Fasa di PT X*. Jurnal Teknologi Elektro, Universitas Mercu Buana.



demikian proses pendinginan dapat berlangsung dengan baik. Kekentalan relatif minyak transformator tidak boleh lebih dari 4,2 pada suhu 20°C dan 1,8 dan 1,85 dan maksimum 2 pada suhu 50°C.

Hal ini sesuai dengan sifat minyak transformator yakni semakin lama dan berat operasi suatu minyak transformator, maka minyak akan semakin kental. Bila kekentalan minyak tinggi maka akan sulit untuk bersirkulasi sehingga akan menyulitkan proses pendinginan transformator.

2.8.3 Minyak Transformator Sebagai Bahan Isolasi

Sebagai bahan isolasi minyak transformator memiliki beberapa kekentalan, Adapun persyaratan yang harus dipenuhi oleh minyak transformator adalah sebagai berikut :

1. Kejernihan

Kejernihan minyak isolasi tidak boleh mengandung suspensi atau endapan (sedimen).

2. Massa Jenis

Massa jenis dibatasi agar air tidak dapat berpisah dari minyak isolasi dan tidak melayang.

3. Viskositas Kinematika

Viskositas memegang peranan penting dalam Pendinginan, yakni untuk menentukan kelas minyak.

4. Titik Nyala

Titik nyala yang rendah menunjukkan adanya kontaminasi zat gabar yang mudah terbakar.

5. Titik Tuang

Titik tuang dipakai untuk mengidentifikasi dan menentukan jenis peralatan yang akan menggunakan minyak isolasi.

6. Angka Kenetralan

Angka kenetralan merupakan angka yang menunjukkan penyusutan asam minyak dan dapat mendeteksi kontaminasi minyak, menunjukkan kecenderungan percobaan kimia atau indikasi percobaan kimia dalam



bahan tambangan.

7. Korosi Belerang

Korosi belerang kemungkinan dihasilkan dari adanya belerang bebas atau senyawa belerang yang tidak stabil dalam minyak isolasi.

8. Tegangan Tembus

Tegangan tembus yang terlalu rendah menunjukkan adanya kontaminasi seperti air, kotoran, atau partikel konduktif dalam minyak.

9. Kandungan Air

Adanya air dalam isolasi isolasi menyebabkan menurunnya tegangan tembus dan tahanan jenis minyak isolasi akan mempercepat kerusakan serta pengisolasi.

2.8.4 Pengujian *Breakdown Voltage* (BDV)¹

Pengujian tegangan tembus (*breakdown voltage*) bertujuan untuk mengetahui kemampuan minyak isolasi dalam menahan stress tegangan. Dalam minyak yang kering dan jernih akan menunjukkan nilai tegangan tembus yang tinggi sehingga dapat dikatakan bagus. Partikel yang solid atau air yang bagus untuk pendinginan berpengaruh besar, apalagi gabungan keduanya dapat menurunkan tegangan tembus secara bagus. Pengujian ini mengindikasikan keberadaan kontaminan seperti kadar air dan partikel. Semakin rendah nilai tegangan tembus maka semakin tinggi keberadaan salah satu kontaminan tersebut.

Adapun metode pengukuran untuk tegangan tembus pada minyak berdasarkan standar IEC 60422, menggunakan elektroda berbentuk mushroom dengan jarak sela 2,5mm

¹ PT.PLN. 2014. *Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga*. Jakarta

**Tabel 2.2** Standar *Breakdwon Voltage* Minyak Trafo

Standard IEC 60422			
Rasio Tegangan	Buruk	Cukup	Bagus
< 72,5 KV	< 30 KV	30 – 40 KV	> 40 KV
72,5 – 170 KV	< 40 KV	40 – 50 KV	> 50 KV
> 170 KV	< 50 KV	50 – 60 KV	> 60 KV

Adapun untuk mencari nilai rata – rata pada pengujian *breakdown voltage* dapat dicari dengan persamaan berikut :

$$VB \text{ rata-rata} = \frac{\sum VB}{n} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

VB rata – rata = Tegangan *breakdown voltage* rata-rata (kV/2,5 mm)

$\sum VB$ = Nilai *breakdown voltage*

n = Banyaknya pengujian *breakdown voltage*

2.8.5 Pengujian *Dissolved Gas Analysis (DGA)*¹

Trafo sebagai peralatan tegangan tinggi tidak lepas dari kemungkinan mengalami kondisi abnormal, dimana pemicunya dapat berasal dari internal maupun external trafo. Ketidaknormalan ini akan menimbulkan dampak terhadap kinerja trafo. Secara umum, dampak/ akibat ini dapat berupa *overheat*, *corona* dan *arcing*.

Salah satu metoda untuk mengetahui ada tidaknya ketidaknormalan pada trafo adalah dengan mengetahui dampak dari ketidaknormalan trafo itu sendiri. Untuk mengetahui dampak ketidaknormalan pada trafo digunakan metoda DGA (*Dissolved gas analysis*).

¹ PT.PLN. 2014. *Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga*. Jakarta



Pada saat terjadi ketidaknormalan pada trafo, minyak isolasi sebagai rantai *hydrocarbon* akan terurai akibat besarnya energi ketidaknormalan dan akan membentuk gas - gas *hidrokarbon* yang larut dalam minyak isolasi itu sendiri. Pada dasarnya DGA adalah proses untuk menghitung kadar / nilai dari gas-gas *hidrokarbon* yang terbentuk akibat ketidaknormalan. Dari komposisi kadar / nilai gas - gas itulah dapat diprediksi dampak – dampak ketidaknormalan apa yang ada di dalam trafo, apakah *overheat*, *arcing* atau *corona*. Gas gas yang dideteksi dari hasil pengujian DGA adalah H₂ (*hidrogen*), CH₄ (*Methane*), N₂ (*Nitrogen*), O₂ (*Oksigen*), CO (*Carbon monoksida*), CO₂ (*Carbondioksida*), C₂H₄ (*Ethylene*), C₂H₆ (*Ethane*), C₂H₂ (*Acetylene*).

Tabel 2.3 Standar *Dissolved Gass Analys* pada Minyak Trafo

Parameter	Standard IEEE C57.104.2019		
	Rendah	Sedang	Tinggi
H ₂	80	80-200	200
CH ₄	90	90-150	150
C ₂ H ₆	90	90-175	175
C ₂ H ₄	50	50-100	100
C ₂ H ₂	1	1-2	2
CO	900	900-1100	1100
CO ₂	9000	9000-12500	12500

