



BAB II

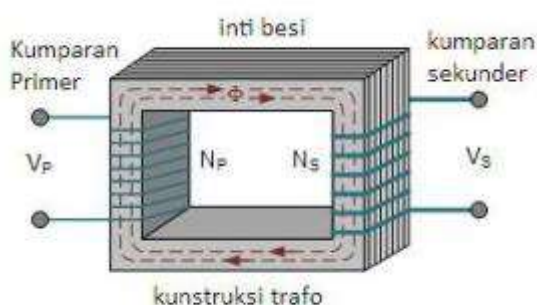
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Transformator

Transformator adalah suatu peralatan listrik elektromagnetik yang berfungsi untuk memindahkan dan mengubah daya listrik bolak-balik (AC) dari satu rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya. Transformator terdiri 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 (flux magnet) yang dibangkitkan oleh aliran listrik yang mengalir melalui kumparan primer.¹

Dalam bidang tenaga listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi:

- Transformator daya
- Transformator Distribusi
- Transformator pengukuran yang terdiri atas transformator arus dan tegangan.²



Gambar 2.1 Kontruksi Transformator



2.2 Prinsip Kerja Transformator

Transformator merupakan suatu alat listrik statis, yang dipergunakan untuk memindahkan daya dari satu rangkaian ke rangkaian lain, dengan mengubah tegangan, tanpa mengubah frekuensi. Dalam bentuknya yang paling sederhana transformator terdiri atas dua kumparan yaitu primer dan sekunder.³

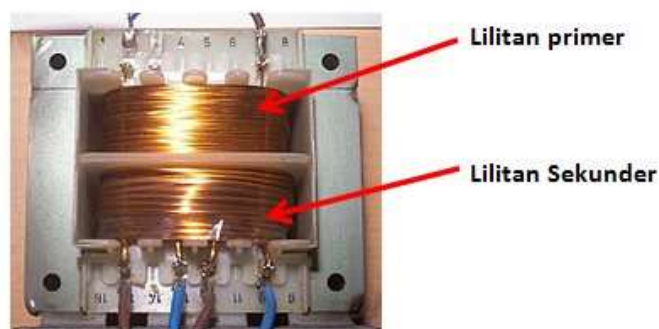
Prinsip kerja transformator adalah berdasarkan hukum Ampere dan hukum Faraday, yaitu: arus listrik dapat menimbulkan medan magnet dan sebaliknya medan magnet dapat menimbulkan arus listrik. Jika pada salah satu kumparan pada transformator diberi arus bolak balik maka jumlah garis gaya magnet berubah-ubah, sehingga pada sisi primer terjadi induksi dan sisi sekunder menerima garis gaya magnet dari sisi primer yang jumlahnya berubah-ubah pula. Sisi sekunder menerima garis gaya magnet dari sisi primer yang jumlahnya berubah-ubah pula, maka di sisi sekunder juga timbul induksi yang mengakibatkan kedua ujung terdapat beda tegangan atau potensial.⁴

2.3 Komponen - Komponen Transformator

2.3.1 Komponen Utama

1. Kumparan Trafo

Kumparan transformator adalah batang tembaga berisolasi yang mengelilingi inti besi, dimana saat arus bolak balik mengalir pada belitan tembaga tersebut, inti besi akan terinduksi dan menimbulkan flux magnetik. beberapa lilitan kawat berisolasi yang membentuk suatu kumparan atau gulungan. Kumparan tersebut terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder.⁵



Gambar 2.2 Kumparan Tranformator

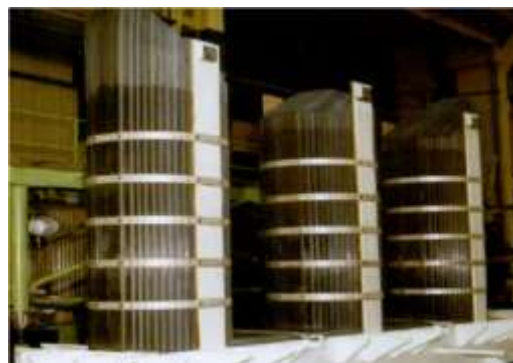
2. Inti Besi

Inti besi digunakan sebagai media mengalirnya flux yang timbul akibat induksi arus bolak balik pada kumparan yang mengelilingi inti besi sehingga dapat



menginduksi kembali ke kumparan yang lain. Dibentuk dari lempengan – lempengan besi tipis berisolasi dengan maksud untuk mengurangi eddy current yang merupakan arus sirkulasi pada inti besi hasil induksi medan magnet, dimana arus tersebut akan mengakibatkan rugi - rugi (losses).⁵ Inti besi pada trafo dibedakan menjadi dua macam yaitu:

1. Inti besi tipe shell (Shell Core Transformator).
2. Inti besi tipe tertutup (Closed Core Transformator).⁶



Gambar 2.3 Inti Besi

3. Minyak Transformator

Minyak isolasi pada suatu trafo daya harus memiliki daya hantar yang panas yang baik agar dapat membawa panas yang terjadi pada inti dan kumparan ke medium sekitarnya. Kekuatan dielektrik sistem isolasi dan umur trafo bergantung sepenuhnya pada kualitas minyak isolasi.⁷

Fungsi dari minyak Trafo adalah insulator yaitu menginsulasi kumparan di dalam trafo supaya tidak terjadi loncatan bunga api listrik (hubungan pendek) akibat tegangan tinggi. Pendingin yaitu mengambil panas yang ditimbulkan sewaktu trafo berbeban lalu melepaskannya. Melindungi komponen-komponen di dalam trafo terhadap korosi dan oksidasi.⁸



Gambar 2.4 Minyak Transformator

Minyak trafo mempunyai sifat media pemindah panas (disirkulasi) dan mempunyai daya tegangan tembus tinggi sehingga minyak transformator mempunyai kemampuan untuk menahan tegangan tembus,. Minyak trafo berasal dari cairan yang dihasilkan dari sebuah proses pemurnian minyak mentah. Kenaikan suhu pada transformer akan menyebabkan terjadinya proses hidrokarbon pada minyak, nilai tegangan tembus dan kerapatan arus konduksi merupakan beberapa indikator atau variabel yang digunakan untuk mengetahui apakah suatu minyak transformator memiliki ketahanan listrik yang memahami persyaratan yang berlaku.

Dalam menyalurkan perannya sebagai pendingin, kekentalan minyak transformator ini tidak boleh terlalu tinggi agar mudah bersirkulasi, dengan demikian proses pendinginan dapat berlangsung dengan baik. 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 sulit untuk bersirkulasi sehingga akan menyulitkan proses pendinginan transformator. Sebagai bahan isolasi minyak transformator memiliki beberapa kekentalan, hal ini sebagaimana dijelaskan dalam SPLN (49-1:1980) Untuk itu minyak trafo harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :



1. Kekuatan isolasi harus tinggi, sesuai ICE 296 minyak trafo harus Class 1 & 2 yaitu minyak baru dan belum di Filter $> 30 \text{ kV}/2,5 \text{ mm}$ dan setelah difilter yaitu $> 50 \text{ kV}/2,5 \text{ mm}$.
2. Penyalur panas yang baik, berat jenis kecil, sehingga partikel-partikel dalam minyak dapat mengendap dengan cepat.
3. Viskositas yang rendah agar lebih mudah bersirkulasi dan kemampuan pendingin menjadi lebih baik. Pada IEC 296 Viskositas minyak class 1 saat suhu 40°C adalah $< 16,5 \text{ cSt}$.
4. Titik nyala yang tinggi, tidak mudah menguap yang dapat membahayakan. Sesuai ICE 296 Flash point minyak trafo diatas 163°C dan Pour Point adalah dibawah- 30°C
5. Tidak merusak bahan isolasi padat.
6. Sifat kimia yang stabil.⁸

4. 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 trafo.⁵



Gambar 2.5 Bushing Transformator



5. Tangki dan konservator

Tangki konservator merupakan alat yang berfungsi untuk menampung minyak pada saat trafo mengalami kenaikan suhu. Saat terjadi kenaikan suhu operasi pada trafo, minyak isolasi akan memuai sehingga volumenya bertambah. Sebaliknya saat terjadi penurunan suhu operasi, maka minyak akan menyusut dan volume minyak akan turun. Seiring dengan naik turunnya volume minyak di konservator akibat pemuaian dan penyusutan minyak, volume udara di dalam konservator pun akan bertambah dan berkurang. Penambahan atau pembuangan udara di dalam konservator akan berhubungan dengan udara luar.⁵

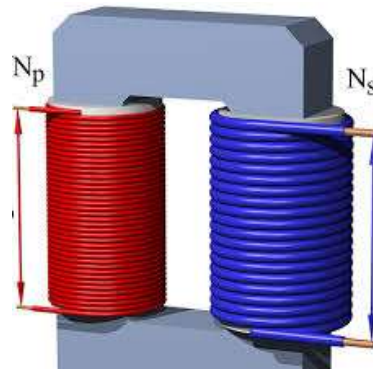


Gambar 2.6 Konservator

6. Isolasi Belitan

Isolasi belitan merupakan tempat terlemah, jika dibandingkan dengan bagian-bagian lainnya. Bahan isolasi akan berubah sifat karena kenaikan temperatur. Maka dengan itu bahan-bahan isolasi yang dipergunakan untuk mengisolasi belitan memenuhi persyaratan :

- a. Kekuatan mekanis yang baik
- b. Kekuatan dielektris yang tinggi
- c. Tidak larut dalam minyak transformator



Gambar 2.7 Isolasi Belitan

2.3.2 Komponen Pembantu

1. Pendingin

Pendingin pada transformator berfungsi untuk menjaga agar transformator bekerja pada suhu rendah. Pada inti besi dan kumparan-kumparan akan timbul panas akibat rugi-rugi tembaga. Panas tersebut mengakibatkan kenaikan suhu yang berlebihan dan hal ini akan merusak isolasi. Maka untuk mengurangi kenaikan suhu yang berlebihan tersebut transformator perlu dilengkapi dengan sistem pendingin untuk menyalurkan panas keluar transformator. Secara alamiah media pendingin (minyak isolasi) mengalir karena perbedaan suhu tangki minyak dan sirip-sirip transformator (radiator). Untuk mempercepat pendinginan transformator dilengkapi dengan kipas yang dipasang di radiator transformator dan pompa minyak agar sirkulasi minyak lebih cepat dan pendinginan lebih optimal.⁸



Gambar 2.8 Pendingin Transformator

Tabel 2.1 Tipe Pendinginan Transformator



No.	Macam Sistem Pendinginan	Media			
		Di dalam Transformator		Di luar Transformator	
		Sirkulasi Alami	Sirkulasi Paksa	Sirkulasi Alami	Sirkulasi Paksa
1.	AN	-	-	Udara	-
2.	AF	-	-	-	Udara
3.	ONAN	Minyak	-	Udara	-
4.	ONAF	Minyak	-	-	Udara
5.	OFAN	-	Minyak	Udara	-
6.	OFAF	-	Minyak	-	Udara
7.	OFWF	-	Minyak	-	Air
8.	ONAN/ONAF	Kombinasi 3 dan 4			
9.	ONAN/OFAN	Kombinasi 3 dan 5			
10.	ONAN/OFAF	Kombinasi 3 dan 6			
11.	ONAN/OFWF	Kombinasi 3 dan 7			

Sumber : IEC tahun 1976

Keterangan :

A = Air (udara)

O = Oil (minyak)

N = Natural (alamiah)

F = Forced (paksaan/tekanan)

2. Tap Charger

Alat perubah perbandingan transformasi untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder yang lebih baik (diinginkan) dari tegangan jaringan / primer yang berubah-ubah. Tap changer yang hanya bisa beroperasi untuk memindahkan tap transformator dalam keadaan transformator tidak berbeban disebut "Off Load Tap Changer" dan hanya dapat dioperasikan manual. Prinsip kerja alat ini adalah dengan mengubah jumlah kumparan primer yang memiliki input tegangan yang berubah-ubah untuk mendapatkan nilai tegangan output yang konstan.⁸



Gambar 2.9 Tap Changer

3. Alat Pernapasan (Silica Gel)

Perubahan temperatur didalam maupun diluar transformator mengakibatkan perubahan pada temperatur minyak isolasi transformator. Kualitas isolasi minyak transformator akan menurun bila di dalam kandungan minyak tersebut terdapat banyak kandungan gas dan air. Gas-gas dan air tersebut berasal dari kelembaban dan kontaminasi oksigen dari udara luar. Saat level temperatur minyak meningkat, maka transformator akan mendesak udara untuk keluar dari transformator. Dan sebaliknya, saat level temperatur minyak menurun, maka udara luar akan masuk kembali ke dalam transformator. Untuk mencegah terjadinya kontaminasi minyak transformator terhadap udara luar yang masuk kembali ke transformator, maka sebuah transformator daya dilengkapi dengan alat pernapasan berupa tabung yang berisi zat kristal (silica gel) yang terpasang di bagian luar transformator.⁸





Gambar 2.10 Alat Pernapasan (Silica Gel)

2.4 Jenis – Jenis Transformator Berdasarkan Penggunaannya

1. Transformator Daya

Transformator merupakan suatu alat listrik yang dipergunakan untuk memindahkan daya dari satu rangkaian ke rangkaian lain, dengan mengubah tegangan, tanpa mengubah frekuensi. Dalam bentuknya yang sederhana transformator terdiri atas dua kumparan dan satu induktansi mutual. Kumparan primer adalah yang menerima daya, dan kumparan sekunder tersambung pada beban. Kedua kumparan dibelit pada suatu inti yang terdiri atas material magnetic berlaminasi.³



Gambar 2.11 Transformator Daya

2. Transformator Distribusi²

Trafo Distribusi Adalah trafo yang digunakan untuk menurunkan tegangan menengah (11,6/20kV) menjadi tegangan rendah (220/380V). Trafo ini tersebar luas di lingkungan masyarakat dan mudah mengenalinya karena biasa berada di tiang listrik.



Gambar 2.12 Transformator Distribusi

3. Transformator Tegangan (Potensial Trafo)²

Trafo Tegangan (Potensial Trafo) Adalah trafo yang digunakan untuk mengambil input data masukan berupa besaran tegangan dengan cara perbandingan belitan pada belitan primer atau sekunder. Trafo ini biasa digunakan untuk pengukuran tak langsung beban yang mengalir ke pelanggan kemudian membatasinya. Selain itu bisa juga besaran tegangannya diambil sebagai input data masukan peralatan pengaman jaringan.



Gambar 2.13 Transformator Tegangan

4. Transformator arus (Current Trafo)²

Trafo Arus (*Current Transformer*) yaitu peralatan yang digunakan untuk melakukan pengukuran besaran arus pada intalasi tenaga listrik disisi (TET, TT dan TM) yang berskala besar dengan melakukan transformasi dari besaran arus yang besar menjadi besaran arus yang kecil secara akurat dan teliti untuk keperluan pengukuran dan proteksi.



Gambar 2.14 Transformator Arus

2.5 Bahan Isolasi (Penyekat)⁹

Bahan penyekat atau sering disebut dengan istilah isolasi adalah suatu bahan yang digunakan dengan tujuan agar dapat memisahkan (menyekat) bagian-bagian yang bertegangan atau bagian-bagian yang aktif misalnya antara dua penghantar agar tidak terjadi aliran listrik atau kebocoran arus apabila kedua penghantar tersebut bertegangan. Jadi bahan penyekat harus memiliki tahanan jenis besar dan tegangan tembus yang tinggi.

Sehingga untuk bahan penyekat ini perlu diperhatikan mengenai sifat-sifat dari bahan tersebut, seperti:

1. Sifat Listrik

Yaitu suatu bahan yang mempunyai tahanan jenis listrik yang besar agar dapat mencegah terjadinya rambatan atau kebocoran arus listrik antara hantaran yang berbeda tegangan atau dengan tanah. Karena pada kenyataannya sering terjadi kebocoran, maka harus dibatasi sampai sekecil-kecilnya agar tidak melebihi batas yang ditentukan oleh peraturan yang berlaku (PUIL : peraturan umum instalasi listrik). ditentukan oleh peraturan yang berlaku (PUIL : peraturan umum instalasi listrik)

2. Sifat Mekanis

Mengingat sangat luasnya pemakaian bahan penyekat, maka perlu dipertimbangkan kekuatannya supaya dapat dibatasi hal-hal penyebab kerusakan karena akibat salah pemakaian. Misal memerlukan bahan yang tahan terhadap tarikan, maka dipilih bahan dari kain bukan dari kertas karena kain lebih kuat daripada kertas.

3. Sifat Termis

Panas yang timbul pada bahan akibat arus listrik atau arus gaya magnet berpengaruh kepada penyekat termasuk pengaruh panas dari luar sekitarnya.



Apabila panas yang terjadi cukup tinggi, maka diperlukan pemakaian penyekat yang tepat agar panas tersebut tidak merusak penyekatnya.

4. Sifat Kimia

Akibat panas yang cukup tinggi dapat mengubah susunan kimianya, begitu pula kelembaban udara atau basah disekitarnya. Apabila kelembaban dan keadaan basah tidak dapat dihindari, maka harus memilih bahan penyekat yang tahan air, termasuk juga kemungkinan adanya pengaruh zat-zat yang merusak seperti : gas, asam, garam, alkali, dan sebagainya.

2.6 Bahan Isolasi Cair ¹⁰

Isolasi cair digunakan sebagai bahan pengisi pada beberapa peralatan listrik, misalnya: transformator, pemutus beban, rheostat. Dalam hal ini bahan isolasi cair berfungsi sebagai pengisolasi dan sekaligus sebagai pendingin. Karena itu persyaratan untuk bahan isolasi cair yang dapat digunakan untuk isolasi antara lain: mempunyai tegangan tembus dan daya hantar panas yang tinggi. untuk memisahkan bagian-bagian yang memiliki beda tegangan agar tidak terjadi percikan ataupun loncatan bunga api di antara bagian-bagian tersebut. Selain itu isolasi cair juga dapat berfungsi sebagai pendingin (cooling). Bahan isolasi cair digunakan pada peralatan-peralatan listrik seperti transformator, kapasitor, dan pemutus daya (circuit breaker). Untuk melaksanakan tugasnya sebagai bahan isolasi maka bahan-bahan isolasi cair yang digunakan harus mempunyai tegangan tembus yang tinggi.

2.6.1 Jenis – Jenis Minyak Isolasi Transformator

Sejak lama minyak telah digunakan untuk bahan isolasi atau penyekat pada kabel, transformator, dan circuit breakers. Minyak isolasi terbagi atas tiga jenis yaitu organik, mineral dan sintetis. Minyak isolasi organik mulai digunakan pada akhir abad ke-19, sedangkan minyak isolasi mineral diperkenalkan sekitar tahun 1910 dan mulai digunakan dengan pengembangan kilang minyak bumi, Minyak isolasi sintetis mulai dikembangkan pada industri petrokimia sekitar tahun 1960 (Salam. Mazen A., dkk, 2000: 207).

a. Minyak Isolasi Organik

Yang termasuk dalam kelompok minyak isolasi organik adalah minyak sayur, minyak rosin dan ester. Ester alami dihasilkan oleh reaksi kimia antara asam nabati dan alkohol. Reaksi ini dibantu dengan katalis seperti asam sulfur. Dengan semakin menipisnya kandungan minyak bumi hal ini membuat para peneliti khawatir,



sehingga minyak organik mulai dicoba digunakan pada transformator dan peralatan listrik lainnya

b. Minyak Isolasi Mineral

Minyak isolasi mineral adalah minyak isolasi yang bahan dasarnya adalah minyak bumi (minyak mentah) yang diproses dengan cara destilasi. Minyak isolasi mineral memiliki beberapa kekurangan yakni sifatnya yang mudah beroksidasi dengan udara, pemburukan yang cepat dan sifat kimianya yang dapat berubah akibat kenaikan temperatur yang terjadi akibat pemadaman busur api atau saat peralatan beroperasi. Minyak ini masih harus dimodifikasi agar memenuhi syarat-syarat teknis sebagai isolasi yang baik. Minyak isolasi mineral banyak digunakan pada transformator daya, kabel, pemutus tenaga (CB) dan kapasitor.

c. Minyak Isolasi Sintesis

Minyak isolasi sintesis adalah minyak isolasi yang diproses secara kimia untuk mendapatkan karakteristik yang lebih baik dari minyak isolasi mineral. Oleh karena itu saat ini sangat banyak dikembangkan penelitian-penelitian tentang kemungkinan pemakaian dari beberapa jenis pemakaian isolasi sintesis pada peralatan tegangan tinggi. Beberapa jenis dari minyak ini antara lain adalah askarel, silikon cair, dan ester sintesis.

Kelebihan dari minyak isolasi sintesis dibandingkan dengan minyak isolasi mineral adalah kekuatan dielektriknya diatas 40 kV, harga murah, sukar terbakar dan tidak mudah teroksidasi serta berat jenisnya yang relatif kecil sehingga memudahkan dalam proses pemisahan dan pemurnian kadar air. Namun minyak isolasi sintesis beracun dan dapat melukai kulit.

Tabel 2.2 Jenis Isolasi Minyak Transformator



Minyak Mineral	Minyak Sintesis
Diala C, B (USA)	Aroclor (USA)
Univolt (Esso)	Clophen (Jerman)
Nynas (Swedia)	Phenoclor (Perancis)
Mictrans (Jepang)	Pyroclor (UK)
Sun Ohm-MU (Korea)	Fenclor (Italia)
Petromin (Dubai)	Pyralene (Perancis)
BP-Energol (UK)	Pyranol (USA)

Sumber : PT PLN (Persero) Litbang Ketenagalistrikan

2.6.2 Pengujian Tegangan Tembus Minyak Transformator

Pengujian tegangan tembus dilakukan untuk mengetahui kemampuan minyak isolasi dalam menahan stress tegangan. Minyak yang jernih dan kering akan menunjukkan nilai tegangan tembus yang tinggi. Air bebas dan partikel solid, apalagi gabungan antara keduanya dapat menurunkan tegangan tembus secara dramatis. Dengan kata lain pengujian ini dapat menjadi indikasi keberadaan kontaminan seperti kadar air dan partikel. Rendahnya nilai tegangan tembus dapat mengindikasikan keberadaan salah satu kontaminan tersebut, dan tingginya tegangan tembus belum tentu juga mengindikasikan bebasnya minyak dari semua jenis kontaminan. Terdapat beberapa metode pengukuran tegangan tembus pada minyak berdasarkan standar, dimana setiap metode pengujian menggunakan bentuk dan jarak antar elektroda.:

1. IEC 60156-02 Tahun 1995, dengan elektroda mushroom dengan jarak elektroda 2,5mm (yang umum digunakan di PLN).
2. ASTM D1816 - 12 (VDE electrode) dengan elektroda mushroom dengan jarak elektroda 1 atau 2 mm.
3. ASTM D877 - 02 Tahun 2007 (Disc-electrodes) dengan elektroda silindrical dengan jarak electrode 2.54 m.⁵

Tabel 2.3 Standar Minyak Transformator Pakai Standar IEC 60422



Property	Category ^a	Recommended action limits		
		Good	Fair	Poor
Colour and appearance	All	Clear and without visible contamination		Dark and/or turbid
Breakdown voltage (kV)	O, A, D	> 60	50 to 60	< 50
	B, E	> 50	40 to 50	< 40
	C	> 40	30 to 40	< 30
	F	< 30 kV for OLTC in star-point application. < 40 kV for OLTC in delta or line-end application		
	G			< 30

Tabel 2.4 Hubungan Kerapatan Udara Relatif dengan Faktor Koreksi Kerapatan Udara

Kerapatan Udara Relatif (δ)	Faktor Koreksi Kerapatan Udara (Kd)
0,70	0,72
0,75	0,77
0,80	0,82
0,85	0,86
0,90	0,91
0,95	0,95
1,00	1,00
1,05	1,05
1,10	1,09
1,15	1,13

Untuk mencari besar nya tembus tegangan dapat menggunakan rumus dibawah ini:

$$\delta = \frac{P}{760} \times \frac{293}{273 + \theta} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$V_s = \frac{V_t}{Kd} \dots\dots\dots (2.2)$$



$$V_b = V_s \times \frac{d}{kd} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

- δ = Kerapatan udara relative
- P = Tekanan udara (mmHg)
- θ = Temperatur ($^{\circ}$ C)
- Vt = Tegangan pada saat pengujian
- Vs = Tegangan tembus standar
- d = Diameter elektroda (mm)
- Vb = Tegangan tembus minyak (kV)
- Kd = Faktor koreksi kerapatan udara⁷

2.6.3 Viskositas Minyak Transformator

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 transformator dapat berlangsung dengan baik pula nilai viskositas untuk minyak baru harus < 18 Cst.

Umur dari transformator yang semakin tua juga dapat mempengaruhi viskositas (kekentalan minyak) dan resistivitas (hambatan) dari minyak transformator itu sendiri. Hal ini sesuai dengan salah satu jurnal yang menyebutkan kalau semakin tua umur dari transformator, maka resistivitasnya akan semakin rendah dan viskositas dari minyak akan semakin tinggi. Perubahan nilai resistivitas dan viskositas dari minyak transformator ini akan menyebabkan tegangan tembus akan semakin mengecil, karena pada minyak transformator sudah mengandung banyak endapan bahan kimia dan mengandung kontaminan yang menyebabkan minyak transformator tadi sudah tidak murni lagi. Hal ini disebabkan oleh semakin banyaknya kotoran yang mengendap ataupun lumpur yang terkandung di dalam minyak dan juga menempel pada isolasi kertas dari pada transformator itu sendiri. Adanya kotoran ini perlu diantisipasi untuk menghindari dampak kerusakan berlanjut pada transformator tersebut karena minyak transformator tadi sudah tidak berfungsi lagi sebagai isolator yang seharusnya. Untuk klasifikasi minyak sendiri, dapat dikelompokkan berdasarkan warna dari pada minyak tersebut. Klasifikasinya kini sering disebut dengan Oil Quality Index (OQIN) atau Myers Index Number (MIN).¹¹

$$\mu = C \times t \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :



μ = Viskositas Kinematik (cSt)

C = Konstanta viscometer tube (0,03204)

t = Waktu yang dibutuhkan fluida mengalir hingga tanda batas (s)¹²

2.6.4 Mekanisme Kegagalan Isolasi Cair

Teori kegagalan zat isolasi cair dapat dibagi menjadi empat jenis sebagai berikut:

1. Teori kegagalan zat murni atau elektronik

Teori ini merupakan perluasan dari teori kegagalan pada gas, artinya proses kegagalan yang terjadi dalam dielektrik cair karena adanya banjir elektron (elektron avalanche). Pancaran medan elektron dari katoda di asumsikan bertabrakan dengan atom dielektrik cair. Jika energi medan yang dihasilkan dari tabrakan sudah cukup besar, sebagian elektron akan terlepas dari atom dan akan bergerak menuju anoda bersama dengan elektron bebas. Banjiran elektron ini serupa dengan peluahan yang terjadi pada gas dan peristiwa ini akan mengawali proses terjadinya kegagalan.

2. Teori kegagalan gelembung gas

Kegagalan gelembung atau kavitasi merupakan bentuk kegagalan yang disebabkan oleh adanya gelembung-gelembung gas didalam isolasi cair. Gelembung-gelembung udara yang ada dalam cairan tersebut akan memanjang searah dengan medan. Hal ini disebabkan karena gelembung-gelembung tersebut berusaha membuat energi potensialnya minimum. Gelembung-gelembung yang memanjang tersebut kemudian akan saling sambung-menyambung dan membentuk jembatan yang akhirnya akan mengawali proses kegagalan.

3. Teori kegagalan bola cair

Jika suatu zat isolasi mengandung sebuah bola cair dari jenis cairan lain, maka dapat terjadi kegagalan akibat ketidakstabilan bola cair tersebut dalam medan listrik. Medan listrik akan menyebabkan tetesan bola cair yang tertahan di dalam minyak yang memanjang searah medan dan pada medan yang kritis tetesan ini



menjadi tidak stabil. Setelah menjadi tidak stabil bola air akan memanjang, dan bila panjangnya telah mencapai dua pertiga celah elektroda maka saluran-saluran lucutan akan timbul sehingga kemudian kegagalan total akan terjadi.

4. Teori kegagalan tak murnian padat

Kegagalan tak murnian padat adalah jenis kegagalan yang disebabkan oleh adanya butiran zat padat (partikel) di dalam isolasi cair yang akan memulai terjadi kegagalan.¹²