

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian yang Relevan

Dalam penyusunan, penelitian ini didasarkan pada studi literatur terkait *Analisis Penggunaan Isolasi Pada Busbar 20 Kv* Terdapat beberapa referensi yang digunakan antara lain:

NO	Judul,Nama, Tahun	Masalah	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Penelitian
1	Penentuan Hot Point dan Monitoring Peralatan Menggunakan Thermal Imagers Fluke Menggunakan Metode Thermovisi, Pasaribu, F. I., 2021.[1]	Salah satu gangguan yang dapat mengganggu kualitas dan kontinuitas energi listrik adalah suhu panas yang terjadi pada konduktor ataupun klem-klem pertemuan antara konduktor dan peralatan listrik. Pemanasan suhu pada titik-titik atau bagian-bagian tertentu ini disebut <i>Hot Point</i> . Oleh sebab itu, dilakukanlah pengujian suhu panas (hot point) dengan metode thermovisi pada gardu induk 150 kV Bekasi	1.Metode Observasi : Melakukan pemotretan pada menggunakan thermal images	Dalam dilakukannya kegiatan thermovisi, hal yang harus diperhatikan adalah jarak dan sudut pengambilan. Selain itu, suhu dan faktor beban juga dapat mempengaruhi panas dari suatu peralatan yang diukur dengan metode thermovisi. Dalam penentuan <i>hot point</i> dan prediksi tindak lanjut peralatan, diterapkan “ <i>Buku Pedoman Pemeliharaan PLN No 0520-2.K/DIR/2014</i> ” sebagai standar pedomannya, (PLN, 2014).	Terdapat perbedaan Hasil pengukuran dilapangan dengan standar <i>Buku Pedoman Pemeliharaan PLN No 0520-2.K/DIR/2014</i>

No	Judul,Nama, Tahun	Masalah	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Penelitian
2	Analisis Hasil Pengujian Tahanan Isolasi Transformator Daya berdasarkan Hasil Uji Indeks Polarisasi dan Breakdown Voltage, Saputro, T. A., & Agus Supardi, S. T. (2018).[2]	Salah satu gangguan yang dapat mengganggu pada isolasi tahanan trafo sangat berpengaruh pada kelayakan isolasi pada trafo	1. Metode Kuantitatif: Dengan menggunakan data primer dan data sekunder, data primer di dapat melalui hasil dari pengujian indeks polarisasi, tangen delta dan breakdown voltage. Untuk data sekunder di dapat melalui studi literatur yang mewakili standar dari pengujian indeks polarisasi, tangen delta dan breakdown voltage.	Hasil pengujian pada indeks polarisasi trafo 3 jika nilai berada 1,25-2,0 maka hasil pengujian dikatakan baik menurut acuan standar IEEE 62 tahun 1995.	Terdapat gap penelitian pada nilai range dari nilai penelitian yang sekarang.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Busbar

Busbar merupakan batang konduktor tembaga berbentuk persegi panjang yang mempunyai impedansi rendah. Ini dirancang untuk memungkinkan banyak sirkuit dihubungkan satu per satu. Tujuan utama dari *busbar* adalah sebagai lokasi pusat pengumpulan arus listrik dari sumber, yang kemudian dibagikan ke beban untuk pengambilan daya listrik. Pada gardu induk *busbar* atau yang disebut juga rel digunakan sebagai penghubung antar penghantar dan juga antar trafo daya dengan tujuan untuk menerima maupun menyalurkan tenaga listrik. *Busbar* 20 kV pada transformator berfungsi sebagai penghubung antara sisi sekunder trafo dan sisi kubikel incoming 20kV. *Busbar* ini memiliki empat keluaran atau rel dimana digunakan untuk masing-masing fasa dan juga netral.[3]



Gambar 2. 1 Busbar 20kV

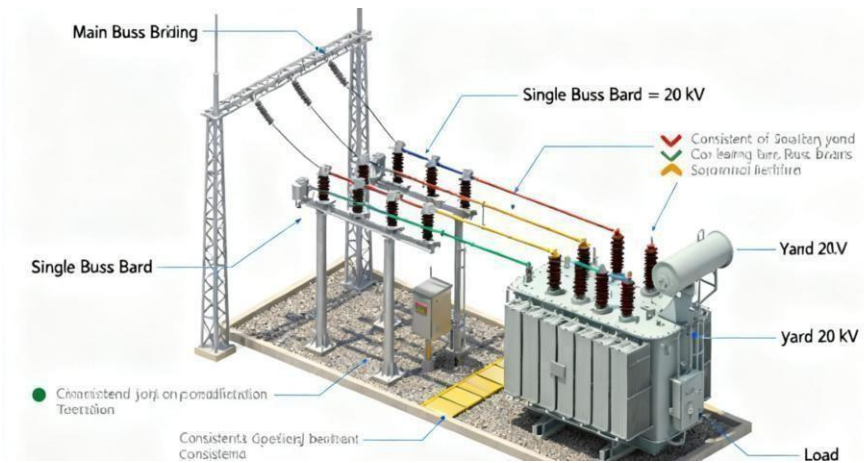
Pada busbar memiliki macam – macam berdasarkan bentuk dan konstruksi sebagai berikut:

1. Strip: Berbentuk pita atau pelat tipis, mudah dibentuk dan dipotong, luas permukaan besar sehingga dapat mengurangi efek kulit dan meningkatkan kapasitas arus.
2. Solid: Berbentuk batang atau tabung padat, memiliki kekakuan dan ketahanan mekanik tinggi, cocok untuk tegangan tinggi atau arus besar namun memerlukan isolasi tambahan dan perencanaan cermat karena sulit dibentuk.
3. Hollow: Berbentuk tabung atau kotak berongga, lebih ringan dan memiliki luas permukaan lebih besar daripada solid sehingga dapat mengurangi kerugian panas, tetapi juga memerlukan isolasi untuk mencegah masuknya kotoran atau air.
4. Flexible: Berbentuk sandwich dari lapisan konduktor tipis, dapat ditekuk atau dilipat sesuai kebutuhan, cocok untuk mengatasi getaran atau pergerakan mekanik.

2.2.2 Jenis – Jenis Busbar

2.2.3 Busbar Tunggal (*Single Busbar*)

Single busbar adalah konfigurasi busbar paling sederhana dalam sistem tenaga listrik, di mana semua koneksi terhubung langsung ke satu busbar tunggal. Busbar ini berfungsi sebagai titik pusat untuk menghubungkan berbagai peralatan seperti saluran transmisi, transformator, dan beban distribusi. [3]



Gambar 2. 2 Single Busbar

Karakteristik Single Busbar:

1. Keandalan Rendah: Gangguan pada busbar atau antara busbar dan pemutus sirkuit dapat menyebabkan pemadaman total.
2. Biaya Rendah: Konfigurasi ini relatif murah dibandingkan dengan konfigurasi busbar lainnya.
3. Fleksibilitas Operasi Terbatas: Pemindahan beban antar rangkaian memerlukan peralatan switching di luar gardu induk.

2.2.4 Busbar Ganda (*Double Busbar*)

Busbar ganda adalah konfigurasi busbar yang menggunakan dua busbar (rel daya) yang terpisah dalam suatu gardu induk atau panel listrik. Konfigurasi ini dirancang untuk meningkatkan keandalan dan fleksibilitas sistem tenaga listrik. Dalam sistem busbar ganda, peralatan seperti saluran transmisi, transformator, dan beban dapat dihubungkan ke salah satu dari dua busbar. Biasanya, hanya satu busbar yang digunakan dalam operasi normal, atau kedua busbar beroperasi secara terpisah. Keberadaan dua busbar memungkinkan operator untuk memindahkan beban dari satu busbar ke busbar lain selama pemeliharaan atau jika terjadi gangguan. [3]



Gambar 2. 3 Double Busbar

Karakteristik Double Busbar:

1. Keandalan Tinggi: Jika satu busbar mengalami gangguan, beban dapat dialihkan ke busbar lain, sehingga mengurangi risiko pemadaman total.
2. Fleksibilitas Operasi: Memungkinkan pemeliharaan dan pengujian peralatan tanpa mengganggu pasokan daya.
3. Peningkatan Kapasitas: Dengan menggunakan kedua busbar secara paralel, kapasitas sistem dapat ditingkatkan.

2.2.5 Gangguan Pada Busbar

2.2.6 Jenis-Jenis Gangguan

Sistem tenaga listrik mengalami gangguan-gangguan sebagai berikut[3] :

1. Gangguan Hubung Singkat

Short circuit atau hubung singkat, salah satu jenis gangguan dikarenakan kenaikan arus yang mengalir pada sistem tenaga kelistrikan. Gangguan hubung singkat dapat terjadi pada 3 fasa maupun antar 2 fasa, antara fasa dan *ground* dan dapat bersifat sementara maupun permanen. Gangguan sementara dapat timbul dari kilatan petir yang disebabkan oleh petir, kilatan petir yang melibatkan pohon, atau gangguan yang disebabkan oleh angin. Gangguan *permanent* dapat dipicu oleh *korsleting* pada kabel, hubung singkat pada *busbar*, dan atau belitan trafo.

2. Gangguan Beban Lebih (*Overload*)

Gangguan beban lebih dapat terjadi pada trafo atau pada saluran karena beban yang disalurkan atau dipasok terus meningkat, dan juga karena adanya manuver atau perubahan aliran beban di jaringan setelah adanya gangguan.

3. Gangguan Mekanis

Jenis gangguan ini disebabkan oleh adanya baut kendur atau oksidasi yang meningkatkan resistansi dan resiko bususr api (*arching*).

2.2.7 Penyebab Gangguan

Sistem tenaga listrik mengalami penyebab gangguan sebagai berikut[3] :

1. Gangguan dari Dalam

Gangguan yang berasal dan menyangkut dari dalam sistem itu sendiri. Contoh masalah potensial termasuk gangguan hubung singkat, kerusakan peralatan, kegagalan isolasi, dan kerusakan pada generator.

2. Gangguandari Luar

Gangguan dari luar (*eksternal*) mengacu pada gangguan yang berasal dari alam ataupun dari luar, yang mempengaruhi suatu sistem. Contoh kerusakan saluran/kabel dapat disebabkan oleh angin, badai, petir, binatang, layang-layang, dan faktor serupa. Begitu juga dengan hubung singkat yang terjadi akibat adanya binatang maupun benda asing yang menjadi penghubung, baik antara fasa ke fasa maupun fasa ke ground (tanah).

3. Gangguan Faktor Manusia

Dalam proses kelistrikan manusia menjadi salah satu aspek yang paling banyak terlibat. Gangguan yang disebabkan manusia (*human error*) timbul karena kurangnya kehati-hatian atau tidak menggunakan *instruksi kerja* dan juga tidak sesuai dengan SOP (*standart operation procedure*).

2.2.8 Akibat Gangguan

Sistem tenaga listrik mengalami Akibat gangguan sebagai berikut[3] :

1. Pemadaman Meluas (Black Out)

Karena busbar adalah titik temu berbagai bay line/trafo, gangguan di sini dapat memutus arus ke seluruh penyulang (feeder) yang terhubung, mengakibatkan area luas padam.

2. Kerusakan Komponen

Arus gangguan tinggi menyebabkan panas berlebih (degradasi termal) dan dapat melelehkan komponen, serta mematahkan isolator akibat tekanan mekanis.

3. Trip Pada Sisi Incoming

Gangguan busbar memicu sistem proteksi untuk melepaskan sisi incoming trafo, yang menghentikan distribusi listrik ke konsumen.

2.2.9 Gangguan Akibat Binatang Pada Busbar

2.3 Aktivitas Binatang yang Dapat Menimbulkan Gangguan Busbar

Gangguan Busbar dapat disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu kesalahan manusia baik dari dalam dan alat itu sendiri maupun dari luar (seperti alam dan binatang). Aktivitas binatang yang marak terjadi disebabkan oleh tikus, musang, kucing, ular, dan reptil lainnya. Aktivitas binatang ini dipicu akibat insting binatang untuk mencari suhu yang lebih hangat (pada trafo dan *marshalling kiost*) dan juga aktivitas binatang mencari makanan. Maka dari itu, terdapat potensi binatang untuk naik ke atas busbar melalui kabel power 20kV dan support kabel power 20kV lalu menaiki *busbar* 20kV t yang belum diisolasi. Untuk mencegah binatang naik ke atas trafo maka perlu dilakukan langkah-langkah *preventif* seperti pemasangan anti panjat binatang pada busbar dengan desain *busbar* 20kV terbuka, dan melakukan penutupan seluruh potensi lubang/celah yang terdapat di sekitar trafo. Hal ini juga didukung dengan melakukan pest control secara rutin dan membersihkan lingkungan Gardu Induk (GI).



Gambar 2. 4 Design Busbar 20kV Terbuka

(Sumber : Dokumentasi Langsung)

Gangguan yang disebabkan oleh aktivitas binatang ini pada umumnya terjadi pada busbar 20kV Trafo sehingga menimbulkan gangguan fasa-fasa ataupun fasa-netral

2.3.1 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Analisis sistem tenaga listrik yang berfokus pada saat terjadi gangguan hubung singkat. Tujuan dari perhitungan arus hubung singkat ini adalah untuk mengetahui nilai besaran listrik yang ditimbulkan akibat adanya gangguan hubung singkat. Pehitungan ini diperlukan untuk:

- 1) Mengatur (*setting*) peralatan proteksi
- 2) Menentukan kapasitas pemutus tenaga
- 3) Mengetahui rating atau rentang arus hubung singkat peralatan
- 4) Mengevaluasi sistem untuk setiap kejadian buruk yang mungkin timbul selama peralatan atau sistem beroperasi.

Arus gangguan hubung singkat terjadi karena adanya hubungan antar sesama konduktor telanjang yang bertegangan maupun antara konduktor (kawat) dengan *ground* (tanah) tanpa melewati media insulasi seperti beban atau isolator sehingga menimbulkan arus gangguan yang besar (abnormal). Untuk menentukan nilai arus hubung singkat tiga fasa, dua fasa, maupun satu fasa dan dua fasa ke tanah, nilai impedansi gangguan Z_f dianggap nol.

Gangguan hubung singkat dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis berdasarkan kesimetrisan nya: gangguan hubung singkat simetris dan gangguan hubung singkat asimetris. Gangguan hubung singkat simetris mengacu pada gangguan yang terjadi secara bersamaan di semua fasa, sehingga menghasilkan nilai arus dan tegangan yang sama di setiap fasa. Ini mencakup hubung singkat tiga fasa dan hubung singkat tiga fasa ke tanah. Gangguan hubung singkat asimetris mengacu pada gangguan hubung singkat yang mengakibatkan ketidakseimbangan arus yang mengalir melalui setiap fasa. Gangguan ini dapat berupa hubung singkat dari satu fasa ke tanah, dari satu fasa ke fasa, dan dari dua fasa ke tanah.

Besarnya hubung singkat asimetris ditentukan dengan menggunakan perhitungan komponen simetris. Komponen simetris adalah teknik matematika yang digunakan untuk menyederhanakan analisis sistem multifasa tidak seimbang/asimetris. Pendekatan ini memisahkan komponen asimetris menjadi beberapa bagian yang berbeda.

1) Komponen Urutan Positif

Sistem ini terdiri dari tiga fasor yang besarnya sama, berjarak 120 derajat pada fase terbesarnya, dan mempertahankan urutan fase yang sama seperti fase aslinya.

2) Komponen Urutan Negatif

Sistem ini terdiri dari tiga fasor yang besarnya sama, dengan beda fasa masing-masing fasa sebesar 120 derajat. Tetapi memiliki urutan fase berlawanan dengan urutan fase aslinya.

3) Komponen Urutan Nol

Komponen tersebut terdiri dari tiga fasor yang besarnya sama, tanpa perbedaan fasa antara masing-masing fasor (ditunjukkan oleh subskrip 0).

Sebelum menghitung nilai gangguan hubung singkat, perlu diperoleh data berupa tegangan operasi dan impedansi jaringan. Tegangan operasional jaringan distribusi tegangan menengah adalah 20 kV. Sedangkan impedansi dapat dihitung melalui tahapan berikut :

1) Impedansi Sumber

Untuk menghitung impedansi dasar dapat digunakan rumus berikut :

$$Z_{dasar} = \frac{kV^2}{MVA_{hs3\phi}} (ohm) \quad (2.1)$$

Nilai resistansi sumber diabaikan karena nilainya jauh lebih kecil dibandingkan dengan nilai reaktansi, sehingga memungkinkan untuk menyatakan nilai reaktansi dengan :

$$X_{s1} = j \frac{kV_{dasar}^2}{MVA_{hs3\phi}} (ohm) \quad (2.2)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} X_{s1} &= \text{Reaktansi sumber urutan positif} \\ kV_{das} &= \text{Tegangan dasar (kV)} \\ MVA_1 &= \text{Daya hubung singkat tiga fasa (MVA)} \end{aligned}$$

2) Impedansi Trafo Tenaga

Untuk menentukan impedansi suatu transformator, nilai reaktansi diperhitungkan, sedangkan nilai resistansi diabaikan karena jauh lebih kecil dibandingkan dengan nilai reaktansi.

Nilai reaktansi trafo dalam satuan Ohm dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$X_{T1} = j \frac{kV^2}{MVA} (ohm) \quad (2.3)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} X_{T1} &= \text{Reaktansi transformator (Ohm)} \\ kV &= \text{Tegangan primer transformator (kV)} \end{aligned}$$

$$MVA = \text{Kapasitas transformator (MVA)}$$

Tingkat reaktansi pada transformator daya sering dinyatakan dalam persentase atau nilai per unit (pu).

Reaktansi transformator daya dengan daya fundamental yang diperbarui :

$$X_{T \text{ baru}} = X_{T \text{ lama}} \times \frac{MVA_{\text{baru}}}{MVA_{\text{lama}}} \times \frac{kV_{\text{lama}}^2}{kV_{\text{baru}}^2} (pu) \quad (2.4)$$

Dimana :

$$X_{T \text{ baru}} = \text{Reaktansi transformator baru (pu)}$$

$$X_{T \text{ lama}} = \text{Reaktansi transformator lama (pu)}$$

$$MVA_{\text{baru}} = \text{Daya dasar baru (MVA)}$$

$$MVA_{\text{lama}} = \text{Daya dasar lama (MVA)}$$

$$kV_{\text{lama}}^2 = \text{Tegangan dasar lama (kV)}$$

$$kV_{\text{baru}}^2 = \text{Tegangan dasar baru (kV)}$$

Perhitungan arus hubung singkat dalam hal ini dibatasi hanya pada perhitungan arus hubung singkat fasa ke fasa. Gangguan fasa – fasa akibat binatang terjadi, misalnya salah satu kaki kucing atau kadal berada di fasa S dan bagian tubuh lainnya berada di fasa T.

Untuk arus dasar (I_{dasar}) sisi 20kV :

$$I_{dasar} = \frac{MVA_{dasar} \times 1000}{\sqrt{3} \times kV_{dasar}} \quad (2.5)$$

Dimana :

I_{dasar} = Arus dasar sisi 20kV

MVA_{dasar} = Daya dasar (MVA)

kV_{dasar} = Tegangan dasar (kV)

Untuk arus hubung singkat tiga fasa di busbar 20kV digunakan rumus berikut :

$$I_{3\phi} = \frac{V_f}{Z_1} \quad (2.6)$$

Dimana :

$I_{3\phi}$ = Arus hubung singkat tiga fasa (Ampere)

I_{dasar} = Arus dasar (Ampere)

Z_1 = Impedansi (ohm)

Maka arus hubung singkat tiga fasa dalam ampere adalah sebagai berikut :

$$I_{hs3\phi} = I_{dasar} \times I_{3\phi} \quad (2.7)$$

Dimana :

$I_{hs3\phi}$ = Arus hubung singkat tiga fasa (Ampere)

I_{dasar} = Arus dasar (Ampere)

$I_{3\phi}$ = Arus hubung singkat tiga fasa (pu)

2.3.2 Perhitungan Arus Gangguan Terhadap Kinerja Rele Differensial

Relai diferensial beroperasi dengan membandingkan besarnya arus pada primer dan sekunder trafo arus (*current transformer*) dengan arus yang masuk ke relai. Fungsi relai diferensial ini didukung oleh dua buah trafo arus (CT), dimana pada kondisi normal, trafo arus pertama dan kedua dirancang dengan rasio yang memastikan aliran arus yang sama melalui keduanya. Untuk menghitung arus diferensial, arus penahan, kemiringan, dan arus pengaturan pada relai diferensial, gunakan persamaan di bawah ini. :[9]

$$I_d = I_2 - I_1 \quad (2.8)$$

$$I_3 = \frac{I_1 + I_2}{2} \quad (2.9)$$

$$Slope = \frac{I_d}{I_r} \times 100\% \quad (2.10)$$

$$I_{sett} = \%slope \times I_r \quad (2.11)$$

Dimana :

I_d = Arus diferensial.

I_r = Arus *restraint*.

I_{sett} = Arus *setting* pada rele diferensial.

$Slope$ = Batas ambang kemampuan kumparan penahan.

2.3.3 Jenis Pengujian

2.3.4 Pengujian Tahanan Isolasi

a. Pengertian Tahanan Isolasi

Tahanan isolasi mengacu pada kondisi dimana suatu peralatan memiliki kemampuan menahan (nilai resistansi) terhadap tegangan untuk menghindari terjadinya hubugn singkat (*short circuit*) maupun kerusakan lain. Tahanan isolasi juga diartikan ukuran tingkat kebocoran arus pada isolasi tersebut. Tahanan dapat berubah karena pengaruh temperatur dan lamanya tegangan yang diberikan pada belitan, oleh karena itu faktor-faktor tersebut harus dicatat pada waktu pengujian.

Pengujian tahanan isolasi dilakukan untuk memastikan aman atau tidaknya suatu peralatan untuk diberi tegangan. Pengujian tahanan isolasi yang dilakukan pada setiap peralatan menghubungkan bagian yang diberi tegangan terhadap badan (*body*) yang ditanahkan. Namun perlu diingat bahwa pengujian tahanan isolasi dilakukan pada saat peralatan tidak bertegangan (padam). [1]

Dapat disimpulkan bahwa, pengujian tahanan isolasi adalah pengujian yang dilakukan dalam keadaan peralatan tidak bertegangan. Pengujian ini dilakukan pada tahanan antara belitan trafo yang bertegangan terhadap bagian badan (*body*) trafo maupun antar belitan (belitan primer terhadap belitan sekunder) pada trafo untuk mengetahui kebocoran arus yang melalui isolasi.

Guna memahami mengenai pengujian tahanan isolasi, berikut persamaan sederhana dari Hukum Ohm : [10]

$$V = I \times R \quad (2. 12)$$

Keterangan:

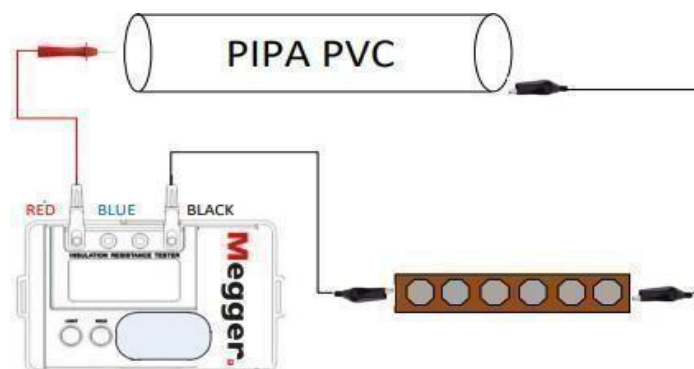
V = Tegangan (Volt)

I = Kuat Arus (Ampere)

R = Tahanan (Ohm)

Semakin meningkat tegangan yang mengalir, arus juga akan semakin meningkat. Namun dengan tegangan yang sama, semakin rendah tinggi resistansi maka semakin kecil arus yang didapat. Tegangan yang lebih tinggi akan mengakibatkan arus yang melebihi isolasi. Kecilnya nilai arus kecil yang berada pada isolasi yang baik tentu tidak akan merusak isolasi tersebut. Namun dapat menimbulkan kekhawatiran jika isolasi tersebut mengalami pemburukan.

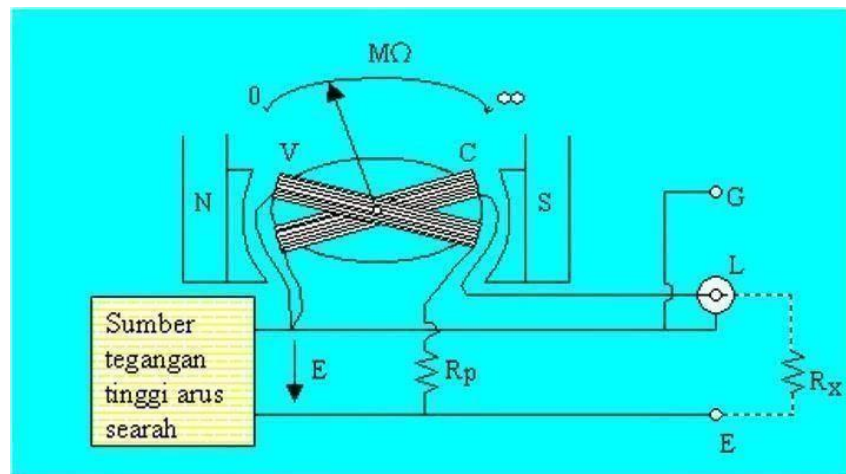
Berdasarkan IEEE Standar 43 – 2000, kemampuan isolasi listrik dari belitan untuk menahan arus searah. Hasil bagi dari tegangan langsung yang diterapkan polaritas negatif dibagi dengan arus melintasi isolasi mesin, dikoreksi ke 40 derajat *celcius* dan diambil pada waktu tertentu (t) dari awal aplikasi tegangan.



Gambar 2. 5 Rangkaian Pengujian Tahanan Isolasi

b. Prinsip Kerja Alat Ukur Tahanan Isolasi

Prinsip kerja alat ukur tahanan isolasi adalah dua kumparan V dan C yang ditempatkan secara menyilang. Dimana kumparan V merasakan besarnya arus yang mengalir pada E/R_p sedangkan kumparan C merasakan besarnya arus yang mengalir adalah E/R_x . Dimana R_x sebagai tahanan yang akan diukur. Jarum akan bergerak karena adanya perbandingan dari kedua arus, yaitu sebanding dengan R_p/R_x atau berbanding terbalik terhadap tahanan yang akan diukur.[10]



Gambar 2. 6 Prinsip Kerja Alat Uji Tahanan Isolasi [10]

Prinsip pengukuran tahanan isolasi pada satuan mega ohm meter sama seperti pada satuan ohm meter, dengan memberikan tegangan DC dari alat ukur ke bahan isolasi yang akan diuji. Karena nilai tahanan isolasi dengan mega ohm meter lebih tinggi dari ohm meter maka memerlukan tegangan yang tinggi juga guna arus dapat mengalir. Tegangan pengukuran yang diberikan bergantung pada tegangan kerja dari peralatan yang diukur. Alat uji tahanan isolasi dengan tipe digital, skala uji bisa diubah berdasarkan besarnya tahanan isolasi yang akan diukur. Ini dapat dilakukan dengan cara mengubah *switch* (tombol) pada alat uji hingga batas ukur tahanan isolasi. Alat uji tahanan isolasi jenis digital umumnya menggunakan baterai sebagai sumber tegangan.

c. Standar atau Acuan Pengujian Tahanan Isolasi

Standar: KEP-DIR 0520-2.K.DIR.2014 (Pedoman Trafo Daya Final) tahanan isolasi minimum kumparan trafo, pada suhu operasi ditentukan sebagai berikut “ **1 Kilo Volt $\geq$ 1 MOhm**” [1].

Tabel 2. 1 Standar Minimum Tahanan Isolasi

No.	Hasil Uji	Rekomendasi
1	$\geq 1 \text{ Mohm} / 1 \text{ kV}$	Normal
2	$< 1 \text{ Mohm} / 1 \text{ kV}$	Lakukan Pengujian Lebih Lanjut

Selain standart tahanan insulasi, trafo juga menilai keadaan insulasi dengan melakukan Indeks Polarisasi (Polarization Index / PI) adalah nilai perbandingan hasil pengukuran tahanan isolasi pada menit ke-10 terhadap menit ke-1 saat pengujian menggunakan megger / insulation tester. PI dipakai untuk menilai kondisi kualitas isolasi pada peralatan listrik seperti motor, trafo, generator, dan kabel. pengujian *indeks polarisasi* yang memenuhi standar yang ditentukan.:

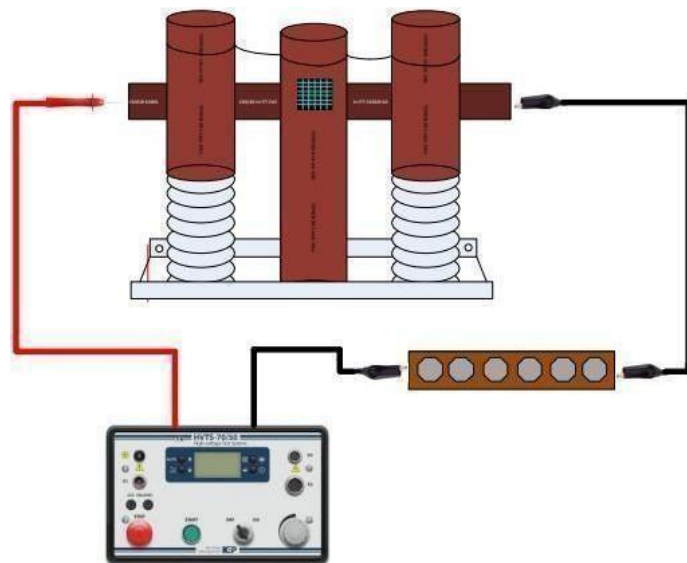
Tabel 2. 2 Standar Pengujian Index Polarisai [1]

No.	Hasil Uji	Keterangan	Rekomendasi
1	$> 1,0$	Berbahaya	Investigasi
2	1,0 – 1,1	Jelek	Investigasi
3	1,1 – 1,25	Dipertanyakan	Uji kadar air minyak, uji tandelta
4	1,25 – 2,0	Baik	-
5	$> 2,0$	Sangat Baik	-

2.3.5 Pengujian HV Test

a. Pengertian *HV Test*

Menurut KEPDIR 520 Tahun 2014, pengujian *highvoltage test* dilakukan bertujuan untuk meyakinkan bahwa kekuatan (ketahanan) isolasi sampel uji sanggup menahan tegangan yang akan dilaluinya. Isolasi yang dimaksud adalah isolasi antar bagian bertegangan terhadap tanah (*ground*) dan sambungan-sambungan terhadap tanah (*ground*). Pengujian HV test dikategorikan menjadi dua jenis, yakni *applied voltage test* dan *induce voltage test*. *Applied voltage test* berarti menghubungkan objek uji langsung dengan sumber tegangan uji dan *induce voltage test* berarti objek uji akan mendapatkan tegangan uji melalui proses induksi. [4]



Gambar 2. 7 Rangkaian Penguji HV Test AC

b. Standar atau Acuan Pengujian HV Test

Standar: KEP-DIR 0520-2.K.DIR.2014 (Pedoman Trafo Daya); [4]

Tabel 2. 3 Standar Pengujian HV test

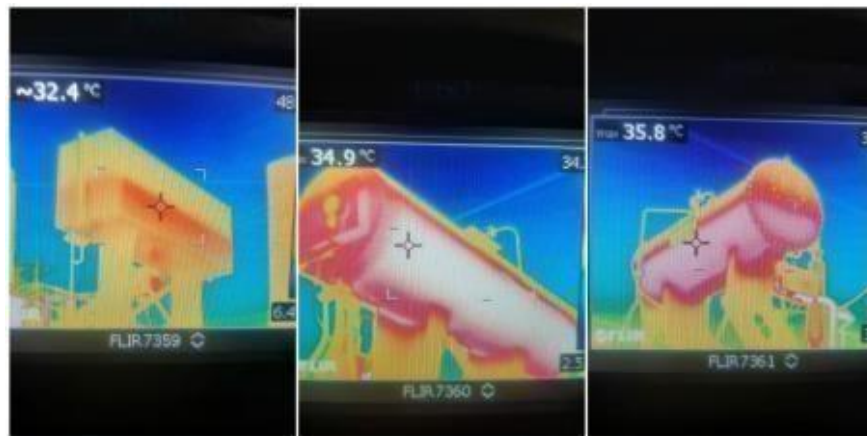
No.	Item Pemeriksaan	Kondisi Normal	Rekomendasi bilakondisi normal tidak terpenuhi
1	Kondisi isolasi	Tidak <i>collapse</i> / <i>breakdown</i>	Lakukan investigasi (lihat Annex A IEC 60076-3)

2.3.6 Pengujian Thermovisi

a. Pengujian *Thermovisi* Transformator Daya

Pada saat trafo beroperasi, bagian-bagian transformator yang dialiri arus akan menghasilkan panas. Panas yang berada pada radiator trafo dan tangki utama yang berasal dari belitan trafo memiliki temperatur suhu bagian atas yang lebih panas dari dari pada bawah secara gradasi. Sedangkan pada *bushing*, suhu klem yang berada di sambungan (*stud*) akan lebih panas dari bagian sekitarnya.

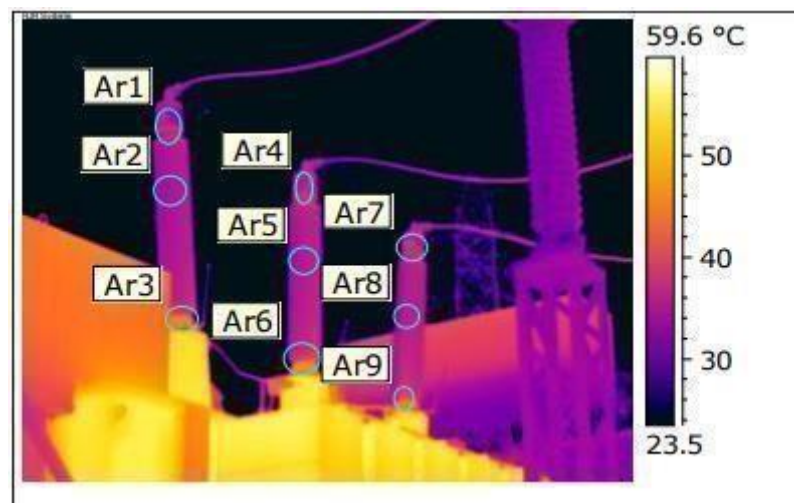
Suhu yang tidak normal pada trafo dapat diartikan sebagai adanya tidak normalan pada bagian atau lokasi tersebut. Salah satu metode untuk mengetahui ada atau tidak-nya tidak normalan pada transformator adalah melakukan pemantauan titik panas, atau *thermovisi* menggunakan kamera termal.



Gambar 2. 8 Hasil Pengukuran Thermovisi

Pengukuran suhu menggunakan metode pemantauan titik panas (thermovisi) secara umum dilakukan pengukuran suhu pada tiga titik yaitu atas, tengah dan bawah. Pada layar atau tampilan alat, objek yang di monitor akan terlihat tertutupi sebuah lapisan gradasi warna atau gradasi hitam putih. Warna yang ditampilkan akan mewakili besaran suhu yang terbaca pada objek. Disamping kanan tampilan/ layar alat dilengkapi dengan batang korelasi antara warna dengan suhu sebagai referensi warna- warna yang muncul pada tampilan.[11]

Pengukuran *thermovisi* menggunakan sinar *infra red* yang dipancarkan oleh *thermal trigger* sehingga suhu dari peralatan yang diukur dapat terlihat.



Gambar 2. 9 Hasil Pengukuran Thermovisi Bushing [4]

b. Standar atau Acuan Pengujian Thermovisi

Pengukuran thermovisi pada *bushing* trafo adalah dengan mengukur titik yang paling panas dan membandingkan karakteristik suhu terhadap fasa lainnya. Salah satu acuan standar hasil *thermovisi* dalam prosedur pemeliharaan peralatan gardu induk. Hasil dengan standar *thermovisi* dapat dikategorikan pada tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Standar Pengukuran Thermovisi SKDIR 520-2014 [4]

No.	ΔT (perbedaan suhu antar fasa)	Rekomendasi
1.	1°C – 3 °C	Dimungkinkan ada ketidaknormalan, perlu investigasi lanjut
2.	4°C – 15 °C	Mengindikasikan adanya defisiensi, perlu dijadwalkan perbaikan
3.	>16 °C	Ketidaknormalan mayor, perlu dilakukan perbaikan/penggantian segera