

**SISTEM PENDITEKSIAN DINI ARUS BOCOR KABEL TANAH  
BERBASIS METODE KEGAGALAN THERMAL  
KASUS: TRANSFORMATOR 150/20 KV JATIRANGON**

<sup>1)</sup>A.Sofwan dan <sup>2)</sup>S Angga Kusuma

<sup>1)</sup>Program Studi Teknik Elektro FTI-ISTN, Jl. Moh. Kafil II Jagakarsa, Jakarta Selatan

Email: [asofwan8@gmail.com](mailto:asofwan8@gmail.com)

<sup>3)</sup>PT. PLN Transmisi Jawa Bag.Barat, APP Cawang Techn Substation System Jatirangon. Indonesia

Email: [septian\\_angga83@yahoo.com](mailto:septian_angga83@yahoo.com)

**ABSTRAK**

Arus bocor, yang bernilai kecil dan dianggap jarang terjadi, sering terabaikan namun ternyata dapat menyebabkan terjadinya gangguan trip pada PMT 150/20 kV Transformator-4 di GI Jatirangon yang mengakibatkan sistem proteksi bekerja. Dampak dari gangguan ini mengakibatkan padamnya beban sebesar 1350A, 35 MW dan 5MVar. Penyebab gangguan ini adalah terjadinya breakdown pada kabel tanah 20kV fasa T core 1. Hal ini mengakibatkan terjadinya hubung singkat ke tanah sehingga rele proteksi differential dan REF 20kV bekerja dikarenakan rele tersebut merasakan adanya gangguan di daerah pengamannya. Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka perlu dirancang suatu alat penditeksian arus guna mengetahui besarnya arus bocor pada kabel tanah tersebut. Alat ini dapat meminimalisir terjadinya gangguan yang menyebabkan terjadinya pemadaman aliran daya listrik. Untuk analisa perhitungan digunakan teori kegagalan termal dan selanjutnya kedua hasilnya dibandingkan. Hasil monitor arus bocor pada kabel tanah fasa T didapatkan arus sebesar 0,6A dengan suhu 35 °C. Dengan metode perhitungan kegagalan thermal untuk arus bocor didapatkan hasil sebesar 0,56180A dengan suhu yang sama. Perbandingan antara perhitungan dengan pengukuran arus bocor pada kabel tanah diperoleh sebesar 6,36 %. Hasil penelitian berupa perancangan alat monitor pendeteksian dini, yang akan dibahas dalam makalah ini dan dipresentasikan dalam SEMRISTEK 2018.

Kata kunci: Penditeksian Dini, Arus Bocor, Transformator, Kabel Tanah 20 kV dan Alat Monitor,

**ABSTRACT**

*Leakage currents, which are of little value and rarely have an impact, are often overlooked but can actually cause a trip disturbance on the 150/20 kV PMT Transformer 4 in Jatirangon Substation (GI) which results in the protection system working. The effect of this fault, that rele differential phase T and REF 20 kV have worked. The resulted impact of this fault is interruption in feeder a 1350 A, 35 MW and 5 Mvar. The cause of the breakdown is the occurrence of breakdown on ground cables 20 kV phase T core 1, that resulted in the occurrence of short circuit to the ground then the differential protection and REF 20 kV releases work because the release felt the interference in the safety area. The result of this research is the design of an early detection monitoring tool. This tool is used to determine the amount of leakage current on the ground cable in order to minimize the occurrence of interference that causes the occurrence of power outage. The result of the leakage current monitor on the ground phase cable T core 1 obtained a current of 0.6 A with temperature 35 oC. With thermal failure calculation method for leakage current obtained result of 0.56180A with same temperature. Comparison of the calculation with the measurement of leakage current on the T1 core phase ground cable is obtained at 6.36%. The result of this research is the design of a monitoring tool for early detection, which will be discussed in this paper and presented in SEMRISTEK 2018.*

Keywords: Early Detection, Leakage Current, Transformer, Ground Cable 20 kV and Monitoring tool.

**PENDAHULUAN**

Penyaluran energi listrik transformator daya step down dari sistem tegangan 150 kV ke sistem tegangan menengah 20 kV dalam kapasitas yang besar, pada umumnya dilakukan dengan menggunakan saluran kabel tegangan menengah dikarenakan untuk penyaluran daya sistem tegangan menengah 20 kV hantaran udara kadang kala sulit untuk diterapkan karena mengurangi estetika ruang. Untuk itu faktor yang penting diperhatikan dalam menggunakan kabel tanah yaitu karakteristik isolasinya, karena salah satu kendala dari penggunaan kabel tanah adalah kegagalan isolasi dalam

**Seminar Nasional Riset dan Teknologi, Jakarta 13 Oktober 2018**

menjalankan fungsinya sebagai media isolasi tegangan menengah. Dikarenakan dalam pembuatan kabel terkadang tidak sempurna sehingga terdapat rongga dalam isolasi tersebut. Jika kecepatan pembangkitan panas di suatu titik dalam bahan melebihi laju pembuangan panas keluar, maka akan terjadi keadaan tidak stabil dan pada suatu saat bahan akan mengalami kegagalan thermal. Dan jika hal ini berlangsung lama akan mengurangi keandalan dari kabel yang akan menyebabkan terjadinya kegagalan isolasi dan kerusakan pada kabel. Pada tanggal 18 Januari 2017 telah terjadi gangguan trip PMT 150 kV dan 20 kV transformator 4 di GI Jatirangon. Akibat gangguan tersebut mengakibatkan sistem proteksi yang bekerja yaitu rele differential fasa T dan REF 20 kV. Dampak dari gangguan mengakibatkan padamnya beban sebesar 1350 A, 35 MW dan 5 Mvar. Penyebab gangguan yaitu terjadinya breakdown pada kabel tanah 20 kV fasa T core 1. Hal ini mengakibatkan terjadinya hubung singkat ke tanah sehingga rele proteksi differential dan REF 20 kV bekerja dikarenakan rele tersebut merasakan adanya gangguan di daerah pengamanannya. Ternyata Kegagalan isolasi kabel tanah tegangan menengah 20 kV tersebut telah mengganggu operasi transformator 150 kV / 20 kV #4 tersebut yang menyebabkan terjadinya padamnya aliran listrik yang merugikan.

Sebelum terjadinya gangguan tidak dilakukan monitoring arus bocor kabel power sehingga tidak terdeteksi secara dini bahwa adanya peningkatan arus bocor kabel tegangan menengah yang mengakibatkan gangguan tersebut. Untuk itu perlu adanya suatu alat untuk mendeteksi dini peningkatan arus bocor kabel tegangan menengah sehingga dapat meminimalisir adanya gangguan yang menyebabkan terputusnya aliran listrik ke konsumen maka terhentinya produktifitas serta menimbulkan kerugian bagi perusahaan dikarenakan adanya peralatan yang rusak.

## METODE PENELITIAN

Metode penelitian dilakukan secara bertahap, dimana pada tahap pertama yang dilakukan berupa pemaparan Sistem Proteksi pada Transformator dan Kabel Tanal 20 kV.

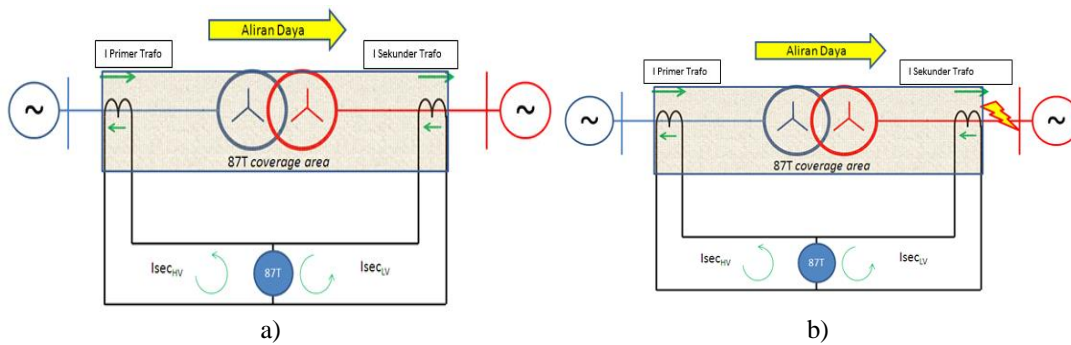
### Proteksi Transformator

Transformator yang berfungsi menaikkan ataupun menurunkan tegangan dalam system penyaluran tenaga listrik. Alat ini merupakan peralatan utama yang terletak pada gardu induk yang berfungsi penting untuk menyalurkan energi listrik ke sistem kelistrikan transmisi dan distribusi sehingga alat ini harus seoptimal mungkin diproteksi dengan baik. Karena bila transformator rusak akan mengakibatkan aliran listrik ke jaringan distribusi dan konsumen terputus, sehingga mengganggu keandalan sistem. Transformator diproteksi dengan menggunakan berbagai rele proteksi. Rele tersebut harus bertugas mengidentifikasi gangguan yang terjadi di internal transformator, gangguan di sekitar transformator, dan gangguan pada jaringan yang dipasok oleh transformator tersebut. Bila Rele menemukan dan merasakan kondisi arus gangguan atau kondisi abnormal maka rele proteksi akan memberi perintah PMT untuk trip. Dengan demikian transformator terbebas dari tegangan sistem dan arus gangguan. Rele proteksi dikelompokkan menjadi 2 tipe yaitu rele mekanik dan rele elektrik. Selain berdasarkan tipe, rele transformator juga dikelompokkan berdasarkan jenis pengamanannya yang dibagi menjadi rele proteksi utama dan rele proteksi cadangan (*Back Up Protection*).

Secara fungsi, rele proteksi mekanik dan elektrik memiliki tujuan yang sama yaitu untuk mengamankan transformator dari dampak arus hubung pendek dengan cara memberi perintah trip ke PMT yang terkait. Hal ini berlaku bagi semua rele, baik yang bersifat mekanik ataupun elektrik yakni sebagai rele proteksi utama. Rele ini harus segera bekerja tanpa tunda waktu (instan) pada saat terjadinya gangguan internal transformator maupun gangguan eksternal transformator (dalam wilayah proteksi rele) yang mengakibatkan anomali di internal transformator tersebut. Atau dengan kata lain Rele harus mampu mendeteksi terhadap terjadinya gangguan pada wilayah kekuasaannya (Protection zone) Berikut penjelasan rele elektrik transformator.

### Relai Differensial

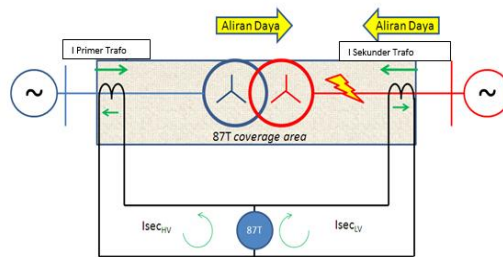
Relai differensial adalah relai yang bekerja apabila mendeteksi adanya perbedaan fasor dan atau perbedaan nilai sesaat arus masuk dan arus keluar pada rele tersebut. Prinsip kerja rele ini adalah perbandingan arus belitan primer, sekunder dan atau tersier (jika tersier dibebani). Prinsip kerja relai ini adalah berdasarkan hukum Kirchoff I yaitu jumlah arus yang masuk harus samainlainya dengan jumlah arus yang keluar pada titik percabangan sirkuit listrik. Pada gambar 1, 2, dan 3 menjelaskan cara kerja rele differensial saat kondisi normal dan gangguan.



Gambar 1. a) Skema kondisi transformator normal b) Skema kondisi gangguan eksternal transformator

Pada gambar 1.a) adalah cara kerja pembacaan arus pada rele differensial saat transformator dalam keadaan operasi normal (tidak terjadi gangguan dalam wilayah pengamanannya). Arus dari sisi primer dan dari sisi sekunder akan saling meniadakan pada titik 87 T (Rele Diferensial). Pada kondisi ini rele *differensial* tidak merasakan adanya perbedaan pada arus masuk dan arus keluar, sehingga rele *differensial* tidak bekerja.

Pada gambar 1.b) memaparkan cara kerja pembacaan arus pada rele differensial saat transformator dalam keadaan gangguan diluar zona pengamanan rele ini. Arus dari sisi primer dan dari sisi sekunder akan saling meniadakan pada titik 87 T meskipun dalam kondisi magnitude arus gangguan yang besar. Pada kondisi ini rele *differensial* tidak merasakan adanya perbedaan pada arus masuk dan arus keluar sehingga rele *differensial* juga tidak bekerja.

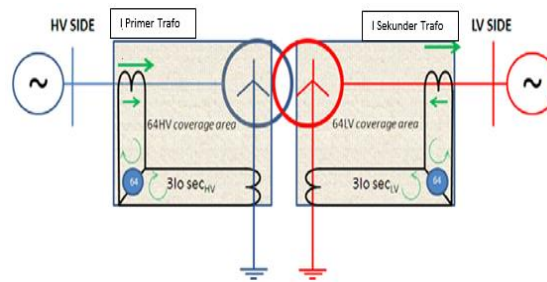


Gambar 2. Skema kondisi gangguan internal transformator

Pada gambar 2. adalah cara kerja pembacaan arus pada rele differensial saat transformator dalam keadaan gangguan di dalam zona pengamanan rele ini. Arus dari sisi primer dan dari sisi sekunder saling menjumlahkan pada titik 87 T. Sehingga pada kondisi ini rele differensial merasakan adanya perbedaan pada arus masuk dan arus keluar yang signifikan (arus masuk tidak sama dengan arus keluar). Akibatnya rele differensial akan bekerja untuk memberi perintah PMT untuk trip karena terjadi gangguan di dalam zona pengamanannya. Jadi secara umum cara kerja rele differensial adalah apabila gangguan berada di luar daerah proteksinya maka penjumlahan arus adalah nol pada titik percabangan (restraint point). Akan tetapi pada saat terjadi gangguan di dalam daerah proteksinya maka arus yang masuk tidak lagi sama dengan arus keluar sehingga akan timbul arus differensial pada titik percabangannya (restraint point). Apabila perbedaan arus differensial ini sudah mencapai titik seting (pickup) maka relai ini akan bekerja (operate) untuk memberi perintah trip kepada PMT. Pada kondisi transformator dan sistem proteksi normal relai differensial harus stabil atau tidak melakukan mala kerja apabila terjadi kondisi seperti berikut: Inrush current, External Through Fault Current, Overfluxing pada transformator dan perubahan tap saat berbeban.

Relai gangguan ke tanah terbatas (*Restricted Earth Fault*)

Rele REF berfungsi untuk mengamankan transformator dari gangguan fasa ke tanah di dekat titik netral transformator. Relai ini dipasang di transformator dengan desain vector group YNyn yang ditanahkan. Daerah pengamanan REF ini adalah daerah yang tidak terdeteksi oleh relai differensial. Sehingga sensitifitas dari relai ini menjadi titik utama dari penyetingannya. Besar arus gangguan fasa ke tanah tergantung dari besar nilai tahanan yang dipasang pada pentanahan titik netral.



Gambar 3. Skema rele REF

Gambar 3 menggambarkan cara kerja pembacaan arus saat transformator beroperasi normal. Prinsip kerja rele REF sama dengan rele differensial, dengan menggunakan hukum Kircchoff I yaitu jumlah arus yang masuk sama dengan jumlah arus yang keluar pada titik percabangan sirkuit listrik atau pada restrain point. Pada satu transformator dengan 2 buah belitan terdapat 2 rele REF masing-masing mengamankan sisi primer dan sisi sekunder. Cara kerja pembacaan arus pada rele REF apabila terjadi gangguan tanah di luar daerah pengamannya, REF tidak akan bekerja karena arus yang melewati 64 besarnya sama. Sebaliknya jika gangguan tanah terjadi di dalam daerah pengamannya karena arus yang melewatinya besarnya tidak sama maka relai REF akan bekerja.

**Kabel Tanah**

Pada metode tahap kedua adalah membahas tentang kabel tanah tegangan menengah 20 kV berupa Konstruksi kabel tanah dan kemungkinan terjadinya arus bocor pada kabel. Konstruksi kabel tanah pada dasarnya terdiri dari 3 (tiga) komponen penting yaitu: Konduktor, Isolasi dan pengaman. Konduktor diperuntukan sebagai penghantar listrik baik dari tegangan rendah, tegangan menengah maupun tegangan tinggi dan dinamakan inti dari kabel, termasuk dalam bagian kabel tanah. Sifat daya hantar listrik material dinyatakan dengan konduktivitas, Kebalikan dari resistivitas, atau tahanan jenis penghantar, dimana tahanan jenis penghantar tersebut didefinisikan pada rumus 1 sebagaiberikut :

$$\rho = (R \cdot A) / L \tag{ 1. }$$

Dimana A: luas penampang (m<sup>2</sup>), L : Panjang dari kabel penghantar (m), Ω: tahanan jenis penghantar (ohm.m), R: tahanan penghantar (Ohm) dan ρ : Konduktivitas

Tabel 1. Sifat bahan Alumunium

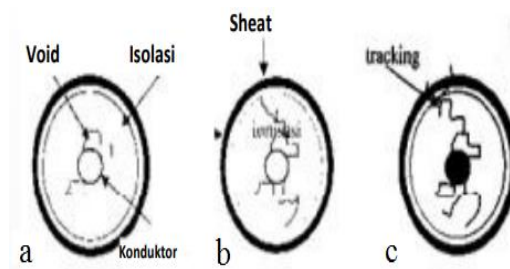
Sifat Bahan	Satuan	Alumunium (Ac)
Konduktivitas listrik ( ρ )	(ohm meter) <sup>-1</sup>	3,8 x 10 <sup>7</sup>
Konduktivitas Thermal ( k )	J / m.s °C Kkal / m.s °C	200 <u>500</u> · 10 <sup>-4</sup>
Hambatan Jenis	Ωm	2,65 x 10 <sup>-8</sup>

Gambar 4. Kabel tanah berinti tunggal

Pada penelitian ini menggunakan kabel tanah tegangan menengah 20 kV dengan inti satu berbahan aluminium maka dilihat dari tabel 1. bahan logam aluminium mempunyai konduktivitas listrik sebesar 3,8 x 10<sup>7</sup> (ohm.m)<sup>-1</sup>, konduktivitas thermal (k) sebesar 200 J / m.s °C dan hambatan jenis sebesar 2,65 x 10<sup>-8</sup> Ωm. Adapun Isolasi kabel sering disebut dielektrik yang fungsinya membatasi / mencegah kontak langsung antara konduktor yang bertegangan dengan obyek sekelilingnya. Pelindung fungsinya mencegah agar isolasi tidak terpengaruh dari luar misalnya masuknya air ke isolasi kabel / kelembaban, mekanik / tekanan yang dapat merusak isolasi kabel tersebut. Untuk lebih jelasnya bagian-bagian kabel dan fungsinya akan dibahas pada sub bab selanjutnya tentang konduktor, isolasi dan pelindung kabel tanah. Gambar 4. yaitu kabel tanah jenis NA2XSY 1x150 cm/25 12/20 ( 24 ) kV menyatakan suatu kabel berinti tunggal, untuk tegangan nominal 12/20 kV, berisolasi XLPE, berpenghantar aluminium dengan luas penampang 150 mm<sup>2</sup>, lapisan tembaga pada

bagian luar susunan inti dengan luas penampang 25 mm<sup>2</sup>, berselubung PVC. Kabel ini digunakan dalam penelitian ini yang sudah terpasang pada transformator 150/20 kV 4 di GI Jatirangon.

Adapun proses terjadinya arus bocor pada kabel tanah diawali dengan timbulnya rongga pada Kabel akibat dari proses manufaktur. Di dalam kabel sering kali terdapat rongga-rongga yang berisi gas atau udara. Rongga gas atau udara ini terbentuk pada waktu pembuatan kabel atau pada waktu pemakaian kabel. Seperti yang diketahui bahwa suatu kabel terdiri dari beberapa macam lapisan yang terbuat dari bahan yang berlainan dan mempunyai koefisien muai yang berlainan pula. Jika terjadi pemanasan dan pendinginan, baik pada waktu pembuatan atau pada waktu pembebanan dengan arus maka pemuaian dan penyusutan dari masing-masing bahan akan berbeda. Akibatnya akan terbentuklah rongga-rongga berisi gas atau udara diantara lapisan-lapisan itu dan rongga-rongga gas atau udara ini mempunyai kekuatan dielektrik yang lebih kecil dari bahan-bahan isolasinya yang padat. Rongga-rongga pada bahan isolasi dapat juga timbul pada waktu pembuatan kabel. Rongga udara yang merupakan lubang dengan udara bertekanan rendah dan mempunyai kekuatan dielektrik isolasi, merupakan titik lemah isolasi karena permitivitas yang lebih rendah, maka akan terjadi peningkatan medan listrik di dalam rongga udara melebihi kekuatan tembus udara. Proses terjadinya kerusakan pada kabel ditunjukkan pada gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Proses terjadinya kerusakan pada kabel

Pada tahap ke tiga ini adalah menganalisa kegagalan Isolasi dan Kegagalan Thermal dari kabel tanah. Kegagalan isolasi pada kabel adalah suatu keadaan dimana isolasi tidak dapat mengantisipasi atau membendung suatu keadaan di luar batas kemampuan isolasi tersebut. Mekanisme kegagalan isolasi ini disebabkan oleh beberapa hal, seperti : jenis bahan elektroda, konfigurasi medan listrik, suhu, tekanan, besar tegangan, dan umur bahan dari bahan isolasi yang digunakan. Adapun kegagalan thermal adalah kegagalan yang terjadi jika kecepatan pembangkitan panas di suatu titik dalam bahan melebihi laju kecepatan pembuangan panas keluar. Akibatnya terjadi kegagalan tidak stabil sehingga pada suatu saat bahan mengalami kegagalan. Mekanisme kegagalan thermal mengikuti hukum konversi energi, yaitu panas yang dibangkitkan sama dengan panas yang disalurkan keluar melalui elektroda medium sekelilingnya di tambah dengan panas yang digunakan untuk menaikkan suhu bahan. Adapun besarnya tegangan thermal minimum ( $V_m$ ) menurut Whitehead adalah:

$$V_m = \int_{T_m}^{T_o} \left( \frac{8k}{\sigma} \right) dt \quad (2)$$

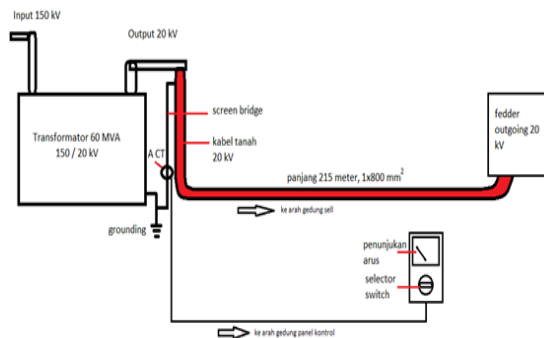
Dimana,  $T_o$  : Suhu pada permukaan bahan (sama dengan suhu keliling) [°C],  $T_m$  : Suhu kritis dimana bahan gagal [°C],  $\sigma$  : konduktivitas listrik [ohm meter]<sup>-1</sup>,  $k$  : konduktivitas thermal [J / m.s °C].

Arus bocor merupakan arus yang mengalir menembus atau melalui permukaan isolasi. Isolasi berfungsi untuk memisahkan secara elektrik dua buah penghantar atau lebih yang saling berdekatan, sehingga tidak terjadi kebocoran arus. Arus bocor juga disebabkan oleh rongga-rongga pada bahan isolasi, yang disebabkan kesalahan pada pembuatan bahan isolasi tersebut. Tahanan isolasi mempengaruhi besarnya arus bocor, tahanan isolasi akan semakin besar jika penghantar semakin panjang. Persamaan 3 berikut diperuntukan untuk menentukan besarnya nilai tahanan isolasi.  $I_b$  merupakan arus bocor dalam [A],  $V_m$  adalah tegangan gagal thermal minimum dalam [V] dan  $R$  sebagai nilai resistansi panas dalam [Ω]

$$I_b = \frac{V_m}{R} \quad (3.)$$

Arus listrik secara normal akan melewati konduktor kabel, sedangkan arus bocor yang tidak diinginkan akan mengalir secara radial dari konduktor melalui dielektrik ke lapisan pelindung. Dalam kabel maka penampang akan menjadi lebih besar bila berawal dari konduktor.

Pada tahap ke empat adalah merencanakan Alat Monitor Arus Bocor Kabel Tanah 20kV. Untuk dapat memonitor besarnya arus bocor pada kabel tanah 20 kV transformator 4 di GI Jatirangon, maka dirancanglah suatu alat fasilitas monitoring arus bocor kabel tanah 20 kV berbasis grounding. Hal itu dikarenakan dalam keadaan beroperasi transformator yang dapat dimonitor adalah hanya besarnya arus bocor yang mengalir pada pentanahan kabel tanah. Arus bocor mengalir dari bagian kabel yang dinamakan tabir screen yang dipentahkan disalah satu sisi ujung kabel. Tabir screen yaitu berfungsi sebagai mengalirkan arus hubung singkat dalam gangguan fasa ke tanah sampai ke pentanahan terdekat dan mengalirkan arus kapasitif yang timbul dalam isolasi karena adanya tegangan fasa ke tanah. Untuk itu dapat dibuatlah fasilitas monitoring arus bocor tersebut memanfaatkan tabir screen yang dipentahkan. Untuk dapat memonitor arus bocor menggunakan suatu alat current transformer ring yang berfungsi sebagai pengukuran arus tersebut. Setelah itu ring CT tersebut dihubungkan ke alat unjuk (meter) agar dapat termonitor besarnya arus bocor yang mengalir. Dikarenakan dalam 1 fasa terdapat 3 kabel 1 core maka secara keseluruhan dibutuhkan 9 CT ring untuk masing-masing kabelnya. Dalam penelitian ini hanya diukur 1 core saja yakni core yang terganggu (fasa T core-1). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 6 dibawah ini.



a)

b)

Gambar 6. a) Perencanaan Alat Monitor Arus Bocor Kabel Tanah b) Alat thermovis Suhu

Selanjutnya dilakukan proses pengukuran Arus Bocor pada fasa T core\_1 Langkah awal Monitoring arus bocor dapat dilakukan secara perhitungan berdasarkan kegagalan thermal dengan memonitor suhu pada permukaan kabel menggunakan alat flir. Menurut Whitehead tegangan gagal thermal dapat dihitung menggunakan rumus 2 dan setelah itu dapat dihitung arus bocornya menggunakan rumus 3.. Pengukuran suhu juga dapat dilakukan dengan alat Thermovis (Lihat gambar 6.b). Sedangkan untuk monitoring arus bocor kabel tanah pada saat system transformator dalam kondisi beroperasi dengan bantuan suatu alat fasilitas arus bocor yang sudah dibuat di atas dengan cara memonitor menggunakan tang ampere langsung didapat hasil arus bocor kabel tanah. Guna mendapatkan hasil pengukuran yang nyata maka pengukuran arus bocor tersebut hanya dapat dilakukan pada saat system sedang dalam beroperasi, sebagaimana terlihat pada gambar 7.



Gambar 3.4. Pelaksanaan Monitoring Arus Bocor pada kondisi beroperasi

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada langkah metode terakhir adalah analisa terhadap hasil Perhitungan Arus Bocor akibat Thermal dan membandingkannya dengan hasil pengukuran. Adapun spesifikasi teknik untuk kabel tanah transformator 4 yaitu panjang 215 meter dengan luas penampang 1x800 mm<sup>2</sup>. Konduktivitas listrik, konduktivitas thermal dan hambatan jenis

*Seminar Nasional Riset dan Teknologi, Jakarta 13 Oktober 2018*

aluminium dapat dilihat pada bab 2 di tabel 2.1. Maka untuk tahanan penghantar dapat dihitung menggunakan rumus 2.1. sebagai berikut :

$$R = \frac{2,65 \times 10^{-8} \cdot 215}{8 \times 10^{-4}} = 0,00712 \Omega$$

Maka didasarkan hasil perhitungan diatas didapatkan untuk tahanan penghantar kabel tanah tersebut sebesar  $R = 0,00712 \Omega$ . Untuk mendapatkan nilai arus bocor kabel tanah maka terlebih dahulu harus mencari tegangan gagal thermal kabel tanah tersebut. Untuk itu, maka dihitunglah tegangan gagal thermal Kabel tanah phase T core 1 dengan menggunakan rumus 2. sebagai berikut :

$$V_m = \int_{130}^{35} |0,0000421| dt = |(0,0000421 \times 35) - (0,0000421 \times 130)| = 0,004 \text{ V}$$

Maka didapatkan untuk tegangan gagal thermal kabel tanah fasa T core 1 sebesar  $V_m = 0.004003 \text{ V}$ . Setelah mendapatkan nilai tegangan gagal thermal kabel tanah, maka untuk arus bocor kabel tanah dapat dihitung menggunakan rumus 3 dengan perhitungan sebagai berikut :

$$I_b = \frac{V_m}{R} = 0,56180 \text{ A}$$

Setelah dihitung dengan rumus rumus tersebut di atas maka didapatkan untuk nilai arus bocor kabel tanah fasa T core 1 hanya sebesar  $I_b = 0.56222 \text{ A}$ . Dengan cara yang sama maka diperoleh hasil perhitungan 9 core untuk kabel lainnya dalam fasa R S T sebagaimana hasil perhitungannya dapat dilihat pada tabel 2. Dimana pada setiap kabel mempunyai 3 core dan masing-masing diperoleh nilai tegangan gagal thermal ( $V_m$ ) dan nilai arus bocor ( $I_b$ ).

Pada penelitian ini untuk kabel Fasa T core 1 telah dilakukan penggantian kabel baru, dikarenakan kabel lama telah rusak dan tak bisa digunakan lagi untuk menentukan nilai pengukuran arus bocor. Dengan penggantian kabel tersebut terlihat bahwa perbedaan antara hasil perhitungan dan hasil pengukuran memiliki nilai deviasi yang terkecil.

Didasari atas tabel 2 di bawah ini didapatkan bahwa untuk hasil perhitungan secara manual dengan penggunaan rumus, kemudian dibandingkan dengan hasil monitoring alat (pengukuran dengan tang meter) mempunyai perbedaan hasil dalam bentuk %. Diperoleh bahwa untuk hasil perhitungan manual nilai arus bocornya lebih kecil dibandingkan dengan hasil monitoring alat secara langsung.

Sebagai sample untuk perhitungan pada kabel tanah fasa T core 1 dengan metode kegagalan thermal didapatkan hasil arus bocornya  $0,56180 \text{ A}$  dengan suhu  $35 \text{ }^\circ\text{C}$ , sedangkan hasil monitoring alat menggunakan tang ampere sebagai alat ukurnya didapatkan hasil arus bocornya sebesar  $0,6 \text{ A}$  dengan suhu yang sama yakni  $35 \text{ }^\circ\text{C}$ . Didapatkan nilai deviasi untuk selisih antara perhitungan dengan pengukuran sebesar  $6,36 \%$ .

Tabel 2. Perbandingan antara perhitungan dengan pengukuran arus bocor pada kabel tanah

Phase	Core Kabel	Suhu ( $^\circ\text{C}$ )	Perhitungan		Pengukuran Monitoring alat (A)	Perhitungan : Pengukuran (%)
			$V_m$ (V)	$I_b$ (A)		
R	1	33	0.00140	0.57163	0.8	28,54
	2	20	0.00463	0.65028	1.1	40,88
	3	30	0.00421	0.59129	0.8	26,08
S	1	20	0.00463	0.65028	1.1	40,88
	2	25	0.00442	0.62079	0.9	31,02
	3	20	0.00463	0.65028	0,8	18,71
T	1	35	0.004	0.56180	0,6	6,36
	2	20	0.00463	0.65028	1,0	34,97
	3	20	0.00463	0.65028	1,2	45,81

Adanya selisih antara perhitungan dengan pengukuran dikarenakan di dalam perhitungan hanya menghitung besarnya arus bocor yang terdapat pada kabel tanah, sedangkan hasil dari pengukuran besarnya arus bocor yang termonitor pada kabel tanah dan transformator di sisi sekunder sehingga hasilnya lebih besar. Selain itu, pada table 2 di atas terlihat bahwa selisih antara perhitungan dan pengukuran banyak memiliki nilai yang cukup besar. Hal ini diperkirakan umur kabel yang sudah cukup lama diatas 4 tahun dan harus beroperasi setiap hari. Sedangkan pada fasa T core 1 memiliki nilai deviasai yang terkecil yakni hanya 6,36%. Hal ini diperkirakan akibat adanya penggantian kabel baru pada core tersebut yang digunakan untuk pengukuran arus bocor tersebut.

### KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan diatas maka diperoleh simpulan sebagai berikut, bahwa untuk mengetahui arus bocor kabel tanah secara manual dapat menggunakan perhitungan dengan metode kegagalan thermal dengan memonitor hasil pengukuran thermovisi permukaan kabel. Setelah itu dianalisis menggunakan perhitungan teori *Whitehead* sehingga didapatkan hasil arus bocor kabel tanah fasa yang terganggu yakni T core 1 sebesar 0,56180 A dengan suhu 35 °C. Sedangkan dengan adanya suatu alat untuk memonitoring arus bocor berbasis grounding untuk kabel tanah fasa T core 1 tersebut didapatkan hasil sebesar 0,6 A dengan suhu yang sama 35 °C. Selisih arus bocor kabel tanah 20 kV transformator\_4 fasa T core-1 di GI Jatirangon antara perhitungan dengan pengukuran sebesar 6,36 %. Dengan adanya alat monitor arus bocor ini diharapkan dapat mendeteksi sejak dini. Jika adanya peningkatan arus bocor yang signifikan dapat dilakukan langkah pengamanan untuk meminimalisir terjadinya gangguan yang disebabkan oleh breakdown kabel tanah.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Agus Sofwan, A. Multi, R. Soleman, Sugianto and S. A. Kusuma, "Leak Current Monitoring System on the Ground Cables Medium Voltage Transformer 150/20 kV", Journal of ICIEE, Untirta, Cilegon-Banten Sept 2018.
- [2]. Arismunandar, DR, "Teknik Tenaga Listrik jilid III" Pradnia Paramita, Jakarta, 1997.
- [3]. Erhaneli dan Musnadi, " Pengaruh Arus Bocor Terhadap Perubahan Temperatur Pada Kabel bawah Tanah 20 kV ", jurnal Fakultas Teknik Elektro ITP, 2012, Padang.
- [4]. Hasan Basri, Ir., "Proteksi Sistem Tenaga Listrik", Penerbit ISTN, 2003, Jakarta.
- [5]. Hadi Sadat, "Power System Analys", Milwaukee School Of Engineering, 1999.
- [6]. Karyono, "Sistem Ptoteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali", Jakarta, 2013.
- [7]. PLN P3B JB. 2014 "Buku Petunjuk Batasan O & M Peralatan Sekunder Penyaluran Tenaga Listrik (Proteksi Transformator)" Jakarta.
- [8]. PLN. 2014 "Buku Petunjuk Pengenalan Kabel Tanah 20 kV dan Pemeliharaan Kabel Tanah TM", Jakarta.
- [9]. PLN. 2014 "Buku Petunjuk Proteksi Transformator dan Transformator", Jakarta.
- [10]. Suprame Cable Manufacturing Corp., P.T. ( PT. SUCACO ), "Power Cable Catalogue" Dan PT. NEXANS, "High Voltage Underground Cables".
- [11]. Setiadi Rachmat, "Analisis Pengaruh Medan Listrik Lokal Terhadap Kecepatan Pertumbuhan Pemohonan Listrik pada Kabel XLPE", jurnal Fakultas Teknik Elektro Universitas Indonesia, 2008, Jakarta.
- [12]. Suryadi Aris dan Sofwan Agus, " Rancang Bangun Modul Simulasi ELCB Fasa Satu sebagai Pelindung Bagi Manusia ", jurnal Fakultas Teknik Elektro ISTN, Jakarta, 2016