

PENDETEKSIAN DINI TERHADAP ARUS BOCOR KABEL TANAH TEGANGAN MENENGAH PADA TRANSFORMATOR 150/20kV

A. Sofwandan S. Angga Kusuma

- 1) Program Studi Teknik Elektro FTI-ISTN, Jl. Moh. Kafil II Jagakarsa, Jakarta. Email : asofwan8@gmail.com
- 2) PT. PLN (Persero) Transmisi Jawa Bagian Barat, APP Cawang sebagai Junior Technisi Jaringan dan Gardu Induk Jatirangon. <mailto:indraaditya25@yahoo.com>

ABSTRAK

Didasari atas peristiwa pada Januari 2017 yang telah terjadi gangguan trip PMT 150 kV dan 20 kV transformator 4 di GI Jatirangon. Pada gangguan tersebut 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 pengamannya. Hasil penelitian ini berupa perancangan suatu alat monitor pendeteksian dini. Alat ini digunakan untuk mengetahui besarnya arus bocor pada kabel tanah agar dapat meminimalisir terjadinya gangguan yang menyebabkan terjadinya pemadaman aliran daya listrik. Hasil monitor arus bocor pada kabel tanah fasa T core 1 didapatkan arus sebesar 0,6 A dengan suhu 35 °C. Dengan metode perhitungan kegagalan thermal untuk arus bocor didapatkan hasil sebesar 0,56180 A dengan suhu 35 °C. Perbandingan antara perhitungan dengan pengukuran arus bocor pada kabel tanah fasa T core 1 diperoleh sebesar 6,36 %.

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

ABSTRACT

Based on the tragedy in January 2017, there had been fault trip at 150 kV PMT and a 20 kV transformer 4 in GI Jatirangon. 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 °C. With thermal failure calculation method for leakage current obtained result of 0,56180A with temperature 35°C. Comparison of the calculation with the measurement of leakage current on the T1 core phase ground cable is obtained at 6.36%.

Keywords: Transformator, Ground Cable 20 kV, Leak Current, Monitoring tool, Early Detection.

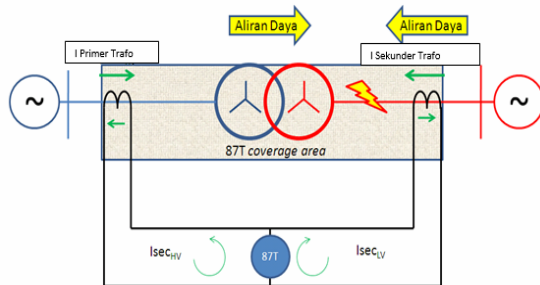
I. PENDAHULUAN

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 sebagai media penyalurannya. Hal ini dikarenakan untuk penyaluran daya listrik pada sistem tegangan

menengah 20 kV dengan hantaran udara kadang kala sulit untuk dapat diterapkan. Hal tersebut disebabkan karena akan mengurangi estetika ruang, apalagi di wilayah kota Jakarta sebagai ibu kota Negara. Untuk itu faktor utama yang penting harus diperhatikan dalam menggunakan kabel tanah yaitu karakteristik isolasinya.

Pada gambar 2.2. menggambarkan cara kerja pembacaan arus pada rele differensial saat transformator dalam keadaan gangguan yang berasal dari luar 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 (gangguan berada di luar jangkauan daerah pengaman) rele *differensial* tidak merasakan adanya perbedaan pada arus masuk dan arus keluar sehingga rele *differensial* tidak bekerja. Dengan demikian Rele Diferensial ini hanya dikhususkan bekerja fokus untuk menghadapi gangguan gangguan yang berada dalam wilayah daerah kekuasaan pengamanannya.



Gambar 2.3. Skema kondisi gangguan internal transformator

Pada gambar 2.3. menggambarkan cara kerja pembacaan arus pada rele differensial saat transformator dalam keadaan gangguan didalam 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. Dalam kondisi ini, arus yang masuk (i-1) tidak sama besar dengan arus keluar (i-3).

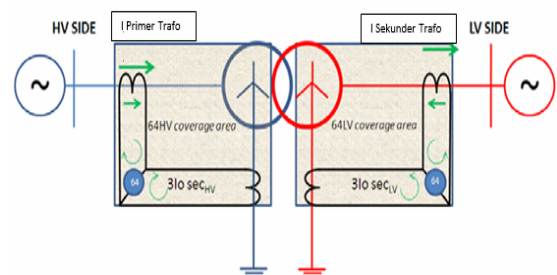
Dengan adanya perbedaan arus tersebut, akan dirasakan dan dideteksi oleh Rele. Sehingga rele *differensial* akan bekerja untuk memberi perintah kepada PMT untuk trip karena terjadi gangguan di dalam zona pengamanannya. Jadi secara umum cara kerja rele *differensial* adalah apabila gangguan berada di 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*) tersebut. Apabila perbedaan arus *differensial* ini sudah mencapai atau bahkan melampaui titik seting (*pickup*) maka rele ini akan bekerja.

Pada kondisi transformator dan sistem proteksi normal rele *differensial* harus stabil atau tidak melakukan kerja apabila terjadi kondisi seperti berikut :

- *Inrush current*,
- *External Through Fault Current*,
- *Overfluxing pada transformator*,
- Perubahan tap saat berbeban.

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

Relé 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 rele *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 2.4. Skema relé REF

Gambar 2.4. menjelaskan cara kerja pembacaan arus saat transformator beroperasi normal. Prinsip kerja relé REF sama dengan rele differensial, dengan menggunakan hukum Kirchoff I yaitu jumlah arus yang masuk sama dengan jumlah arus yang keluar pada titik percabangan sirkuit listrik atau pada *restraint point*.

Pada 1 transformator tenaga dan dilengkapi dengan 2 buah belitan terdapat 2 rele REF yang masing-masing mengamankan sisi primer dan sisi sekunder transformator. Cara kerja pembacaan arus pada rele REF apabila terjadi gangguan tanah di luar daerah pengamannya relai REF tidak akan bekerja karena arus yang melewati 64 (tanda dan simbol proteksi) besarnya sama. Sebaliknya jika gangguan tanah terjadi di dalam daerah pengamannya karena arus yang melewati 64 besarnya tidak sama maka relai REF akan bekerja.

2.1. Konstruksi kabel tanah

Konstruksi kabel tanah pada dasarnya terdiri dari 3 (tiga) komponen penting yaitu :

a. Konduktor.

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, Yaitu kebalikan dari resistivitas, atau tahanan jenis penghantar, dimana tahanan jenis penghantar tersebut didefinisikan sebagai :

$$\tilde{n} = \frac{R \cdot A}{L}$$

Keterangan :

- A : luas penampang (m²)
- L : Panjang penghantar (m)
- Ω : tahanan jenis penghantar (ohm.m)
- R : tahanan penghantar (ohm)
- ρ : Konduktivitas

Tabel 2.1. Sifat bahan Aluminium

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

Pada penelitian akhir ini menggunakan kabel tanah tegangan menengah 20 kV dengan inti satu berbahan aluminium maka dilihat dari tabel 2.1. bahan logam aluminium mempunyai konduktivitas listrik sebesar 3,8 x 10⁷(ohm.m)⁻¹, konduktivitas thermal (k) sebesar 200J / m.s °C dan hambatan jenis sebesar 2,65 x 10⁻⁸Ωm.

b. Isolasi

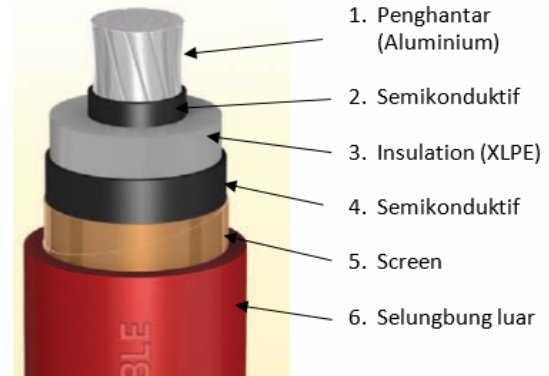
Isolasi kabel sering disebut dielektrik yang fungsinya membatasi / mencegah kontak langsung antara konduktor yang bertegangan dengan obyek sekelilingnya.

c. Pelindung / Pengaman

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 2.5. Kabel tanah berinti tunggal

Gambar 2.5. 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 mm², lapisan tembaga pada bagian luar susunan inti dengan luas penampang 25 mm², berselubung PVC. Kabel ini digunakan dalam penelitian ini yang sudah terpasang pada trnasformator 150/20 kV 4 di GI Jatirangon.

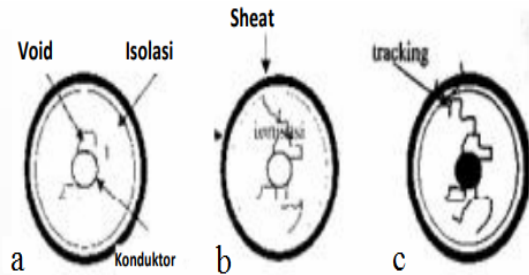
II. PERENCANAAN ALAT MONITOR ARUS BOCOR KABEL TANAH 20 kV

3.1. Proses Terjadinya Arus Bocor

• **Timbulnya Rongga Pada Kabel**

Di dalam kabel sering kali terdapat rongga-rongga yang berisi gas atau udara. Rongga udara ini terbentuk pada waktu pembuatan kabel atau waktu pemakaian kabel. Seperti yang diketahui bahwa suatu kabel terdiri dari beberapa macam lapisan yang terbuat dari bahan yang berlainan dan mempunyai koefesien muai yang berlainan pula. Jika terjadi pemanasan dan pendinginan, baik pada waktu pembuatan atau waktu pembebanan dengan arus maka pemuaian dan penyusutan dari masing-masing bahan akan berbeda. Akibatnya akan terbentuklah rongga-rongga berisi udara diantara lapisan-lapisan itu dan rongga udara ini mempunyai kekuatan dielektrik yang lebih kecil dari bahan-bahanisolasinya yang padat. Rongga-rongga pada 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 3.1.



Gambar 3.1. Proses terjadinya kerusakan pada kabel

• **Kegagalan Isolasi**

Kegagalan isolasi kabel adalah suatu keadaan dimana isolasi tidak dapat mengantisipasi suatu keadaan di luar batas kemampuan isolasi tersebut. Mekanisme kegagalan isolasi ini disebabkan oleh jenis bahan elektroda, konfigurasi medan listrik, suhu, tekanan, besar tegangan, dan umur bahan dari bahan isolasi.

• **Kegagalan thermal**

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.

Menurut **Whitehead**, tegangan gagal thermal minimum V_m adalah :

$$V_m = \int_{T_m}^{T_o} \left| \frac{8k}{\sigma} \right| dt \quad (3.1.)$$

Keterangan :

V_m : Tegangan gagal thermal minimum [V]

T_o : Suhu pada permukaan bahan (atau dalam hal ini sama dengan suhu keliling) [°C]

T_m : Suhu kritis dimana bahan gagal [°C]

σ ; konduktivitas listrik [ohm meter]⁻¹

k : konduktivitas thermal [J / m.s °C]

• **Arus Bocor Pada Kabel**

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 dari tahanan isolasi sebagai berikut :

$$I_b = \frac{V_m}{R} \quad (3.2.)$$

Dimana,

I_b : arus bocor [A]

V_m : tegangan gagal thermal minimum [V]

R : resistansi panas [Ω]

• **Kebocoran Isolasi**

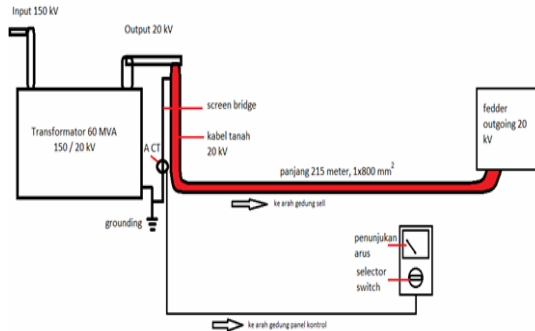
Arus listrik secara normal akan melewati konduktor kabel, sedangkan arus bocor yang tidak diinginkan akan mengalir secara radial dari konduktor melalui dielektrik ke lapisan pelindung. Dalam kabel maka penampang akan menjadi lebih besar bila berawal dari konduktor.

3.2. Alat Monitor Arus Bocor Kabel Tanah

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. Dikarenakan dalam keadaan beroperasi transformator yang dapat dimonitor yaitu besarnya arus bocor yang mengalir pada pentahanan kabel tanah. Arus bocor mengalir dari bagian kabel yang dinamakan tabir screen yang di pentanahkan 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 di pentanahkan. Untuk dapat memonitor arus menggunakan suatu alat current transformer ring yang berfungsi sebagai pengukuran arus. Setelah itu ring ct tersebut

dihubungkan ke alat unjuk agar dapat termonitor besarnya arus yang mengalir. Dikarenakan dalam 1 fasa terdapat 3 kabel 1 core maka dibutuhkan 9 CT ring untuk masing-masing kabelnya.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.2. dibawah ini.



Gambar 3.2. Perencanaan Alat Monitor Arus Bocor Kabel Tanah

3.3. Proses Pengukuran Arus Bocor

- Monitoring arus bocor dapat dilakukan dengan cara perhitunganyang didasariatas kegagalan thermal dengan memonitor suhu pada permukaan kabel menggunakan alat flir. Menurut Whitehead tegangan gagal thermal dapat dihitung menggunakan rumus 3.1. dan setelah itu dapat dihitung arus bocornya menggunakan rumus3.2.
- Monitoring arus bocor pada saat system sedang beroperasi dengan suatu alat fasilitas arus bocor yang sudah dibuat di atas dengan cara memonitor menggunakan tang ampere langsung didapat hasil arus bocor kabel tanah atau dengan cara pengukuran dengan bantuan tang ampere tersebut.



Gambar 3.4. Pelaksanaan Monitoring Arus Bocor pada kondisi beroperasi

III. ANALISIS DAN PERHITUNGAN ARUS BOCOR

Spesifikasi teknik untuk kabel tanah transformator 4 yaitu panjang 215 meter dengan luas penampang 1x800 mm². Konduktivitas listrik, konduktivitas thermal dan hambatan jenis aluminium dapat dilihat pada tabel 2.1. Maka untuk tahanan penghantar dapat dihitung menggunakan rumus 2.1. sebagai berikut :

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A}$$

Dengan mesubsitusikan nilai nilai parameter tersebut, maka didapatkan nilai untuk tahanan penghantar kabel tanah 20kV tersebut sebesar R = 0,00712 Ω

Untuk mendapatkan nilai arus bocor kabel tanah terlebih dahulu harus mencari tegangan gagal thermal kabel tanah, maka dapat dihitung tegangan gagal thermal dengan menggunakan rumus 3.1. sebagai berikut :

- Kabel tanah phase T core 1 :

$$V_m = \int_{T_m}^{T_0} \left| \frac{(8 k)}{\sigma} \right| dt$$

$$V_m = \int_{130}^{25} \left| \frac{(8 \cdot 200)}{3,8 \times 10^7} \right| dt$$

$$V_m = \int_{130}^{25} \square |0,0000421| dt$$

$$V_m = \sqrt{(0,0000421 \cdot 35)^2 + (0,0000421 \cdot 130)^2}$$

$$V_m = 0.004 \text{ V}$$

Maka didapatkan untuk nilai tegangan gagal thermal pada kabel tanah di fasa T core 1 sebesar $V_m = 0.004003\text{V}$. Setelah mendapatkan nilai tegangan gagal thermal kabel tanah tersebut, maka untuk arus bocor kabel tanah dapat dihitung menggunakan rumus 3.2, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$I_b = \frac{V_m}{R}$$

$$I_b = 0.56180 \text{ A}$$

Setelah dihitung maka didapatkan untuk arus bocor kabel tanah fasa T core 1 sebesar $I_b = 0.56222 \text{ A}$. Untuk hasil perhitungan core kabel lain dapat dilihat pada tabel 4.1. di bawah ini :

Tabel 4.1. Perbandingan antara perhitungan dengan pengukuran arus bocor pada kabel tanah.

Phase	Core Kabel	Suhu (°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

Melihat dari tabel di atas didapatkan untuk hasil perhitungan manual dengan monitoring alat mempunyai perbedaan hasil. Untuk hasil perhitungan manual 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 A dengan suhu 35 °C, sedangkan hasil monitoring alat menggunakan tang ampere sebagai alat ukurnya didapatkan hasil arus bocornya sebesar 0,6 A

dengan suhu yang sama 35 °C. Didapatkan untuk selisih antara perhitungan dengan pengukuran sebesar 6,36 % .

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.

IV. SIMPULAN

1. Untuk mengetahui arus bocor kabel tanah secara manual menggunakan metode kegagalan thermal dengan memonitor hasil thermovisi permukaan kabel setelah itu di analisis menggunakan perhitungan teori *Whitehead* didapatkan hasil arus bocor kabel tanah fasa 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 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 %.
2. Dengan adanya alat monitor arus bocor ini dapat mendeteksi sejak dini jika adanya peningkatan arus bocor yang signifikan agar meminimalisir terjadinya gangguan yang disebabkan oleh breakdown kabel tanah yang berulang kembali sehingga dapat maksimal dalam penyaluran listrik ke konsumen dan peralatan listrik yang ada di gardu induk menjadi lebih handal.

DAFTAR PUSTAKA

1. Hasan Basri, Ir., “*Proteksi Sistem Tenaga Listrik*”, ISTN, 2003, Jakarta
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. Suprame Cable Manufacturing Corp.,P.T.(PT. SUCACO), “*Power Cable Catalogue*”
5. Suprame Cable Manufacturing Corp.,PT. NEXANS, “*High Voltage Underground Cables*”
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. Hadi Sadat, “*Power System Analys*”, Milwaukee School Of Engineering, 1999
9. PLN. 2014 “*Buku Petunjuk Pengenalan Kabel Tanah 20 kV*”, Jakarta.
10. PLN. 2014 “*Buku Petunjuk Pemeliharaan Kabel tanah TM*”, Jakarta.
11. PLN. 2014 “*Buku Petunjuk Proteksi Transformator*”, Jakarta.
12. PLN. 2014 “*Buku Petunjuk Transformator*”, Jakarta.
13. Setiadi Rachmat, “*Analisis Pengaruh Medan Listrik Lokal Terhadap Kecepatan Pertumbuhan Pemohonan Listrik pada Kabel XLPE*”, jurnal Fakultas Teknik Elektro UI, 2008, Jakarta.
14. Suryadi Aris dan Sofwan Agus, “*Rancang Bangun Modul Simulasi ELCB Fasa Satu sebagai Pelindung Bagi Manusia*”, jurnal Fakultas Teknik Elektro ISTN, 2016, Jakarta.