

ANALISIS PENDETEKSIAN DINI ARUS BOCOR KABEL POWER 20 KV PADA TRANSFORMATOR 1 150/20 KV DI GIS GANDARIA

Bayu Kusumo, Arif Rahman Hakim

Program Studi Teknik Elektro FTI Universitas Jayabaya
Jl. Raya Bogor Km 28,8, Cimanggis, Jakarta Timur
email : bayu.kusumo7b@gmail.com; ariph.guava@gmail.com

ABSTRAK

Pada Sabtu, 26 Januari 2019 terjadi gangguan pada transformator 1 60 MVA di GIS Gandaria. Sistem proteksi yang bekerja yaitu rele differential fasa S dan REF 20 kV. Dampak dari gangguan mengakibatkan padamnya beban sebesar 1310 A, 44 MW dan 12 MVar. Penyebab gangguan yaitu *breakdown* pada kabel tegangan 20 kV fasa S nomor 6. Hal ini menyebabkan terjadinya hubung singkat ke tanah sehingga rele proteksi differential dan REF 20 kV bekerja. Setelah diperbaiki dan dipasang fasilitas pengukuran arus bocor di sisi sekunder transformator, kabel tegangan fasa S nomor 6 tersebut dipantau arus bocornya selama dua minggu semenjak gangguan. Fasilitas pengukuran arus bocor ini dipakai untuk mengetahui besarnya arus bocor kabel agar dapat mengantisipasi terjadinya gangguan transformator akibat *break down* kabel tegangan 20 kV. Berdasarkan hasil monitor arus bocor pada kabel tegangan 20 kV transformator 1 fasa S nomor 6 menunjukkan *trending* arus bocor pada kabel tersebut cenderung konstan, tidak menunjukkan kenaikan yang signifikan sehingga kabel tersebut masih layak beroperasi.

Kata kunci : arus bocor, *break down*

On Saturday, January 26th, 2019 there was a disruption to the 60 MVA transformer in GIS Gandaria. Protection system that works is S phase relay differential and REF 20 kV. The impact of the disruption resulted in the outages of 1310 A, 44 MW and 12 MVar. The cause of the disturbance is a breakdown of the 20 kV S number 6 phase voltage cable. This causes a short circuit to the ground so that differential protection relay and 20 kV REF work. After repairing and installing the leakage current measurement facility on the secondary side of the transformer, the S number 6 phase voltage cable was monitored for two weeks of leakage since the disturbance. The measurement facility for this leaky current is used to determine the amount of leakage current of the cable in order to anticipate the occurrence of a transformer interference due to a 20 kV voltage cable break down. Based on the results of the monitor leakage current on the cable voltage 20 kV 1 phase transformer number 6 shows that the trending leakage current on the cable tends to be constant, does not show a significant increase so the cable is still feasible to operate.

Key words : leakage current, *break down*

I. PENDAHULUAN

Pada umumnya PT PLN menyalurkan energi listrik menggunakan transformator daya *step down* dari sistem tegangan 150 kV

ke sistem tegangan menengah 20 kV menggunakan saluran kabel tegangan menengah karena untuk penyaluran daya sistem tegangan menengah 20 kV dengan

media udara kadang kala sulit untuk diterapkan karena mengurangi faktor estetika ruang. Maka faktor yang perlu diperhatikan dalam menggunakan kabel tanah yaitu karakteristik isolasinya, karena salah satu kendala dari penggunaan kabel tanah adalah kegagalan isolasi dalam menjalankan fungsinya sebagai media isolasi tegangan menengah, yang disebabkan pada saat proses instalasi atau pemasangan kabel tegangan 20 kV yang tidak sesuai standard dan tidak diawasi oleh orang yang berkompoten di bidangnya sehingga dapat menimbulkan rongga dalam isolasi tersebut dalam jangka tertentu. Jika kecepatan pembangkitan panas di suatu titik dalam bahanisolasi kabel melebihi laju pembuangan panas keluar, maka akan terjadi keadaan tidak stabil pada bahan isolasi kabel yang disebut dengan kegagalan *thermal*. Jika hal ini berlangsung lama akan mengurangi keandalan dari kabel yang akan menyebabkan terjadinya kegagalan isolasi dan mengurangi umur kabel.

Kegagalan isolasi kabel tegangan 20 kV nomor 6 fasa S terjadi pada transformator 1 150 kV / 20 kV di GIS Gandaria, yang menyebabkan terjadinya gangguan dan padamnya aliran listrik. Sebelum terjadinya gangguan belum dilakukan monitoring arus bocor kabel tegangan 20 kV sehingga tidak terdeteksi secara dini bahwa adanya peningkatan arus bocor kabel tegangan 20 kV yang mengakibatkan gangguan tersebut. Dengan memonitor besar arus bocor yang mengalir pada kabel tegangan 20 kV transformator 1 fasa S nomor 6 dapat dilihat untuk kenaikan atau *trending* arus bocor tersebut cenderung naik atau konstan. Jika arus bocor cenderung naik maka perlu dilakukan perbaikan dan jika arus bocor konstan maka tetap perlu dilakukan monitoring arus bocor.

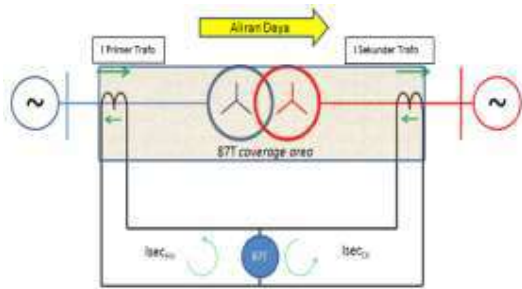
II. LANDASAN TEORI

2.1 Proteksi Pada Transformator

Transformator sebagai peralatan utama pada gardu induk yang berfungsi untuk menyalurkan energi listrik ke sistem kelistrikan distribusi harus diproteksi dengan baik. Rele proteksi dikelompokkan menjadi dua tipe yaitu rele mekanik dan rele elektrik. Rele transformator juga dikelompokkan berdasarkan jenis pengamanannya yaitu rele proteksi utama dan rele proteksi cadangan. Secara fungsi rele proteksi mekanik dan elektrik sama yaitu untuk mengamankan transformator dari arus hubung singkat dengan cara memberi perintah trip ke pemutus tenaga. Rele elektrik bekerja tanpa tunda waktu (*instan*) saat terjadi gangguan internal transformator maupun gangguan eksternal transformator yang mengakibatkan anomali di internal transformator tersebut. Berikut penjelasan rele elektrik transformator.

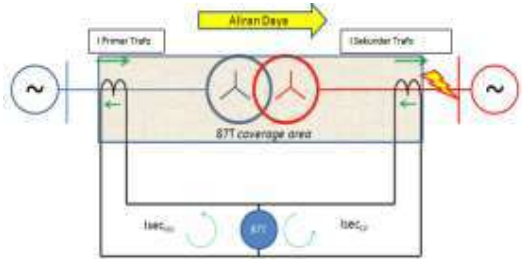
1. Rele *Differensial*

Rele *differensial* adalah rele yang bekerja apabila mendeteksi adanya perbedaan fasor dan atau perbedaan nilai sesaat arus masuk dan arus keluar. Perinsip kerja rele ini adalah perbandingan arus belitan primer, sekunder dan atau tersier (jika tersier dibebani). Prinsip kerja rele ini adalah berdasarkan hukum Kirchoff I (*Kirchoff Current Law I*) yaitu jumlah arus yang masuk sama dengan jumlah arus yang keluar pada titik percabangan sirkuit listrik. Pada gambar 2.2, 2.3, dan 2.4 menjelaskan cara kerja rele *differensial* saat kondisi normal dan gangguan.



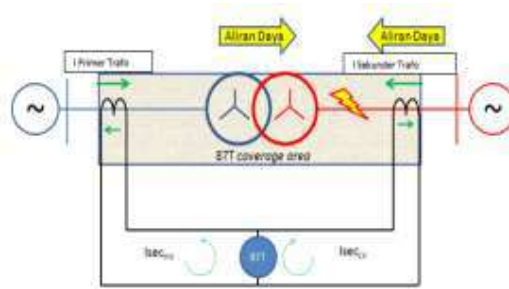
Gambar 2.1. Skema kondisi transformator normal

Pada gambar 2.1. adalah cara kerja pembacaan arus pada rele differensial saat transformator dalam keadaan operasi normal. Arus dari sisi primer dan dari sisi sekunder akan saling meniadakan pada titik 87 T. Pada kondisi ini rele *differensial* tidak merasakan adanya perbedaan pada arus masuk dan arus keluar, sehingga rele *differensial* tidak bekerja.



Gambar 2.2. Skema kondisi gangguan eksternal transformator

Pada gambar 2.2. adalah 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* tidak bekerja.



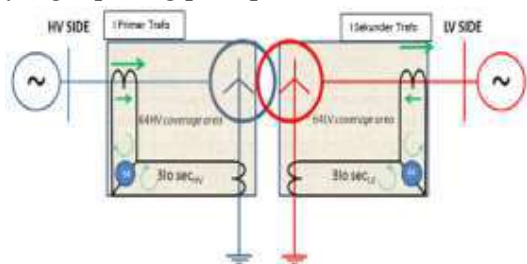
Gambar 2.3. Skema kondisi gangguan internal transformator

Pada gambar 2.3. 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 (arus masuk tidak sama dengan arus keluar). Sehingga rele *differensial* 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 rele ini akan bekerja (*operate*). Pada kondisi transformator dan sistem proteksi normal rele *differensial* harus stabil atau tidak melakukan mala kerja apabila terjadi kondisi seperti berikut :

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

2. Rele gangguan ke tanah terbatas (Restricted Earth Fault)

Rele REF berfungsi untuk mengamankan transformator dari gangguan fasa ke tanah di dekat titik netral transformator. Rele 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 rele 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 rele REF

Gambar 2.4. menjelaskan cara kerja pembacaan arus saat transformator beroperasi normal. Perinsip kerja rele REF sama dengan rele *differensial*, dengan menggunakan hukum Kirchoff I (*Kirchhoff Current Law I*) yaitu jumlah arus yang masuk sama dengan jumlah arus yang keluar pada titik percabangan sirkuit listrik atau pada restrain point. Pada 1 transformator tenaga dengan 2 buah belitan terdapat 2 rele REF masing-masing mengamankan sisi primer dan sisi sekunder transformator. Cara kerja pembacaan arus pada rele REF apabila terjadi gangguan tanah di luar daerah pengamannya rele REF tidak akan bekerja karena arus yang melewati busbar pembumih besarnya sama. Sebaliknya jika gangguan tanah terjadi di dalam daerah pengamannya karena arus yang melewati busbar pembumih besarnya tidak sama maka rele REF akan bekerja.

2.2 Konstruksi kabel tanah

Konstruksi kabel tanah pada dasarnya terdiri dari tiga komponen penting yaitu konduktor, isolasi, dan pengaman.

a. Konduktor.

Konduktor berfungsi untuk mengalirkan listrik baik dari tegangan rendah, tegangan menengah maupun tegangan tinggi.

Sifat daya hantar listrik material dinyatakan dengan konduktivitas, Yaitu kebalikan dari resistivitas, atau tahanan jenis penghantar yang dirumuskan pada persamaan 2.1 berikut :

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

Keterangan :

A : Luas penampang (m²)

L : Panjang penghantar (m)

Ω : Tahanan jenis penghantar (ohm.m)

R : Tahanan penghantar (ohm)

ρ : Konduktivitas

Pada penelitian tugas akhir ini menggunakan kabel tanah tegangan 20 kV dengan inti satu berbahan aluminium. Bahan logam aluminium mempunyai konduktivitas listrik sebesar $3,8 \times 10^7$ (ohm.m)⁻¹, konduktivitas thermal (k) sebesar 200 J / m.s °C dan hambatan jenis sebesar $2,65 \times 10^{-8}$ Ωm.

b. Isolasi

Berfungsi membatasi / mencegah kontak langsung antara konduktor yang bertegangan dengan objek di sekelilingnya.

c. Pengaman

Berfungsi mencegah agar isolasi tidak terpengaruh dari luar misalnya masuknya air ke isolasi kabel yang menyebabkan kelembapan, atau tekanan yang dapat merusak isolasi kabel tersebut.



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, dengan selubung PVC. Kabel ini digunakan dalam penelitian ini yang sudah terpasang pada transformator 1 150/20 kV di GIS Gandaria.

2.3 Proses Terjadinya Arus Bocor

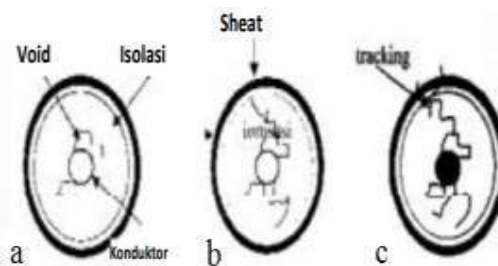
Terjadinya arus bocor disebabkan beberapa faktor yaitu timbulnya rongga pada kabel, kegagalan isolasi, dan kegagalan termal.

a. Timbulnya Rongga Pada Kabel

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 instalasi kabel. Kabel terdiri dari beberapa macam lapisan yang terbuat dari bahan yang berbeda dan mempunyai koefesien muai yang berbeda pula. Jika terjadi pemanasan dan pendinginan, baik pada saat pembuatan atau pada saat pembebanan dengan arus, maka pemuaian dan penyusutan dari masing-masing bahan akan berbeda sehingga

menimbulkan rongga-rongga berisi gas atau udara diantara lapisan-lapisan tersebut. Rongga-rongga udara ini mempunyai kekuatan dielektrik yang lebih kecil dari bahan-bahan isolasinya yang padat. Rongga-rongga pada pada bahan isolasi dapat juga timbul pada saat 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 2.6 berikut.



Gambar 2.6 Proses terjadinya kerusakan pada kabel

b. Kegagalan Isolasi

Kegagalan isolasi yaitu suatu keadaan disaat isolasi tidak dapat menahan 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.

c. Kegagalan thermal

Kegagalan thermal yaitu 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 :

$$V_m = \int_{T_m}^{T_o} \left| \frac{8k}{\sigma} \right| dt \quad (2.2)$$

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)

2.4 Arus Bocor Pada Kabel Tegangan

Arus bocor yaitu 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 saat pembuatan bahan isolasi tersebut atau saat proses instalasi. Tahanan isolasi mempengaruhi besarnya arus bocor, tahanan isolasi akan semakin besar jika penghantar semakin panjang yang dirumuskan dalam persamaan 2.2 berikut.

$$I_b = \frac{V_m}{R} \quad (2.3)$$

Keterangan :

I_b : Arus bocor (A)

V_m : Tegangan gagal thermal minimum (V)

R : Resistansi panas (Ω)

2.5 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.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Proses Pengukuran Arus Bocor

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan cara memonitor arus bocor yang melalui isolasi kabel tegangan 20 kV fasa S nomor 6 di transformator 1. Beberapa alat yang digunakan antara lain multimeter, tang ampere, dan alat termovisi. Pengukuran arus bocor dilakukan secara mengukur langsung pada kabel tegangan dan didapatkan dari hasil perhitungan berdasarkan metode kegagalan thermal.



Gambar 3.1 Multimeter



Gambar 3.2 Tang ampere



Gambar 3.3 Alat termovisi

- Pengukuran secara langsung arus bocor dalam kondisi transformator berbeban memalui fasilitas pengukuran arus bocor. Besar arus bocor dapat dilihat langsung pada tang ampere.



Gambar 3.4 Monitoring arus Bocor pada kondisi beroperasi

IV. ANALISIS DAN PERHITUNGAN ARUS BOCOR

4.1. Perhitungan Arus Bocor Akibat Gagal Thermal

Spesifikasi teknik untuk kabel tegangan 20 kV fasa S nomor 6 transformator 1 yaitu panjang 210 meter dengan luas penampang 1x630 mm². Jika diketahui besar hambatan jenis aluminium 2,65x10⁻⁸ Ωm ,maka untuk tahanan penghantar dapat dihitung menggunakan rumus 2.1 sebagai berikut :

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

$$R = \frac{2,65 \times 10^{-8} \cdot 210}{6,3 \times 10^{-4}}$$

$$R = 0,008833 \Omega$$

Maka didapatkan untuk tahanan penghantar kabel tanah tersebut sebesar R = 0,008833 Ω

Untuk mendapatkan nilai arus bocor kabel tanah terlebih dahulu harus mencari tegangan gagal thermal (Vm). Jika diambil contoh saat suhu kabel tegangan 20 kV fasa S nomor 6 40°C, suhu kritis kabel 120°C, konduktivitas thermal sebesar 200 J/ms°C, dan konduktivitas listrik sebesar 3,8x10⁷ (Ωm)⁻¹ dapat dihitung nilai tegangan gagal thermal dengan persamaan 2.2 sebagai berikut.

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

$$V_m = \int_{120}^{40} \left| \frac{(8 \cdot 200)}{3,8 \times 10^7} \right| dt$$

$$V_m = \int_{120}^{40} |0,0000421| dt$$

$$V_m =$$

$$| (0,0000421 \cdot 40) - (0,0000421 \cdot 120) |$$

$$V_m = 0.00336 V$$

Maka didapatkan untuk tegangan gagal thermal kabel tegangan saat suhu kabel 40°C sebesar $V_m = 0.00336$ V. Setelah mendapatkan nilai tegangan gagal thermal kabel tanah, maka untuk arus bocor kabel tanah dapat dihitung menggunakan persamaan 2.3 sebagai berikut.

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

$$I_b = \frac{0.0033}{0.008833}$$

$$I_b = 0,3736 \text{ A}$$

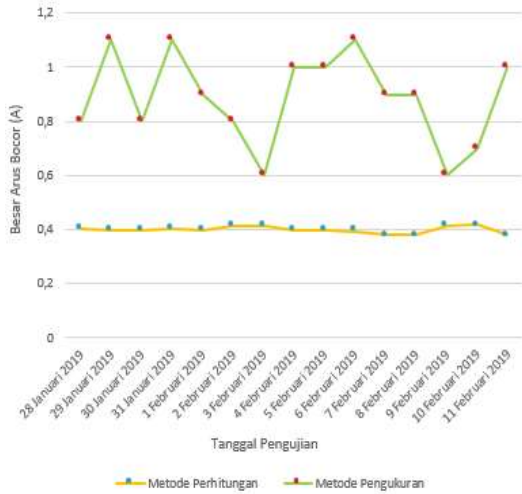
Maka diperoleh besar arus bocor kabel tegangan 20 kV fasa S nomor 6 transformator 1 pada suhu 40 °C sebesar 0,3736 A. Untuk pemantauan arus bocor selanjutnya dilakukan pada saat jam beban puncak yaitu pukul 10.00, 14.00, dan 19.00 WIB. Diambil beban tertinggi per harinya dan dilakukan selama dua minggu, setelah dipasang fasilitas pengukuran arus bocor kabel dimulai tanggal 28 Januari hingga tanggal 11 Februari 2019. Hasil pengukuran dan pemantauan arus bocor pada kabel tegangan 20 kV fasa S nomor 6 transformator 1 dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut

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

Tanggal	jam	Suhu kabel (°C)	Beban tertinggi transformator 1 (A)	Tegangan GagalThermal Vm (Volt)	Arus Bocor Perhitungan Ib (A)	Arus Bocor Pengukuran Alat (A)	Prese ntase Error (%)
28/01/2019	14.00	35	1435	0,00357	0,404	0,8	49,5
29/01/2019	14.00	36	1430	0,00353	0,399	1,1	63,72
30/01/2019	14.00	36	1500	0,00353	0,399	0,8	50,12
31/01/2019	19.00	35	1465	0,00357	0,404	1,1	63,27
01/02/2019	10.00	36	1590	0,00353	0,399	0,9	55,67
02/02/2019	10.00	33	1310	0,00366	0,414	0,8	48,25
03/02/2019	14.00	33	1300	0,00366	0,414	0,6	31
04/02/2019	19.00	36	1570	0,00353	0,399	1,0	60,1
05/02/2019	10.00	36	1600	0,00353	0,399	1,0	60,1
06/02/2019	10.00	37	1610	0,00349	0,395	1,1	64,09
07/02/2019	14.00	40	1585	0,00336	0,380	0,9	57,78
08/02/2019	19.00	40	1580	0,00336	0,380	0,9	57,78
09/02/2019	14.00	33	1310	0,00366	0,414	0,6	31
10/02/2019	14.00	32	1350	0,00370	0,418	0,7	40,28
11/02/2019	19.00	40	1485	0,00336	0,380	1,0	62

Berdasarkan tabel 4.1 dapat dilihat untuk hasil perhitungan manual dengan pengukuran alat mempunyai hasil yang berbeda. Untuk hasil perhitungan manual lebih kecil dibandingkan dengan hasil pengukuran dengan alat secara langsung. Adanya selisih antara perhitungan dengan pengukuran karena metode perhitungan hanya menghitung besarnya arus bocor yang terdapat pada kabel tanah, sedangkan hasil dari pengukuran besarnya arus didapat dari bocor yang terpantau pada kabel tegangan 20 kV dan transformator di sisi sekunder sehingga hasilnya lebih besar.

Adapun untuk grafik hasil *trending* pengukuran secara langsung dan hasil perhitungan arus bocor pada kabel tegangan 20 kV nomor 6 transformator 1 di GIS Gandaria selama dua pekan sebagai berikut :



Gambar 4.1 Grafik *trending* pengukuran secara langsung dan hasil perhitungan arus bocor kabel tegangan 20 kV nomor 6 fasa S transformator 1 GIS Gandaria

V. KESIMPULAN

Dapat diambil kesimpulan dari analisis dan pemantauan arus bocor pada kabel tegangan 20 kV fasa S nomor 6 tranformator 1 sebagai berikut :

1. Setelah dilakukan pemantauan arus bocor pada kabel tegangan 20 kV fasa S nomor 6 transformator 1, terlihat pada tabel 4.1 *trending* arus bocor setelah perbaikan cenderung konstan atau tetap. Maka dari itu kabel tegangan 20 kV fasa S nomor 6 transformator 1 tidak perlu diganti.
2. Dengan terpasangnya fasilitas pengukuran arus bocor pada kabel tegangan 20 kV di sisi sekunder transformator dapat mendeteksi kemungkinan terjadinya *break down* kabel di kemudian hari, sehingga

dapat mengantisipasi terjadinya gangguan transformator akibat *break down* kabel tegangan 20 kV.

3. Berdasarkan beberapa faktor penyebab timbulnya rongga pada kabel tegangan 20 kV adalah proses pemasangan atau instalasi yang salah dan tidak diawasi oleh orang yang ahli di bidangnya.

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. Hadi Sadat, “*Power System Analys*”, Milwaukee School Of Engineering, 1999.
7. PLN. 2014 ”*Buku Petunjuk Pengenalan Kabel Tanah 20 kV*”, Jakarta.
8. Karyono, “*Sistem Ptoteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali*”, Jakarta, 2013.
9. PLN P3B JB. 2014 ”*Buku Petunjuk Batasan O & M Peralatan Sekunder Penyaluran Tenaga Listrik (Proteksi Transformator)*” Jakarta.

10. PLN. 2014 *"Buku Petunjuk Pemeliharaan Kabel tanah TM"*, Jakarta.
 11. Setiadi Rachmat, *"Analisis Pengaruh Medan Listrik Lokal Terhadap Kecepatan Pertumbuhan Pemohonan Listrik pada Kabel XLPE"*, jurnal Fakultas Teknik Elektro UI, 2008, Jakarta.
 12. Zikra Rufina, I Wayan Ratnata, dan Hasbullah. *"Tegangan Tembus Kabel Instalasi Listrik"*. Jurnal Fakultas Teknik Elektro FTPK UPI, Bandung. 2014.
 13. Sofyan dan Septian Angga. *"Pendeteksian Dini Terhadap Arus Bocor Kabel Tanah Tegangan Menengah pada Transformator 150/20 kV"*. Jurnal Fakultas Elektro ISTN, Jakarta. 2018.
 14. Ahmad Khiruddin Lubis. *"Pengujian Tegangan Gagal dan Arus Bocor Kabel Tegangan Rendah"*. Jurnal Fakultas Teknik Elektro Universitas Tanjungpura, Pontianak. 2014.
- Puhrani Burhan, Sunu Hasta W, Setya Graha, dan M. Ali Watoni. *"Efektivitas Penggunaan Residual Current Circuit Breaker Sebagai Pengaman Manusia Terhadap Arus Bocor Akibat Kegagalan Isolasi"*. Jurnal Fakultas Elektro Politeknik Negeri Banjarmasin, Banjarmasin. 2018.