1

Analisa Kinerja Circuit Breaker Saat Gangguan Pada Sisi 70 KV Di Gardu Induk Teling

Alfa Aland Rizky Saghawari, Hans Tumaliang, Novi Tulung Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sam Ratulangi Manado, Jl. Kampus Bahu, 95115, Indonesia <u>Saghawarialfa8@gmail.com</u>, <u>hans.tumaliang@gmail.com</u>, noviunsrat@gmail.com

Abstrac - Power breaker is a mechanical switch equipment that is capable of closing, flowing and breaking load currents under normal conditions according to its rating and capable of closing, flowing and breaking load currents in specific abnormal conditions / disturbances according to its rating.

Meanwhile, during the operation of an electric power system, disturbances often occur, where the cause of the disturbance can cause the circuit breaker to trip. Therefore, a study was conducted to determine the performance and feasibility of Power Breakers. The tests carried out are insulation resistance testing, contact resistance testing, contact synchronization testing.

From the results of the insulation resistance test, the value obtained is above 150 M Ω , meaning that the insulation material being tested is still in good and safe condition. While the results of the contact resistance test according to the measuring point in each phase obtained values below 50 $\mu\Omega$. In the simultaneous test according to the results of the calculation of the time difference obtained both at open and close each is under 10 ms. After testing and calculating the insulation resistance, contact resistance, and contact synchronization, therefore the performance of the power breaker can carry out or trip according to the normal simultaneous performance or its reliability is said to be still suitable for use.

key words: Circuit Breaker, Isolation resistance, contact resistance, simultaneous contact

Abstrak - Pemutus Tenaga merupakan peralatan saklar mekanis yang mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal sesuai dengan ratingnya serta mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam spesifik kondisi abnormal/gangguan sesuai dengan ratingnya.

Adapun pada saat pengoperasian suatu sistem tenaga listrik sering terjadi gangguan, dimana penyebab gangguan tersebut bisa mengakibatkan Pemutus Tenaga trip. Maka dari itu dilakukan penelitian untuk mengetahui kinerja dan kelayakan Pemutus Tenaga. Adapun pengujian yang dilakukan yaitu

pengujian tahanan isolasi, pengujian tahanan kontak, pengujian keserempakan kontak.

Dari hasil pengujian tahanan isolasi nilai yang diperoleh diatas $150~M\Omega$, artinya material isolasi yang diuji masih dalam kondisi baik dan aman. Sedangkan hasil pengujian tahanan kontak sesuai titik ukur pada masing-masing fasa diperoleh nilai dibawah $50~\mu\Omega$. Pada pengujian keserempakan sesuai hasil perhitungan dari selisih waktu yang didapat baik pada saat open maupun close masing-masing dibawah 10~ms. Setelah melakukan pengujian dan perhitungan dari tahanan isolasi, tahanan kontak, dan keserempakan kontak maka dari itu kinerja Pemutus Tenaga dapat melaksanankan atau melakukan trip sesuai dengan kinerja keserempakan yang normal atau keandalannya dikatakan masih layak untuk di pakai.

Kata kunci : Pemutus Tenaga, Tahanan isolasi, Tahanan kontak, keserempakan kontak

I. PENDAHULUAN

Dalam ilmu kelistrikan (elektro), circuit breaker mempunyai peranan vital dalam proses pengaman atau proteksi pada suatu sistem kelistrikan. Circuit Breaker/Pemutus Tenaga (PMT) adalah alat yang paling penting dari semua alat penghilang / peredam dari gangguan tenaga. PMT mempunyai 2 kemampuan untuk menghilangkan arus hubung singkat yang sangat besar yang melebihi nilai nominal dari arus beban yang melewati konduktor maupun isolator. Adapun pada saat pengoperasian suatu sistem tenaga listrik sering terjadi gangguan, mulai dari gangguan Trafo, gangguan LA, gangguan Transmisi, dimana penyebab gangguan tersebut bisa mengakibatkan PMT trip. Maka dari itu dilakukan penelitian untuk mengetahui kinerja dan kelayakan PMT.

Penelitian ini dilakukan pada Bay Line 1 arah Tomohon di Gardu Induk Teling yang sering terjadi gangguan Transmisi yang mengakibatkan trip pada PMT Bay Penghantar. Di Gardu Induk Teling mempunyai 2 jenis circuit breaker dari segi pemadam busur api yaitu PMT Gas SF6 (70KV) dan PMT Vakum (20 KV), dan 1 jenis dari mekanisme penggerak yaitu model Spring. Dan jenis PMT (Circuit Breaker) yang di ambil untuk penelitian yaitu PMT yang memiliki jenis media isolasi SF6.

A. Gambaran Umum Gardu Induk Teling

Gardu Induk Teling didirikan dan di operasi tahun 1983, pada saat itu masih masuk PT PLN (Persero) Wilayah 7 yang sekarang dikenal dengan PT PLN (Persero) Unit Induk Wilayah Suluttenggo. Dengan adanya reorganisasi pada tahun 2018 di PT PLN (Persero), Gardu Induk Teling dibawah PT PLN (Persero) Unit Induk Pembangkit dan Penyaluran (UIKL) Sulawesi dan Unit Pelaksanaan Transmisi (UPT) Manado. Alamat Gardu Induk Teling berlokasi di jalan Tololiu Supit Lingkungan 5 Kelurahan Tingkulu Kecamatan Wanea Kota Mando. Gardu Induk Teling terinterkoneksi dengan 3 Gardu Induk lainnya, yaitu Gardu Induk Tomohon, Gardu Induk Ranomuut, dan GIS 150 KV Teling, Rating Teganganyang ada di Gardu Induk Teling yaitu 70 KV, 20 KV, 380 V, 220 V, Gardu Induk Teling mempunyai 8 Bay Peralatan Primer Gardu Induk, antara lain 4 Bay Line, 3 Bay Trafo, 1 Bay ITB (Interbus Transformer) dengan Rating Peralatan Transmisi utama Gardu Induk 70 KV. Gardu Induk Teling melayani pela``nggan wilayah manado bagian selatan.

B. Pemutus Tenaga (PMT)

Definisi PMT berdasarkan IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) adalah merupakan peralatan saklar/*switching* mekanis, yang mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal sesuai dengan ratingnya serta mampu menutup, mengalirkan (dalam periode waktu tertentu) dan memutus arus beban dalam spesifik kondisi abnormal/gangguan sesuai dengan ratingnya. Fungsi utamanya adalah sebagai alat pembuka atau penutup suatu rangkaian listrik dalam kondisi berbeban, serta mampu membuka atau menutup saat terjadi arus gangguan (hubung singkat) pada jaringan atau peralatan lain.

C. Klasifikasi PMT

Klasifikasi Pemutus Tenaga dapat dibagi atas beberapa jenis, antara lain :

- 1. Berdasarkan besar/kelas tegangan PMT dapat dibedakan menjadi:
 - a. PMT tegangan rendah dengan range tegangan $0.1~\mathrm{s/d}~1~\mathrm{kV}$
 - b. PMT tegangan menengah dengan range tegangan 1 s/d $35 \, kV$
 - c. PMT tegangan tinggi dengan range tegangan 35 s/d 245 kV
 - d. PMT tegangan extra tinggi dengan range tegangan lebih besar dari $245~\mathrm{kVAC}$
- 2. Berdasarkan jumlah mekanik penggeraknya PMT dapat dibedakan menjadi:
 - a. PMT Single Pole

PMT tipe ini mempunyai mekanik penggerak pada masing-masing *pole*, umumnya PMT jenis ini dipasang pada bay penghantar agar PMT bisa *reclose* satu fasa.

b. PMT Three Pole

PMT jenis ini mempunyai satu mekanik penggerak untuk tiga fasa, guna menghubungkan fasa satu dengan fasa lainnya dilengkapi dengan kopel mekanik, umumnya PMT jenis ini dipasang pada bay trafo dan bay kopel serta PMT 20 kV untuk distribusi.

- 3. Berdasarkan media isolasi jenis PMT dapat dibedakan menjadi:
 - a. PMT Gas SF6
 - b. PMT Minyak
 - c. PMT Udara Tekan (Air Pressure)
 - d. PMT Hampa Udara (Vacuum)
- 4. Berdasarkan proses pemadaman busur api lisrik diruang pemutus dibagi dalam dua jenis yaitu:
 - a. PMT Jenis Tekanan Tunggal (single pressure type)
 - b. PMT Jenis Tekanan Ganda (double pressure type)

D. Komponen dan Fungsi Pemutus Tenaga (PMT)

PMT terdiri dari beberapa komponen yang masing-masing mempunyai fungsinya adalah sebagai berikut:

1. Primer

Merupakan bagian PMT yang bersifat konduktif dan berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dengan nilai *losses* yang rendah dan mampu menghubungkan/memutuskan arus beban saat kondisi normal/tidak normal.

2. Dielektrik

Berfungsi sebagai isolasi peralatan dan memadamkan busur api dengan sempurna pada saat *moving contact* bekerja.

3. Mekanisme Penggerak

Berfungsi menyimpan energi untuk dapat menggerakkan kontak gerak PMT dalam waktu tertentu sesuai dengan spesifikasinya.

4. SF6 Gas Dynamic

PMT jenis ini media memanfaatkan tekanan gas SF6 yang berfungsi ganda selain sebagai pemadam tekanan gas juga dimanfaatkan sebagai media penggerak.

5. Sekunder

Subsistem *secondary* berfungsi mengirim sinyal kontrol untuk mengaktifkan subsistem mekanik pada waktu yang tepat.

E. Shutdown Measurement/Shutdown Function Check

Merupakan pengukuran yang dilakukan pada periode 2 tahunan dalam keadaan peralatan tidak bertegangan (Off Line). Pengukuran dilakukan bertujuan untuk mengetahui kondisi peralatan dengan menggunakan alat ukur sederhana serta advanced (canggih) yang dilakukan oleh petugas pemeliharaan. Pengukuran dan pengujian di Circuit Breaker SL 3.1 LINE 1 Tomohon pada sisi 70 KV di Gardu Induk Teling meliputi pengukuran dan pengujian tahanan isolasi, tahanan kontak, dan keserempakan kontak.

F. Pengukuran Tahanan Isolasi

Pengukuran tahanan isolasi pemutus tenaga (PMT) ialah proses pengukuran dengan suatu alat ukur untuk memperoleh nilai tahanan isolasi pemutus tenaga antara bagian yang diberi tegangan terhadap badan yang ditanahkan maupun antara terminal atas dengan terminal bawah pada fasa yang sama.

G. Pengukuran Tahanan Kontak

Rangkaian tenaga listrik sebagian besar terdiri dari banyak titik sambungan. Sambungan adalah dua atau lebih permukaan dari beberapa jenis konduktor bertemu secara fisik sehingga arus/energi listrik dapat disalurkan tanpa hambatan yang berarti. Pertemuan dari beberapa konduktor menyebabkan suatu hambatan/resistan terhadap arus yang melaluinya sehingga akan terjadi panas dan menjadikan kerugian teknis. Rugi ini sangat signifikan jika nilai tahanan kontaknya tinggi.

H. Pengukuran Keserempakan kontak

Tujuan dari pengujian keserempakan PMT adalah untuk mengetahui waktu kerja PMT secara individu serta untuk mengetahui keserempakan PMT pada saat menutup ataupun membuka.

I. Hubungan Relai dengan Pemutus Daya

Bagian utama pemutus daya adalah kontak tetap dan kontak bergerak. Kontak bergerak dapat digerakan secara manual atau dengan bantuan motor listrik atau sistem pneumatic. Jika kontak bergerak ditarik ke atas, maka pemutus daya dalam kondisi tertutup. Jika kontak bergerak didorong ke bawah, maka pemutus daya dalam kondisi terbuka.

J. Proses Pemutusan Rangkaian Suatu Sistem

Misalkan kontak pemutus daya dibuka ketika $t = t_a$. Sesaat setelah pembukaan kontak, timbul busur api di antara kontak, dan keadaan rangkaian. Adanya busur api membuat arus tetap mengalir pada rangkaian. Arus ini menimbulkan jatuh tegangan pada kontak yaitu sebesar perkalian arus dengan resistansi busur api. Jatuh tegangan ini sangat kecil dibandingkan dengan puncak tegangan sumber dan berlangsung dalam selang waktu t_a - t_b .

Selanjutnya, pada saat $t = t_b$, arus sama dengan nol, busur api padam dan pada saat yang bersamaan tegangan antar kontak menjadi sama dengan tegangan sumber, dan berangsur naik menuju nilai maksimal.

K. Alat yang Digunakan untuk Mengukur

Adapun alat-alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Insulation Tester merk Megger, Tipe MIT1025

Insulation Tester adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur atau menguji tahanan isolasi pada PMT. Prinsip kerjanya yaitu memberikan tegangan dari alat ukur ke isolasi peralatan yaitu sebesar 5 kV, lalu diukur nilai arus bocornya.



Gambar 1 Insulation Tester merk Megger, Tipe MIT1025

2. MicroOhmMeter merk AG POWER

MicroOhmMeter adalah suatu alat ukur yang digunakan untuk mengukur tahanan kontak pemutus tenaga (PMT). Prinsip kerjanya sama seperti alat ukur tahanan murni (Rdc), singkatnya yakni pada kontak yang menutup atau sambungan dialiri arus listrik dc yakni sebesar 100 Ampere, kemudian diukur berapa dari hasil tegangan yang diperoleh maka akan didapat nilai tahanan kontak dengan rumus $R=V\ /\ I.$



Gambar 2 MicroOhmMeter merk AG POWER

3. CB Analyzer merk Zensol

CB Analyzer adalah suatu alat ukur yang digunakan untuk mengukur keserempakan pemutustenaga (PMT). Prinsip kerjanya secara mendasar adalah ketika pole 1, pole 2 dan pole 3 close diujung kabel masing-masing terdapat tegangan yang nantinya jadi trigger kondisi pole tersebut sudah tertutup atau tidak.



Gambar 3 CB Analyzer merk Zensol

L. Rumus yang akan Digunakan

1. Rumus Tahanan Isolasi

Dalam Pengkuran Tahanan Isolasi setelah arus bocor ditemukan maka sesuai dengan hukum ohm yaitu $V=I\;x$ R. Maka akan didapat tahanan isolasinya yaitu dengan cara tegangan uji dibagi dengan arus bocor yang terbaca dengan rumus . R=V/I

Untuk Rumus mencari arus bocor sebagai berikut :

I = V / R

2. Rumus tahanan kontak

Digunakannya arus sebesar 100 ampere karena pembagian dengan angka 100 A akan memudahkan dalam menentukan nilai tahanan kontak dan lebih cepat. Sambungan antara konduktor dangan PMT atau peralatan lain merupakan tahanan kontak yang syarat tahanannya memenuhi kaidah Hukum Ohm sebagai berikut:

$$V = I \cdot R$$

Keterangan:

V = teganganI = arus

 $R \ = tahanan$

Jika didapat kondisi tahanan kontak sebesar 1 Ohm dan arus yang mengalir adalah 100 Ampere maka besar rugi daya yang ditimbulkan akibat tahanan kontak dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_{\textit{loss}} = I^2$$
 . R

Keterangan:

P_{loss} = Rugi Daya (Watt) I = Arus (Ampere) R = Resistansi (Ohm)

3. Rumus Keserempakan kontak

Untuk keserempakan kontak dapat dihitung dengan membandingkan selisih nilai tertinggi dengan nilai terendah. Berdasarkan standar yang telah ditetapkan selisih waktunya adalah ≤ 10 ms. Dengan rumus sebagai berikut :

$$\Delta t = t_{\text{maks}} - t_{\text{min}}$$

Keterangan:

 $\Delta t = Selisih waktu$ $t_{maks} = waktu tertinggi$

 t_{min} = waktu terendah

II. DATA TEKNIS

Untuk jenis pemeliharaan circuit breaker ini digunakan jenis pemeliharaan shutdown measurement/shutdown function check. Periode pemeliharaan shutdown measurement dan shutdown function check dilaksanakan setiap 2 tahun.Pengujian untuk circuit breaker yang dilakukan adalah mengukur tahanan isolasi, mengukur tahanan kontak, mengukur keserempakan.

A. Data Hasil Pengukuran pada saat Pemeliharaan

1. Hasil pengukuran pada saat pemeliharaan tanggal 24 Mei 2019

Tabel 1 Hasil Pengujian Tahanan Isolasi Circuit Breaker SL 3.1 LINE 1 Tomohon pada sisi 70 KV di Gardu Induk Teling

Titik	Standar	Hasil I	Pengukuran ($(M\Omega)$
Ukur		Fasa R	Fasa S	Fasa
				T
Atas-		1,47 G	1,9 G	1,38
Bawah				G

Atas- Tanah	1KV=1	652 G	487 G	368 G
Bawah-	$M\Omega$	337 G	272 G	258 G
Tanah				
Fasa-		4,28 G	2,24 G	3,38
Tanah				G

Tabel 2 Hasil Pengujian Tahanan Kontak Circuit Breaker SL 3.1 LINE 1 Tomohon pada sisi 70 KV di Gardu Induk Teling

Titik Ukur	Standar	Hasil Pengukuran (μΩ)		(μΩ)
		Fasa R	Fasa S	Fasa T
Atas-Bawah (PMT posisi ON) μΩ	<1 Ω	58	80	77
Atas μΩ		24	54	35
Bawah μΩ		28	41	28

Tabel 3 Hasil Pengujian Keserempakan Kontak Circuit Breaker SL 3.1 LINE 1 Tomohon pada sisi 70 KV di Gardu Induk Teling

Pengukuran	Hasil Pengukuran (ms)		
	Fasa R	Fasa S	Fasa T
Close	56,8	56,6	58,8
Open	33,6	33,8	33,8
Open- Close- Open	323,1	323,4	325,2

2. Hasil Pengukuran pada saat pemeliharaan tanggal 22 Februari 2021

Tabel 4 Hasil Pengujian Tahanan Isolasi Circuit Breaker SL 3.1 LINE 1 Tomohon pada sisi 70 KV di Gardu Induk Teling

Titik	Standar	Hasil l	Pengukuran	(MQ)
Ukur		Fasa R	Fasa S	Fasa T
Atas- Bawah		1,47 G	1,9 G	1,38 G
Atas- Tanah	$1KV=1$ $M\Omega$	52,6 G	54,1 G	36,9 G
Bawah- Tanah		10,1 G	15,8 G	20,2 G
Fasa- Tanah		4,28 G	2,24 G	3,38 G

Tabel 5 Hasil Pengujian Tahanan Kontak Circuit Breaker SL 3.1 LINE 1 Tomohon pada sisi 70 KV di Gardu Induk Teling

Titik Ukur	Standar	Hasil Pengukuran ($\mu\Omega$)		
		Fasa R	Fasa S	Fasa T
Atas-Bawah (PMT posisi ON) μΩ	_	58	80	77
Atas μΩ	<1Ω	24	54	35
Bawah μΩ		28	41	28

Tabel 6 Hasil Pengujian Keserempakan Kontak Circuit Breaker SL 3.1 LINE 1 Tomohon pada sisi 70 KV di Gardu Induk Teling

maak renng				
Pengukuran	Hasil Pengukuran (ms)			
	Fasa R	Fasa S	Fasa T	
Close	55,8	55,2	58,2	
Open	26,6	27,8	27	
Open-Close- Open	327,6	327	330,9	

B. Data Hasil Pengujian Tekanan Gas SF6

Tabel 7 Hasil Pengujian Tekanan Gas SF6 tanggal 24 Mei 2019

		Hasil ukur	Hasil ukur
Titik Ukur	Standar	hari 1	hari 2
Pressure	7	7,2 bar	7,2 bar
Gauge(Visual)			

Tabel 8 Hasil Pengujian Tekanan Gas SF6 tanggal 22 Februari 2021

Titik Ukur	Standar	Hasil ukur	Hasil ukur
		hari 1	hari 2
Pressure	7	7,2 bar	7,2 bar
Gauge(Visual)			

C. Data Teknis Gangguan Di Circuit Breaker

Adapun beberapa gangguan-gangguan biasanya terjadi dicircuit breaker sebagai berikut :

- 1. Akibat pohon roboh
- 2. Hewan
- 3. Petir
- 4. Mala kerja peralatan atau mala fungsi peralatan
- D. Data Teknis Spesifikasi Circuit Breaker SL 3.1 LINE 1 Tomohon

Tabel 3.9 Data Teknis PMT 70 KV Bay Line Tomohon 1

Merk	ABB

Туре	IMB 73
Rated Current	1250A
Breaking Capacity	31,5 Ka
Media Pemadam	SF6

III. ANALISA DAN HASIL PERHITUNGAN

Untuk melihat kelayakan kinerja dari circuit breaker maka dilakukan beberapa langkah pengujian antara lain pengujian tahanan isolasi, pengujian tahanan kontak, dan pengujian keserempakan kontak yang dapat dijabarkan pada penjelasan dibawah ini:

A. Pengujian Tahanan Isolasi

Pada pengujian tahanan isolasi pemutus tenaga adalah untuk mengetahui besar (nilai) kebocoran arus yang terjadi antara terminal atas, terminal bawah, dan ground. Untuk pengujian ini posisi Pemutus Tenaga dalam keadaan open. Dan pengujian tahanan isolasi ini terdapat 4 titik ukur pengujian yaitu titik ukur antara atas dan bawa, titik ukur antara atas dan tanah, titik ukur antara bawah dan tanah, titik ukur antara fasa dan tanah. Standar minimal besarnya tahanan isolasi PMT sesuai Buku Pemeliharaan Peralatan SE.032/PST/1984 dan menurut standard VDE (catalouge 228/4) minimum besarnya tahanan isolasi pada suhu operasi dihitung " 1 kilo Volt = 1 M Ω (Mega Ohm)". Dengan catatan 1 kV = besarnya tegangan fasa terhadap tanah, kebocoran arus yang diijinkan setiap kV = 1 mA.

- Berikut perhitungan kebocoran arus Circuit Breaker SL
 1.1 LINE 1 Tomohon pada sisi 70 KV di Gardu Induk
 Teling tanggal 24 Mei 2019 berdasarkan hasil
 pengukuran tahanan isolasi pada table 1.
 - a. Perhitungan Arus Bocor titik ukur antara atas dan bawah
 - Fasa R

Arus Bocor (I) =
$$\frac{5000 \text{ V}}{1470 \text{M}\Omega}$$
 = 3,401 mA

• Fasa S

Arus Bocor (I) =
$$\frac{5000 \text{ V}}{1,900\text{M}\Omega}$$
 = 2,631 mA

Fasa T

Arus Bocor (I) =
$$\frac{5000 \text{ V}}{1380\text{M}\Omega}$$
 = 3,623 mA

- Perhitungan Arus Bocor titik ukur antara atas dan bawah
 - Fasa R

Arus Bocor (I) =
$$\frac{5000 \text{ V}}{652000 \text{M}\Omega}$$
 = 0,007 mA

• Fasa S

Arus Bocor (I) =
$$\frac{5000 \text{ V}}{487000\text{M}\Omega}$$
 = 0,010 mA

Arus Bocor (I) = $\frac{5000 \text{ V}}{368000 \text{M}\Omega}$ = 0,013 mA

c. Perhitungan Arus Bocor titik ukur antara bawah dan tanah

• Fasa R

Arus Bocor (I) =
$$\frac{5000 \text{ V}}{337000\text{M}\Omega}$$
 = 0,014 mA

• Fasa S

Arus Bocor (I) =
$$\frac{5000 \text{ V}}{272000\text{M}\Omega}$$
 = 0,018mA

• Fasa T

Arus Bocor (I) =
$$\frac{5000 \text{ V}}{258000 \text{M}\Omega}$$
 = 0,019 mA

- d. Perhitungan Arus Bocor titik ukur antara fasa dan tanah
 - Fasa R

Arus Bocor (I) =
$$\frac{5000 \text{ V}}{4280\text{M}\Omega}$$
 = 1.168 mA

• Fasa S

Arus Bocor (I) =
$$\frac{5000 \text{ V}}{2240\text{M}\Omega}$$
 = 2,232 mA

Fasa T

Arus Bocor (I) =
$$\frac{5000 \text{ V}}{3380\text{M}\Omega}$$
 = 1,479 mA

- Berikut perhitungan kebocoran arus Circuit Breaker SL 3.1 LINE 1 Tomohon pada sisi 70 KV di Gardu Induk Teling tanggal 22 Februari 2021 berdasarkan hasil pengukuran tahanan isolasi table 4.
 - Perhitungan Arus Bocor titik ukur antara atas dan bawah

• Fasa R

Arus Bocor (I) =
$$\frac{5000 \text{ V}}{1470\text{M}\Omega}$$
 = 3,401 mA

Fasa S

Arus Bocor (I) =
$$\frac{5000 \text{ V}}{1.900 \text{M}\Omega}$$
 = 2,631 mA

• Fasa T

Arus Bocor (I) =
$$\frac{5000 \text{ V}}{1380 \text{M}\Omega}$$
 = 3,623 mA

- Perhitungan Arus Bocor titik ukur antara atas dan bawah
 - Fasa R

Arus Bocor (I) =
$$\frac{5000 \text{ V}}{5260\text{M}\Omega}$$
 = 0,950 mA

• Fasa S

Arus Bocor (I) =
$$\frac{5000 \text{ V}}{5410\text{M}\Omega}$$
 = 0,924 mA

• Fasa T

Arus Bocor (I) =
$$\frac{5000 \text{ V}}{3690 \text{ M}\Omega}$$
 = 1,355 mA

- c. Perhitungan Arus Bocor titik ukur antara bawah dan tanah
 - Fasa R

Arus Bocor (I) =
$$\frac{5000 \text{ V}}{1010\text{M}\Omega}$$
 = 4,950 mA

• Fasa S

Arus Bocor (I) =
$$\frac{5000 \text{ V}}{1580\text{M}\Omega}$$
 = 3,164mA

• Fasa T

Arus Bocor (I) =
$$\frac{5000 \text{ V}}{2020\text{M}\Omega}$$
 = 2,475 mA

Dari data pengujian menunjukan bahwa disetiap fasa memiliki nilai ketahanan atau kemampuan isolasi yang berbeda. Nilai berbeda tersebut dipengaruhi dari kondisi pada masing-masing isolator. Jika pada isolator terdapat banyak debu atau kotoran maka akan sangat mempengaruhi kemampuan pada isolator tersebut. Hasil pengujian tahanan isolasi PMT yang diperoleh pada tanggal 24 mei 2019 dan tanggal 22 februari 2021 baik pada fasa R, S, T masing-masing berada di atas 70 M Ω dan hasil perhitungan kebocoran arus disemua nilai yang diperoleh jauh dibawah nilai kebocoran arus yang diizinkan yaitu 1 KV = 1 mA.

Dari hasil pengujian tahanan isolasi dan perhitungan arus bocor yang telah diperoleh maka dapat dipastikan bahwa material isolasi yang diuji pada PMT tersebut masih dalam kondisi baik dan aman sesuai standar. Apabila hasil yang diperoleh masih dibawa standar setelah dilakukan pengujian, maka disarankan untuk mengganti PMT tersebut dengan PMT yang baru dengan kemampuan isolasi yang lebih baik.

B. Pengujian Tahanan Kontak

Pengujian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui nilai resistansi pada pemutus tenaga yang diakibatkan adanya titik-titik sambungan yang menyebabkan timbulnya rugirugi serta untuk memastikan kontak tetap dan kontak bergerak didalam PMT terhubung dengan baik. Untuk batasan nilai pengujian tahanan kontak yaitu standar IEC 60694 nilai $R \leq 50~\mu\Omega$ / 120 % Nilai FAT dan nilai arus yang mengalir sebesar 100 Ampere.

- 1. Berikut perhitungan rugi-rugi daya diCircuit Breaker SL
- 3.1 LINE 1 Tomohon pada sisi 70 KV di Gardu Induk Teling tanggal 24 Mei 2019 berdasarkan hasil pengukuran tahanan kontak pada tabel 2.
- a. Perhitungan perhitungan rugi-rugi antara atas dan bawah
 - •Fasa R : $P = (100 \text{ A})^2 \text{ x } (58 \text{ x } 10^{-6} \Omega) = 0,58 \text{ watt}$
 - •Fasa S : $P = (100 \text{ A})^2 \text{ x } (80 \text{ x } 10^{-6} \Omega) = 0.8 \text{ watt}$
 - Fasa T : $P = (100 \text{ A})^2 \text{ x } (77 \text{ x } 10^{-6} \Omega) = 0,77 \text{ watt}$
- b. Perhitungan perhitungan rugi-rugi atas
 - •Fasa R : $P = (100 \text{ A})^2 \text{ x } (24 \text{ x } 10^{-6} \Omega) = 0.24 \text{ watt}$
 - Fasa S : $P = (100 \text{ A})^2 \text{ x } (54 \text{ x } 10^{-6} \Omega) = 0.54 \text{ watt}$
 - •Fasa T : $P = (100 \text{ A})^2 \text{ x } (35 \text{ x } 10^{-6} \Omega) = 0.35 \text{ watt}$
- c. Perhitungan perhitungan rugi-rugi bawah
 - •Fasa R : $P = (100 \text{ A})^2 \text{ x } (28 \text{ x } 10^{-6} \Omega) = 0.28 \text{ watt}$
 - •Fasa S : $P = (100 \text{ A})^2 \text{ x } (41 \text{ x } 10^{-6} \Omega) = 0.41 \text{ watt}$
 - Fasa T : $P = (100 \text{ A})^2 \text{ x } (28 \text{ x } 10^{-6} \Omega) = 0.28 \text{ watt}$
- Berikut perhitungan rugi-rugi daya diCircuit Breaker SL
 1 LINE 1 Tomohon pada sisi 70 KV di Gardu Induk
 Teling tanggal 22 Februari 2021 berdasarkan hasil pengukuran tahanan kontak pada tabel 5.

- a. Perhitungan perhitungan rugi-rugi antara atas dan bawah
 - Fasa R : $P = (100 \text{ A})^2 \text{ x } (58 \text{ x } 10^{-6} \Omega) = 0.58 \text{ watt}$
 - Fasa S : $P = (100 \text{ A})^2 \text{ x } (80 \text{ x } 10^{-6} \Omega) = 0.8 \text{ watt}$
 - Fasa T : $P = (100 \text{ A})^2 \text{ x } (77 \text{ x } 10^{-6} \Omega) = 0,77 \text{ watt}$
- b. Perhitungan perhitungan rugi-rugi atas
 - Fasa R : $P = (100 \text{ A})^2 \text{ x } (24 \text{ x } 10^{-6} \Omega) = 0.24 \text{ watt}$
 - Fasa S : $P = (100 \text{ A})^2 \text{ x } (54 \text{ x } 10^{-6} \Omega) = 0,54 \text{ watt}$
 - Fasa T : $P = (100 \text{ A})^2 \text{ x } (35 \text{ x } 10^{-6} \Omega) = 0.35 \text{ watt}$
- c. Perhitungan perhitungan rugi-rugi bawah
 - Fasa R : $P = (100 \text{ A})^2 \text{ x } (28 \text{ x } 10^{-6} \Omega) = 0.28 \text{ watt}$
 - Fasa S : $P = (100 \text{ A})^2 \text{ x } (41 \text{ x } 10^{-6} \Omega) = 0.41 \text{ watt}$
 - Fasa T : $P = (100 \text{ A})^2 \text{ x } (28 \text{ x } 10^{-6} \Omega) = 0.28 \text{ watt}$

Dari hasil pengujian tahanan kontak pada tabel 4.4 tanggal 22 februari 2021 sesuai titik ukur dan fasa R, S, T mempunyai nilai tahanan yang sama dengan pengujian 2 tahun sebelumnya yaitu pada tabel 4.3 tanggal 24 mei 2019, maka semua hasil dari pengujian yang telah di lakukan telah memenuhi standar IEC 60694 nilai R \leq 50 $\mu\Omega$ / 120 % Nilai FAT. Dari perhitungan rugi-rugi daya yang telah dihitung maka mendapat hasil kerugian yang sangat kecil, hal ini dipengaruhi dari hasil pengujian tahanan kontak yang telah memenuhi standar. Karna semakin kecil nilai tahanan yang di peroleh maka semakin kecil juga rugi-rugi yang ditimbulkan.

C. Pengujian Keserempakan Kontak

Pengujian keserempakan PMT bertujuan untuk mengetahui waktu kerja PMT secara individu serta untuk mengetahui keserempakan PMT pada saat menutup ataupun membuka. Apabila PMT tidak membuka atau menutup secara serempak pada fasa R, S, dan T akan menyebabkan gangguan didalam sistem tenaga listrik dan menyebabkan sistem proteksi bekerja. Oleh karena itu perlu dilakukan pengujian untuk mengetahui perbedaan waktu yang terjadi antar fasa R, S, T pada saat PMT membuka dan menutup serta keserempakan PMT pada saat membuka dan menutup. Untuk toleransi perbedaan waktu pada pengujian keserempakan kontak PMT, yang terjadi antar fasa R, S dan T pada waktu PMT membuka atau menutup ditentukan dengan melihat nilai delta time (Δt) yang merupakan selisih waktu tertinggi dan terendah antar fasa R, S, T sewaktu membuka atau menutup kontak. Batasan nilai selisih waktu keserempakan yaitu $\Delta t \le 10$ ms berdasarkan referensi dari pabrikan ABB.

- 1. Berikut perhitungan selisih waktu di Circuit Breaker SL 3.1 LINE 1 Tomohon pada sisi 70 KV di Gardu Induk Teling tanggal 24 Mei 2019 berdasarkan hasil pengujian keserempakan kontak pada tabel 3.
- Δt Close = waktu tertinggi waktu terendah
 - = 58.8 ms 56.6 ms
 - = 2.2 ms
- Δt Open = waktu tertinggi waktu terendah
 - = 33.8 ms 33.6 ms
 - = 0.2 ms
- \Delta t Open-Close-Open = waktu tertinggi waktu terendah

$$= 325,2 \text{ ms} - 323,1 \text{ ms}$$

= 2,1 ms

- 2. Berikut perhitungan selisih waktu di Circuit Breaker SL 3.1 LINE 1 Tomohon pada sisi 70 KV di Gardu Induk Teling tanggal 22 Februari 2021 berdasarkan hasil pengujian keserempakan kontak pada tabel 6.
 - Δt Close = waktu tertinggi waktu terendah
 = 58,2 ms 55,2 ms
 = 3 ms
 - Δt Open = waktu tertinggi waktu terendah
 = 27,8 ms 26,6 ms
 = 1,2 ms
 - Δt Open-Close-Open = waktu tertinggi waktu terendah

= 330.9 ms - 327 ms

= 3.9 ms

Dari hasil pengujian pada tanggal 24 Mei 2019 didapatkan hasil perhitung delta time(Δt) atau selisih waktu saat PMT pada posisi close yaitu 2,2 ms dan pada saat PMT posisi open vaitu 0,2 ms sedangkan selisih waktu pada saat PMT posisi open-close-open diperoleh hasil yaitu 2,1 ms. Untuk hasil pengujian pada tanggal 22 Februari 2021 didapatkan hasil perhitungan delta time(Δt) atau selisih waktu pada saat PMT posisi close yaitu 3 ms, dan saat PMT pada posisi open diperoleh hasil yaitu 1,2 ms, sedangkan selisih waktu pada saat PMT dalam posisi open-close-open yaitu 3,9 ms. Karena sudah memenuhi standar sehingga PMT tersebut dapat melakukan trip sesusai dengan kinerja pada saat terjadinya gangguan. Apabila nilai delta time yang diperoleh diatas 10 ms maka untuk kerja keserempakan PMT kurang mencapai keandalan. Perbedaan selisih waktu yang terlalu lama mengakibatkan adanya lonjakan arus maupun tegangan pada fasa lainnya yang akan menyebabkan kerusakan pada peralatan lain terhubung ke PMT tersebut, maka perlu diadakan perbaikan dan dilakukan pengujian lagi pada PMT tersebut.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

- 1. Dari hasil pengujian tahanan isolasi pada saat pemeliharaan, nilai yang diperoleh dari pengukuran tahanan isolasi dan perhitungan arus bocor hasilnya telah memenuhi standar yaitu standard VDE (catalouge 228/4) minimum besarnya tahanan isolasi pada suhu operasi dihitung "1 kilo Volt = 1 M Ω (Mega Ohm)". Dengan catatan 1 kV = besarnya tegangan fasa terhadap tanah, kebocoran arus yang diijinkan setiap kV = 1 mA. Nilai yang diperoleh diatas 150 M Ω , artinya material isolasi yang diuji masih dalam kondisi baik dan aman.
- 2. Hasil pengujian tahanan kontak sesuai titik ukur dan pada fasa R, S, T, semua hasil dari pengujian yang telah di lakukan telah memenuhi standar IEC 60694

- nilai R \leq 50 $\mu\Omega$ / 120 % Nilai FAT, Dari hasil perhitungan rugi-rugi daya yang telah dihitung telah mendapat hasil kerugian yang sangat kecil, hal ini dipengaruhi dari hasil pengujian tahanan kontak yang telah memenuhi standar.
- Sesuai hasil perhitungan dari selisih waktu keserempakan pada cicuit breaker 70 KV mendapatkan hasil selisih yang telah memenuhi syarat standar yang telah ditentukan yaitu ∆t ≤10 ms berdasarkan referensi dari pabrikan ABB.
- 4. Setelah melakukan pengujian dan perhitungan dari tahanan isolasi, tahanan kontak, dan keserempakan kontak mendapatkan hasil yang telah memenuhi standar, maka dari itu kinerja dari Circuit Breaker SL 3.1 LINE 1 Tomohon pada sisi 70 KV di Gardu Induk tersebut dapat melaksanankan atau melakukan trip sesuai dengan kinerja keserempakan yang normal atau keandalannya dikatakan masih layak untuk di pakai.

B. Saran

- Pemutus Tenaga memang masih mampu melindungi peralatan dari hubung singkat, tetapi kegagalan perlindungan mungkin saja bisa terjadi, untuk itu perlu untuk melakukan pengecekan atau pengujian terhadap pemutus tenaga secara rutin sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan, agar dapat memastikan umur komponen supaya lebih lama dan unjuk kerja yang lebih baik, normal sesuai dengan fungsinya
- 2. Untuk memperoleh nilai (hasil) yang akurat sebelum dilakukan pengujian perlu dilakukan pembersihan pada permukaan **isolator** memakai kain lap yang halus dan tidak merusak permukaan isolator.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ariyanto, Eri. 2019. Analisis Hasil Pengujian Tahanan Isolasi dan Keserempakan Pemutus Tenaga 150 KV Bay Palur 1 dan Palur 2 Gardu Induk Gondangrejo. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta
- [2] Buku Pedoman Pemutus Tenaga. (2014). Jakarta: PLN.
- [3] H. Guntoro, Circuit Breaker Sakelar Pemutus Tenaga / PMT bagian-1."[Online]. Available: http://dunialistrik.blogspot.com/2008/10/circuit-breakersakelar-pemutus.html
- [4] IEC 60694 ed.2.2: 2002-01, Common Spesifications for high-voltage switchgear and controlgear standards, 2002.
- [5] IKA Pengujian Tahanan Kontak PMT No: APDP/IKA/GI/0006-3:2015, PT PLN (Persero).
- [6] K. M. Mu'ammar, 2000, Evaluasi Penggunaan Circuit Brreaker pada Gardu induk N. L. M. J. Ardianto, Firdaus, 2017, Analisis Kinerja Sistem Proteksi Berdasarkan Frekuensi Gangguan Di Gardu Induk

- 150 KV Garuda Sakti, Anal. Kinerja Sist. Prot. Berdasarkan Frekuensi Gangguan Di Gardu Induk 150 KV Garuda Sakti, vol. 4, no. 1, pp. 1–8
- [7] Bukit Si Guntang Palembang, KGS.M. MU'AMMAR 0611 3031 0158 Politek., p. 3.
- [8] M. T. Amelia, 2015, Evaluasi Penggunaan Pemutus Tenaga Pada Gardu Induk Bungaran Palembang
- [9] Pranomo, Irwan. 2019. Analisis Pengujian Pemutus Tenaga Bay Gondangrejo 2 Dalam Pemeliharaan Dua Tahunan Di Gardu Induk Palur. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta
- [10] Riyadi, Malik. 2019. Analisis Pengujian Pemutus Tenaga (PMT) Bay Pedan 2 Dalam Pemeliharaan Dua Tahunan Di Gardu Induk Klaten. Klaten: Universitas Widya Dharma.
- [11] S. S. Tofan Aryanto, Sutarno, 2013, Frekuensi Gangguan Terhadap Kinerja Sistem Proteksi di Gardu Induk 150 KV Jepara, J. Tek. Elektro, vol. Vol. 5, no. 2, p. 10
- [12] Standard VDE, Catalouge 228/4.

TENTANG PENULIS



Penulis Bernama lengkap Alfa Aland Rizky Saghawari anak tunggal dari pasangan suami istri (Ayah) Vicky Melkysedek saghawari dan (Ibu) Kerry Wells Andisi, lahir di Sangir pada tanggal 24 September 1998. Penulis menempuh pendidikan pertama di Sekolah Dasar Negeri 121 Manado pada Tahun 2004 sampai 2010, setelah itu

masuk ke Sekolah Menengah Pertama Negeri 8 Manado pada tahun 2010 sampai 2013, kemudian melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Kejuruan Negeri 2 Manado pada tahun 2013 sampai 2016 dengan menempuh kompetensi Teknik Audio Video. Sekarang penulis telah menyelesaikan pendidikan di Universitas Sam Ratulangi

Selama Menempuh Pendidikan di Universitas Sam Ratulangi penulis juga melaksanakan kegiatan non-akademik kerja praktek di PT PLN (PERSERO) UIKL SULAWESI UPT MANADO ULTG SAWANGAN selama 3 bulan saat menjadi mahasiswa.