

Implementasi Strategi Pemeliharaan Preventif untuk Mengoptimalkan Kinerja Disconnecting Switch Line dan Lightning Arrester pada Gardu Induk 150kV

Sofyah Imammah¹, Marza Ihsan Marzuki^{2*}

Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Pertamina

e-mail:¹102120015@student.universitaspertamina.ac.id,^{2*}marza.im@universitaspertamina.ac.id

Abstrak

Peran Disconnecting Switch dan Lightning Arrester merupakan 2 komponen krusial dalam pendistribusian ketenagalistrikan di Gardu Induk (GI), keduanya memiliki peran yang berbeda dalam melindungi jaringan ketenagalistrikan dari gangguan dan kerusakan. Di mana, Disconnecting Switch Line (DSL) bertugas untuk memutuskan & menghubungkan aliran listrik pada bagian tertentu jaringan listrik tanpa memengaruhi pasokan listrik ke peralatan lain yang dalam kondisi tidak berbeban. Sedangkan, Lightning Arrester (LA) memiliki peran untuk melindungi jaringan listrik dari kerusakan akibat sambaran petir / arus tegangan berlebih yang akan langsung dialirkan ke tanah. Seiring dengan penggunaan peralatan tersebut, performa Disconnecting Switch Line dan Lightning Arrester akan dapat menurun sehingga diperlukan pemeliharaan (maintenance) yang baik. Pada kegiatan pemeliharaan akan dilakukan pembersihan & pengujian yang bertujuan untuk mengetahui kondisi keandalan dari sistem tersebut. Kegiatan ini dilakukan untuk mengetahui keandalan dari isolasi peralatan, kondisi peralatan apakah terdapat gangguan / tidak yg dapat menyebabkan bahaya kejutan listrik / kebakaran & memperpanjang umur peralatan. Terakhir, pada pemeliharaan 2 tahunan Disconnecting Switch Line dan Lightning Arrester pada Bay penghantar Depok 2 ini, didapatkan hasil kondisi peralatan yang baik & andal sehingga tidak perlu perbaikan / penggantian peralatan akibat kerusakan fatal, namun hanya dilakukan pembersihan peralatan dari kotoran minor.

Keywords: *Pemeliharaan Preventif, Sakelar Pemutus Jalur, Penangkal Petir, Keandalan Sistem, Perawatam Komponen Gardu Induk*

Abstract

The role of Disconnecting Switch and Lightning Arrester are two crucial components in the distribution of electricity in the Substation (SS). They both have different roles in protecting the power network from disturbances and damage. The Disconnecting Switch Line (DSL) is responsible for disconnecting and connecting the electrical flow in specific parts of the power network without affecting the power supply to other equipment that is not under load. On the other hand, the Lightning Arrester (LA) is responsible for protecting the power network from damage caused by lightning strikes or excessive voltage, which is immediately directed to the ground. With the use of these devices, the performance of the Disconnecting Switch Line and Lightning Arrester can deteriorate over time, necessitating proper maintenance. During maintenance activities, cleaning and testing are carried out to assess the reliability of the system. These activities are performed to determine the insulation reliability of the equipment, identify any faults that may pose an electrical shock or fire hazard, and extend the equipment's lifespan. In the recent biennial maintenance of the Disconnecting Switch Line and Lightning Arrester at Bay Conductor Depok 2, the equipment was found to be in good and reliable condition, requiring no repairs or replacement due to major damage. Only minor cleaning of the equipment was performed to remove dirt..

Keywords: *Preventive Maintenance, Disconnecting Switch Line, Lightning Arrester, systems's reliability, substation component's maintenance.*

1. Pendahuluan

Penggunaan listrik di Indonesia makin meningkat setiap tahunnya, baik oleh masyarakat maupun industri[1], [2]. Oleh karena itu, keandalan dan kinerja pada sistem ketenagalistrikan menjadi sangat penting untuk memastikan pasokan listrik tetap stabil dan aman bagi masyarakat dan industri. Salah satu komponen penting dalam sistem ketenagalistrikan adalah bagian Bay penghantar pada Gardu Induk yang berfungsi untuk menghubungkan Gardu Induk yang satu dengan Gardu Induk lainnya (melalui jaringan interkoneksi) dan jaringan distribusi. Maka dari itu, diperlukan pemeliharaan untuk mencegah hal buruk seperti gangguan distribusi saluran ketenagalistrikan.

² *Corresponding Author

Gardu Induk adalah fasilitas penting dalam sistem tenaga listrik karena berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari pembangkit listrik ke jaringan distribusi melalui saluran transmisi[3]. Gardu Induk juga berfungsi untuk mengatur dan memantau aliran listrik pada jaringan transmisi seperti memisahkan dan membagi aliran listrik pada jaringan distribusi, serta menjaga keamanan dan keandalan jaringan listrik. Salah satu komponen penting pada Gardu Induk adalah Bay penghantar yang terdiri dari beberapa peralatan seperti *circuit breaker*, *disconnecting switch*, *voltage transformer*, *lightning arrester*, *current transformer*, *busbar*, *capacitor reactor*, *bank capacitor*. Sedangkan peralatan pendukung lainnya berfungsi untuk menjaga kinerja dan keandalan pada jaringan tenaga listrik. Sehingga pada pembahasan kali ini, kita akan ber-fokus pada pemeliharaan *Disconnecting Switch Line & Lightning Arrester* pada Bay Penghantar Depok 2 Gardu Induk 150kv Cawang Lama.

Disconnecting Switch Line adalah peralatan yang berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan rangkaian transmisi dalam kondisi tidak berbeban. Sedangkan, *Lightning Arrester* adalah peralatan yang digunakan untuk menangkap petir dan mengalirkan arus listrik atau lonjakan tegangan berlebih pada sistem distribusi ke tanah, sehingga dapat melindungi sistem peralatan tenaga listrik lainnya dari kerusakan yang fatal[4]. Kedua komponen ini memiliki peran yang krusial dalam jaringan tenaga listrik, namun ada beberapa masalah yang sering terjadi dalam penggunaannya, seperti kegagalan, kerusakan dan penurunan kinerja yang diakibatkan oleh faktor *internal* maupun *eksternal*[5]. Oleh karena itu, perawatan preventif yang teratur dan tepat waktu sangatlah penting untuk mencegah kegagalan yang berdampak negatif pada kinerja dan keselamatan sistem tenaga listrik secara menyeluruh.

Kondisi pemeliharaan yang dilakukan oleh penulis adalah seperti pengecekan secara berkala, guna untuk memastikan keandalan dan keamanan pada sistem tenaga listrik yang ada. Berikut ini merupakan beberapa pendapat para ahli mengenai rentang waktu pemeliharaan pada Gardu Induk :

1. *American Society of Civil Engineers* (ASCE) merekomendasikan pemeliharaan rutin pada kompartemen Gardu Induk dengan rentang 1 tahun hingga 3 tahun, hal ini dikarenakan kondisi lingkungan dan kondisi peralatan akibat faktor beban[6].
2. *Applied Science* (AS) mengatakan bahwa pemeliharaan optimal pada *transmission* dapat dilakukan setiap tahun, setiap 2 tahun atau setiap 3 tahun tergantung pada keadaan konsumsi daya dan aliran daya pada peralatan tersebut[7].
3. *National Fire Protection Association* (NFPA) merekomendasikan pemeliharaan dan penggantian unit yang rusak pada kompartemen Gardu Induk agar dapat dilakukan dengan rutin, sehingga sistem tetap berfungsi dengan andal[8].

ULTG (Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk) Cawang memilih interval pemeliharaan dengan rentang waktu 2 tahun pada Gardu Induk, akibat adanya beberapa faktor yang mempengaruhinya seperti berikut :

1. Umur peralatan : Biasanya transformator dan sakelar memiliki masa pakai dengan rentang waktu tertentu. Sehingga pemeliharaan rutin 2 tahun sekali dapat membantu memperpanjang masa pakai dari peralatan tersebut dan mengurangi risiko kegagalan.
2. Lingkungan : Wilayah ULTG Cawang atau Gardu Induk 150kv Cawang Lama terletak di lingkungan yang sangat berdebu karena letaknya berada di sekitaran jalan utama transportasi umum, maka perlu dilakukan pemeliharaan dengan rentang waktu yang tidak terlalu lama untuk memastikan kinerja peralatan atau kompartemen optimal.
3. Pengalaman : Perusahaan listrik memilih pemeliharaan 2 tahun berdasarkan pengalaman sebelumnya, sehingga jika terdapat gangguan atau rusak pada peralatan dapat segera ter-deteksi.

Selain itu, industri listrik mengikuti pedoman dari beberapa organisasi seperti ASCE, IEEE, NFPA dan OSHA yang merekomendasikan pemeliharaan dengan rentang waktu tidak lebih dari 2 tahun, karena adanya risiko kegagalan pada sistem listrik yang diakibatkan oleh peralatan yang sudah aus, atau tidak dibersihkan / diganti secara teratur. Sehingga masalah dapat teridentifikasi lebih dulu sebelum terjadinya kegagalan, maka terdapat penghematan biaya dari kasus kegagalan / rusak *pemanent* pada peralatan tersebut.

Artikel ini akan membahas mengenai implementasi strategi pemeliharaan untuk mengoptimalkan kinerja dari *Disconnecting Switch Line* dan *Lightning Arrester* dengan tujuan untuk meningkatkan keandalan dan kinerja jaringan ketenagalistrikan, serta mengantisipasi, mengurangi risiko gangguan dan kerusakan yang dapat mengakibatkan pemadaman listrik. Di mana hal tersebut meliputi sasaran pemeliharaan, standar strategi pemeliharaan & pengujian yang digunakan, masalah yang sering terjadi pada peralatan, serta hasil dari implementasi strategi pemeliharaan.

2. Metodologi Penelitian

2.1. Inspeksi Pemeliharaan pada *Disconnecting Switch Line*

Inspeksi pemeliharaan pada *disconnecting switch line* Bay penghantar Depok 2 Gardu Induk 150kv ULTG Cawang dilakukan dengan metode *inservice inspection & invisual inspection*.

2.1.1. Sasaran Pemeliharaan Menggunakan metode *In-service Inspection*

Metode *in-service inspection* adalah kegiatan pengecekan peralatan Gardu Induk menggunakan pancaindra penglihatan dan penciuman. Sasaran kegiatan inspeksi ini adalah dengan melihat apakah kondisi bagian-bagian kompartemen rusak atau terdapat kotoran, dengan meliputi pengecekan pada bagian-bagian seperti berikut[9] :

1. *Dielectric* (Piring Isolator)
Melakukan pemeriksaan apakah terdapat flek, retak atau pecah.
2. *Primary* (Terminal Utama)
Melakukan pemeriksaan apakah terdapat benda asing seperti binatang, benang, balon dan layang-layang.
3. *Secondary*
 - *Heater*, apakah sesuai dengan fungsinya atau tidak & apakah barang hilang atau tidak.
 - Terminal *Wiring*, dengan pemeriksaan apakah terdapat korosi & binatang, atau kabel kontrol, terkelupas atau tidak.
 - MCB / Sekring, di mana saat sekring putus / MCB trip maka akan menghasilkan aroma tidak sedap atau melakukan pengecekan fungsi tombol on pada MCB.
 - Pintu lemari, terdapat korosi ringan atau berat, sehingga *seal* pintu lemari rusak, hilang atau tidak terpasang dengan sempurna
 - Box mekanik, terdapat kotoran, bau dan lembab.
4. *Drive Mechanism*
 - Rod Penggerak / pemisah, lepas / baut longgar.
 - *Interlock* mekanik, apakah sistem berfungsi dengan baik.
 - Engkol pemisah, apakah komponen yang terpasang lengkap.
 - Roda gigi, kondisi roda gigi kering, karatan & rusak.
5. Pisau Pentanahan
 - *Lock Pin*, hilang atau rusak.
 - Kabel, rusak karena digigit hewan, hilang & lepas
 - Kotak diam pisau pentanahan, apakah terdapat karat & bengkak.
 - *Grounding* pemisah tanah, hilang atau tidak.

Dari kegiatan inspeksi dengan metode *In-service Inspection* ini diperlukan tindakan seperti pembersihan, perbaikan atau bahkan penggantian sesuai dengan tingkat kerusakan yang terjadi.

2.1.2. Sasaran Pemeliharaan Menggunakan Metode *In Visual Inspection*

Sasaran pemeliharaan menggunakan metode *In-Visual Inspection* adalah kegiatan pengecekan / pengujian peralatan Gardu Induk menggunakan alat ukur. Sasaran kegiatan inspeksi ini seperti berikut[9] :

1. Pengukuran Tahanan Isolasi

Pengukuran tahanan isolasi untuk mengetahui nilai hambatan antara dua komponen dapat menggunakan alat ukur *Insulation Tester*. Pengukuran tahanan isolasi ini memiliki standar yang telah diatur sesuai dengan Buku Pemeliharaan Peralatan SE.032/PST/1984 standard VDE (*catalogue 228/4*) bahwa besarnya nilai minimum pada tahanan isolasi sebesar $1 \text{ kV} = 1 \text{ M}\Omega$ [9]. Di mana jika hasil pengukuran lebih besar dari satuan $\text{M}\Omega$ maka tahanan isolasi pada kompartemen tersebut semakin bagus dan dapat dioperasikan dengan aman.

2. Pengukuran Tahanan Kontak Pisau-pisau

Pengukuran pada pisau-pisau pemisah DS ini sangat penting untuk memastikan bahwa kontak pisau-pisau memiliki nilai tahanan yang rendah dan dapat mengalirkan arus listrik dengan baik.

3. Pengukuran Tahanan Pentanahan

Pengukuran ini menggunakan alat ukur *Earth Resistance Tester* yang bertujuan untuk mengetahui nilai tahanan antar besi atau plat tembaga yang ditanam dalam tanah yang berfungsi untuk melindungi peralatan listrik terhadap gangguan petir dan hubung singkat. Standar dari pengukuran tahanan pentanahan sudah diatur dalam IEEE STD 80-2000 tentang *Guide For Safetu In Ac Substation Grounding* dengan besar nilai minimum untuk *switchgear* $\leq 1\Omega$ [9]. Jika hasilnya melebihi standar yang telah ditentukan, maka dilakukan penambahan *grounding* dengan sistem paralel ke *grounding* sehingga hasilnya lebih bagus, dan dapat mengukur kembali.

4. Pengukuran *Thermovision*

Pengukuran ini menggunakan *Thermogun*, nilai yang dihasilkan bersifat absolut / mutlak dari objek terukur. Dalam pelaksanaan pengukuran suhu dilakukan dengan 2 metode, yaitu :

- Pemeriksaan pada terminal utama diantara 2 titik komponen yang berbeda, yaitu pada klem dan konduktor.
- Pemeriksaan pada Pisau pemisah, dengan membandingkan nilai suhu pemisah antar fasa lainnya.

Pengukuran *Thermovision* ini memiliki standar *International Electrical Testing Association (NETA) Maintenance Testing Specification (NETA MTS-19987)* yang terdapat 2 macam ΔT yang digunakan sebagai acuan, yaitu :

1. $\Delta T1$: Selisih suhu antar fasa lainnya.

- Kondisi 1 : $1^\circ\text{C} < \Delta t \leq 3^\circ\text{C}$
- Kondisi 2 : $4^\circ\text{C} < \Delta t \leq 15^\circ\text{C}$
- Kondisi 3 : $\Delta t > 15^\circ\text{C}$

2. $\Delta T2$: Selisih suhu diatas suhu lingkungan (*Over ambient temperature*).

- Kondisi 1: $1^\circ\text{C} < \Delta t \leq 3^\circ\text{C}$
- Kondisi 2: $11^\circ\text{C} < \Delta t \leq 20^\circ\text{C}$
- Kondisi 3: $21^\circ\text{C} < \Delta t \leq 40^\circ\text{C}$
- Kondisi 4: $\Delta t > 40^\circ\text{C}$

Dengan keterangan :

Tabel 2.1 Keterangan kondisi selisih suhu

Kondisi 1	Normal
Kondisi 2 & 3	Perlu pantauan lanjutan
Kondisi 4	Perbaiki / pemeliharaan pada peralatan tersebut

Dalam melakukan pemeliharaan pada *Disconnecting Switch Line* baik menggunakan metode *in-service inspection* atau *in-visual inspection*, dapat dikelompokkan ke dalam 3 level evaluasi inspeksi berdasarkan tingkat kesulitan pelaksanaan dan jenjang diagnosa, yaitu :[9]

1. Evaluasi Level-1

Pada evaluasi level-1 ini, kita akan mendapatkan data kondisi awal dari metode *in-visual inspection & in-service inspection* mengenai peringatan dari PMS tersebut, yang dapat dijadikan sebagai rekomendasi evaluasi lanjutan ke tahap 2 & 3.

2. Evaluasi level-2

Pada tahap ini akan masuk ke metode *in-visual inspection*, pengujian peralatan dalam kondisi *shutdown measurement & shutdown function* untuk mengukur suhu klem & tahanan PMS, apakah terdapat ketidak normalan untuk menentukan apakah membutuhkan pemeliharaan lebih lanjut.

3. Evaluasi level-3

Tahap ini adalah tahap terakhir. Setelah mendapatkan data hasil uji dalam keadaan *shutdown measurement*, maka akan menghasilkan rekomendasi berupa rekondisi (*retrofit*), perbaikan (*refurbish*) dan penggantian kompartemen (*replacement/reinvestment*) dapat dilakukan ditahap ini oleh petugas pemerliharahan Gardu Induk.

2.2. Inspeksi Pemeliharaan pada *Lightning Arrester*

Inspeksi pemeliharaan pada *lightning arrester* Bay penghantar Depok 2 Gardu Induk 150kv ULTG Cawang dilakukan dengan metode *preventive maintenance & predictive maintenance*.

2.2.1. Sasaran Pemeliharaan Menggunakan Metode *Preventive Maintenance*.

Kegiatan pemeliharaan ini dilakukan dengan interval tertentu (2 tahun pada Garduk Induk 150kv Cawang Lama), tanpa memperhatikan apakah peralatan / kompartemen tersebut membutuhkan tindakan pemeliharaan atau tidak[10]. Berikut ini adalah jenis kegiatannya :

A. *Scheduled Resoration*

Kegiatan pemeliharaan yang dilakukan secara terjadwal & rutin untuk menjaga keandalan sistem agar tetap optimal, memperpanjang usia operasional peralatan, mengurangi investasi pemeliharaan yang lebih tinggi & mencegah terjadinya gangguan atau kerusakan yang bisa mengganggu pasokan listrik[11], [12]. Berikut adalah jenis kegiatan yang dilakukan[13] :

1. Pembersihan Peralatan: Meliputi kegiatan membersihkan kabel, terminal, baut, dan sebagainya dari kotoran, debu, dan korosi.
2. Penggantian Komponen: Penggantian komponen yang sudah aus atau tidak berfungsi dengan baik.
3. Pengecekan Fungsi Peralatan : Meliputi pengukuran nilai resistansi isolasi, pengukuran tegangan, arus, dan sebagainya.
4. Pelumasan Peralatan : Kegiatan pelumasan peralatan berfungsi untuk menjaga agar peralatan tetap berfungsi dengan baik.

B. *Scheduled Discard*

Kegiatan pemeliharaan *Scheduled Discard* dalam pemeliharaan LA adalah kegiatan penggantian atau pembuangan LA yang telah mencapai umur pemakaian (usia teknis) dan terjadi kerusakan pada komponen utama varistornya. Metode ini dilakukan untuk menjaga keandalan sistem proteksi terhadap petir, mencegah terjadinya kegagalan sistem kelistrikan dan memperpanjang umur pakai peralatan Gardu Induk secara keseluruhan. Berikut adalah jenis kegiatan yang dilakukan pada LA :

- Penggantian isolator yang sudah mencapai umur teknisnya.
- Penggantian *surge arrester* atau *lightning arrester* yang sudah mencapai umur teknisnya

.2.2. Sasaran Pemeliharaan Menggunakan Metode *Predictive Maintenance*.

Kegiatan pemeliharaan ini berlandaskan oleh data & analisis terhadap parameter suhu, arus, tegangan dan getaran untuk memprediksi kapan sebuah peralatan akan mengalami kegagalan dan memungkinkan tindakan perbaikan secara dini untuk mencegah kegagalan tersebut[14]. Data yang dikumpulkan meliputi kondisi dari pola kinerja peralatan menggunakan teknik analisis statistik, analisis spektral (pengolahan sinyal dalam domain frekuensi) & algoritma pemrosesan sinyal digital untuk mengidentifikasi pola anomali yang menunjukkan kemungkinan kegagalan pada peralatan. Pada metode ini terdapat 3 level inspeksi sasaran pemeliharaan[13], yaitu :

1. Inspeksi Level 1 (IL-1)

Pada inspeksi ini peralatan hanya dilakukan pengamatan saja pada bagian luar LA menggunakan pancaindera (penglihatan, pendengaran & penciuman). Untuk mendeteksi adanya ketidak normalan (anomali) pada peralatan untuk inspeksi lanjutan.

2. Inspeksi Level 2 (IL-2)

Pada inspeksi ini dilakukan pengukuran arus bocor (*Leakage Current Monitoring*) pada varistor LA yang bertujuan untuk mengetahui arus bocor dengan harmonisa orde ke-3, seperti apakah peralatan tersebut masih berfungsi dengan baik dan mampu menangkap lonjakan arus petir dengan efektif, dalam kondisi pengujian bertegangan.

3. Inspeksi level 3 (il-3)

Pada inspeksi ini dilakukan pengukuran tahanan insulasi (*megger test*), untuk memastikan insulasi pada la khususnya bagaian varistor atau gap masih berfungsi dengan baik sehingga dapat menahan atau melindungi dari tegangan listrik yang tinggi. Jika hasil pengujian tahanan insulasi menurun, maka kemampuan isolasi pada la berkurang, dan memungkinkan adanya kerusakan atau anomali. Pengujian ini merupakan langkah penting dalam pemeliharaan untuk memastikan sistem ketenagalistrikan aman & tetap andal.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Sistem Distribusi Energi Listrik di Gardu Induk 150kV Cawang Lama

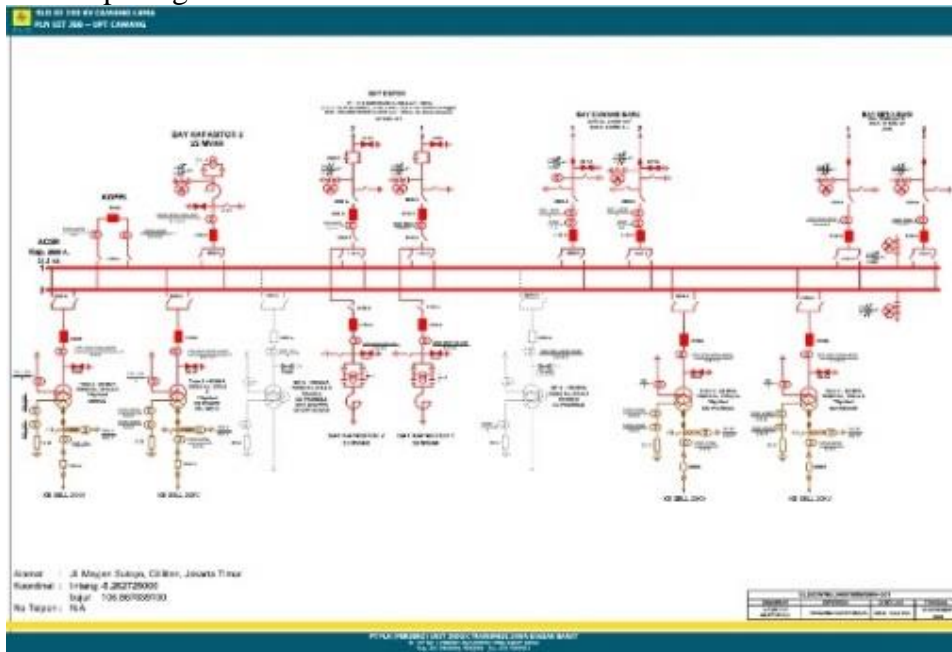
Bay adalah suatu area di sekitar Gardu Induk yang berfungsi sebagai tempat terpasangnya peralatan instalasi transmisi listrik yang sebutan namanya disesuaikan dengan tujuan aliran listrik tersebut, contohnya adalah “Bay Depok 2”. Sedangkan, Bay penghantar adalah suatu rangkaian sistem yang memiliki fungsi sebagai pengamanan pada penghantar saluran udara atau saluran kabel tegangan tinggi dan tegangan ekstra tinggi dari gangguan yang bersifat temporer maupun gangguan yang bersifat permanen yang terjadi pada penghantar tersebut.

Sebelum melakukan pemeliharaan pada Bay penghantar, diperlukan proses pemindahan beban (*manuver*) dari Bay Depok 2 ke Bay Depok 1. Proses pemindahan beban ini dilakukan secara koordinasi dengan *Dispatcher* UP2B WPO Metro, HAR JAR-GI, dan *Dispatcher* UP2D. Di mana, *Dispatcher* UP2B WPO Metro memiliki wewenang untuk mengatur pembebanan, tegangan dan *switching* yang ada di Gardu

Induk 150kv Cawang Lama, yang dilakukan secara jarak jauh (*remote control (R/C)*) menggunakan SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*). Tetapi, jika fungsi jarak jauh (*remote control (R/C)*) ini terdapat gangguan pada saat proses manuver, *Dispatcher* WPO Metro akan memberi perintah kepada HAR JAR-GI untuk mengeluarkan (*open*) atau memasukkan (*close*) PMT secara lokal. Selain itu, HAR JAR-GI bertugas untuk mengawasi, menyampaikan laporan rutin dan melaksanakan operasi pemeliharaan pada Gardu Induk dengan melakukan koordinasi terkait pelaksanaan *manuver* beban atau *switching* beban ke *Dispatcher* UP2B WPO Metro agar berjalan dengan baik sesuai dengan perintah dan SOP Gardu Induk.

Kemudian, *Dispatcher* UP2D memiliki wewenang pada pengaturan PMT 20kv *incoming trafo*, seluruh penyulang 20kv, pengaturan konfigurasi di sisi SUTM (Saluran Udara Tegangan Menengah) / SKTM (Saluran Kabel Tegangan Menengah) 20kv sampai ke konsumen dengan kondisi beban normal, dan berkoordinasi dengan *Dispatcher* UP2B WPO Metro.

Secara keseluruhan, sistem distribusi energi listrik Pada wilayah Gardu Induk 150kV PT PLN (Persero) ULTG Cawang terdiri dari 2 bus bar, 1 kopel, 3 pasang Bay penghantar yaitu : Bay Depok 1 dan Bay Depok 2, Bay Cawang Baru 1 dan Bay Cawang Baru 2 & Bay Setia Budi 1 dan Bay Setia Budi 2, 3 Bay Kapasitor & 4 Trafo *step-down* 150kV menjadi 20kV, dimana untuk melihat tata letak atau *single line diagram* tersebut dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 3.1 *Single Line Diagram* Gardu Induk 150kV Cawang Lama

Analisis pada artikel ini berfokus pada *Lightning Arrester* dan *Disconnecting Switch Line* pada Bay penghantar Depok 2 yang akan digunakan sebagai bahan analisis untuk mengetahui kondisi fisik keandalan sistem dari Bay tersebut. Seperti namanya Bay penghantar memiliki fungsi sebagai pengaman dari segala gangguan kelistrikan yang bersifat temporer atau permanen baik gangguan dari segi internal maupun eksternal.

3.2. Pemeliharaan *Disconnecting Switch Line*

Disconnecting Swich Line merupakan peralatan yang digunakan sebagai penghubung dan pemutus tegangan yang berfungsi untuk menghubungkan dan memutus suatu rangkaian pada transmisi dalam kondisi tidak berbeban. Sehingga, pemeliharaan pada *DS Line* sangat penting untuk menjaga keandalan dari sistem ketenagalistrikan.

3.3.Data Pemeliharaan Penghantar DS Line 2 Tahunan pada Bay Depok

3.3.1. Pemeriksaan Pentanahan (*Grounding*)

Tabel 3.1 Data Pemeriksaan Pentanahan (*Grounding*) pada 14 Januari 2021

14 Januari 2021					
No	Sasaran	Kondisi Awal		Kondisi Akhir	
1	Pentanahan (<i>Grounding</i>)				
		Tidak Baik	Baik	Tidak Baik	Baik
	Kawat Pentanahan		✓		✓
		Longgar	Kencang	Longgar	Kencang
	Mur, Baut Terminal		✓		✓

Tabel 3.2 Data Pemeriksaan Pentanahan (*Grounding*) pada 3 Februari 2023

3 Februari 2023					
No	Sasaran	Kondisi Awal		Kondisi Akhir	
2	Pentanahan (<i>Grounding</i>)				
		Tidak Baik	Baik	Tidak Baik	Baik
	Kawat Pentanahan		✓		✓
		Longgar	Kencang	Longgar	Kencang
	Mur, Baut Terminal		✓		✓

3.3.2. Pemeriksaan Isolator

Tabel 3.3 Data Pemeriksaan Isolator pada 14 Januari 2021

14 Januari 2021					
No	Sasaran	Kondisi Awal		Kondisi Akhir	
1	Isolator				
		Kotor	Bersih	Kotor	Bersih
	Permukaan Isolator	✓			✓
		Ada	Tidak Ada	Ada	Tidak Ada
	Keadaan fisik PMS (Retak/ terdapat bekas <i>flash</i> petir)		✓		✓

Tabel 3.4 Data Pemeriksaan Isolator pada 3 Februari 2023

3 Februari 2023					
No	Sasaran	Kondisi Awal		Kondisi Akhir	
2	Isolator				
		Kotor	Bersih	Kotor	Bersih
	Permukaan Isolator	✓			✓
		Ada	Tidak Ada	Ada	Tidak Ada
	Keadaan fisik PMS (Retak/ terdapat bekas <i>flash</i> petir)		✓		✓

3.3.3. Pemeriksaan Tangkai Penggerak dan Pisau Pemisah

Tabel 3.5 Data Pemeriksaan Tangkai Penggerak dan Pisau Pemisah pada 14 Januari 2021

14 Januari 2021						
No	Sasaran	Kondisi Awal		Kondisi Akhir		
1	Tangkai Penggerak dan Pisau Pemisah					
		Baik	Tidak Baik	Baik	Tidak Baik	
	Keadaan sambungan	✓		✓		
		Kencang	Longgar	Kencang	Longgar	
	Mur, baut terminal utama & klem	✓		✓		
		Kencang	Longgar	Kencang	Longgar	
	Baut tangkai penggerak	✓		✓		
		Bersih	Kotor	Bersih	Kotor	
	Pisau kontak		✓	✓		
		Baik	Tidak Baik	Baik	Tidak Baik	
	Keadaan sambungan	✓		✓		
		Ya	Tidak	Ya	Tidak	
Melakukan pelumasan kontak menggunakan <i>contact grease</i>		✓	✓			

Tabel 3.6 Data Pemeriksaan Tangkai Penggerak dan Pisau Pemisah pada 3 Februari 2023

3 Februari 2023						
No	Sasaran	Kondisi Awal		Kondisi Akhir		
2	Tangkai Penggerak dan Pisau Pemisah					
		Baik	Tidak Baik	Baik	Tidak Baik	
	Keadaan sambungan	✓		✓		
		Kencang	Longgar	Kencang	Longgar	
	Mur, baut terminal utama & klem	✓		✓		
		Kencang	Longgar	Kencang	Longgar	
	Baut tangkai penggerak	✓		✓		
		Bersih	Kotor	Bersih	Kotor	
	Pisau kontak		✓	✓		
		Baik	Tidak Baik	Baik	Tidak Baik	
	Keadaan sambungan	✓		✓		
		Ya	Tidak	Ya	Tidak	
Melakukan pelumasan kontak menggunakan <i>contact grease</i>		✓	✓			

3.3.4. Pengujian Keluar Masuk Pemisah (PMS)

Tabel 3.7 Data Pengujian Keluar Masuk Pemisah pada 14 Januari 2021

14 Januari 2021						
No	Sasaran	Kondisi Awal		Kondisi Akhir		
	Keluar Masuk Pemisah					
		Normal	Abnormal	Normal	Abnormal	
	Posisi keluar (<i>Remote & local</i>)	✓		✓		

1		Normal	Abnormal	Normal	Abnormal
	Posisi masuk (Remote & Lokal)	✓		✓	

Tabel 3.8 Data Pengujian Keluar Masuk Pemisah pada 3 Februari 2023

3 Februari 2023					
No	Sasaran	Kondisi Awal		Kondisi Akhir	
2	Keluar Masuk Pemisah				
		Normal	Abnormal	Normal	Abnormal
	Posisi keluar (Remote & local)	✓		✓	
		Normal	Abnormal	Normal	Abnormal
	Posisi masuk (Remote & Lokal)	✓		✓	

3.3.5. Pengujian Fungsi Interlock PMS

Tabel 3.9 Data Pengujian Fungsi Interlock pada 14 Januari 2021

14 Januari 2021					
No	Sasaran	Kondisi Awal		Kondisi Akhir	
1	Interlock				
		Baik	Tidak Baik	Baik	Tidak Baik
	Interlock PMS dengan PMT	✓		✓	
		Baik	Tidak Baik	Baik	Tidak Baik
	Interlock PMS dengan Pentanahan	✓		✓	

Tabel 3.10 Data Pengujian Fungsi Interlock pada 3 Februari 2023

3 Februari 2023					
No	Sasaran	Kondisi Awal		Kondisi Akhir	
2	Interlock				
		Baik	Tidak Baik	Baik	Tidak Baik
	Interlock PMS dengan PMT	✓		✓	
		Baik	Tidak Baik	Baik	Tidak Baik
	Interlock DS Line dengan Pentanahan	✓		✓	

3.3.6. Pemeriksaan Box Mekanik

Tabel 3.11 Data Pemeriksaan Box Mekanik pada 14 Januari 2021

14 Januari 2021					
No	Sasaran	Kondisi Awal		Kondisi Akhir	
1	Box Mekanik				
		Bersih	Kotor	Bersih	Kotor
	Roda gigi		✓	✓	
		Bersih	Kotor	Bersih	Kotor

	Box		✓	✓	
		Ya	Tidak	Ya	Tidak
	Melakukan pelumasan pada Roda gigi dengan <i>contact grease</i>		✓	✓	
		Normal	Abnormal	Normal	Abnormal
	Tekanan udara <i>pneumatic</i> kontrol	✓		✓	

Tabel 3.12 Data Pemeriksaan Box Mekanik pada 3 Februari 2023

3 Februari 2023					
No	Sasaran	Kondisi Awal		Kondisi Akhir	
	Box Mekanik				
		Bersih	Kotor	Bersih	Kotor
	Roda gigi		✓	✓	
		Bersih	Kotor	Bersih	Kotor
	Box		✓	✓	
		Ya	Tidak	Ya	Tidak
2	Melakukan pelumasan pada Roda gigi dengan <i>contact grease</i>		✓	✓	
		Normal	Abnormal	Normal	Abnormal
	Tekanan udara <i>pneumatic</i> kontrol	✓		✓	

3.3.7. Pemeriksaan Box Terminal / Kontrol

Tabel 3.13 Data Pemeriksaan Box Terminal / Kontrol pada 14 Januari 2021

14 Januari 2021					
No	Sasaran	Kondisi Awal		Kondisi Akhir	
	Box Terminal / Kontrol				
		Bersih	Kotor	Bersih	Kotor
	Box		✓	✓	
		Tidak Ada	Ada	Tidak Ada	Ada
1	Celah-celah pada box		✓	✓	
		Kencang	Longgar	Kencang	Longgar
	Mur, baut & terminal <i>wiring</i>	✓		✓	
		Bersih	Kotor	Bersih	Kotor
	Kontak Bantu		✓	✓	

Tabel 3.14 Data Pemeriksaan Box Terminal / Kontrol pada 3 Februari 2023

3 Februari 2023					
No	Sasaran	Kondisi Awal		Kondisi Akhir	
	Box Terminal / Kontrol				
		Bersih	Kotor	Bersih	Kotor
2	Box		✓	✓	

		Tidak Ada	Ada	Tidak Ada	Ada
	Celah-celah pada box		✓	✓	
		Kencang	Longgar	Kencang	Longgar
	Mur, baut & terminal <i>wiring</i>	✓		✓	
		Bersih	Kotor	Bersih	Kotor
	Kontak Bantu		✓	✓	

3.3.8. Pemeriksaan Pondasi pada DS Line

Tabel 3.15 Data Pemeriksaan Pondasi pada 14 Januari 2021

14 Januari 2021					
No	Sasaran	Kondisi Awal		Kondisi Akhir	
1	Pondasi				
		Ada	Tidak Ada	Ada	Tidak Ada
	Retakan		✓		✓
		Ada	Tidak Ada	Ada	Tidak Ada
	Kemiringan		✓		✓

Tabel 3.16 Data Pemeriksaan Pondasi pada 3 Februari 2023

3 Februari 2023					
No	Sasaran	Kondisi Awal		Kondisi Akhir	
2	Pondasi				
		Ada	Tidak Ada	Ada	Tidak Ada
	Retakan		✓		✓
		Ada	Tidak Ada	Ada	Tidak Ada
	Kemiringan		✓		✓

Berdasarkan data hasil pemeliharaan pada tabel 3.1 sampai dengan 3.16 kondisi fisik dari peralatan *Disconnecting Switch Line* masih sangat baik, tidak hilang, tidak retak / pecah, tidak terdapat bekas flash petir, hanya saja terdapat kotoran minor yg disebabkan faktor cuaca / lingkungan dapat dilakukan tindakan pembersihan menggunakan kain, *contact grease & oil*.

3.3.9. Pengujian Tahanan Pentanahan

Tabel 3.17 Data Pengujian Tahanan Pentanahan pada 14 Januari 2021

14 Januari 2021					
No	Titik Ukur	Kondisi Akhir			Tindakan & Kesimpulan
		R	S	T	
1	Tahanan Pentanahan	0,091Ω			Tidak Ada & Baik

Tabel 3.18 Data Pengujian Tahanan Pentanahan pada 14 Januari 2021

3 Februari 2023					
No	Titik Ukur	Kondisi Akhir			Tindakan & Kesimpulan
		R	S	T	
1	Tahanan Pentanahan	0,5Ω			Tidak Ada & Baik

berdasarkan hasil data tabel 3.17 dan tabel 3.18 dapat ditarik sebuah kesimpulan bahwa, pengujian tahanan pentanahan pada *Disconnecting Switch Line* 14 Januari 2021 & 3 Februari 2023 memiliki status baik karena hasil nilai pengujian dalam rentang $R < 1\Omega$ sesuai dengan standar yg telah ditetapkan. Jika tahanan pentanahan yang dihasilkan $R > 1\Omega$ maka kompartemen (kawat pentanahan / bagian lainnya) yang ada di *DS Line* dapat dilakukan pembersihan ulang dibagian yang diuji & saat pengukuran ulang. Jika tahanan pentanahan mendekati $R = 1\Omega$ maka dapat dipengaruhi oleh kondisi tanah, atau terdapat korosi di sekitar kawat pengujian[15] dan gangguan elektromagnetik & usia sistem pentanaha. Kemudian, jika hasil pengujian melebihi $R > 1\Omega$ maka kompartemen pentanahan tersebut harus diganti.

3.3.10. Pengujian Tahanan Kontak

Tabel 3.19 Data Pengujian Tahanan Kontak pada 14 Januari 2021

14 Januari 2021						
No	Titik Ukur	Acuan	Kondisi Akhir			Tindakan & Kesimpulan
			R	S	T	
1	Tahanan Pentanahan	$R < 120\%$ nilai pabrik / FAT	8 $\mu\Omega$	8 $\mu\Omega$	3 $\mu\Omega$	Tidak Ada & Baik
2	Tahanan kontak TOTAL masuk		136 $\mu\Omega$	124 $\mu\Omega$	132 $\mu\Omega$	Tidak Ada & Baik

Tabel 3.20 Data Pengujian Tahanan Kontak pada 14 Januari 2021

3 Februari 2023						
No	Titik Ukur	Acuan	Kondisi Akhir			Tindakan & Kesimpulan
			R	S	T	
1	Tahanan Pentanahan	$R < 120\%$ nilai pabrik / FAT	Tidak dilakukan pengujian			Tidak Ada & Baik
2	Tahanan kontak TOTAL masuk		48 $\mu\Omega$	40 $\mu\Omega$	38 $\mu\Omega$	Tidak Ada & Baik

3.3.11. Pengujian Tahanan Insulasi / Isolasi

Tabel 3.21 Data Pengujian Tahanan Insulasi pada 14 Januari 2021

14 Januari 2021						
No	Titik Ukur	Acuan	Kondisi Akhir			Tindakan & Kesimpulan
			R	S	T	
1	Terminal Utama (<i>body base plate</i>)	1 M Ω	534 G Ω	>1000 G Ω	810 G Ω	Tidak Ada & Baik

Tabel 3.22 Data Pengujian Tahanan Insulasi pada 14 Januari 2021

3 Februari 2023						
No	Titik Ukur	Acuan	Kondisi Akhir			Tindakan & Kesimpulan
			R	S	T	
2	Terminal Utama (<i>body base plate</i>)	1 MΩ	534 GΩ	>1000 GΩ	810 GΩ	Tidak Ada & Baik

berdasarkan hasil data tabel 3.21 dan tabel 3.22 dapat ditarik sebuah kesimpulan bahwa, pengujian tahanan insulasi / isolasi pada *Disconnecting Switch Line* 14 Januari 2021 & 3 Februari 2023 memiliki status baik karena hasil nilai pengujian di satuan GΩ sudah sesuai standar SE.032/PST/1984 standard VDE (*catalogue 28/4*), dimana dikatakan normal dengan nilai satuan GΩ atau minimum disatuan MΩ. Hasil Pengujian dikatakan baik jika nilai tahanan > 1 MΩ, dan jika tahanan isolasi bernilai < 1 MΩ maka kompartemen tersebut dapat dilakukan pembersihan dibagian yang diuji & pengukuran ulang, jika hasil nilainya tetap < 1 MΩ maka kompartemen tersebut harus diganti.

3.4. Pemeliharaan *Lightning Arrester*

Lightning Arrester pada Bay Depot 2 digunakan sebagai proteksi pertama dari surja hubung / surja petir yang menyebabkan gangguan tegangan lebih yang akan langsung dialirkan ke tanah. Sehingga, pemeliharaan pada LA sangat penting untuk memastikan bahwa LA masih berfungsi dengan baik & mampu melindungi peralatan Gardu Induk dari kerusakan.

3.4.1. Pemeriksaan Pentanahan (*Grounding*)

Tabel 3.23 Data Pemeriksaan Pentanahan (*Grounding*) pada 14 Januari 2021

14 Januari 2021					
No	Sasaran	Kondisi Awal		Kondisi Akhir	
1	Pentanahan (<i>Grounding</i>)				
		Tidak Baik	Baik	Tidak Baik	Baik
	Kawat Pentanahan		✓		✓
		Longgar	Kencang	Longgar	Kencang
	Mur, Baut Terminal		✓		✓
		Tidak Baik	Baik	Tidak Baik	Baik
	Pengujian Tahanan Pentanahan		✓		✓

Tabel 3.24 Data Pemeriksaan Pentanahan (*Grounding*) pada 3 Februari 2023

3 Februari 2023					
No	Sasaran	Kondisi Awal		Kondisi Akhir	
2	Pentanahan (<i>Grounding</i>)				
		Tidak Baik	Baik	Tidak Baik	Baik
	Kawat Pentanahan		✓		✓
		Longgar	Kencang	Longgar	Kencang
	Mur, Baut Terminal		✓		✓
		Tidak Baik	Baik	Tidak Baik	Baik

	Pengujian Tahanan Pentanahan		✓		✓
--	------------------------------	--	---	--	---

3.4.2. Pemeriksaan Isolator

Tabel 3.25 Data Pemeriksaan Isolator pada 14 Januari 2021

14 Januari 2021					
No	Sasaran	Kondisi Awal		Kondisi Akhir	
1	Isolator				
		Bersih	Kotor	Bersih	Kotor
	Permukaan Isolator		✓	✓	
		Ada	Tidak Ada	Ada	Tidak Ada
	Keadaan fisik LA (retak / terdapat bekas <i>flash</i> petir)		✓		✓

Tabel 3.26 Data Pemeriksaan Isolator pada 3 Februari 2023

3 Februari 2023					
No	Sasaran	Kondisi Awal		Kondisi Akhir	
2	Isolator				
		Bersih	Kotor	Bersih	Kotor
	Permukaan Isolator		✓	✓	
		Ada	Tidak Ada	Ada	Tidak Ada
	Keadaan fisik LA (retak / terdapat bekas <i>flash</i> petir)		✓		✓

3.4.3. Pemeriksaan Kekencangan mur, baut Terminal Utama

Tabel 3.27 Data Pemeriksaan Kekencangan mur, baut Terminal Utama pada 14 Januari 2021

14 Januari 2021					
No	Sasaran	Kondisi Awal		Kondisi Akhir	
1	Isolator				
		Kencang	Longgar	Kencang	Longgar
	Mur, baut Terminal Utama	✓		✓	

Tabel 3.28 Data Pemeriksaan Kekencangan mur, baut Terminal Utama pada 3 Februari 2023

3 Februari 2023					
No	Sasaran	Kondisi Awal		Kondisi Akhir	
2	Isolator				
		Kencang	Longgar	Kencang	Longgar
	Mur, baut Terminal Utama	✓		✓	

3.4.4. Pemeriksaan Pondasi

Tabel 3.29 Data Pemeriksaan Pondasi pada 14 Januari 2021

14 Januari 2021			
No	Sasaran	Kondisi Awal	Kondisi Akhir

1	Isolator				
		Ada	Tidak Ada	Ada	Tidak Ada
	Keretakan		✓		✓
		Ada	Tidak Ada	Ada	Tidak Ada
	Kemiringan		✓		✓

Tabel 3.30 Data Pemeriksaan Pondasi pada 3 Februari 2023

3 Februari 2023					
No	Sasaran	Kondisi Awal		Kondisi Akhir	
2	Isolator				
		Ada	Tidak Ada	Ada	Tidak Ada
	Keretakan		✓		✓
		Ada	Tidak Ada	Ada	Tidak Ada
	Kemiringan		✓		✓

Berdasarkan data hasil pemeliharaan pada tabel 3.23 sampai dengan 3.30 kondisi fisik dari peralatan *Lightning Arrester* masih sangat baik, tidak hilang, tidak retak / pecah, tidak terdapat bekas flash petir, hanya saja terdapat kotoran minor yg disebabkan faktor cuaca / lingkungan dapat dilakukan tindakan pembersihan menggunakan kain, *contact grease & oil*

3.4.5. Pengujian Tahanan Insulasi / Isolasi

Tabel 3.31 Data Pengujian Tahanan Insulasi pada 14 Januari 2021

14 Januari 2021						
No	Titik Ukur	Acuan	Kondisi Akhir			Tindakan & Kesimpulan
			R	S	T	
1	Tahanan Isolasi	Injeksi Teg. DC 5Kv 1 MΩ / 1kV	GΩ			Tidak Ada & Baik
	Atas -Ground (MΩ)		255	536	271	
	Atas – Bawah (MΩ)		>1000	289	560	
	Tengah Bawah (MΩ)		109	107	111	

Tabel 3.32 Data Pengujian Tahanan Isolasi pada 3 Februari 2023

3 Februari 2023						
No	Titik Ukur	Acuan	Kondisi Akhir			Tindakan & Kesimpulan
			R	S	T	
2	Tahanan Isolasi	Injeksi Teg. DC 5Kv 1 MΩ / 1kV	GΩ			Tidak Ada & Baik
	Atas -Ground (MΩ)		362	622	363	
	Atas – Bawah (MΩ)		387	396	410	
	Tengah Bawah (MΩ)		248	182	307	

berdasarkan hasil data tabel 3.31 dan tabel 3.32 dapat ditarik sebuah kesimpulan bahwa, pengujian tahanan isolasi pada *Lightning Arrester* 14 Januari 2021 & 3 Februari 2023 memiliki status baik karena hasil nilai pengujian di satuan $G\Omega$, sudah sesuai standar SE.032/PST/1984 standard VDE (*catalogue 28/4*) dimana dikatakan normal dengan nilai satuan $G\Omega$ atau minimum disatuan $M\Omega$. Hasil pengujian dikatakan baik jika nilai tahanan $> 1 M\Omega$, dan jika tahanan isolasi bernilai $< 1 M\Omega$ maka kompartemen tersebut dapat dilakukan pembersihan dibagian yg diuji & pengukuran ulang, dan jika hasil nilainya tetap $< 1 M\Omega$ maka kompartemen tersebut harus diganti.

3.4.6. Pengujian Tahanan Pentanahan

Tabel 3.33 Data Pengujian Tahanan Pentanahan pada 14 Januari 2021

14 Januari 2021						
No	Titik Ukur	Acuan	Kondisi Akhir			Tindakan & Kesimpulan
			R	S	T	
1	Tahanan Pentanahan	$R < 1\Omega$	0,097 Ω	0,096 Ω	3,01 Ω	Tidak Ada & Baik

Tabel 3.34 Data Pengujian Tahanan Pentanahan pada 3 Februari 2023

3 Februari 2023						
No	Titik Ukur	Acuan	Kondisi Akhir			Tindakan & Kesimpulan
			R	S	T	
2	Tahanan Pentanahan	$R < 1\Omega$	0,5 Ω	0,5 Ω	0,5 Ω	Tidak Ada & Baik

berdasarkan hasil data tabel 3.33 dan tabel 3.34 dapat ditarik sebuah kesimpulan bahwa, pengujian tahanan pentanahan pada *Lightning Arrester* 14 Januari 2021 & 3 Februari 2023 memiliki status baik karena hasil nilai pengujian dalam keadaan baik, dan hasil pengujian di satuan Ω . Jika sesuai standar yang telah ditetapkan, dikatakan nilai tahanan pentanahan dalam keadaan normal dengan nilai satuan Ω , dan dikatakan baik jika nilai tahanan $< 1 \Omega$. Jika tahanan isolasi bernilai $> 1 \Omega$ maka kompartemen tersebut dapat dilakukan pembersihan ulang dibagian yang diuji & pengukuran ulang, dan jika hasil nilainya tetap $> 1\Omega$ maka kompartemen tersebut harus diganti.

3.5. Data Pengukuran Suhu Menggunakan *Thermogun* pada Peralatan Bay Depok 2 di Bulan Februari 2023

Tabel 3.35 Data Pengukuran Suhu menggunakan *Thermogun* Februari 2023

Data Pengukuran Suhu (<i>Thermovisi</i>) pada Bay Penghantar Depok 2				
No	Nama Alat	R ($^{\circ}C$)	S ($^{\circ}C$)	T ($^{\circ}C$)
1	Klem <i>Line Drop</i> arah <i>Lightning Arrester</i>	35	33	35
2	Klem <i>Lightning Arrester</i> dan CVT	32	33	33
3	Klem <i>Lightning Arrester</i>	33	33	35
4	Klem CVT	33	33 -34	35

5	Klem <i>Disconnecting Switch Line</i> arah CVT	35	37	34
6	Pisau-pisau DS <i>Line</i>	36	36	35
7	Klem DS <i>Line</i> arah PMT	38	36	37
8	Klem PMT <i>pole</i> atas	38	38	36
9	Klem PMT <i>pole</i> bawah	34	34	34
10	Klem CT (P2) arah PMT	34	34	35
11	Klem CT (P1) arah DS sisipan	36	36	36
12	Klem DS sisipan arah CT	36	36	36
13	Pisau-pisau DS sisipan	36	36	35
14	Klem DS sisipan arah T-Klem DS rel	37	36	36
15	T-klem atas arah klem DS sisipan	34	34	35
16	Klem busbar 1 arah ke DS rel 1	36	36	35
17	Klem DS rel 1 arah ke Busbar 1	37	37	37
18	Pisau-pisau DS rel 1 (open)	-	-	-
19	Klem DS rel 1 arah ke DS rel 2	37	36	36
20	T-Klem DS rel 1 dan rel 2	37	36	37
21	Klem DS rel 2 arah ke DS rel 1	37	36	37
22	Pisau-pisau DS rel 2 (close)	36	38	37
23	Klem Busbar 2 arah ke Busbar 2	36	37	35
24	Klem Busbar 2 arah ke DS rel 2	32	35	34
25	Box MK Depok #2	37		

Pada pengukuran suhu, penulis hanya berfokus pada data PMS *Line* dan *Lightning Arrester* dengan tujuan untuk mengetahui kondisi dari klem & pisau tersebut, apakah dalam keadaan andal & baik untuk dapat menggunakan ketentuan suhu antar fasa, karena pengukuran dilakukan pada fasa R, S & T yang merujuk pada standar *International Electrical Testing Association (NETA) Maintenance Testing Spesification (NETA MTS-19987)* yang terdapat 2 macam ΔT yang digunakan sebagai acuan, seperti berikut :

1. ΔT_1 : Selisih suhu antar fasa lainnya.

- Kondisi 1 : $1^{\circ}\text{C} < \Delta t \leq 3^{\circ}\text{C}$
- Kondisi II : $4^{\circ}\text{C} < \Delta t \leq 15^{\circ}\text{C}$
- Kondisi III: $\Delta t > 15^{\circ}\text{C}$

Dengan keterangan :

- Kondisi 1 : Normal
- Kondisi 2 : Perlu pantauan lanjutan
- Kondisi 3 : Perbaikan / Pemeliharaan pada Klem tersebut

Sehingga dapat ditarik kesimpulan dari hasil data tabel 3.31 pada saat pengukuran suhu (*thermovisi*) menggunakan alat ukur *thermogun* pada bulan Februari 2023 yaitu memiliki status dalam keadaan baik / normal (kondisi 1) karena nilai selisih setiap fasa hanya $1^{\circ}\text{C} < \Delta t \leq 3^{\circ}\text{C}$.

4. Kesimpulan

1. Proses pemindahan beban (*manuver*) dilakukan secara koordinasi antara *Dispatcher* UP2B WPO Metro, HAR JAR-GI dan *Dispatcher* UP2D. Di mana, *Dispatcher* UP2B WPO Metro memiliki wewenang untuk mengatur pembebanan, tegangan dan *switching* yang ada di Gardu Induk 150kV Cawang Lama, yang dilakukan secara jarak jauh (*remote control* (R/C) menggunakan SCADA. Tetapi jika fungsi RC terdapat gangguan pada saat proses manuver, maka HAR JAR-GI akan diperintah untuk mengeluarkan (*open*) atau memasukkan (*close*) PMT dan PMS secara lokal dan mengawasi, menyampaikan laporan rutin dan melaksanakan operasi pemeliharaan dengan tetap berkoordinasi dengan *Dispatcher* UP2B WPO sesuai dengan SOP GI. Kemudian, *Dispatcher* UP2D memiliki wewenang pengaturan PMT 20kV, pengaturan konfigurasi disisi SUTM/SKTM 20kV sampai ke konsumen dengan kondisi beban normal dan tetap melakukan koordinasi dengan *Dispatcher* UP2B WPO Metro.
2. Pemeliharaan preventif dengan jangka waktu pelaksanaan 2 tahunan pada peralatan Gardu Induk khususnya DS Line & LA sudah tepat. Karena, jika pemeliharaan dilakukan terlalu sering dapat merusak peralatan akibat pemeriksaan dan pengujian itu sendiri. Tetapi, jika pemeliharaan dilakukan lebih dari 2 tahun dikhawatirkan peralatan terdapat kerusakan sehingga terlambat untuk terdeteksi.
3. Pada data pemeliharaan diketahui bahwa peralatan memiliki performa yang normal (baik) pada setiap pengujian tahanannya, dan hanya terdapat kotoran minor pada peralatan yang dapat dibersihkan menggunakan SAEKA *Cleaning Paste, Oil, Grease* dan kain majun untuk menghindari karat dan jamur yang menempel. Selain itu, tidak terdapat kerusakan yang fatal pada isolator atau bagian peralatan lainnya yang perlu diganti dengan yang baru.
4. Pada Gardu Induk konvensional, suhu lingkungan tidak berpengaruh pada kinerja setiap peralatan yang ada. Suhu lingkungan hanya berpengaruh pada saat proses pengukuran *thermovisi* yang menyebabkan perbedaan suhu (suhu sudut delta) atau *hotspot* antar fasa yang dihasilkan melebihi batas normal antara $1^{\circ}\text{C} < \Delta t \leq 3^{\circ}\text{C}$.

Daftar Pustaka

- [1] D. Indonesia, "Berapa Konsumsi Listrik Indonesia pada 2021?," *DataIndonesia.id*. <https://dataIndonesia.id/sektor-riil/detail/berapa-konsumsi-listrik-indonesia-pada-2021> (accessed Mar. 24, 2023).
- [2] M. Adam, "Analisa Pengaruh Perubahan Kecepatan Angin Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA) Terhadap Daya Yang Dihasilkan Generator Dc," *RELE Rekayasa Elektr. Dan Energi J. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 1, Art. no. 1, Aug. 2019, doi: 10.30596/rele.v2i1.3648.
- [3] "View of Analysis Of Contact Resistance Testing Disconnecting Switch or PMS On Transfer Power Loss at Telukjambe Substations." <https://www.poltekstpaul.ac.id/jurnal/index.php/jelekn/article/view/355/245> (accessed Jun. 04, 2023).
- [4] "Studi Peralatan Proteksi Sambaran Petir Lightning Arrester Pada Jaringan Distribusi 20 KV | Saragih | JET (Journal of Electrical Technology)." <https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/jet/article/view/2566> (accessed Jun. 04, 2023).
- [5] M. A. Wicaksono, E. Ispranyoto, and A. Makkulau, "Kajian Pelaksanaan Commissioning Pemutus Tenaga, Pemisah, Lightning Arrester, Transformator Arus Pada Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi 500 KV MUARA TAWAR," doctoral, INSTITUT TEKNOLOGI PLN, 2021. Accessed: Jun. 04, 2023. [Online]. Available: <http://156.67.221.169/3818/>
- [6] C. J. Wong, editor, and M. D. Miller, *Guidelines for Electrical Transmission Line Structural Loading*, Third edition. American Society of Civil Engineers, 2009.

- [7] P. Kitak, L. Belak, J. Pihler, and J. Ribič, "Maintenance Management of a Transmission Substation with Optimization," *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 24, Art. no. 24, Jan. 2021, doi: 10.3390/app112411806.
- [8] "NFPA 70B: Standard for Electrical Equipment Maintenance." <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=70B> (accessed Mar. 17, 2023).
- [9] J. Fathoni, "Buku Pedoman PMS Final", Accessed: Feb. 26, 2023. [Online]. Available: https://www.academia.edu/34807130/Buku_Pedoman_PMS_Final
- [10] D. C. Idoniboyeobu, B. A. Wokoma, and V. C. Ibanibo, "Preventive Maintenance For Substation With Aging Equipment Using Weibull Distribution," *Am. J. Eng. Res.*, 2018.
- [11] V. Fernando, H. Hernadewita, and H. H. Purba, "Interval Waktu Pemeliharaan Berdasarkan Reliability Centered Maintenance (RCM) Pada Kinerja Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) Perusahaan Listrik Negara," *J. Media Tek. Dan Sist. Ind.*, vol. 5, no. 2, Art. no. 2, Sep. 2021, doi: 10.35194/jmts.v5i2.1459.
- [12] E. M. L. ARUAN, "Analisa Perbandingan Biaya Pemeliharaan Preventif Dan Pemeliharaan Prediktif Pada Bay Trafo 2 Di Gardu Induk 150kV PT.PLN (Persero) UPT Duri Kosambi," s1, Universitas Mercu Buana Jakarta, 2019. Accessed: Jun. 04, 2023. [Online]. Available: <https://repository.mercubuana.ac.id/59952/>
- [13] "(PDF) 12.buku pedoman lightning arrester," *dokumen.tips*. <https://dokumen.tips/engineering/12buku-pedoman-lightning-arrester.html> (accessed Mar. 04, 2023).
- [14] E. M. L. ARUAN, "Analisa Perbandingan Biaya Pemeliharaan Preventif Dan Pemeliharaan Prediktif Pada Bay Trafo 2 Di Gardu Induk 150kV PT.PLN (Persero) UPT Duri Kosambi," s1, Universitas Mercu Buana Jakarta, 2019. Accessed: Apr. 01, 2023. [Online]. Available: <https://repository.mercubuana.ac.id/59952/>
- [15] D. S. Ode and M. R. Ramli, "Analisa Penurunan Nilai Pentanahan Tower Menggunakan Direct Grounding," 2021.