

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian yang Relevan

Pada penulisan skripsi ini, penulis melakukan studi literatur untuk mencari dasar atau pedoman agar penelitian dapat dilakukan berdasarkan referensi yang telah ditentukan. Terdapat beberapa dari referensi tersebut yang berhubungan dengan pembahasan, sebagai berikut :

Jurnal yang berjudul **Analisa Perbaikan Hotspot Dalam Keadaan Bertegangan Dan Tidak Bertegangan** penelitian ini membahas tentang analisis dan perbaikan hotspot pada Peralatan Listrik di PT. PLN (Persero) menggunakan metode teknologi termovisi dalam keadaan berbeban dan bertegangan. Hotspot yang terjadi pada sambungan listrik dapat menyebabkan kerusakan serius dan meningkatkan risiko pemadaman listrik. Penelitian ini menekankan pentingnya inspeksi berkala dan perbaikan hotspot untuk menjaga keandalan sistem kelistrikan serta mengurangi kerugian ekonomi akibat pemadaman. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan keuntungan ekonomis dari penggunaan metode PDKB dibandingkan dengan metode offline dalam perbaikan hotspot pada sistem kelistrikan [5].

Jurnal yang berjudul **Analisis Perbaikan Hotspot pada SUTT** penelitian ini membahas tentang perbaikan anomali hotspot pada saluran transmisi dengan fokus pada konduktor fasa S. Anomali hotspot, yang merupakan ketidakberesan suhu di titik sambungan listrik, dapat menyebabkan kerugian energi yang signifikan dan kerusakan peralatan jika tidak ditangani dengan cepat. Penelitian merekomendasikan inspeksi dan perbaikan rutin untuk mengurangi risiko dan memastikan operasi normal sistem transmisi listrik. Jurnal ini menekankan pentingnya pemeliharaan yang tepat waktu untuk menjaga keandalan sistem transmisi listrik [6].

Jurnal yang berjudul **Pengujian Korona dan Pemantauan titik Hotspot di Arrester** penelitian ini membahas tentang pentingnya stasiun penyulang dalam sistem kelistrikan PT. PLN (Persero) dan fokus pada pengujian pelepasan corona serta pemantauan hotspot pada penangkal petir di stasiun penyulang rengasdengklok, karawang. Pelepasan corona terjadi ketika medan listrik melebihi batas kritis dan dapat

dideteksi menggunakan kamera khusus, termasuk kamera UV. Faktor yang mempengaruhi pelepasan corona termasuk tekanan udara, kelembapan, dan suhu. Jurnal ini menekankan pentingnya pemantauan rutin dan menyarankan untuk melakukan pengukuran suhu pada malam hari untuk menghindari gangguan dari sinar matahari. Rekomendasi untuk pemeliharaan dan pengujian lebih lanjut juga disediakan [7].

Jurnal yang berjudul **Pengujian Tahanan Kontak pada Disconnecting Switch atau Pemisah Tenaga** penelitian ini membahas tentang pentingnya pemeliharaan dan pengujian resistansi kontak secara rutin untuk meminimalkan kehilangan daya. Penelitian membandingkan nilai resistansi kontak dan kehilangan daya antara dua busbar (rel 1 dan rel 2). Ditemukan masalah hotspot pada fasa s dari rel 2, temuan ini menekankan perlunya pemeliharaan yang tepat untuk memastikan operasi yang efisien dan mengurangi kerugian teknis dalam sistem kelistrikan (Cahyani & Stefanie, 2024).

Jurnal yang berjudul **Analisis Hotspot pada PMS Gardu Induk Rawadenok Depok Menggunakan Metode Thermovision** penelitian ini membahas tentang temuan hotspot pada PMS menggunakan thermovision. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi titik-titik panas pada peralatan listrik yang dapat menyebabkan kerusakan jika tidak ditangani. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan thermovision sangat efektif dalam mendeteksi masalah termal pada peralatan listrik di gardu induk (Multi et al., 2022).

Jurnal yang berjudul **Pemeliharaan dan Perbaikan Hotspot (Titik Panas) pada DS (Disconnect Switch) Rel 2** penelitian ini membahas tentang pemeliharaan dan perbaikan hotspot pada Disconnecting Switch (DS) dengan fokus khusus pada PMS bus 2 fasa T. Pemantauan dilakukan menggunakan kamera thermal untuk mendeteksi titik panas, yang merupakan langkah penting dalam mencegah kerusakan lebih lanjut. Penelitian ini menyoroti risiko yang terkait dengan hotspot pada DS dan pentingnya tindakan pemeliharaan yang tepat untuk menjaga keamanan dan efisiensi sistem kelistrikan (Henriana & Endy Permata, 2022).

Jurnal yang berjudul **Analisis Hasil Pengukuran Hotspot pada Bay Kapasitor dengan Metode Thermovisi** penelitian ini menekankan pentingnya pemantauan suhu peralatan untuk mencegah kegagalan dan memastikan kualitas serta kontinuitas energi listrik. Jurnal ini bertujuan untuk mengoptimalkan penjadwalan pemeliharaan guna

memastikan keandalan dan keselamatan peralatan substation (Diseminasi & Genap, 2021).

Jurnal yang berjudul **Analisis Titik Panas (Hot Point) Pada Hasil Pengukuran Thermovisi** penelitian ini membahas tentang analisis titik panas (hot point) pada peralatan gardu induk menggunakan pengukuran thermovisi. Fokus utamanya adalah pada sambungan terminal antar kabel konduktor dan peralatan di area *switchyard* yang mengalami pemanasan atau hot point akibat arus rugi-rugi, peralatan yang tidak layak pakai atau jarak antar peralatan yang berhimpit. Hasil pengukuran thermovisi pada minggu ke-1 dan ke-2, masih ada sambungan yang perlu diperbaiki. Pada minggu ke-3, kondisi sambungan secara keseluruhan dalam keadaan baik. (Saputra, 2022)

Jurnal yang berjudul **Analisis Kinerja PMS Rel 2 Bay Trafo 6 Menggunakan Thermovision Methode** penelitian ini membahas tentang peran substasi dalam menyediakan energi listrik yang andal dan efisien. Penggunaan metode thermovision untuk pemeliharaan prediktif pada peralatan listrik, khususnya pada pemisah (PMS) di gardu induk sunyaragi. Identifikasi dan analisis hotspot yang menyebabkan penurunan kinerja PMS dan potensi kerusakan peralatan. Ditemukan hotspot pada pisau PMS fasa T yang menyebabkan pemanasan berlebih. Hasil thermovisi sebelum perbaikan menunjukkan suhu yang tinggi, sedangkan setelah perbaikan, suhu pada fasa R, S, dan T berada dalam kondisi normal (39,2°C, 37,9°C, dan 39,7°C) (Siswanto et al., 2021).

Jurnal yang berjudul **Perbaikan Koneksi Klem Transformator Arus untuk menurunkan Hotspot** penelitian ini membahas tentang pentingnya transformator arus dalam distribusi listrik dan masalah hotspot yang dapat merusak transformator. Penggunaan inspeksi level 1 dan level 2 dengan kamera infrared untuk memonitor suhu peralatan di gardu induk. Sebelum perbaikan, ditemukan 3 data kondisi buruk pada transformator arus dengan selisih suhu 30°C. setelah dilakukan perbaikan, selisih suhu pada transformator arus menurun dari 30°C menjadi 3°C, yang menunjukkan kondisi baik. Hasil analisis menunjukkan bahwa pemeliharaan yang dilakukan secara berkala dapat mengurangi hotspot dan memperpanjang umur pemakaian transformator arus. Penelitian ini menegaskan pentingnya pemantauan suhu untuk menjaga kondisi peralatan gardu induk dan mencegah kerusakan lebih lanjut (Alfauzi & Fauziah, 2023).

Jurnal yang berjudul **Analisa Thermovisi pada Peralatan Gardu Induk 150 kV untuk Deteksi Dini Hotspot** Penelitian ini membahas penggunaan kamera thermovision sebagai metode deteksi dini hotspot (titik panas) pada peralatan utama gardu induk 150 kV, seperti pemisah tenaga (PMS), pemutus daya (PMT), dan trafo daya. Hotspot berpotensi menyebabkan kerusakan peralatan dan gangguan sistem tenaga listrik jika tidak ditangani dengan cepat. Hasil penelitian ditemukan beberapa titik hotspot dengan suhu mencapai di atas 60°C, khususnya pada sambungan konduktor dan klem terminal. Hotspot paling signifikan ditemukan pada PMT dan klem trafo daya. Thermovisi terbukti efektif sebagai alat monitoring berkala untuk mendeteksi potensi gangguan. Rekomendasi diberikan berupa pengencangan ulang sambungan dan pembersihan terminal. (Arifin, I., Setiawan, W., & Sutanto, 2022)

Jurnal yang berjudul **Analysis of Abnormal Hotspot Repair on the 500kV South Bandung** Penelitian ini membahas analisis perbaikan hotspot abnormal pada konduktor jumper clamps dan link adjusters di Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500kV Bandung Selatan – Mandirancan (BDSL N-MDCAN) T.168 arah 167 fasa R. Hotspot ini terjadi pada titik yang tidak normal, yaitu pada *link adjuster*, yang seharusnya tidak dialiri arus. Penelitian ini juga mengeksplorasi penggunaan metode pemeliharaan *live-line* (PDKB) dengan alat ukur OhmStick Plus untuk perbaikan tanpa pemadaman (Wardana et al., 2024, hlm. 1-2). Hasil penelitian menunjukkan Inspeksi thermovision pada 26 Juli 2023, menemukan anomali hotspot pada konduktor jumper clamp dan *link adjuster* fasa R di Tower 168. Suhu hotspot tertinggi tercatat pada *inner lower string clamp* dan *link adjuster*, yang keduanya dikategorikan sebagai kondisi darurat (Wardana et al., 2024, hlm. 3, 6). Hotspot pada *link isolator* (yang seharusnya tidak dialiri arus) disebabkan oleh distribusi arus antara konduktor jumper dan *link* pada titik *jumper clamp*. Ini terjadi karena perbedaan resistansi kontak yang signifikan antara *outer* dan *inner lower clamps*, menyebabkan sebagian arus mengalir melalui *link isolator* dan menghasilkan panas (Wardana et al., 2024, hlm. 11-12). Penyebab utamanya adalah akumulasi debu dan kotoran yang tinggi pada celah jumper serta torsi baut klem yang longgar (Wardana et al., 2024, hlm. 10, 12). Metode PDKB (pemeliharaan *live-line*) diterapkan karena jalur transmisi tidak dapat dipadamkan. Perbaikan melibatkan pembersihan *outer* dan *inner lower jumper clamps* menggunakan kawat baja dan amplas,

serta pengencangan semua *jumper clamps* dengan kunci torsi (Wardana et al., 2024, hlm. 10, 12).

2.2. Tabel Perbandingan

Pada penelitian ini terdapat perbedaan yang membedakan penelitian ini dengan penelitian lain. Pertama yang membedakan penelitian saya dengan penelitian lain adalah tempat mengambil dan mengolah data yang berbeda, kemudian perbedaan yg kedua adalah suhu lingkungan disekitar yang sudah pasti berbeda. Berikut ini adalah tabel perbandingan dengan penelitian lain.

Tabel 2. 1 Perbandingan

No	Nama Penulis	Tahun	Judul	Hasil
1.	Abdul Multi ¹ , Hafizh Mubarak ² , Sugianto ²	2022	Analisis Hotspot Pada PMS Gardu Induk 150 kV Rawadenok Depok Menggunakan Metode Thermovision	Pada hari Rabu 1 juni 2022 pukul 08.38, ditemukan adanya hotspot pada bagian Contact Finger DS Rel 2 Fasa S dengan suhu 115°C dan DS Line Fasa S Bay cimanggis 2 dengan suhu 103°C di Gardu Induk 150 kV Depok Rawadenok.
2.	Riangga Aditya pebrian ¹ , Rahmat Hidayat ² , dan Maulana Yusuf Ramadhan ³	2021	Pengujian Korona dan Pemantauan titik Hotspot Di Lightning Arrester Pada Gardu Induk Rengasdengklok Karawang.	Lightning Arrester merupakan peralatan yang berfungsi untuk melindungi peralatan listrik lain dari tegangan surya baik surya hubung maupun surya petir dengan cara meneruskan

				tegangan surya ke tanah ketika terjadi surya hubung ataupun surya petir yang masuk ke gardu induk.
3	Samuel Frando Gurning, Sumpena	2024	Analisa Perbaikan Hotspot Dalam Keadaan Bertegangan dan Tidak Bertegangan di PT.PLN (Persero) UPT Cawang.	PDKB di GI Jatirangon berhasil menurunkan suhu dari 62°C ke 39,9°C dan dari 57°C ke 40,2°C. PDKB lebih efisien secara teknis dan ekonomis, meskipun membutuhkan alat & keahlian khusus.
4	Muhammad Nur azikin Akib, Eko Ihsanto	2023	Analisis Perbaikan Hotspot Pada SUTT 150 kV New Rancakasumba-Ujung Berung T.13 Penghantar 1 Fasa S Metode PDKB	Hotspot dengan suhu tinggi berhasil diturunkan dari 90 °C menjadi 33 °C setelah perbaikan PDKB, sehingga transmisi tetap beroperasi tanpa pemadaman.
5	Khair Rifo Masianto, Dini Fauziah	2022	Analisis Hasil Pengukuran Hotspot Pada Bay Kapasitor Dengan Metode Thermovisi Di GI Bandung Utara	Titik panas tertinggi 41,7°C, ΔT tertinggi 11,6°C di Terminal Reaktor; prediksi waktu maintenance dengan regresi. Thermovision mendeteksi anomali signifikan; regresi bantu

				prediksi maintenance; ΔT di atas 10°C perlu tindakan segera.
6	Revananda Aulia Cahyani & Arnisa Stefanie	2024	Pengujian Tahanan Kontak Pada Disconnecting Switch Atau Pemisah Tenaga Bay Trafo-1 GI 150 kV Tasikmalaya Baru.	Tahanan kontak PMS rel-2 fasa S awalnya $1,349\text{ m}\Omega \rightarrow$ turun menjadi $29,4\text{ }\mu\Omega$ setelah perbaikan hotspot pada pisau-pisau. Pengujian tahanan kontak dapat mendeteksi masalah sambungan dan perlu dilakukan rutin agar hotspot bisa dicegah secara teknis
7	Agus Siswanto, Reza Alfian, Erfan Subyanta	2021	Analisis Kinerja PMS Rel 2 Bay Trafo 6 Menggunakan Thermovision Method di Gardu Induk Sunyaragi	Penurunan signifikan: dari $80\text{ }\mu\Omega$ menjadi $6,7\text{ }\mu\Omega$ (fasa T), menunjukkan peningkatan performa pasca perbaikan. PMS dalam kondisi baik setelah perbaikan; pengukuran suhu dan tahanan sesuai standar PLN dan aman dioperasikan
8	Renato Alfauzi, Dini Fauziah	2023	Perbaikan Koneksi Klem Transformator Arus	Fasa S CT mengalami hotspot parah dengan ΔT sebesar 35°C , setelah

			untuk Menurunkan Hotspot di GI 150 kV Kebasen Bay Brebes I	perbaikan ΔT turun menjadi 3°C . Thermovision mampu mendeteksi dan memantau performa koneksi CT. Perbaikan mampu menurunkan ΔT sesuai standar PLN
--	--	--	--	---

2.3. Landasan Teori

2.3.1. Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik atau biasa disingkat dengan STL merupakan gabungan dari pusat-pusat listrik yang saling terhubung satu dengan yang lainnya, yang terdiri dari sistem pembangkit, sistem transmisi, dan sistem distribusi yang akan menyalurkan tenaga listrik menuju konsumen. Pembangkit merupakan suatu peralatan atau mesin yang berfungsi untuk mengubah suatu energi menjadi tenaga listrik, seperti energi air, energi angin, energi uap, dan lainnya. Tegangan yang dihasilkan oleh pembangkit merupakan tegangan ekstra tinggi dan tegangan tingggi. Agar energi yang dihasilkan dari pembangkit dapat disalurkan hingga konsumen, sehingga terdapat jaringan transmisi. Jaringan transmisi sendiri bekerja dengan menyalurkan tenaga listrik yang dihasilkan dari pembangkit menggunakan saluran udara atau saluran bawah tanah, yang mana tegangan tinggi yang berasal dari pembangkit diturunkan tegangannya menggunakan trafo step down sehingga tegangan yang dihasilkan merupakan tegangan menengah. Setelah melalui jaringan transmisi, tenaga listrik diteruskan menuju jaringan distribusi agar dapat disalurkan kepada konsumen. Tegangan yang dihasilkan sudah menjadi tegangan pakai atau tegangan rendah sebesar 20 kV.[14] Agar penyaluran tenaga listrik memiliki mutu dan keandalan yang tinggi, maka peralatan-peralatan listrik harus mempunyai perlindungan dari segala macam bentuk gangguan yang dapat menyebabkan terputusnya pelayanan.[15] Salah satu faktor penting untuk mendukung pembangunan adalah tenaga listrik yang harus dipenuhi oleh perusahaan penyedia tenaga listrik, dalam hal ini adalah PT. PLN (Persero).[16]

2.3.2. Gardu Induk

Gardu Induk merupakan simpul di dalam sistem tenaga listrik yang terdiri dari susunan rangkaian sejumlah perlengkapan yang dipasang menempati suatu lokasi tertentu. Hal ini bertujuan untuk menerima dan menyalurkan tenaga listrik, menaikkan dan menurunkan tegangan sesuai dengan tingkat tegangan kerjanya, tempat melakukan kerja switching rangkaian suatu sistem tenaga listrik dan untuk menunjang keandalan sistem tenaga listrik terkait. Gardu Induk berfungsi untuk menyalurkan dan mengendalikan daya listrik dengan menggunakan peralatan material utama (MTU) antara lain transformator tenaga, Current Transformator (CT), Potential Transformator (PT), pemutus tenaga (PMT), pemisah (PMS), dan Lighting Arrester (LA)(Standar PT PLN (PERSERO) T5.005:2014 2014). Fungsi utama dari gardu induk adalah pertama untuk mengatur aliran daya listrik dari saluran transmisi ke saluran transmisi lainnya yang kemudian didistribusikan ke konsumen, Kedua sebagai tempat kontrol, ketiga sebagai pengamanan operasi sistem, serta (4) Sebagai tempat untuk menurunkan tegangan transmisi menjadi tegangan distribusi.[17]

2.3.3. Pengertian Pemisah (PMS)

Pemisah merupakan salah satu perlengkapan pada gardu induk untuk memisahkan gardu induk dari peralatan lain yang bertegangan, pada pengoperasian pembukaan ataupun penutupan pada pemisah/disconnecting switch ini dilakukan saat tidak berbeban. pemisah/disconnecting switch dipasang diantara pemutus tenaga dengan sumber energi listrik, Setelah pemutus tenaga juga dipasang pemisah line dan juga pemisah tanah, yang dimana pada pemisah line ini sendiri telah dilengkapi dengan pengamanan interlock, yang apabila pada pemisah pemisah line belum dalam kondisi open maka pemisah tanahnya tidak akan dapat dimasukkan. [18] Ada dua macam fungsi PMS, yaitu :

- a. Pemisah Peralatan: Berfungsi untuk memisahkan peralatan listrik dari peralatan lain atau instalasi lain yang bertegangan. PMS ini boleh dibuka atau ditutup hanya pada rangkaian jaringan yang tidak berbeban.
- b. Pemisah Tanah (Pisau Pentanahan/Pembumian): Berfungsi untuk mengamankan dari arus tegangan yang timbul sesudah saluran tegangan tinggi diputuskan atau

induksi tegangan dari penghantar atau kabel lainnya. Hal ini perlu untuk keamanan bagi orang-orang yang bekerja pada peralatan instalasi [19]

Penempatan pemisah terpasang diantara sumber tenaga listrik dan PMT (*PMS Bus*) serta diantara PMT dan beban (*PMS Line/Kabel*) dilengkapi dengan PMS tanah (*Earthing Switch*). Untuk tujuan tertentu *PMS Line/Kabel* dilengkapi dengan PMS tanah. Umumnya antara *PMS Line/Kabel* dan PMS tanah terdapat alat yang disebut *interlock* [20].

2.3.4. Fungsi pemisah

Pemisah berfungsi untuk menghubungkan dan memisahkan tegangan pada peralatan instalasi tegangan tinggi. Pada dasarnya, pemisah dipakai untuk membebaskan tegangan yang mengalir agar dapat dilakukan pemeliharaan atau perbaikan pada peralatan dan memberi keamanan bagi teknisi pada saat melakukan pemeliharaan. Ada dua macam fungsi pemisah, yaitu : pemisah peralatan dan pemisah tanah.



Gambar 2. 1 Pemisah Tenaga

a. Pemisah peralatan

Pemisah peralatan berfungsi untuk memisahkan peralatan listrik dari peralatan lain atau instalasi yang bertegangan. Pemisah dapat dibuka atau ditutup hanya pada rangkaian jaringan yang tidak berbeban.

b. Pemisah tanah

Pemisah tanah berfungsi untuk mengamankan peralatan dari arus tegangan yang timbul sesudah saluran tegangan tinggi diputuskan atau induksi tegangan dari

penghantar. Hal ini diperlukan untuk menjaga keamanan bagi teknisi pada saat melakukan pemeliharaan atau perbaikan.

2.3.5. Penempatan posisi pemisah

Pemisah dipasang sesuai dengan penempatannya. Pemisah dibagi menjadi:

a. Pemisah penghantar/*line*.

Pemisah yang terpasang pada sisi penghantar.

b. Pemisah rel/bus

Pemisah yang terpasang pada sisi rel.

c. Pemisah kabel

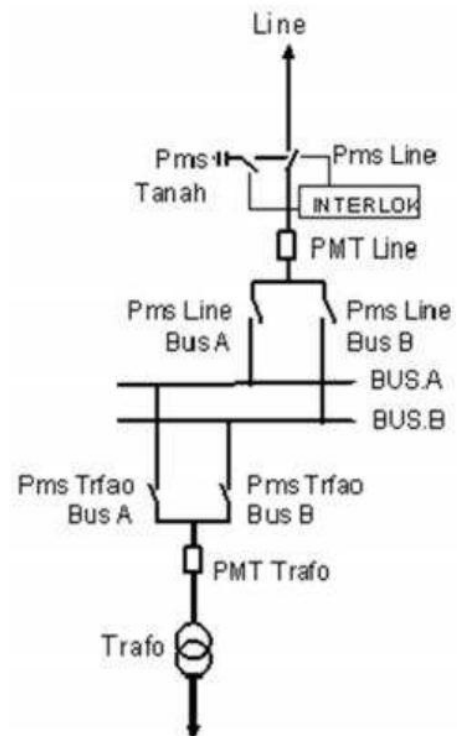
Pemisah yang terpasang pada sisi kabel.

d. Pemisah seksi

Pemisah yang terpasang pada suatu rel sehingga rel tersebut dapat terpisah menjadi dua saksi.

e. Pemisah Tanah

Pemisah yang terpasang pada penghantar/*line*/kabel untuk menghubungkan ke tanah.



Gambar 2. 2 *single line* penempatan posisi pemisah

2.3.6. Komponen pemisah dan fungsinya

Pemisah memiliki beberapa komponen yang masing-masing mempunyai fungsi sebagai berikut :

A. *Dielektric*

Komponen pada peralatan pemisah adalah *dielektric*/isolator. Isolator berfungsi sebagai isolasi dan pemegangan mekanis dari perlengkapan atau penghantar yang dikenal beda potensial. Apabila isolator gagal dalam memisahkan antara dua saluran maupun saluran dengan pentanahan maka penyaluran akan gagal atau tidak optimal. Isolator berbentuk seperti piringan-piringan yang terbuat dari bahan porselin atau komposit yang dimana untuk ukuran dapat disesuaikan dengan tegangan, jenis, ukuran penghantar, kekuatan mekanis dan konstruksi penopangnya.



Gambar 2. 3 *Dielektric*/Isolator

B. Primary

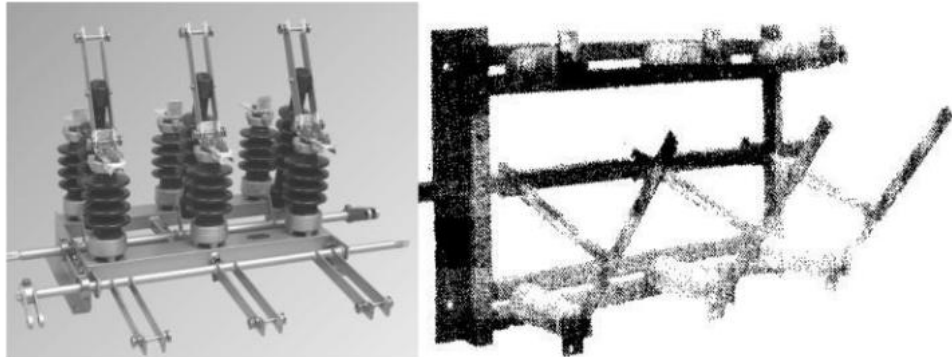
Primary merupakan bagian dari PMS yang bersifat konduktif dan berfungsi untuk menghantarkan/mengalirkan arus listrik. Primary terdiri dari dua bagian, yakni: terdiri dari pisau-pisau/kontak PMS dan klem.

a. pisau-pisau/kontak PMS

Menghubungkan atau memisahkan bagian yang bertegangan. Macam-macam pisau pemisah berdasarkan gerakan lengan/pisau pemisahannya antara lain:

- Pemisah Engsel

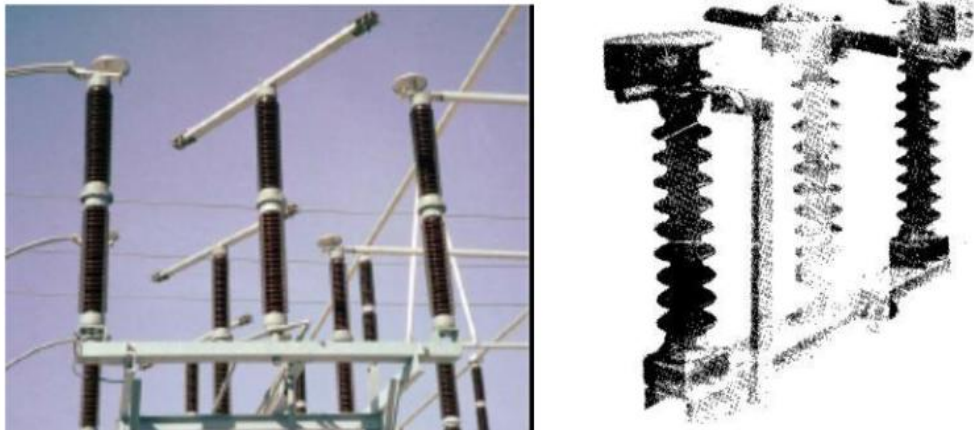
Dimana pemisah tersebut geraknya seperti engsel



Gambar 2. 4 Pemisah Engsel

- Pemisah Putar

Dimana terdapat 2 (dua) buah kontak diam dan 2 (dua) buah kontak gerak yang dapat berputar pada sumbuinya.



Gambar 2. 5 Pemisah Putar

- Pemisah Siku

Pemisah ini tidak mempunyai kontak diam, hanya terdapat 2 (dua) kontak gerak yang geraknya mempunyai sudut 90° .



Gambar 2. 6 Pemisah Siku

- Pemisah luncur

Pemisah ini gerak kontaknya ke atas – ke bawah (vertikal) atau ke samping (horizontal). Banyak dioperasikan pada instalasi 20 kV. Pada PMT 20 kV type draw-out setelah posisi off dan dilepas/dikeluarkan dari *Cubicle* maka pisau kontaktor penghubung dengan busbar adalah berfungsi sebagai PMS.



Gambar 2. 7 Pemisah luncur

- Pemisah Pantograph

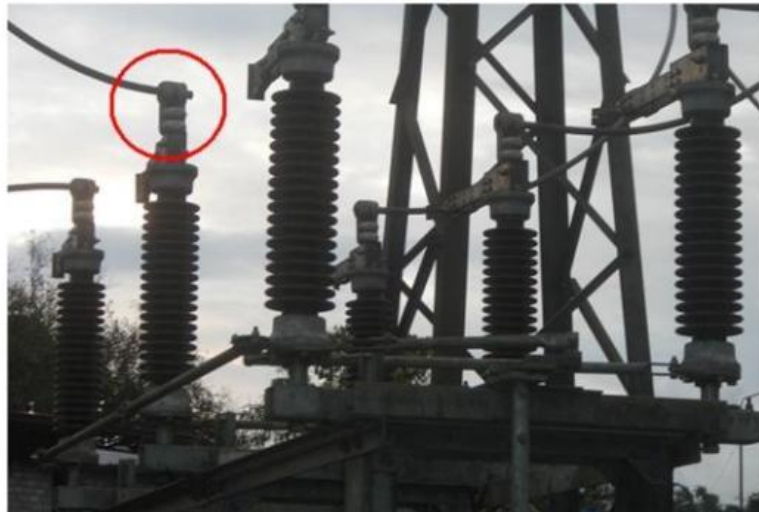
Pemisah ini mempunyai kontak diam yang terletak pada rel dan kontak gerak yang terletak pada ujung lengan pantograph. Jenis ini banyak dioperasikan pada sistem tegangan 500 kV.



Gambar 2. 8 Pemisah Pantograph

C. Klem

Bagian dari PMS yang merupakan titik sambungan antara PMS dengan konduktor luar dan berfungsi untuk mengalirkan arus ke konduktor luar.



Gambar 2. 9 Klem

➤ **Mekanik penggerak**

Memposisikan pisau/kontak PMS untuk membuka dan menutup yang terdiri dari Stang/Tuas penggerak dan tenaga penggerak. Jenis tenaga penggerak PMS dapat dibedakan :

1. Secara Manual

Pengoperasian PMS ini (membuka/menutup) secara manual dengan memutar/menggerakkan lengan PMS melalui fasilitas mekanik.



Gambar 2. 10 Penggerak Manual

2. Tenaga penggerak dengan motor

Pengoperasian PMS ini (membuka/menutup) dengan memutar/menggerakkan lengan PMS melalui fasilitas penggerak dengan motor



Gambar 2. 11 Mekanik PMS dengan Penggerak Motor

3. Tenaga penggerak pneumatik (tekanan udara)

Pengoperasian PMS ini (membuka/menutup) dengan memutar/menggerakkan lengan PMS melalui fasilitas penggerak dengan pneumatik (tekanan udara).



Gambar 2. 12 Mekanik PMS Tekanan Udara

➤ Secondary

Terdiri dari lemari mekanik, terminal dan *wiring* kontrol.

○ Lemari Mekanik

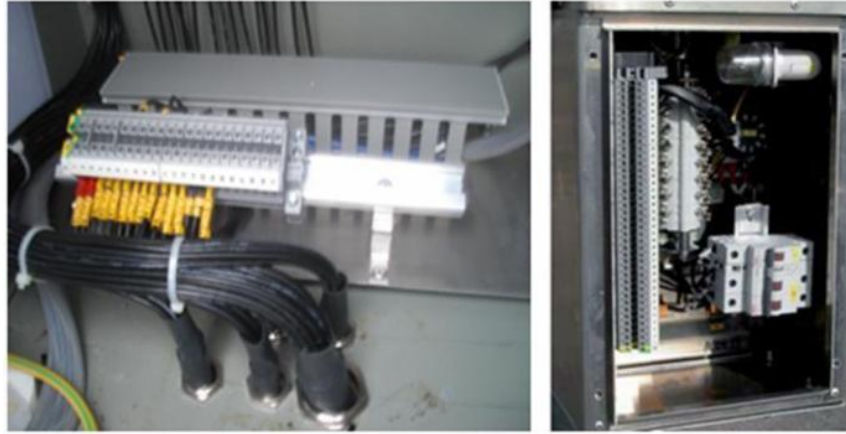
Untuk melindungi peralatan tegangan rendah dan sebagai tempat secondary equipment. Jenis lemari mekanik ada dua yaitu lemari dan box.



Gambar 2. 13 Lemari Mekanik dan Box Mekanik

- Kontrol dan Auxillary

Pada lemari mekanik terdapat terminal dan *wiring* kontrol. Memberikan *trigger* pada *subsystem* mekanik penggerak untuk membuka dan menutup pisau/kontak PMS.



Gambar 2. 14 Terminal dan wiring control

➤ **Pisau Pentanahan**

Berfungsi untuk mentanahkan/membumikan tegangan induksi atau tegangan sisa sesudah jaringan diputus dari sumber tegangan. Pemisah tanah atau *Earth Switch* mempunyai sistem *interlock* dengan pemisah penghantar dimana jika pemisah dalam posisi masuk maka pemisah tanah posisi keluar, begitu pula sebaliknya.



Gambar 2. 15 Pisau Pentanahan

2.3.7. Failure Mode Effect Analysis (FMEA)

Pemisah yang sedang beroperasi memiliki potensi mengalami kegagalan, gangguan/kerusakan. Penyebab dari kerusakan tersebut memiliki banyak kemungkinan. Setiap komponen pemisah memiliki potensi kerusakan/kegagalan fungsi yang akan mengarah kepada kerusakan/kegagalan dari seluruh sistem pemisah tersebut. Pola kerusakan pun memiliki banyak kemungkinan. Untuk mengetahui peluang kerusakan dari setiap komponen dan seperti apa jalur kerusakannya digunakanlah metoda *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA).

Adapun langkah dalam pembuatan FMEA ini adalah dengan mengelompokkan komponen pemisah berdasarkan fungsinya, tiap kelompok ini disebut *subsystem*, yakni :

- *Dielektric*
- *Primary*
- *Drive Mechanism* / Mekanik Penggerak
- *Secondary*
- Pisau Pentanahan

2.3.8. Pemeliharaan pemisah

Pemeliharaan pemisah (PMS) menjadi peranan penting dalam menjaga keandalan dan kualitas pemasokan tenaga listrik kepada konsumen. Pemeliharaan pemisah merupakan bagian yang bertujuan untuk merawat dan menjaga peralatan pemisah, sehingga dalam pengoperasiannya pemisah dapat selalu beroperasi dengan optimal dan mencegah gangguan yang dapat merusak peralatan pada pemisah. Pemeliharaan tidak saja merupakan pekerjaan fisik yang langsung terhadap peralatan yang bersangkutan, melainkan diperlukan suatu perencanaan yang baik dan pengawasan terhadap pelaksanaannya.[21] Oleh karena itu, efisiensi dari pemeliharaan pemisah dapat dilihat dengan meningkatnya *safety*, pemulihan yang efektif, dan biaya pemeliharaan yang lebih efektif dan efisien.

A. *In Service/Visual Inspection*

In service Inspection merupakan inspeksi/pengecekan yang dilakukan dengan menggunakan panca indera dengan pelaksanaan periode tertentu dalam keadaan peralatan bertegangan. Inspeksi/pengecekan bertujuan untuk mengetahui/memonitor kondisi komponen peralatan. Untuk periode pelaksanaan inspeksi pada pemisah adalah mingguan, bulanan dan tahunan. *In service/visual inspection* dilaksanakan dengan menggunakan alat ukur sederhana/umum (*thermovisi thermal imager*) oleh petugas pemeliharaan atau Supervisor Gardu Induk.

Adapun komponen-komponen dari pemisah yang harus diperhatikan untuk *in service/visual inspection* adalah :

- Dielektric
 - a. Isolator PMS

- Primary
 - a. Pisau / kontak PMS
 - b. Terminal utama (klem) PMS

- Drive Mechanism
 - a. Engkol PMS
 - b. Sistem *lock* mekanik PMS
 - c. Rod Penggerak PMS
 - d. Roda gigi

- Secondary
 - 1. Lemari
 - a. Lampu penerangan
 - b. *Heater* (Pemanas)
 - c. Terminal *Wirring*
 - d. Kabel kontrol
 - e. Sekring MCB

- f. Bau-bauan
- g. Pintu lemari
- h. Kondisi dalam lemari
- i. *Door sealent*
- j. Lubang Kabel kontrol

2. *Box*

- a. Tutup *Box* Mekanik

➤ Pisau Pentanahan

- a. *Lock pin*
- b. Kontak diam pisau pentanahan
- c. Kabel fleksibel PMS tanah
- d. *Grounding* pemisah tanah

B. *Shutdown measurement*

Merupakan pengukuran yang dilakukan dengan alat ukur dengan waktu periode 2 tahunan. Pada umumnya peralatan pemisah yang telah selesai pemasangan sebelum dioperasikan maupun yang telah terjadwal pemeliharaan, harus dilakukan pengujian-pengujian untuk mengetahui performa dari peralatan pemisah. Pengujian dilakukan pada saat tidak dalam kondisi beroperasi. Pada saat pengujian kondisi pada *switch* harus dalam posisi *local* dan mini *circuit breaker* (mcb) motor dalam posisi *off*. Macam-macam pengujian shutdown measurement pada pemisah :

- Pengujian Tahanan Pentanahan yang bertujuan untuk melindungi peralatan listrik terhadap gangguan sambaran petir dan arus bocor.
- Pengujian Tahanan Isolasi yang bertujuan untuk mengetahui kondisi isolasi pada peralatan listrik agar dapat menjaga kehandalan pada saat beroperasi.
- Pengujian Tahanan Kontak yang bertujuan untuk mengidentifikasi kondisi pada pisau pemisah dan klem sedang dalam keadaan normal atau tidak normal.
- Pengukuran tegangan AC/DC yang bertujuan untuk mencegah terjadinya kerusakan pada komponen peralatan pada lemari pemisah.

- Pengukuran Motor Penggerak yang Tujuan dilakukan pengujian pengukuran motor penggerak pemisah untuk mencegah terjadinya kerusakan atau kegagalan motor penggerak pada saat beroperasi.

C. *Treatment*

Merupakan kegiatan pemeliharaan yang dilakukan untuk mempertahankan dan mengembalikan kondisi peralatan dalam kondisi dapat berfungsi dengan baik.

D. *Shutdown fuction check*

Merupakan pemeriksaan dan pengukuran yang dilaksanakan pada periode dua tahunan dalam kondisi peralatan bertegangan. Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui kondisi peralatan dengan menggunakan alat ukur sederhana serta modern yang dilakukan oleh petugas pemeliharaan.

E. *Overhaull*

Merupakan kegiatan pemeliharaan yang meakukan pemeriksaan secara teliti dan melakukan pergantian pada seluruh bagian pemisah dalam kondisi *off*. *Overhaull* dilaksanakan setiap 5 tahun sekali atau sesuai dengan kondisi peralatan. *Overhaull* dilaksanakan dengan meninjau sebagai berikut :

- Umur panjang sesuai dengan *manual instruction*.
- Berdasarkan kondisi pemisah pada hasil pengujian atau pengukuran.

F. *Alat kerja pemeliharaan*

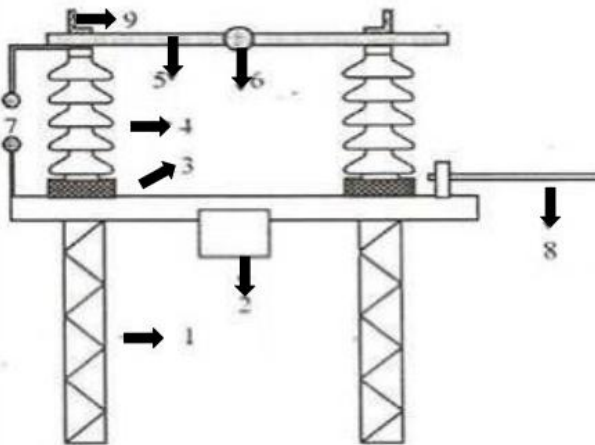
Peralatan pemeliharaan yang digunakan oleh petugas dalam menjamin keselamatan kerja, umumnya peralatan yang wajib digunakan untuk menjamin kesematan kerja ialah:

- *Helm Safety*
- *Sepatu Safety*
- *Sarung Tangan Safety*, dan
- *Wearpack*.

Pemeliharaan yang digunakan pada penelitian kali ini ialah *predictive maintenance* atau prediktif yang dimana untuk mencegah terjadi *hotspot* pada *contact finger* pemisah peralatan listrik. Penting untuk mencegah potensi kegagalan peralatan dan gangguan sistem. Dengan memantau suhu dan kondisi kontak secara teratur, dapat menghindari kerusakan dan pemadaman yang tidak terduga.

2.3.9. Konstruksi pada pemisah

Adapun dalam pemisah yang digunakan dalam penelitian ini adalah pemisah siku, pemisah siku memiliki beberapa konstruksi atau bagian isolator dan bagian yang bertegangan.



Gambar 2. 16 konstruksi pemisah

Keterangan:

1. Rangka pendukung pada pemisah.
2. Penggerak mekanik pada pemisah.
3. Pemutar pada pemisah.
4. Isolator pada pemisah.
5. Saklar utama pada pemisah.
6. Kontak pada pemisah.
7. Sela pelindung pada pemisah.
8. Saklar pembumian pada pemisah.
9. Terminal pada pemisah.

2.3.10. Thermovision

Setiap peralatan listrik sebagian besar mempunyai peralatan sifat konduktivitas listrik atau mampu menghantarkan listrik karena terbuat dari logam. Apabila peralatan tersebut dialiri arus listrik, maka peralatan tersebut tentunya akan menghasilkan panas. Suhu panas yang melewati batas toleransi saat alat beroperasi merupakan gangguan atau ketidaknormalan bagi alat tersebut. Hal ini dapat menimbulkan kerusakan-kerusakan lain apabila tidak segera ditangani. Untuk mencegah hal ini, maka dilakukannya pengecekan dan pemeliharaan secara berkala, yaitu dengan mengamati suhu komponen dengan menggunakan thermal camera atau thermovisi. Pengukuran ini menggunakan sinar inframerah yang di pancarkan oleh thermal imagers sehingga pada display thermal imagers dapat menunjukkan besar suhu dari alat yang diukur. Prinsip kerja dari pengukuran ini yaitu, dengan mengukur nilai perbandingan energi yang diradiasikan oleh suatu objek (gelombang elektromagnet) terhadap energi yang diradiasikan oleh benda hitam pada suhu dan gelombang yang sama.

2.3.11. Pengukuran thermovision

Metode *thermovision thermal imager* pada pemisah bertujuan untuk memantau kondisi pemisah saat berbeban. Dimana akan dilihat pola temperatur pada bagian-bagian pemisah yang akan diukur. Dari pola temperatur tersebut, akan dilihat bagian mana pada pemisah yang diukur tersebut yang terdapat ketidaknormalan. Dari hasil pengukuran tersebut akan dievaluasi kembali apa permasalahan yang terjadi pada bagian yang teridentifikasi mengalami ketidaknormalan tersebut, sehingga kerusakan yang fatal dapat dihindarkan.

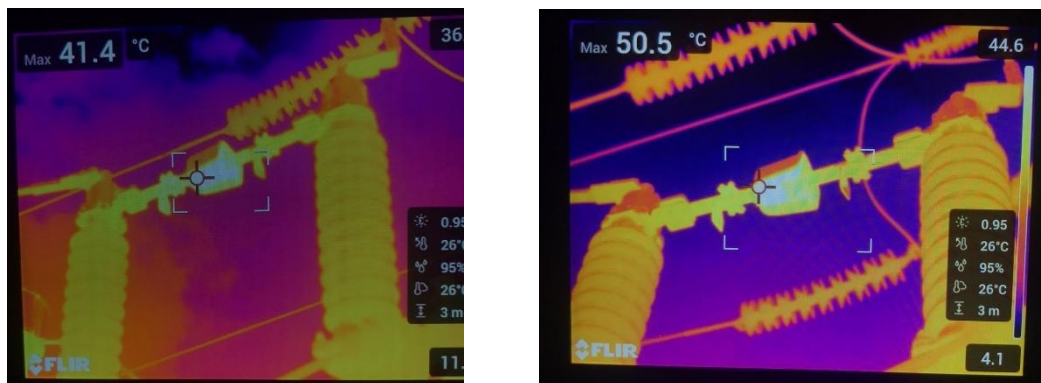
Adapun bagian-bagian pada pemisah tersebut adalah :

1. Pisau/kontak pemisah
2. Terminal utama/klem pemisah



Gambar 2. 17 Alat ukur thermovision

Alat thermovisi atau *thermal camera*, alat ini menggunakan sinar Inframerah yang dipancarkan oleh thermovisi sehingga akan terlihat besaran suhu beserta letak titik panasnya. Prinsip kerja pengukuran alat ini adalah dengan cara mengukur nilai perbandingan energi yang telah diradiasikan oleh objek (gelombang elektromagnet) terhadap energi yang telah diradiasikan oleh benda hitam pada suhu dan gelombang yang sama. Radiasi adalah gelombang elektromagnetik hasil dari panas suatu objek yang terdiri dari Foton. Foton tersebut akan mengeksitasi elektron dari objek yang telah dikenainya sehingga memiliki tingkat energi yang lebih tinggi. Setiap benda memiliki nilai emisivitas yang beragam, nilai emisivitas tersebut berkisar antara nilai 0 dan 1. Seperti *aluminium conductor galvanized steel reinforce* (ACSR) menurut *Satir corporation* adalah 0,5. Dalam buku pedoman PLN No. 0520-2.K/DIR/2014 (2014), dijelaskan prosedur pemeliharaan terhadap peralatan atau aset PLN di Gardu Induk, salah satunya adalah pengukuran menggunakan Thermovisi (Paladan, 2020).



Gambar 2. 18 contoh pengukuran hotspot menggunakan thermovisi

Pengukuran suhu dengan termografi selalu memberikan nilai absolut dari objek yang di ukur. Untuk menentukan apakah suhu objek terlalu panas (*overheating*), ada dua metode pelaksanaan *thermovisi*, yaitu:

- Pemeriksaan pada terminal utama dilakukan dengan mengamati perbedaan suhu antara dua titik dengan komponen atau material yang berbeda. Misalnya, selisih suhu antara klem dan konduktor.
- Pemeriksaan pada pisau pemisah dilakukan dengan membandingkan suhu pisau pemisah antara fasa dengan fasa lainnya.

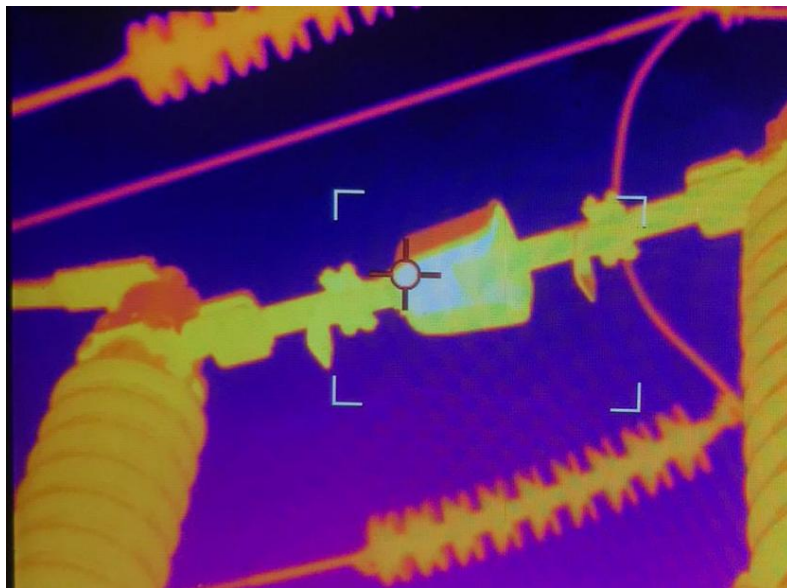
Berdasarkan standar dari *International Electrical Testing Association (NETA) Maintenance Testing Spesification (NETA MTS-1997)* terdapat 2 (dua) macam ΔT yang dapat dipakai sebagai acuan justifikasi kondisi, yaitu :

- a. $\Delta T1$: merupakan perbedaan/selisih suhu antar fasa (dengan fasa lainnya)
 - Kondisi I : $1^{\circ}\text{C} < \Delta t \leq 3^{\circ}\text{C}$
 - Kondisi II : $4^{\circ}\text{C} < \Delta t \leq 15^{\circ}\text{C}$
 - Kondisi III : $\Delta t > 15^{\circ}\text{C}$
- b. $\Delta T2$: merupakan perbedaan/ selisih suhu diatas suhu lingkungan (*over ambient temperature*).
 - Kondisi I : $1^{\circ}\text{C} < \Delta t \leq 3^{\circ}\text{C}$

- Kondisi II : $11^{\circ}\text{C} < \Delta t \leq 20^{\circ}\text{C}$
- Kondisi III : $21^{\circ}\text{C} < \Delta t \leq 40^{\circ}\text{C}$
- Kondisi IV : $\Delta t > 40^{\circ}\text{C}$

2.3.12. Hotspot

Pada komponen pemisah atau *disconnection switch* temperatur yang didapatkan, ketidaknormalan pada komponen pemisah dapat diketahui hasil pengukuran yang didapatkan. Evaluasi akan dilakukan apabila terdapat masalah atau persoalan yang timbul pada bagian komponen pada pemisah yang terindikasi dalam kondisi abnormal atau berbeda dari seharusnya. Terjadinya ketidaknormalan atau hotspot ini disebabkan karena terjadinya titik panas yang ada pada komponen pemisah sehingga menimbulkan terjadinya kerusakan atau lelehan pada komponen pemisah. Jika hal ini dibiarkan maka akan menimbulkan dampak kerugian baik secara material maupun secara ekonomi. Untuk mencegah terjadinya kegagalan atau kerusakan maka perlu dilakukan monitoring pada setiap komponen yang berada pada pemisah.



Gambar 2. 19 Titik Hotspot Pada Pemisah Tenaga (PMS)

A. Penyebab Terjadinya Hotspot

- Adanya Cat Pada Material

Perbedaan jenis material antara klem dan konduktor akan mengakibatkan arus tidak mengalir dengan baik sehingga akan menimbulkan bunga api (Panas). Contohnya seperti adanya cat pada klem atau konduktor. Cat merupakan bahan yang tidak dapat menghantarkan arus listrik dengan baik, karena inilah arus listrik tidak dapat mengalir sehingga timbul panas. (Septiani, 2020).

- **Getaran Yang Terus Menerus Secara Periodik**

Getaran yang terus terjadi akan mengakibatkan sambungan antara klem dan konduktor terus bergerak hal ini akan mengakibatkan adanya jarak antara klem dan konduktor yang mengakibatkan timbulnya loncatan busur api. Getaran ini terjadi jika sambungan itu tidak terpasang dengan sempurna. Getaran yang ada di switchyard mungkin bisa terjadi ketika ada pekerjaan manuver MTU (Material Transmisi Utama) ataupun GI yang berdekatan dengan pembangkit.

- **Zat Kimia Dan Kotoran**

Peralatan switchyard yang berada di daerah pabrik atau yang memiliki polutan tinggi mempunyai resiko korosi yang besar. Hal ini diakibatkan oleh faktor eksternal yaitu zat kimia dari pabrik ataupun kelembaban daerah sekitar switchyard. Pemakaian contact grease yang salah juga dapat menyebabkan kotoran / polutan akan menempel pada material. Korosi, lumut ataupun bekas cat bisa dibersihkan dengan sikat besi, kita harus berhati hati dalam menyikat klem, jangan sampai membuat klem rusak tidak rata.

- **Permukaan Sentuh Yang Tidak Rata**

Seperti yang kita ketahui, permukaan klem dan konduktor harus rapat atau menyatu dengan sempurna agar tidak ada jarak yang dapat menimbulkan hambatan. Hal ini dapat terjadi bukan hanya karena material klem tidak rata, juga dapat terjadi karena mur baut yang kurang kencang dan adanya kawat, kabel tie, atau benda yang ada diantara konektor dan klem. Maka dari itu permukaan klem harus rata dan menyatu dengan konduktor dengan sempurna. Dapat kita lihat gambar dibawah ini menunjukkan keadaan dimana saat permukaan sentuhnya rata ataupun tidak.

- **Degradasi Material**

Degradasi atau kerusakan material adalah hal yang tidak bisa terelakkan karena setiap material mempunyai life time nya sendiri. Salah satu contoh yang sering terjadi adalah munculnya korosi. Hal ini tentunya dapat dicegah dengan cara pergantian material dan memilih material dengan kualitas yang baik

- **Beban Yang Tinggi Secara Terus Menerus**

Besar beban yang mengalir pasti akan berubah terus menerus setiap waktunya. Tentunya PT. PLN sudah mengantisipasi beban yang tinggi dengan cara menyiapkan material yang bisa mengaliri arus lebih dari standar. Tetapi keadaan setiap material tentunya tidak semuanya baik. Ketika beban yang tinggi mengalir material yang kurang baik akan menyebabkan keadaan material bertambah buruk contohnya konduktor mengembah / memuai sampai konduktor putus. Pada keadaan seperti ini tentunya akan menimbulkan hot point pada konduktor

B. Perbaikan hotspot

PMS atau Pemisah Tenaga sering kali terjadi hotspot dikarenakan adanya resistansi yang meningkat secara terus menerus sehingga dapat menimbulkan terjadinya titik hotspot yang jika dibiarkan dapat merusak peralatan pada pemisah.



Gambar 2. 20 Perbaikan Hotspot (Multi et al., 2022)

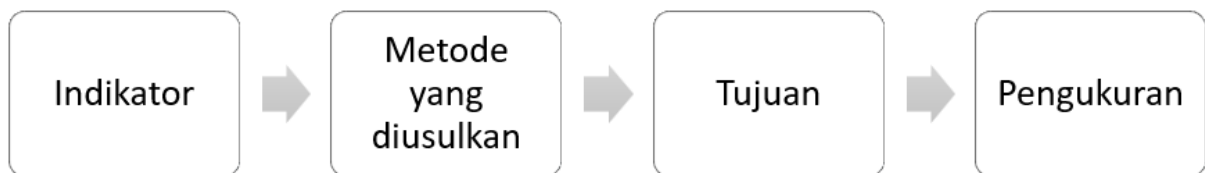
Pelaksanaan perbaikan hotspot dilakukan guna menghindari suhu yang tinggi pada pemisah yang jika dibiarkan akan merusak komponen listrik dan menyebabkan kegagalan pada sistem, memperpanjang umur dari peralatan pada pemisah, meningkatkan efisiensi aliran listrik dan meningkatkan konsumsi energi, menghindari terjadinya kegagalan akibat terjadinya hotspot yang dapat menyebabkan gangguan listrik yang memerlukan waktu dan biaya perbaikan yang tinggi.

Tahapan pelaksanaan :

- Melakukan *breafing* kepada setiap pekerja
- Melakukan persiapan peralatan pada perbaikan terjadinya titik *hotspot* pada pemisah
- Memberikan pembagian tugas pekerjaan kepada seluruh pekerja.
- Memastikan peralatan pemisah yang akan dilakukan perbaikan telah bebas dari tegangan.
- Memasang pemisah pentanahan *local*.
- Melakukan pengujian tahanan kontak pada pisau pemisah untuk mengetahui resistansi sebelum perbaikan.

- Membersihkan pisau kontak atau contact finger dengan menggunakan *scothbrite* dan *sakaphen cleaner* atau *WD cleaner*.
- Melakukan pengujian tahanan kontak pada pisau pemisah tenaga untuk mengetahui resistansi setelah perbaikan.
- Merapikan peralatan yang telah dipakai pada perbaikan hostpot.
- Pekerjaan telah selesai.

2.4. Kerangka Pemikiran (Opsional)



Gambar 2. 21 Kerangka Pemikiran

1) Indikator

Dalam penelitian ini, yang di jadikan indikator adalah Analisis Hotspot pada klem PMS di Gardu Induk.

2) Metode yang diusulkan

Dalam analisis hotspot ini peneliti menggunakan metode Thermovision.

3) Tujuan

Tujuan penelitian yaitu mengidentifikasi lokasi hotspot pada PMS di gardu induk menggunakan thermovisi agar dapat diketahui penyebab terjadinya hotspot.

4) Pengukuran

Pada penelitian ini, peneliti memilih menggunakan metode thermovisi agar dapat diuji dan dianalisis.