
Analisa Perbaikan Hotspot Dalam Keadaan Bertegangan Dan Tidak Bertegangan di PT. PLN (Persero) UPT Cawang

Samuel Frando Gurning, Sumpena

¹Teknik Elektro, Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma Jakarta, Indonesia

Abstrak

Penelitian ini menganalisis perbaikan hotspot dalam sistem kelistrikan di UPT Cawang dengan membandingkan dua metode perbaikan, yaitu PDKB (Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan) dan offline (tidak bertegangan), melalui analisis hasil termovisi. Hotspot pada titik sambungan klem dan konduktor dapat menyebabkan kerusakan serius jika tidak segera ditangani, mengurangi keandalan sistem, dan meningkatkan risiko pemadaman listrik. Metode offline dapat menyebabkan rugi-rugi daya dan gangguan layanan, sedangkan PDKB memungkinkan perbaikan dilakukan tanpa mematikan sistem, meskipun membutuhkan teknik dan alat khusus. Penelitian ini menggunakan analisis ΔT suhu untuk mengevaluasi keparahan hotspot, menghitung gain saving dari metode PDKB, dan menganalisis rugi-rugi daya pada metode offline. Data termovisi dari GI Cibubur dan GI Jatirangon menunjukkan ΔT tinggi pada beberapa fase, menandakan perlunya perbaikan sesuai standar PLN. Perbaikan menggunakan PDKB di GI Cibubur menurunkan suhu dari 59°C menjadi 35,7°C dengan mematikan tegangan, sementara perbaikan offline di GI Jatirangon menurunkan suhu dari 62°C menjadi 39,9°C pada Fasa R dan 57°C menjadi 40,2°C pada Fasa S tanpa mematikan tegangan. Analisis gain saving menunjukkan metode PDKB menghemat energi sebesar 694.440 kWh, sedangkan metode offline menyebabkan kerugian daya sebesar 285.260 kWh, menyoroti keuntungan ekonomis dari PDKB dibandingkan kerugian pada metode offline.

Kata Kunci: PDKB (Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan), offline, hotspot, termovisi

Abstract

This study analyses the repair of hotspots in the electrical system at UPT Cawang by comparing two repair methods, namely PDKB (Work Under Voltage) and offline (no voltage), through analysis of thermovision results. Hotspots at the connection points of clamps and conductors can cause serious damage if not addressed immediately, reduce system reliability, and increase the risk of power outages. Offline methods can lead to power losses and service interruptions, while PDKB allows repairs to be carried out without shutting down the system, although it requires specialised techniques and tools. This study uses temperature ΔT analysis to evaluate the severity of hotspots, calculate the saving gain of the PDKB method, and analyse the power loss of the offline method. Thermovision data from GI Cibubur and GI Jatirangon showed high ΔT in some phases, signalling the need for repairs according to PLN standards. Repairs using PDKB at GI Cibubur reduced the temperature from 59°C to 35.7°C by removing the voltage, while offline repairs at GI Jatirangon reduced the temperature from 62°C to 39.9°C in Phase R and 57°C to 40.2°C in Phase S without removing the voltage. The gain saving analysis showed that the PDKB method saved 694,440 kWh of energy, while the offline method caused a power loss of 285,260 kWh, highlighting the economic advantage of the PDKB over the loss in the offline method.

Keywords: PDKB (Work Under Voltage), offline, hotspot, thermovision

1. Pendahuluan

Sistem kelistrikan merupakan sistem yang sangat kompleks, yang mana pada sistem kelistrikan terdapat 3 bagian besar yakni sistem pembangkit, sistem transmisi dan sistem distribusi. Pada sistem Transmisi sangat berperan dalam penyaluran listrik bahkan dikatakan sebagai urat nadi sistem tenaga listrik yang mempengaruhi kemandirian dan perekonomian suatu negara. Seiring dengan pertumbuhan penduduk yang meningkat maka pertumbuhan kebutuhan energi listrik pun akan meningkat, hal tersebut juga terjadi di Indonesia yang memiliki pertumbuhan penduduk yang meningkat. Hal tersebut menjadi tantangan yang cukup besar bagi penyedia energi listrik di Indonesia terutama pada sistem Transmisi karena pusat pembangkitan dengan pusat pertumbuhan penduduk memiliki jarak yang jauh. Akan tetapi dalam pengoperasian sistem Transmisi tak luput dari berbagai gangguan dan anomali yang dapat merusak keandalan sistem dari penyaluran listrik.

Anomali hotspot merupakan kelainan temperatur yang terjadi pada peralatan yang dialiri arus listrik umumnya terjadi pada titik sambungan. Ada beberapa faktor yang dapat menyebabkan gangguan dan anomali tersebut sehingga akan berdampak pada kerugian energi yang tidak tersalurkan atau terputusnya penyaluran energi listrik.

Hotspot dapat menyebabkan kerugian karena energi listrik diubah menjadi energi panas pada titik terjadinya hotspot. Hotspot juga dapat menyebabkan rusaknya bagian peralatan transmisi karena melebur akibat panas yang tinggi. Maka dari itu anomali hotspot harus secepatnya ditangani karena dapat menyebabkan kerugian energi, kegagalan mekanis dan kegagalan elektrik. Pada sistem penyaluran transmisi sering mengalami anomali hotspot karena beban arus yang tinggi. Hotspot dapat terjadi pada jaringan SUTT/SUTET mau pun instalasi GI/GITET. Hotspot dapat dideteksi menggunakan alat termovisi yang mengukur anomali temperatur pada titik terjadinya hotspot. Inspeksi berkala menggunakan termovisi bertujuan mendeteksi kemunculan hotspot. Setelah terdeteksi anomali hotspot dilakukan perbaikan dengan cara membersihkan titik hotspot atau menambah konduktor jumper. Perbaikan hotspot dapat dilakukan dengan 2 pilihan metode kerja yakni dengan pemadaman listrik atau tanpa pemadaman listrik.

Anomali hotspot yang terjadi pada GI Cibubur dan GI Jatirangon terjadi karena kotoran yang menempel pada permukaan klem sehingga mengakibatkan munculnya hambatan. Jaringan Transmisi Listrik PLN merupakan aset sensitif, dimana aset ini memberi kontribusi yang besar dalam keberhasilan usahanya, perlu melaksanakan pengelolaan aset dengan baik dan sesuai dengan standar pengelolaan aset. Maka perlu dilakukan inspeksi secara berkala menggunakan termovisi serta perbaikan anomali hotspot yang tanpa padam. Berdasarkan masalah tersebut penulis mengambil topik pembahasan mengenai analisa hasil perbaikan hotspot dengan data pekerjaan secara PDKB dan dengan data pekerjaan secara offline.

2. Materi dan Metode

2.1 Materi

a. Pengertian *Disconnecting switch*

Disconnecting switch atau PMS (Pemisah) adalah peralatan dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi sebagai saklar pemisah rangkaian listrik dalam kondisi bertegangan atau tidak bertegangan, namun tanpa arus beban. PMS biasanya ditempatkan antara sumber tenaga listrik dan PMT (PMSBus) serta antara PMT dan beban (PMSLine/Kabel), dan sering dilengkapi dengan PMS Tanah (*Earthing Switch*). *Interlock* biasanya digunakan antara PMSLine/Kabel dan PMS Tanah. PMS terdiri dari dua komponen utama: dielektrik/isolator, yang memisahkan bagian bertegangan dan tidak bertegangan, serta subsistem primary, yang menghantarkan arus listrik melalui klem dan *contact finger*. *Contact finger* merupakan bagian dari pemisah tegangan [1].

b. Pemisah Tegangan

Pemisah adalah suatu alat untuk memisahkan tegangan pada peralatan instalasi tegangan tinggi. Ada dua macam fungsi pemisah, yaitu:

a) Pemisah Pentanahan

Berfungsi untuk menghilangkan/mentanahkan tegangan induksi atau tegangan sisa yang masih ada di instalasi gardu induk.

b) Pemisah Peralatan

Berfungsi untuk mengisolasi peralatan listrik dari peralatan lain atau instalasi lain yang bertegangan. Pemisah ini boleh dibuka atau ditutup hanya pada rangkaian yang tidak berbeban. Parameter pemisah tegangan mempunyai peranan penting untuk menentukan kualitas dari pemisah itu sendiri. Parameter tersebut diantaranya adalah:

- Kemampuan Mengalirkan Arus
- Kemampuan Tegangan
- Kemampuan Menahan Arus Hubung Singkat [2]

c. Jenis Tenaga Penggerak

Berdasarkan jenis tenaga penggerak pemisah tegangan pada instalasi tegangan tinggi dapat dibedakan menjadi:

a) Secara Manual

Pengoperasian pemisah secara manual dilakukan dengan memutar atau menggerakkan lengan yang terpasang pada sistem untuk mengeluarkan atau memasukkan material. Operator harus menggerakkan lengan ke posisi yang tepat untuk memastikan proses berjalan lancar. Desain lengan memungkinkan kontrol presisi dan efisiensi dalam pengelolaan material, sehingga diperlukan perhatian dan keterampilan operator untuk mengoptimalkan fungsi pemisah dan mengurangi risiko kerusakan atau kecelakaan.

b) Tenaga Penggerak dengan Motor

Motor penggerak ini terpasang pada box mekanik dimana box harus dalam keadaan bersih. Secara periodic dilakukan pemeliharaan. Pintu box harus tertutup rapat agar semut atau binatang kecil lainnya tidak bisa masuk kedalamnya.

c) Tenaga Penggerak Tekanan Udara

Tekan udara dapat diperoleh dari kompresor udara sentral yang terpasang dalam rumah kompresor.

d) *Hotspot*

Hotspot adalah panas terpusat pada peralatan listrik yang dialiri arus, yang dapat dideteksi dengan alat termovisi. *Hotspot* merupakan anomali yang dapat mengganggu sistem penyaluran listrik, terutama pada jaringan transmisi seperti SUTT dan SUTET, sering terjadi pada sambungan konduktor atau klem. Penyebabnya adalah peningkatan tahanan sambungan akibat polusi, yang menghasilkan panas berlebih saat arus listrik melewati sambungan tersebut.

1) Faktor *Hotspot*

- Penyambungan
Penggunaan klem dalam penyambungan harus memiliki kekencangan yang sesuai tidak boleh terlalu kendur maupun terlalu kencang. Selain kekuatan sambungan cela udara juga menjadi faktor kualitas komponen ini.
- Korosi Dan Oksidasi
Sambungan atau klem yang terpapar elemen cuaca atau bahan kimia bisa mengalami korosi atau oksidasi. Kedua proses ini dapat meningkatkan resistansi dan mengurangi efisiensi konduksi listrik, yang kemudian menghasilkan panas dan menciptakan *hotspot*.
- Pengaruh Gangguan
Gangguan yang menimbulkan arus lebih dapat menyebabkan terjadinya *hotspot* di titik sambungan. Gangguan umum yang sering terjadi adalah pohon yang tumbang atau dahan yang mengenai konduktor sehingga akan menyebabkan gangguan 1 fasa ke tanah maupun fasa ke fasa.
- Hambatan
Hambatan memiliki sifat menahan arus listrik serta dapat mengubah energi listrik menjadi energi panas, semakin tinggi arus beban maka kenaikan panas juga akan semakin besar. Panas yang dihasilkan karena adanya hambatan maka akan menyebabkan sambungan dan klem mengalami pemuaihan. Apabila dalam pemasangan klem jumper konduktor memiliki cela udara maka kotoran dapat masuk dan menjadi hambatan.
- Beban
Jumlah beban yang tinggi juga dapat menyebabkan terjadinya *hotspot* pada konduktor dan sambungan. Hal tersebut terjadi pada saat terdapat beban baru yang begitu besar dan terus menerus.

2) Kerugian *Hotspot*

Umur peralatan atau timbulnya panas pada material transmisi dapat menyebabkan anomali berupa penurunan andongan bahkan gangguan berupa pemadaman tidak terencana, yang mengancam keselamatan dan stabilitas penyaluran listrik [5]. Curah hujan dan titik panas saluran transmisi listrik dapat diakibatkan oleh kondisi cuaca yang ekstrim, sehingga menyebabkan:

- Kekuatan mekanis dari konduktor dan klem akan melemah
- Konduktor dan klem akan bertambah panjang
- Penampang konduktor maupun klem akan mengecil
- Konduktor akan putus
- Rugi daya akibat *hotspot*
- Rugi biaya akibat *hotspot*

3) Cara Mengurangi atau Memperbaiki *Hotspot*

Cara yang dapat dilakukan dalam perbaikan *hotspot* dibagi menjadi 3, tergantung dari titik serta keadaan komponen yang terkena *hotspot*, Adapun metode yang digunakan untuk perbaikan *hotspot* adalah:

- a. Membersihkan bagian yang mengalami *hotspot* jika komponen tersebut dapat dilakukan bongkar pasang.
- b. Menambah jumper tambahan untuk menambah luas penampang konduktor sehingga arus listrik yang melewati titik *hotspot* dapat terbagi.
- c. Mengganti komponen yang mengalami *hotspot* jika komponen tersebut sudah mengalami pemuaihan yang signifikan sehingga kekuatan mekaniknya berkurang.

d. **Thermovisi**

a) Inspeksi Thermovisi

Pengukuran suhu secara langsung menggunakan termometer tidak mungkin dilakukan sebab tegangan listrik yang tinggi. Untuk mengetahui hal tersebut inspeksi peralatan dari *hotspot* menggunakan alat berupa termovisi [6]. Pengukuran suhu dengan termovisi akan memberikan nilai suhu dari objek terukur. Untuk mengetahui dengan benar suhu objek yang mengalami panas, ada dua cara yang dapat mengetahui nilai hasil ukur yang benar.

- Membandingkan hasil ukur dengan suhu operasi objek.

- Membandingkan hasil ukur dengan hasil ukur objek lain yang sama disekitarnya.
- b) Kamera Suhu Flir Sistem
Kamera Suhu Flir Sistem adalah alat pengukur suhu yang bekerja dengan merefleksikan cahaya inframerah pada objek, lalu menangkap dan menampilkan suhu objek tersebut pada sebuah layar. Alat ini dapat menyimpan foto hasil pengukuran suhu dan sangat penting dalam industri penyaluran listrik, karena dapat mendeteksi kenaikan suhu yang terjadi akibat kelainan pada peralatan.
- c) Perbandingan Suhu Klem dan Suhu Konduktor
Pengukuran suhu dengan termovisi adalah teknik penting untuk memantau kondisi operasional peralatan listrik, khususnya dalam mendeteksi hotspot. Pengukuran dilakukan pada dua titik utama: suhu konduktor dan suhu pada klem atau sambungan. Konduktor adalah elemen yang mengalirkan arus listrik, sementara klem adalah titik penghubung yang rentan terhadap masalah seperti peningkatan resistansi atau kerusakan mekanis. Suhu konduktor memberikan informasi tentang kondisi arus listrik, sedangkan suhu klem dapat mengindikasikan masalah seperti korosi atau kelonggaran sambungan, yang dapat menyebabkan hotspot. Analisis kenaikan suhu hotspot dari suhu lingkungan dilakukan dengan persamaan (2. 4):

$$\Delta T = \left| \frac{\left(\frac{I}{I_{\max}} \right)^2}{\left(\frac{I_{\text{thermovisi}}}{I_{\text{maks}}} \right)} \right| (T_{\text{klem}} - T_{\text{ruangan}}) \quad (2.4)$$

Dimana:

- I_{\max} = Arus maksimum yang pernah dicapai
- $I_{\text{thermovisi}}$ = Arus beban saat shooting
- T_{klem} = Suhu objek klem
- T_{ruangan} = Suhu objek konduktor

Termovisi memiliki standar kondisi dalam menentukan suhunya sesuai rekomendasi buku PLN SK DIR 520 2014 sebagai berikut:

- 0 – 10 < : kondisi baik
- > 10 - 25 : periksa saat pemeliharaan
- > 25 - 40 : rencanakan perbaikan (maksimal 30 hari)
- > 40 - 70 : perbaiki segera
- > 70 : kondisi darurat [7]

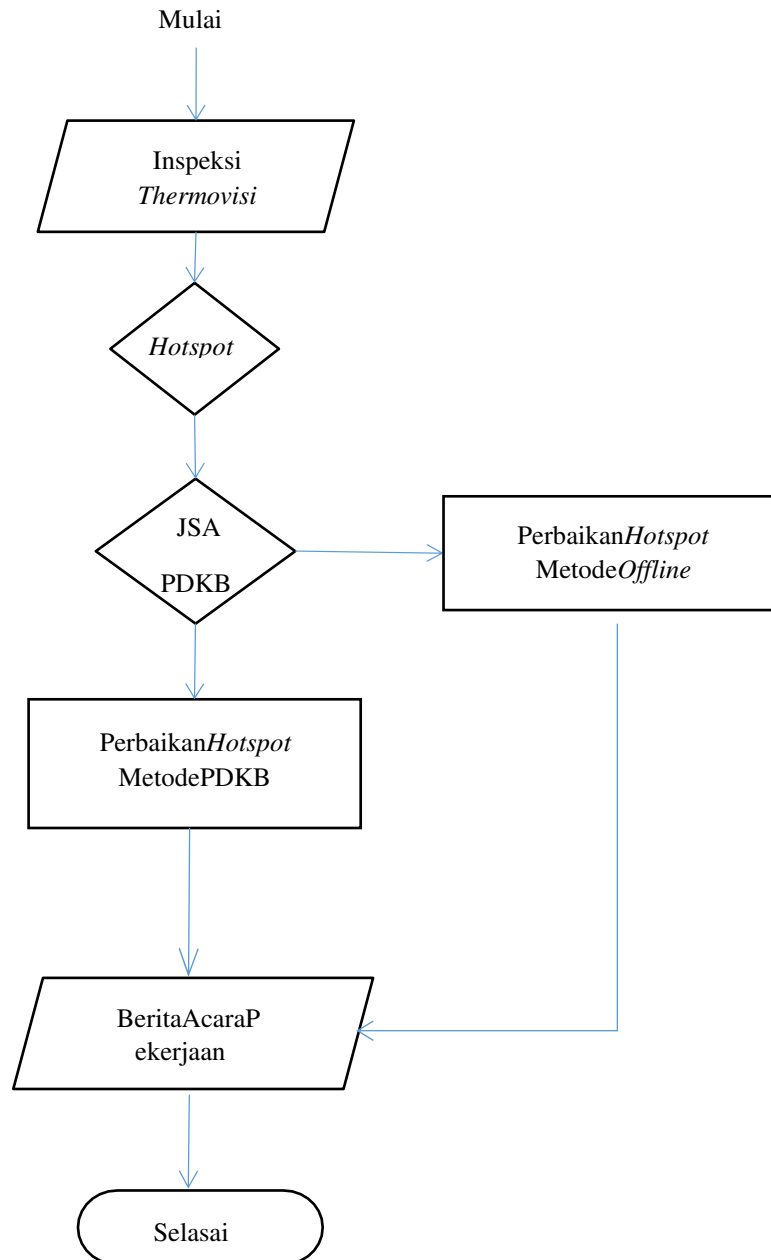
e. Metode Pekerjaan dan Keadaan Bertegangan (PDKB)

Metode Pekerjaan dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) adalah teknik yang memungkinkan pekerjaan pada peralatan listrik yang masih dialiri arus, tanpa mematikan sistem. Metode ini penting untuk menjaga kontinuitas pasokan listrik dan menghindari kerugian ekonomi akibat penghentian operasi. PDKB dilakukan dengan prosedur dan peralatan khusus untuk memastikan keselamatan pekerja, termasuk penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) seperti sarung tangan isolasi dan pelindung wajah. Pekerja yang melakukan PDKB harus memiliki kualifikasi dan pelatihan khusus, serta mematuhi prosedur ketat dan pemantauan kontinu untuk mengurangi risiko dan menjamin keselamatan serta keandalan sistem.

2.2 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PT. PLN (Persero) Unit Induk Jawa Bagian Barat Uni Pelaksana Transmisi (UPT) Cawang. Data penelitian ini diambil dari pekerjaan perbaikan *hotspot* GI Cibubur bay cibinong 2 secara *offline* pada tanggal 20 Mei 2024 dan pekerjaan perbaikan *hotspot* GI Jatirangon Bay Trafo 2 fasa secara PDKB pada hari Jum'at tanggal 21 Mei 2024

Berikut urutan *flowchart* dalam melaksanakan perbaikan *hotspot* baik secara PDKB maupun secara *Offline*.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Parameter Penelitian:

1. Identifikasi Hotspot: Mengidentifikasi jenis dan lokasi hotspot pada gardu induk.
2. Metode Deteksi: Menggunakan kamera termal dan sensor suhu.
3. Suhu Hotspot: Mengukur suhu sebelum dan sesudah perbaikan.
4. Durasi Pekerjaan: Waktu yang dihabiskan untuk perbaikan.
5. Teknik Perbaikan: Mengatasi hotspot melalui pengencangan sambungan, penggantian komponen, atau pembersihan.
6. Efektivitas Perbaikan: Menilai penurunan suhu dan stabilitas suhu pasca perbaikan.

Pengumpulan Data:

- Studi Literatur: Mengumpulkan referensi dari berbagai sumber untuk menyusun dasar teori.
- Observasi: Mengamati langsung objek yang diteliti.
- Wawancara: Mengumpulkan data primer dan sekunder melalui wawancara dengan pengawas dan manajemen terkait.

Teknik Pengolahan Data:

Pengukuran suhu pada klem PMS dilakukan menggunakan thermovisi. Perbaikan dilakukan dengan menghitung rugi-rugi daya dan gain saving pada perbaikan hotspot baik secara offline maupun PDKB.

JSA Hotspot PDKB

JSA yang dilakukan oleh tim PDKB dalam pekerjaan perbaikan hotspot di GI Jatirangon PMS rel b Bay Trafo 2 adalah dengan mengukur jarak antara PMS, tinggi PMS jarak antara PMS dan mengukur suhu pada klem.

- Jarak antara PMS sejauh 3 Meter
- Lebar PMS selebar 1,8 Meter
- Tinggi PMS setinggi 4,5 Meter
- Suhu Klem CF PMS pada saat JSA
 - Pada fasa R sebesar 62 °Celcius
 - Pada fasa S sebesar 57 °Celcius
 - Pada fasa T sebesar 45 °Celcius

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil analisis dilakukan setelah melakukan inspeksi menggunakan teknologi *thermovisi* untuk mendeteksi adanya hotspot pada peralatan listrik. Setelah hotspot terdeteksi, dilakukan Job Safety Analysis (JSA) untuk menentukan apakah perbaikan dapat dilakukan menggunakan metode PDKB atau harus dilakukan dengan metode Offline. Setelah perbaikan selesai, dibuat berita acara yang mendokumentasikan hasil pekerjaan. Lalu tahap terakhir dari penelitian ini adalah menarik kesimpulan.

3.1 Analisis Hasil Thermovisi

Data thermovisi diambil berdasarkan berita acara pekerjaan, dengan titik pengukuran meliputi terminal jumper dalam dan luar serta dead end compression pada penghantar I Fasa RST. Analisis thermovisi fokus pada sambungan antar klem dan konduktor, di mana digunakan persamaan kriteria ΔT . Oleh karena itu, penulis menganalisis data thermovisi dengan memfokuskan pada sambungan tersebut, serta menghitung perbedaan suhu antar klem dan konduktor (ΔT) sesuai dengan persamaan:

$$\Delta T = \left| \frac{\left(I_{\max} \right)^2}{\left(\text{thermovisi} \right)} \right| \left(I_{\text{klem}} - T_{\text{ruangan}} \right) \quad (2.4)$$

3.1.1 Analisis Hasil Thermovisi pada GI Cibubur Bay Cibinong 2

Hasil data thermovisi pada tanggal 3 Mei 2024 adalah sebagai berikut:

- Arus Beban Penghantar Saat Shooting
 - Fasa R sebesar 610 A
 - Fasa S sebesar 610 A
 - Fasa T sebesar 610 A
- Arus Maksimum yang Pernah Dicapai
 - Fasa R sebesar 695 A
 - Fasa S sebesar 695 A
 - Fasa T sebesar 695 A
- Suhu Pada Sambungan
 - Fasa R sebesar 59° Celcius
 - Fasa S sebesar 34° Celcius
 - Fasa T sebesar 33° Celcius
- Suhu Konduktor
 - Fasa R sebesar 31° Celcius
 - Fasa S sebesar 31° Celcius
 - Fasa T sebesar 31° Celcius

ΔT dihitung menggunakan persamaan (2.4) sehingga didapatkan hasil sebagai berikut:

$$\Delta T = \left| \frac{\left(I_{\max} \right)^2}{\left(\text{thermovisi} \right)} \right| \left(I_{\text{klem}} - T_{\text{ruangan}} \right)$$

$$\begin{aligned} \Delta T_{\text{Fasa R}} &= (695/610)^2 (59-31) \\ &= (1,139)^2 (28) \\ &= (1,298) (28) \\ &= 36,346^{\circ}\text{Celcius} \\ \Delta T_{\text{Fasa S}} &= (695/610)^2 (34-31) \\ &= (1,139)^2 (3) \\ &= (1,298) (3) \\ &= 3,8^{\circ}\text{Celcius} \\ \Delta T_{\text{Fasa R}} &= (695/610)^2 (33-31) \\ &= (1,139)^2 (2) \\ &= (1,299) (2) \\ &= 2,5^{\circ}\text{Celcius} \end{aligned}$$

Sesuai rekomendasi buku PLN SK DIR 520 2014 maka pada:

- Pada fasa R karena ΔT telah mencapai $36,346^{\circ}\text{Celcius}$ maka dijadwalkan perbaikan
- Pada fasa S karena ΔT hanya $3,8^{\circ}\text{Celcius}$ hasil pengukuran di tempat suhu normal
- Pada fasa T karena ΔT hanya $2,5^{\circ}\text{Celcius}$ hasil pengukuran di tempat suhu normal

3.1.2 Analisa Hasil Thermovisi pada GI Jatirangon PMS rel b Bay Trafo 2

Hasil data thermovisi pada hari Senin tanggal 18 Mei 2024 adalah sebagai berikut:

- Arus Beban Penghantar Saat Shooting
 - Fasa R sebesar 990 A
 - Fasa S sebesar 990 A
 - Fasa T sebesar 990 A
- Arus Maksimum yang Pernah Dicapai
 - Fasa R sebesar 1200 A
 - Fasa S sebesar 1200 A
 - Fasa T sebesar 1200 A
- Suhu Pada Sambungan
 - Fasa R sebesar 62°Celcius
 - Fasa S sebesar 57°Celcius
 - Fasa T sebesar 45°Celcius
- Suhu Konduktor
 - Fasa R sebesar 39°Celcius
 - Fasa S sebesar 39°Celcius
 - Fasa T sebesar 39°Celcius

ΔT dihitung menggunakan persamaan (2. 4) sehingga didapat hasil sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Delta T_{\text{Fasa R}} &= \frac{\left(\frac{I_{\text{max}}}{I_{\text{thermovisi}}} \right)^2 (T_{\text{ruangan}} - T_{\text{ambien}})}{1} \\ &= \frac{(1200/990)^2 (62-39)}{(1,21)^2 (23)} \\ &= (1,21)^2 (23) \\ &= (1,469) (23) \\ &= 33,78^{\circ}\text{Celcius} \\ \Delta T_{\text{Fasa S}} &= (1200/990)^2 (57-39) \\ &= (1,21)^2 (18) \\ &= (1,469) (18) \\ &= 26,44^{\circ}\text{Celcius} \\ \Delta T_{\text{Fasa T}} &= (1200/990)^2 (45-39) \\ &= (1,21)^2 (6) \\ &= (1,46) (5,2) \\ &= 8,76^{\circ}\text{Celcius} \end{aligned}$$

Sesuai rekomendasi buku PLN SK DIR 520 2014 maka pada:

- Pada fasa R karena ΔT telah mencapai $33,78^{\circ}\text{Celcius}$ maka dijadwalkan perbaikan
- Pada fasa S karena ΔT telah mencapai $26,44^{\circ}\text{Celcius}$ maka dijadwalkan perbaikan
- Pada fasa T karena ΔT hanya $8,76^{\circ}\text{Celcius}$ maka suhu pada klem tersebut normal

3.2 Data Hasil Perbaikan

Berikut adalah data dari hasil perbaikan anomali *hotspot* baik secara PDKB maupun secara *Offline*:

3.2.1 Hasil Perbaikan Secara PDKB

Setelah dihitung ΔT nyamakklem pada fasa R dilakukan perbaikan secara PDKB karena masih belum emergency dan masih dapat dilaksanakan sesuai hasil JSA oleh tim PDKB. Pada saat pelaksanaan pekerjaan tersebut didapat data oleh penulis sebagai berikut:

- Arus pada fasa R saat perbaikan sebesar 990 A
- Tegangan pada fasa R saat perbaikan sebesar 150 kV
- Lama waktu pekerjaan pada fasa R selama 3 Jam
- Hasil perbaikan pada fasa R dari suhu 62°Celcius menjadi suhu $39,9^{\circ}\text{Celcius}$ dan pada fasa S dari suhu 57°Celcius menjadi suhu $40,2^{\circ}\text{Celcius}$ dan fasa T dari suhu 45°Celcius menjadi $40,4^{\circ}\text{Celcius}$

3.2.2 Hasil Perbaikan Secara *Offline*

Setelah dihitung ΔT nyamakklem pada fasa S dilakukan perbaikan secara *Offline*. Demi menjaga keandalan sistem kelistrikan pada GI Cibubur maklem tersebut dilakukan perbaikan. Pada saat pelaksanaan pekerjaan tersebut didapat data oleh penulis sebagai berikut:

- Arus pada fasa R saat perbaikan sebesar 610 A
- Tegangan pada fasa R saat perbaikan sebesar 150 kV
- Lama waktu pekerjaan pada fasa R selama 2 Jam
- Hasil perbaikan pada fasa R dari suhu (59°Celcius) menjadi suhu ($35,7^{\circ}\text{Celcius}$)

3.3 Gain Saving Dalam Perbaikan Secara PDKB

Dalam perbaikan metode PDKB tegangan listrik tidak dipadamkan sehingga beban dari sumber ke pelanggan dapat tersalurkan. Sehingga salah satu kelebihan yang diunggulkan dari metode PDKB yakni *Gain saving* yang mana metode ini dapat menyelamatkan beban yang tidak dipadamkan. Adapun pekerjaan perbaikan *hotspot* ini memakan waktu 3 jam dengan arus sebesar 603 A. Berikut perhitungan *gain saving* dapat dihitung menggunakan persamaan (2. 1)

$$\begin{aligned} P_{3\text{fasa}} &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi \\ &= \sqrt{3} \times 150.000 \times 990 \times 0,9 \\ &= 1,732 \times 150.000 \times 990 \times 0,9 \\ &= 231.481.800 \text{ watt} \end{aligned}$$

Pada pengerjaan metode PDKB selama mengerjakan perbaikan ada sebesar 140,99 MW daya yang tetap tersalurkan. Adapun energi listrik yang tersalurkan selama pekerjaan dapat dihitung menggunakan persamaan (2. 3):

$$\begin{aligned} W &= P \times t \\ &= 231,48 \text{ MW} \times 3 \text{ jam} \\ &= 694,44 \text{ MW. Jam} \\ &= 694.440 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Keuntungan perbaikan *hotspot* secara PDKB dapat menyelamatkan energi listrik yang memiliki potensi untuk tidak tersalurkan jika menggunakan metode *offline*. Tarif daftar listrik yang digunakan adalah rata-rata biaya pada setiap golongan tarif dayaitu sebesar Rp. 1.135/kWh.

3.4 Daya yang Tidak Tersalurkan Dalam Pekerjaan Secara *Offline*

Dalam perbaikan secara *Offline* maka tegangan listrik dipadamkan sehingga beban dari sumber ke pelanggan tidak dapat tersalurkan. Sehingga akan menghasilkan rugi-rugi daya selama sistem tersebut tetap dipadamkan. Adapun pekerjaan perbaikan *hotspot* ini memakan waktu 2 jam dengan arus sebesar 638 A. Berikut perhitungan rugi-rugi daya dapat menggunakan persamaan (2. 1)

$$\begin{aligned} P_{3\text{fasa}} &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi \\ &= \sqrt{3} \times 150.000 \times 610 \times 0,9 \\ &= 1,732 \times 150.000 \times 610 \times 0,9 \\ &= 142.630.200 \text{ watt} \end{aligned}$$

Pada pengerjaan metode *Offline* selama mengerjakan perbaikan ada sebesar 142,63 MW daya tidak dapat tersalurkan. Adapun energi listrik yang tersalurkan selama pekerjaan dapat dihitung menggunakan persamaan (2. 3):

$$W = P \times t$$

$$=142,63 \text{ MW} \times 2 \text{ jam}$$

$$=285,26 \text{ MW} \cdot \text{Jam}$$

$$= 285.260 \text{ kWh}$$

Kerugian perbaikan *hotspot* secara *Offline* adalah sebagai berikut. Tarif daftar listrikyang digunakan adalah rata-rata biaya pada setiap golongan tarif dayaitusebesar Rp. 1.135/kWH.

Dalam tabel berikut di rangkum data hasil pengukuran suhu pada dua lokasi Gardu Induk (GI), yaitu GI Jatirangon dan GI Cibubur. Data ini mencakup suhu laporan awal, perbedaan suhu (ΔT) antara klem dan konduktor, serta suhu setelah perbaikan. Selain itu, tabel ini juga mencantumkan gain saving dan rugi daya yang terjadi di masing-masing lokasi.

Lokasi	Fasa	Suhu Laporan ($^{\circ}\text{C}$)	ΔT ($^{\circ}\text{C}$)	Suhu Perbaikan ($^{\circ}\text{C}$)	Gain Saving	Rugi Daya
GI Jatirangon	R	62	33,78	39,9	694.440 kWh	-
	S	57	26,44	57		
	T	45	8,76	40,4		
GI Cibubur	R	59	36,3	35,7	-	285.260 kWh
	S	34	3,8	33,5		
	T	33	2,5	33		

Tabel 1.1 Rangkuman Hasil Data

4. Kesimpulan

- 1) Hasil perhitungan pada termovisi pada GI Jatirangon PMS bayTrafu 2 ditemukan ΔT nya yang berbeda pada setiap fasa. Fasa R ΔT nya sebesar $33,78^{\circ}\text{Celsius}$, fasa S ΔT nya sebesar $26,44^{\circ}\text{Celsius}$, dan fasa T ΔT nya sebesar $8,76^{\circ}\text{Celsius}$, sehingga perlukannya perbaikan pada fasa R dan fasa S untuk menjaga keandalan sistem transmisi sesuai pedoman pada PLN SK DIR 520 2014.
- 2) Hasil perhitungan termovisi pada GI Cibubur Bay Cibinong 2 ditemukan ΔT nya yang berbeda pada setiap fasa. Fasa R ΔT nya sebesar $36,34^{\circ}\text{Celsius}$, fasa S ΔT nya sebesar $3,8^{\circ}\text{Celsius}$, dan fasa T ΔT nya sebesar $2,5^{\circ}\text{Celsius}$, sehingga perlukannya perbaikan pada fasa R untuk menjaga keandalan sistem transmisi sesuai pedoman pada PLN SK DIR 520 2014.
- 3) Hasil *gain saving* dari pekerjaan perbaikan *hotspot* pada GI Jatirangon PMS Bay Trafo 2 secara PDKB adalah sebesar 694.440 kWh
- 4) Kerugian akibat daya yang tidak tersalurkan dari pekerjaan perbaikan anomali *hotspot* GI Cibubur Bay Cibinong 2 secara *Offline* adalah sebesar 285.260 kWh

Daftar Pustaka

- [1] J. Zhang, H. Yang, Z. Zhang, K. Zhao, and Y. Chen, "An automatic diagnostic method of abnormal heat defect in transmission lines based on infrared video," in *2016 IEEE PES 13th International Conference on Transmission & Distribution Construction, Operation & Live-Line Maintenance (ESMO)*, IEEE, Sep. 2016, pp. 1–4. doi: 10.1109/TDCLLM.2016.8013222.
- [2] L. M. Fazawi, "ANALISA PENENTUAN HOT POINT DAN MONITORING PERALATAN DENGAN METODE THERMOVISI PADA GI 150 KV GLUGUR," Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan, 2020.

-
- [3] PT. PLN (Persero), *Buku Pedoman Pemeliharaan Pemisah (PMS)*. Jakarta: PT. PLN (Persero), 2014.
- [4] PT. PLN (Persero), *Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga (PMT)*. Jakarta: PT. PLN (Persero), 2014.
- [5] F. Allam, "Protecting Overhead Transmission Lines (OHL) from Hot Spots Using Dynamic Line Rating (DLR) Calculations," in *2020 12th International Conference on Electrical Engineering (ICEENG)*, IEEE, Jul. 2020, pp. 44–49. doi: 10.1109/ICEENG45378.2020.9171751.
- [6] M. Radil, R. Syech, and S. J. Fisika, "ANALISIS RUGI-RUGI DAYA PADA PENGHANTAR SALURAN TRANSMISI TEGANGAN TINGGI 150 KV DARI GARDU INDUK KOTO PANJANG KE GARDU INDUK GARUDA SAKTI PEKANBARU," 2014.
- [7] PT. PLN (Persero), *Buku Pedomaan Pemeliharaan*, vol. No. 0520-2. K/DIR. PT. PLN (Persero), 2024.