

TUGAS AKHIR

ANALISA PENENTUAN *HOT POINT* DAN MONITORING PERALATAN DENGAN METODE THERMOVISI PADA GI 150 kV GLUGUR

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Elektro Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

MUHAMMAD LUTFHI FAZAWI
1607220029



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2020**

HALAMAN PENGESAHAN

Proposal penelitian Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Muhammad Lutfhi Fazawi
NPM : 1607220029
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisa Penentuan *Hot Point* dan Monitoring Peralatan
dengan Metode Thermovisi pada GI 150 kV Glugur
Bidang ilmu : Sistem Tenaga

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai penelitian tugas akhir diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, November 2020

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I

Noorly Evalina, S.T., M.T

Dosen Penguji II

Solly Aryza Lubis, S.T., M.Eng

Dosen Penguji Pendamping

Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T.



Program Studi Teknik Elektro
Ketua,

Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T.

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Muhammad Lutfhi Fazawi
Tempat /Tanggal Lahir : Medan / 16 Desember 1997
NPM : 1607220029
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Analisa Penentuan *Hot Point* dan Monitoring Peralatan dengan Metode Thermovisi pada GI 150 kV Glugur”,

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 20 November 2020

Saya yang menyatakan,



Muhammad Lutfhi Fazawi

ABSTRAK

Pada proses penyaluran tenaga listrik harus diperhatikan keandalan dan efisiensinya, agar tenaga listrik yang tersalurkan berkualitas dan memiliki kontinuitas yang baik. Guna menjaga kualitas tenaga listrik agar tetap andal dan efisien serta agar kontinuitas penyaluran tenaga listrik tetap terjaga dengan baik, beberapa komponen peralatan penyaluran tenaga listrik harus menjadi perhatian untuk mencegah terjadinya gangguan terhadap peralatan tenaga listrik. Salah satu gangguan pada peralatan tenaga listrik adalah titik panas (*hot point*). Seringnya terjadi gangguan tersebut pada titik pertemuan antara klem dan konduktor pada peralatan listrik menjadi tolak ukur pemeliharaan dalam penyediaan tenaga listrik. Tindakan pencegahan agar tidak terjadinya *hot point* disebut thermovisi, dengan menggunakan alat ukur *thermal imagers*. Prinsip kerja *thermal imagers* adalah merefleksikan cahaya *infrared* terhadap peralatan kemudian menangkap suhu peralatan tersebut dan menampilkannya pada sebuah display. Kegiatan thermovisi dilakukan secara rutin sebagai kegiatan monitoring pemeliharaan tenaga listrik yang kemudian dilakukan analisa hasil thermovisi tersebut dengan melakukan perhitungan emisivitas melalui pendekatan selisih suhu klem dan konduktor (ΔT) agar didapatkan nilai emisivitas yang sesuai. Selanjutnya dilakukan uji validasi untuk menguji keakuratan dan presisi dari hasil thermovisi tersebut. Penelitian yang dilakukan di GI 150 kV Glugur bertujuan untuk merekomendasikan hasil uji analisa matematis terhadap tindak lanjut kondisi peralatan. Hasil dari kondisi peralatan pada analisa 30 sampel menunjukkan bahwa peralatan masih dalam kondisi baik dan masih layak digunakan, dengan nilai akurasi sebesar 98,02% dan presisi sebesar 0,25% pada peralatan bay penghantar Glugur - Paya Geli 1 serta nilai akurasi pada bay penghantar Glugur – Paya Geli 2 sebesar 97,9% dan 0,24% pada nilai presisinya.

Kata Kunci: *keandalan, efisiensi, hot point, thermovisi, thermal imagers, emissivitas.*

ABSTRACT

In the process of distributing of electricity, reliability and efficiency must be considered, so that the electricity that is distributed is of good quality and has good continuity. In order to maintain the quality of electric power so that it remains reliable and efficient and so that the continuity of electricity distribution is well maintained, several components of electricity distribution equipment must be considered to prevent interference with electric power equipment. One of the disturbances in electric power equipment is a hot point. The frequent occurrence of this disturbance at the meeting point between the clamp and the conductor in electrical equipment is the benchmark for maintenance in the supply of electric power. The precautionary measure to prevent hot point from occurring is called thermovision, by using thermal imagers measuring instrument. The working principle of thermal imagers is to reflect infrared light on the equipment then capture the temperature of the equipment and display it on. Thermovision activities are carried out by analyzing the results of the thermovision by calculating the emissivity through the clamp and conductor temperature difference (ΔT) approach in order to obtain the appropriate emissivity value. Furthermore, a validation test is carried out to test the accuracy and precision of the thermovision results. The result of the condition of the equipment in the analysis of 30 samples show that the equipment is still in good condition and still fit for use, with an accuracy value of 98.02% and a precision of 0.25% on the Glugur-Paya Geli 1 delivery bay equipment and the accuracy value of the delivery bay Glugur – Paya Geli 2 amounted to 97.9% and 0.24% on the precision value.

Key Words: *reliability, efficiency, hot point, thermovision, thermal imagers, emissivity*

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisa Penentuan *Hot Point* dan Monitoring Peralatan dengan Metode Thermovisi pada GI 150 kV Glugur” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Orang tua penulis: Herman dan Masnah, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
2. Bapak Munawar Alfansury Siregarr, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing tugas akhir, serta sebagai Ketua Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Partaonan Harahap, S.T., M.T. selaku Sekertaris Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknikelektroan kepada penulis.
6. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Kakak saya tersayang Dian Ulfha Utami, Amd.Pel., dan Abangda Muhammad Faisal, Amd. Pel, ATT III.
8. Sahabat-sahabat penulis: Salman Alfarisi, S.Pd., Nadila Aprilia, S.Kom., Mawaddah Arida, S.Pd., Adam Pangestu, S.T., M Boyke Indrawan, Wanda

Syahputra, M. Saifullah, Laras Astrika Prameswari, S.KG., Meriyanti Pasaribu, S.Pd., Fredy Wandana, Ade Zulkarnain dan Agus Setiawan.

9. Teman-teman seperjuangan Elektro A3 Malam Stambuk 2016.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu keteknik-elektronika.

Medan, November 2020

Muhammad Lutfhi Fazawi

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	
ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Ruang Lingkup	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Tinjauan Pustaka Relevan	5
2.2. Gardu Induk (GI).....	7
2.2.1. Jenis-jenis Gardu Induk	7
2.2.1.1. Gardu Induk berdasarkan Sistem Isolasinya	8
2.2.1.2. Gardu Induk berdasarkan Tegangannya	8
2.2.1.3. Gardu Induk berdasarkan Pemasangan Busbar	8
2.2.2. Peralatan-peralatan Gardu Induk	11
2.2.2.1. Lightning Arrester	11
2.2.2.2. Trafo Instrumen dan Panel Kontrol	11
2.2.2.3. Transformator Daya	12
2.2.2.4. Peralatan Penghubung.....	12
2.2.2.5. Pembumian	12
2.2.2.6. Peralatan Sekunder	13
2.2.2.7. Bangunan/gedung	13
2.3. Kawat Penghantar (Konduktor).....	13
2.4. Thermovisi/Thermovision.....	15
2.4.1. Standard Thermovisi.....	17
2.4.2. Kamera Infrared (Thermal Imager)	20

2.4.3. Perhitungan suhu klem dan suhu konduktor	23
2.4.4. Perhitungan Emisivitas	23
2.4.5. Analisis Validasi.....	24
2.4.5.1. Uji Presisi	24
2.4.5.2. Uji Akurasi	25
BAB III METODE PENELITIAN	26
3.1. Tempat dan Waktu	26
3.1.1. Tempat	26
3.1.2. Waktu	26
3.2. Bahan dan Alat	27
3.3. Bagan Alir Penelitian.....	28
3.4. Prosedur Penelitian	29
3.5. Analisis Data	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1. Perhitungan suhu perbandingan klem dan konduktor	31
4.2. Perhitungan Nilai Emisivitas.....	36
4.3 Analisis Validasi.....	42
4.3.1. Uji Presisi	43
4.3.2. Uji Akurasi	45
BAB V PENUTUP.....	49
5.1. Kesimpulan.....	49
5.2. Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Standar Pengukuran Thermovisi berdasarkan Buku Pedoman Pemeliharaan PLN No. 0520-2.K/DIR/2014	17
Tabel 2. 2 Objek dan Suhu Operasi Referensi kenaikan Temperatur dan kelas EPRI.....	18
Tabel 2. 3 Kenaikan Temperatur dan Kelas EPRI Standard Of Thermography inspection FLIR	18
Tabel 2. 4 Standard Of Thermography Standard IR Termography berdasarkan Kelas Insulasi.....	18
Tabel 2. 5 Termografi berdasarkan Kelas Insulasi	19
Tabel 2. 6 Tabel tingkat permasalahan sistem tingkat prioritas berdasarkan The National Electrical Testing Association NETA MTS-2005.....	19
Tabel 3. 1 Jadwal Kegiatan Penelitian	26

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Gardu Induk (GI).....	7
Gambar 2. 2 Gardu Induk sistem Ring Busbar.....	9
Gambar 2. 3 Gardu Induk sistem Single Busbar	9
Gambar 2. 4 Gardu Induk dengan Double Busbar	10
Gambar 2. 5 Gardu Induk dengan One Half / Satu Setengah Busbar.....	10
Gambar 2. 6 <i>Thermal Imagers Fluke TISeries</i>	21
Gambar 2. 7 <i>Thermal Imagers Satir (D300)</i>	22
Gambar 2. 8 <i>Thermal Imagers Flir Infrared Cameras</i>	23
Gambar 4. 1 Grafik pengukuran suhu bay Penghantar – Glugur Paya Geli 1....	39
Gambar 4. 2 Grafik perhitungan nilai Emisivitas bay Penghantar Glugur-Paya Geli 1.....	40
Gambar 4. 3 Grafik pengukuran suhu bay penghantar Glugur-Paya Geli 2	41
Gambar 4. 4 Grafik perhitungan nilai Emisivitas bay Penghantar Glugur-Paya Geli 2.....	41
Gambar 4. 5 Grafik hasil perhitungan uji validasi.....	46

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kondisi kehidupan pada zaman modern ini, sangat melekat dengan pemakaian energi listrik. Listrik merupakan energi yang sangat dibutuhkan oleh masyarakat dalam bidang apapun, baik industri maupun kehidupan masyarakat biasa. Energi listrik yang diperlukan oleh masyarakat biasa maupun industri, ataupun lain sebagainya memiliki persyaratan-persyaratan dasar yang harus disediakan oleh pemasok energi listrik, yaitu dapat memenuhi kebutuhan energi listrik dengan handal dan efisien. Selain handal dan efisien, energi listrik harus pula memiliki kualitas dan kontinuitas yang baik (Putra, 2018).

Untuk mendapatkan energi listrik yang berkualitas dan memiliki kontinuitas yang baik, maka perlu dilakukan pemeliharaan dan pemantauan secara berkala guna menjaga agar kondisi peralatan listrik dapat berfungsi secara baik dan handal, sehingga dapat mencegah gangguan yang dapat merusak sistem dan dapat mengganggu kualitas dan kontinuitas energi listrik (Putra, 2018). Dalam usaha penyediaan energi listrik yang memiliki kualitas dan kontinuitas yang baik inilah, Gardu Induk (GI) memegang peranan penting agar dapat mengatur kebutuhan beban energi listrik dan sebagai pusat pengaman komponen-komponen sistem tenaga listrik di suatu daerah tertentu (Atawani, 2018).

Pada sistem tenaga listrik pastilah sangat memungkinkan untuk terjadinya gangguan, baik dari segi internal maupun eksternal. Gangguan-gangguan yang terjadi biasanya bisa diakibatkan dari alam ataupun dari peralatan itu sendiri. Gangguan yang sering terjadi biasanya seperti kerusakan pada kawat penghantar, hubung singkat karena surja petir, kerusakan bushing, dan lain sebagainya (Atawani, 2018).

Salah satu gangguan yang dapat mengganggu kualitas dan kontinuitas energi listrik adalah suhu panas yang terjadi pada konduktor ataupun klem-klem pertemuan antara konduktor dan peralatan listrik. Hal ini berkaitan dengan proteksi dan keandalan sistem yang ada pada *switchyard*. Saat operasi tenaga listrik berlangsung peralatan gardu induk yang ada di *switchyard* akan mengalami

kenaikan suhu (pemanasan) yang diakibatkan oleh kerugian arus mengalir dalam konduktor yang ditimbulkan oleh hambatan serta peralatan yang sudah tua (Anwar, 2019). Pemanasan suhu pada titik-titik atau bagian-bagian tertentu ini disebut *Hot Point*. Hal ini bisa berakibat fatal terhadap peralatan jika terus menerus tanpa adanya pemantauan ataupun pemeriksaan rutin. Sehingga bagian tersebut harus diperhatikan.

Oleh sebab itu, dilakukan pengujian suhu panas (*hot point*) dengan metode thermovisi pada gardu induk 150 kV Glugur. Pengujian pengukuran ini dibantu dengan alat uji *thermal imagers* yang dapat mengetahui nilai suhu pada klem sambungan konduktor dengan melihat sinar inframerah yang dipancarkan oleh *thermal imagers* yang kemudian di tampilkan pada *display/monitor*, sehingga dapat mendeteksi keadaan pada peralatan *switchyard* dalam keadaan normal atau tidak normal, serta membahas metode pengukuran nilai emisivitas untuk memperoleh metode uji yang akurat dan baik, agar dapat menyatakan bahwa nilai pengukuran suhunya memiliki tingkat akurasi dan presisi yang baik.

Pada penelitian terdahulu oleh Ramadhani Roni Putra (2018), mahasiswa Universitas Muhammadiyah Surakarta dengan penelitiannya mengenai “Thermovisi Dalam Melihat *Hot Point* Pada Gardu Induk 150 kV Palur”, melakukan pengamatan dan pengambilan data pada bay (pengelompokan peralatan) trafo 1 GI Palur. Agar tak menjadi plagiat dan menduplikat hasil pengamatan dan penelitian milik orang lain, pengukuran dan pengamatan pada penelitian ini dilakukan pada bagian konduktor dan klem-klem yang terdapat pada bay penghantar Glugur-Paya Geli 1 & 2 GI 150 kV Glugur.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana proses penentuan thermovisi peralatan?
2. Bagaimana cara menganalisis hasil yang telah diamati dari kegiatan thermovisi dengan metode visualisasi maupun metode perhitungan?

3. Bagaimana mengklasifikasikan peralatan yang baik dan yang mengalami gangguan dari hasil penelitian thermovisi berdasarkan standard yang berlaku?

1.3 Ruang Lingkup

Agar penelitian tugas akhir ini lebih terarah dan tanpa mengurangi maksud juga tujuannya, maka ditetapkan ruang lingkup penelitian sebagai berikut:

1. Membahas mengenai pengukuran dan pengamatan yang dilakukan dengan metode thermovisi dalam format excel pada bay penghantar Glugur-Paya Geli 1 & 2.
2. Membahas mengenai validasi metode analisis untuk akurasi dan presisi dari hasil perhitungan thermovisi peralatan pada bay penghantar Glugur-Paya Geli 1 & 2.
3. Membahas mengenai penentuan *hot point* dan prediksi tingkat kerusakan yang akan terjadi pada peralatan yang terdapat pada bay penghantar Glugur-Paya Geli 1 & 2.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kondisi peralatan pada bay penghantar Glugur-Paya Geli 1 & 2 dengan metode thermovisi.
2. Melakukan analisis hasil dari pengamatan dengan metode thermovisi pada peralatan bay penghantar Glugur-Paya Geli 1 & 2.
3. Menentukan *Hot Point* pada peralatan bay penghantar Glugur-Paya Geli 1 & 2 setelah dilakukannya analisis thermovisi.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian skripsi ini yaitu sebagai berikut:

1. Memberikan gambaran informasi mengenai kondisi peralatan dan pedoman pemeliharaan melalui pengukuran dan pengamatan dengan metode thermovisi pada GI 150 kV Glugur.
2. Memberikan informasi mengenai keakuratan dan ketelitian dari pengukuran dengan metode thermovisi.
3. Memberikan informasi terhadap keandalan peralatan pada GI 150 kV Glugur melalui proses pengukuran thermovisi dan analisa hasil thermovisi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka Relevan

Penelitian ini adalah pengembangan dari penelitian-penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti di bidang teknik elektro, yaitu:

Salah satu cara paling ekonomis, mudah dan aman untuk mengirimkan energi listrik adalah melalui bentuk energi listrik. Energi listrik dapat secara kontinyu dikirimkan dari satu tempat ke tempat lain yang jaraknya berjauhan dalam satu sistem tenaga listrik. Sistem tenaga listrik merupakan kumpulan dari komponen-komponen atau alat-alat listrik seperti generator, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi dan beban, yang saling berhubungan dan membentuk suatu sistem yang disebut sistem tenaga listrik. (Syahputra,2017).

Secara umum, definisi sistem tenaga listrik meliputi sistem pembangkitan, penyaluran (transmisi), dan distribusi. Energi listrik dibangkitkan dari pembangkit, yang kemudian dinaikkan tegangannya dan dialirkan melalui sistem transmisi untuk kemudian sampai di tangan masyarakat dan digunakan untuk kebutuhan sehari-hari. Berdasarkan hal tersebut dapat dilihat bahwa sistem transmisi memegang peranan penting untuk dapat menyalurkan energi listrik ke konsumen. Proses penyaluran energi listrik tersebut sering dijumpai adanya gangguan yang mengakibatkan kerugian, baik dari pihak penyuplai maupun konsumen. Gangguan tersebut bisa berasal dari sisi internal maupun eksternal. Gangguan dari sisi internal bisa terjadi karena kegagalan dari peralatan itu sendiri dan beberapa gangguan eksternal bisa disebabkan oleh petir, pohon tumbang dan badai (Pangestu,2019).

Salah satu gangguan internal yang sering terjadi adalah suhu panas pada sambungan terminal antar kabel konduktor dengan peralatan yang terdapat pada gardu induk. Suhu (*hot point*) ini berkaitan erat dengan proteksi dan keandalan sistem yang ada di *switchyard* (Anwar,2019). Sambungan konduktor menghasilkan tahanan sambungan (tahanan kontak). Sambungan yang memiliki tahanan kontak yang lebih besar dari tahanan konduktor akan mengakibatkan panas

yang lebih tinggi pada sambungan tersebut (*hot point*), sehingga semakin besar arus listrik yang mengalir maka semakin tinggi temperaturnya (Putra,2018).

Titik panas adalah sumber dari gelombang frekuensi tinggi (harmonic), ketika gelombang ini menumpuk disuatu lokasi, hal itu akan menyebabkan kerusakan peralatan oleh fenomena resonansi. Titik panas (*hot point*) adalah indikator kegagalan yang akan terjadi pada peralatan. Ada sumber kehilangan energi listrik dan *hot point* merupakan sumber utama ledakan pada listrik. (Harishkumar,2014).

Suhu panas (*hot point*) secara bertahap meningkat selama periode waktu dan ledakan/kebakaran dapat terjadi ketika suhu mencapai dan tetap pada titik api (Harishkumar,2014).

Termografi merupakan suatu cara pengukuran dan pemetaan panas dari suatu objek menggunakan kamera khusus guna menghasilkan citra termal. Citra termografi (*thermography image*) adalah citra yang dihasilkan dari kamera *infrared*. Termografi *infrared* menggunakan kamera pencitraan *infrared* untuk melihat energi termal yang dipancarkan dari suatu objek. Kamera *infrared* mengungkapkan energi yang dipancarkan kedalam suatu citra tampak menggunakan tampilan berwarna dan/atau tampilan *grayscale* guna merepresentasikan variasi temperatur yang diberikan suatu objek (Syahputra,2010).

Metode thermovisi adalah salah satu bentuk pemeliharaan dari peralatan pada gardu induk. Pemeliharaan ini menggunakan *thermal imagers* yang berprinsip kerja dengan *infrared* (Atawani,2018). *Infrared* memiliki panjang gelombang antara 750 nm hingga 150 μm . *Infrared* digunakan untuk memvisualisasikan suhu panas pada sambungan dan konduktor dalam keadaan berbeban (Putra,2018).

Visi manusia diperluas dengan menggunakan pencitraan termal ke wilayah IR (*Infrared*) jauh karena memanfaatkan cahaya yang dipancarkan oleh benda hangat. Foton yang dihasilkan oleh benda hangat harus ditangkap oleh mata malam karena ini mendominasi energi ketika reaksi matahari tidak ada. Selain itu, mata malam harus memiliki spectral dimana perbedaan signifikan, emisivitas suhu dan relatif ada ditempat kejadian (Ray,2017). Pengukuran suhu tak sentuh juga

memiliki kelemahan dalam memperoleh suhu yang sebenarnya dari objek yang diukur. Hal ini disebabkan oleh emisivitas suatu objek yang bervariasi antara 0 sampai 1 (Atawani,2018).

2.2. Gardu Induk (GI)

Gardu Induk (GI) adalah merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berperan untuk menyalurkan daya listrik, baik mentransformasikan ke tegangan yang lebih rendah ataupun ke tegangan yang lebih tinggi, juga menyalurkan daya pada tegangan yang tetap.



Gambar 2. 1 Gardu Induk (GI)

2.2.1. Jenis-jenis Gardu Induk

Gardu induk dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, baik dari sisi sistem isolasi, dari sisi tegangan, maupun dari sisi pemasangan busbar.

2.2.1.1. Gardu Induk berdasarkan Sistem Isolasinya

Berdasarkan sistem isolasinya, gardu induk dibedakan menjadi 2 jenis, antara lain:

1. Sistem Isolasi Gas SF₆

Pada jenis gardu induk ini, sistem isolasinya adalah gas SF₆ (Sulfur Hexafluoride). GI jenis ini sering juga disebut GIS (*Gas Insulated Switchgear*), dimana bagian yang bertegangan ditempatkan didalam suatu selubung besi yang diisi gas SF₆ sebagai isolasinya. Pemasangan GI jenis ini sangat cocok untuk lahan yang minim, karena pada penerapannya GI jenis ini tidak memerlukan lahan yang begitu luas.

2. Sistem Isolasi Udara

Pada gardu induk jenis ini, sistem isolasinya adalah udara, dimana peralatan listrik yang terpasang di GI diisolasi oleh udara antar fasa ataupun antar peralatannya. Pada GI jenis ini diperlukan lahan yang cukup luas, karena tahanan tembus udara yang tidak begitu baik.

2.2.1.2. Gardu Induk berdasarkan Tegangannya

Berdasarkan klasifikasi tegangannya, gardu induk dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu:

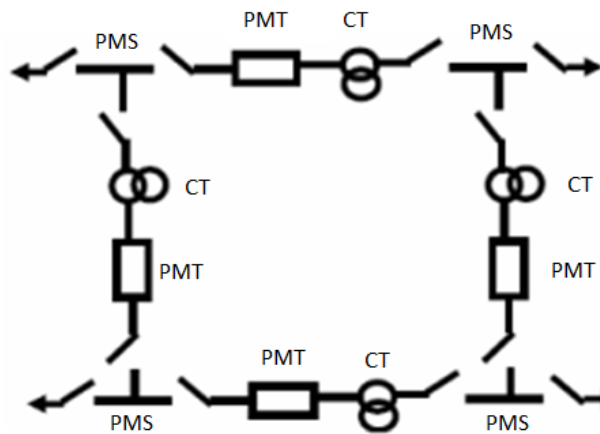
1. GITET (Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi) pada tegangan 275-500 KV
2. GITT (Gardu Induk Tegangan Tinggi) pada tegangan 75-150 KV

2.2.1.3. Gardu Induk berdasarkan Pemasangan Busbar

Berdasarkan pemasangan sisi busbar, gardu induk dibedakan menjadi beberapa jenis, antara lain sebagai berikut:

1. Gardu Induk sistem *Ring* Busbar

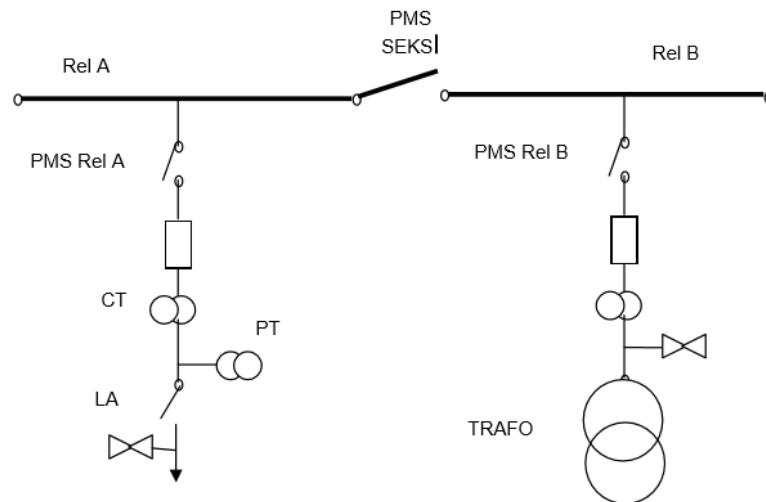
Gardu induk dengan sistem *ring* busbar ini adalah, dimana semua rel/busbar saling terhubung antara satu sama lain.



Gambar 2. 2 Gardu Induk sistem Ring Busbar

2. Gardu Induk sistem *Single Busbar*

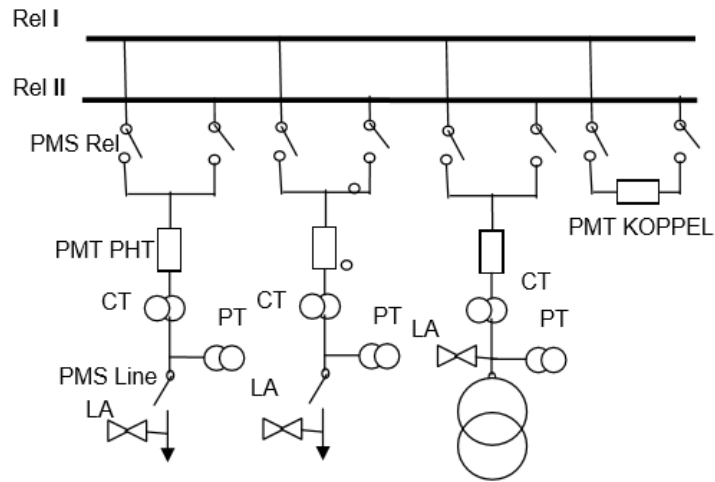
Gardu induk dengan *single* busbar ini merupakan gardu induk yang hanya memiliki satu rel/busbar saja.



Gambar 2. 3 Gardu Induk sistem Single Busbar

3. Gardu Induk dengan *Double Busbar*

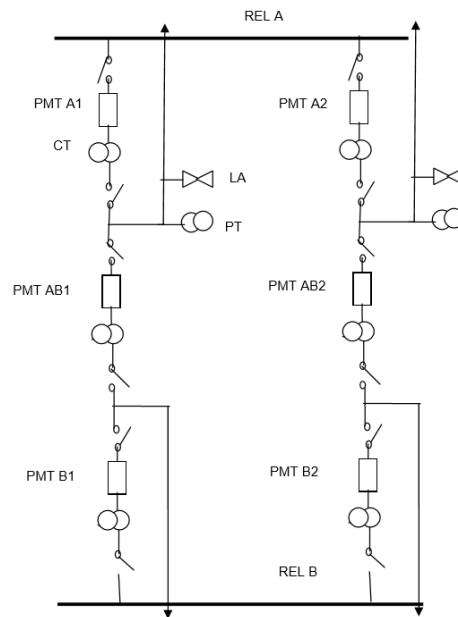
Gardu induk jenis ini memiliki dua busbar. Jenis ini sangat umum digunakan karena sangat efektif dalam melakukan rekonfigurasi beban ataupun manuver beban.



Gambar 2. 4 Gardu Induk dengan Double Busbar

4. Gardu Induk dengan *One Half* / Satu Setengah Busbar

Adalah gardu induk yang mempunyai dua atau *double* busbar, dimana pemasangan *double* busbar ini sangat efektif untuk segi operasional dan dapat mengurangi pemadaman beban saat manuver sistem karena memiliki 3 buah PMT (pemutus) dalam satu diagonal yang terpasang secara seri. Gardu induk ini umum diterapkan pada pembangkitan ataupun gardu induk vital yang berkapasitas besar.



Gambar 2. 5 Gardu Induk dengan *One Half* / Satu Setengah Busbar

2.2.2. Peralatan-peralatan Gardu Induk

Gardu induk dilengkapi oleh beberapa peralatan listrik yang berguna untuk menunjang peran gardu induk itu sendiri sebagai suatu sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan ataupun mentransformasikan energi listrik. Diantaranya adalah sebagai berikut:

2.2.2.1. Lightning Arrester

Lightning arrester merupakan suatu peralatan listrik yang berfungsi untuk melindungi peralatan listrik lain dari surja (baik surja hubung maupun surja petir).

Pada saat peristiwa surja, *travelling wave*/gelombang berjalan merambat pada konduktor sistem transmisi dengan kecepatan yang mendekati kecepatan cahaya. Surja dengan panjang gelombang dengan orde mikro detik ini dinilai berbahaya bila nilai tegangan surja yang tiba diperlatan lebih tinggi dari BIL (*Basic Insulation Level*) (level terendah dari isolasi peralatan). Untuk itu LA di pasang untung memotong perjalanan surja tersebut lalu kemudian dibumikan.

2.2.2.2. Trafo Instrumen dan Panel Kontrol

Trafo instrumen merupakan trafo yang sangat kuat kaitannya dengan panel kontrol, dimana trafo instrumen yang juga dikenal sebagai trafo ukur, memiliki peran langsung terhadap pengukuran dan proteksi pada gardu induk yang ditampilkan pada panel kontrol untuk memudahkan operator dalam menjalankan tugasnya baik untuk melihat kondisi beban yang ada maupun untuk melakukan manuver beban.

Trafo instrument yang ada di gardu induk antara lain CT (*Current Transformator*) yang berfungsi untuk pengukuran dan proteksi pada arus yang terdapat di gardu induk. Dan juga PT (*Potensial Transformator*) yang berfungsi untuk pengukuran dan proteksi tegangan pada gardu induk.

2.2.2.3. Transformator Daya

Transformator daya merupakan peralatan paling vital yang terdapat pada gardu induk, karena pada peranannya gardu induk berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dan atau mentransformasikan energi listrik baik ke tegangan yang lebih rendah ataupun ke yang lebih tinggi. Jadi, trafo daya berfungsi untuk mentransformasikan energi listrik kepada tegangan yang lebih rendah ataupun yang lebih tinggi untuk kemudian disalurkan kembali, baik kepada konsumen langsung ataupun ke gardu induk lainnya.

Trafo tersebut terdiri atas beberapa jenis, antara lain trafo 1-fasa dan juga 3-fasa. Dimana pada umumnya trafo 1-fasa sering digunakan pada gardu induk tegangan ekstra tinggi, sedangkan trafo 3-fasa sering digunakan pada gardu induk tegangan tinggi.

2.2.2.4. Peralatan Penghubung

Gardu induk merupakan tempat penyaluran energi listrik, baik menyalurkan tegangan ke tegangan yang lebih rendah, lebih tinggi, ataupun pada tegangan yang tetap, maka dari itu gardu induk memerlukan beberapa peralatan penghubung. Peralatan penghubung yang dimaksud adalah rel (busbar), dan pada penerapannya penghubung antara busbar dengan trafo daya dihubungkan oleh *circuit breaker* (CB) dan *disconnecting switch* (DS) pada outputnya. Dimana masing-masing peralatan tersebut memiliki fungsi tersendiri.

Seperti *circuit breaker* atau juga kita kenal sebagai pemutus (PMT) berfungsi untuk memutus aliran daya listrik yang ada pada gardu induk.

Disconnecting switch juga biasa kita kenal sebagai pemisah (PMS) yang berfungsi untuk memisahkan peralatan listrik antar busbarnya ataupun memisahkan peralatan listrik yang bertegangan dengan yang tidak.

Dan rel (busbar) merupakan konduktor yang berperan menghubungkan seluruh peralatan yang terdapat pada *switchyard* di gardu induk.

2.2.2.5. Pembumian

Pada gardu induk yang umumnya peralatan terpasang di luar ruangan, sangat memungkinkan sekali untuk terkena sambaran petir, atau mungkin terkena

dampak arus lebih yang bisa ditimbulkan oleh peralatan yang terdapat pada gardu induk itu sendiri. Gangguan-gangguan tersebut apabila tidak dipotong dan dibumikan maka akan bisa merusak peralatan gardu induk yang lain, atau dengan kata lain gangguan bisa menyebar luas. *Arrester* dan pembumian ini sebenarnya sangat erat keterkaitannya, dimana *arrester* yang berfungsi untuk memotong surja petir maupun surja hubung kemudian membumikannya.

Selain *arrester* sebagai alat pembumian, terdapat gantri pada gardu induk yang berfungsi untuk menopang *ground steel wire (GSW)* pada gardu induk sebagai penangkal surja petir, dan terdapat pentanahan dengan sistem grid pada gardu induk untuk membumikan surja tersebut.

2.2.2.6. Peralatan Sekunder

Peralatan sekunder juga bisa dikatakan sebagai peralatan pendukung, dimana peralatan-peralatan pendukung ini juga sangat berperan penting dalam operasional gardu induk. Peralatan-peralatan tersebut seperti baterai, pendinginan, penerangan, sumber supply dc, proteksi, dan lain-lain.

2.2.2.7. Bangunan/gedung

Untuk menunjang pelaksanaan operasional gardu induk, gedung diperlukan untuk menunjang fasilitas ruangan, seperti ruang kontrol, ruang panel proteksi, ruang pimpinan dan lain sebagainya. Skala atau kapasitas gedung sendiri menyesuaikan dengan jenis GI yang digunakan.

2.3. Kawat Penghantar (Konduktor)

Kawat penghantar (konduktor) adalah kawat yang berfungsi untuk menyalurkan tegangan dari satu titik ke titik lainnya. Kawat penghantar yang baik adalah kawat yang nilai resistansinya kecil, sehingga rugi-rugi yang dihasilkan akan kecil pula dan tegangan yang sampai ke beban dapat tersalurkan dengan maksimal.

Bahan-bahan kawat penghantar yang dipergunakan untuk penyaluran energi listrik harus memiliki sifat-sifat sebagai berikut :

1. Konduktivitas tinggi
2. Kekuatan tarik mekanikal tinggi
3. Titik berat
4. Biaya rendah
5. Tidak mudah patah

Terdapat beberapa jenis kawat penghantar yang biasa digunakan pada saluran transmisi dan gardu induk, antara lain :

1. Tembaga dengan konduktivitas 100% (Cu 100%)
2. Tembaga dengan konduktivitas 97,5% (Cu 97,5%)
3. Alumunium dengan konduktivitas 61% (Al 61%)

Kawat penghantar tembaga mempunyai beberapa kelebihan, yaitu memiliki konduktivitas tinggi dan kekuatan mekanikalnya cukup baik. Tetapi, juga terdapat kelemahannya, yaitu untuk besar tahanan yang sama tembaga lebih berat dan lebih mahal dibandingkan aluminium. Oleh sebab itu kawat penghantar aluminium telah menggantikan kawat penghantar tembaga, karena harganya yang lebih murah dan lebih ringan dengan konduktivitas yang masih layak untuk diperhitungkan (Pangestu,2019).

Untuk memperbesar kuat tarik dari kawat aluminium, digunakan campuran aluminium (*aluminium alloy*). Untuk saluran-saluran transmisi tegangan tinggi yang jarak antara menara/tiang berjauhan sampai ratusan meter, maka dibutuhkan kawat penghantar dengan daya tarik yang lebih kuat, untuk itu digunakan kawat penghantar ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*).

Jenis-jenis kawat penghantar aluminium terdiri dari berbagai jenis, antara lain:

1. AAC (*All-Aluminium Conductor*), yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari bahan aluminium
2. AAAC (*All-Aluminium Alloy Conductor*), yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari campuran aluminium.
3. ACAR (*Aluminium Conductor Alloy Reinforced*), yaitu kawat penghantar aluminium yang diperkuat dengan logam campuran.
4. ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*), pada konduktor jenis ini, bagian dalamnya berupa steel yang mempunyai kuat mekanik tinggi,

sedangkan bagian luarnya berupa alumunium yang mempunyai konduktivitas tinggi. Krena sifat elektron lebih menyukai bagian luar konduktor daripada bagian sebelah dalamnya, maka sebagian saluran transmisi menggunakan konduktor jenis ACSR (Pangestu,2019).

5. TACSR (*Thermal Alumunium Conductor Steel Reinforced*), sama seperti konduktor jenis ACSR. Kawat Penghantar ini berjenis alumunium dengan inti kawat baja. Namun, Konduktor jenis ini mempunyai kapasitas yang lebih besar tetapi berat konduktor tidak mengalami perubahan yang banyak. Konduktor jenis ini cocok digunakan pada saluran transmisi yang berkapasitas besar.
6. ACCC (*Alumunium Conductor Composit Core*), pada konduktor jenis ini, bagian dalamnya berupa composite yang mempunyai kuat mekanik tinggi, dikarenakan tidak dari bahan konduktiv, maka bahan ini tidak mengalami pemuaian saat dibebani arus maupun tegangan. Sedangkan bagian luarnya berupa alumunium yang mempunyai konduktivitas tinggi.

Dalam gardu induk sendiri kawat penghantar ini berfungsi sebagai tempat jalannya tegangan yang kemudian akan disalurkan kepada beban. Pada proses penyaluran tegangan ke beban inilah terdapat sambungan-sambungan antara kawat penghantar dengan klem-klem, dimana hal tersebut berfungsi untuk membelokkan perjalanan tegangan agar sampai ke beban. Dan pada pertemuan antara kawat penghantar dan klem tersebutlah kadang sering terjadi titik-titik panas (*hot point*). Hal itu bisa disebabkan oleh beberapa faktor, baik faktor lingkungan (eksternal) ataupun dari peralatan itu sendiri (internal).

2.4. Thermovisi/*Thermovision*

Pada pada setiap peralatan listrik pasti memiliki nilai konduktivitas yang tinggi, hal tersebut dikarenakan agar mampu menghantarkan listrik. Dan sebagian besar peralatan listrik tersebut terbuat dari bahan logam, seperti tembaga, alumunium, dan lain sebagainya. Selain memiliki nilai konduktivitas yang tinggi, peralatan listrik pada umumnya juga memiliki nilai resistansi, sehingga apabila peralatan listrik tersebut dialiri oleh listrik atau dapat dikatakan dalam keadaan

operasi maka dapat menghasilkan panas. Panas tersebut terjadi karena nilai resistansi yang dimiliki oleh peralatan (Pasaribu,2020). Bagian yang sering mengalami pemanasan dan harus sering diperhatikan adalah terminal dan sambungan (klem dengan konduktor). Panas yang melewati batas toleransi saat alat tersebut beroperasi bisa membahayakan bagi peralatan itu sendiri. Beberapa hal yang dapat menimbulkan suhu panas tersebut seperti, nilai resistansi peralatan yang terlalu tinggi ataupun beban operasi yang terlalu besar dan juga dapat disebabkan karena pembagian beban yang kurang seimbang (Hariyadi,2017).

Beberapa contoh dari gangguan yang disebabkan oleh *hot point* antara lain rugi-rugi daya pada saluran listrik, kemudian dapat menyebabkan konduktor putus, dan rusaknya peralatan utama pada gardu induk. Rugi-rugi itu sendiri dapat dibuktikan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P = I^2 \cdot R \tag{1}$$

Keterangan:

P = Rugi-rugi daya (Watt)

I^2 = Arus saluran (Ampere)

R = Resistansi peralatan (Ω)

Untuk mencegah agar hal-hal tersebut tidak terjadi, maka perlu dilakukan pemeriksaan secara berkala. Pemeriksaan dianjurkan pada saat posisi online (peralatan dalam keadaan operasi). Karena suhu panas yang terjadi disebabkan oleh peralatan yang beroperasi.

Pemeriksaan yang dilakukan secara operasi tersebut menggunakan *Thermal Imager* atau Thermovisi. Pengukuran ini menggunakan sinar *infrared* yang dipancarkan oleh *thermal imagers* sehingga pada *display thermal imager* dapat terlihat suhu dari peralatan yang diukur. Dan apabila suatu peralatan yang telah dilakukan pengukuran thermovisi dengan menggunakan *thermal imagers* menunjukkan hasil yang tidak baik (suhu peralatan yang terlalu tinggi), maka salah satu bentuk penyelesaian dari penanganan kondisi tersebut adalah dengan melakukan penguatan (pengencangan) klem dan konduktor, atau perbaikan

peralatan listrik tersebut dan bahkan memungkinkan untuk dilakukan penggantian peralatan

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. Radiasi *thermal* adalah energi yang dipancarkan oleh sebuah benda atau permukaan karena temperatur yang dimilikinya. Temperatur merupakan besaran skalar yang dimiliki oleh semua sistem termodinamika sehingga kesamaan suhu adalah syarat yang perlu dan cukup untuk keseimbangan *thermal*.

Nilai emissivity yang diamati berkisar antara 0 dan 1. Emisi adalah merupakan kemampuan suatu jenis permukaan material untuk memancarkan panas. *References Standard Material* (RSM) emisivitas untuk aluminium sendiri adalah 0.5.

2.4.1. Standard Thermovisi

Pengukuran thermovisi dimuat dalam *Buku Pedoman Pemeliharaan PLN No. 0520-2.K/DIR/2014*, sebagai salah satu acuan prosedur pemeliharaan peralatan PLN yang terdapat di GI. Berdasarkan standar dari buku pedoman tersebut interpretasi hasil thermovisi dapat dikategorikan sebagai berikut:

Tabel 2. 1Standar Pengukuran Thermovisi berdasarkan *Buku Pedoman Pemeliharaan PLN No. 0520-2.K/DIR/2014*

NO	ΔT (perbedaan suhu antar fasa)	Rekomendasi
1.	1 °C – 3 °C	Dimungkinkan ada ketidaknormalan, perlu investigasi lanjut
2.	4 °C – 15 °C	Mengindikasikan adanya defisiensi, perlu dijadwalkan perbaikan
3.	> 16 °C	Ketidaknormalan Mayor, perlu dilakukan perbaikan/penggantian segera

Berdasarkan Tabel 2.1 pelaksanaan pengukuran dilaksanakan minimal 1 bulan sekali. Untuk kondisi tertentu, periode pengukuran dapat dilakukan sesuai kebutuhan. Dan pada umumnya pengukuran thermovisi dilakukan per minggu.

Sedangkan, menurut *EPRI (Electric Power Research Institute)* sebuah tim yang melakukan penelitian tentang industry tenaga listrik di Amerika Serikat.

Tabel 2. 2 Objek dan Suhu Operasi Referensi kenaikan Temperatur dan kelas *EPRI*

OBJEK	SUHU OPERASI REFERENSI (°C)
Terminasi biasa, MCB	45-50
Body transformer besar	60
Bus bar	50
Contactora besar	70
Contactora kecil	65
Sambungan contactora dan overload relay	75
Breaker besar	60
Breaker kecil	55
Terminasi fuse	50
Terminasi trafo besar	55

Tabel 2. 3 Kenaikan Temperatur dan Kelas *EPRI Standard Of Thermography inspection FLIR*

TEMPERATURE RISE (°C)	PRIORITY	CLASS
0-9	MONITOR	0
10-29	RENCANAKAN PERBAIKAN SELANJUTNYA	1
30-50	RENCANAKAN PERBAIKAN SEGERA	2
>50	PERBAIKI SEGERA	3

Tabel 2. 4 *Standard Of Thermography Standard IR Termography* berdasarkan Kelas Insulasi

Standard of Thermography Inspection					
Differential Temp	<5°C	5-10°C	11-20°C	21-40°C	>40°C
Max Temp					
< 75°C	Normal	Low	Medium	High	Critical

75-100°C	Indikasi Beban Lebih	Medium	High	Critical	Critical
>100°C	Indikasi Beban Lebih Besar	Critical	Critical	Critical	Critical

Tabel 2. 5 Termografi berdasarkan Kelas Insulasi

Kelas	Internal	Ekternal	Kenaikan
A	105°	85°	60°
B	130°	110°	80°
F	155°	135°	105°
H	180°	160°	125°

Berdasarkan standar *Thermography* yang terdapat pada tabel 2.2, tabel 2.3, tabel 2.4 dan tabel 2.5 adalah standar yang dikeluarkan dari EPRI (*Electric Power Research Institute*) sebuah tim yang melakukan penelitian tentang industri tenaga listrik di Amerika Serikat.

Tabel 2. 6 Tabel tingkat permasalahan sistem tingkat prioritas berdasarkan *The National Electrical Testing Association NETA MTS-2005*

Prioritas	Perbedaan temperatur (Delta-T) didasari dengan perbandingan antar tingkat		Aksi Rekomendasi
	Komponen dibawah peralatan serupa	Komponen dan Udara sekitar	
1	>15° C	> 40	Perbandingan signifikan; perbaiki segera
2	-	21 + 40° C	Pemantauan sampai dengan pemeliharaan
3	4 + 15° C	11 + 20° C	Indikasi masalah terdeteksi;rencanakan perbaikan.
4	1 + 3° C	1 + 10° C	Pendeteksian diijinkan; monitoring.

Dalam praktik IR, kriteria Delta-T digunakan untuk menilai keadaan peralatan-peralatan listrik. Tabel 2.5 adalah spesifikasi pengujian pemeliharaan oleh *The National Electrical Testing Association NETA MTS-2005* yang

menyarankan serangkaian tindakan yang harus diambil berdasarkan perbedaan suhu antara komponen yang sama. Ini juga didasarkan pada perbedaan antara komponen dan suhu udara sekitar.

2.4.2. Kamera Infrared (Thermal Imager)

Thermal imager adalah salah satu alat yang dapat digunakan untuk kegiatan *predictive maintenance* untuk memonitor kondisi dan performance suatu peralatan sehingga kemungkinan terjadinya kegagalan peralatan dapat dipekecil. Teknologi *thermography* merupakan salah satu peralatan teknologi *Non Destructive Testing Non-Contact* atau *NDT of Materials Evaluation*. Seperti halnya thermometer, alat ini juga berfungsi untuk mengukur suhu suatu benda (peralatan listrik) tanpa menyentuh benda tersebut. Hal tersebut dapat terjadi karena alat tersebut memancarkan sinar *infrared* kemudian menangkap kembali radiasi dari objek yang diukur. Peralatan listrik yang diukur disini haruslah dalam keadaan operasi, karena saat elektron bergerak, memberikan kenaikan kepada kemampuan penghantaran arus listrik yang dapat menimbulkan panas terhadap apa yang dilewati elektron tersebut.

Panas adalah bentuk energi yang di transfer antara dua zat pada suhu yang berbeda. Pada umumnya, *thermal imager* menunjukkan tinggi atau rendahnya temperatur berdasarkan skala warna hasil pencitraan (pemotretan objek). Oleh sebab itu, apabila tidak terdapat beda *temperature*, maka gambar *infrared* tidak dapat menampilkan perbedaan warna sebagai indikator suhu sehingga tidak dapat untuk dilakukan analisa.

Pada penerapannya, *thermal imager* ini sangat berguna, mengapa demikian? *Thermal imager* sangat berguna antara lain:

1. Bisa mengukur tanpa menyentuh objek
 - Pengukuran dilakukan dari jarak aman
 - Tidak mengganggu atau berpengaruh pada target
2. Pengukuran dalam 2 dimensi
 - Membandingkan antar area pada target
 - Pola panas menggambarkan untuk analisa
3. Dalam kondisi *real time*

- Dapat memeriksa objek statis
- Dapat melihat objek yang bergerak
- Dapat melihat perubahan pola panas dengan cepat

Sedangkan kekurangan dari kegiatan thermovisi dengan alat *thermal imager* ini adalah:

1. Yang terukur hanyalah suhu permukaan objek
2. Ketepatan ukur bisa saja belum akurat dan presisi

Pengukuran thermovisi dengan *thermal imager* ini dilakukan pada beberapa titik. Selain pada titik pertemuan klem dan konduktor yang umum terjadinya panas, isolator dan *housing* peralatan juga tak luput dari pengukuran ini. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kelainan ataupun *hot point* di bagian dalam peralatan yang tak terlihat langsung oleh mata.

Pada Gardu Induk sendiri beberapa bagian yang sering terjadinya titik panas (*hot point*) adalah sambungan antara klem dengan konduktor. Selain itu, pada beberapa kasus, titik panas (*hot point*) juga terjadi pada isolasi (*bushing*), dan *housing* peralatan. Apabila ini terjadi, hal tersebut menunjukkan bahwa kondisi peralatan sudah tak lagi baik, karena terdapat kelainan pada bagian dalam peralatan yang hanya dapat ditangani dengan penggantian peralatan. Berikut adalah beberapa contoh dari kamera *infrared*:

1. Fluke (TiSeries)



Gambar 2. 6 *Thermal Imagers Fluke TiSeries*

Alat ini diproduksi oleh perusahaan *Fluke Corporation*, dengan berbagai macam series. Harga dari satuan unit alat pengukur thermal Fluke relative lebih mahal dari vendor lainnya. Maka dari itu *thermal imagers* yang dikeluarkan oleh *Fluke Corporation* kurang ramai di pasaran, dibandingkan dengan beberapa vendor *thermal imagers* lainnya yang mampu menawarkan harga yang lebih rendah dan memiliki kualitas yang kurang lebih sama.

2. Satir (D300)



Gambar 2. 7 *Thermal Imagers Satir (D300)*

Alat ini diproduksi oleh Satir dengan berbagai macam keunggulan. Alat ini lebih handal digunakan dalam Thermovisi pada jaringan SUTT maupun SUTET.

3. Flir Infrared Cameras



Gambar 2. 8 *Thermal Imagers Flir Infrared Cameras*

Diproduksi oleh perusahaan *Flir System Inc*, dengan berbagai macam alat pengukuran, diantaranya adalah kamera infrared untuk menunjang diranah *Electrical/Mechanical Electrical*.

Pada GI Glugur sendiri, untuk melakukan kegiatan thermovisi, alat *thermal imager* yang digunakan adalah Flir dengan tipe E60.

2.4.3. Perhitungan suhu klem dan suhu konduktor

Pelaksanaan pengukuran temperature menggunakan thermovisi dilakukan pada temperatur konduktor dan temperature pada klem sambungan. Standard pengukuran thermovisi untuk membandingkan suhu klem dengan konduktor menggunakan persamaan pendekatan kriteria delta-t (ΔT) adalah sebagai berikut:

$$\Delta T = \left(\frac{I_{maks}}{I_{saat\ thermovisi}} \right)^2 \cdot (T_{klem} - T_{konduktor}) \quad (2)$$

Keterangan :

- ΔT = Selisih suhu klem terhadap konduktor
- I maks = Arus maksimal yang pernah dicapai
- I saat thermovisi = Arus saat thermovisi
- T klem = Suhu klem
- T konduktor = Suhu konduktor

2.4.4. Perhitungan Emisivitas

Nilai emisivitas akan dicari menggunakan rumus perpindahan radiasi Hukum Stefan Boltzman. Rumus yang digunakan dalam perhitungan nilai emisivitas ini sebagai berikut:

$$P = e \cdot \sigma \cdot T^4 \rightarrow e = \frac{P}{\sigma T^4} \quad (3)$$

Keterangan :

P = Energi thermal conductivity (Alumunium = 237W/m.K)

e = Emisivitas

σ = Konstanta Stefan Boltzman = $5,672 \times 10^{-8}$ Watt m^{-2} K^{-4}

T = Suhu mutlak (K)

2.4.5. Analisis Validasi

Merupakan suatu pembuktian hitungan terhadap parameter tertentu. Untuk membuktikan bahwa parameter tersebut sudah memiliki presisi dan akurasi yang baik atau tidak.

2.4.5.1. Uji Presisi

Untuk menguji tingkat presisi dari pengukuran, maka diperlukan *Coeffisien Variation* (CV) dan *Relative Strandard Deviation* (RSD). SD dan CV dapat dihitung dari rumus berikut :

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (x-a)^2}{n-1}} \quad (4)$$

Keterangann :

SD = *Standard deviation* (simpangan baku)

$\sum(x - a)^2$ = Jumlah total nilai emisivitas dikurangi rata-rata nilai emisivitas

n = Jumlah

$$CV = \left(\frac{SD}{\alpha} \right) \times 100\% \quad (5)$$

Keterangan :

CV = Variasi koefisien

SD = *Standard deviation* (simpang baku)

α = Nilai rata-rata emisivitas

2.4.5.2. Uji Akurasi

Uji akurasi merupakan sebuah kedekatan hasil analisis terhadap *standar reference material* (RSM) yang sesungguhnya. Hasil hitung dari metode validasi terhadap nilai sebenarnya menggambarkan seberapa tinggi akurasi uji tersebut. Uji menggunakan persamaan berikut :

$$\%recovery = \left(\frac{(\alpha) - x \text{ benar}}{x \text{ benar}} \right) \times 100\% \quad (6)$$

Keterangan :

$\%recovery$ = Presentase nilai bias

α = Nilai rata – rata emisivitas

$x \text{ benar}$ = Nilai yang benar

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu

3.1.1. Tempat

Dalam pelaksanaan penelitian dan penulisan tugas akhir ini dilakukan dengan pengambilan data langsung di PT. PLN (Persero) UPT Medan Gardu Induk 150 kV Glugur Jalan KL. Yos Sudarso Lor. 12 Medan.

3.1.2. Waktu

Waktu pelaksanaan penelitian ini yaitu di mulai dari bulan Februari s/d Maret 2020.

Tabel 3. 1 Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Uraian Kegiatan	Waktu					
		1	2	3	4	5	6
1	Pengajuan Judul						
2	Studi Litelatur						
3	Penulisan Bab 1 s/d Bab 3						
4	Seminar Proposal						
5	Penelitian dan Pengambilan Data						
6	Pengolahan Data						
7	Penyelesaian penulisan						
8	Sidang						

3.2. Bahan dan Alat

Alat yang digunakan untuk menganalisis dan mengolah data termovisi dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perangkat Keras (Hardware)

Beberapa perangkat keras yang digunakan dalam penelitian dan penulisan tugas akhir ini antara lain:

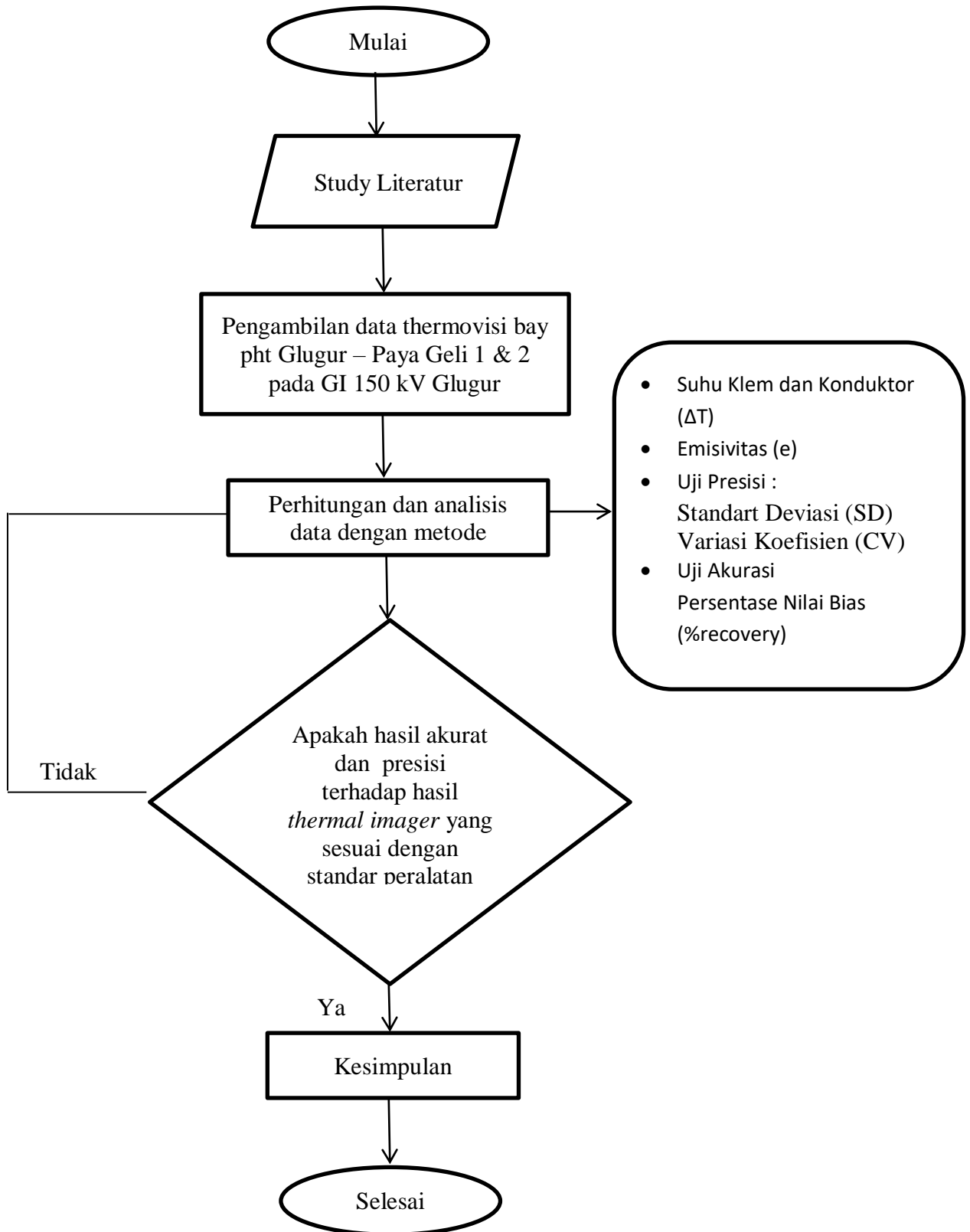
- Alat ukur termovisi (*thermal imagers*) merk Flir tipe E60
- Laptop Asus dengan prosesor CORE i7 9th Gen
- Kalkulator

2. Perangkat Lunak (Software)

Perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan penelitian dan penulisan tugas akhir ini adalah:

- Software *FLIR Tools*
- Microsoft Word
- Microsoft Excel

3.3. Bagan Alir Penelitian



3.4. Prosedur Penelitian

Adapun langkah-langkah yang harus diketahui dalam melaksanakan penelitian tugas akhir ini antara lain sebagai berikut :

1. Menyiapkan alat dan bahan.

Alat dan bahan yang digunakan pada proses penelitian tugas akhir ini adalah *thermal imagers* sebagai media yang mampu menangkap dan menampilkan suhu dari peralatan yang diukur. Selain itu juga digunakan laptop dan kalkulator sebagai media untuk melakukan analisis hasil dari *thermal imagers* menggunakan analisa data perhitungan.

2. Melakukan pemotretan objek

Waktu saat dilakukannya pemotretan object adalah 1 minggu sekali pada waktu beban puncak (07.00-08.30 pm)

3. Melakukan identifikasi terhadap gambar yang didapat

Object yang telah di potret menggunakan *thermal imagers* kemudian dilakukan identifikas dengan menggunakan *software FLIR Tools* untuk mengetahui suhu dari titik-titik object yang telah dilakukan pemotretan.

4. Melakukan rekap data terhadap hasil identifikasi.

Hasil dari identifikasi yang telah dilakukan, direkap ke dalam form excel yang telah ditetapkan daru PLN unit terkait.

5. Melakukan analisa perhitungan terhadap hasil pengolahan identifikasi

Melakukan analisa perhitungan ΔT , emissivitas, uji presisi, dan uji akurasi menggunakan data yang telah didapat dari hasil pemotretan dengan *thermal imagers* tersebut.

6. Menarik kesimpulan terhadap peralatan

Ditarik kesimpulan berupa rekomendasi peralatan dan atau perbaikan peralatan dengan data yang telah dilakukan analisa perhitungan. Kesimpulan tersebut merujuk pada standard PLN yang terdapat pada tabel 2.1 yaitu “Standar Pengukuran Thermovisi berdasarkan *Buku Pedoman Pemeliharaan PLN No. 0520-2.K/DIR/2014*”

7. Selesai.

3.5. Analisis Data

Analisis data merupakan bagian yang sangat penting dalam metode ilmiah karena analisis data yang tepat dapat memberi arti dan makna yang berguna dalam memecahkan masalah penelitian, sehingga akan didapat suatu kesimpulan yang sesuai dengan tujuan penelitian. Proses analisis dimulai dengan menyusun seluruh data yang tersedia dari dokumentasi yang ada. Kemudian data hasil penelitian dianalisis secara tepat agar kesimpulan yang diperoleh benar dan sesuai dengan apa yang telah dilakukan dan untuk menciptakan rekomendasi yang baik terhadap peralatan Gardu Induk.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Perhitungan suhu perbandingan klem dan konduktor

Pengukuran dan pengambilan data thermovisi dilakukan oleh operator dari Gardu Induk 150 kV Glugur per minggunya. Adapun titik pengukuran yang diukur antara lain adalah bay penghantar, bay transformator, bay kopel dan penyulang 20 kV. Sedangkan titik yang pada analisis thermovisinya harus menggunakan persamaan kriteria ΔT adalah pada titik titik sambungan antara klem dan konduktor. Maka dari itu untuk menganalisis data thermovisi tersebut penulis menggunakan data sambungan antara klem dan konduktor pada bay penghantar Glugur - Paya Geli 1 & 2. Pada penelitian tugas akhir ini data yang digunakan adalah data thermovisi pada minggu ke 2 Agustus 2020. Di Gardu Induk 150 kV Glugur sendiri menggunakan alat *thermal imagers* tipe Flir E60.

Perhitungan perbandingan dari suhu klem dan konduktor (ΔT), diambil sebanyak 30 titik. Dan dibawah ini merupakan sampel dari penjabaran perhitungan perbandingan ΔT .

a) Glugur – Paya Geli 1

- Klem Dropper LA Phasa S

$$\begin{aligned}\Delta T &= \left(\frac{Imaks}{Isaat thermovisi} \right)^2 \cdot (T klem - T konduktor) \\ &= \left(\frac{211A}{155A} \right)^2 \cdot (28^{\circ}C - 28,6^{\circ}C) = -1,11^{\circ}C\end{aligned}$$

- Klem LA Phasa T

$$\begin{aligned}\Delta T &= \left(\frac{Imaks}{Isaat thermovisi} \right)^2 \cdot (T klem - T konduktor) \\ &= \left(\frac{212A}{155A} \right)^2 \cdot (29,3^{\circ}C - 30,3^{\circ}C) = -1,87^{\circ}C\end{aligned}$$

- CVT/Line Trap sisi LA Phasa R

$$\Delta T = \left(\frac{Imaks}{Isaat thermovisi} \right)^2 \cdot (T klem - T konduktor)$$

$$= \left(\frac{211A}{156A}\right)^2 \cdot (32,8^{\circ}\text{C} - 30,8^{\circ}\text{C}) = 3,65^{\circ}\text{C}$$

- CVT/Line Trap sisi Airbushing Phasa S

$$\begin{aligned}\Delta T &= \left(\frac{Imaks}{Isaat thermovisi}\right)^2 \cdot (T klem - T konduktor) \\ &= \left(\frac{211A}{155A}\right)^2 \cdot (31,3^{\circ}\text{C} - 31,2^{\circ}\text{C}) = 0,18^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

- Airbushing 150 kV Phasa T

$$\begin{aligned}\Delta T &= \left(\frac{Imaks}{Isaat thermovisi}\right)^2 \cdot (T klem - T konduktor) \\ &= \left(\frac{212A}{155A}\right)^2 \cdot (33,1^{\circ}\text{C} - 33,1^{\circ}\text{C}) = 0^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

b) Glugur – Paya Geli 2

- Klem Dropper LA Phasa T

$$\begin{aligned}\Delta T &= \left(\frac{Imaks}{Isaat thermovisi}\right)^2 \cdot (T klem - T konduktor) \\ &= \left(\frac{363A}{113A}\right)^2 \cdot (28,3^{\circ}\text{C} - 28,7^{\circ}\text{C}) = -4,12^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

- Klem LA Phasa R

$$\begin{aligned}\Delta T &= \left(\frac{Imaks}{Isaat thermovisi}\right)^2 \cdot (T klem - T konduktor) \\ &= \left(\frac{360A}{111A}\right)^2 \cdot (28,6^{\circ}\text{C} - 29,7^{\circ}\text{C}) = -11,57^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

- CVT/Line Trap sisi LA Phasa R

$$\begin{aligned}\Delta T &= \left(\frac{Imaks}{Isaat thermovisi}\right)^2 \cdot (T klem - T konduktor) \\ &= \left(\frac{360A}{111A}\right)^2 \cdot (32,7^{\circ}\text{C} - 31,4^{\circ}\text{C}) = 13,67^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

- CVT/Line Trap sisi Airbushing Phasa S

$$\Delta T = \left(\frac{Imaks}{Isaat thermovisi}\right)^2 \cdot (T klem - T konduktor)$$

$$= \left(\frac{365A}{112A}\right)^2 \cdot (30,9^{\circ}\text{C} - 30,6^{\circ}\text{C}) = 3,18^{\circ}\text{C}$$

- Airbushing 150 kV Phasa T

$$\Delta T = \left(\frac{Imaks}{Isaat\ thermovisi}\right)^2 \cdot (T\ klem - T\ konduktor)$$

$$= \left(\frac{363A}{113A}\right)^2 \cdot (33,9^{\circ}\text{C} - 32,6^{\circ}\text{C}) = 13,41^{\circ}\text{C}$$

Nilai-nilai yang telah diinput pada pengolahan data diatas adalah langsung dari pengukuran menggunakan *thermal imager* dan diolah menggunakan *software FlirTools*. Berikut tabel thermovisi bay penghantar Paya Geli 1 & 2 Gardu Induk 150 kV Glugur pada minggu kedua Agustus 2020.

Tabel 4. 1 Thermovisi klem dan konduktor bay Penghantar Glugur - Paya Geli 1

No	Obyek		Arus Tertinggi yang pernah dicapai	Arus saat Shooting	Suhu Klem Saat Shooting	Suhu Konduktor Saat Shooting	Selisih Suhu Klem Terhadap Konduktor ΔT	Tindak Lanjut
			I_m^2 (A)	I_s^2 (A)	T_{kls} (C^0)	T_{kls} (C^0)	(C^0)	(C^0)
			a	b	c	d	$e = (a^2/b^2) \times (c-d)$	d
1	Klem Dropper	R	211	156	28,1	28,1	0	Kondisi Baik
		S	211	155	28	28,6	-1	Kondisi Baik
		T	212	155	29,5	28,1	3	Kondisi Baik
2	Klem LA	R	211	156	28,8	30,1	-2	Kondisi Baik
		S	211	155	29,6	30,4	-1	Kondisi Baik
		T	212	155	29,3	30,3	-2	Kondisi Baik
3	CVT/Line Trap sisi LA	R	211	156	32,8	30,8	4	Kondisi Baik
		S	211	155	31,3	31,2	0	Kondisi Baik

		T	212	155	31,8	31,2	1	Kondisi Baik
4	CVT/Line Trap sisi Airbushing	R	211	156	33,6	32,4	2	Kondisi Baik
		S	211	155	31,3	31,2	0	Kondisi Baik
		T	212	155	31,8	31,2	1	Kondisi Baik
5	Airbushing 150 Kv	R	211	156	32,6	31,2	3	Kondisi Baik
		S	211	155	31,9	31,5	1	Kondisi Baik
		T	212	155	33,1	33,1	0	Kondisi Baik

Kolom “e” merupakan hasil dari perhitungan perbandingan antara suhu klem dengan konduktor yang telah dilakukan pembulatan, jika 1 angka lebih besar daripada 5 maka dibulatkan menjadi 1 ($0,5 \geq 1$).

Sesuai dengan Standard Pengukuran Thermovisi berdasarkan *Buku Pedoman Pemeliharaan PLN No. 0520-2.K/DIR/2014* pada tabel 2.1, tabel 4.1 diatas menunjukkan bahwa kondisi peralatan pada bay penghantar Glugur-Paya Geli 1 semuanya berada dalam “kondisi baik”. Namun demikian tetap harus dilakukan pemantauan secara berkala untuk terus menjaga kondisi keandalan peralatan.

Tabel 4. 2 Thermovisi klem dan konduktor bay Penghantar Glugur – Paya Geli 2

No	Obyek		Arus Tertinggi yang pernah dicapai	Arus saat Shooting	Suhu Klem Saat Shooting	Suhu Konduktor Saat Shooting	Selisih Suhu Klem Terhadap Konduktor ΔT	Tindak Lanjut
			I_m^2 (A)	I_s^2 (A)	T_{kls} (C^0)	T_{kls} (C^0)	(C^0)	(C^0)
			a	b		c	$e = (a^2/b^2) \times (c-d)$	
1	Klem Dropper	R	360	111	29,2	28,8	4	Kondisi Baik

		S	365	112	31,8	32	-2	Kondisi Baik
		T	363	113	28,3	28,7	-4	Kondisi Baik
2	Klem LA	R	360	111	28,6	29,7	-12	Kondisi Baik
		S	365	112	29,3	30,5	-13	Kondisi Baik
		T	363	113	29,2	30,2	-10	Kondisi Baik
3	CVT/Line Trap sisi LA	R	360	111	32,7	31,4	14	Ukur 1 Bulan lagi
		S	365	112	30,9	30,6	3	Kondisi Baik
		T	363	113	30,6	30,6	0	Kondisi Baik
4	CVT/Line Trap sisi Airbushing	R	360	111	34,1	32,1	21	Ukur 1 Bulan lagi
		S	365	112	30,9	30,6	3	Kondisi Baik
		T	363	113	30,6	30,6	0	Kondisi Baik
5	Airbushing 150 Kv	R	360	111	31,9	31,8	1	Kondisi Baik
		S	365	112	32,7	33	-3	Kondisi Baik
		T	363	113	33,9	32,6	13	Ukur 1 Bulan lagi

Pada Tabel 4.2 diatas menunjukkan hasil thermovisi pada bay penghantar Glugur-Paya Geli 2 terdapat beberapa titik yang telah berubah menjadi kondisi yang abnormal (*Hot Point*). Seperti terdapat pada 6 titik yang hasil selisih suhunya antara klem dan konduktor mencapai lebih dari 10 (≥ 10), maka dari itu tindak lanjut dari kondisi ini adalah “Ukur 1 Bulan lagi”. Hasil ini juga merujuk pada tabel standard thermovisi yang telah ditetapkan oleh PLN pada tabel 2.1. Akan tetapi kondisi ini bukan berarti mengindikasikan peralatan dalam kondisi yang tidak baik namun, kondisi seperti ini juga bisa terjadi karena bay penghantar yang lain (Glugur-Paya Geli 1) dalam keadaan padam untuk tujuan tertentu (terjadwal) ataupun *emergency*. Maka dari itu terjadi penambahan arus pada bay

penghantar lainnya (Glugur-Paya Geli 2) yang mengakibatkan panas pada peralatanpun juga semakin tinggi dikarenakan dialiri arus yang cukup besar daripada biasanya.

4.2. Perhitungan Nilai Emisivitas

Emisivitas dari sebuah bahan merupakan rasio total energi yang kemudian di radiasikan oleh permukaan dari bahan tersebut atau dengan kata lain emisivitas merupakan kemampuan memancarkan energi inframerah oleh *black body* pada kondisi suhu gelombang yang sama dari bahan tersebut. Emisivitas dari suatu bahan sudah memiliki nilai masing-masing, akan tetapi nilai tersebut dapat berubah sesuai dengan kondisi bahan tersebut dan atau disebabkan karena keadaan lingkungan serta pembiasan.

Dalam melakukan pengukuran suhu terhadap suatu bahan, alat thermal imager yang dilakukan harus terlebih dahulu penyetingan nilai emisivitasnya sesuai dengan jenis bahan yang akan diukur. Hal ini dilakukan semata-mata agar settingan alat ukur mengetahui benda apa yang diukur, seperti yang sudah dijelaskan bahwasanya nilai emisivitas masing-masing bahan tidak selalu sama, karena terdapat faktor-faktor lain mempengaruhi sehingga nilai real dan nilai tetapan emisivitas bahannya pasti berbeda. Faktor-faktor lain tersebut seperti arus yang mengalir bahan tersebut dan juga keadaan lingkungan tempat peralatan tersebut.

Untuk menganalisis nilai pengukuran emisivitas dengan menggunakan metode validasi maka salah satu variabel yang dibutuhkan adalah variasi *Coeffisien Variation* (CV). Nilai emisivitas ini akan dijadikan *Coeffisien Variation* karena nilainya yang tidak selalu sama walaupun bahannya yang diukur memiliki jenis yang sama (aluminium). Nilai emisivitas akan dicari menggunakan rumus perpindahan kalor radiasi (hukum Stefan Boltzman).

Berikut adalah beberapa contoh penjabaran nilai emisivitas diambil dari beberapa sampel suhu pada Bay Penghantar Glugur-Paya Geli 1 & 2 sebagai berikut :

- a) Glugur – Paya Geli 1
 - Terminal Klem Dropper Fasa R (28,1⁰C)

$$e = \frac{P}{\sigma T^4}$$

$$= \frac{237 \text{ W/m.K}}{(5,672 \times 10^{-8} \text{ W/M}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}) \cdot 301,1 \cdot \text{K}^4} = 0,5084$$

- Terminal Klem LA Phasa S (29,6⁰C)

$$e = \frac{P}{\sigma T^4}$$

$$= \frac{237 \text{ W/m.K}}{(5,672 \times 10^{-8} \text{ W/M}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}) \cdot 302,6 \cdot \text{K}^4} = 0,4984$$

- Terminal CVT/Line Trap Sisi LA Phasa T (31,8⁰C)

$$e = \frac{P}{\sigma T^4}$$

$$= \frac{237 \text{ W/m.K}}{(5,672 \times 10^{-8} \text{ W/M}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}) \cdot 304,8 \cdot \text{K}^4} = 0,4841$$

- Terminal CVT/Line Trap Sisi Airbrushing Phasa T (31,8⁰C)

$$e = \frac{P}{\sigma T^4}$$

$$= \frac{237 \text{ W/m.K}}{(5,672 \times 10^{-8} \text{ W/M}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}) \cdot 304,8 \cdot \text{K}^4} = 0,4841$$

- Terminal Airbrushing 150 Phasa S (31,9⁰C)

$$e = \frac{P}{\sigma T^4}$$

$$= \frac{237 \text{ W/m.K}}{(5,672 \times 10^{-8} \text{ W/M}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}) \cdot 304,9 \cdot \text{K}^4} = 0,4835$$

b) Glugur – Paya Geli 2

- Terminal Klem Dropper Phasa T (28,3⁰C)

$$e = \frac{P}{\sigma T^4}$$

$$= \frac{237 \text{ W/m.K}}{(5,672 \times 10^{-8} \text{ W/M}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}) \cdot 301,3 \cdot \text{K}^4} = 0,5070$$

- Terminal Klem LA Phasa S (29,3⁰C)

$$e = \frac{P}{\sigma T^4}$$

$$= \frac{237 \text{ W/m.K}}{(5,672 \times 10^{-8} \text{ W/M}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}) \cdot 302,3 \cdot \text{K}^4} = 0,5003$$

- Terminal CVT/Line Trap Sisi LA Phasa R (32,7⁰C)

$$e = \frac{P}{\sigma T^4}$$

$$= \frac{237 \text{ W/m.K}}{(5,672 \times 10^{-8} \text{ W/M}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}) \cdot 305,7 \cdot \text{K}^4} = 0,4784$$

- Terminal CVT/Line Trap Sisi Airbrushing Phasa R (30,6⁰C)

$$e = \frac{P}{\sigma T^4}$$

$$= \frac{237 \text{ W/m.K}}{(5,672 \times 10^{-8} \text{ W/M}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}) \cdot 303,6 \cdot \text{K}^4} = 0,4918$$

- Terminal Airbrushing 150 Phasa S (32,7⁰C)

$$e = \frac{P}{\sigma T^4}$$

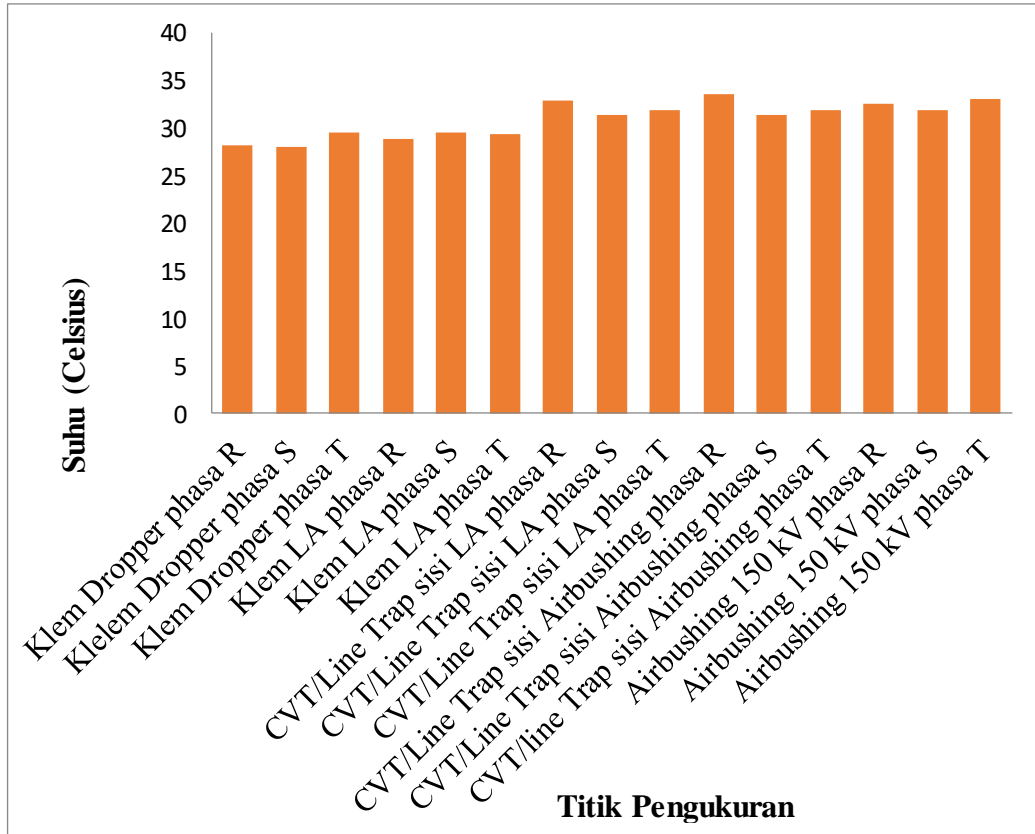
$$= \frac{237 \text{ W/m.K}}{(5,672 \times 10^{-8} \text{ W/M}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}) \cdot 305,7 \cdot \text{K}^4} = 0,4784$$

Berikut dibawah ini adalah tabel dan grafik hasil perhitungan nilai emisivitas dari hasil pengukuran thermovisi pada bay penghantar Glugur-Paya Geli 1 & 2 Gardu Induk 150 kV Glugur minggu ke 2 Agustus 2020.

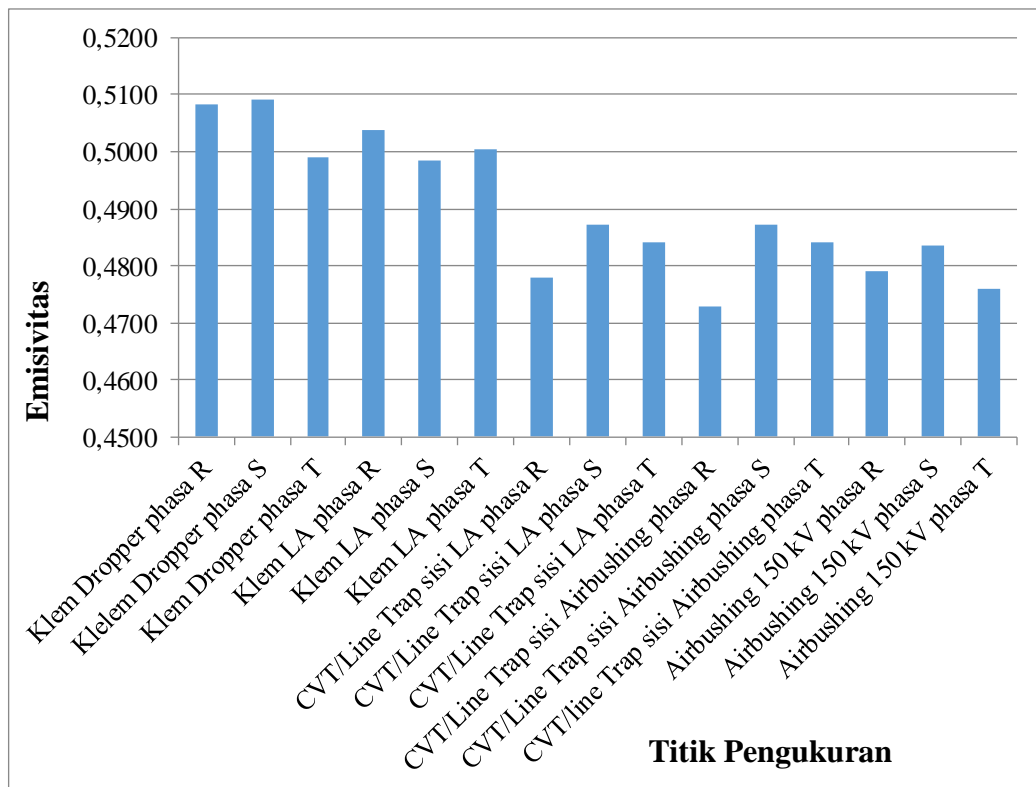
Tabel 4. 3 Nilai Emisivitas bay Penghantar Glugur-Paya Geli 1

No	Objek		Suhu saat Thermo	Nilai Emisivitas
1	Klem Dropper	R	28,1	0,5084
		S	28	0,5090
		T	29,5	0,4990
2	Klem LA	R	28,8	0,5037
		S	29,6	0,4984
		T	29,3	0,5003
3	CVT/Line Trap sisi LA	R	32,8	0,4778
		S	31,3	0,4873
		T	31,8	0,4841
4	CVT/Line Trap sisi Airbushing	R	33,6	0,4729
		S	31,3	0,4873
		T	31,8	0,4841
5	Airbushing 150 kV	R	32,6	0,4791

	S	31,9	0,4835
	T	33,1	0,4759
Rata-rata			0,4901



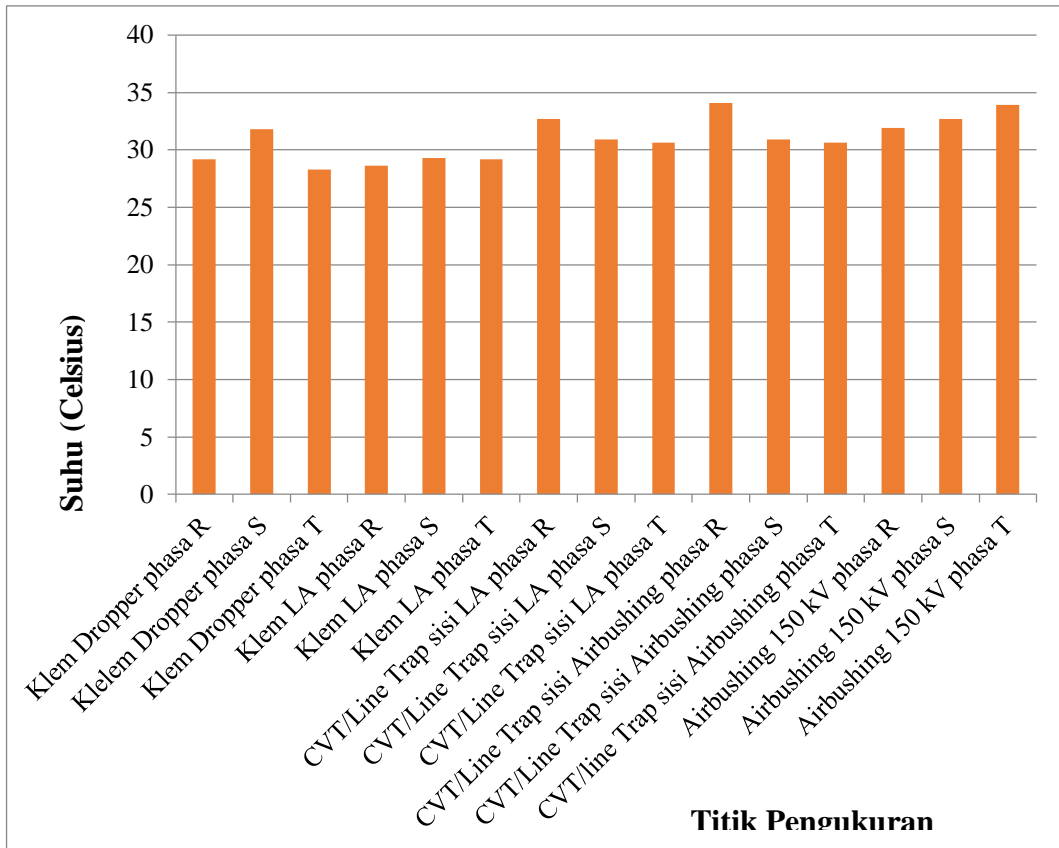
Gambar 4. 1 Grafik pengukuran suhu bay Penghantar – Glugur Paya Geli 1



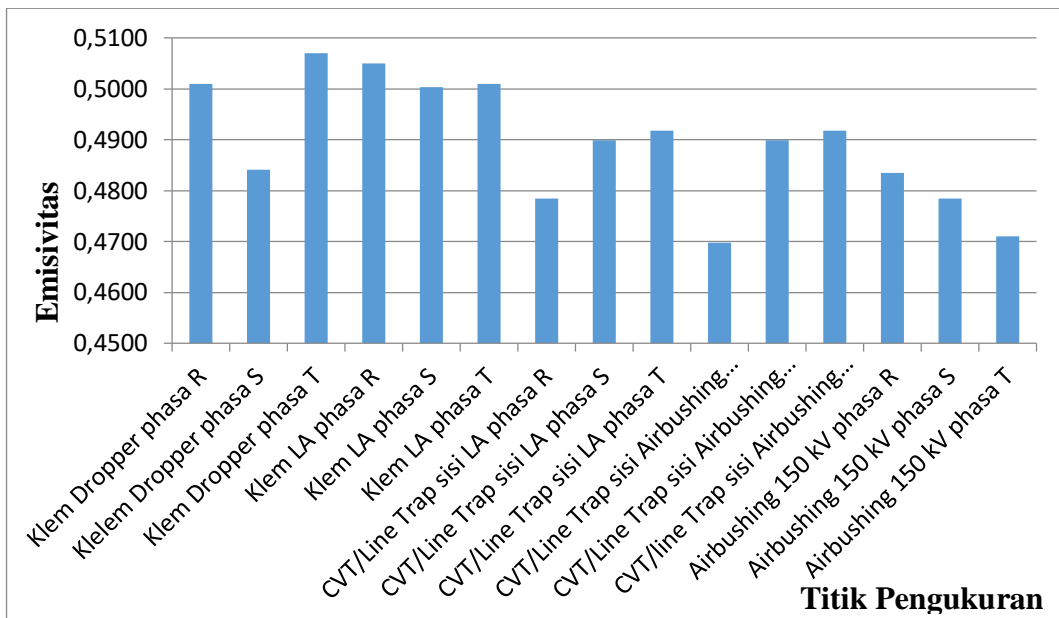
Gambar 4. 2 Grafik perhitungan nilai Emisivitas bay Penghantar Glugur-Paya Geli 1

Tabel 4. 4 Nilai Emisivitas bay Penghantar Glugur-Paya Geli 2

No	Objek		Suhu saat Thermo	Nilai Emisivitas
1	Klem Dropper	R	29,2	0,5010
		S	31,8	0,4841
		T	28,3	0,5070
2	Klem LA	R	28,6	0,5050
		S	29,3	0,5003
		T	29,2	0,5010
3	CVT/Line Trap sisi LA	R	32,7	0,4784
		S	30,9	0,4899
		T	30,6	0,4918
4	CVT/Line Trap sisi Airbushing	R	34,1	0,4698
		S	30,9	0,4899
		T	30,6	0,4918
5	Airbushing 150 kV	R	31,9	0,4835
		S	32,7	0,4784
		T	33,9	0,4710
Rata-rata				0,4895



Gambar 4. 3 Grafik pengukuran suhu bay penghantar Glugur-Paya Geli 2



Gambar 4. 4 Grafik perhitungan nilai Emisivitas bay Penghantar Glugur-Paya Geli 2

Pada tabel 4.3 dan 4.4 diatas yang merupakan hasil dari analisa nilai emisivitas thermovisi dengan menggunakan perhitungan hukum Stefan Boltzman yang menghasilkan rata-rata nilai emisivitas dapat dikatakan masih dalam keadaan baik. Dimana rata-rata nilai emisivitas tersebut antara lain pada bay penghantar Glugur-Paya Geli 1 yang dimuat dalam tabel 4.3 adalah sebesar 0,4901 dan pada bay penghantar Glugur-Paya Geli 2 yang ditunjukkan pada tabel 4.4 adalah sebesar 0,4895. Analisa diambil dari semua titik pengukuran yaitu sebanyak 30 titik, 15 titik pada bay penghantar Glugur-Paya Geli 1 dan 15 titik lainnya pada bay penghantar Glugur-Paya Geli 2.

Pada tabel-tabel diatas ditunjukkan bahwa suhu tertinggi dari pengukuran yang dilakukan adalah sebesar 34,1°C dengan nilai emisivitasnya yaitu 0,4698 terdapat pada titik pengukuran airbushing fasa S bay penghantar Glugur-Paya Geli 2. Sedangkan suhu terendahnya adalah sebesar 28°C dengan nilai emisivitasnya sebesar 0,5090 yang terdapat pada titik pengukuran klem dropper fasa S Glugur-Paya Geli 1. Akan tetapi dari semua hasil nilai emisivitas yang telah dilakukan analisa perhitungan, jika dilakukan pembulatan maka semuanya masih termasuk dalam rentan suhu yang sesuai dengan *Standard Reference Material (SRM)* (emisivitas alumunium 0,5).

Sedangkan pada grafik dari suhu dan juga grafik emisivitas diatas, dapat disimpulkan kondisi yang terjadi adalah apabila suhu dari peralatan semakin tinggi, maka nilai emisivitas dari peralatan tersebut semakin rendah. Begitu juga sebaliknya, ketika suhu peralatan rendah, maka nilai emisivitasnya akan meningkat.

Maka dapat dinyatakan bahwa ketika suhu peralatan semakin tinggi, kemampuan untuk meradiasikan sinar inframerah dari alat ukur semakin berkurang, karena bahan tersebut tidak dapat menyerap sinar inframerah dengan baik. Hal ini disebabkan oleh suhu permukaan peralatan yang panas.

4.3 Analisis Validasi

Setelah dilakukan perhitungan nilai emisivitas dan diperoleh hasil perhitungannya, metode selanjutnya yaitu uji validasi sebagai pembuktian

hitungan terhadap parameter tertentu untuk menganalisa keakuratan dan presisi dari hasil sebuah pengukuran.

4.3.1. Uji Presisi

Uji presisi merupakan analisa perhitungan yang hasilnya menunjukkan derajat keakuratan terhadap hasil pengukuran, yang dihitung berdasarkan nilai *Standard Reference Material (SRM)*. Pada analisa ini, SRM yang digunakan adalah nilai emisivitas dari ACSR Alumunium yang memiliki nilai sebesar 0,5. Nilai ini merupakan nilai emisivitas standard yang dikeluarkan oleh *Infrared Training Center of Flir System Inc.* Presentase presisi recovery dinyatakan dengan *Coefficient of Variation (CV)* dan *Relative Standard Deviation (RSD)*. Jika nilai CV pada perhitungan < (lebih kecil dari) 2% maka dapat dinyatakan bahwa metode tersebut mempunyai presisi yang baik.

Pada analisa perhitungan CV, sampel yang digunakan berjumlah 30 dari keseluruhan data dari bay penghantar Glugur-Paya Geli 1 & 2. CV akan diperoleh melalui persamaan pada tabel-tabel di bawah ini:

Tabel 4. 5 Validasi Thermovisi bay penghantar Glugur-Paya Geli 1

No	Objek		x	α	$(x - \alpha)$	$(x - \alpha)^2$
1	Klem Dropper	R	0,5084	0,4901	0,018306	0,000335
		S	0,5090	0,4901	0,018982	0,000360
		T	0,4990	0,4901	0,008960	0,000080
2	Klem LA	R	0,5037	0,4901	0,013606	0,000185
		S	0,4984	0,4901	0,008301	0,00069
		T	0,5003	0,4901	0,010282	0,000106
3	CVT/Line Trap sisi LA	R	0,4778	0,4901	-0,012234	0,000150
		S	0,4873	0,4901	-0,002742	0,000008
		T	0,4841	0,4901	-0,005932	0,000035
4	CVT/Line Trap sisi Airbushing	R	0,4729	0,4901	-0,017201	0,000296
		S	0,4873	0,4901	-0,002472	0,000008
		T	0,4841	0,4901	-0,005932	0,000035
5	Airbushing 150 kV	R	0,4791	0,4901	-0,010982	0,000121
		S	0,4835	0,4901	-0,006567	0,000043
		T	0,4759	0,4901	-0,014104	0,000199
$\sum(x - a)^2$						0,002029
$SD = \sqrt{\frac{\sum(x-a)^2}{n-1}}$						0,0120374
$CV = \left(\frac{SD}{\alpha}\right) \times 100\%$						0,25%

Pada tabel 4.5 diatas, yaitu validasi thermovisi untuk bay penghantar Glugur-Paya Geli 1 memiliki nilai rata-rata emisivitas sebesar 0,4901 dan nilai tersebut sudah sangat mendekati SRM dari peralatan yaitu 0,5. Hasil dari CV pada analisa perhitungan bay penghantar Glugur-Paya Geli 1 ini adalah sebesar 0,25%, dimana hasil ini sudah dapat dinyatakan sangat baik dan menunjukkan bahwa pengukuran yang dilakukan pada bay penghantar Glugur-Paya Geli 1 memiliki tingkat presisi yang sangat baik. Sehingga dapat dinyatakan bahwa kualitas dari peralatan yang diukur pada bay penghantar Glugur-Paya Geli 1 juga masih dalam kondisi yang baik secara keseluruhan.

Tabel 4. 6 Validasi Thermovisi bay Penghantar Glugur-Paya Geli 2

No	Objek		x	α	$(x - \alpha)$	$(x - \alpha)^2$
1	Klem Dropper	R	0,5010	0,4895	0,011463	0,000131
		S	0,4841	0,4895	-0,005414	0,000029
		T	0,5070	0,4895	0,017476	0,000305
2	Klem LA	R	0,5050	0,4895	0,015461	0,000239
		S	0,5003	0,4895	0,010800	0,000117
		T	0,5010	0,4895	0,011463	0,000131
3	CVT/Line Trap sisi LA	R	0,4784	0,4895	-0,011090	0,000123
		S	0,4899	0,4895	0,000346	0,000000
		T	0,4918	0,4895	0,002286	0,000005
4	CVT/Line Trap sisi Airbushing	R	0,4698	0,4895	-0,019755	0,000390
		S	0,4899	0,4895	0,000346	0,000000
		T	0,4918	0,4895	0,002286	0,000005
5	Airbushing 150 kV	R	0,4835	0,4895	-0,006049	0,000037
		S	0,4784	0,4895	-0,011090	0,000123
		T	0,4710	0,4895	-0,018529	0,000343
$\Sigma(x - a)^2$						0,001980
$SD = \sqrt{\frac{\Sigma(x-a)^2}{n-1}}$						0,0118912
$CV = \left(\frac{SD}{\alpha}\right) \times 100\%$						0,24%

Pada tabel 4.6 merupakan perhitungan terhadap peralatan yang terdapat di bay penghantar Glugur-Paya Geli 2. Pada bay penghantar Glugur-Paya Geli 2 rata-rata nilai emisivitas peralatannya adalah sebesar 0,4895. Nilai emisivitas ini dibawah dari nilai emisivitas pada bay penghantar Glugur-Paya Geli 1. Namun tetap bisa dinyatakan baik karena nilainya masih mendekati daripada nilai RSM.

Dan hasil dari perhitungan CV pada bay penghantar Glugur-Paya Geli 2 adalah sebesar 0,24%, dan hasil ini dapat dikategorikan sebagai hasil yang baik dari standar nilai CV yaitu sebesar 2%. Jadi hasil ini dapat dijadikan sebagai acuan tindak lanjut mengenai analisis uji presisi pada peralatan di Gardu Induk 150 kV Glugur.

4.3.2. Uji Akurasi

Uji akurasi adalah sebuah parameter yang menunjukkan derajat kedekatan antara hasil analisa perhitungan yang telah dilakukan perhitungannya berdasarkan *standard reference material (SRM)* dengan nilai *standard reference material (SRM)* yang sesungguhnya. Akurasi dinyatakan dalam perolehan kembali (*recovery*) analit yang ditambahkan. Berikut adalah perhitungan akurasi pada nilai thermovisi bay penghantar Glugur-Paya Geli 1 & 2 Gardu Induk 150 kV Glugur.

a) Bay Penghantar Glugur-Paya Geli 1

$$\begin{aligned} \%recovery &= \left(\frac{(\alpha) - x \text{ benar}}{x \text{ benar}} \right) \times 100\% \\ &= \left(\frac{0,4901 - 0,5}{0,5} \right) \times 100\% = 1,98\% \end{aligned}$$

Maka akurasinya = 100% - 1,98% = 98,02%

b) Bay Penghantar Glugur-Paya Geli 2

$$\begin{aligned} \%recovery &= \left(\frac{(\alpha) - x \text{ benar}}{x \text{ benar}} \right) \times 100\% \\ &= \left(\frac{0,4895 - 0,5}{0,5} \right) \times 100\% = 2,1\% \end{aligned}$$

Maka akurasinya = 100% - 1,05% = 97,9%

Dari hasil analisa perhitungan diatas, bay penghantar Glugur-Paya Geli 1 & 2 pada Gardu Induk 150 kV memiliki tingkat akurasi yang sangat baik. Yaitu

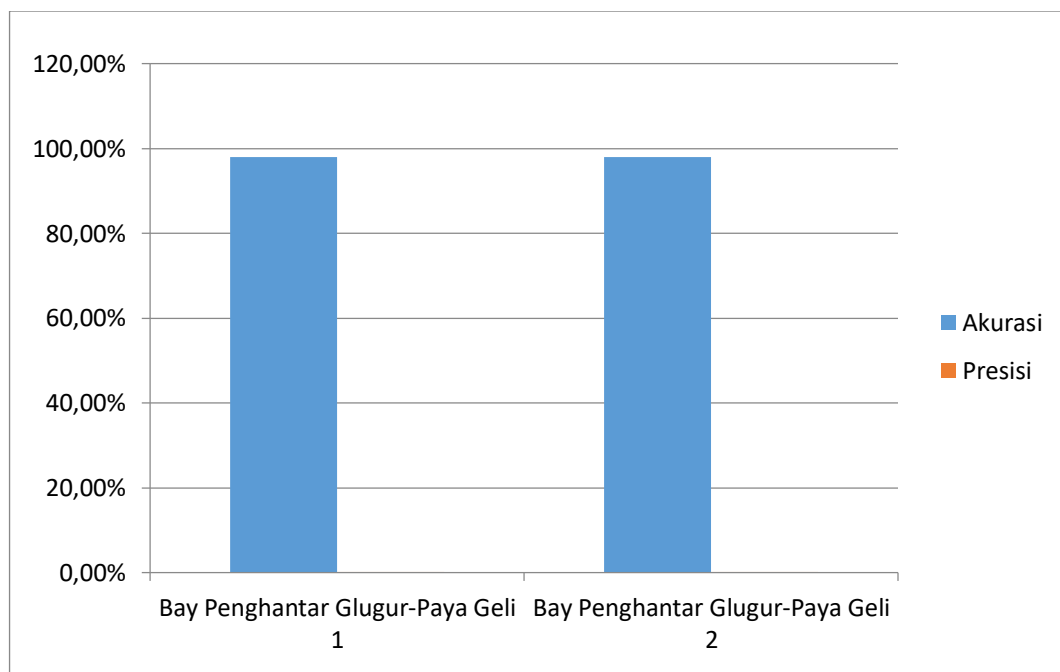
tingkat akurasi bay penghantar Glugur-Paya Geli 1 dengan tingkat akurasi sebesar 98,02% dan bay penghantar Glugur-Paya Geli 2 sebesar 97,9%.

Nilai tingkat akurasi pada bay penghantar Glugur-Paya Geli 1 lebih tinggi dibandingkan nilai tingkat akurasi yang dimiliki oleh bay penghantar Glugur-Paya Geli 2. Hal ini disebabkan karena nilai emisivitas pada bay penghantar Glugur-Paya Geli 1 banyak yang nilainya mendekati SRM. Dan hal tersebut dapat kita lihat dari hasil rata-rata nilai emisivitasnya. Namun secara keseluruhan bay penghantar Glugur-Paya Geli 1 & 2 Gardu Induk 150 kV Glugur memiliki tingkat akurasi yang baik. Artinya suhu dari peralatan yang dilakukan pengujian thermovisi pada bay penghantar tersebut masih dalam keadaan normal dan baik.

Berikut dibawah ini adalah tabel akurasi dan presisi pengukuran thermovisi bay penghantar Glugur-Paya Geli 1 & 2 pada minggu ke 2 Agustus 2020.

Tabel 4. 7 Tabel akurasi dan presisi bay penghantar Glugur-Paya Geli 1 & 2

No	Nama	Akurasi	Presisi
1	Bay Penghantar Glugur-Paya Geli 1	98,02%	0,25%
2	Bay Penghantar Glugur-Paya Geli 2	97,9%	0,24%



Gambar 4. 5 Grafik hasil perhitungan uji validasi

Terlihat pada gambar 4.5 yang menunjukkan grafik hasil uji validasi, bahwa kedua bay penghantar tersebut memiliki tingkat akurasi yang baik yaitu hampir mendekati 100%. Dan nilai presisi yang memenuhi standard atau dengan kata lain nilai presisi yang dinyatakan baik yaitu < (kurang dari) 2%.

Terlihat dari hasil analisa perhitungan-perhitungan diatas, dapat ditarik kesimpulan bahwa semua peralatan listrik terpasang di Gardu Induk 150 kV Glugur pada bay penghantar Glugur – Paya Geli 1 & 2 dalam kondisi yang baik.

Dapat dilihat bahwa nilai rata-rata emisivitas peralatan yang masih baik, yaitu sebesar 0,4901 pada bay penghantar Glugur – Paya Geli 1 dan pada bay penghantar Glugur – Paya Geli 2 sebesar 0,4895. Hal ini membuktikan bahwa nilai rata-rata emisivitas tersebut menunjukkan kondisi peralatan yang masih baik atau layak digunakan, dimana hasil nilai rata-rata emisivitas tersebut masih mendekati nilai dari SRM alumunium yaitu sebesar 0,5.

Pada analisa uji presisi dan uji akurasi menunjukkan nilai yang cukup baik juga, dibuktikan dengan nilai uji akurasi dan presisi yang ditunjukkan pada tabel 4.7 yaitu nilainya sebesar 98,02% pada hasil akurasi bay penghantar Glugur – Paya Geli 1 dan 97,9% nilai akurasi dari bay penghantar Glugur – Paya Geli 2. Uji presisi juga membuktikan dengan nilai uji presisi 0,25% pada bay penghantar Glugur – Paya Geli 1 dan 0,24% pada bay penghantar Glugur – Paya Geli 2. Nilai tersebut dikatakan baik karena mendekati standard dari hasil uji seharusnya yaitu 100% pada uji akurasi dan < (kurang dari) 2% pada uji presisi.

Sedangkan pada kriteria pendekatan ΔT terdapat beberapa peralatan yang dianjurkan untuk dilakukan pengukuran 1 bulan lagi. Hal ini dikarenakan nilai selisih ΔT tersebut yang lebih dari 10. Berdasarkan standar PLN pada tabel 2.1, apabila selisih ΔT lebih dari 10 maka diperintahkan untuk dilakukan pengukuran 1 bulan lagi. Akan tetapi, nilai ΔT yang cukup tinggi tersebut dikarenakan terjadinya pemadaman pada bay penghantar Glugur – Paya Geli 1 karena pekerjaan terjadwal sehingga menyebabkan arus pada bay penghantar Glugur – Paya Geli 2 naik dan mengakibatkan suhu peralatan bay penghantar Glugur – Paya Geli 2 ikut naik juga.

Secara garis besar, dari hasil uji diatas, dapat ditarik kesimpulan bahwa peralatan pada bay penghantar Glugur – Paya Geli 1 & 2 masih dalam keadaan

baik (tidak ditemukan *hot point* pada peralatan). Dengan kata lain tak perlu ada perbaikan ataupun penggantian peralatan, namun demikian kegiatan thermovisi harus tetap dilakukan secara rutin agar kontinuitas penyaluran tenaga listrik tetap berjalan dengan baik sehingga dapat dihasilkan energi listrik yang berkualitas, andal, dan efisien.

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian tugas akhir ini terfokus pada analisa pengukuran thermovisi yang dilaksanakan pada Gardu Induk 150 kV Glugur. Analisa yang dilakukan adalah mengenai analisa tingkat akurasi dan presisi dari thermovisi yang telah dilakukan di Gardu Induk 150 kV Glugur. Dari penelitian tersebut didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Dalam dilakukannya kegiatan thermovisi, hal yang harus diperhatikan adalah jarak dan sudut pengambilan. Selain itu, suhu dan faktor beban juga dapat mempengaruhi panas dari suatu peralatan yang diukur dengan metode thermovisi.
2. Analisa perhitungan pada analisis metode thermovisi ini menggunakan perhitungan selisih suhu (ΔT), perhitungan emisivitas dengan menggunakan Hukum Stefan Boltzman, perhitungan uji presisi, dan perhitungan uji akurasi.
3. Dalam penentuan *hot point* dan prediksi tindak lanjut peralatan, diterapkan “*Buku Pedoman Pemeliharaan PLN No. 0520-2.K/DIR/2014*” sebagai standar pedomannya. Analisis thermovisi yang telah dilakukan dengan metode analisa perhitungan, dapat dinyatakan bahwa semua peralatan pada bay penghantar Glugur – Paya Geli 1 & 2 Gardu Induk 150 kV dalam kondisi baik dan dapat ditarik kesimpulan bahwa belum perlu adanya tindak lanjut terhadap peralatan.

5.2. Saran

Setelah dilakukan penelitian dan analisa metode thermovisi pada bay Penghantar Glugur – Paya Geli 1 & 2 Gardu Induk 150 kV Glugur. Adapun saran dari penulis adalah sebagai berikut:

1. Untuk jajaran para pegawai PT. PLN (Persero) agar dalam melakukan kegiatan thermovisi dapat menggunakan alat pelindung diri yang sesuai SOP (*Standard Operational Procedure*).

2. Dalam melakukan kegiatan thermovisi agar menggunakan *thermal imagers* dan menyesuaikan settingan *thermal imagers* sesuai dengan standar PLN. Dan juga harus dilakukan dengan teliti sehingga mendapatkan hasil yang maksimal.
3. Melakukan pengecekan data thermovisi dan menganalisanya jika perlu secara berulang, agar hasil yang didadapat bisa dipertanggungjawabkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, Baharuddin. (2019). *Penentuan Hot Point dengan menggunakan metode termovisi pada gardu induk 150 kV Purwodadi*, Universitas Muhammdiyah Surakarta.
- Roni Putra, Ramadhani. (2018). *Thermovisi dalam melihat Hot Point pada Gardu Induk 150kv palur*, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Atawani Ahmad, Ibrahim. (2018). *Analisis Thermovisi untuk menemukan Hot Point pada Gardu Induk 150 KV Bantul*, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Pangestu, Adam. (2019). *Analisa Pengaruh Perubahan Impedansi Kawat Saluran terhadap Setting Relai Jarak pada Saluran Transmisi 150 KV (GI Paya Pasir)*, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Suharto, Ir. (1995). *Teori Bahan dan Pengaturan Teknik*, Jakarta.
- PLN, (2014). *Buku Pedoman Pemeliharaan*, No.0520-2.K/DIR.PT PLN (PERSERO)
- PLN, (2011). *Pembidangan Prajabatan Bidang Transmisi*, PLN Corporate University.
- Syahputra Ramadoni, Dr. (2017). *Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik*, Yogyakarta : LP3M UMY.
- Maulana, Alief, H., Aribowo, D., Inawati. *Analisa Kondisi Generator Transformer Menggunakan Metode Thermography*.
- PT. Elektra Daya Integra. *Thermal Imaging Camera Flir Exx Series Training*, Elkadaya.
- PT. Elekrika Rekayasa Energi. (2017). *D600 Manual Bahasa Indonesia DSeries*, Banten.
- Aslimeri, dkk. (2008). *Teknik Tenaga Listrik Jilid 2*. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan. Jakarta
- Syahputra Ramadoni. (2010). *Aplikasi Deteksi Tepi Citra Termografi untuk Pendeteksian Keretakan Permukaan Material*. Forum Teknik Vol. 33, No. 1 Januari 2010.

- Harishkumar. S, dkk. (2014). *Detection of Hot Spots by Thermal Imaging to Protect Power Equipments*. International Journal of Students Reseach in Technology & Management Vol. 2 (02), March-April 2014.
- Rai, Mritunjay, dkk. (2017). *Thermal Imaging System and Its Real Time Application: a Survey*. Journal of Engineering Technology Vol. 6, July 2017.
- Fluke. *Technical Data Ti450, Ti400 and Ti300 Infrared Cameras*.
- Flir. *User's Manual Flir Ex Series*.
- Pasaribu, F I, Roza, I. (2020). *Design of Control System Expand Valve On Water Heating Process Air Jacket*. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering.
- Hariyadi, Shahlan. (2017). *Analisis Rugi-Rugi Dan Jatuh Tegangan Pada Saluran Transmisi Tegangan Tinggi 150 kV Pada Gardu Induk Palur-Masaran*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Analisa Penentuan Hot Point dan Monitoring Peralatan dengan Metode Thermovisi pada GI 150 kV Glugur

Muhammad Lutfhi Fazawi¹, Faisal Irsan Pasaribu ,S.T ., M.T²

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Jl. Kapt. Muchtar Basri No. 110-112, Glugur Darat II, Kec. Medan Timur, Medan, Sumatera Utara, Indonesia
e-mail: muhammadlutfhifazawi@gmail.com

Abstrak— Pada proses penyaluran tenaga listrik harus diperhatikan keandalan dan efisiensinya, agar tenaga listrik yang tersalurkan berkualitas dan memiliki kontinuitas yang baik. Guna menjaga kualitas tenaga listrik agar tetap andal dan efisien serta agar kontinuitas penyaluran tenaga listrik tetap terjaga dengan baik, beberapa komponen peralatan penyaluran tenaga listrik harus menjadi perhatian untuk mencegah terjadinya gangguan terhadap peralatan tenaga listrik. Salah satu gangguan pada peralatan tenaga listrik adalah titik panas (*hot point*). Seringnya terjadi gangguan tersebut pada titik pertemuan antara klem dan konduktor pada peralatan listrik menjadi tolak ukur pemeliharaan dalam penyediaan tenaga listrik. Tindakan pencegahan agar tidak terjadinya *hot point* disebut thermovisi, dengan menggunakan alat ukur *thermal imagers*. Prinsip kerja *thermal imagers* adalah merefleksikan cahaya *infrared* terhadap peralatan kemudian menangkap suhu peralatan tersebut dan menampilkannya pada sebuah display. Kegiatan thermovisi dilakukan secara rutin sebagai kegiatan monitoring pemeliharaan tenaga listrik yang kemudian dilakukan analisa hasil thermovisi tersebut dengan melakukan perhitungan emisivitas melalui pendekatan selisih suhu klem dan konduktor (ΔT) agar didapatkan nilai emisivitas yang sesuai. Selanjutnya dilakukan uji validasi untuk menguji keakuratan dan presisi dari hasil thermovisi tersebut. Penelitian yang dilakukan di GI 150 kV Glugur bertujuan untuk merekomendasikan hasil uji analisa matematis terhadap tindak lanjut kondisi peralatan. Hasil dari kondisi peralatan pada analisa 30 sampel menunjukkan bahwa peralatan masih dalam kondisi baik dan masih layak digunakan, dengan nilai akurasi sebesar 98,02% dan presisi sebesar 0,25% pada peralatan bay penghantar Glugur - Paya Geli 1 serta nilai akurasi pada bay penghantar Glugur – Paya Geli 2 sebesar 97,9% dan 0,24% pada nilai presisinya.

Kata kunci : keandalan, efisiensi, hot point, thermovisi, thermal imagers, emissivitas

Abstract — In the process of distributing of electricity, reliability and efficiency must be considered, so that the electricity that is distributed is of good quality and has good continuity. In order to maintain the quality of electric power so that it remains reliable and efficient and so that the continuity of electricity distribution is well maintained, several components of electricity distribution equipment must be considered to prevent interference with electric power equipment. One of the disturbances in electric power equipment is a hot point. The frequent occurrence of this disturbance at the meeting point between the clamp and the conductor in electrical equipment is the benchmark for maintenance in the supply of electric power. The precautionary measure to prevent hot point from occurring is called thermovision, by using thermal imagers measuring instrument. The working principle of thermal imagers is to reflect infrared light on the equipment then capture the temperature of the equipment and display it on. Thermovision activities are carried out by analyzing the results of the thermovision by calculating the emissivity through the clamp and conductor temperature difference (ΔT) approach in order to obtain the appropriate emissivity value. Furthermore, a validation test is carried out to test the accuracy and precision of the thermovision results. The result of the condition of the equipment in the analysis of 30 samples show that the equipment is still in good condition and still fit for use, with an accuracy value of 98.02% and a precision of 0.25% on the Glugur-Paya Geli 1 delivery bay equipment and the accuracy value of the delivery bay Glugur – Paya Geli 2 amounted to 97.9% and 0.24% on the precision value.

Keywords : reliability, efficiency, hot point, thermovision, thermal imagers, emissivity

I. Pendahuluan

Kondisi kehidupan pada zaman modern ini, sangat melekat dengan pemakaian energi listrik. Listrik merupakan energi yang sangat dibutuhkan oleh masyarakat dalam bidang apapun, baik industri maupun kehidupan masyarakat biasa.

Untuk mendapatkan energi listrik yang berkualitas dan memiliki kontinuitas yang baik, maka perlu dilakukan pemeliharaan dan pemantauan secara berkala guna menjaga agar kondisi peralatan listrik dapat berfungsi secara baik dan handal, sehingga dapat mencegah gangguan yang dapat merusak sistem dan dapat mengganggu kualitas dan kontinuitas energi listrik. Salah satu gangguan yang dapat mengganggu kualitas dan kontinuitas energi listrik adalah suhu panas yang terjadi pada konduktor ataupun klem-klem pertemuan antara konduktor dan peralatan listrik. Pemanasan suhu pada titik-titik atau bagian-bagian tertentu ini disebut *Hot Point*. Hal ini bisa berakibat fatal terhadap peralatan jika terus menerus tanpa adanya pemantauan ataupun pemeriksaan rutin. Sehingga bagian tersebut harus diperhatikan.

Oleh sebab itu, dilakukan pengujian suhu panas (*hot point*) dengan metode thermovisi pada gardu induk 150 kV Glugur.

II. Studi Pustaka

Kawat Penghantar (Konduktor)

Kawat penghantar (konduktor) adalah kawat yang berfungsi untuk menyalurkan tegangan dari satu titik ke titik lainnya. Kawat penghantar yang baik adalah kawat yang nilai resistansinya kecil, sehingga rugi-rugi yang dihasilkan akan kecil pula dan tegangan yang sampai ke beban dapat tersalurkan dengan maksimal.

Bahan-bahan kawat penghantar yang dipergunakan untuk penyaluran energi listrik harus memiliki sifat-sifat sebagai berikut :

6. Konduktivitas tinggi
7. Kekuatan tarik mekanikal tinggi
8. Titik berat
9. Biaya rendah

10. Tidak mudah patah

Terdapat beberapa jenis kawat penghantar yang biasa digunakan pada saluran transmisi dan gardu induk, antara lain :

4. Tembaga dengan konduktivitas 100% (Cu 100%)
5. Tembaga dengan konduktivitas 97,5% (Cu 97,5%)
6. Aluminium dengan konduktivitas 61% (Al 61%)

Kawat penghantar tembaga mempunyai beberapa kelebihan, yaitu memiliki konduktivitas tinggi dan kekuatan mekanikalnya cukup baik. Tetapi, juga terdapat kelemahannya, yaitu untuk besar tahanan yang sama tembaga lebih berat dan lebih mahal dibandingkan aluminium. Oleh sebab itu kawat penghantar aluminium telah menggantikan kawat penghantar tembaga, karena harganya yang lebih murah dan lebih ringan dengan konduktivitas yang masih layak untuk diperhitungkan (Pangestu,2019).

Untuk memperbesar kuat tarik dari kawat aluminium, digunakan campuran aluminium (*aluminium alloy*). Untuk saluran-saluran transmisi tegangan tinggi yang jarak antara menara/tiang berjauhan sampai ratusan meter, maka dibutuhkan kawat penghantar dengan daya tarik yang lebih kuat, untuk itu digunakan kawat penghantar ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*).

Dalam gardu induk sendiri kawat penghantar ini berfungsi sebagai tempat jalannya tegangan yang kemudian akan disalurkan kepada beban. Pada proses penyaluran tegangan ke beban inilah terdapat sambungan-sambungan antara kawat penghantar dengan klem-klem, dimana hal tersebut berfungsi untuk membelokkan perjalanan tegangan agar sampai ke beban. Dan pada pertemuan antara kawat penghantar dan klem tersebutlah kadang sering terjadi titik-titik panas (*hot point*). Hal itu bisa disebabkan oleh beberapa faktor, baik faktor lingkungan (eksternal) ataupun dari peralatan itu sendiri (internal).

Thermovisi/Thermovision

Pemeriksaan dilakukan secara operasi menggunakan *Thermal Imager* disebut Thermovisi. Pengukuran ini menggunakan sinar *infrared* yang dipancarkan oleh *thermal imagers* sehingga pada *display thermal imager* dapat terlihat suhu dari peralatan yang diukur. Dan apabila suatu peralatan yang telah dilakukan pengukuran thermovisi dengan menggunakan *thermal imagers* menunjukkan hasil yang tidak baik (suhu peralatan yang terlalu tinggi), maka salah satu bentuk penyelesaian dari penanganan kondisi tersebut adalah dengan melakukan penguatan (pengencangan) klem dan konduktor, atau perbaikan peralatan listrik tersebut dan bahkan memungkinkan untuk dilakukan penggantian peralatan.

Nilai emissivity yang diamati berkisar antara 0 dan 1. Emisi adalah merupakan kemampuan suatu jenis permukaan material untuk memancarkan panas. *References Standard Material* (RSM) emisivitas untuk aluminium sendiri adalah 0.5.

Standard Thermovisi

Pengukuran thermovisi dimuat dalam *Buku Pedoman Pemeliharaan PLN No. 0520-2.K/DIR/2014*, sebagai salah satu acuan prosedur pemeliharaan peralatan PLN yang terdapat di GI. Berdasarkan standar dari buku pedoman tersebut interpretasi hasil thermovisi dapat dikategorikan sebagai berikut:

Tabel 2. 7Standar Pengukuran Thermovisi berdasarkan *Buku Pedoman Pemeliharaan PLN No. 0520-2.K/DIR/2014*

NO	ΔT (perbedaan suhu antar fasa)	Rekomendasi
1.	1 °C – 3 °C	Dimungkinkan ada ketidaknormalan, perlu investigasi lanjut

2.	4 °C – 15 °C	Mengindikasikan adanya defisiensi, perlu dijadwalkan perbaikan
3.	> 16 °C	Ketidaknormalan Mayor, perlu dilakukan perbaikan/penggantian segera

Berdasarkan Tabel 2.1 pelaksanaan pengukuran dilaksanakan minimal 1 bulan sekali. Untuk kondisi tertentu, periode pengukuran dapat dilakukan sesuai kebutuhan. Dan pada umumnya pengukuran thermovisi dilakukan per minggu.

Sedangkan, menurut *EPRI (Electric Power Reseach Institute)* sebuah tim yang melakukan penelitian tentang industry tenaga listrik di Amerika Serikat.

Tabel 2. 8 Objek dan Suhu Operasi Referensi kenaikan Temperatur dan kelas *EPRI*

OBJEK	SUHU OPERASI REFERENSI (°C)
Terminasi biasa, MCB	45-50
Body transformer besar	60
Bus bar	50
Contactor besar	70
Contactor kecil	65
Sambungan contactor dan overload relay	75
Breaker besar	60
Breaker kecil	55
Terminasi fuse	50
Terminasi trafo besar	55

Tabel 2. 9 Kenaikan Temperatur dan Kelas *EPRI Standard Of Thermography inspection FLIR*

TEMPERATURE RISE (°C)	PRIORITY	CLASS
0-9	MONITOR	0
10-29	RENCANAKAN PERBAIKAN SELANJUTNYA	1
30-50	RENCANAKAN PERBAIKAN SEGERA	2
>50	PERBAIKI SEGERA	3

Kamera Infrared (Thermal Imager)

Thermal imager adalah salah satu alat yang dapat digunakan untuk kegiatan *predictive maintenance* untuk memonitor kondisi dan performance suatu peralatan sehingga kemungkinan terjadinya kegagalan peralatan dapat dipekecil. Teknologi *thermography* merupakan salah satu peralatan teknologi *Non Destructive Testing Non-Contact* atau *NDT of Materials Evaluation*.

Panas adalah bentuk energi yang di transfer antara dua zat pada suhu yang berbeda. Pada umumnya, *thermal imager* menunjukkan tinggi atau rendahnya temperatur berdasarkan skala warna hasil pencitraan (pemetretan objek). Oleh sebab itu, apabila tidak terdapat beda *temperature*, maka gambar *infrared* tidak dapat menampilkan perbedaan warna sebagai indikator suhu sehingga tidak dapat untuk dilakukan analisa.

Pada penerapannya, *thermal imager* ini sangat berguna, mengapa demikian? *Thermal imager* sangat berguna antara lain:

1. Bisa mengukur tanpa menyentuh objek
 - Pengukuran dilakukan dari jarak aman
 - Tidak mengganggu atau berpengaruh pada target
2. Pengukuran dalam 2 dimensi
 - Membandingkan antar area pada target
 - Pola panas menggambarkan untuk analisa
3. Dalam kondisi *real time*
 - Dapat memeriksa objek statis
 - Dapat melihat objek yang bergerak
 - Dapat melihat perubahan pola panas dengan cepat

Sedangkan kekurangan dari kegiatan thermovisi dengan alat *thermal imager* ini adalah:

3. Yang terukur hanyalah suhu permukaan objek
4. Ketepatan ukur bisa saja belum akurat dan presisi

Perhitungan suhu klem dan suhu konduktor

Pelaksanaan pengukuran temperature menggunakan thermovisi dilakukan pada temperatur konduktor dan temperature pada klem sambungan. Standard pengukuran thermovisi untuk membandingkan suhu klem dengan konduktor menggunakan persamaan pendekatan kriteria delta-t (ΔT) adalah sebagai berikut:

$$\Delta T = \left(\frac{I_{maks}}{I_{saat\ thermovisi}} \right)^2 \cdot (T_{klem} - T_{konduktor}) \quad (1)$$

Keterangan :

ΔT	= Selisih suhu klem terhadap konduktor
I maks	= Arus maksimal yang pernah dicapai
I saat thermovisi	= Arus saat thermovisi
T klem	= Suhu klem
T konduktor	= Suhu konduktor

Perhitungan Emisivitas

Nilai emisivitas akan dicari menggunakan rumus perpindahan radiasi Hukum Stefan Boltzman. Rumus yang digunakan dalam perhitungan nilai emisivitas ini sebagai berikut:

$$P = e \cdot \sigma \cdot T^4 \rightarrow e = \frac{P}{\sigma T^4} \quad (2)$$

Keterangan :

P	= Energi thermal conductivity (Alumunium = 237W/m.K)
e	= Emisivitas
σ	= Konstanta Stefan Boltzman = 5,672 x 10 ⁻⁸ Watt m ⁻² K ⁻⁴
T	= Suhu mutlak (K)

Analisis Validasi

Merupakan suatu pembuktian hitungan terhadap parameter tertentu. Untuk membuktikan bahwa parameter tersebut sudah memiliki presisi dan akurasi yang baik atau tidak.

Uji Presisi

Untuk menguji tingkat presisi dari pengukuran, maka diperlukan *Coeffisien Variation* (CV) dan *Relative Standard Deviation* (RSD). SD dan CV dapat dihitung dari rumus berikut :

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (x-a)^2}{n-1}} \tag{3}$$

Keterangan :

SD = *Standard deviation* (simpangan baku)

$\sum(x - a)^2$ = Jumlah total nilai emisivitas dikurangi rata-rata nilai emisivitas

n = Jumlah

$$CV = \left(\frac{SD}{\alpha} \right) \times 100\% \tag{4}$$

Keterangan :

CV = Variasi koefisien

SD = *Standard deviation* (simpang baku)

α = Nilai rata-rata emisivitas

Uji Akurasi

Uji akurasi merupakan sebuah kedekatan hasil analisis terhadap *standar reference material* (RSM) yang sesungguhnya. Hasil hitung dari metode validasi terhadap nilai sebenarnya menggambarkan seberapa tinggi akurasi uji tersebut. Uji menggunakan persamaan berikut :

$$\%recovery = \left(\frac{(\alpha) - x \text{ benar}}{x \text{ benar}} \right) \times 100\% \tag{5}$$

Keterangan :

$\%recovery$ = Presentase nilai bias

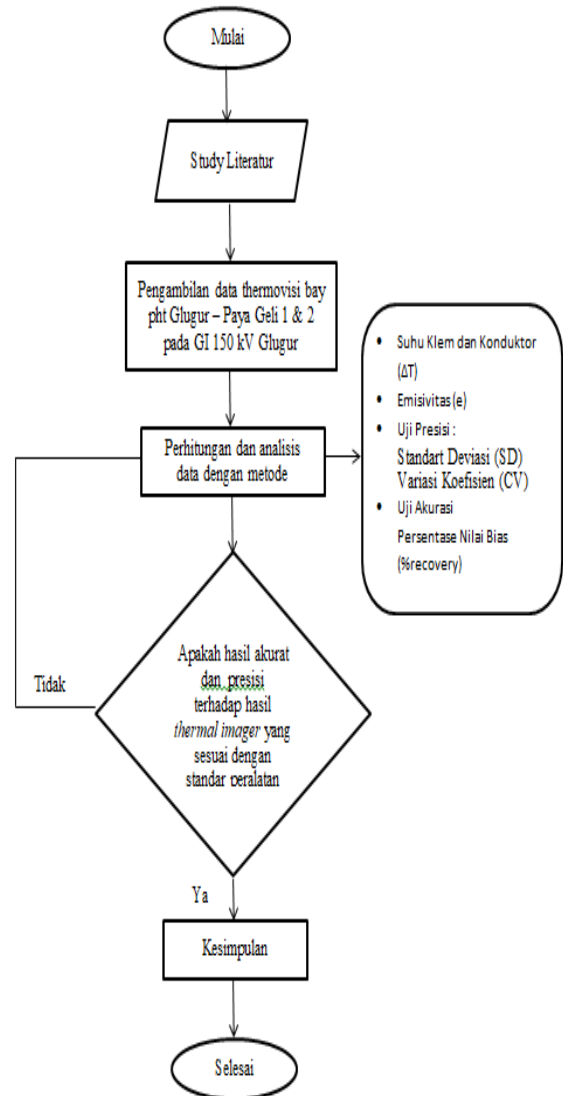
α = Nilai rata – rata emisivitas

x benar = Nilai yang benar

III. Metode

Lokasi Penelitian

Lokasi : PT. PLN (Persero) UPT Medan Gardu Induk 150 kV Glugur Jalan KL. Yos Sudarso Lor. 12 Medan.



IV. Hasil dan Pembahasan

4.1. Perhitungan suhu perbandingan klem dan konduktor

Perhitungan perbandingan dari suhu klem dan konduktor (ΔT), diambil sebanyak 30 titik. Dan dibawah ini merupakan sampel

dari penjabaran perhitungan perbandingan ΔT .

c) Glugur – Paya Geli 1

- Klem Dropper LA Fasa S

$$\Delta T = \left(\frac{I_{maks}}{I_{saat\ thermovisi}} \right)^2 \cdot (T_{klem} - T_{konduktor})$$

$$= \left(\frac{211A}{155A} \right)^2 \cdot (28^0C - 28,6^0C) = -1,11^0C$$

- Klem LA Fasa T

$$\Delta T = \left(\frac{I_{maks}}{I_{saat\ thermovisi}} \right)^2 \cdot (T_{klem} - T_{konduktor})$$

$$= \left(\frac{212A}{155A} \right)^2 \cdot (29,3^0C - 30,3^0C) = -1,87^0C$$

d) Glugur – Paya Geli 2

- Klem Dropper LA Fasa T

$$\Delta T = \left(\frac{I_{maks}}{I_{saat\ thermovisi}} \right)^2 \cdot (T_{klem} - T_{konduktor})$$

$$= \left(\frac{363A}{113A} \right)^2 \cdot (28,3^0C - 28,7^0C) = -4,12^0C$$

- Klem LA Fasa R

$$\Delta T = \left(\frac{I_{maks}}{I_{saat\ thermovisi}} \right)^2 \cdot (T_{klem} - T_{konduktor})$$

$$= \left(\frac{360A}{111A} \right)^2 \cdot (28,6^0C - 29,7^0C)$$

Berikut tabel thermovisi bay penghantar Paya Geli 1 & 2 Gardu Induk 150 kV Glugur pada minggu kedua Agustus 2020.

Tabel 4. 8 Thermovisi klem dan konduktor bay Penghantar Glugur - Paya Geli 1

No	Obyek		Arus Tertinggi yang pernah dicapai	Arus saat Shooting	Suhu Klem Saat Shooting	Suhu Konduktor Saat Shooting	Selisih Suhu Klem Terhadap Konduktor or ΔT	Tindak Lanjut
			I_m^2 (A)	I_s^2 (A)	T_{ik} (C°)	T_{ik} (C°)	(C°)	(C°)
			a	b	c	d	$e = (a^2/b^2) \times (c-d)$	d
1	Klem Dropper	R	211	156	28,1	28,1	0	Kondisi Baik
		S	211	155	28	28,6	-1	Kondisi Baik
		T	212	155	29,5	28,1	3	Kondisi Baik
2	Klem LA	R	211	156	28,8	30,1	-2	Kondisi Baik
		S	211	155	29,6	30,4	-1	Kondisi Baik
		T	212	155	29,3	30,3	-2	Kondisi Baik

3	CVT/Line Trap sisi LA	R	211	156	32,8	30,8	4	Kondisi Baik
		S	211	155	31,3	31,2	0	Kondisi Baik
		T	212	155	31,8	31,2	1	Kondisi Baik
4	CVT/Line Trap sisi Airbushing	R	211	156	33,6	32,4	2	Kondisi Baik
		S	211	155	31,3	31,2	0	Kondisi Baik
		T	212	155	31,8	31,2	1	Kondisi Baik
5	Airbushing 150 Kv	R	211	156	32,6	31,2	3	Kondisi Baik
		S	211	155	31,9	31,5	1	Kondisi Baik
		T	212	155	33,1	33,1	0	Kondisi Baik

Kolom “e” merupakan hasil dari perhitungan perbandingan antara suhu klem dengan konduktor yang telah dilakukan pembulatan, jika 1 angka lebih besar daripada 5 maka dibulatkan menjadi 1 (0,5 \geq 1).

Sesuai dengan Standard Pengukuran Thermovisi berdasarkan *Buku Pedoman Pemeliharaan PLN No. 0520-2.K/DIR/2014* pada tabel 2.1, tabel 4.1 diatas menunjukkan bahwa kondisi peralatan pada bay penghantar Glugur-Paya Geli 1 semuanya berada dalam “kondisi baik”.

Tabel 4. 9 Thermovisi klem dan konduktor bay Penghantar Glugur – Paya Geli 2

No	Obyek		Arus Tertinggi yang pernah dicapai	Arus saat Shooting	Suhu Klem Saat Shooting	Suhu Konduktor Saat Shooting	Selisih Suhu Klem Terhadap Konduktor ΔT	Tindak Lanjut
			$I_m^2 (A)$	$I_s^2(A)$	$T_{tk} (C^o)$	$T_{tk} (C^o)$	(C^o)	(C^o)
			a	b		c	$e = \frac{a^2/b^2}{(c-d)} \times$	
1	Klem Dropper	R	360	111	29,2	28,8	4	Kondisi Baik
		S	365	112	31,8	32	-2	Kondisi Baik
		T	363	113	28,3	28,7	-4	Kondisi Baik
2	Klem LA	R	360	111	28,6	29,7	-12	Kondisi Baik
		S	365	112	29,3	30,5	-13	Kondisi Baik
		T	363	113	29,2	30,2	-10	Kondisi Baik
3	CVT/Line Trap sisi LA	R	360	111	32,7	31,4	14	Ukur 1 Bulan lagi
		S	365	112	30,9	30,6	3	Kondisi Baik
		T	363	113	30,6	30,6	0	Kondisi Baik
4	CVT/Line Trap sisi Airbushing	R	360	111	34,1	32,1	21	Ukur 1 Bulan lagi
		S	365	112	30,9	30,6	3	Kondisi Baik
		T	363	113	30,6	30,6	0	Kondisi Baik
5	Airbushing 150 Kv	R	360	111	31,9	31,8	1	Kondisi Baik
		S	365	112	32,7	33	-3	Kondisi Baik
		T	363	113	33,9	32,6	13	Ukur 1 Bulan lagi

Pada Tabel 4.2 diatas menunjukkan hasil thermovisi pada bay penghantar Glugur-Paya Geli 2 terdapat beberapa titik yang telah berubah menjadi kondisi yang abnormal (*Hot Point*). Seperti terdapat pada 6 titik yang hasil selisih suhunya antara klem dan konduktor mencapai lebih dari 10 (≥ 10), maka dari itu tindak lanjut dari kondisi ini adalah “Ukur 1 Bulan lagi”. Hasil ini juga merujuk pada tabel standard thermovisi yang telah ditetapkan oleh PLN pada tabel 2.1. Akan tetapi kondisi ini bukan berarti mengindikasikan peralatan dalam kondisi yang tidak baik namun, kondisi seperti ini juga bisa terjadi karena bay penghantar yang lain (Glugur-Paya Geli 1) dalam keadaan padam untuk tujuan tertentu (terjadwal) ataupun *emergency*. Maka dari itu terjadi penambahan arus pada bay penghantar lainnya (Glugur-Paya Geli 2) yang mengakibatkan panas pada peralatanpun juga semakin tinggi dikarenakan dialiri arus yang cukup besar daripada biasanya.

4.2. Perhitungan Nilai Emisivitas

Emisivitas dari sebuah bahan merupakan rasio total energi yang kemudian di radiasikan oleh permukaan dari bahan tersebut atau dengan kata lain emisivitas merupakan kemampuan memancarkan energi inframerah oleh *black body* pada kondisi suhu gelombang yang sama dari bahan tersebut. Emisivitas dari suatu bahan sudah memiliki nilai masing-masing, akan tetapi nilai tersebut dapat berubah sesuai dengan kondisi bahan tersebut dan atau disebabkan karena keadaan lingkungan serta pembiasan.

Untuk menganalisis nilai pengukuran emisivitas dengan menggunakan metode validasi maka salah satu variabel yang dibutuhkan adalah variasi *Coeffisien Variation* (CV). Nilai emisivitas ini akan dijadikan *Coeffisien Variation* karena nilainya yang tidak selalu sama walaupun bahannya yang diukur memiliki jenis yang sama (aluminium). Nilai emisivitas akan dicari menggunakan rumus perpindahan kalor radiasi (hukum Stefan Boltzman).

Berikut adalah beberapa contoh penjabaran nilai emisivitas diambil dari beberapa sampel suhu pada Bay Penghantar Glugur-Paya Geli 1 & 2 sebagai berikut :

c) Glugur – Paya Geli 1

- Terminal Klem Dropper Fasa R (28,1^oC)

$$e = \frac{P}{\sigma T^4} = \frac{237W/m.K}{(5,672 \times 10^{-8} W/M^{-2} .K^{-4}).301,1 .K^4} = 0,5084$$

- Terminal Klem LA Fasa S (29,6^oC)

$$e = \frac{P}{\sigma T^4} = \frac{237W/m.K}{(5,672 \times 10^{-8} W/M^{-2} .K^{-4}).302,6.K^4} = 0,4984$$

d) Glugur – Paya Geli 2

- Terminal Klem Dropper Fasa T (28,3^oC)

$$e = \frac{P}{\sigma T^4}$$

$$= \frac{237W/m.K}{(5,672 \times 10^{-8} W/M^{-2} .K^{-4}) .301,3 .K^4} = 0,5070$$

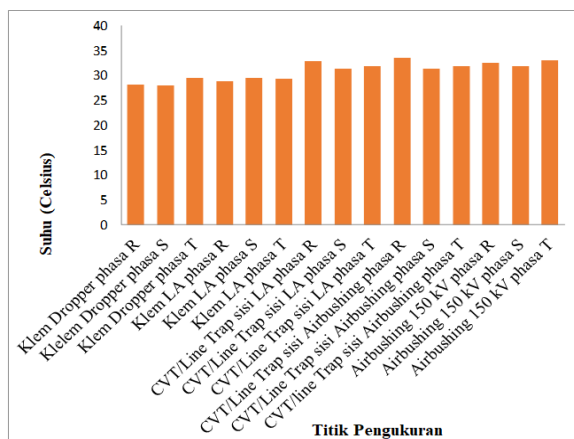
- Terminal Klem LA Phasa S (29,3⁰C)

$$e = \frac{P}{\sigma T^4} = \frac{237W/m.K}{(5,672 \times 10^{-8} W/M^{-2} .K^{-4}) .302,3 .K^4} = 0,5003$$

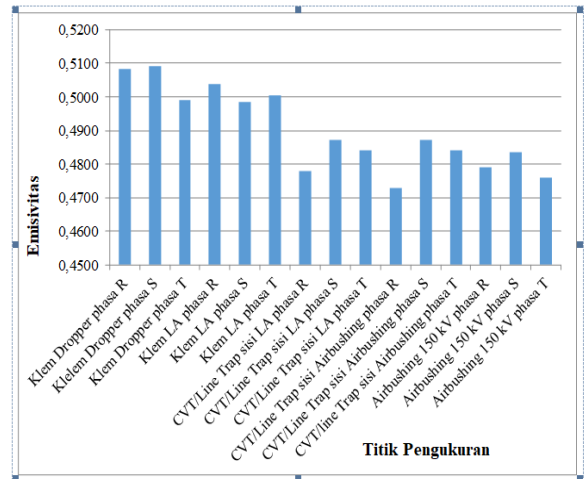
Berikut dibawah ini adalah tabel dan grafik hasil perhitungan nilai emisivitas dari hasil pengukuran thermovisi pada bay penghantar Glugur-Paya Geli 1 & 2 Gardu Induk 150 kV Glugur minggu ke 2 Agustus 2020.

Tabel 4. 10 Nilai Emisivitas bay Penghantar Glugur-Paya Geli 1

No	Objek		Suhu saat Thermo	Nilai Emisivitas
1	Klem Dropper	R	28,1	0,5084
		S	28	0,5090
		T	29,5	0,4990
2	Klem LA	R	28,8	0,5037
		S	29,6	0,4984
		T	29,3	0,5003
3	CVT/Line Trap sisi LA	R	32,8	0,4778
		S	31,3	0,4873
		T	31,8	0,4841
4	CVT/Line Trap sisi Airbushing	R	33,6	0,4729
		S	31,3	0,4873
		T	31,8	0,4841
5	Airbushing 150 kV	R	32,6	0,4791
		S	31,9	0,4835
		T	33,1	0,4759
Rata-rata				0,4901



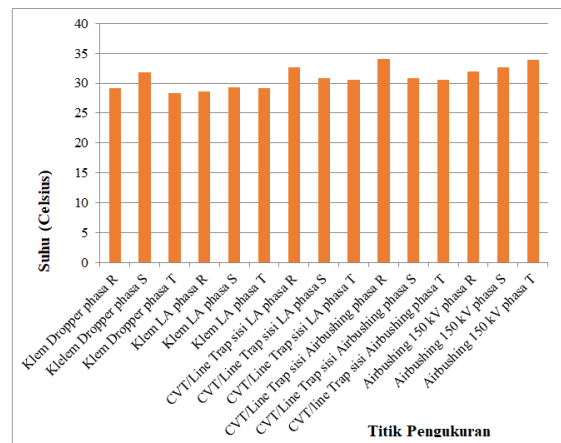
Gambar 4. 6 Grafik pengukuran suhu bay Penghantar – Glugur Paya Geli 1



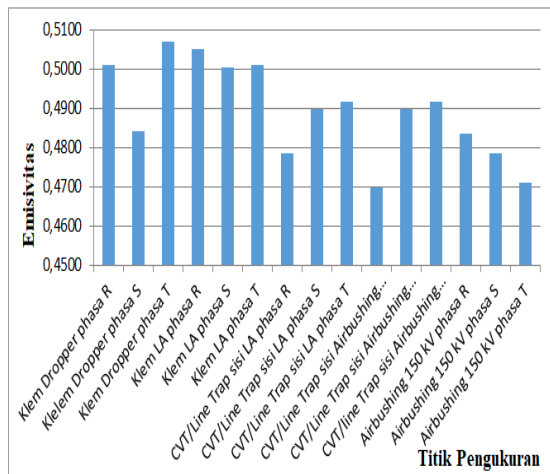
Gambar 4. 7 Grafik perhitungan nilai Emisivitas bay Penghantar Glugur-Paya Geli 1

Tabel 4. 11 Nilai Emisivitas bay Penghantar Glugur-Paya Geli 2

No	Objek		Suhu saat Thermo	Nilai Emisivitas
1	Klem Dropper	R	29,2	0,5010
		S	31,8	0,4841
		T	28,3	0,5070
2	Klem LA	R	28,6	0,5050
		S	29,3	0,5003
		T	29,2	0,5010
3	CVT/Line Trap sisi LA	R	32,7	0,4784
		S	30,9	0,4899
		T	30,6	0,4918
4	CVT/Line Trap sisi Airbushing	R	34,1	0,4698
		S	30,9	0,4899
		T	30,6	0,4918
5	Airbushing 150 kV	R	31,9	0,4835
		S	32,7	0,4784
		T	33,9	0,4710
Rata-rata				0,4895



Gambar 4. 8 Grafik pengukuran suhu bay penghantar Glugur-Paya Geli 2



Gambar 4. 9 Grafik perhitungan nilai Emisivitas bay Penghantar Glugur-Paya Geli 2

Pada tabel 4.3 dan 4.4 diatas yang merupakan hasil dari analisa nilai emisivitas thermovisi dengan menggunakan perhitungan hukum Stefan Boltzman yang menghasilkan rata-rata nilai emisivitas dapat dikatakan masih dalam keadaan baik. Dimana rata-rata nilai emisvitas tersebut antara lain pada bay penghantar Glugur-Paya Geli 1 yang dimuat dalam tabel 4.3 adalah sebesar 0,4901 dan pada bay penghantar Glugur-Paya Geli 2 yang ditunjukkan pada tabel 4.4 adalah sebesar 0,4895. Analisa diambil dari semua titik pengukuran yaitu sebanyak 30 titik, 15 titik pada bay penghantar Glugur-Paya Geli 1 dan 15 titik lainnya pada bay penghantar Glugur-Paya Geli 2.

Pada tabel-tabel diatas ditunjukkan bahwa suhu tertinggi dari pengukuran yang dilakukan adalah sebesar 34,1°C dengan nilai emisivitasnya yaitu 0,4698 terdapat pada titik pengukuran airbushing fasa S bay penghantar Glugur-Paya Geli 2. Sedangkan suhu terendahnya adalah sebesar 28°C dengan nilai emisivitasnya sebesar 0,5090 yang terdapat pada titik pengukuran klem dropper fasa S Glugur-Paya Geli 1. Akan tetapi dari semua hasil nilai emisivitas yang telah dilakukan analisa perhitungan, jika dilakukan pembulatan maka semuanya masih termasuk dalam rentan suhu yang

sesuai dengan *Standard Reference Material (SRM)* (emisivitas aluminium 0,5).

Sedangkan pada grafik dari suhu dan juga grafik emisivitas diatas, dapat disimpulkan kondisi yang terjadi adalah apabila suhu dari peralatan semakin tinggi, maka nilai emisivitas dari peralatan tersebut semakin rendah. Begitu juga sebaliknya, ketika suhu peralatan rendah, maka nilai emisivitasnya akan meningkat.

Maka dapat dinyatakan bahwa ketika suhu peralatan semakin tinggi, kemampuan untuk meradiasikan sinar inframerah dari alat ukur semakin berkurang, karena bahan tersebut tidak dapat menyerap sinar inframerah dengan baik. Hal ini disebabkan oleh suhu permukaan peralatan yang panas.

4.3 Analisis Validasi

Setelah dilakukan perhitungan nilai emisivitas dan diperoleh hasil perhitungannya, metode selanjutnya yaitu uji validasi sebagai pembuktian hitungan terhadap parameter tertentu untuk menganalisa keakuratan dan presisi dari hasil sebuah pengukuran.

4.3.1. Uji Presisi

Uji presisi merupakan analisa perhitungan yang hasilnya menunjukkan derajat keakuratan terhadap hasil pengukuran, yang dihitung berdasarkan nilai *Standard Reference Material (SRM)*. Pada analisa ini, SRM yang digunakan adalah nilai emisivitas dari ACSR Aluminium yang memiliki nilai sebesar 0,5. Nilai ini merupakan nilai emisivitas standard yang dikeluarkan oleh *Infrared Training Center of Flir System Inc*. Presentase presisi recovery dinyatakan dengan *Coefficient of Variation (CV)* dan *Relative Standard Deviation (RSD)*. Jika nilai CV pada perhitungan < (lebih kecil dari) 2% maka dapat dinyatakan bahwa metode tersebut mempunyai presisi yang baik.

Pada analisa perhitungan CV, sampel yang digunakan berjumlah 30 dari keseluruhan data dari bay penghantar Glugur-Paya Geli 1 & 2. CV akan diperoleh

melalui persamaan pada tabel-tabel di bawah ini:

Tabel 4. 12 Validasi Thermovisi bay penghantar Glugur-Paya Geli 1

No	Objek	x	α	$(x - \alpha)$	$(x - \alpha)^2$	
1	Klem Dropper	R	0,5084	0,4901	0,018306	0,000335
		S	0,5090	0,4901	0,018982	0,000360
		T	0,4990	0,4901	0,008960	0,000080
2	Klem LA	R	0,5037	0,4901	0,013606	0,000185
		S	0,4984	0,4901	0,008301	0,00069
		T	0,5003	0,4901	0,010282	0,000106
3	CVT/Line Trap sisi LA	R	0,4778	0,4901	-0,012234	0,000150
		S	0,4873	0,4901	-0,002742	0,000008
		T	0,4841	0,4901	-0,005932	0,000035
4	CVT/Line Trap sisi Airbushing	R	0,4729	0,4901	-0,017201	0,000296
		S	0,4873	0,4901	-0,002472	0,000008
		T	0,4841	0,4901	-0,005932	0,000035
5	Airbushing 150 kV	R	0,4791	0,4901	-0,010982	0,000121
		S	0,4835	0,4901	-0,006567	0,000043
		T	0,4759	0,4901	-0,014104	0,000199
$\sum(x - \alpha)^2$					0,002029	
$SD = \sqrt{\frac{\sum(x - \alpha)^2}{n - 1}}$					0,0120374	
$CV = \left(\frac{SD}{\alpha}\right) \times 100\%$					0,25%	

Pada tabel 4.5 diatas, yaitu validasi thermovisi untuk bay penghantar Glugur-Paya Geli 1 memiliki nilai rata-rata emisivitas sebesar 0,4901 dan nilai tersebut sudah sangat mendekati SRM dari peralatan yaitu 0,5. Hasil dari CV pada analisa perhitungan bay penghantar Glugur-Paya Geli 1 ini adalah sebesar 0,25%, dimana hasil ini sudah dapat dinyatakan sangat baik dan menunjukkan bahwa pengukuran yang dilakukan pada bay penghantar Glugur-Paya Geli 1 memiliki tingkat presisi yang sangat baik. Sehingga dapat dinyatakan bahwa kualitas dari peralatan yang diukur pada bay penghantar Glugur-Paya Geli 1 juga masih dalam kondisi yang baik secara keseluruhan.

Tabel 4. 13 Validasi Thermovisi bay Penghantar Glugur-Paya Geli 2

No	Objek	x	α	$(x - \alpha)$	$(x - \alpha)^2$	
1	Klem Dropper	R	0,5010	0,4895	0,011463	0,000131
		S	0,4841	0,4895	-0,005414	0,000029
		T	0,5070	0,4895	0,017476	0,000305
2	Klem LA	R	0,5050	0,4895	0,015461	0,000239
		S	0,5003	0,4895	0,010800	0,000117
		T	0,5010	0,4895	0,011463	0,000131
3	CVT/Line Trap sisi LA	R	0,4784	0,4895	-0,011090	0,000123
		S	0,4899	0,4895	0,000346	0,000000
		T	0,4918	0,4895	0,002286	0,000005
4	CVT/Line Trap sisi Airbushing	R	0,4698	0,4895	-0,019755	0,000390
		S	0,4899	0,4895	0,000346	0,000000
		T	0,4918	0,4895	0,002286	0,000005
5	Airbushing 150 kV	R	0,4835	0,4895	-0,006049	0,000037
		S	0,4784	0,4895	-0,011090	0,000123
		T	0,4710	0,4895	-0,018529	0,000343
$\sum(x - \alpha)^2$					0,001980	
$SD = \sqrt{\frac{\sum(x - \alpha)^2}{n - 1}}$					0,0118912	
$CV = \left(\frac{SD}{\alpha}\right) \times 100\%$					0,24%	

Pada tabel 4.6 merupakan perhitungan terhadap peralatan yang terdapat di bay penghantar Glugur-Paya Geli 2. Pada bay penghantar Glugur-Paya Geli 2 rata-rata nilai emisivitas peralatannya adalah sebesar 0,4895. Nilai emisivitas ini dibawah dari nilai emisivitas pada bay penghantar Glugur-Paya Geli 1. Namun tetap bisa dinyatakan baik karena nilainya masih mendekati daripada nilai RSM. Dan hasil dari perhitungan CV pada bay penghantar Glugur-Paya Geli 2 adalah sebesar 0,24%, dan hasil ini dapat dikategorikan sebagai hasil yang baik dari standar nilai CV yaitu sebesar 2%.

4.3.2. Uji Akurasi

Uji akurasi adalah sebuah parameter yang menunjukkan derajat kedekatan antara hasil analisa perhitungan yang telah dilakukan perhitungannya berdasarkan *standard reference material (SRM)* dengan nilai *standard reference material (SRM)* yang sesungguhnya. Akurasi dinyatakan dalam perolehan kembali (*recovery*) analit yang ditambahkan. Berikut adalah perhitungan akurasi padda nilai thermovisi bay penghantar Glugur-Paya Geli 1 & 2 Gardu Induk 150 kV Glugur.

c) Bay Penghantar Glugur-Paya Geli 1

$$\%recovery = \left(\frac{(\alpha) - x_{benar}}{x_{benar}}\right) \times 100\%$$

$$= \left(\frac{0,4901-0,5}{0,5} \right) \times 100\% = 1,98\%$$

Maka akurasinya = 100% - 1,98% = 98,02%

d) Bay Penghantar Glugur-Paya Geli 2

$$\%recovery = \left(\frac{(\alpha)-x\ benar}{x\ benar} \right) \times 100\%$$

$$= \left(\frac{0,4895-0,5}{0,5} \right) \times 100\% = 2,1\%$$

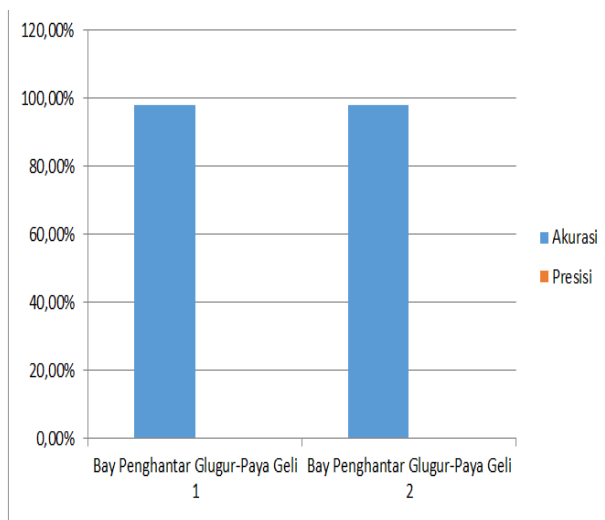
Maka akurasinya = 100% - 1,05% = 97,9%

Dari hasil analisa perhitungan diatas, bay penghantar Glugur-Paya Geli 1 & 2 pada Gardu Induk 150 kV memiliki tingkat akurasi yang sangat baik. Yaitu tingkat akurasi bay penghantar Glugur-Paya Geli 1 dengan tingkat akurasi sebesar 98,02% dan bay penghantar Glugur-Paya Geli 2 sebesar 97,9%.

Berikut dibawah ini adalah tabel akurasi dan presisi pengukuran thermovisi bay penghantar Glugur-Paya Geli 1 & 2 pada minggu ke 2 Agustus 2020.

Tabel 4. 14 Tabel akurasi dan presisi bay penghantar Glugur-Paya Geli 1 & 2

No	Nama	Akurasi	Presisi
1	Bay Penghantar Glugur-Paya Geli 1	98,02%	0,25%
2	Bay Penghantar Glugur-Paya Geli 2	97,9%	0,24%



Gambar 4. 10 Grafik hasil perhitungan uji validasi

Terlihat pada gambar 4.5 yang menunjukkan grafik hasil uji validasi, bahwa kedua bay penghantar tersebut

memiliki tingkat akurasi yang baik yaitu hampir mendekati 100%. Dan nilai presisi yang memenuhi standard atau dengan kata lain nilai presisi yang dinyatakan baik yaitu < (kurang dari) 2%.

Secara garis besar, dari hasil uji diatas, dapat ditarik kesimpulan bahwa peralatan pada bay penghantar Glugur – Paya Geli 1 & 2 masih dalam keadaan baik (tidak ditemukan *hot point* pada peralatan). Dengan kata lain tak perlu ada perbaikan ataupun penggantian peralatan, namun demikian kegiatan thermovisi harus tetap dilakukan secara rutin agar kontinuitas penyaluran tenaga listrik tetap berjalan dengan baik sehingga dapat dihasilkan energi listrik yang berkualitas, andal, dan efisien.

V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari penelitian tersebut didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

4. Dalam dilakukannya kegiatan thermovisi, hal yang harus diperhatikan adalah jarak dan sudut pengambilan. Selain itu, suhu dan faktor beban juga dapat mempengaruhi panas dari suatu peralatan yang diukur dengan metode thermovisi.
5. Analisa perhitungan pada analisis metode thermovisi ini menggunakan perhitungan selisih suhu (ΔT), perhitungan emisivitas dengan menggunakan Hukum Stefan Boltzman, perhitungan uji presisi, dan perhitungan uji akurasi.
6. Dalam penentuan *hot point* dan prediksi tindak lanjut peralatan, diterapkan “*Buku Pedoman Pemeliharaan PLN No. 0520-2.K/DIR/2014*” sebagai standar pedomannya. Analisis thermovisi yang telah dilakukan dengan metode analisa perhitungan, dapat dinyatakan bahwa semua peralatan pada bay penghantar Glugur – Paya Geli 1 & 2 Gardu Induk 150 kV dalam kondisi baik dan dapat ditarik kesimpulan bahwa belum perlu adanya tindak lanjut terhadap peralatan.

5.2. Saran

Adapun saran dari penulis adalah sebagai berikut:

4. Untuk jajaran para pegawai PT. PLN (Persero) agar dalam melakukan kegiatan

thermovisi dapat menggunakan alat pelindung diri yang sesuai SOP (*Standard Operational Procedure*).

5. Dalam melakukan kegiatan thermovisi agar menggunakan *thermal imagers* dan menyesuaikan settingan *thermal imagers* sesuai dengan standar PLN. Dan juga harus dilakukan dengan teliti sehingga mendapatkan hasil yang maksimal.
6. Melakukan pengecekan data thermovisi dan menganalisanya jika perlu secara berulang, agar hasil yang didapat bisa dipertanggungjawabkan.

1.1.1.1.1 DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anwar, Baharuddin. (2019). Penentuan Hot Point dengan menggunakan metode thermovisi pada gardu induk 150 kV Purwodadi, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [2] Roni Putra, Ramadhani. (2018). *Thermovisi dalam melihat Hot Point pada Gardu Induk 150kv palur*, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [3] Atawani Ahmad, Ibrahim. (2018). Analisis Thermovisi untuk menemukan Hot Point pada Gardu Induk 150 KV Bantul, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- [4] Pangestu, Adam. (2019). Analisa Pengaruh Perubahan Impedansi Kawat Saluran terhadap Setting Relai Jarak pada Saluran Transmisi 150 KV (GI Paya Pasir), Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- [5] Suharto, Ir. (1995). Teori Bahan dan Pengaturan Teknik, Jakarta.
- [6] PLN, (2014). *Buku Pedoman Pemeliharaan*, No.0520-2.K/DIR.PT PLN (PERSERO)
- [7] PLN, (2011). Pembidangan Prajabatan Bidang Transmisi, PLN Corporate University.
- [8] Syahputra Ramadoni, Dr. (2017). *Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik*, Yogyakarta : LP3M UMY.
- [9] Maulana, Alief, H., Aribowo, D., Inawati. Analisa Kondisi Generator Transformer Menggunakan Metode *Thermography*.
- [10] PT. Elektra Daya Integra. Thermal Imaging Camera Flir Exx Series Training, Elkadaya.
- [11] PT. Elekrika Rekayasa Energi. (2017). *D600 Manual Bahasa Indonesia DSeries*, Banten.
- [12] Aslimeri, dkk. (2008). *Teknik Tenaga Listrik Jilid 2*. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan. Jakarta
- [13] Syahputra Ramadoni. (2010). Aplikasi Deteksi Tepi Citra Termografi untuk Pendeteksian Keretakan Permukaan Material. Forum Teknik Vol. 33, No. 1 Januari 2010.
- [14] Harishkumar. S, dkk. (2014). *Detection of Hot Spots by Thermal Imaging to Protect Power Equipments*. International Journal of Students Reseach in Technology & Management Vol. 2 (02), March-April 2014.
- [15] Rai, Mritunjay, dkk. (2017). *Thermal Imaging System and Its Real Time Application: a Survey*. Journal of Engineering Technology Vol. 6, July 2017.
- [16] Fluke. Technical Data Ti450, Ti400 and Ti300 Infrared Cameras.
- [17] Flir. User's Manual Flir Ex Series.
- [18] Pasaribu, F I, Roza, I. (2020). *Design of Control System Expand Valve On Water Heating Process Air Jacket*. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering.
- [19] Hariyadi, Shahlan. (2017). Analisis Rugi-Rugi Dan Jatuh Tegangan Pada Saluran Transmisi Tegangan Tinggi 150 kV Pada Gardu Induk Palur-Masaran. Universitas Muhammadiyah Surakarta.

HASIL PENGUKURAN THERMOVISI BAY LINE 150 kV

**GIS GLUGUR
TAHUN 2020
GLUGUR- PAYA GELI 1**

NO	PERALATAN	PHASA	MINGGU	AGUSTUS				REKOMENDASI	
				I Shot	T point CLAMP	T point KOND	DELTA T	KLEM	KOND
1	T KLEM DROPPER DARI PHT	R	MG 1				0	Normal	Normal
			MG 2	156	28.1	28.1	0	Normal	Normal
			MG 3				0	Normal	Normal
			MG 4				0	Normal	Normal
		S	MG 1				0	Normal	Normal
			MG 2	155	28	28.6	-0.6	Normal	Normal
			MG 3				0	Normal	Normal
			MG 4				0	Normal	Normal
		T	MG 1				0	Normal	Normal
			MG 2	155	29.5	28.1	1.4	Normal	Normal
			MG 3				0	Normal	Normal
			MG 4				0	Normal	Normal
2	KLEM LA	R	MG 1				0	Normal	Normal
			MG 2	156	28.8	30.1	-1.3	Normal	Normal
			MG 3				0	Normal	Normal
			MG 4				0	Normal	Normal
		S	MG 1				0	Normal	Normal
			MG 2	155	29.6	30.4	-0.8	Normal	Normal
			MG 3				0	Normal	Normal
			MG 4				0	Normal	Normal
		T	MG 1				0	Normal	Normal
			MG 2	155	29.3	30.3	-1	Normal	Normal
			MG 3				0	Normal	Normal
			MG 4				0	Normal	Normal
3	CVT/LINE TRAP sisi LA	R	MG 1				0	Normal	Normal
			MG 2	156	32.8	30.8	2	Normal	Normal
			MG 3				0	Normal	Normal
			MG 4				0	Normal	Normal
		S	MG 1				0	Normal	Normal
			MG 2	155	31.3	31.2	0.1	Normal	Normal
			MG 3				0	Normal	Normal
			MG 4				0	Normal	Normal
		T	MG 1				0	Normal	Normal
			MG 2	155	31.8	31.2	0.6	Normal	Normal
			MG 3				0	Normal	Normal
			MG 4				0	Normal	Normal

4	CVT/LINE TRAP sisi Air Bushing	R	MG 1				0	Normal	Normal
			MG 2	156	33.6	32.4	1.2	Normal	Normal
			MG 3				0	Normal	Normal
			MG 4				0	Normal	Normal
		S	MG 1				0	Normal	Normal
			MG 2	155	31.3	31.2	0.1	Normal	Normal
			MG 3				0	Normal	Normal
			MG 4				0	Normal	Normal
		T	MG 1				0	Normal	Normal
			MG 2	155	31.8	31.2	0.6	Normal	Normal
			MG 3				0	Normal	Normal
			MG 4				0	Normal	Normal
5	Air Bushing 150KV	R	MG 1				0	Normal	Normal
			MG 2	156	32.6	31.2	1.4	Normal	Normal
			MG 3				0	Normal	Normal
			MG 4				0	Normal	Normal
		S	MG 1				0	Normal	Normal
			MG 2	155	31.9	31.5	0.4	Normal	Normal
			MG 3				0	Normal	Normal
			MG 4				0	Normal	Normal
		T	MG 1				0	Normal	Normal
			MG 2	155	33.1	33.1	0	Normal	Normal
			MG 3				0	Normal	Normal
			MG 4				0	Normal	Normal

HASIL PENGUKURAN THERMOVISI BAY LINE 150 kV

**GIS GLUGUR
TAHUN 2020
GLUGUR- PAYA GELI 2**

NO	PERALATAN	PHASA	MINGGU	AGUSTUS				REKOMENDASI	
				I Shot	T point CLAMP	T point KOND	DELTA T	KLEM	KOND
1	T KLEM DROPPER DARI PHT	R	MG 1				0	Normal	Normal
			MG 2	111	29.2	28.8	0.4	Normal	Normal
			MG 3				0	Normal	Normal
			MG 4				0	Normal	Normal
		S	MG 1				0	Normal	Normal
			MG 2	112	31.8	32	-0.2	Normal	Normal
			MG 3				0	Normal	Normal
			MG 4				0	Normal	Normal
		T	MG 1				0	Normal	Normal
			MG 2	113	28.3	28.7	1.4	Normal	Normal
			MG 3				0	Normal	Normal
			MG 4				0	Normal	Normal
2	KLEM LA	R	MG 1				0	Normal	Normal
			MG 2	111	28.6	29.7	-1.1	Normal	Normal
			MG 3				0	Normal	Normal
			MG 4				0	Normal	Normal
		S	MG 1				0	Normal	Normal
			MG 2	112	29.3	30.5	-1.2	Normal	Normal
			MG 3				0	Normal	Normal
			MG 4				0	Normal	Normal
		T	MG 1				0	Normal	Normal
			MG 2	113	29.2	30.5	-1.2	Normal	Normal
			MG 3				0	Normal	Normal
			MG 4				0	Normal	Normal
3	CVT/LINE TRAP sisi LA	R	MG 1				0	Normal	Normal
			MG 2	111	32.7	31.4	1.3	Normal	Normal
			MG 3				0	Normal	Normal
			MG 4				0	Normal	Normal
		S	MG 1				0	Normal	Normal
			MG 2	112	30.9	30.6	0.3	Normal	Normal
			MG 3				0	Normal	Normal
			MG 4				0	Normal	Normal
		T	MG 1				0	Normal	Normal
			MG 2	113	30.6	30.6	0	Normal	Normal
			MG 3				0	Normal	Normal
			MG 4				0	Normal	Normal

4	CVT/LINE TRAP sisi Air Bushing	R	MG 1				0	Normal	Normal
			MG 2	111	34.1	32.1	2	Normal	Normal
			MG 3				0	Normal	Normal
			MG 4				0	Normal	Normal
		S	MG 1				0	Normal	Normal
			MG 2	112	30.9	30.6	0.3	Normal	Normal
			MG 3				0	Normal	Normal
			MG 4				0	Normal	Normal
		T	MG 1				0	Normal	Normal
			MG 2	113	30.6	30.6	0	Normal	Normal
			MG 3				0	Normal	Normal
			MG 4				0	Normal	Normal
5	Air Bushing 150KV	R	MG 1				0	Normal	Normal
			MG 2	111	31.9	31.8	0.1	Normal	Normal
			MG 3				0	Normal	Normal
			MG 4				0	Normal	Normal
		S	MG 1				0	Normal	Normal
			MG 2	112	32.7	33	-0.3	Normal	Normal
			MG 3				0	Normal	Normal
			MG 4				0	Normal	Normal
		T	MG 1				0	Normal	Normal
			MG 2	113	33.9	32.6	1.3	Normal	Normal
			MG 3				0	Normal	Normal
			MG 4				0	Normal	Normal




PT. PLN
(PERSERO)
UPT MEDAN

EKAP LAPORAN HARIAN BEBAN REKAP LAPORAN HARIAN BEBAN KV

GIS GLUGUR

Bulan Agustus

No	DATA-DATA PENGHANTAR				WAKTU SIANG HARI (Pukul 07.00 s/d 16.00) WIB								
	NAMA PENGHANTAR	I Nom PHT (Amp)	RASIO CT (Amp)	T G L	PKL	TEG (KV)	BEBAN TERTINGGI TERCAPAI						
							ARUS (Amp)	MW		MVAR		% BEBAN TRHDP	
IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT								
1	GLGUR-PGELI 1	740	500 / 1	10	14.00	145	210	50.4		17.1			
2	GLGUR-PGELI 2	740	500 / 1	5	10.00	141	360	84		28.9			



UIP3B SUMATERA
UPT MEDAN

Nomor : 1046/SDM 02.04/B24060000/2020 10 Agustus 2020

Lampiran : -

Sifat : Segera

Perihal : Ijin Pengambilan Data

Kepada
Yth. Dekan
Universitas Muhammadiyah
Sumatera Utara
(Fakultas Teknik)
Jl Kapten Mukhtar Basri No.3
Medan

Menunjuk Surat dari Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (Fakultas Teknik) Jl Kapten Mukhtar Basri No.3 Medan Nomor 857/II 3-AU/UMSU-07/F/2020 pada Tanggal 20 Juli 2020 Perihal Pengambilan Data atas Nama :


No	Nama Mahasiswa	Npm	Jurusan
1	Muhammad Luthfi Fazawi	1607220056	Teknik Elektro

Dengan ini kami mengijinkan Pengambilan Data di Gardu Induk Glugur dengan ketentuan sebagai berikut

1. Hanya dengan via Online Videocall (zoom,webex,whatapp dll)
2. Segala biaya yang dikeluarkan selama pengambilan data tidak menjadi tanggung jawab PT PLN (Persero) UIP3B Sumatera UPT Medan
3. Jika data yang diminta bersifat rahasia PT PLN (Persero) UIP3B Sumatera UPT Medan akan mengkomunikasikan lebih lanjut perihal persetujuannya.
4. Data yang akan disampaikan di tugas akhir harus ada approve dari Manager ULTG/Supervisor terkait.

Demikian disampaikan untuk dapat dipergunakan seperlunya terimakasih

MANAGER UNIT PELAKSANA
TRANSMISI MEDAN



INDA PUSPAWATI

Tembusan:
1. MAN ULTG Glugur
2. SUPV JARGI Gardu Induk Glugur

J. Listrik No.12, Kel. Petisah Tengah, Kec. Medan Petisah, Medan 20112
T (061) 4579900 F (061) 4577900 E upt_medan@ip3b-sumatera.co.id

Paraf _____

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Analisa penentuan *Hot Point* dan Monitoring Peralatan dengan Metode Thermovisi pada GI 150 kV Glugur

Nama : Muhammad Lutfi Fazawi

NPM : 1607220029

Dosen Pembimbing : Faisal Irsan Pasaribu, S.T., S.Pd., M.T

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1	Rabu / 11-12-2019	- Latar Belakang (masukkan alasan dasar apa yg harus dan jumlah yg dibutuhkan) - Rumusan Masalah dengan ruang lingkup searifit	
2	Kamis / 12-12-2019	- Lanjut Bab II - Persepsi gambar	
3	Sabtu / 30-12-2019	- Tinjau pustaka Reaktor - Data kerja di spek. termovisi - Titik - titik yang terdapat di GI	
4	Kamis / 30-1-2020	- Portabika Metro gamean & tabel - Rumus dan gbr rangkaian diposets	
5	Jumat / 31-1-2020	Lanjut bab III	
6	Selasa / 4-2-2020	Lanjut un k di seminar pro fasil ken	
7	Rabu / 10-3-2020	Pengutaha metode penelitian Lanjut bab IV	





LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Analisa penentuan *Hot Point* dan Monitoring Peralatan dengan Metode Thermovisi pada GI 150 kV Glugur

Nama : Muhammad Lutfi Fazawi

NPM : 1607220029

Dosen Pembimbing : Faisal Irsan Pasaribu, S.T., S.Pd., M.T

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
	Rabu 30/9-2020	Kerangka Bab IV	
	Jum'at 9/10-2020	Perbaiki grafik (Dapat ketanya grafik mis. grafik 3-.....) Jelaskan dimana tabel ada titik Thermovisi bayakata (kondur + p... in?) Lampat kesimpulan, abstrak dan daftar pustaka.	
	Senin 19/10-2020	ACC unt diadministar.	
	Senin 9/11-2020	ACC unt diindangkan	

DAFTAR RIWAYAT HIDUP**DATA DIRI PESERTA**

Nama Lengkap : Muhammad Lutfhi Fazawi
Panggilan : Lutfhi / Awi
Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 16 – Desember - 1997
Jenis Kelamin : Laki - laki
Agama : Islam
Status : Belum Menikah
Alamat Sekarang : Jalan Baru Gang Herman No. 2 Lingkungan 15
 Kelurahan Terjun Kecamatan Medan Marelan
 20256
No. Handphone/ Wa : 082167756016
Email : muhammadlutfhifazawi@gmail.com

**PENDIDIKAN FORMAL**

o.	Tingkat Pendidikan	Nama dan Tempat	Tahun Kelulusan
.	Taman Kanak – kanak	TK Kurnia 2 Medan Marelan	2002 – 2003
.	Sekolah Dasar	SD Negeri 064007	2003 – 2009
.	Sekolah Menengah Pertama	SMP Negeri 20 Medan	2009 – 2012
.	Sekolah Menengah Atas	SMA Negeri 9 Medan	2012 – 2015
.	Perguruan Tinggi / Strata 1	Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara	2016 - 2020