

TUGAS AKHIR

ANALISA KINERJA PMT DAN PMS PADA GI PAYA PASIR 150KV DENGAN METODE THERMOGRAPHY

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

Disusun Oleh:

GISKA ARDINA CAHYANI

1907220143P



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2023**

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Giska Ardina Cahyani
NPM : 1907220143P
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisa Kinerja Pmt Dan Pms Pada Gi Paya Pasir 150KV Dengan Metode Thermography
Bidang ilmu : Sistem Tenaga Listrik

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 10 Oktober 2023

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji



Faisal Irsan Nasaribu, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing I / Penguji



Partaon Harahap, S.T., M.T

Dosen Pembimbing II / Penguji



Noorly Evalina, S.T., M.T



SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Giska Ardina Cahyani
Tempat/Tanggal Lahir: Medan/10 Mei 1997
NPM : 1907220143P
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

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

“Analisa Kinerja Pmt Dan Pms Pada Gi Paya Pasir 150KV Dengan Metode Thermography”,

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 Sipil/Mesin/Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 10 Oktober 2023

Saya yang menyatakan,



Giska Ardina Cahyani

ABSTRAK

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, dengan memperhatikan kinerja PMT dan PMS di masing-masing gardu listrik. Penelitian ini membahas tentang ketersediaan dan pemanfaatan energi listrik di Gardu Induk PLN Paya Pasir sebagai energi utama masyarakat. Selain itu pada penelitian ini akan dilakukan pengujian dan unjuk kerja sistem yang akan menghasilkan sebuah data untuk dianalisa dengan menggunakan sistem termograph. Pelaksanaan kegiatan penelitian akan dilaksanakan di Gardu Induk 150 kV PLN Paya Pasir. Hasil penelitian menunjukkan: hasil pengujian: (a) uji akurasi menunjukkan nilai yang cukup baik dengan sebesar 98,02% pada bay penghantar PMT dan 97,9% pada bay penghantar PMS; dan (b) uji presisi dikatakan baik karena nilai 0,25% pada bay penghantar PMT dan 0,24% pada bay penghantar PMS; dan dalam penentuan hot point dan prediksi tindak lanjut peralatan, dapat dinyatakan bay penghantar PMT dan PMS di Gardu Induk 150 kV PLN Paya Pasir dalam kondisi baik dan belum perlu adanya tindak lanjut terhadap peralatan. Hasil penelitian menyarankan kepada jajaran para pegawai PT. PLN (Persero) agar dalam melakukan kegiatan thermograph dapat menggunakan alat pelindung diri yang sesuai *Standard Operational Procedure*.

Kata kunci: PMT, PMS, Termograph, Gardu Induk

ABSTRACT

In order to obtain electrical energy that is of good quality and has good continuity, it is necessary to carry out periodic maintenance and monitoring in order to maintain the condition of electrical equipment to function properly and reliably, taking into account the performance of PMT and PMS at each electrical substation. This study discusses the availability and utilization of electrical energy at the PLN Paya Pasir Substation as the main energy for the community. In addition, in this study, testing and performance of the system will be carried out which will produce data to be analyzed using a thermograph system. The implementation of research activities will be carried out at the 150 kV PLN Paya Pasir Substation. The results showed: test results: (a) the accuracy test showed a fairly good value with 98.02% in the PMT conducting bay and 97.9% in the PMS conducting bay; and (b) the precision test is said to be good because the value is 0.25% for the PMT conducting bay and 0.24% for the PMS conducting bay; and in determining hot points and predicting equipment follow-up, it can be stated that the PMT and PMS conductor bays at the 150 kV PLN Paya Pasir Substation are in good condition and there is no need for follow-up on equipment. The results of the study suggest that the employees of PT. PLN (Persero) so that in carrying out thermograph activities it can use personal protective equipment according to the Standard Operational Procedure.

Keywords: PMT, PMS, Termograph, Substation

KATA PENGANTAR

Puji syukur Penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT karena dengan rahmat, karunia serta taufik dan hidayah-Nya lah Penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini yang berjudul **“ANALISA KINERJAPMT DAN PMS PADA GI PAYA PASIR 150KV DENGAN METODE THERMOGRAPHY”** sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU) Medan.

Pada kesempatan ini, Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada orang-orang yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu, Penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada:

1. Allah SWT, karena atas berkah dan izin nya saya dapat menyelesaikan tugas akhir dan studi di Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Dr. Ade Faisal M. Sc., Ph.D., selaku Wakil Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Affandi, S.T., M.T., selaku Wakil III Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Ibu Elvy Sahnur, S.T., M.T., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T., selaku Pembimbing dalam tugas akhir ini yang memberikan bimbingannya, masukkan dan bantuan sehingga tugas sarjana ini dapat terselesaikan dengan baik

8. Seluruh Dosen dan Staff Pengajar di Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

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 dunia konstruksi teknik sipil/Mesin/Elektro.

Medan, 23 September 2023

GISKA ARDINA CAHYANI

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN DAN PERSETUJUAN	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR DIAGRAM	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
1.6 Sistematika penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan	4
2.2 Sistem Pembangkit Listrik	5
2.3 Pembangkit Tenaga Listrik	6
2.4 Pengertian Gardu Induk	6
2.5 Klasifikasi Gardu Induk	7
2.5.1 Menurut Pemasangan Peralatan	7
2.5.2 Menurut Tegangan	8
2.5.3 Menurut Fungsinya	8
2.6 Fasilitas Dan Peralatan Gardu Induk	10
2.6.1 Tranformator Daya	10
2.6.2 Peralatan Penghubung	12
2.7 Pengertian Pemutus Tenaga (PMT)	14
2.7.1 Klasifikasi Pmt Berdasarkan Besar/ Kelas Tegangan	15
2.7.2 Klasifikasi Pmt Berdasarkan Jumlah Mekanik Dan Penggerak	16
2.7.3 Klasifikasi Pmt Berdasarkan Media Isolasi	18
2.7.3.1 Pemutus Tenaga Media Minyak	18
2.7.3.2 PMT Media Udara Hembus	19
2.7.3.3 PMT Media Vakum	20
2.7.3.4 PMT Media Gas Sf6	21

2.8	Proses Terjadinya Busur Api	22
2.9	Sifat Gas Sf6	24
2.9.1	Gas Untuk Pemutus	24
2.10	Garduk Induk Tegangan Ekstra Tinggi (Gitet)	25
2.11	Pengertian Pemisah Sakral (Pms)	25
2.11.1	Pemisah Sakral (Pms)	25
2.11.2	Prinsip Kerja Pemisah (Pms)	27
2.12	Pengertian Pemisah	27
2.13	Penempatan Posisi Pemisah	28
2.14	Komponen Dan Fungsi Pemisah	29
2.14.1	Dielectric	29
2.14.2	Primary	29
2.14.2.1	Pisau-Pisau/ Kontak pms, Menghubungkan atau Memisahkan Bagian Yang Bertegangan	29
2.14.2.2	Klem	32
2.14.3	Drive Mechanism/ Mekanik Penggerak	32
2.14.4	Secondary	34
2.14.4.1	Lemari Mekanik	34
2.14.4.2	Kontrol Dan Auxillary	34
2.14.5	Pisau Pentanahan	35
2.15	Pedoman Pemeliharaan Pemisah	35
2.15.1	In Service/ Visual Inspection	35
2.15.2	In Service Measurement	41
2.15.2.1	Pengukuran Thermovision	41
2.15.3	Shutdown Measurement	42
2.15.3.1	Pengukuran Tahanan Isolasi	42
2.15.4	Standar Evaluasi Hasil Pemeliharaan Pemisah	44
2.15.4.1	Pengujian Tahanan Isolasi	44
2.15.4.2	Pengujian Tahanan Kontak	44
2.15.4.3	Pengujian Tahanan Pentanahan	44
2.15.4.4	Pengukuran Thermovision	45
2.15.4.5	Pengujian Fungsi Sistem Mekanik Penggerak	46
2.15.4.5.1	Motor Penggerak	46
2.15.4.5.2	Transmisi Penggerak	46
2.15.4.6	Pemeriksaan Fungsi Lemari Mekanik	46
2.16	Rekomendasi Hasil Pemeriksaan	47
2.16.1	Rekomendasi Hasil Pemeliharaan In Service Montoring	47
2.17	Thermosivion/ Thermovisi	52
2.17.1	Standard Terhemovision	53
2.17.2	Kamera Infrared (Thermal Imager)	57
2.17.3	Perhitungan Suhu Klem Dan Konduktor	60

2.17.4 Perhitungan emisivitas	61
2.18 Analisis Validasi	61
2.16.1 Uji Presisi	61
2.16.2 Uji Akurasi	62
BAB 3 METODE PENELITIAN	63
3.1 Tempat dan Waktu	63
3.2 Bahan dan Alat	63
3.3 Prosedur Penelitan	63
3.4 <i>Flow Chart</i> Penelitian	65
3.5 Teknik Metode Analisis Data	66
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	67
4.1 Anomali di GI PLN PMT50 KV PLN Paya Pasir	68
4.2 Perhitungan Suhu Perbandingan Klem dan Konduktor	68
4.3 Perhitungan Nilai Emisivitas	76
4.4 Analisis Validasi	82
4.4.1 Uji Presisi	82
4.4.2 Uji Akurasi	85
BAB 5 PENUTUP	89
5.1 Kesimpulan	89
5.2 Saran	90
DAFTAR PUSTAKA	91

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jadwal Pemeliharaan Mingguan Keadaan : Operasi	37
Tabel 2.2 Jadwal Pemeliharaan Bulanan Keadaan : Operasi	37
Tabel 2.3 Jadwal Pemeliharaan 3 Bulan Keadaan : Operasi	37
Tabel 2.4 Jadwal Pemeliharaan Tahunan Keadaan : Operasi	39
Tabel 2.5 Pemeliharaan Kondisional Keadaan : Operasi	40
Tabel 2.6 Tabel Tegangan Ac Dan Dc Sumber Tegangan	47
Tabel 2.7 Rekomendasi Hasil Pemeliharaan In Service Monitoring	48
Tabel 2.8 Standar Pengukuran Thermovisi Berdasarkan Buku Pedoman Pemeliharaan Pln No. 0520-2.K/Dir/2014	54
Tabel 2.9 Objek Suhu Operasi Referensi Kenaikkan Temperature dan kelas EPRI	54
Tabel 2.10 Kenaikkan Temperatur Dan Kelas <i>Epri Standard Of Thermography Inspection Flir</i>	55
Tabel 2.11 <i>Standard Of Thermography Standard Ir Termography</i> Berdasarkan Kelas Insulasi	55
Tabel 2.12 Termografi Berdasarkan Kelas Insuli	56
Tabel 2.13 Tabel Tingkat Permasalahan Sistem Tingkat Prioritas Berdasarkan <i>The National Electrical Testing Assocation Neta Mts-20015</i>	56
Tabel 4.1 Standar Thermovision	67
Tabel 4.2 Thermograph Klem dan Konduktor bay Penghantar PMT	72
Tabel 4.3 Thermograph Klem dan Konduktor bay Penghantar PMS	74
Tabel 4.4 Nilai Emisivitas bay Penghantar PMT	79
Tabel 4.5 Nilai Emisivitas bay Penghantar PMS	80
Tabel 4.6 Validasi Thermograph bay Penghantar PMT	83
Tabel 4.7 Validasi Thermograph bay Penghantar PMS	84
Tabel 4.8 Akurasi dan Presisi bay Penghantar PMT dan PMS	86

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Pembangkit Listrik	5
Gambar 2.2 Komponen Pokok Pembangkit	6
Gambar 2.3 Tranformator Daya	10
Gambar 2.4 Neutral Grounding Resistance	11
Gambar 2.5 Current Transformer	11
Gambar 2.6 Potential Transformer	12
Gambar 2.7 Pemutus Tenaga (Pmt)	13
Gambar 2.8 Pemisah (Pms)	14
Gambar 2.9 Pmt Singel Pole	17
Gambar 2.10 Pmt Three Pole	17
Gambar 2.11 Pemadaman Busur Api Pada Pmt Minyak	18
Gambar 2.12 Oil Sircuit Breaker Yang Ada Pada Gardu Induk	19
Gambar 2.13 Pemadaman Busur Api Pada Pmt Udara Hembus	20
Gambar 2.14 Proses Pemadaman Busur Api Media Vakum	20
Gambar 2.15 Sf6 Circuit Breaker	21
Gambar 2.16 Proses Pemadaman Busur Api Pada Sf	22
Gambar 2.17 Sifat Gas Sf6	24
Gambar 2.18 Pemisah	28
Gambar 2.19 Isolator	29
Gambar 2.20 Pemisah Engsel	30
Gambar 2.21 Pemisah Putar	30
Gambar 2.22 Pemisah Siku	31
Gambar 2.23 Pemisah Pantograph	32
Gambar 2.24 Terminal Utama/Klem	32
Gambar 2.25 Penggerak Manual	33
Gambar 2.26 Mekanik Pms Dengan Penggerak Motor	33
Gambar 2.27 Mekanik Pms Tekanan Udara	34
Gambar 2.28 Lemari Mekanik Dan Box Mekanik	34
Gambar 2.29 Terminal Dan Wiring Kontrol	35

Gambar 2.30 Pisau Pentanahan	35
Gambar 2.31 Alat Ukur Thermovision	42
Gambar 2.32 Contoh Pengukuran Thermovision	42
Gambar 2.33 Alat Uji Insulation Tester	43
Gambar 2.34 Thermal Imagers Fluke Tiseries	59
Gambar 2.35 Thermal Imagers Satir D300	59
Gambar 2.36 Thermal Imagers Flir Infrared Cameras	60
Gambar 4.1 Anomali di GI PLN PMT50 KV PLN Paya Pasir	68
Gambar 4.2 Pengukuran Suhu bay Penghantar PMT	73
Gambar 4.3 Pengukuran Suhu bay Penghantar PMS	75
Gambar 4.4 Perhitungan Nilai Emisitivitas bay Penghantar PMT	79
Gambar 4.5 Perhitungan Nilai Emisitivitas bay Penghantar PMS	81
Gambar 4.6 Hasil Perhitungan Uji Validasi PMT dan PMS	86

DAFTAR DIAGRAM

Diagram 3.1 *Flow Chart* Penelitian

65

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penyaluran tenaga listrik baik dari Pembangkit sampai ke Gardu induk sampai ke konsumen 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^Â 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 agar didapatkan nilai emisivitas yang sesuai. (Pasaribu, F. I. 2021).

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. Dalam usaha penyediaan energi listrik yang memiliki kualitas dan kontinuitas yang baik inilah, Gardu Induk (GI) adalah salah satu komponen pada sistem penyaluran tenaga listrik yang memiliki peranan yang sangat penting karena merupakan penghubung pelayanan

tenaga listrik ke konsumen. Keandalan dari suatu gardu induk didukung dengan kondisi peralatan-peralatan yang terdapat di gardu induk tersebut. Gardu induk memiliki beberapa peralatan utama, salah satunya adalah Pemutus Tenaga atau *Circuit Breaker* (PMT) dan Pemisah atau *Disconnecting Switch* (PMS). (Pasaribu, F. I. 2021).

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana cara penggunaan Thermography pada PMT dan PMS.
2. Bagaimana batasan temperature pada koneksi PMT dan PMS menggunakan Thermograph

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.
2. Membahas mengenai kinerja dari PMT dan PMS menggunakan metode thermograph.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kondisi PMT dan PMS dengan metode thermograph.
2. Melakukan analisis hasil dari pengamatan dengan metode thermograph.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian skripsi ini yaitu sebagai berikut:

1. Memberikan gambaran informasi mengenai kondisi PMT dan PMS melalui pengukuran dan pengamatan dengan metode thermograph pada GI 150 KV PLN PAYA PASIR.

2. Memberikan informasi pada GI 150 KV PLN PAYA PASIR melalui proses pengukuran thermograph dan analisa hasilthermograph.

1.6 Sistematika Penulisan

Skripsi yang disusun memiliki sistematika berikut ;

BAB 1 PENDAHULUAN

Pendahuluan merupakan bagian utama yang menjabarkan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup, manfaat penelitian dan sistematika Penulisan.

BAB 2 TEORI DASAR

Bab ini menjelaskan tentang gambaran dan penjelasan metode yang digunakan untuk penelitian.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang objek penelitian, variabel, metode penelitian, metode pengumpulan data, dan metode analisa data.

BAB 4 HASIL DAN PENELITIAN

Bab ini membahas hasil dari survey dan analisa Penulis terhadap hasil survey yang telah dilakukan Penulis.

BAB 5 PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan Penulis tentang hasil dari analisa Penulis terhadap Kinerja dari Gardu Induk Paya Pasir 150KV.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka Relevan

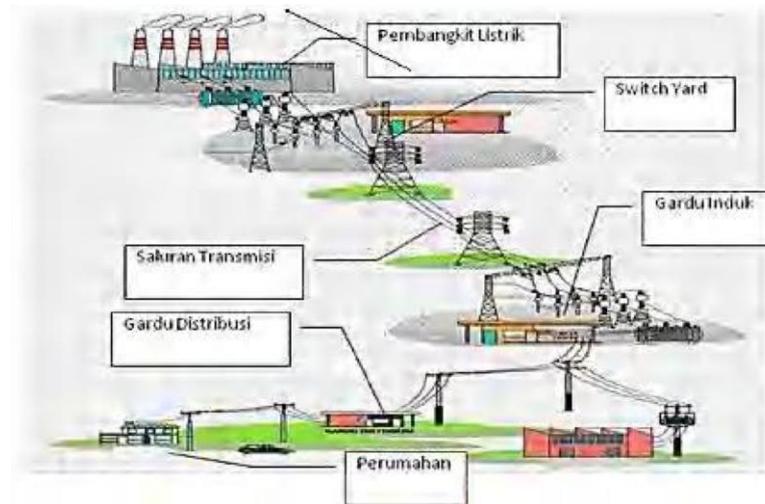
Penelitian ini adalah pengembangan dari penelitian-penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti di bidang teknik elektro, yaitu:

Salah satu cara paling ekonomis, mudah dan aman untuk mengirimkan energi listrik adalah melalui bentuk energi listrik. Energi listrik dapat secara kontinu 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.(Gonibala et al., 2018)

Secara umum, definisi sistem tenaga listrik meliputi sistem pembangkitan, sistem transmisi, dan sistem distribusi. Belakangan ini sistem distribusi jika dilihat dari skala nasional, diperkirakan sama dengan biaya investasi fasilitas pembangkitan. Sistem distribusi bersama sama dengan sistem pembangkitan berdasarkan pengalaman biasanya menelan biaya investasi hingga 80% dari total investasi yang dikeluarkan untuk sistem tenaga listrik. Siklus aliran energi listrik pada sistem tenaga listrik dapat dijelaskan sebagai berikut. Pada pusat pembangkit, sumber daya energi primer seperti bahan bakar fosil (minyak, gas alam, dan batubara), hidro, panas bumi, dan nuklir diubah menjadi energi listrik. Generator sinkron mengubah energi mekanis yang dihasilkan pada poros turbin menjadi energi listrik tiga fasa. Melalui transformator step-up, energi listrik ini kemudian dikirimkan melalui saluran transmisi bertegangan tinggi menuju pusat-pusat beban. (Syahputra, R. 2017).

2.2 Sistem Pembangkit Listrik

Sistem Pembangkit listrik merupakan gabungan dari beberapa komponen kelistrikan yang bekerja sama untuk menghasilkan tenaga listrik seperti, transmisi, distribusi dan beban yang saling beroperasi untuk dapat memenuhi kebutuhan listrik konsumen. Beberapa komponen-komponen tersebut dapat dijelaskan pada Gambar 2.1 di bawah.



Gambar 2. 1 Sistem pembangkit listrik

<https://eprints.umm.ac.id/>

Secara garis besar fungsi dari komponen pembangkit dijabarkan sebagai berikut:

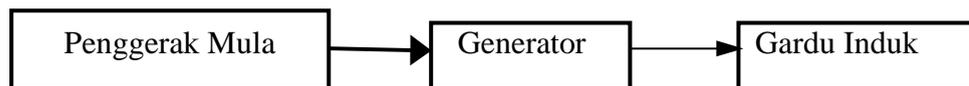
1. Sistem pembangkit merupakan sistem yang dapat mengubah energi non-listrik menjadi energi listrik misalnya: panas batubara, minyak bumi, air, uap dan lain-lain.
2. Transmisi bekerja untuk dapat mengalirkan daya atau energi listrik dari suatu pembangkit ke pusat beban atau gardu induk.
3. Distribusi bekerja untuk mengalirkan daya atau energi listrik ke konsumen yang berupa energi listrik.
4. Beban merupakan peralatan konsumen yang membutuhkan listrik untuk pengoperasiannya.

2.3 Pembangkit Tenaga Listrik

Pembangkit listrik merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang bertugas mengubah energi non-listrik menjadi energi listrik, sistem pembangkit dapat beroperasi dari beberapa energi bahan bakar minyak, batubara, air, bayu, sinar matahari dan lain-lain. Karakteristik pembangkit berbeda-beda sehingga dalam pengoperasiannya harus disesuaikan dengan kepentingan dan keadaan wilayah tempat pembangkit. Sistem pembangkit dapat digolongkan dari sistem prinsip kerja dan energi yang digunakan. (Wikarsa, M. T. 2018).

Pada Gambar 2.2 menunjukkan komponen utama dari suatu sistem pembangkit:

1. Motor penggerak mula berfungsi untuk menghasilkan energi gerak awal yang dapat berupa putaran poros yang digunakan untuk starting generator.
2. Generator berfungsi mengubah putaran dari motor untuk dapat menghasilkan energi listrik yang digunakan untuk konsumen.
3. Gardu induk berfungsi untuk pengaturan pengiriman energy listrik dan untuk penyesuaian level tegangan.



Gambar 2. 2 Komponen pokok pembangkit

<https://eprints.umm.ac.id/>

2.4 Pengertian Gardu Induk

Gardu Induk merupakan suatu instalasi yang terdiri dari sekumpulan peralatan listrik yang disusun menurut pola tertentu dengan pertimbangan teknis, ekonomis serta keindahan. (Preptisa, N., Hidajat, W. K., & Trisnawati, D., 2017).

Fungsi dari Gardu Induk adalah sebagai berikut:

- a. Mentransformasikan tenaga listrik tegangan tinggi yang satu ketegangan yang lainnya atau tegangan menengah.
- b. Pengukuran pengawasan operasi serta pengaturan pengamanan dari sistem tenaga listrik.
- c. Pengaturan daya ke gardu-gardu lainnya melalui tegangan tinggi dan gardu distribusi melalui feeder tegangan menengah.

Pada dasarnya gardu induk terdiri dari saluran masuk dan dilengkapi dengan transformator daya, peralatan ukur, peralatan penghubung dan lainnya yang saling menunjang.

2.5. Klasifikasi Gardu Induk

Gardu induk dapat diklasifikasikan menjadi beberapa macam, yaitu:

2.5.1. Menurut Pemasangan Peralatan

Berdasarkan Pemasangan peralatan, Gardu induk dapat dibedakan menjadi 4 macam yaitu:

1. Gardu Induk Pasang Luar

Gardu induk jenis pemasangan luar terdiri dari peralatan tegangan tinggi pemasangan luar. Pemasangan luar yang dimaksud adalah diluar gedung atau bangunan. Walaupun ada beberapa peralatan yang lain berada di dalam gedung, seperti peralatan panel kontrol, meja penghubung (*switch board*) dan baterai. Gardu Induk jenis ini ini memerlukan tanah yang begitu luas namun biaya konstruksinya lebih murah dan pendinginannya murah.

2. Gardu Induk Pasangan Dalam

Disebut Gardu induk pemasangan dalam karena sebagian besar peralatannya berada dalam suatu bangunan. Peralatan ini seperti halnya pada gardu induk pemasangan luar. Dari transformator utama, rangkaian switchgear dan panel kontrol serta batere semuanya. Jenis pemasangan dalam ini dipakai untuk menjaga keselarasan dengan daerah sekitarnya dan untuk menghindari bahaya kebakaran dan gangguan suara.

3. Gardu Induk Setengah Pasangan Luar

Sebagian dari peralatan tegangan tingginya terpasang di dalam gedung dan yang lainnya dipasang diluar dengan mempertimbangkan situasi dan kondisi lingkungan. Karena konstruksi yang berimbang antara pasangan dalam dengan pasangan luar inilah tipe gardu induk ini disebut juga gardu induk semi pasangan dalam.

4. Gardu Induk Pasangan Bawah Tanah

Hampir semua peralatannya terpasang dalam bangunan bawah tanah. Hanya alat pendinginan biasanya berada diatas tanah, dan peralatan-peralatan yang tidak memungkinkan untuk ditempatkan di bangunan bawah tanah. Biasanya di bagian kota yang sangat ramai, di jalan-jalan pertokoan dan di jalan-jalan dengan gedung bertingkat tinggi. Kebanyakan gardu induk ini dibangun dibawah jalan raya.

2.5.2. Menurut Tegangan

Berdasarkan tegangan, gardu induk dapat dibedakan menjadi 2 macam yaitu:

1. Gardu induk transmisi

Yaitu gardu induk yang mendapat daya dari saluran transmisi untuk kemudian menyalurkannya ke daerah beban (industri, kota, dan sebagainya). Gardu induk transmisi yang ada di PLN adalah tegangan tinggi 150 KV dan tegangan tinggi 70 KV.

2. Gardu distribusi

Yaitu gardu induk yang menerima tenaga dari gardu induk transmisi dengan menurunkan tegangannya melalui transformator tenaga menjadi tegangan menengah (20 KV, 12 KV atau 6 KV) untuk kemudian tegangan tersebut diturunkan kembali menjadi tegangan rendah (127/220 V) atau (220/380 V) sesuai dengan kebutuhan.

2.5.3. Menurut Fungsinya

Berdasarkan fungsinya, gardu induk dapat dibedakan menjadi 5 macam yaitu:

1. Gardu Induk Penaik Tegangan

Merupakan gardu induk yang berfungsi untuk menaikkan tegangan, yaitu tegangan pembangkit (generator) dinaikkan menjadi tegangan sistem. Gardu Induk ini berada di lokasi pembangkit tenaga listrik. Karena output voltage yang dihasilkan pembangkit listrik kecil dan harus disalurkan pada jarak yang jauh, maka dengan pertimbangan efisiensi, tegangannya dinaikkan menjadi tegangan ekstra tinggi atau tegangan tinggi.

2. Gardu Induk Penurun Tegangan

Merupakan gardu induk yang berfungsi untuk menurunkan tegangan, dari tegangan tinggi menjadi tegangan tinggi yang lebih rendah dan menengah atau tegangan distribusi. Gardu Induk terletak di daerah pusatpusat beban, karena di gardu induk inilah pelanggan (beban) dilayani.

3. Gardu Induk Pengatur Tegangan

Pada umumnya gardu induk jenis ini terletak jauh dari pembangkit tenaga listrik. Karena listrik disalurkan sangat jauh, maka terjadi tegangan jatuh (*voltage drop*) transmisi yang cukup besar. Oleh karena diperlukan alat penaik tegangan, seperti bank kapasitor, sehingga tegangan kembali dalam keadaan normal.

4. Gardu Induk Pengatur Beban

Berfungsi untuk mengatur beban. Pada gardu induk ini terpasang beban motor, yang pada saat tertentu menjadi pembangkit tenaga listrik, motor berubah menjadi generator dan suatu saat generator menjadi motor atau menjadi beban, dengan generator berubah menjadi motor yang memompakan air kembali ke kolam utama.

5. Gardu Distribusi

Gardu induk yang menyalurkan tenaga listrik dari tegangan sistem ketegangan distribusi. Gardu induk ini terletak di dekat pusat-pusat beban

2.6. Fasilitas dan Peralatan Gardu Induk

Agar gardu induk dapat menjalankan fungsi dan tujuannya, maka gardu dilengkapi dengan peralatan serta fasilitas. Secara garis besar, peralatan-peralatan pada gardu induk tersebut adalah sebagai berikut:

2.6.1. Transformator Daya

a. Transformator Daya

Transformator Daya berfungsi untuk mentransformasikan daya listrik, dengan merubah besaran tegangannya sedangkan frekuensinya tetap. Transformator daya juga berfungsi sebagai pengatur tegangan. Trafo daya dilengkapi oleh trafo pentanahan yang berfungsi untuk mendapatkan titik netral dari trafo daya. Perlengkapan lainnya adalah pentanahan trafo yang disebut *Neutral Grounding Resistance (NGR)*.



Gambar 2.3 Transformator Daya

Supriyadi, A. (2017). Hubungan Pada Transformator Tiga Fasa. *Swara Patra: Majalah Ilmiah PPSDM Migas*, 7(1).

b. Neutral Grounding Resistance (NGR)

Neutral Grounding Resistance (NGR) adalah komponen yang dipasang antara titik netral trafo dengan pentanahan. *Neutral Grounding Resistance (NGR)* berfungsi untuk memperkecil arus gangguan yang terjadi.



Gambar 2.4 Neutral Grounding Resistance

Salahuddin, S. (2018).. *Jurnal Energi Elektrik*, 7(1), 5-10.

c. *Current Transformer (CT)*

Transformator Arus (CT) berfungsi untuk merubah besaran arus, dari arus yang besar ke arus yang kecil. Atau memperkecil besaran arus listrik pada sistem tenaga listrik, menjadi arus untuk sistem pengukuran dan proteksi.



Gambar 2.5 Current Transformer

Mungkin, M., Satria, H., Bahri, Z., & Ridwan, A. (2020).. *Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering)*, 7(2), 99-107.

d. *Potential Transformer (PT)*

Transformator Tegangan (PT) berfungsi untuk merubah besaran tegangan dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau memperkecil besaran tegangan listrik pada system tenaga listrik, menjadi besaran tegangan untuk pengukuran dan proteksi.



Gambar 2.6 Potential Transformer

APRILLA, P. (2020). (*Doctoral dissertation, Universitas Mercu Buana*).

2.6.2. Peralatan Penghubung

Saluran transmisi dan distribusi dihubungkan dengan gardu induk. Jadi gardu induk ini merupakan tempat pemutusan dari tenaga yang dibangkitkan dari sistem interkoneksi, sistem transmisi, dan distribusi kepada pelanggan. Saluran transmisi dan distribusi ini dihubungkan pada ril (bus) melalui transformator utama, setiap saluran mempunyai pemutus beban (circuit breaker) dan pemisah (*disconnect switch*) pada sisi keluarannya. Pemutus beban ini dipakai untuk memutuskan atau menghubungkan beban bila terjadi gangguan pada saluran transmisi atau alat lain, pemutus beban itu dipakai untuk memutuskan hubungan secara otomatis. Pemutus beban dan pemisah dinamakan peralatan penghubung (*switchgear*).

Peralatan penghubung terbagi dua yaitu:

a. Pemutus Tenaga (PMT)

Berfungsi untuk memutuskan hubungan tenaga listrik dalam keadaan gangguan maupun dalam keadaan berbeban dan proses ini harus dilakukan dengan cepat. Pemutus tenaga listrik dalam keadaan gangguan akan menimbulkan arus yang relatif besar, pada saat tersebut pemutus beban bekerja sangat berat. Bila kondisi peralatan pemutus tenaga menurun karena kurangnya pemeliharaan, sehingga tidak sesuai lagi kemampuan dengan daya yang diputuskannya, maka pemutus tenaga tersebut dapat rusak (meledak).



Gambar 2.7 Pemutus Tenaga (PMT)

Setiono, I. (2017). Gas SF 6 (Sulfur Hexa Fluorida) Sebagai Pemadam Busur Api Pada Pemutus Tenaga (PMT) Di Saluran Transmisi Tegangan Tinggi. METANA, 13(1), 1-6.

b. Pemisah (PMS)

Pemilihan jenis pemisah (*disconnect switch*) ditentukan oleh lokasi, tata bangunan luar (*outdoor structure*) dan sebagainya. Pada umumnya pemisah tidak dapat memutuskan arus. Meskipun dapat memutuskan arus yang kecil, misalnya arus pembangkit Trafo, tetapi pembukaan atau penutupannya harus dilakukan setelah pemutus tenaga lebih dahulu dibuka. Untuk menjamin bahwa kesalahan urutan operasi tidak terjadi, maka harus ada keadaan saling mengunci (*interlock*), antara pemisah dengan pemutus bebannya.

Sesuai dengan fungsi dan kegunaannya, maka PMS dibagi menjadi 2 macam yaitu:

1. Pemisah Tanah, berfungsi untuk mengamankan peralatan dari sisi tegangan yang timbul sesudah SUTT / SUTM diputuskan.
2. Pemisah Peralatan, berfungsi untuk mengisolasi peralatan listrik dari peralatan yang bertegangan. Pemisah ini dioperasikan tanpa beban.



Gambar 2.8 Pemisah (PMS)

Setiono, I. (2017). Gas SF 6 (Sulfur Hexa Fluorida) Sebagai Pemadam Busur Api Pada Pemutus Tenaga (PMS) Di Saluran Transmisi Tegangan Tinggi. METANA, 13(1), 1-6.

2.7 Pengertian Pemutus Tenaga (PMT)

Pemutus tenaga adalah alat yang terpasang pada gardu induk yang berfungsi untuk menghubungkan dan memutus arus beban atau arus gangguan syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh suatu PMT agar dapat melakukan hal-hal diatas, adalah sebagai berikut;

1. Mampu menyalurkan arus maksimum system secara terus menerus.
2. Mampu memutuskan dan menutup jaringan dalam keadaan berbeban maupun terhubung singkat tanpa menimbulkan kerusakan pada pemutus tenaga itu sendiri.
3. Dapat memutuskan arus hubung singkat dengan kecepatan tinggi agar arus hubung singkat tidak sampai merusak sistem, membuat sistem kehilangan kesetabilan, dan merusak pemutus tenaga itu sendiri.

Fungsi peralatan proteksi adalah untuk mengidentifikasi gangguan dan memisahkan bagian jaringan yang terganggu dari bagian lain yang masih sehat serta sekaligus mengamankan bagian yang masih sehat dari kerusakan yang kerugian yang lebih besar. Sistem proteksi harus memenuhi syarat sebagai berikut:

1. Sensitif yaitu mampu merasakan gangguan kecil sekecil apapun.
2. Handal yaitu bekerja bila diperlukan dan tidak bekerja bila tidak diperlukan.
3. Selektif yaitu mampu memisahkan jaringan yang terganggu saja.

Setiap PMT dirancang sesuai dengan tugas yang di pikulnya, ada beberapa hal yang perlu di pertimbangkan dalam rancangan suatu PMT, yaitu:

1. Tegangan efektif tertinggi dan Frekuensi daya jaringan dimana pemutus daya itu dipasang. Nilainya tergantung pada jenis pentanahan titik netral sistem.
2. Arus maksimum continue yang dialirkan melalui pemutus daya. Nilai arus ini tergantung pada arus maksimum sumber daya atau arus nominal beban dimana pemutus daya tersebut terpasang.
3. Arus hubung singkat maksimum yang diputuskan pemutus daya tersebut.
4. Lamanya maksimum arus hubung singkat yang boleh berlangsung. Hal ini berhubungan dengan waktu pembukaan kontak yang dibutuhkan.
5. Jarak bebas antara bagian yang bertegangan tinggi dengan objek lain disekitarnya.
6. Jarak rambat arus bocor pada isolatornya.
7. Kekuatan dielektrik media isolator sela kontak.
8. Iklim dan ketinggian lokasi penempatan pemutus daya.

2.7.1 Klasifikasi PMT Berdasarkan Besar/kelas tegangan

PMT dapat dibedakan menjadi 4, yaitu:

1. PMT tegangan rendah (low voltage)

Untuk jenis PMT tegangan rendah, kita tentunya sering menemukan jenis ini pada panel pembagi beban (Besaran yg efektif berkisar 15A s/d 1500 A). Yang harus diperhatikan dalam jenis PMT ini adalah Tegangan efektif tertinggi dan frekuensi daya jaringan dimana pemutus daya itu dipasang. Nilainya tergantung pada jenis pentanahan titik netral sistem. Dan juga arus maksimum kontinyu yang dialirkan melalui pemutus daya, dan nilai arus ini tergantung pada arus maksimum sumber daya atau arus nominal beban dimana pemutus daya tersebut terpasang. PMT ini mempunyai range tegangan 0.1 s/d 1KV (SPLN).

2. PMT tegangan menengah (Medium Voltage)

PMT tegangan menengah ini biasanya dipasang pada gardu induk, pada kabel masuk ke busbar tegangan (incoming cubicle) maupun pada setiap rel/busbar keluar (out going cubicle) yang menuju penyulang keluar dari gardu induk. PMT ini mempunyai range tegangan 1s/d 35KV (SPLN).

3. PMT tegangan tinggi (High Voltage)

Dengan range tegangan 35 s/d 245KV (SPLN).

Klasifikasi PMT untuk tegangan tinggi berdasarkan media insulator dan material dielektriknya, adalah terbagi menjadi empat jenis, yaitu:

- a) Sakelar PMT Minyak: Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 10 ka dan pada rangkaian bertegangan sampai 500KV.
- b) Sakelar PMT Udara Hembus (Air Blast Circuit Breaker): Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 40 ka dan pada rangkaian bertegangan sampai 765KV.
- c) Sakelar PMT vakum (Vacuum Circuit Breaker): Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus rangkaian bertegangan sampai 38KV.
- d) Sakelar PMT Gas SF₆ (SF₆ Circuit Breaker): Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 40 ka dan pada rangkaian bertegangan sampai 765KV.

4. PMT tegangan extra tinggi (Extra High Voltage)

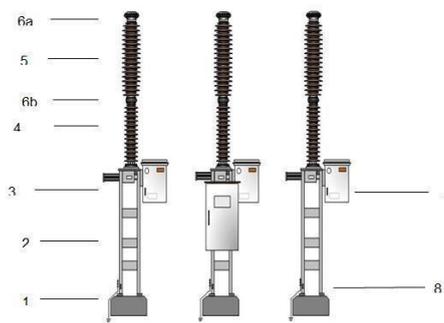
PMT jenis ini biasanya dipasang di GITET (Gardu Induk Ekstra Tinggi) yang sudah memiliki bermacam-macam peralatan canggih. Salah satunya Gas Circuit Breaker. (GCB). GCB merupakan pemutus tenaga yang menggunakan gas SF₆ sebagai bahan pemadam busur api. PMT ini memiliki range tegangan lebih besar dari 245 kVAC.

2.7.2 Klasifikasi PMT Berdasarkan Jumlah Mekanik dan Pengerak

PMT dapat dibedakan menjadi 2, yaitu:

1. PMT Singel pole

PMT singe pole (Gambar 2.9) mempunyai penggerak pada masing-masing pole, umumnya PMT jenis ini di pasang pada bay penghantar agar PMT bisa reclose satu fasa.



Gambar 2.9. PMT Singel Pole

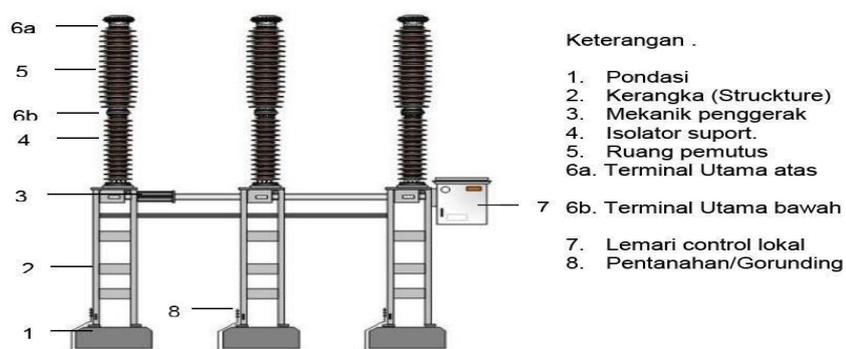
<http://eprints.polsri.ac.id/>

Keterangan:

1. Pondasi
2. Kerangka
3. Mekanik Penggerak
4. Isolator support
5. Ruang Pemutus
6. a. Terminal utama atas
- b. Terminal utama bawah
7. Lemari control local
8. pentanahan/grounding

2. PMT Three Pole

PMT three pole (Gambar 2.10) mempunyai satu mekanik penggerak untuk tiga fasa, guna menghubungkan fasa satu dengan fasa yang lainnya dilengkapi dengan kopel mekanik, umumnya PMT jenis ini dipasang pada bay trafo dan bay kopel serta PMT 20 kV untuk distribusi.



Gambar 2.10 PMT Three Pole

<http://repository.unimus.ac.id/>

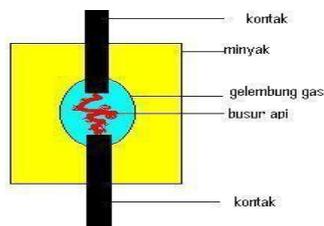
2.7.3 Klasifikasi PMT Berdasarkan Media Isolasi

PMT memiliki beberapa media isolasi yaitu :

1. Pemutus Tenaga (PMT) Media Minyak
2. Pemutus Tenaga (PMT) Media Udara Hembus
3. Pemutus Tenaga (PMT) Media Vakum
4. Pemutus Tenaga (PMT) Media gas SF₆

2.7.3.1 Pemutus Tenaga (PMT) Media Minyak

PMT ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 10 ka dan pada rangkaian bertegangan sampai 500 kv. Pada saat kontak dipisahkan, busur api akan terjadi didalam minyak, sehingga minyak menguap dan menimbulkan gelembung gas yang menyelubungi busur api, karena panas yang ditimbulkan busur api, minyak mengalami dekomposisi dan menghasilkan gas hydrogen yang bersifat menghambat produksi pasangan ion. Oleh karena itu, pemadaman busur api tergantung pada pemanjangan dan pendinginan, busur api dan juga tergantung pada jenis gas hasil dekomposisi minyak seperti pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 Pemadaman Busur Api pada PMT Minyak

<https://arrester.wordpress.com/>

Gas yang timbul karena dekomposisi minyak menimbulkan tekanan terhadap minyak, sehingga minyak terdorong kebawah melalui leher bilik. Di leher bilik, minyak ini melakukan kontak yang intim dengan busur api. Hal ini akan menimbulkan pendinginan busur api, mendorong proses rekombinasi dan menjauhkan partikel bermuatan dari lintasan busur api. Minyak yang berada diantara kontak sangat efektif memutuskan arus.

Kelemahannya adalah minyak mudah terbakar dan kekentalan minyak memperlambat pemisahan kontak, sehingga tidak cocok untuk system yang membutuhkan pemutusan arus yang cepat. Gambar 2.12 adalah oil circuit breaker yang ada pada gardu induk.



Gambar 2.12 Oil Circuit Breaker

<https://www.elprocus.com/>

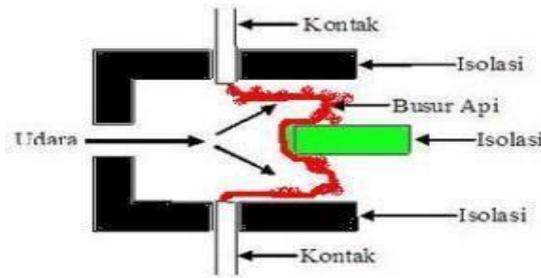
Saklar PMT minyak terbagi menjadi 2 jenis, yaitu:

1. Saklar PMT dengan banyak menggunakan minyak (Bulk Oil Circuit Breaker), pada tipe ini minyak berfungsi sebagai peredam loncatan bunga api listrik selama terjadi pemutusan kontak dan sebagai isolator antara bagian-bagian yang bertegangan dengan badan, jenis PMT ini juga ada yang dilengkapi dengan alat pembatas busur api listrik.
2. Saklar PMT dengan sedikit menggunakan minyak (Low oil Content Circuit Breaker), pada tipe ini minyak hanya dipergunakan sebagai peredam loncatan bunga api listrik, sedangkan sebagai bahan isolator dari bagian-bagian yang bertegangan digunakan porselen atau material isolasi dari jenis organic.

2.7.3.2 PMT Media Udara Hembus

Saklar PMT ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 40 ka dan pada rangkaian bertegangan sampai 765 kv. PMT udara hembus (Gambar 2.13) dirancang untuk mengatasi kelemahan pada PMT minyak, yaitu dengan membuat media isolator kontak dari bahan yang tidak mudah terbakar dan tidak menghalangi pemisahan kontak, sehingga pemisahan kontak dapat

dilaksanakan dalam waktu yang sangat cepat. Saat busur api timbul, udara tekanan tinggi dihembuskan ke busur api dipadamkan oleh hembusan udara tekanan tinggi itu dan juga menyingkirkan partikel - partikel bermuatan dari sela kontak, udara ini juga berfungsi untuk mencegah restriking voltage (tegangan pukul ulang)



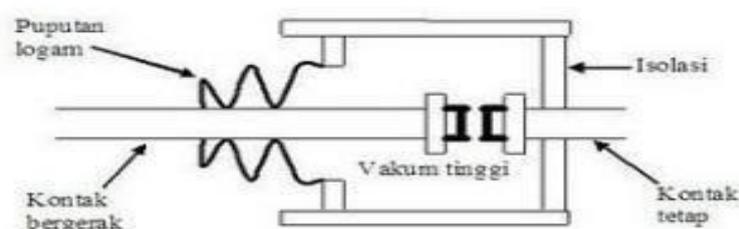
Gambar 2.13 Pemadaman Busur Api Pada PMT Udara Hembus.

<https://arrester.wordpress.com/>

Kontak pemutus ditempatkan didalam isolator, dan juga katup hembusan udara. Pada sakelar PMT kapasitas kecil, isolator ini merupakan satu kesatuan dengan PMT, tetapi untuk kapasitas besar tidak demikian halnya.

2.7.3.3 PMT Media Vakum

Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus rangkaian bertegangan sampai 38 kv. Pada PMT vakum (Gambar 2.14), kontak ditempatkan pada suatu bilik vakum. Untuk mencegah udara masuk ke dalam bilik, maka bilik ini harus ditutup rapat dan kontak Bergeraknya diikat ketat dengan perapat logam



Gambar 2.14 Proses Pemadaman Busur Api Media Vakum

<https://modalholong.wordpress.com/>

Jika kontak dibuka, maka pada katoda kontak terjadi emisithermis dan medan tegangan yang tinggi yang memproduksi electron - elektron bebas. Elektron hasil emisi ini bergerak menuju anoda, electron - elektron bebas ini tidak bertemu dengan molekul udara sehingga tidak terjadi prosesionisasi. Akibatnya, tidak ada penambahan electron bebas yang mengawali pembentukan busur api. Dengan kata lain, busur api dapat dipadamkan.

2.7.3.4 PMT Media Gas SF₆

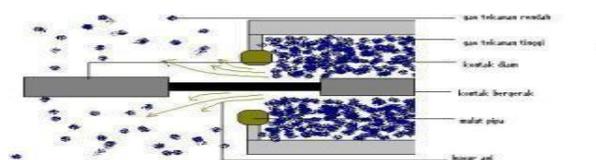
Saklar PMT ini dapat di gunakan untuk memutus arus sampai 40 kA dan padai rangkain bertegangan sampai 765 kV. Media gas yang di gunakan pada tipe ini adalah gas SF₆ (Sulfur hexafluoride) (Gambar 2,7). Sifat gas SF₆ murni adalah tidak berwarna,tidak berbau, tidak beracun dan tidak mudah terbakar. Pada suhu diatas 150° C, gas SF₆ mempunyai sifat tidak merusak metal, plastic dan bermacam bahan yang umumnya digunakan dalam pemutus tenaga tegangan tinggi. Sebagai isolasi listrik, gas SF₆ mempunyai kekuatan dielektrik yang tinggi (2,35 kali udara) dan kekuatan dielektrik ini bertambah dengan pertambahan tekanan. Sifat lain dari gas SF₆ ialah mampu mengembalikan kekuatan dielektrik dengan cepat,tidak terjadi karbon selama terjadi busur api dan tidak menimbulkan bunyi pada saat pemutus tenaga menutup atau membuka. Gambar 2.15 adalah SF₆ circuit breaker yang ada pada gardu induk.



Gambar 2.15 SF₆ Circuit Breaker

<http://www.laxmielelectronics.co.in/>

Selama pengisian, gas SF₆ akan menjadi dingin jika keluar dari tangki penyimpanan dan akan panas kembali jika pompa untuk pengisian ke dalam bagian/ruang pemutus tenaga. Oleh karena itu gas SF₆ perlu diadakan pengaturan tekanan beberapa jam setelah pengisian, pada saat gas SF₆ pada suhu lingkungan. Gambar 2.16 adalah proses pemadaman busur api pada SF₆.



6

Gambar 2.16 Proses Pemadaman Busur api

<https://arrester.wordpress.com/>

Sakelar PMT SF₆ terdiri dari 2 tipe, yaitu:

1. PMT Tipe Tekanan Tunggal (Single Pressure Type), PMT SF₆ tipe ini diisi dengan gas SF₆ dengan tekanan kira - kira 5 Kg/cm². Selama pemisahan kontak - kontak, gas SF₆ ditekan kedalam suatu tabung yang menempel pada kontak bergerak. Pada waktu pemutusan kontak terjadi, gas SF₆ ditekan melalui nozzle dan tiupan ini yang mematikan busur api.
2. PMT Tipe Tekanan Ganda (Double Pressure Type), dimana pada saat ini sudah tidak diproduksi lagi. Pada tipe ini, gas dari sistem tekanan tinggi dialirkan melalui nozzle ke gas sistem tekanan rendah selama pemutusan busur api. Pada sistem gas tekanan tinggi, tekanan gas SF₆ kurang lebih 12 Kg/cm² dan pada sistem gas tekanan rendah, tekanan gas SF₆ kurang lebih 2 kg/cm². Gas pada sistem tekanan rendah kemudian dipompakan kembali ke sistem tekanan tinggi.

2.8 Proses Terjadinya Busur Api

Pada waktu pemutusan atau penghubungan suatu rangkaian system tenaga listrik maka pada PMT akan terjadi busur api, hal tersebut terjadi karena pada saat kontak PMT dipisahkan, beda potensial diantara kontak akan menimbulkan medan elektrik diantara kontak tersebut.

Arus yang sebelumnya mengalir pada kontak akan memanaskan kontak dan

menghasilkan emisi termis pada permukaan kontak. Sedangkan medan elektrik menimbulkan emisi medan tinggi pada kontak katoda (K). Kedua emisi ini menghasilkan elektron bebas yang sangat banyak dan bergerak menuju kontak anoda (A). Elektron electron ini membentur molekul netral media isolasi dikawasan positif, benturan - benturan ini akan menimbulkan proses ionisasi.

Dengan demikian, jumlah elektron bebas yang menuju anoda akan semakin bertambah dan muncul ion positif hasil ionisasi yang bergerak menuju katoda, perpindahan electron bebas ke anoda menimbulkan arus dan memanaskan kontak anoda. Ion positif yang tiba dikontak katoda akan menimbulkan dua efek yang berbeda. Jika kontak terbuat dari bahan yang titik leburnya tinggi, misalnya tungsten atau karbon, maka ion positif akan menimbulkan pemanasan di katoda.

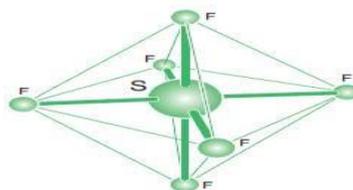
Akibatnya, emisi termos semakin meningkat. Jika kontak terbuat dari bahan yang titik leburnya rendah, misal tembaga, ion positif akan menimbulkan emisi medan tinggi. Hasil emisi termos ini dan emisi medan tinggi akan melanggengkan proses ionisasi, sehingga perpindahan muatan antar kontak terus berlangsung dan inilah yang disebut busur api.

Untuk memadamkan busur api tersebut perlu dilakukan usaha - usaha yang dapat menimbulkan proses deionisasi, antara lain dengan cara sebagai berikut:

1. Meniupkan udara ke sela kontak, sehingga partikel-partikel hasil ionisasi dijauhkan dari sela kontak.
2. Menyemburkan minyak isolasi ke busur api untuk member peluang yang lebih besar bagi proses rekombinasi.
3. Memotong busur api dengan tabir isolasi atau tabir logam, sehingga memberi peluang yang lebih besar bagi proses rekombinasi.
4. Membuat medium pemisah kontak dari gas elektro negatif, sehingga electron - elektron bebas tertangkap oleh molekul netral gas tersebut.

Jika pengurangan partikel bermuatan karena proses deionisasi lebih banyak dari pada penambahan muatan karena proses ionisasi, maka busur api akan padam. Ketika busur api padam, disela kontak akan tetap ada terpaan medan elektrik. Jika suatu saat terjadi terpaan medan elektrik yang lebih besar dari pada kekuatan dielektrik media isolasi kontak, maka busur api akan terjadi lagi.

2.9 Sifat Gas SF₆



Gambar 2.17 Sifat Gas SF₆

<https://www.istockphoto.com/>

Sulfur hexafluoride (SF₆) sifat gas SF₆ (Gambar 2.17) adalah non inflammable, sangat stabil tidak beracun, lima kali lebih berat dari pada udara. Kekuatan dielektrik yang jauh lebih tinggi dari udara pada tekanan atmosfer.

2.9.1 Gas Untuk Pemutus

SF₆ adalah gas untuk pemutusan, menggabungkan sifat terbaik :

1. Kapasitas tinggi untuk membawa pergi panas yang dihasilkan oleh busur.
2. Yang terakhir ini dengan cepat didinginkan oleh konveksi selama periode lengkung.
3. Konduksi termal yang tinggi radial dan kapasitas menangkap elektron tinggi Ketika arus melewati nol, busur api dipadamkan oleh kombinasi dari dua fenomena, yaitu :
 1. SF₆ memungkinkan pertukaran panas cepat dari pusat busur ke arah luar.
 2. Atom fluorine, yang sangat elektronegatif, bertindak sebagai "perangkap" bagi elektron.

Karena elektron yang terutama bertanggung jawab untuk konduksi listrik dalam gas, kesenjangan antara kontak pulih kekuatan dielektrik awal karena adanya fenomena penangkapan electron pada posisi nol.

Dekomposisi molekul SF₆ adalah reversible. Dimana massa yang sama dari gas itu selalu tersedia, dan membuat perangkat sendiri berkelanjutan sepanjang masa operasinya.

2.10 Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET)

Gardu Induk merupakan bagian yang tak terpisahkan dari saluran transmisi distribusi listrik. Dimana suatu sistem tenaga yang dipusatkan pada suatu tempat berisi saluran transmisi dan distribusi, perlengkapan hubung bagi transformator dan peralatan pengaman serta peralatan kontrol. Di sistem tenaga listrik PT. PLN P3B Jawa Bali ada 2 jenis tegangan tinggi yang digunakan dalam penyaluran energi listrik yaitu 70 kV, 150 kV serta 1 jenis tegangan ekstra tinggi yaitu 500 kV.

Gardu Induk tegangan Ekstra Tinggi (GITET) adalah salah satu aset penting dalam penyaluran energi di Indonesia dikarenakan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi 500 kV (SUTET) yang merupakan backbone jaringan transmisi dalam sistem interkoneksi tenaga listrik Jawa Bali. Dengan jumlah sirkuit 90 sirkuit sepanjang 5.052 kms, SUTET membentuk interkoneksi ring jalur utara dan selatan membentang dari Suralaya disebelah barat sampai dengan Paiton di timur pulau Jawa. Sistem Jawa Bali merupakan sistem interkoneksi terbesar di Indonesia, dengan konsumsi energy listrik sekitar 80 persen dari tenaga listrik yang diproduksi di Indonesia. Pada tahun 2012, daya mampu netto (DMN) unit pembangkit yang terinterkoneksi sebesar 28.280 MW, beban puncak yang pernah tercapai sebesar 21.237 MW pada 15 Oktober 2012. Produksi neto energy listrik dari pusat – pusat pembangkit sebesar 145.545 GWh, tumbuh 8.2 % dari tahun sebelumnya. Di dalam GITET terpasang peralatan penyaluran antara lain Pemutus tenaga, Trafo IBT (*Interbus Transformer*), Trafo Arus, Trafo tegangan, meter-meter listrik, kwh serta pengaman peralatan yang dikenal dengan relay, dll. masingmasing peralatan memiliki fungsi untuk menunjang sistem penyaluran tenaga listrik.

2.11 Pengertian Pemisah Sakral (PMS)

Saklar Pemisah (PMS) atau Disconnecting switch (DS) berfungsi untuk mengisolasi peralatan listrik lain atau instalasi lain yang bertegangan. PMS ini boleh dibuka dan ditutup hanya pada rangkain yang tidak berbeban.

2.11.1 Sakral Pemisah (PMS)

Pada umumnya pemisah tidak dapat memutuskan arus, tidak dapat memutuskan arus yang kecil, misalnya arus pembangkit trafo atau arus pemuat

riil, tetapi pembukaan dan penutupan harus dilakukan setelah pemutus tenaga lebih dulu dibuka.

Untuk menjamin bahwa kesalahan urutan operasi tidak terjadi, maka harus ada keadaan saling mengunci (interlock), antara pemisah dan pemutus beban. Seperti pemisah yang terdapat di GI dalam rangkaian kontrolnya terdapat rangkaian interlock yang akan mencegah bekerjanya saklar pemisah apabila pemutus tenaganya masih tertutup. Jika dikerjakan dengan tangan (manual), maka untuk mencegah kesalahan kerja, dipakai lampu sebagai tanda “boleh kerja” di dekat kontak operasi kontrol dari ruang kontrol. Cara lain adalah dengan menggunakan kunci untuk masing-masing kontak kontrol atau kunci rangkap (doublet).

Dalam pemakaiannya PMS ini berfungsi untuk memisahkan perlengkapan sistem dan perlengkapan sistem rel-rel yang bertegangan sewaktu ada perbaikan.

Contoh pemisah adalah load break switch (LBS), dengan ciri-ciri sebagai berikut :

1. Dapat digunakan sebagai pemisah ataupun pemutus tenaga dengan beban nominal.
2. Tidak dapat memutuskan jaringan dengan sendirinya pada waktu ada gangguan listrik.
3. Dibuka dan ditutup hanya untuk memanipulasi beban.

Dari definisi diatas maka dapatdiketahui fungsi dari pemisah (PMS) adalah sebuah alat yang dapat menyambung ataumemutuskan rangkaian dengan arus yangrendah kurang lebih lima ampere (5A).Sesuai dengan fungsinya pemisahdibagi menjadi dua yaitu :

- Pemisah tanah

Saklar pemisah tanah berfungsi untuk mengamankan peralatan dari tegangan sisayang timbul darisebuah jaringan SUTT yang telah diputuskan, dapat juga untuk mengamankan dari tegangan induksi yang berasal dari kabel pengahantar atau kabelkabel yang lainnya.

- Pemisah peralatan

Saklar pemisah peralatan ini berfungsi untuk mengisolasikan atau

melindungi peralatan listrik dari peralatan-peralatan lainnya pada suatu instalasi bertegangan tinggi. Saklar pemisah ini harus dioperasikan saat kondisi tanpa beban. Jadi harus diperhatikan bahwa pada waktu pelepasan sedang tidak ada arus yang mengalir pada peralatan.

2.11.2 Prinsip Kerja Pemisah (PMS)

Pada dasarnya prinsip PMS ini sama dengan prinsip saklar biasa. Pada dasarnya PMS dipakai untuk membebaskan PMT dari tegangan yang mengalir pada PMT tersebut. Agar dapat dilakukan perawatan atau perbaikan pada PMT tersebut, maka PMS harus dibuka agar pada PMT tersebut tidak terdapat tegangan dan PMT aman bagi teknisi yang akan melakukan perawatan.

Pada PMS terdapat mekanisme interlocking yang berfungsi untuk mengamankan pembukaan dan penutupan PMS. Mekanisme interlocking tersebut adalah:

- PMS tidak dapat ditutup ketika PMT dalam posisi tertutup.
- Saklar pembumian (Earthing Switch) dapat di tutup hanya pada saat PMS dalam keadaan terbuka.
- PMS dapat di tutup ketika PMT dan Saklar pembumian terbuka.
- PMT dapat ditutup hanya ketika PMS dalam kondisi telah terbuka atau telah tertutup.

2.12 Pengertian Pemisah (PMS)

Disconnecting switch atau pemisah (PMS) adalah suatu peralatan sistem tenaga listrik yang berfungsi sebagai saklar pemisah rangkaian listrik dalam kondisi bertegangan atau tidak bertegangan tanpa arus beban.

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

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

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



Gambar 2.18 Pemisah

<http://repo.unsrat.ac.id/>

2.13 Penempatan Posisi Pemisah

Sesuai dengan penempatannya di daerah mana Pemisah tersebut dipasang, PMS dapat dibagi menjadi:

1. Pemisah Penghantar/*Line*
Pemisah yang terpasang di sisi penghantar
2. Pemisah Rel/*Bus*
Pemisah yang terpasang di sisi rel
3. Pemisah Kabel
Pemisah yang terpasang di sisi kabel
4. Pemisah Seksi
Pemisah yang terpasang pada suatu rel sehingga rel tersebut dapat terpisah menjadi dua seksi
5. Pemisah Tanah
Pemisah yang terpasang ada penghantar/*line*/kabel untuk menghubungkan ke tanah.

2.14 Komponen dan Fungsi Pemisah

2.14.1 Dielektrik

Komponen subsistem pada peralatan pemisah adalah *dielektrik*/isolator. Isolator adalah alat yang berfungsi sebagai isolasi dan pemegang mekanis dari perlengkapan atau penghantar yang dikenai beda potensial. Jika isolator gagal dalam kegunaannya memisahkan antara dua saluran maupun saluran dengan pentanahan maka penyaluran energi tersebut akan gagal atau tidak optimal. Isolator berbentuk piringan-piringan yang terbuat dari bahan porselin atau komposit yang ukurannya disesuaikan dengan tegangan, jenis, ukuran penghantar, kekuatan mekanis dan konstruksi penopangnya.



Gambar 2.19 Isolator

<https://electricknowhow.com/>

2.14.2 Primary

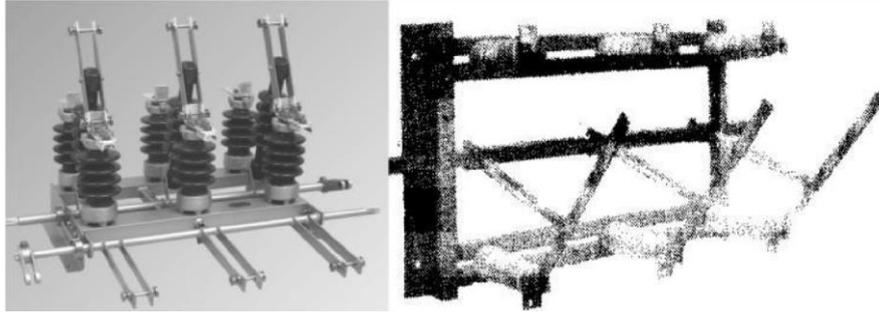
Subsistem *primary* merupakan bagian dari PMS yang bersifat konduktif dan berfungsi untuk menghantarkan/mengalirkan arus listrik. Subsistem *primary* terdiri dari dua bagian, yakni: terdiri dari pisau/pisau/Kontak PMS dan klem.

2.14.2.1 Pisau-pisau/KontakPMS

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

1. Pemisah Engsel

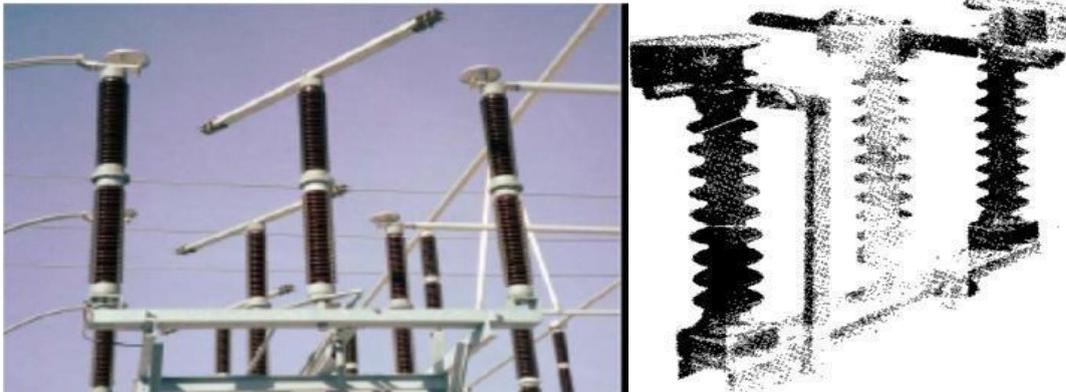
Dimana pemisah tersebut gerakannya seperti engsel



Gambar 2.20 Pemisah Engsel Pemisah Putar

<http://insyaansori.blogspot.com/>

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



Gambar 2.21 Pemisah Putar

<http://insyaansori.blogspot.com/>

3. Pemisah Siku

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



Gambar 2.22 Pemisah Siku

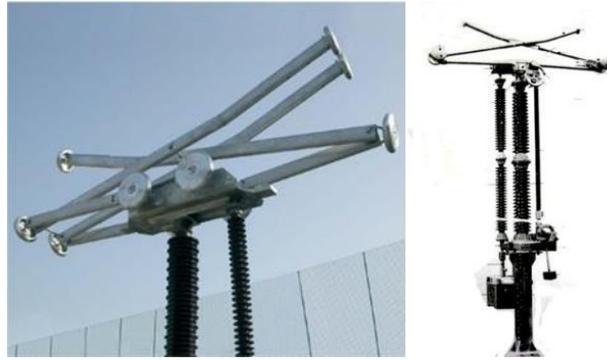
<http://insyaansori.blogspot.com/>

4. Pemisah Luncur

PMS ini gerakan kontaknya ke atas–ke bawah (vertikal) atau ke samping (horisontal). Banyak dioperasikan pada instalasi 20 kV. Pada PMT 20 KV type draw-out setelah posisi Off dan dilepas/dikeluarkan dari Cubicle maka pisau kontaktor penghubung dengan Busbar adalah berfungsi sebagai PMS. Untuk keperluan pemeliharaan, PMT ini dapat dikeluarkan dari kubikel/sel 20 KV dengan cara menarik keluar secara manual (draw-out). Selesai pemeliharaan, PMT dapat dimasukkan kembali (draw-in) dan pada posisi tertentu kontaktor (berfungsi PMS) akan berhubungan langsung dengan Busbar 20 KV. Namun harus dipastikan terlebih dulu sebelumnya bahwa PMT dalam posisi Off.

5. Pemisah Pantograph

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

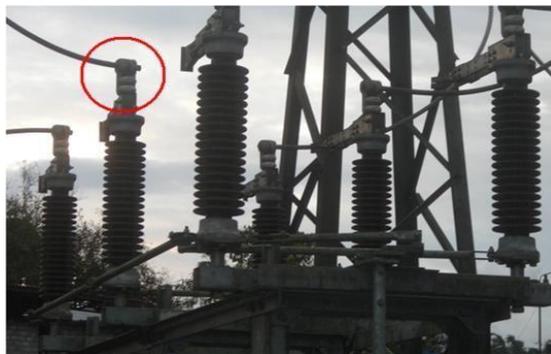


Gambar 2.23 Pemisah Pantograph

<https://docplayer.info/>

2.14.2.2 Klem

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



Gambar 2.24 Terminal Utama/Klem

<http://repo.unsrat.ac.id/>

2.14.3 Drive Mechanism / Mekanik Penggerak

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

1. Secara Manual

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



Gambar 2.25 PMS Penggerak Manual

2. Tenaga penggerak dengan motor

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



Gambar 2.26 Mekanik PMS dengan Penggerak Motor

3. Tenaga penggerak pneumatik (tekanan udara)

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



Gambar 2.27 Mekanik PMS Tekanan Udara

2.14.4 Secondary

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

2.14.4.1 Lemari Mekanik

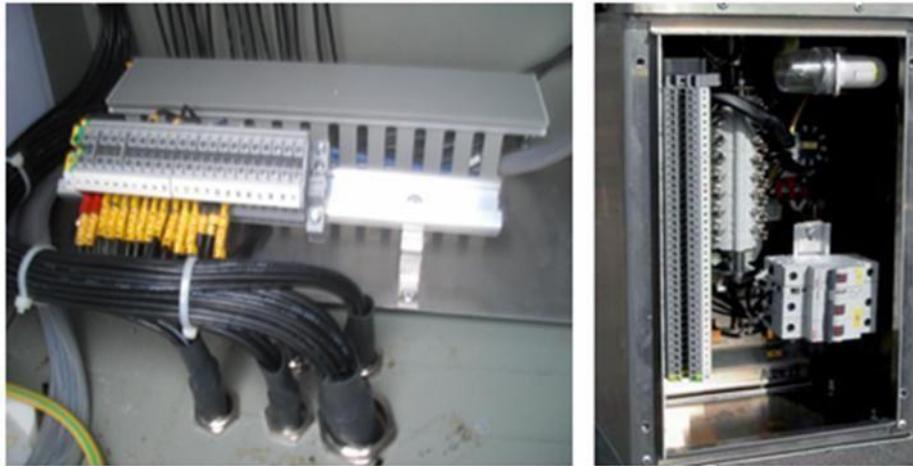
Untuk melindungi peralatan tegangan rendah dan sebagai tempat *secondary equipment*. Jenis lemari mekanik ada dua yaitu lemari dan *box*.



Gambar 2.28 Lemari Mekanik dan Box Mekanik

2.14.4.2 Kontrol dan Auxillary

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



Gambar 2.29 Terminal dan Wiring control

2.14.5 Pisau Pentanahan

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



Gambar 2.30 Pisau Pentanahan

2.15 Pedoman Pemeliharaan Pemisah

2.15.1 In Service/ Visual Inspection

In service inspection merupakan inspeksi/pengecekan yang dilakukan dengan menggunakan panca indera dengan pelaksanaan periode tertentu dalam keadaan peralatan bertegangan.

Inspeksi/pengecekan bertujuan untuk mengetahui/memonitor kondisi komponen peralatan. Untuk periode pelaksanaan inspeksi pada pemisah

adalah mingguan, bulanan dan tahunan. *In Service/Visual Inspection* dilaksanakan dengan menggunakan alat ukur sederhana/umum (*thermovisi thermal imager*) oleh petugas pemeliharaan atau Supervisor Gardu Induk.

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

- I. *Dielektric*
 - a. Isolator PMS
- II. *Primary*
 - a. Pisau/kontak PMS
 - b. Terminal utama (klem) PMS
- III. *Drive Mechanism*
 - a. Engkol PMS
 - b. Sistem *lock* mekanik PMS
 - c. Rod Penggerak PMS
 - d. Roda gigi
- IV. *Secondary*
 1. Lemari
 - a. Lampu penerangan
 - b. *Heater*(Pemanas)
 - c. Terminal *Wiring*
 - d. Kabel kontrol
 - e. Sekring/MCB
 - f. Bau-bauan
 - g. Pintu lemari
 - h. Kondisi dalam lemari
 - i. *Door sealent*
 - j. Lubang Kabel kontrol
 2. *Box*
 - a. Tutup *Box* mekanik
- V. Pisau Pentanahan
 - a. *Lock pin*
 - b. Kontak diam pisau pentanahan

- c. Kabel fleksibel PMS Tanah
- d. *Grounding* pemisah tanah

Tabel 2.1 Jadwal Pemeliharaan Mingguan Keadaan: Operasi

No	PERALATAN YANG DIPERIKSA	SASARAN PEMERIKSAAN
I	Lemari Kontrol	
1	Sekring/MCB	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Periksa kondisi sekring apakah normal, tidak terpasang atau putus. ▪ Periksa kondisi MCB apakah tombol ON dan OFF nya dapat berfungsi dengan baik. ▪ Periksa Terminal MCB / Fuse apakah bersih atau kotor atau berkarat.

Tabel 2.2 Jadwal Pemeliharaan Bulanan Keadaan: Operasi

No	PERALATAN YANG DIPERIKSA	SASARAN PEMERIKSAAN
I	Lemari Kontrol	
1	Heater	<input type="checkbox"/> Periksa kondisi heater apakah berfungsi atau rusak

Tabel 2.3 Jadwal Pemeliharaan 3 Bulan Keadaan: Operasi

No	PERALATAN YANG DIPERIKSA	SASARAN PEMERIKSAAN
I	<i>Dielectric</i>	

1	Isolator	<input type="checkbox"/> Periksa kebersihan piring isolator (pelaksanaanya khusus pada lingkungan dengan polutan tinggi (pabrik semen, dsb)
II	<i>Secondary</i>	
A	Lemari Kontrol	
1	<i>Door sealent</i>	<input type="checkbox"/> Periksa apakah terpasang sempurna, putus atau sudah retak (rapu)
2	Lubang kabel kontrol	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Apakah terpasang kabel glen dengan rapat / rusak, ▪ Apakah ada lubang kabel kontrol yang terbuka
3	Bau-bauan	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Periksa apakah ada bangkai binatang diruang lemari kontrol ▪ eriksa apakah ada isolasi kabel kontrol yang terbakar <p>Periksa apakah ada isolasi terminal kabel yang terbakar</p>
4	Kondisi dalam lemari	<input type="checkbox"/> Periksa kondisi box bersih, kotor atau lembab
5	Kondisi Pintu	<input type="checkbox"/> Periksa apakah pintu dapat tertutup rapat, korosi atau tidak dapat terkunci
6	Kondisi Box Mekanik	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Periksa Pintu box bisa tertutup sempurna , atau dak ▪ Periksa engsel pintu dapat terkunci sempurna atau dak ▪ Periksa kondisi box bersih, korosi atau lembab.

Tabel 2.4 Jadwal Pemeliharaan Tahunan Keadaan: Operasi

No	PERALATAN YANG DIPERIKSA	SASARAN PEMERIKSAAN
I	<i>Dielectric</i>	
1	Kondisi fisik Isolator	<input type="checkbox"/> Periksa kondisi isolator apakah normal, rumpil atau retak
2	Kondisi kebersihan isolator	Periksa kondisi isolator apakah bersih, berdebu atau berlumut. (untuk daerah dengan polutan tinggi dilaksanakan dalam periode triwulanan. Cth : Kawasan pabrik semen, kawasan PLTU batu bara, kawasan peleburan besi, dll)
II	<i>Secondary</i>	
A	Lemari Kontrol & Bo x	
1	Terminal <i>wiring</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Periksa terminal <i>wiring</i> apakah normal atau korosi, bekas terbakar ▪ Periksa isolasi kabel kontrol cacat (terkelupas atau rapuh) ▪ Periksa terminal terhadap benda asing (sarang semut, uap air, bangkai binatang).
2	Kabel control	<input type="checkbox"/> Periksa apakah dalam keadaan baik, terkelupas atau bekas terbakar.
III	<i>Drive Mechanism</i>	
1	Rod Penggerak PMS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Periksa kondisi rod penggerak apakah normal, bengkok, patah ▪ Periksa sambungan rod penggerak apakah normal, longgar atau lepas.
2	Sistem <i>lock</i> mekanik	<input type="checkbox"/> Periksa kondisi <i>system</i> lock mekanik
		apakah normal, tidak terpasang atau tidak normal.

3	Engkol	<input type="checkbox"/> Periksa kelengkapan engkol PMS tersedia atau tidak.
4	Roda gigi	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Periksa kondisi pelumasan ▪ Periksa kondisi <i>bearing</i> kondisi baik atau berkarat atau pecah. ▪ Periksa kondisi stop limiter apakah baik atau pecah.
IV	Pisau Pentanahan	
1	Kabel fleksibel PMS tanah	<input type="checkbox"/> Periksa kondisi koneksi terpasang baik, longgar atau lepas
2	Lock –Pin	<input type="checkbox"/> Periksa kondisi <i>lock pin</i> apakah terpasang normal, tidak terpasang atau lepas.
3	Kontak Diam Pisau Pentanahan	<input type="checkbox"/> Periksa kondisi apakah baik, berkarat atau bengkok
4	Grounding pemisah tanah	<input type="checkbox"/> Periksa grounding terpasang baik, lepas atau hilang.

Tabel 2.5 Pemeliharaan Kondisional Keadaan: Operasi

No	PERALATAN YANG DIPERIKSA	SASARAN PEMERIKSAAN	Kondisi
I.	<i>Dielektric</i>		
I.	Isolator	<input type="checkbox"/> Periksa kondisi isolator apakah normal, rompel, retak atau patah.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pasca gempa bumi ▪ Pasca ledakan peralatan lain yang dapat berimbas ke PMS
II.	<i>Primary</i>		

I.	Terminal Utama	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Periksa kondisi terminal utama terhadap benda asing (layang-layang, binatang, dedaunan, dll) ▪ Periksa kondisi kesimetrisan pisau-pisau kontak PMS. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pasca badai ▪ Pasca gempa bumi ▪ Pasca ledakan peralatan lain yang dapat berimbas ke PMS ▪ Pasca ada benda asing terbang dan jatuh ke arah PMS
----	----------------	--	---

2.15.2 In Service Measurement

In service measurement merupakan pengukuran yang dilakukan dengan alat ukur yang yaitu *thermovision Thermal Imager* dengan pelaksanaan periode bulanan yang dilakukan oleh petugas pemeliharaan/Supervisor Gardu Induk dalam keadaan peralatan bertegangan.

2.15.2.1 Pengukuran *Thermovision*

Metode *thermovision thermal imager* pada pemisah bertujuan untuk memantau kondisi pemisah saat berbeban. Dimana akan dilihat pola temperatur pada bagian-bagian pemisah yang akan diukur.

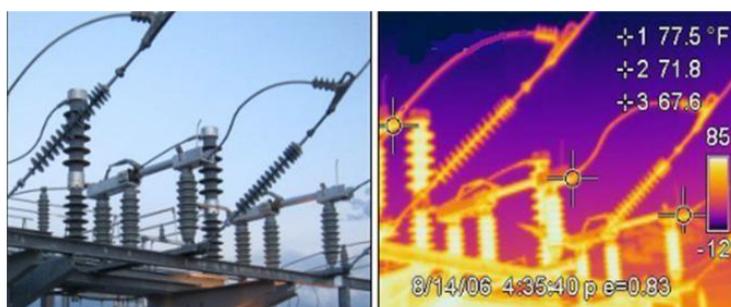
Dari pola temperatur tersebut, akan dilihat bagian mana pada pemisah yang diukur tersebut yang terdapat ketidaknormalan. Dari hasil pengukuran tersebut akan dievaluasi kembali apa permasalahan yang terjadi pada bagian yang teridentifikasi mengalami ketidaknormalan tersebut, sehingga kerusakan yang fatal dapat dihindarkan.

Adapun bagian-bagian pada pemisah tersebut adalah:

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



Gambar 2.31 Alat Ukur Thermovision
www.bhinneka.com/flir-e4-wifi-infrared-thermal-imaging



Gambar 2.32 Contoh Pengukuran Thermovision

2.15.3 Shutdown Measurement

Shutdown measurement merupakan pengukuran yang dilakukan dengan alat ukur dengan periode 2 tahunan. Umumnya peralatan PMS yang baru selesai pemasangan sebelum dioperasikan maupun yang sudah jatuh tempo pemeliharaan, perlu dilakukan pengujian – pengujian untuk mendapatkan unjuk kerja dari peralatan tersebut. dalam keadaan peralatan tidak beroperasi. Selama pengujian posisi *switch* harus dalam posisi *local* dan mini *circuit breaker* (MCB) motor dalam posisi *off*.

2.15.3.1 Pengukuran Tahanan Isolasi

Pengukuran tahanan isolasi pemisah (PMS) ialah proses *pengukuran* dengan suatu alat ukur untuk memperoleh nilai tahanan isolasi PMS antara terminal utama tiap fasa terhadap *body*(*base plat*) yang ditanahkan.

Pengukuran tahanan isolasi dimaksudkan untuk mengetahui secara dini kondisi isolasi/isolator pemisah dan mengetahui nilai tahanan isolasi. Pengukuran tahanan isolasi dilakukan dengan menggunakan alat ukur tahanan isolasi (insulation tester 5 kV, 10 kV).



Gambar 2.33 Alat Uji Insulation Tester

alatproyek.com/analog-high-voltage-insulation-tester-10000v-kyoritsu-3123a.html

Langkah untuk menetralkan tegangan induksi maupun muatan residual adalah dengan menghubungkan bagian tersebut ke tanah beberapa saat sehingga induksinya hilang.

Untuk mengamankan alat ukur terhadap pengaruh tegangan induksi maka peralatan tersebut perlu dilindungi dengan *Sangkar Faraday* dan kabelkabel penghubung rangkaian pengujian sebaiknya menggunakan kabel yang dilengkapi pelindung (*Shield Wire*).

Jadi untuk memperoleh hasil yang valid maka obyek yang diukur harus betul - betul bebas dari pengaruh induksi.

Kesiapan obyek yang akan diukur dilakukan dengan urutan sebagai berikut:

- 1) Pemasangan pentanahan lokal (*Local Grounding*) dikedua terminal utama tiap phasa dengan tujuan membuang tegangan sisa (*Residual*) yang masih ada.
- 2) Lepas koneksi konduktor dari kedua sisi terminal utama
- 3) Bersihkan permukaan *porcelain bushing* memakai material *cleaner* + lap kain yang halus dan tidak merusak permukaan isolator dengan tujuan agar pengukuran memperoleh nilai (hasil) yang akurat.
- 4) Melakukan pengukuran tahanan isolasi PMS kondisi tertutup (*closed*) antara terminal utama(R, S, T) terhadap *body/base plat*
- 5) Mencatat hasil pengukuran tahanan isolasi serta suhu/temperatur sekitar.

- 6) Hasil pengukuran ini merupakan data terbaru hasil pengukuran dan sebagai bahan evaluasi pembandingan dengan hasil pengukuran sebelumnya.
- 7) Memasang kembali terminasi dikedua sisi seperti semula.

2.15.4 Standar Evaluasi Hasil Pemeliharaan Pemisah

Standar adalah acuan yang digunakan dalam mengevaluasi hasil pemeliharaan untuk dapat menentukan kondisi pemisah yang dipelihara. Standar yang ada berpedoman kepada: *instruction manual* dari pabrik, standar-standar internasional maupun nasional (IEC, IEEE, CIGRE, ANSI, SPLN, SNI dll) dan pengalaman serta observasi / pengamatan operasi di lapangan.

2.15.4.1 Pengujian Tahanan Isolasi

Nilai hasil pengukuran tahanan isolasi dibandingkan dengan batasan dari tahanan isolasi sesuai Buku Pemeliharaan Peralatan SE.032/PST/1984 adalah: menurut standard *VDE (catalogue 228/4)* minimum besarnya tahanan isolasi pada suhu operasi dihitung “ 1 kilo Volt = 1 M Ω (Mega Ohm) “. Dengan catatan 1 kV = besarnya tegangan fasa terhadap tanah, kebocoran arus yang diijinkan setiap kV = 1 mA.

2.15.4.2 Pengujian Tahanan Kontak

Nilai hasil pengukuran tahanan kontak ≤ 120 % nilai standar pabrikan atau Nilai Pengujian FAT dan nilai saat pengujian komisioning. Khusus untuk PMS yang tidak memiliki data awal dapat menggunakan nilai standar PMS tipe sejenis atau nilai pengukuran terendah PMS tersebut mengacu pada *history* pemeliharaan (trend 3 kali periode pemeliharaan sebelumnya).

2.15.4.3 Pengujian Tahanan Pentanahan

Nilai tahanan Pentanahan di Gardu Induk bervariasi besarnya nilai tahanan tanah dapat ditentukan oleh kondisi tanah itu sendiri, misalnya tanah kering, tanah cadas atau kapur.

Semakin kecil nilai pentanahannya maka akan semakin baik. Menurut IEEE STD 80-2000 tentang *guide for safety in ac substation grounding* besarnya nilai tahanan pentanahan untuk *switchgear* adalah ≤ 1 ohm.

2.15.4.4 Pengukuran Thermovision

Pengukuran suhu dengan thermography akan selalu memberikan nilai *absolut* dari objek terukur. Untuk menentukan dengan benar apakah suhu objek terlalu panas (*overheating*). Terdapat 2(dua) macam pelaksanaan *thermovision* dengan masing – masing standar/pedoman yang dapat dipakai, yaitu:

- Pemeriksaan pada Terminal utama

Dilakukan dengan melihat perbedaan/selisih suhu pada 2(dua) titik dengan komponen/material yang berbeda. Contohnya selisih suhu antara klem dan konduktor.

- Pemeriksaan pada Pisau pemisah

Dilakukan dengan membandingkan suhu pisau pemisah antar fasa (dengan fasa lainnya). Berdasarkan standar dari *International Electrical Testing Association (NETA) Maintenance Testing Specification (NETA MTS-1997)* terdapat 2 (dua) macam ΔT yang dapat dipakai sebagai acuan justifikasi kondisi, yaitu:

- ΔT_1 : merupakan perbedaan/ selisih suhu antar fasa (dengan fasa lainnya).
 - Kondisi I : $1^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 3^{\circ}\text{C}$
 - Kondisi II : $4^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 15^{\circ}\text{C}$
 - Kondisi III : $\Delta T > 15^{\circ}\text{C}$
- ΔT_2 : merupakan perbedaan/ selisih suhu diatas suhu lingkungan (*over ambient temperature*).
 - Kondisi I : $1^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 3^{\circ}\text{C}$
 - Kondisi II : $11^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 20^{\circ}\text{C}$
 - Kondisi III : $21^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 40^{\circ}\text{C}$
 - Kondisi IV : $\Delta T > 40^{\circ}\text{C}$

2.15.4.5 Pengujian Fungsi Sistem Mekanik Penggerak

2.15.4.5.1 Motor penggerak

Pengujian waktu kerja pisau pemisah

Hasil pengujian waktu kerja pisau pemisah saat membuka dan menutup dibandingkan dengan batasan yang umumnya dicantumkan pada *instruction manual* dari pabrikan atau pada *name plate* pemisah tersebut. Sebagai contoh dari buku *instuction manual* merk COELME disebutkan bahwa *Operating time* < 20 s.

2.15.4.5.2 Transmisi Penggerak

Ketahanan mekanis pemisah tergantung dari ketahanan mekanis pemisah tersebut yang diwujudkan dalam jumlah operasi penutupanpembukaan yang bisa dilakukan pemisah tanpa kerusakan sehingga menjamin kerja normal. Standar mensyaratkan jumlah minimal operasi sebagai berikut:

- Untuk PMS tegangan menengah sampai 35kV :2000 kali operasi*
- Untuk PMS tegangan tinggi 110kV keatas :1000 kali operasi *

*Pemeliharaan peralatan utama Gardu Induk , PT PLN (Persero)
Pusdiklat

2.15.4.6 Pemeriksaan Fungsi Lemari Mekanik

Pengukuran tegangan AC dan DC

Pengukuran tegangan dan arus ini untuk mengetahui kerja motor penggerak. Batasan tegangan yang di ijinakan sebesar 85% dan 110 % dari tegangan nominal, SPLN 9c 1978.

Batas nilai tegangan *supply* untuk motor penggerak mekanik PMS mengacu *IEC std 56 - 2* klausal 17 (disertakan pula batasan sesuai dengan referensi pabrikan) adalah sebagai berikut:

Tabel 2.6 Tabel Tegangan AC dan DC Sumber Tegangan

Referensi	Vnomina 1 AC / DC	V min	V max
IEC std 56-2 klausal 17	110 / 220	85 % V _n	110 % V _n
Siemens	110 / 220	85 % V _n	110 % V _n
Areva	110 / 220	85 % V _n	110 % V _n

Untuk supply tegangan DC, tegangan *ripple* (yang merupakan besaran nilai *peak-to-peak* komponen AC dari tegangan *supply* pada beban normal / *rated*) dibatasi pada limit $\leq 5\%$ dari komponen DC.

Standar IEC 60694 ed.2.2: 2002-01 (*Common Specifications for high-voltage switchgear and controlgear standards*) pada bab *Motor Charging*: merekomendasikan batasan relatif toleransi untuk *supply* tegangan AC dan DC yang diukur pada input dari *auxiliary* peralatan adalah sebesar 85% - 110% dari tegangan normal / *rated*, pada *frequency rated* (50Hz – untuk *supply* tegangan AC).

Untuk supply tegangan DC, tegangan *ripple* (yang merupakan besaran nilai *peak-to-peak* komponen AC dari tegangan *supply* pada beban normal / *rated*) dibatasi pada limit $\leq 5\%$ dari komponen DC.

2.16 Rekomendasi Hasil Pemeliharaan Pemisah

2.16.1 Rekomendasi Hasil Pemeliharaan In Service Monitoring

Adalah tindak lanjut dari hasil pemeriksaan *In service/visual* inspeksi periode mingguan, bulanan dan tahunan. Rekomendasi ini diambil dari hasil pemeriksaan berbasis kondisi sebagai tindakan pencegahan terjadinya ketidak/unjuk kerja rendah pada peralatan saat menjalankan fungsinya. Rekomendasi hasil pemeliharaan visual inspeksi berpedoman kepada pengalaman serta *observasi*/pengamatan operasi di lapangan.

Tabel 2.7 Rekomendasi Hasil Pemeliharaan *In Service Monitoring*

PERALATAN YANG DIPERIKSA	SASARAN PEMERIKSAAN	REKOMENDASI
<i>I. DIELE KTRIC</i>		
Isolator	<input type="checkbox"/> Piring isolator flek, retak & pecah	<input type="checkbox"/> Perbaikan/Penggantian
	<input type="checkbox"/> Piring isolator kotor	<input type="checkbox"/> Pembersihan
<i>II. PRIMA RY</i>		
Terminal Utama	<input type="checkbox"/> Ada benda asing (binatang, benang, layang-layang, balon)	<input type="checkbox"/> Pembersihan
<i>III. SECON DARY</i>		
<i>Heater</i>	<input type="checkbox"/> Kondisi <i>heater</i> sudah tidak sesuai dengan fungsinya/rusak atau hilang	<input type="checkbox"/> Penggantian
Terminal <i>wiring</i>	<input type="checkbox"/> Kondisi terminal <i>wiring</i> korosi	<input type="checkbox"/> Pembersihan dengan kertas amplas dan cairan pembersih korosi (WD40) untuk tingkat korosi ringan <input type="checkbox"/> Perbaikan/Penggantian untuk tingkat korosi berat
	<input type="checkbox"/> Kondisi terminal <i>wiring</i> panas diukur menggunakan <i>thermogun</i>	<input type="checkbox"/> Pemeriksaan ulang dengan <i>Thermovision</i> , dan pemeriksaan lebih lanjut
	<input type="checkbox"/> Periksa terminal terhadap benda asing (sarang semut, uap air, bangkai binatang).	<input type="checkbox"/> Bersihkan dengan kuas dan <i>contact cleaner</i> untuk elektrik (cairan CRC)

Kabel kontrol	<input type="checkbox"/> Kondisi kabel control terkelupas	<input type="checkbox"/> Penggantian
Sekring / MCB	<input type="checkbox"/> Kondisi sekring putus	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Periksa jalur <i>wiring</i> motor penggerak terhadap kemungkinan <i>short circuit</i> ➤ Periksa motor, apakah <i>berbeban lebih</i> ➤ Periksa fungsi limit <i>switch berfungsi baik / tidak untuk auto stop</i> motor. ➤ Penggantian fuse.
	<input type="checkbox"/> Kondisi MCB trip	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Periksa jalur <i>wiring</i> motor penggerak terhadap kemungkinan <i>short circuit</i> ➤ Periksa motor, apakah <i>berbeban lebih</i> ➤ Periksa fungsi limit <i>switch berfungsi baik / tidak untuk auto stop</i> motor.

	<input type="checkbox"/> Tombol ON MCB tidak berfungsi	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Periksa jalur <i>wiring</i> motor penggerak terhadap kemungkinan <i>short circuit</i> ➤ Periksa motor, apakah <i>berbeban lebih</i> ➤ Periksa fungsi limit switch berfungsi baik / tidak untuk auto stop motor. ➤ Bersihkan terminal kontak MCB dengan menggunakan kuas dan cairan pembersih <i>contact cleaner</i> (cairan CRC) ➤ Ganti MCB
Bau	<input type="checkbox"/> Kondisi lemari tercium bau bangkai atau terbakar	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Bersihkan ➤ Pemeriksaan lebih lanjut
Pintu lemari	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kondisi pintu korosi ringan ▪ Kondisi pintu lemari korosi tinggi 	<input type="checkbox"/> Perbaiki/Penggantian
Kondisi dalam lemari	<input type="checkbox"/> Kondisi dalam lemari mekanik kotor atau lembab	<input type="checkbox"/> Pembersihan
<i>Seal</i> pintu lemari mekanik	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kondisi <i>seal</i> keras, rusak atau hilang ▪ Kondisi <i>seal</i> tidak terpasang sempurna pada jalurnya 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Penggantian ➤ Dirapikan
Lubang kabel	<input type="checkbox"/> Kondisi lubang kabel tidak	<input type="checkbox"/> Pengencangan glenn

	rapat atau <i>gland</i> kabel tidak ada.	dan penggantian <input type="checkbox"/> Menambal celah dengan <i>auto seal</i>
<i>Box</i> Mekanik	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kondisi pintu korosi ringan ▪ Kondisi pintu lemari korosi tinggi ▪ Kondisi box kotor 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Perbaikan/Penggantian ➤ Pembersihan
<input type="checkbox"/> IV. DRIVE MECHANISM		
Rod penggerak PMS	<input type="checkbox"/> Kondisi <i>rod</i> lepas / baut longgar	<input type="checkbox"/> Perbaikan
<i>Interlock</i> mekanik	<input type="checkbox"/> Kondisi <i>interlock</i> tidak normal	<input type="checkbox"/> Perbaikan
Engkol PMS	<input type="checkbox"/> kelengkapan engkol PMS	<input type="checkbox"/> Penggantian
Roda Gigi	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pelumasan kering ▪ Roda gigi berkarat ▪ Bearing rompal / rusak ▪ Stop limiter rusak 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Berikan pelumasan ➤ Lakukan pembersihan roda gidi ➤ Lakukan penggantian bearing yang rusak. ➤ Lakukan penggantian stop limiter.
V. PISAU P ENTANAHAN		
<i>Lock Pin</i>	<input type="checkbox"/> <i>Lock pin</i> hilang / rusak	<input type="checkbox"/> Penggantian
Kabel Fleksibel	<input type="checkbox"/> Kondisi lepas / hilang	<input type="checkbox"/> Diperbaiki / diganti
Kontak diam pisau pentanahan	<input type="checkbox"/> Kondisi berkarat atau bengkok	<input type="checkbox"/> Dilakukan perbaikan.
Grounding Pemisah tanah	<input type="checkbox"/> Lepas / hilang	<input type="checkbox"/> Diperbaiki / diganti

2.17 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, aluminium, 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:

$$P = I^2 \cdot R (1)$$

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.

2.17.1. 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 2.8 Standar 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 2.9 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 2.10 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 2.11 Standard Of Thermography Standard IR Termography berdasarkan Kelas Insulasi

Standard of Thermography Inspection					
Differential Temp Max Temp	<5°C	5-10°C	11-20°C	21-40°C	>40°C
< 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 2.12 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 2.9, tabel 2.10, tabel 2.11 dan tabel 2.12 adalah standar yang dikeluarkan dari EPRI (*Electric Power Research Institute*) sebuah tim yang melakukan penelitian tentang industri tenaga listrik di Amerika Serikat.

Tabel 2. 13 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 2.13 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.

2.17.2. 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. 34 Thermal Imagers Fluke TiSeries

www.bhinneka.com/flir-e4-wifi-infrared-thermal-imaging

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. 35 Thermal Imagers Satir (D300)

www.bhinneka.com/flir-e4-wifi-infrared-thermal-imaging

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. 36 Thermal Imagers Flir Infrared Cameras
www.bhinneka.com/flir-e4-wifi-infrared-thermal-imaging

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.

2.17.3. 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

2.17.4. 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)

2.17.5. Analisis Validasi

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

2.17.5.1. 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 :

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

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

2.17.5.2. 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 benar = Nilai yang benar

BAB 3

METODELOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

a. Tempat

Dalam pelaksanaan penelitian dan penulisan tugas akhir ini dilakukan dengan pengambilan data langsung di PT. PLN (Persero) UPT Medan Gardu Induk 150 kV Jalan Pembangkit Listrik No. 1, Paya Pasir, Medan Marelan, Rengas Pulau, Kec. Medan Marelan, Sumatera Utara.

b. Waktu

Waktu pelaksanaan penelitian ini yaitu di mulai dari bulan maret s/d april 2023.

3.2 Bahan dan Alat

Alat yang digunakan untuk menganalisi dan mengolah data thermovisi dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Perangkat Keras (Hardware)

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

- Alat ukur thermovisi

b. Perangkat Lunak (Software)

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

- Microsoft Word
- Microsoft Excel

3.3 Prosedur Penelitian

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

a. 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.

b. Melakukan pemotretan objek

Waktu saat dilakukannya pemotretan object adalah 1 minggu sekali pada waktu beban puncak. Melakukan identifikasi terhadap gambar yang didapat Object yang telah di potret menggunakan *thermal imagers* kemudian dilakukan identifikas dengan menggunakan *software* untuk mengetahui suhu dari titik-titik object yang telah dilakukan pemotretan. Melakukan rekap data terhadap hasil identifikasi. Hasil dari identifikasi yang telah dilakukan, direkap ke dalam form excel yang telah ditetapkan dari PLN unit terkait.

c. 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 imager* tersebut.

d. Menarik kesimpulan terhadap peralatan

Ditarik kesimpulan berupa rekomendasi peralatan dan atau perbaikan peralatan dengan data yang telah dilakukan analisa perhitungan.

e. Selesai.

3.4 Flow Chart Penelitian

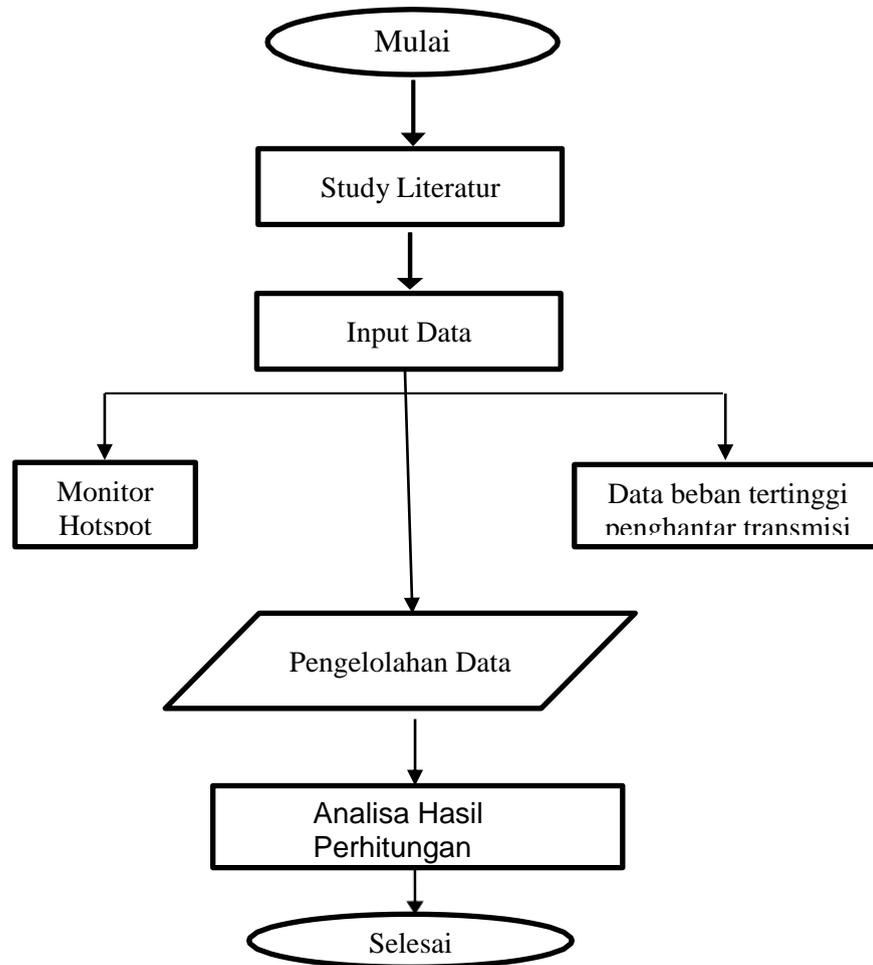


Diagram 3.1 *Flow Chart Penelitian*

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. Pada tahap ini dilakukan analisa hasil dari data yang sudah didapat, apakah peralatan tersebut masih layak operasi sesuai standar yang ditentukan atau perlu penggantian. Pengukuran dengan metode *thermography* dan rumus selalu memberikan nilai absolut dari objek terukur. Untuk PMT dengan menggunakan rumus untuk menghitung uji ketahanan isolasi, menghitung uji tahanan kontak, dan menghitung pengukuran keserempakan kontak. Sedangkan untuk PMS dengan menggunakan rumus untuk menghitung ketahanan isolasi, menghitung tahanan kontak, dan menghitung pentanahan. 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 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setiap peralatan listrik sebagian besar mempunyai sifat konduktivitas listrik atau mampu menghantarkan listrik karena terbuat dari logam. Apabila peralatan tersebut dialiri arus listrik, maka peralatan tersebut tentunya akan menghasilkan panas. Suhu panas yang melewati batas toleransi saat alat beroperasi merupakan gangguan atau ketidaknormalan bagi alat tersebut. Hal ini dapat menimbulkan kerusakan-kerusakan lain apabila tidak segera ditangani. Untuk mencegah hal ini, maka dilakukannya pengecekan dan pemeliharaan secara berkala, yaitu dengan mengamati suhu komponen.

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.

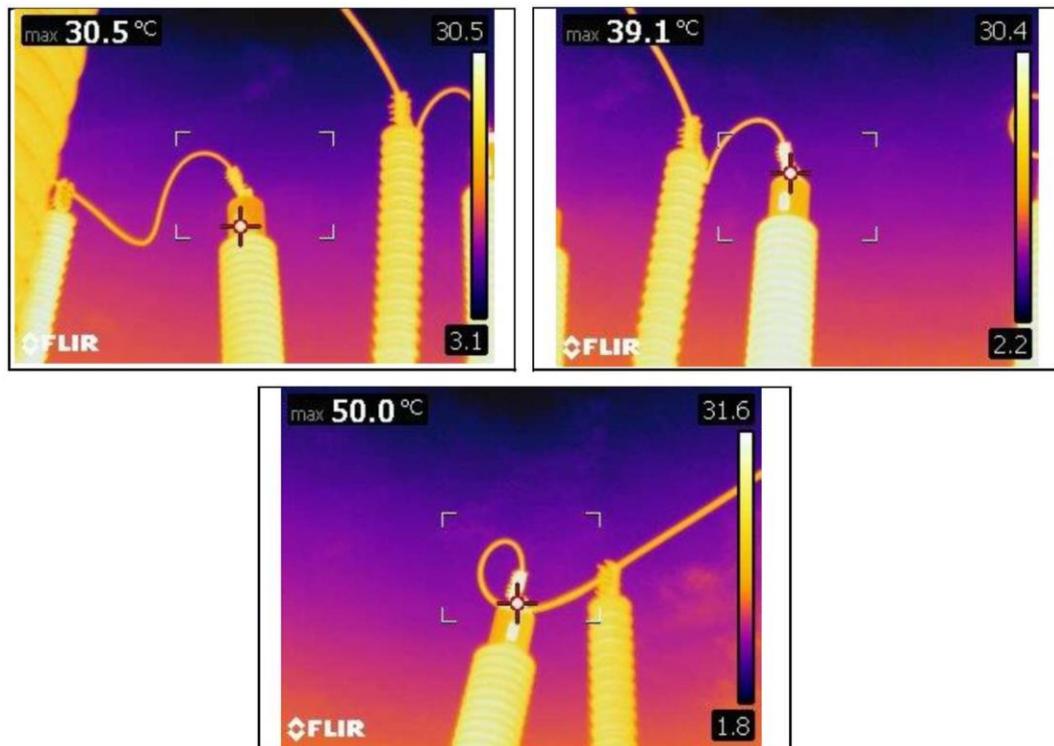
Tabel 4.1. Standar Thermovision

No	ΔT (perbedaan suhu antarphasa)	Rekomendasi
1	$1^{\circ}C - 3^{\circ}C$	Kemungkinan ada ketidaknormalan, perlu ada investigasi lanjut
2	$4^{\circ}C - 15^{\circ}C$	Identifikasi adanya defisiensi, perlu dijadwalkan perbaikan
3	$< 16^{\circ}C$	Ketidaknormalan Mayor, perlu dilakukan perbaikan/ penggantian segera

Sumber: Buku Pedoman Pemeliharaan PLN

No. 0520-2.K/DIR/2014

4.1 Anomali di GI PLN PMT50 KV PLN Paya Pasir



Gambar 4.1 Anomali Bushing 150 kV TM di GI PLN Paya Pasir

Berdasarkan Gambar 4.1 diperoleh gambaran anomaly busing pada (a) PH R; (b) PH S dan (c) PH T di Gardu Induk PLN 150 kV Paya Pasir. Dilihat pada Gambar 4.1, menunjukkan hasil pengukuran thermovisi sebelum perbaikan, pada fasa T diperoleh hasil lebih tinggi dibandingkan dengan fasa R dan fasa S, baik pada pukul 10.00 WIB maupun pada pukul 19.00 WIB. Hal ini menunjukkan bahwa pada fasa T terjadi hostpot atau dalam kondisi anomali. Dapat diperoleh gambaran bahwa semakin rendah hasil pengukuran thermovisi maka semakin baik pula keadaan peralatan tersebut.

4.2 Perhitungan Suhu Perbandingan Klem dan Konduktor

Pengukuran dan pengambilan data thermograph dilakukan oleh operator dari Gardu Induk 150 kV PLN Paya Pasir 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 thermographnya harus menggunakan persamaan kriteria ΔT adalah pada titik-titik sambungan antara klem dan konduktor. Maka dari itu untuk menganalisis data thermograph tersebut penulis menggunakan data sambungan antara klem dan konduktor pada bay penghantar Paya Pasir. Pada penelitian tugas akhir ini data yang digunakan adalah data thermograph pada minggu ke-2 Desember 2022. Di Gardu Induk 150 kV PLN Paya Pasir sendiri menggunakan alat *thermal imagers* tipe Flir E60.

Perhitungan perbandingan dari suhu klem dan konduktor (ΔT), diambil sebanyak 30 titik. Berikut ini disajikan beberapa contoh (sampel perhitungan) dari penjabaran perhitungan perbandingan.

1) Analisis Kinerja PMT

a) Klem Dropper LA Phasa S

$$\begin{aligned}\Delta T &= \left(\frac{I_{\text{maks}}}{I_{\text{saat thermograph}}} \right)^2 \cdot (T_{\text{klem}} - T_{\text{konduktor}}) \\ &= \left(\frac{211 \text{ A}}{155 \text{ A}} \right)^2 \cdot (28^\circ\text{C} - 28,6^\circ\text{C}) \\ &= -1,11^\circ\text{C}\end{aligned}$$

b) Klem LA Phasa T

$$\begin{aligned}\Delta T &= \left(\frac{I_{\text{maks}}}{I_{\text{saat thermograph}}} \right)^2 \cdot (T_{\text{klem}} - T_{\text{konduktor}}) \\ &= \left(\frac{212 \text{ A}}{155 \text{ A}} \right)^2 \cdot (29,3^\circ\text{C} - 30,3^\circ\text{C}) \\ &= -1,87^\circ\text{C}\end{aligned}$$

c) CVT/Line Trap Sisi LA Phasa R

$$\begin{aligned}\Delta T &= \left(\frac{I_{\text{maks}}}{I_{\text{saat thermograph}}} \right)^2 \cdot (T_{\text{klem}} - T_{\text{konduktor}}) \\ &= \left(\frac{212 \text{ A}}{156 \text{ A}} \right)^2 \cdot (32,8^\circ\text{C} - 30,8^\circ\text{C}) \\ &= 3,65^\circ\text{C}\end{aligned}$$

d) CVT/Line Trap Sisi Airburshing Phasa S

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

e) Airburshing 150 kV Phasa T

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

2) Analisis Kinerja PMS

a) Klem Dropper LA Phasa T

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

b) Klem LA Phasa R

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

c) CVT/Line Trap Sisi LA Phasa R

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

d) CVT/Line Trap Sisi Airburshing Phasa S

$$\begin{aligned}
 \Delta T &= \left(\frac{I_{\text{maks}}}{I_{\text{saat thermograph}}} \right)^2 \cdot (T_{\text{klem}} - T_{\text{konduktor}}) \\
 &= \left(\frac{365 \text{ A}}{112 \text{ A}} \right)^2 \cdot (30,9^\circ\text{C} - 30,6^\circ\text{C}) \\
 &= 3,18^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

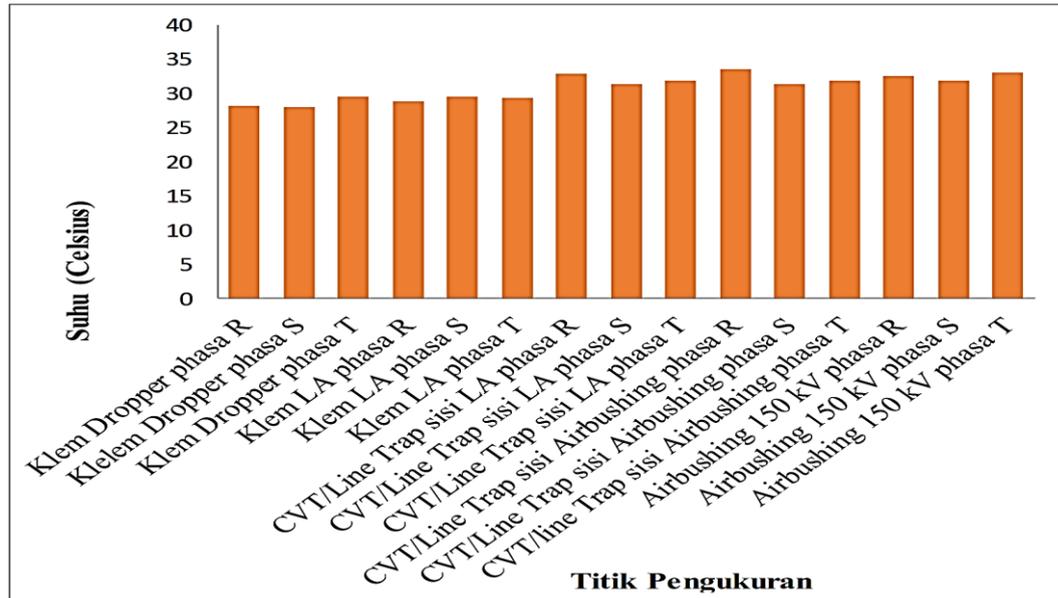
e) Airburshing 150 kV Phasa T

$$\begin{aligned}
 \Delta T &= \left(\frac{I_{\text{maks}}}{I_{\text{saat thermograph}}} \right)^2 \cdot (T_{\text{klem}} - T_{\text{konduktor}}) \\
 &= \left(\frac{363 \text{ A}}{113 \text{ A}} \right)^2 \cdot (33,9^\circ\text{C} - 32,6^\circ\text{C}) \\
 &= 13,41^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Nilai-nilai yang telah diinput pada pengolahan data di atas adalah langsung dari pengukuran menggunakan thermograph. Berikut tabel thermograph bay klem dan penghantar PMT dan PMS di Gardu Induk 150 kV PLN Paya Pasir pada minggu ke-2 Desember 2022, sebagaimana Tabel 4.1 dan Gambar 4.2 berikut.

Tabel 4.2. Thermograph Klem dan Konduktor bay Penghantar PMT

No	Objek		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°)	T_{kls} (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



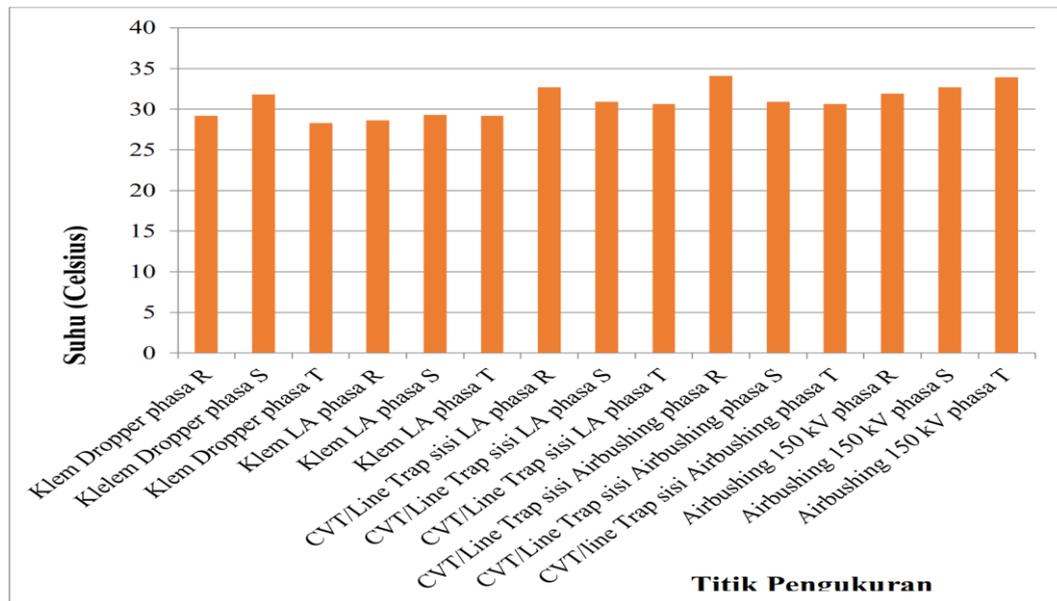
Gambar 4.2. Pengukuran Suhu bay Penghantar PMT

Berdasarkan Tabel 4.1 dan Gambar 4.2 menunjukkan hasil thermograph pada bay penghantar PMT terdapat beberapa titik yang telah berubah menjadi kondisi yang abnormal. Kolom “e” merupakan hasil dari perhitungan perbandingan antara suhu klem dengan konduktor yang telah dilakukan pembulatan, jika 1 angka desimal mempunyai nilai lebih besar dari 5 maka dibulatkan menjadi 1 (contoh: hasil 0,5 ditulis menjadi 1). Sesuai dengan Standard Pengukuran Thermograph berdasarkan Buku Pedoman Pemeliharaan PLN No. 0520-2.K/DIR/2014 pada Tabel 4.1 di atas menunjukkan bahwa kondisi peralatan pada bay penghantar PMT semuanya berada dalam “kondisi baik”. Hal ini dikarenakan nilai “e” tidak melebihi 10. Namun demikian tetap harus dilakukan pemantauan secara berkala untuk terus menjaga kondisi keandalan peralatan.

Selanjutnya hasil thermograph pada bay penghantar PMS disajikan pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.3 berikut.

Tabel 4.3. Thermograph Klem dan Konduktor bay Penghantar PMS

No	Objek		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°)	T_{kls} (C°)	(C°)	(C°)
			a	b	C	d	$e = (a^2/b^2) \times (c-d)$	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 bln 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	Kondisi Baik
		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 bln lagi



Gambar 4.3. Pengukuran Suhu bay Penghantar PMS

Berdasarkan Tabel 4.2 dan Gambar 4.3 menunjukkan hasil thermograph pada bay penghantar PMS 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 thermograph yang telah ditetapkan oleh PLN. Akan tetapi kondisi ini bukan berarti mengindikasikan peralatan dalam kondisi yang tidak baik namun, kondisi seperti ini juga bisa terjadi karena bay penghantar PMT dalam keadaan padam untuk tujuan tertentu (terjadwal) ataupun *emergency*. Maka dari itu terjadi penambahan arus pada bay penghantar PMS yang mengakibatkan panas pada peralatanpun juga semakin tinggi dikarenakan dialiri arus yang cukup besar daripada biasanya.

4.3 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 PMT dan PMS sebagai berikut:

1) Analisis Kinerja PMT

a) Terminal Klem Dropper Phasa S (28,1 °C)

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

b) Terminal Klem LA Phasa S (29,6 °C)

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

c) Terminal CVT/Line Trap Sisi LA Phasa T (31,8 °C)

$$\begin{aligned}
 e &= \frac{P}{\sigma T^4} \\
 &= \frac{237 \text{ W/m.K}}{(5,672 \times 10^{-8} \text{ W/M}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}) \cdot 304,8 \cdot \text{K}^4} \\
 &= 0,4841
 \end{aligned}$$

d) Terminal CVT/Line Trap Sisi Airbrushing Phasa T (31,8 °C)

$$\begin{aligned}
 e &= \frac{P}{\sigma T^4} \\
 &= \frac{237 \text{ W/m.K}}{(5,672 \times 10^{-8} \text{ W/M}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}) \cdot 304,8 \cdot \text{K}^4} \\
 &= 0,4841
 \end{aligned}$$

e) Terminal Airbrushing 150 Phasa S (31,9 °C)

$$\begin{aligned}
 e &= \frac{P}{\sigma T^4} \\
 &= \frac{237 \text{ W/m.K}}{(5,672 \times 10^{-8} \text{ W/M}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}) \cdot 304,9 \cdot \text{K}^4} \\
 &= 0,4835
 \end{aligned}$$

2) Analisis Kinerja PMS

a) Terminal Klem Dropper Phasa T (28,3 °C)

$$\begin{aligned}
 e &= \frac{P}{\sigma T^4} \\
 &= \frac{237 \text{ W/m.K}}{(5,672 \times 10^{-8} \text{ W/M}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}) \cdot 301,3 \cdot \text{K}^4} \\
 &= 0,5070
 \end{aligned}$$

b) Terminal Klem LA Phasa S (29,3 °C)

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

c) Terminal CVT/Line Trap Sisi LA Phasa R (32,7 °C)

$$\begin{aligned}
 e &= \frac{P}{\sigma T^4} \\
 &= \frac{237 \text{ W/m.K}}{(5,672 \times 10^{-8} \text{ W/M}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}) \cdot 305,7 \cdot \text{K}^4} \\
 &= 0,4784
 \end{aligned}$$

d) Terminal CVT/Line Trap Sisi Airbrushing Phasa R (30,6 °C)

$$\begin{aligned}
 e &= \frac{P}{\sigma T^4} \\
 &= \frac{237 \text{ W/m.K}}{(5,672 \times 10^{-8} \text{ W/M}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}) \cdot 303,6 \cdot \text{K}^4} \\
 &= 0,4918
 \end{aligned}$$

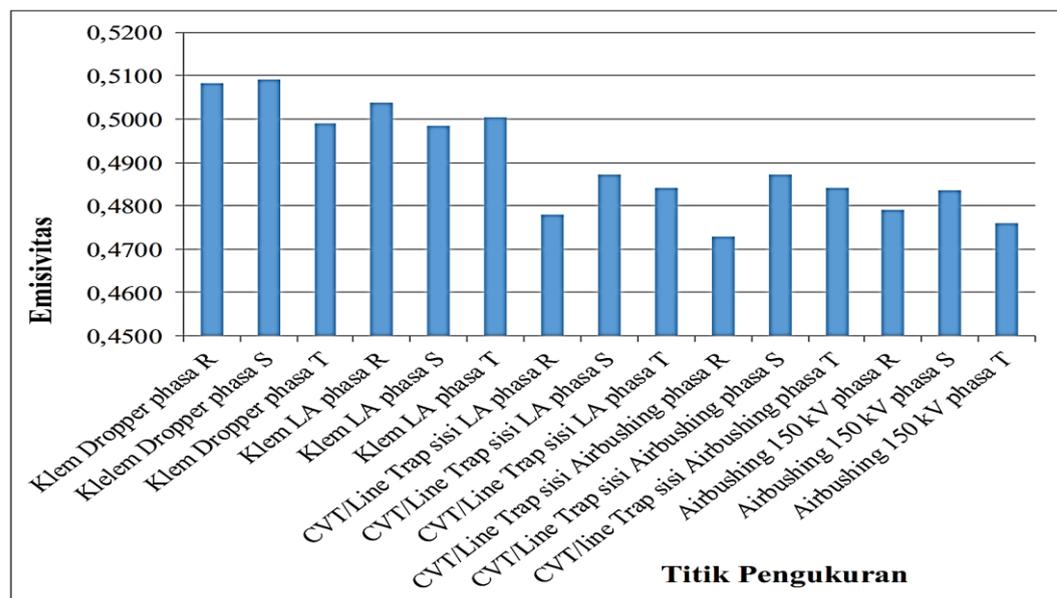
e) Terminal Airbrushing 150 Phasa S (32,7 °C)

$$\begin{aligned}
 e &= \frac{P}{\sigma T^4} \\
 &= \frac{237 \text{ W/m.K}}{(5,672 \times 10^{-8} \text{ W/M}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}) \cdot 305,7 \cdot \text{K}^4} \\
 &= 0,4784
 \end{aligned}$$

Berikut di bawah ini adalah tabel hasil perhitungan nilai emisivitas dari hasil pengukuran thermograph pada bay penghantar PMT dan PMS di Gardu Induk 150 kV PLN Paya Pasir minggu ke-2 Desember 2022.

Tabel 4.4. Nilai Emisivitas bay Penghantar PMT

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



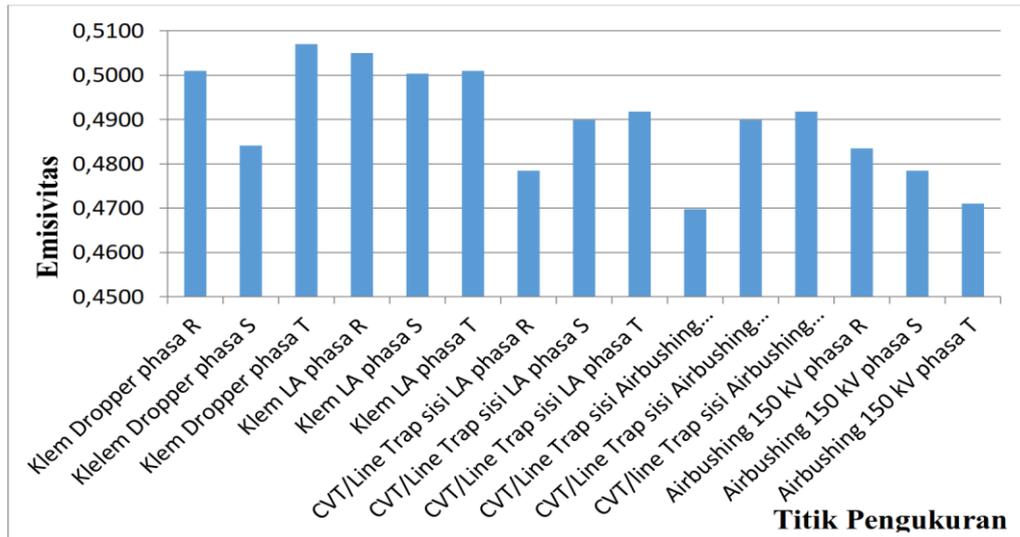
Gambar 4.4. Perhitungan Nilai Emisivitas bay Penghantar PMT

Pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.4 merupakan hasil dari analisa nilai emisivitas thermograph 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 PMT yang dimuat dalam Tabel 4.3 adalah sebesar 0,4901. Analisa diambil dari semua titik pengukuran yaitu sebanyak 15 titik pada bay penghantar PMT.

Selanjutnya disajikan hasil dari analisa nilai emisivitas thermograph pada bay Penghantar PMS sebagai berikut.

Tabel 4.5. Nilai Emisivitas bay Penghantar PMS

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 4.5. Perhitungan Nilai Emisivitas bay Penghantar PMS

Pada Tabel Tabel 4.4 dan Gambar 4.4 merupakan hasil dari analisa nilai emisivitas thermograph 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 PMS yang ditunjukkan pada Tabel 4.4 adalah sebesar 0,4895. Analisa diambil dari semua titik pengukuran yaitu sebanyak 15 titik lainnya pada bay penghantar PMS.

Berdasarkan Tabel 4.4 dan Tabel 4.5 di atas ditunjukkan bahwa suhu tertinggi dari pengukuran yang dilakukan adalah sebesar $34,1^{\circ}\text{C}$ dengan nilai emisivitasnya yaitu 0,4698 terdapat pada titik pengukuran airbushing phasa S bay penghantar PMS. Sedangkan suhu terendahnya adalah sebesar 28°C dengan nilai emisivitasnya sebesar 0,5090 yang terdapat pada titik pengukuran klem dropper phasa S PMT. 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).

4.4 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.

4.4.1. 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 PMT dan PMS. CV akan diperoleh melalui persamaan pada tabel-tabel berikut.

Tabel 4.6. Validasi Thermograph bay penghantar PMT

No	Objek		χ	α	$(\chi - \alpha)$	$(\chi - \alpha)^2$
1	Klem Dropper	R	0,5084	0,4091	0,018300	0,000335
		S	0,5090	0,4091	0,018900	0,000357
		T	0,4990	0,4091	0,008900	0,000079
2	Klem LA	R	0,5037	0,4091	0,013600	0,000185
		S	0,4984	0,4091	0,008300	0,000069
		T	0,5003	0,4091	0,010200	0,000104
3	CVT/Line Trap Sisi LA	R	0,4778	0,4091	-0,012300	0,000151
		S	0,4873	0,4091	-0,002800	0,000008
		T	0,4841	0,4091	-0,006000	0,000036
4	CVT/Line Trap Sisi Airbushing	R	0,4729	0,4091	-0,017200	0,000296
		S	0,4873	0,4091	-0,002800	0,000008
		T	0,4841	0,4091	-0,006000	0,000036
5	Airbushing 150 kV	R	0,4791	0,4091	-0,011000	0,000121
		S	0,4835	0,4091	-0,006600	0,000044
		T	0,4759	0,4091	-0,014200	0,000202
$\Sigma (\chi - \alpha)^2$						0,002029
$SD = \sqrt{\frac{\Sigma(x-\alpha)^2}{n-1}}$						0,0120374
$CV = \left(\frac{SD}{\alpha}\right) \times 100\%$						0,25%

Pada Tabel 4.5 di atas, yaitu validasi thermograph untuk bay penghantar PMT 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 PMT ini adalah sebesar 0,25%, dimana hasil ini sudah dapat dinyatakan sangat baik dan menunjukkan bahwa pengukuran yang dilakukan pada bay penghantar PMT memiliki tingkat presisi yang sangat baik. Sehingga dapat dinyatakan bahwa kualitas dari peralatan yang diukur pada bay penghantar PMT juga masih dalam kondisi yang baik secara keseluruhan.

Tabel 4.7. Validasi Thermograph bay penghantar PMS

No	Objek		χ	α	$(\chi - \alpha)$	$(\chi - \alpha)^2$
1	Klem Dropper	R	0,5010	0,4091	0,010900	0,000119
		S	0,4841	0,4091	-0,006000	0,000036
		T	0,5070	0,4091	0,016900	0,000286
2	Klem LA	R	0,5050	0,4091	0,014900	0,000222
		S	0,5003	0,4091	0,010200	0,000104
		T	0,5010	0,4091	0,010900	0,000119
3	CVT/Line Trap Sisi LA	R	0,4784	0,4091	-0,011700	0,000137
		S	0,4899	0,4091	-0,000200	0,000000
		T	0,4918	0,4091	0,001700	0,000003
4	CVT/Line Trap Sisi Airbushing	R	0,4698	0,4091	-0,020300	0,000412
		S	0,4899	0,4091	-0,000200	0,000000
		T	0,4918	0,4091	0,001700	0,000003
5	Airbushing 150 kV	R	0,4835	0,4091	-0,006600	0,000044
		S	0,4784	0,4091	-0,011700	0,000137
		T	0,4710	0,4091	-0,019100	0,000365
$\Sigma (\chi - \alpha)^2$						0,011980
$SD = \sqrt{\frac{\Sigma(x-\alpha)^2}{n-1}}$						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 PMS. Pada bay penghantar PMS rata-rata nilai emisivitas peralatannya adalah sebesar 0,4895. Nilai emisivitas ini dibawah dari nilai emisivitas pada bay penghantar PMT. Namun tetap bisa dinyatakan baik karena nilainya masih mendekati daripada nilai RSM.

Hasil dari perhitungan CV pada bay penghantar PMS 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 PLN Paya Pasir.

4.4.2. 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 thermograph bay penghantar PMT dan PMS di Gardu Induk 150 kV PLN Paya Pasir.

a) Bay Penghantar Kinerja PMT

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

Maka akurasinya = $100\% - 1,98\% = 98,02\%$.

b) Bay Penghantar Kinerja PMS

$$\begin{aligned} \% \text{ recovery} &= \left(\frac{(\alpha) - x \text{ benar}}{x \text{ benar}} \right) \times 100\% \\ &= \left(\frac{0,4895 - 0,5}{0,5} \right) \times 100\% \\ &= 2,10\% \end{aligned}$$

Maka akurasinya = $100\% - 1,05\% = 97,9\%$.

Dari hasil analisa perhitungan di atas, bay penghantar PMT dan PMS di Gardu Induk 150 kV PLN Paya Pasir memiliki tingkat akurasi yang sangat baik. Yaitu tingkat akurasi bay penghantar PMT dengan tingkat akurasi sebesar 98,02% dan bay penghantar PMS sebesar 97,9%.

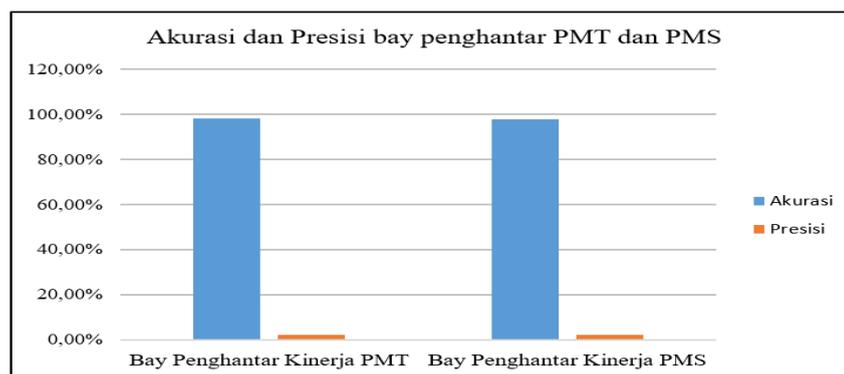
Nilai tingkat akurasi pada bay penghantar PMT lebih tinggi dibandingkan nilai tingkat akurasi yang dimiliki oleh bay penghantar PMS. Hal ini disebabkan

karena nilai emisivitas pada bay penghantar PLN Paya Pasir- PMT banyak yang nilainya mendekati SRM. Dan hal tersebut dapat kita lihat dari hasil rata-rata nilai emisivitasnya. Namun secara keseluruhan bay penghantar PMT dan PMS di Gardu Induk 150 kV PLN Paya Pasir memiliki tingkat akurasi yang baik. Artinya suhu dari peralatan yang dilakukan pengujian thermograph pada bay penghantar tersebut masih dalam keadaan normal dan baik.

Berikut dibawah ini adalah tabel akurasi dan presisi pengukuran thermograph bay penghantar PMT dan PMS pada minggu ke-2 Desember 2022.

Tabel 4.8. Akurasi dan Presisi bay penghantar PMT dan PMS

No	Nama	Akurasi	Presisi
1	Bay Penghantar Kinerja PMT	98,02%	0,25%
2	Bay Penghantar Kinerja PMS	97,9%	0,24%



Gambar 4.6. Hasil Perhitungan Uji Validasi PMT dan PMS

Terlihat dari hasil analisa perhitungan-perhitungan di atas, dapat ditarik kesimpulan bahwa semua peralatan listrik terpasang di Gardu Induk 150 kV PLN Paya Pasir pada bay penghantar PMT dan PMS dalam kondisi yang baik. Dapat dilihat nilai rata-rata emisivitas peralatan yang masih baik, yaitu sebesar 0,4901 pada bay penghantar PMT dan pada bay penghantar PMS 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 aluminium 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 PMT dan 97,9% nilai akurasi dari bay penghantar PMS. Uji presisi juga membuktikan dengan nilai uji presisi 0,25% pada bay penghantar PMT dan 0,24% pada bay penghantar PMS. 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, 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 PMT karena pekerjaan terjadwal sehingga menyebabkan arus pada bay penghantar PMS naik dan mengakibatkan suhu peralatan bay penghantar PMS ikut naik juga.

Secara garis besar, dari hasil uji di atas, dapat ditarik kesimpulan bahwa peralatan pada bay penghantar PMT dan PMS masih dalam keadaan baik (tidak ditemukan hot-point pada peralatan). Dengan kata lain tak perlu ada perbaikan ataupun penggantian peralatan, namun demikian kegiatan thermograph 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 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa data, dapat dihasilkan beberapa kesimpulan:

1. Bagaimana Cara Penggunaan Thermography Pada PMT dan PMS ?
 - sebagai cara untuk menginspeksi PMT dan PMS untuk menentukan ketidaknormalan fungsi dengan memperoleh pola panasnya. Metode Inspeksi ini didasarkan pada kenyataan sebagian besar komponen di dalam suatu system yang akan menunjukkan kenaikan atau penurunan temperatur jika terjadi malfungsi.

Peningkatan temperatur dalam rangkaian listrik mungkin disebabkan oleh koneksi kendor atau sekering yang mengalami beban lebih. Dengan Thermography kita dapat mengamati pola panas pada saat komponen sistem beroperasi, kerusakan atau gangguan dapat dilokalisir dan keparahannya dapat langsung dievaluasi.

Kontak secara fisik terhadap sistem tidak lagi diperlukan, inspeksi dengan Thermography dapat dilakukan dalam kondisi beroperasi penuh tanpa menghasilkan kerugian operasi atau menghentikan operasi tersebut

2. Bagaimana Batasan Temperatur Pada Koneksi PMT dan PMS Menggunakan Thermography ?

- Nilai Suhu Hasil Thermography pada GI 150KV Paya Pasir masi terbilang normal, karena suhu klem dan konduktor tidak melebihi dari 35°C.

Selisih suhu klem tertinggi saat shooting pada PMT 29,6°C , sedangkan selisih suhu klem tertinggi saat shooting pada PMS 29,3°C.

Untuk suhu konduktor tertinggi saat shooting PMT 30,3°C, dan selisih suhu konduktor tertinggi saat shooting pada PMS 30,5°C.

setelah melakukan pengujian dan perhitungan dari Bay Penghantar PMT dan Bay penghantar PMS mendapatkan hasil yang telah memenuhi standar, maka dari itu pengujian untuk kerja dari PMT dan PMS di GI

150KV Paya Pasir dapat melaksanakan / melakukan pengoperasian dengan normal/masi layak dipakai.

5.2 Saran

Adapun saran-saran yang penulis anggap perlu untuk diperhatikan di antaranya:

1. Untuk jajaran para pegawai PT. PLN (Persero) agar dalam melakukan kegiatan thermograph dapat menggunakan alat pelindung diri yang sesuai SOP (*Standard Operational Procedure*).
2. Dalam melakukan kegiatan thermograph 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 thermograph dan menganalisanya jika perlu secara berulang, agar hasil yang didapat bisa dipertanggungjawabkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Gonibala, M. A. A., Silimang, S., Patras, L. S., Elektro, J. T., Sam, U., Manado, R., & Bahu, J. K. (2018). Analisis Pengujian Unjuk Kerja Pemisah (Disconnecting Switch) di Gardu Induk 150kV Otam. *Jurnal Teknik Elektro*, 2, 1–10.
- Abadi, Mohamad Nashir et al. “TENAGA (PMT) TEGANGAN TNGGI TERHADAP RUGI-RUGI DAYA PENGHANTAR.”
- Andari, R., Amalia, S., & Azhari, E. (2020). Analisa Pengecekan Peralatan Arrester Menggunakan Thermovisi pada Bay Indarung 1 Gardu Induk Pauh limo. *Majalah ilmiah Teknologi Elektro*, 19(1), 101.
<https://doi.org/10.24843/mite.2020.v19i01.p15>
- Ariyanto, Eri. (2019). “ANALISIS HASIL PENGUJIAN TAHANAN ISOLASI DAN KESEREMPAKAN PEMUTUS TENAGA 150 KV BAY PALUR 1 DAN PALUR 2 GARDU INDUK GONDANGREJO.” *ANALISIS HASIL PENGUJIAN TAHANAN ISOLASI DAN KESEREMPAKAN PEMUTUS TENAGA 150 kV BAY PALUR 1 DAN PALUR 2 GARDU INDUK GONDANGREJO*.
- Aziis, A. A., & Umar, S. T. (2019). *Analisa Sistem Proteksi PMT dengan Relay CB (Circuit Breaker) di Gardu Induk 150 kV Gondangrejo*.
<http://eprints.ums.ac.id/id/eprint/76957>
- BUKU Petunjuk operasi dan Pemeliharaan Peralatan Penyaluran Tenaga listrik, SE N0.032/PST/1984, Perusahaan listrik Negara, 1984*
- Buku Pedoman Pemeliharaan PLN No. 0520-2.K/DIR/2014.
- Fazawi, Muhammad Luthfi. (2020). “Analisa Penentuan Hot Point Dan Monitoring Peralatan Dengan Metoda Thermovisi Pada GI 150 KV Gugur.” *Jurnal Ekonomi Volume 18, Nomor 1 Maret201 2*(1): 41–49.
- Goeritno, Arief. (2018). “Kinerja Pemutus Tenaga Tegangan Tinggi Bermedia Gas SF6 Berdasarkan Sejumlah Parameter Diri.” *Eeccis* 12(2): 104–11.
- Gonibala, Mohammad Arnata A et al. (2018). “Analisis Pengujian Unjuk Kerja Pemisah (Disconnecting Switch) Di Gardu Induk 150kV Otam.” *Jurnal Teknik Elektro* 2: 1–10.
- Harunanda, P., & Fauziah, D. (2021). *Analisis Pengaruh Tekanan Gas*

- SF6 terhadap Iaju Busur listrik pada PMT di Gardu Induk Cilegon PT PLN(Persero) Transmisi Jawa Bagian Barat. 354–361.*
- . “PT.PLN (Persero). Buku Pedoman PMS Final . Hal.1 5.”
- IRWAN PRANOMO. (2019). “Analisis Pengujian Pemutus Tenaga Bay Gondangrejo 2 Dalam Pemeliharaan Dua Tahunan Di Gardu Induk Palur.” *Journal of Chemical Information and Modeling*.
- Induk, Gardu, and Paya Geli. (2022). “Situmorang, Cando. Analisa Kondisi Peralatan MTU (Material Transmisi Utama) Menggunakan Thermovisi Pada Bay Line Pmt Pgeli-Glugur 1 Di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Paya Geli. Diss. Universitas Medan Area, 2022.”
- Listrik.” *Orbith: Majalah Ilmiah Pengembangan Rekayasa dan Sosial* 11(2): 92–95. <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/orbith/article/view/332>. Mohamad Tresna Wikarsa, FT UI, 2017. 2017. “Studi Analisis.” *Skripsi* 14(1): 326.
- Maulana, Alief, H., Aribowo, D., Inawati. Analisa Kondisi Generator Transformer Menggunakan Metode Thermography
- Nurjannah, Dede Siti, Dian Budhi Santoso, and Insani Abdi Bangsa. (2021). “AnalisaPengujian Kualitas Gas SF6 Pada Pemutus Tenaga (PMT) 66 KV Bay Reaktor4R2 Di GITET Bandung Selatan.” *Power Elektronik : Jurnal Orang Elektro* 10(2): 57
- Nuryanto.; Imani, Rizaldi Lukman.; Suprijadi, Sugeng.; dan Siswanto, Agus. (2018). Analisis Hasil Over Houl Pemutus Tenaga (PMT) 70 KV Pada Bay Arjawinangun 2 Di PT PLN Persero APP Cirebon GI Kadipaten. Malang: Universitas Widyagama Malang.
- Noor ZjuIfa Helmy, Diah Arie W.K, D. E. (2021). *Analisis emisivitas klem sambung transmission line bay 150 kv menggunakan thermal imager*. 1(1), 46–54.
- Paid, Ahmad, Kusyanto, Eko Yuli Rustanto, and Suhatno. (2017). “Pemantauan Thermography Inframerah Dalam Pemeliharaan Instalasi Listrik Fasilitas Sarana Dukung IEBE.” *Batan*: 10.

- Pangestu, R.I. (2019). “Analisis Kinerja Circuit Breaker Pada Sisi 150 KV Gardu Induk Lamhotma.” *Semnastek Uisu 2019*: 71. Circuit Breaker, Gardu Induk Lamhotma, Relai Arus Lebih.
- Pasaribu, F. I. (2021). Penentuan Hot Point dan Monitoring Peralatan Menggunakan Thermal Imagers Fluke dengan Metode Thermovisi. *Journal of Electrical and System Control Engineering*, 4(2), 113-128.)
- Putra, R. R. (2018). Thermovisi Dalam Melihat Hots Point Pada Gardu Induk 150 kV PaLur. *Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta*, 15.
- Preptisa, N., Hidajat, W. K., & Trisnawati, D. (2017). *Penentuan Kedalaman Titik Grounding dalam Pembangunan Gardu Induk PLN Berdasarkan Pendugaan Geolistrik, Desa Gupit, Kecamatan Nguter, Kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah* (Doctoral dissertation, Faculty of Engineering Diponegoro University)
- Reksy Pratama Paladan. (2020). “Pengukuran Suhu Hot Point Dengan Menggunakan Thermovisi Pada Gardu Induk Cengkareng Baru 150 Kv.” : 1–36.
- Gonibala, M. A. A., Silimang, S., Patras, L. S., Elektro, J. T., Sam, U., Manado, R., & Bahu, J. K. (2018). Analisis Pengujian Unjuk Kerja Pemisah (Disconnecting Switch) di Gardu Induk 150kV Otam. *Jurnal Teknik Elektro*, 2, 1–10.
- Riyadi, Malik. (2019). “Analisis Pengujian Pemutus Tenaga (PMT) Bay Pedan 2 Dalam Pemeliharaan Dua Tahunan Di Gardu Induk Klaten.” *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952.: 5–24
- Roni Putra, Ramadhani. (2018). Thermovisi dalam melihat Hot Point pada Gardu Induk 150kv palur, Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Setiono, I. (2018). Gas SF 6 (Sulfur Hexa Fluorida) Sebagai Pemadam Busur Api Pada Pemutus Tenaga (PMT) Di Saluran Transmisi Tegangan Tinggi. *Metana*, 13(1), 1. <https://doi.org/10.14710/metana.v13i1.14676>
- Siswanto, A., Alfian, R., & Subyanta, E. (2021). Analisis Kinerja Pms ReI 2 Bay Trafo 6 Menggunakan Thermovision Methode dii Gardu Induk Sunyaragi. *Foristek*, 11(2), 114–121. <https://doi.org/10.54757/fs.v11i2.113>

- Syahputra, R. (2017). Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik. *LP3M UMY, Yogyakarta*, 249-256.
- Wikarsa, M. T. (2018). *Studi analisis program percepatan 10.000 MW tahap I pada operasi sistem tenaga listrik Jawa Bali* (Doctoral dissertation, Universitas Indonesia. Fakultas Teknik
- Wiwin A. Oktaviani, T. B. dan M. A. S. (2021). *Uji Akurasi Dan Uji Presisi Pengukuruhu Penghantar Dengan Metode Thermovisi*. 2(1), 107–115.