

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Bab ini membahas mengenai tinjauan pustaka dan dasar teori yang mendukung tugas akhir dari penulis, yaitu pembahasan tentang Gardu Induk, Thermovisi/*Thermovision*, Kamera Inframerah (*Thermal Imagers*), Validasi Metode Analisis dan Metode Regresi Linear untuk memprediksi keandalan alat.

2.1. Tinjauan Pustaka

Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga PLN No. 0520-2.K/DIR/2014 (2014), dalam buku ini dijelaskan secara mendetail mengenai pengelolaan aset sesuai standar agar dapat memberikan manfaat yang maksimum selama masa manfaatnya. Bagian-bagian dari PMT sendiri terdapat banyak komponen yang berbahan konduktor yang perlu dilakukan pengecekan kerusakan secara berkala, salah satunya seperti pengukuran thermovisi. Pengukuran thermovisi pada pelaksanaannya dilakukan dengan 2 (dua) pemeriksaan yaitu, Pemeriksaan pada Terminal Utama dan Periksaan pada Interrupter Chamber.

Ramadhani Roni Putra (2018), mahasiswa Universitas Muhammadiyah Surakarta dengan penelitiannya mengenai “*Thermovisi Dalam Melihat Hotpoint Pada Gardu Induk 150 kV Palur*”. Dalam penelitiannya, Ramadhani melakukan pengamatan dan pengambilan data menggunakan alat thermo imagers yaitu Fluke Ti110. Alat ukur tersebut juga digunakan untuk mencari nilai emisivitas objek yang diukur untuk dicari nilai rata-rata nilai emisivitasnya. Kemudian dari pengamatan

tersebut akan dilakukan uji perhitungan melalui metode validasi untuk mendapatkan metode uji yang presisi dan akurasi yang baik.

Pelaksanaan pengukuran temperature dilakukan pada 2 titik yaitu, temperature pada konduktor dan temperature pada klem sambungan dari 1 bay dari 10 keseluruhan bay yang ada di gardu induk 150 kV Palur. Pengambilan data diambil pada bulan Desember 2017, dengan 14 sample data yang ada di bay 1 (Trafo 1). Kemudian dimasukkan ke dalam perhitungan dengan menggunakan persamaan 1 pendekatan kriteria ΔT (Delta-T).

Dari hasil pengukuran dan analisis maka didapatkan beberapa kondisi dalam menentukan suhunya normal (aman) atau berbahaya yaitu, 33 sambungan dalam kondisi baik, 3 sambungan dalam kondisi maintenance, dan 1 sambungan dalam kondisi perencanaan perbaikan. Kondisi-kondisi tersebut adalah acuan untuk meminimalisir kerusakan terhadap sistem tenaga listrik yang ada pada Gardu Induk 150 kV Palur.

Sedangkan untuk pengukuran nilai emisivitasnya, yang merupakan rasio dari total energi yang dipancarkan oleh permukaan bahan terhadap suhu dan panjang yang sama (dari sinar *infrared*), Ramadhani mengambil 20 sample suhu klem pada terminal yang ada di bay trafo 1 GI 150 kV Palur. Hal ini untuk memperoleh suhu yang akurat dari peralatan tersebut. Hasil yang didapatkan yaitu, rata-rata nilai emisivitasnya adalah 0,9015 dan pergeseran nilai suhu terkoreksinya adalah 0,2 - 0,4.

Kemudian untuk mendapatkan hasil uji yang valid (*good accuracy* dan *good precision*), Ramadhani menggunakan Metode Validasi. Presisi dinyatakan sebagai

Coefficient of Variation (CV) dan *Relative Standard Devition (RSD)*. Jika $CV < 2\%$ maka metode tersebut dapat dikatakan telah memberikan presisi yang baik. Sedangkan untuk akurasinya di uji melalui *Standard Reference Material (RSM)*. Hasil yang didapatkan adalah CV dengan nilai 0,4 % dan akurasinya dengan nilai 99,84 %. Sehingga dengan metode validasi ini, hasil pengukuran thermovisi pada klem dan konduktornya dinyatakan dapat digunakan.

Namun dari hasil penelitian tersebut terdapat kejanggalan pada data-datanya, seperti pada data emisivitas pada alumunium yang nilainya tidak normal atau melebihi standar. Nilai rata-rata emisivitas dari hasil penelitiannya sebesar 0,9015, maka ini sangat tidak sesuai dengan nilai yang telah menjadi standar global yaitu nilai emisivitas alumunium ACSR adalah 0,5.

Buku Instruksi Kerja Pengindera Noktah Panas No. P3BJB/IKA/05-052 (2018), dalam buku ini dijelaskan prosedur pengukuran thermovisi sesuai standar PLN dengan menggunakan alat Flir Thermo Tracer & NEC TH7700. Kedua alat ini yang digunakan untuk mengukur thermovisi di Gardu Induk 150 kV Bantul, namun saat ini alat yang sering digunakan adalah merk NEC TH7700.

Dr. Romadoni Syahputra (2010), dosen Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Yogyakarta dengan penelitian mengenai “*Aplikasi Deteksi Tepi Citra Termografi untuk Pendeteksian Keretakan Permukaan Material*”. Dimana di jurnal ini membahas tentang bagaimana proses dari pendeteksian keretakan sebuah material dengan menggunakan alat ukur thermovisi yang menggunakan sinar inframerah. Hasil yang diperoleh menggunakan beberapa metode yaitu metode *shared image subtraction*, metode Sobel, dan Canny.

Buku Thermodynamics: An Engineering Approach (1982), penulisnya yaitu Yungus A. Cengel dan Michael A. Boles. Buku ini juga memuat materi yang berkaitan dengan sifat *thermal conductivity* suatu bahan atau material. Yang di uji melalui penelitian yang dilakukan oleh mereka. Maka dari itu, ada beberapa acuan dari buku ini yang dipakai penulis untuk menyusun tugas akhir ini.

Datasheet NEC Th7700 Thermal Imagers, buku ini memuat spesifikasi dari alat ukur NEC TH7700 dan ketentuan parameter emisivitas ukur untuk melakukan pengukuran dengan akurat.

Arie Siswanto (2000), mahasiswa Universitas Airlangga Surabaya dengan penelitiannya mengenai “*Analisis Hubungan Konduktivitas Termal dengan Emisivitas Suatu Bahan*”. Bahan yang digunakan adalah alumunium, besi dan tembaga, dengan hasil dari penelitian tersebut adalah pada suhu 100 Celcius – 200 Celcius menunjukkan bahwa konduktivitas termal stainless steel dan alumunium naik jika suhunya naik sedangkan pada logam besi dan tembaga nilai konduktivitasnya turun jika suhu naik. Dan pada suhu yang sama emisivitas logam naik jika suhunya naik kecuali pada logam tembaga. Ini menunjukkan hubungan yang linear dari konduktivitas terhadap emisivitas.

Purwadi Kasino Putro (2009), dalam penelitiannya mengenai “*Pembuatan Bahan Acuan Standar (SRM) untuk Pengujian Kadar Pengotor dalam serbuk UO_2 dan U_3O_8* ”. Penelitian ini menggunakan metode validasi pada perhitungannya, sehingga menjadi referensi lain bagi penulis untuk mempelajari metode ini untuk membantu dalam menyusun tugas akhir.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Gardu Induk

Gardu Induk (GI) merupakan bagian dari sistem penyaluran transmisi sistem tenaga listrik yang mempunyai peranan penting dalam mentransformasikan daya listrik untuk konsumen. Pengaturan pelayanan daya untuk konsumen yaitu, melalui Gardu Induk (tegangan tinggi) kemudian disalurkan ke Gardu Distribusi setelah melalui proses penurunan tegangan dengan menggunakan penyulang (feeder) tegangan menengah yang ada di Gardu Induk.



Gambar 2.1. *Switchyard* pada area Gardu Induk

(Sumber: <https://scadaku.wordpress.com/2013/11/30/gardu-induk/>)

2.2.1.1. Jenis Gardu Induk

Gardu Induk diklasifikasikan menurut jenis yaitu antara lain: jenis pemasangan-luar, jenis pemasangan-dalam, jenis pemasangan-setengah luar, jenis bawah-tanah, jenis mobil, dan sebagainya, yang sesuai dengan konstruksinya.

GI jenis *pemasangan-luar* terdiri dari peralatan tegangan tinggi pasangan luar, misalnya, transformator utama, peralatan penghubung (switchgear), dan sebagainya, yang mempunyai kontrol pasangan-dalam, seperti meja penghubung (switch-board) dan baterai. Gardu induk untuk saluran transmisi, biasanya mempunyai kondensator sinkron pasangan-dalam pada sisi tersier trafo utama dan pasangan-dalam, akan tetapi ini disebut juga sebagai jenis pasangan luar. Jenis pasangan-luar memerlukan lahan yang luas dan biaya konstruksinya yang dikatakan murah, serta pendinginnya mudah. Karena itulah GI jenis ini biasanya ditemukan dipinggiran kota (suburb) dimana harga tanah yang relatif murah.

Dalam GI jenis *pasangan-dalam*, peralatan tegangan tingginya, seperti trafo utama, peralatan penghubung dan sebagainya, serta peralatan kontrolnya, terpasang di dalam gedung. Walaupun ada juga beberapa peralatan yang terpasang di luar. Dan apabila dari peralatan tegangan tingginya ada yang dipasang di bawah tanah, maka GI itu dapat disebut sebagai jenis *pasangan-setengah-bawah-tanah (semi-underground type)*. Jenis pasangan-dalam biasanya dipakai dipusat kota, karena menggunakan lahan yang tidak terlalu luas dan strategis jangkauannya, namun begitu harga lahannya masih relatif mahal. Dan ada juga yang dibangun di daerah pantai yang walaupun ada pengaruh kontaminasi air laut (garam), peralatan masih dapat terlindungi. Disamping itu jenis ini juga dipakai untuk menjaga keselarasan dengan daerah sekitarnya atau strategis yang bertujuan pula untuk menghindari kebakaran dan gangguan suara.

Dalam GI jenis *pasangan setengah-pasangan-luar (semi-outdoor substation)* sebagian dari peralatan tegangan tingginya terpasang di dalam gedung,

maka dari itu GI ini juga disebut GI jenis setengah-pasangan-dalam (semi-indoor substation). Untuk GI jenis ini dipakai bermacam-macam corak dengan pertimbangan-pertimbangan ekonomis, pencegahan kontaminasi garam, pencegahan gangguan suara, pencegahan kebakaran dan sebagainya.

Dalam GI *jenis setengah-bawah-tanah* hampir semua peralatan terpasang dalam bangunan bawah-tanah. Alat pendinginnya biasanya terletak di atas tanah. Kadang-kadang ruang kontrolnya juga ada di atas tanah. Di pusat kota dimana tanah sukar didapat, jenis pasangan-bawah-tanah ini dapat dipakai, misalnya di bagian kota yang sangat ramai, di jalan-jalan pertokoan dan di jalan-jalan dengan gedung-gedung bertingkat tinggi. Karena itu GI jenis ini biasanya dibangun di bawah jalan raya.

Untuk GI *jenis mobil*, dilengkapi dengan peralatan di atas kereta hela (trailer) atau sejenis truck, karena sistem operasinya yang *mobile*. Pengoperasian GI ini biasanya saat ada gangguan pada GI utama untuk pencegahan beban-lebih berkala dan pemakaian sementara di tempat pembangunan. GI ini tidak dipakai secara luas, melainkan sebagai transformator atau peralatan penghubung yang mudah dipindah-pindah untuk memenuhi kebutuhan dalam keadaan darurat.

Selain itu ada juga yang disebut *Gardu Satuan* (unit substation) dan *Gardu Jenis Peti* (*box type substation*). Gardu satuan adalah gardu distribusi pasangan-luar yang digunakan sebagai pengganti transformator 3-fasa (gardu-hubung tertutup atau gardu-hubung metal clad). Sedangkan gardu jenis peti adalah gardu distribusi untuk tegangan dan kapasitas yang relatif rendah dan tidak memerlukan pengawasan. Pada umumnya ini dipakai untuk wilayah pertanian atau pesisir yang

dimana kebutuhan daya yang relatif kecil dengan pembebanan yang tidak terlalu penting.

2.2.1.2. Fasilitas dan Peralatan Gardu Induk

Gardu Induk dilengkapi dengan peralatan dan fasilitas sesuai dengan operasinya, tujuannya dan untuk pemeliharaan. Diantaranya adalah sebagai berikut:

a) Transformator Utama

Seperti halnya trafo pada umumnya, trafo utama pada gardu induk juga berfungsi untuk menaikkan atau menurunkan tegangan. Pada GI trafo utama berfungsi untuk menurunkan tegangan transmisi yang diperoleh dari pembangkit. Trafo tersebut terdiri dari 2 jenis yaitu, 1-fasa dan 3-fasa. Kemajuan teknologi saat ini sangat berdampak pada teknik pembuatan trafo yang semakin baik keandalannya. Tidak hanya itu, dari segi pengoperasian dan pemeliharaannya semakin mudah.

b) Alat Pengubah Fasa

Digunakan sebagai pengatur jatuh tegangan pada saluran atau trafo dengan cara mengatur daya reaktif (menurunkan losses dengan perbaikan faktor-daya). Kondisi saat pengoperasian alat tersebut yaitu dengan berputar dan ada yang stasioner. Kondisi yang berputar adalah kondensator sinkron dan kondensator asinkron, sedangkan kondisi stasionernya adalah kondensator statis dan reaktor shunt. Untuk kondisi yang berputar digunakan fasa terdahulu (leaging) atau

terbelakang (lagging) dan pengaturannya dapat dikontinyu. Namun kendalanya adalah harga alat yang mahal dan maintainancenya yang rumit.

c) Peralatan penghubung

Karena GI merupakan tempat pemusatan tenaga yang yang disalurkan dari pembangkit dan terinterkoneksi dengan konsumen, maka GI memerlukan peralatan penghubung. Peralatan penghubung yang dimaksud adalah ril (bus) melalui transformator utama yang setiap bebannya mempunyai *Circuit Breaker* dan *Disconnect Switch* pada sisi outputnya. Peralatan penghubung biasanya disebut *Switchgear*.

d) Panel-Hubung dan Trafo Ukur

Panel-Hubung (*Switchboard*) merupakan pusat syaraf/penghubung pada Gardu Induk. Dengan alat inilah operator dapat melakukan pengoperasian peralatan, mengawasi, dan melakukan pengukuran tegangan, arus dan daya apabila diperlukan. Rele pengaman akan secara otomatis bekerja apabila terjadi gangguan pada sistem dan memisahkan yang terganggu.

Adapun apabila dilakukannya pengukuran, dikarenakan tegangan dan arus yang bertegangan tinggi tidak dapat diukur langsung, maka disinilah peran dari trafo ukur dengan mengubah tegangan tersebut menjadi bertegangan rendah, setelah itu dapat diukur tegangannya. Jenis-jenis transformator ukur antara lain; transformator-tegangan, transformator-arus, dan transformator-tegangan dan arus.

e) Alat Pelindung

Seperti namanya, alat pelindung ini bertujuan untuk melindungi atau mengamankan peralatan GI dari gangguan-gangguan dari dalam sistem ataupun dari luar sistem. Adapun gangguan dari dalam sistem seperti tegangan atau arus yang abnormal, sedangkan dari luar sistem seperti adanya sambaran petir. Untuk penempatannya, seperti Arrester biasanya dipasang seperti pada titik netral trafo untuk pembumian (*grounding fault*) dan sebagai pengaman isolasi. Contoh lain adalah kumparan pemadam busur api (*kumparan Petersen*) untuk pemadaman busur api otomatis.

Ada juga peralatan perisai (*Shield Device*) yang dipasang didalam GI yang berupa kawat tanah atas (*Overhead ground wire*) yang berfungsi sebagai pelindung terhadap sambaran petir langsung.

f) Peralatan Lain-lain

Adapun peralatan pembantu (*auxiliary*) sebagai peralatan penunjang sistem tenaga listrik pada Gardu Induk, seperti baterai, kompresor, pendinginan, pencuci isolator, penerangan, sumber tenaga pembantu, dan lain-lain.

g) Bangunan / Gedung

Gedung diperlukan untuk menunjang fasilitas ruangan, seperti kantor untuk operator, penyimpanan perlengkapan, ruang kontrol, ruang panel dan sebagainya. Skala atau ukuran gedung juga tergantung pada jenis GI apa yang digunakan.

2.2.2. Thermovisi/Thermovision

Pada saat 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.

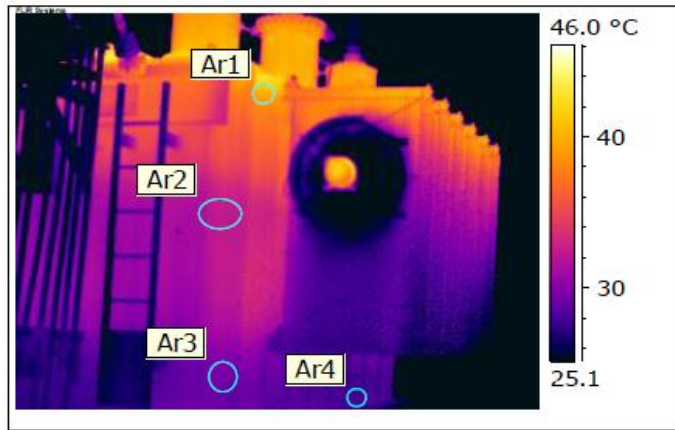
Untuk mencegah hal ini, maka dilakukannya pengecekan dan pemeliharaan secara berkala, yaitu dengan mengamati suhu komponen dengan menggunakan Thermal Camera atau Thermovisi. Pengukuran ini menggunakan sinar inframerah yang dipancarkan oleh thermal imagers sehingga pada display thermal imagers dapat menunjukkan besar suhu dari alat yang dikur.

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 merupakan gelombang elektromagnetik yang dihasilkan oleh panas suatu objek yang terdiri dari Foton. Foton tersebut akan mengeksitasi elektron dari objek yang dikenainya sehingga memiliki tingkat energi yang lebih tinggi.

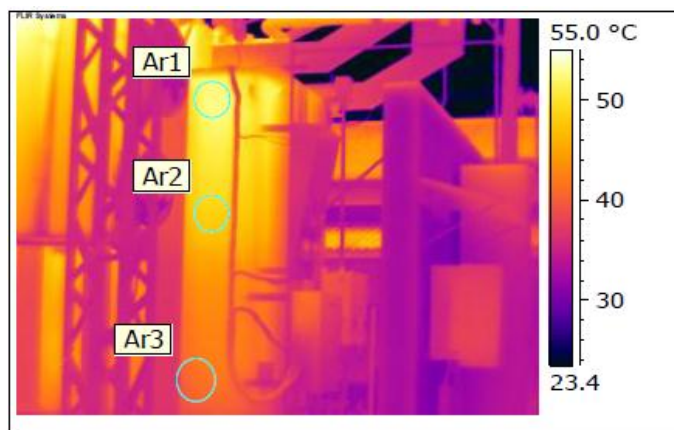
Nilai emisivity yang diamati berkisar antara 0 dan 1. Masing-masing bahan material objek memiliki tingkat emisivitas yang beragam. Seperti contoh emisivitas pada Aluminium menurut *Fluke Coporation* adalah 0,9.

Pengukuran Thermovisi dimuat di dalam *Buku Pedoman Pemeliharaan PLN No. 0520-2.K/DIR/2014 (2014)*, sebagai salah satu prosedur pemeliharaan

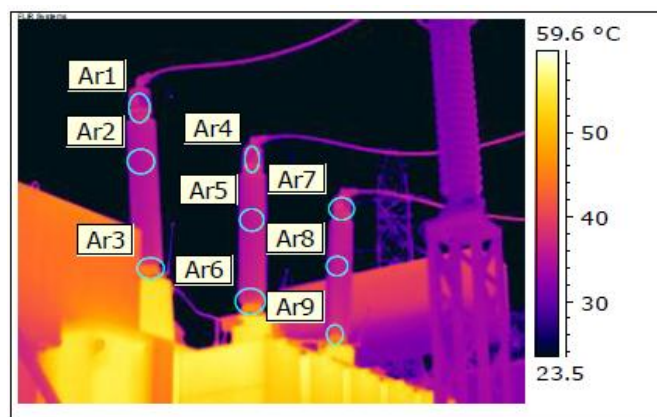
peralatan atau aset PLN di Gardu Induk. Berikut beberapa contoh tampilan display pada saat pengukuran:



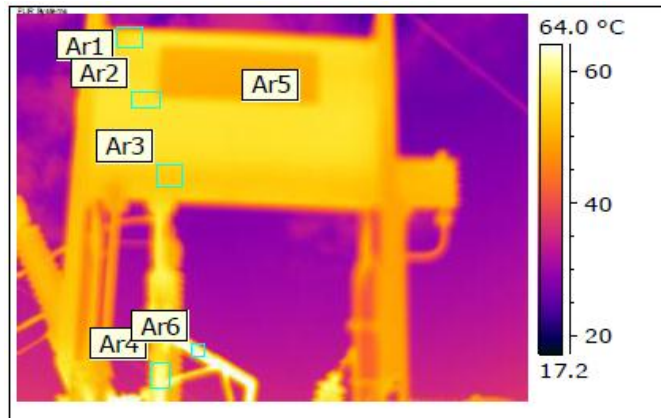
(a)



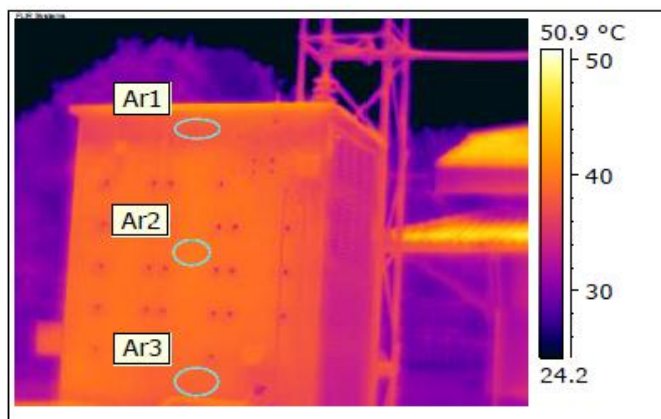
(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 2.2. (a-d) Contoh tampilan display Thermovisi

(**Sumber:** Buku Pedoman Pemeliharaan PLN No. 0520-2.K/DIR/2014 (2014))

2.2.2.1. Analisis Inspeksi dan Evaluasi

Berikut adalah tabel dan rumus perhitungan untuk mengevaluasi pengukuran thermovisi, sehingga alat yang diukur dapat diklasifikasi dalam beberapa kondisi dan akan ditindaklanjuti perawatannya.

Tabel 2.1. Parameter Analisis Thermovisi

| No. | Lokasi | Kondisi | Rekomendasi | |
|----------|-----------------|------------------------------|---------------|--|
| 1 | Maintank | | | |
| | | Pola gradien suhu Maintank | Normal | - |
| | | | Tidak Normal | Uji DGA |
| | | | Review desain | |
| 2 | OLTC | | | |
| | | Pola gradien suhu tanki | Normal | - |
| | | | Tidak Normal | Uji DGA |
| 3 | Radiator | | | |
| | | Pola gradien suhu Radiator | Normal | - |
| | | | Tidak Normal | Check valve radiator dan kebersihan |
| 4 | Bushing | | | |
| | | Perbandingan suhu antar fasa | 1 °C – 3 °C | Perlu Investigasi lanjut, karena memungkinkan adanya ketidaknormalan |

Tabel 2.1. Parameter Analisis Thermovisi (Lanjutan)

| No. | Lokasi | Kondisi | Rekomendasi |
|-----|------------------------------|---|--|
| | | 4 °c – 15 °c | Mengindikasikan adanya defisiensi, perlu dijadwalkan perbaikan |
| | | >16 °c | Ketidaknormalan Mayor, perlu dilakukan perbaikan segera |
| | Suhu maksimum kepala bushing | >90 °c | Lakukan investigasi penyebabnya |
| | | 35 °c – 45 °c dibandingkan suhu lingkungan pada beban nominal | |

2.2.2.2. Pengukuran Klem dan Konduktor

Pengukuran thermovisi tambahan untuk evaluasi adalah dengan mengukur selisih suhu klem dan konduktor dimana rumusnya sebagai berikut:

$$|\Delta T|_{\max} = (I_{\max} / I_{\text{beban}})^2 \times |\Delta T| \quad \dots\dots\dots(2.1.)$$

Keterangan:

$|\Delta T|_{\max}$: Selisih suhu saat beban tertinggi

I max : Beban tertinggi yang pernah dicapai

I beban : Beban saat pengukuran

$|\Delta T|$: Selisih suhu konduktor dan klem reaktor

Tabel 2.2. Parameter & Rekomendasi themovisi pada klem

| No | ΔT | Rekomendasi |
|----|---------------|---|
| 1 | <10 °c | Kondisi normal, pengukuran berikutnya dilakukan sesuai jadwal |
| 2 | 10 °c - 25 °c | Perlu dilakukan pengukuran satu bulan lagi |
| 3 | 25 °c - 40 °c | Perlu direncanakan perbaikan |
| 4 | 40 °c - 70 °c | Perlu dilakukan perbaikan segera |
| 5 | >70 °c | Kondisi darurat |

2.2.3. Kamera Inframerah (*Thermal Imager*)

Seperti halnya termometer, alat ini juga berfungsi untuk mengukur suhu benda namun tanpa harus menyentuh benda tersebut. Ini dapat terjadi karena alat tersebut memancarkan sinar inframerah kemudian menangkapnya kembali radiasi dari objek yang diukur. Dahulu alat ini hanya dapat menampilkan keadaan suhu objek berupa nilai/nominal terukur saja, namun karena kemajuan teknologi, keadaan suhu tersebut juga dapat diamati dalam bentuk visualisasi gambar dan warna suhu. Berikut adalah beberapa contoh dari Kamera Inframerah :

a) Fluke (TiSeries)



(Gambar 2.3. Fluke Series)

Alat ini diproduksi oleh perusahaan *Fluke Corporation*, dengan berbagai macam series yaitu, **Performance Series, Professional Series & Expert Series**. Harga dari satuan unit alat pengukur thermal Fluke relatif lebih mahal dari vendor lainnya.

b) Flir Infrared Cameras



(Gambar 2.4. Flir Cameras)

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

c) NEC Thermo Tracer



(Gambar 2.5. NEC Thermo Tracer)

Diproduksi oleh PT. NEC Indonesia dengan tipe alat yaitu Thermo Tracer. Walaupun merupakan produk dalam negeri, namun spesifikasi dari alat ini sudah cukup lengkap. Bahkan di Gardu Induk 150 kV Bantul juga menggunakan alat ukur ini dengan tipe NEC Thermo Tracer TH7700.

Syarat-syarat dari pengukuran untuk mendapatkan hasil yang baik adalah:

1. Emisivity objek sebelumnya harus diketahui secara tepat, karena tingkat emisivitas dari suatu bahan dapat berubah-ubah sesuai dengan kondisi dari bahan tersebut.
2. Energi radiasi objek harus cukup besar agar dapat terdeteksi.
3. Untuk menghindari gangguan, sebaiknya pengukuran dilakukan pada cuaca yang normal dan lingkungan yang masih baik.

Adapun kelebihan Kamera Infrared adalah sebagai berikut:

1. Tidak mempengaruhi objek yang diukur sama sekali.
2. Objek yang kecil juga dapat terukur.
3. Objek yang bergerak juga dapat terukur.
4. Dapat mengukur transient suhu.
5. Dapat mengukur luasan objek.

Sedangkan kekurangannya adalah sebagai berikut:

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

2.2.4. Validasi Metode Analisis

Validasi metode analisis merupakan suatu tindakan penilaian terhadap parameter tertentu, yang digunakan untuk membuktikan bahwa parameter tersebut sudah memiliki akurasi (*accuracy*) dan presisi (*precision*) yang baik atau belum.

Maka dari itu, semua pengukuran dan perhitungan yang dilakukan dikatakan dapat digunakan.

2.2.4.1. Indikator Analisis

Beberapa indikator analisis yang harus dipertimbangkan dalam validasi metode analisis didefinisikan sebagaimana cara penentuannya adalah sebagai berikut:

a) Akurasi (*Accuracy*)

Uji akurasi adalah ukuran yang menunjukkan derajat kedekatan hasil analisis dengan *Standard Reference Material (SRM)* yang sebenarnya. Akurasi dinyatakan sebagai persentase perolehan kembali (*recovery*) analit yang ditambahkan. Akurasi hasil analisis sangat tergantung kepada sebaran *error* sistematis di dalam keseluruhan tahapan analisis. Maka untuk mencapai akurasi yang baik hanya dapat dilakukan dengan mengurangi *error* sistematis tersebut seperti menggunakan alat yang mempunyai tingkat nilai kevalidan yang baik, reliabel (konsisten), dilakukan sesuai prosedur, dan pelaksanaan yang baik. Berikut persamaan yang digunakan:

$$\% \text{ Recovery} = \frac{\text{Hasil pengukuran}}{\text{Nilai SRM}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2.2.)$$

b) Presisi (*Precision*)

Uji presisi adalah ukuran yang menunjukkan derajat kesesuaian antara hasil pengukuran, yang dihitung berdasarkan nilai *standard reference material (RSM)*.

Persentase presisi recovery dinyatakan dengan Coeficient of Variation (CV) dan Relative Standard Devitition (RSD). Jika CV pada perhitungan < (kurang dari) 2 % maka dapat dinyatakan bahwa metode tersebut mempunyai presisi yang baik. Untuk persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$CV = \frac{\text{Standard Devitition}}{\text{Nilai SRM}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.3)$$

Sedangkan untuk standard devitition (SD) dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (x-\alpha)^2}{n-1}} \dots\dots\dots(2.4.)$$

- Keterangan :
- SD = Standard Devititon (Simpangan baku)
 - $\sum (x - \alpha)^2$ = Jumlah total nilai pengukuran dikurangi rata-rata
 - n** = Jumlah percobaan
 - x** = Hasil percobaan
 - α** = Rata-rata hasil percobaan