

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Berdasarkan topik skripsi yang diambil, terdapat beberapa referensi dari penelitian-penelitian sebelumnya yang telah dilakukan dalam menentukan batasan permasalahan yang berkaitan erat dengan topik yang diambil. Referensi-referensi ini selanjutnya akan digunakan untuk mempertimbangkan permasalahan-permasalahan apa saja yang berkaitan dengan topik yang sedang diambil. Adapun beberapa referensinya adalah sebagai berikut:

Buku Pedoman Pemeliharaan Trafo Tenaga PLN No. 0520-2.K/DIR/2014 (2014), Pada buku ini menjelaskan secara mendetail bagaimana cara pengelolaan aset sesuai dengan standard agar dapat memberikan manfaat selama masa berlaku buku pedoman ini. Beberapa bagian yang terdapat pada komponen yang berbahan konduktor adalah pada bagian Trafo Tenaga maka dari itu perlu dilakukan pengecekan yang berkala terhadap kerusakan yang terjadi pada konduktor. Pengecekan kerusakan yang terjadi pada konduktor dapat dilakukan dengan salah satu cara yaitu pengukuran menggunakan termovisi. Pemeriksaan dapat dilakukan pada bagian Primer dan bagian Sekunder dari trafo.

Ramadhani Roni Putra (2018) mahasiswa Universitas Muhammadiyah Surakarta melakukan penelitian mengenai “Thermovisi Dalam Melihat Titik Panas Pada Gardu Induk 150 kV Palur” Pada penelitian ini, Ramadhani melakukan pengamatan dan pengambilan data menggunakan alat thermo imaginers yaitu Fuke Til 10. Dengan menggunakan alat tersebut dapat diketahui nilai emisivitas objek yang diukur dan mencari nilai rata-rata dari emisivitasnya. Kemudian dilakukan pengujian dari hasil perhitungan dengan metode validasi untuk mendapatkan nilai presisi dan akurasi yang baik. Dari hasil pengukuran dan analisis dapat diketahui kondisi-kondisi peralatan di Gardu Induk 150 kV Palur. Sehingga dapat menjadi acuan untuk

meminimalisir kerusakan yang terjadi pada system tenaga listrik di Gardu Induk 150 kV Palur.

Datasheet Satir D300 Thermal Imagers (2017), dalam datasheet ini menjelaskan spesifikasi dari alat ukur Satir D300 dan membahas mengenai cara menggunakan alat Satir D300 dan nilai parameter emisivitas yang digunakan untuk melakukan pengukuran dengan akurat.

Buku Project Otak: Pengenalan Bahasa C# (2004), ditulis oleh Panji Aryaputra dan Risman Adnan. Dalam buku ini menjelaskan tentang bagaimana dasar-dasar dari bahasa pemrograman C# dan cara menggunakan software Microsoft Visual C# dalam membuat suatu aplikasi sederhana.

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

Buku Thermodynamics: An Engineering Approach (1982), ditulis oleh Yungus A. Cengel dan Michael A. Boles. Pada buku ini menjelaskan mengenai sifat *thermal conductivity* suatu material yang telah dilakukan pengujian oleh penulis, sehingga ada beberapa acuan dari buku ini yang dipakai untuk melakukan penyusunan tugas akhir ini.

Firdaus Hima dan Widianti Tri (2008), dengan penelitian mengenai “*Metoda pengukuran emisivitas bahan dengan menggunakan kamera inframerah*”. Pada penelitian ini menjelaskan penggunaan metode untuk mengukur emisivitas suatu bahan dengan metode tersebut dapat diuji dengan uji validasi dalam perhitungannya, sehingga menjadi referensi bagi penulis untuk menggunakan metode ini dalam melakukan penyusunan tugas akhir.

Arie Siswanto (2000) mahasiswa Universitas Airlangga Surabaya dengan penelitian mengenai “*Analisis Hubungan Konduktivitas Termal dengan Emisivitas Suatu Bahan*”. Pada penelitian ini menjelaskan tentang penggunaan bahan dari besi, aluminium, tembaga, dari hasil penelitian didapatkan ketika suhu 100 Celcius - 200 Celcius maka nilai konduktivitas dari bahan stainless steel dan aluminium akan naik ketika suhu naik berbeda dengan tembaga dan logam besi konduktivitas dari bahan akan turun ketika suhu mengalami kenaikan. Hal ini menunjukkan hubungan yang linear dari konduktivitas material terhadap emisivitas.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Gardu Induk

Gardu Induk merupakan komponen dari sistem tenaga listrik yang berfungsi sebagai pusat penyalur transmisi yang menghubungkan antara sistem transmisi Gardu Induk tegangan tinggi dengan saluran-saluran transmisi dan Gardu Induk Distribusi kemudian dapat disalurkan kepada konsumen. Untuk sampai kepada konsumen daya listrik di transformasikan melalui penyulang-penyulang (*feeder-feeder*) tegangan menengah yang ada di Gardu Induk sehingga daya listrik yang diterima konsumen sesuai dengan standar PLN.



Gambar 2.1. Switchyard pada Gardu Induk

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

A. Tipe Gardu Induk

Gardu Induk dapat diklasifikasikan menjadi beberapa tipe dari segi pemasangan diantara adalah : tipe pemasangan luar, tipe pemasangan dalam, tipe pemasangan setengah luar, tipe pemasangan bawah tanah, tipe mobil, dan lain sebagainya, berdasarkan konstruksinya.

1. Gardu Induk tipe 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 beterei. 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.
2. Gardu Induk tipe pemasangan 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, kaena 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.

3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.

B. 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 maintanancenya 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 perisaian (*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, penyimpan 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.

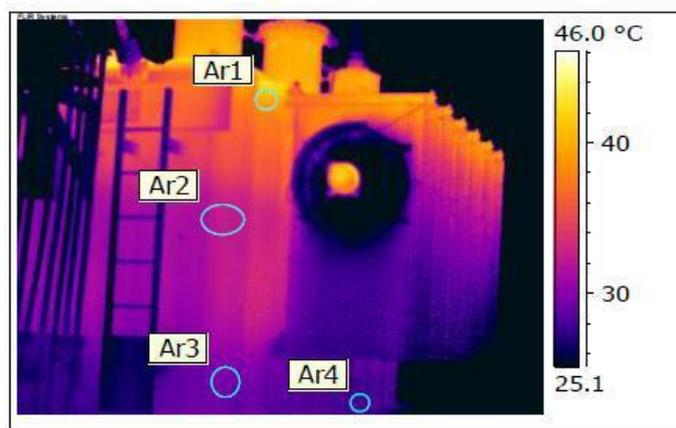
Untuk mencegah hal ini, maka dilakukannya pengecekan dan pemeliharaan secara berkala, yaitu dengan mengamati suhu komponen dengan menggunakan Thermal Camera atau Thermovisi. Pengukuran ini menggunakan sinar inframerah yang dipancarkan oleh thermal imagers sehingga pada display thermal imagers dapat menunjukkan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

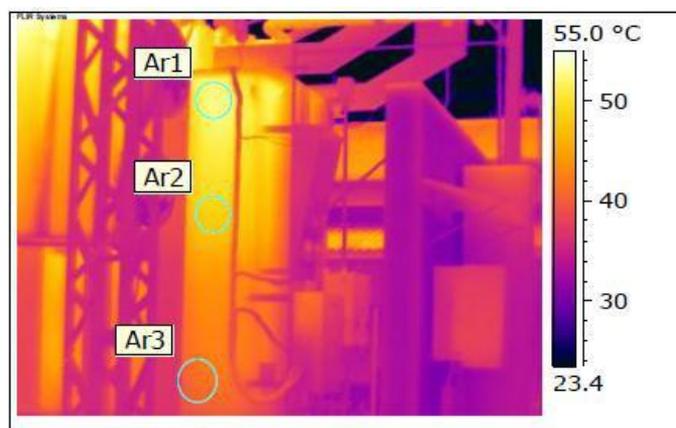
dan gelombang yang sama. Radiasi merupakan gelombang elektromagnetik yang dihasilkan oleh panas suatu objek yang terdiri dari Foton. Foton tersebut akan mengeksitasi elektron dari objek yang dikenainya sehingga memiliki tingkat energi yang lebih tinggi.

Nilai emisivity yang diamati berkisar antara 0 dan 1. Masing-masing bahan material objek memiliki tingkat emisivitas yang beragam. Seperti contoh emisivitas pada aluminium conductor galvanized steel reinforced (ACSR) menurut *Satir Coporation* adalah 0,5.

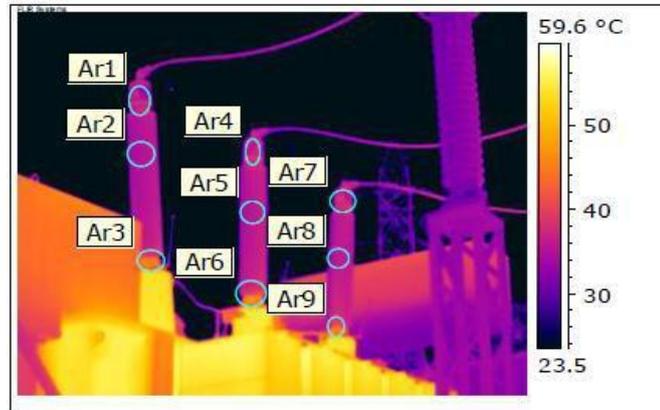
Pengukuran Thermovisi dimuat di dalam *Buku Pedoman Pemeliharaan PLN No. 0520-2.K/DIR/2014 (2014)*, sebagai salah satu prosedur pemeliharaan peralatan atau aset PLN di Gardu Induk. Berikut beberapa contoh tampilan display pada saat pengukuran:



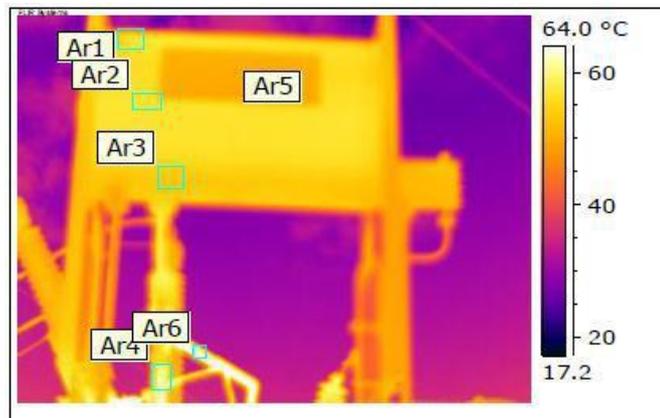
Gambar 2.2. Pengukuran thermovisi pada maintank dan radiator



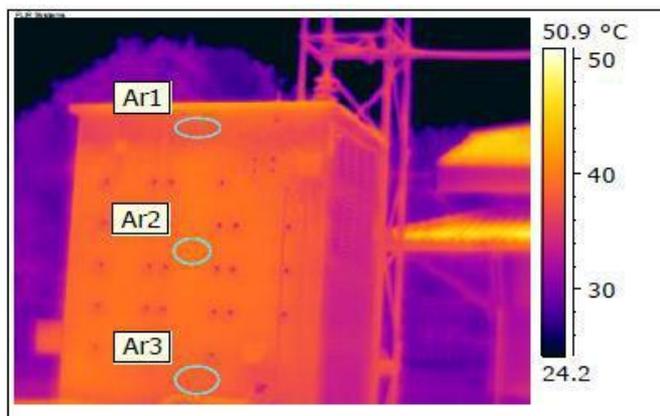
Gambar 2.3. Pengukuran thermovisi pada OLTC



Gambar 2.4. Pengukuran thermovisi pada Bushing



Gambar 2.5. Pengukuran thermovisi pada Konservator



Gambar 2.6. Pengukuran thermovisi pada NGR

(Sumber: Buku Pedoman Pemeliharaan Trafo Tenaga PLN

No. 0520-2.K/DIR/2014 (2014))

A. 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 ditindak lanjuti 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	$1^{\circ}\text{c} - 5^{\circ}\text{c}$	Perlu Investigasi lanjut, karena memungkinkan adanya ketidaknormalan
			$6^{\circ}\text{c} - 15^{\circ}\text{c}$	Mengidentifikasi adanya defisiensi, perlu dijadwalkan perbaikan
			$>16^{\circ}\text{c}$	Ketidak normalan Mayor, perlu dilakukan perbaikan segera
			$>90^{\circ}\text{c}$	Lakukan investigasi penyebabnya

B. Pengukuran Klem dan Konduktor

Pengukuran thermovisi untuk evaluasi dari kinerja peralatan pada Gardu Induk yang dilakukan adalah dengan cara mengukur selisih suhu pada bagian klem dan bagian konduktor dimana selisih suhu antara bagian klem dan bagian konduktor yang diperoleh dapat menjadi parameter untuk menentukan tindak lanjut yang harus dilakukan selanjutnya. Secara matematis rumus dituliskan sebagai berikut:

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

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

C. Nilai Emisivitas

Emisivitas merupakan rasio energi yang diradiasikan oleh permukaan suatu material. Dengan kata lain emisivitas adalah energi inframerah yang dipancarkan oleh *black body* dalam keadaan suhu dan panjang gelombang yang sama. Pada dasarnya nilai emisivitas dari suatu material sudah memiliki nilai emisivitas masing-masing, namun nilai emisivitas yang sudah ada dapat berubah sesuai dengan kondisi material tersebut dan juga dapat dikarenakan keadaan lingkungan dan pembiasan.

Rumus yang digunakan untuk perhitungan nilai emisivitas adalah sebagai berikut:

$$P = e \cdot \sigma \cdot T^4 \rightarrow e = \frac{P}{\sigma \cdot T^4} \dots\dots\dots (2.2.)$$

Keterangan:

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

e = Emisivitas

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

T = Suhu Mutlak (K)

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

A. Presisi (Precision)

Uji presisi adalah ukuran yang menunjukkan derajat kesesuaian antara hasil pengukuran, yang dihitung berdasarkan nilai *Standard Reference Material* (SRM). Persentase presisi recovery dinyatakan dengan Coeficient of Variation (CV) dan Relative Standard Deviation (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:

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

Sedangkan untuk Standard Deviation (SD) dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

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

Keterangan :

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

B. Akurasi (Accuracy)

Uji akurasi adalah ukuran yang menunjukkan kedekatan hasil analisis dengan *Standard Reference Material* (SRM) yang sebenarnya. Akurasi disebut juga besarnya penyimpangan data hasil uji dengan nilai sebenarnya. Bias hasil uji dari metode uji yang dilakukan terhadap nilai SRM menggambarkan seberapa tinggi akurasi dari metode uji tersebut. Akurasi hasil analisis sangat tergantung kepada sebaran *error* sistematis di dalam keseluruhan tahapan analisis. Maka untuk mencapai akurasi yang baik 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 ini adalah rumus persamaan yang digunakan:

$$\% \text{ bias} = \left(\frac{\alpha - \text{nilai SRM}}{\text{nilai SRM}} \right) \times 100\% \dots\dots\dots (2.5)$$

Sehingga akurasi dapat dihitung sebagai berikut:

$$\% \text{ akurasi} = 100 \% - \% \text{ bias} \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

- % bias = Persentase Nilai Bias
- α = Nilai rata-rata emisivitas
- Nilai SRM = Nilai *Standard Reference Material* (SRM)

2.2.4. Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN)

SPLN merupakan standar perusahaan PT. PLN (Persero) yang ditetapkan oleh Direksi yang bersifat wajib. Standar yang ditetapkan bisa dalam bentuk aturan, pedoman, instruksi, metode pengujian dan spesifikasi teknis. Sejak 1976, lebih dari 264 standar yang telah berhasil diselesaikan. Ini termasuk 61 standar di bidang distribusi dan 33 standar di bidang umum.

Standar ini dimaksudkan untuk menjadi sebuah batasan, parameter dan acuan dalam menentukan atau mela *Standard Reference Material* kukan tindak lanjut yang harus dilakukan terhadap peralatan yang ada di dalam Gardu Induk.

Standard kondisi dari thermovisi dalam menentukan tingkat suhu pada peralatan di Gardu Induk mengacu pada standard SPLN-SK DIR No. 0520-2014 dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 2.2. Parameter & Rekomendasi themovisi pada klem dan konduktor

No.	ΔT	Rekomendasi
1.	$<10^{\circ}\text{c}$	Kondisi normal, pengukuran berikutnya dilakukan sesuai jadwal
2.	$10^{\circ}\text{c} - 25^{\circ}\text{c}$	Perlu dilakukan pengukuran satu bulan lagi
3.	$25^{\circ}\text{c} - 40^{\circ}\text{c}$	Perlu direncanakan perbaikan
4.	$40^{\circ}\text{c} - 70^{\circ}\text{c}$	Perlu dilakukan perbaikan segera
5.	$>70^{\circ}\text{c}$	Kondisi darurat

Untuk standar dari bahan atau material yang digunakan pada peralatan di Gardu Induk mengacu pada standar SPLN 41-7 : 1981 yaitu menggunakan bahan aluminium conductor galvanized steel reinforced (ACSR) . Dimana hampir keseluruhan peralatan pada Gardu Induk memakai bahan atau material yang terbuat dari bahan tersebut. Nilai emisivitas yang ditetapkan berdasarkan standard SPLN adalah sebesar 0,5.

2.2.5. 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.

Prinsip dasar dari alat ini adalah semua objek memancarkan energi inframerah. Semakin panas suhu benda, maka molekulnya akan semakin aktif dan semakin banyak energi inframerah yang dipancarkan. Thermal Imager mengukur suhu menggunakan radiasi kotak hitam (inframerah) yang dipancarkan objek dengan menggunakan sensor Thermal Array TPA 81. Dengan mengetahui jumlah energi inframerah yang dipancarkan oleh objek dan emisinya, maka temperatur objek dapat dibedakan. Kemudian lensa pemfokus energi inframerah pada detektor, yang mengubah energi menjadi sinyal elektrik yang bisa ditunjukkan dalam unit temperatur setelah disesuaikan dengan variasi temperatur lingkungan kemudian akan ditampilkan pada layar secara visual. Dengan demikian, Thermal imager berguna mengukur suhu pada keadaan dimana sensor tipe lainnya tidak dapat digunakan atau tidak menghasilkan suhu yang akurat. Berikut adalah beberapa contoh dari Kamera Inframerah.

A. Fluke (TiSeries)



(Gambar 2.7. Fluke Series)

(Sumber: http://www.wecl.com.hk/fluke/thermal_imager.html)

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. NEC Thermo Tracer



(Gambar 2.8. NEC Thermo Tracer)

(Sumber: <http://www.infrared.avio.co.jp/en/products/ir-thermo/lineup/th7716/index.html>)

Diproduksi oleh PT. NEC Indonesia dengan tipe alat yaitu Thermo Tracer. Produk ini adalah buatan dari dalam negeri, spesifikasi dari alat ini sudah cukup lengkap untuk menunjang diranah Electrical/Mechanical Inspection.

C. SATIR D300



(Gambar 2.9. SATIR D300)

(Sumber: Satir Data Sheet D300)

Diproduksi oleh PT. Elekrika Rekayasa Energi dengan tipe alat yaitu SATIR D300. SATIR D300 adalah kamera termografi multi aplikasi dengan fitur lengkap untuk inspeksi dalam dan luar ruangan. Gardu Induk 150 kV Pedan menggunakan alat ukur ini dengan tipe SATIR D300.

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.

2.2.6. Tutorial Pengukuran Thermovisi

Berikut adalah langkah-langkah pelaksanaan pengukuran thermovisi (alat SATIR D300) sesuai dengan prosedur buku panduan pemeliharaan PT PLN:

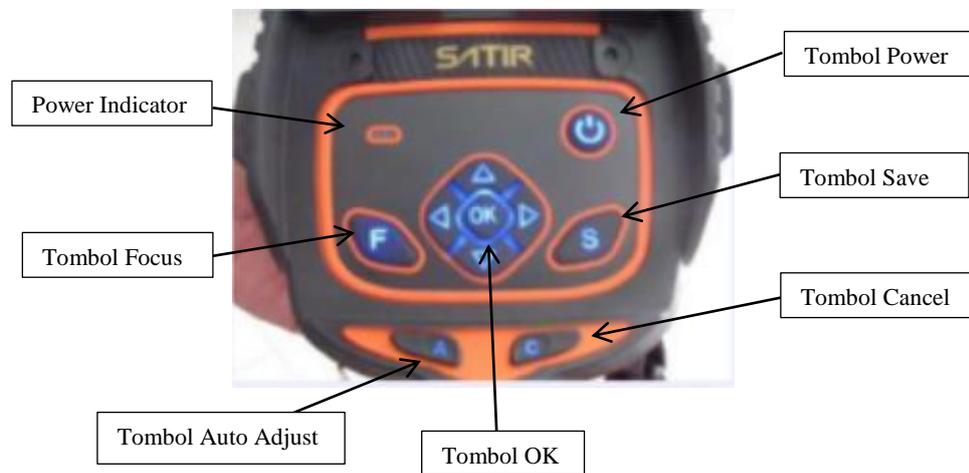
1. Kamera harus dicharge sebelum digunakan pertama kali charge >6 jam dan kemudian dicharge 2.5 jam per pemakaian 8
2. Cara menghidupkan camera dengan cara menekan tombol power (tunggu selama beberapa detik).

3. Ketika proses booting sudah selesai maka akan muncul tampilan awal kemudian tekan tombol C untuk memasuki menu utama, didalam menu utama terdapat pula beberapa menu lainnya antara lain : Analysis, Image, Media, File, dan Setting
- Menu pertama yaitu Analysis, di menu ini terdapat lagi beberapa menu lainnya antara lain : spot, area, line, dan iso. Untuk mengaktifkannya kita hanya perlu menekan tombol C → pilih menu analysis → pilih apa yang kita perlukan.
 - Menu kedua yaitu Image, didalam menu ini juga terdapat beberapa menu lainnya seperti : mode, palette, adjust.
 - Menu mode berfungsi untuk mengubah tampilan obyek yang akan kita tangkap dengan kamera ini. Untuk mengaktifkannya kita tekan tombol C → pilih menu image → mode → pilih sesuai kebutuhan → Apply.
 - Menu palette mode berfungsi untuk mengganti tampilan infrared sebuah obyek yang kita tangkap. Untuk mengaktifkan mode palette ini tekan tombol C → menu image → palette → pilih mode yang kita butuhkan
 - Menu adjust mode berfungsi untuk mengatur kedua mode diatas secara auto atau manual. Untuk mengganti modenya tekan tombol C → menu Image → adjust mode → pilih sesuai keinginan.
 - Menu ketiga yaitu menu media juga terdapat beberapa menu lainnya seperti : snapshot, edit, video, replay.
 - Menu snapshot menu ini untuk menyimpan obyek yang sedang kita tangkap dengan camera ini. Untuk menggunakan menu ini tekan tombol C → media → snapshot, atau dengan menekan tombol S selama beberapa detik.
 - Menu edit digunakan untuk mengedit gambar yg sudah kita simpan. Untuk menjalankan menu ini tekan tombol C → media → edit.
 - Menu video digunakan untuk merekam gambar berjalan. Untuk menggunakan menu ini tekan tombol C → media → video.

- Menu replay digunakan untuk memutar video yg kita rekam lewat menu video tadi. Untuk menggunakan menu ini tekan tombol C → media → replay.
 - Menu keempat yaitu menu file menu inilah yang kita gunakan untuk melihat foto atau video yang kita miliki. Untuk melihat file kita tekan tombol C → file
 - Menu setting menu ini memiliki beberapa anak menu antara lain: analysis setting, system setting, image setting, dan system info.
 - Analysis setting kita gunakan untuk mengubah-ubah system analysis pengambilan gambar. Untuk menggunakan analysis system ini kita tekan tombol C → setting → analysis setting.
 - System setting ini berfungsi untuk merubah bahasa, hari dan tanggal, dll. Untuk mengaturnya kita tekan tombol C → setting → system setting.
 - Image setting berfungsi untuk bagaimana kita mengatur timing saved, quick launcher, dll. Untuk mengaturnya kita tekan tombol C → setting → image setting.
 - System info berfungsi melihat spesifikasi camera yang kita miliki. Untuk melihatnya tekan tombol C → setting → system info.
4. Untuk melakukan pengukuran dapat dilakukan dengan cara pemilihan mode pengukuran. Ada beberapa mode pengukuran yang ada antara lain dengan Spot / Area / Line / Isotherm
 5. Tekan tombol C atau logo SATIR yang ada di pojok kanan atas.
 - Pilih menu analysis.
 - Lalu pilih mode pengukuran menggunakan Spot / Area / Line / Isotherm.
 6. Arahkan alat ke objek yang akan diukur
 7. Untuk memfokus Gambar Thermal dapat dilakukan dengan cara menekan tombol F sampai warna tombolnya berwarna hijau setelah

itu tekan tombol arah kiri maka gambar akan disesuaikan fokusnya secara otomatis. Atau bisa menyentuh touchscreen pada LCD untuk memfokuskan gambar thermalnya.

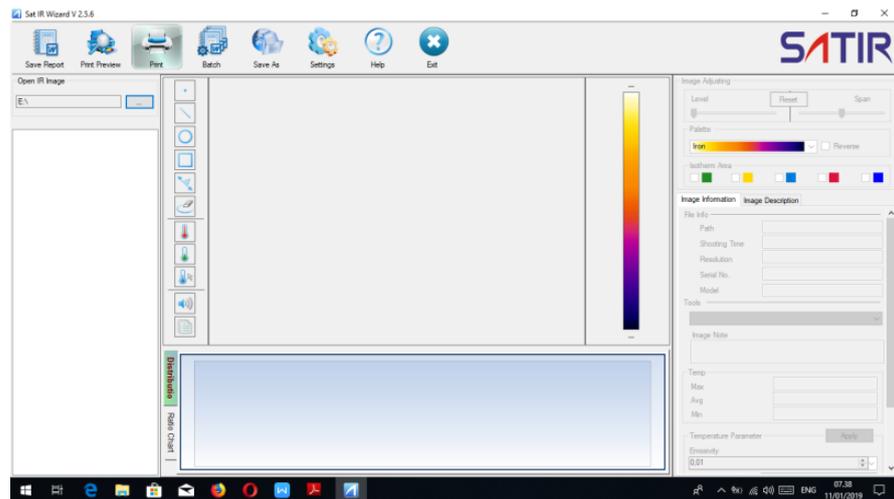
8. Setelah gambar telah focus sesuai dengan yang diatur, maka bisa mulai penyimpanan gambar thermalnya.
9. Tekan dan tahan tombol S selama 3 detik hingga muncul tulisan hijau di LCD yang menyatakan bahwa gambar telah disimpan. Atau bisa menggunakan fungsi Snapshot. Tekan tombol C => Media => Snapshot.



Gambar 2.10 Tombol-tombol SATIR D300

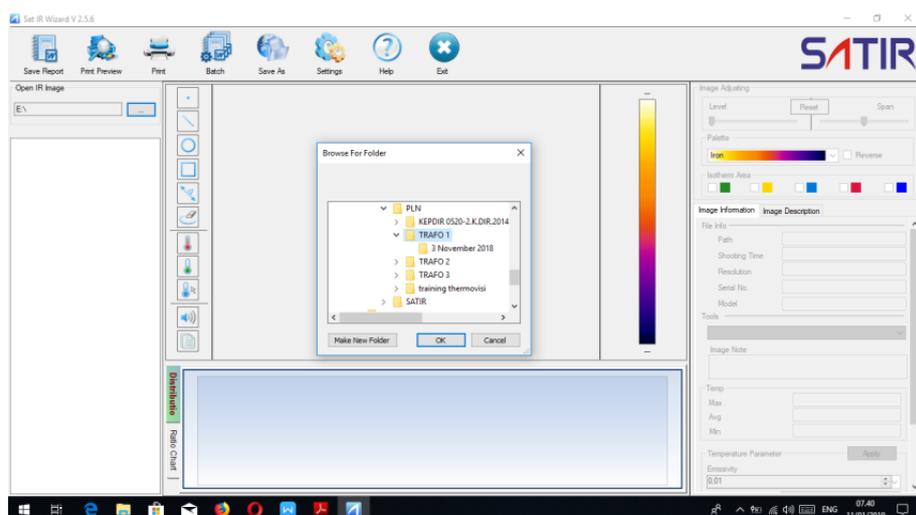
(Sumber: Buku Instruksi Kerja Thermovisi SATIR D300)

10. Untuk membaca hasil pengukuran, caranya dengan menggunakan software SATIR V2.5.6. Sambungkan SATIR D300 (dalam keadaan On atau OFF) ke komputer dengan kabel USB kemudian buka software SATIR V2.5.6



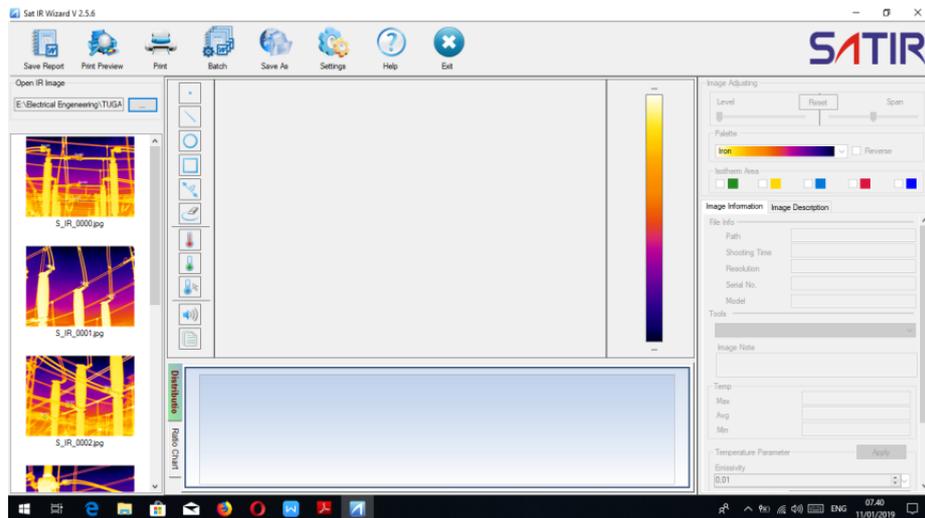
Gambar 2.11 Tampilan awal software SATIR D300
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

11. Kemudian pilih Open IR Image maka akan muncul beberapa folder kemudian pilih folder SATIR D300



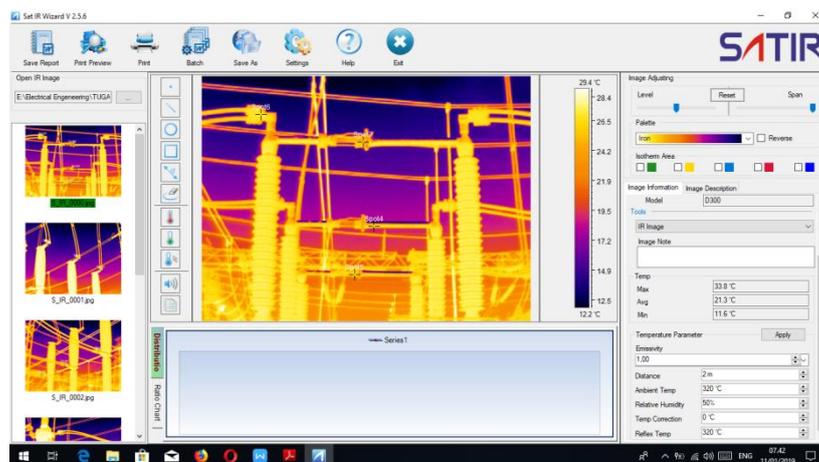
Gambar 2.12 Tampilan Open IR Image software SATIR D300
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

12. Setelah folder yang dimaksud didapat kemudian klik 2x pada folder tersebut maka akan muncul gambar seperti di bawah ini. (ada gambar image yang telah tersimpan).



Gambar 2.13 Tampilan Hasil Pengukuran software SATIR D300
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

13. Klik 2x pada gambar yang ingin diolah maka akan muncul gambar seperti di bawah ini. Untuk menuju ke gambar berikutnya dapat dilakukan dengan cara klik 2x pada gambar berbeda yang akan diolah.



Gambar 2.14 Tampilan Hasil Pengukuran software SATIR D300
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

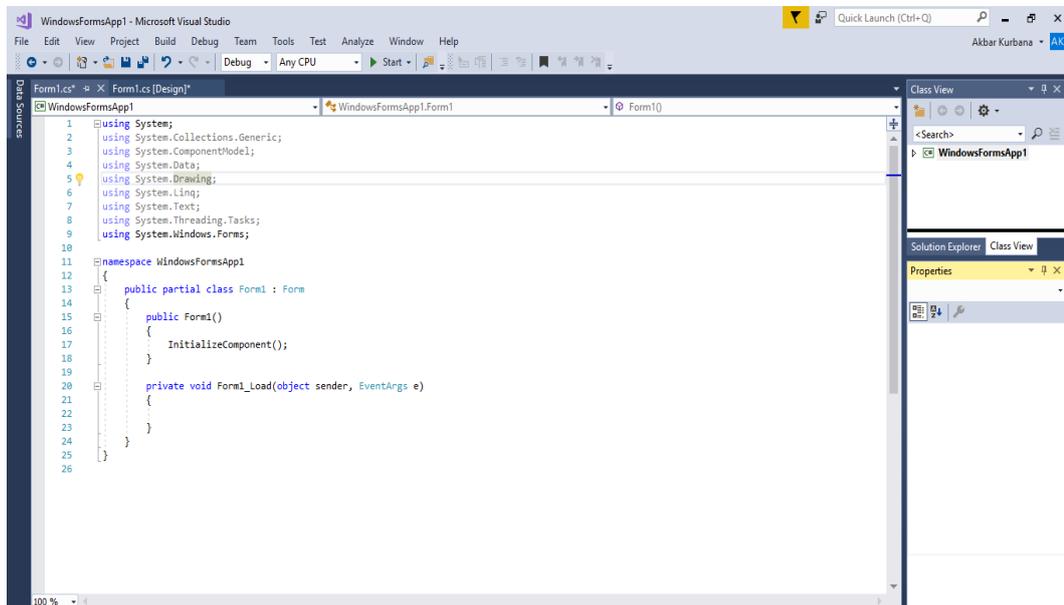
14. Untuk mengetahui suhu objek yang di inginkan dapat dilakukan dengan cara mengarahkan kursor langsung ke objek yang dituju atau titik pointnya maka akan terlihat keterangan suhu pada objek.
15. Jika ingin mengatur warna pada gambar objek maka klik 2x pada menu Image Adjusting pilih menu Level kemudian drag kekiri atau kekanan. Untuk mengubah nilai emisivity lewat komputer bisa langsung masukkan nilai emisivitas pada bagian tools kolom seperti yang ditunjukkan bagian kanan bawah.

2.2.7. Microsoft Visual Studio C#

Microsoft Visual Studio *C#* merupakan bahasa pemrograman yang di buat oleh *Microsoft* untuk mendukung platform *.Net Framework*. *C#* di perkenalkan *Microsoft* pertama kali pada tahun 2000 berbarengan dengan pengembangan platformnya *.Net Framework*. Bahasa *C#* hampir sama dengan *Javascript*, *Java*, dan pendahulunya *C/C++*.

C# atau yang dibaca C sharp adalah bahasa pemrograman sederhana yang digunakan untuk tujuan umum, dalam artian bahasa pemrograman ini dapat digunakan untuk berbagai fungsi misalnya untuk membangun aplikasi desktop ataupun mobile, pemrograman game dan sebagainya. Selain itu *C#* juga bahasa pemrograman yang berorientasi objek.

Dengan menggunakan Software Microsoft Visual Studio Bahasa Pemrograman *C#* dilakukan perancangan aplikasi kalkulator thermovisi. Tampilan dari software Microsoft Visual Studio Bahasa Pemrograman *C#* dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.15 Tampilan Awal Software Microsoft Visual Studio Bahasa Pemrograman C#

- Using merupakan sebuah *statement* untuk memanggil bagian dari framework *.Net* yang mana nantinya akan dipakai untuk program..
- Namespace berguna untuk mengorganisir *code* dengan memberikan nama agar tertata dengan baik dan akan mempermudah nantinya.
- Class merupakan *statement* untuk mengelompokan *code* berdasarkan nama kelas.
- Di dalam kelas terdapat fungsi/metode utama dengan nama main. Fungsi ini akan di panggil otomatis saat program di eksekusi.

Terdapat beberapa operator dan expression dari bahasa pemrograman C# diantaranya adalah:

a) Arithmetic operators

Operator aritmatika yang terdapat di dalam bahasa pemrograman C# adalah sebagai berikut:

Tabel 2.3. Operasi Aritmatika pada Software C#

Operasi Aritmatika	Keterangan
+	Penambahan (addition)
-	Pengurangan (subtraction)
/	Pembagian (division)
*	Perkalian (multiplication)
%	Modulus (persent)

b) Assignment operator

Didalam assigment operator terdapat simbol = yang digunakan untuk penetapan *variable*. Semua *variable* yang ada di sebelah kanan simbol akan di olah lalu di tempatkan di *variable* sebelah kanan.

c) Comparison operators

Pada comparison operators terdapat perbandingan antara variable satu dengan variabel lainnya sehingga dapat memperlihatkan perbedaan antara variabel seperti yang terlihat dbawah ini.

// Equality check

a == b // apakah a sama dengan b?

a != b // apakah a tidak sama dengan b?

// Test Perbandingan

a > b // apakah a lebih dari b?

a < b // apakah a kurang dari b?

a >= b // apakah a lebih atau sama dengan b?

a <= b // apakah a kurang atau sama dengan b?

d) Logical operators

Logical operators yang terdapat didalam bahasa pemrograman C# ada beberapa bentuk diantaranya adalah logical operators AND (&&), OR (||), dan NOT (!)

e) Type Testing operators

Pada type testing operators terdapat menu Operatoris yang akan menghasilkan true jika sebuah *object* obj sama dengan *object* Employee . kemudian Operator as akan mengkonvert *object* obj menjadi *object* Employee (jika memungkinkan)

f) Operator Precedence

Operator Precedence adalah operator yang di dahulukan pemakaiannya didalam bahasa pemrograman C#. Ada beberapa operator precedence diantaranya adalah :

1. Multiplicative * / %
2. Additive + -
3. Comparison dan Type Testing < > <= >= is as
4. Equality == !=
5. Conditional AND &&
6. Conitional OR ||
7. Ternary ?:
8. Assignment = *= /= %= += -=

g) Statement If Else

Statements If Else adalah suatu pernyataan ekspresi yang ditulis di sebuah program untuk menginstruksi jalan proses suatu program, dimana pernyataan ini berfungsi untuk memerintahkan bagaimana program berjalan. ketika tidak ditemukan pernyataan yang benar pada perintah pertama, maka akan dilanjutkan dengan perintah kedua. Perintah kedua itu dinamakan Else IF. Dalam instruksinya jika kondisi 1 terpenuhi maka statements yang berada didalamnya akan di eksekusi, jika kondisi 1 tidak terpenuhi maka akan mengecek ke kondisi 2 sampai dengan kondisi ke n. dan jika kondisi 1 sampai dengan kondisi ke n tidak terpenuhi maka statements lemparan (else) yang akan di eksekusi.