



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sistem Ketenagalistrikan<sup>2</sup>

Dalam sepuluh tahun terakhir ini, masalah listrik menjadi polemik yang berkepanjangan dan telah memunculkan multi implikasi yang sangat kompleks di berbagai aspek kehidupan, antara lain : keuangan, ekonomi, sosial, budaya, politik, dan lain-lain. Beberapa tantangan besar yang dihadapi dunia pada masa kini, antara lain, bagaimana menemukan sumber energi baru, mendapatkan sumber energi yang pada dasarnya tidak akan pernah habis untuk masa mendatang, menyediakan energi di mana saja diperlukan, dan mengubah energi dari satu ke lain bentuk, serta memanfaatkannya tanpa menimbulkan pencemaran yang dapat merusak lingkungan hidup kita. Dibanding dengan bentuk energi yang lain, listrik merupakan salah satu bentuk energi yang praktis dan sederhana. Di samping itu listrik juga mudah disalurkan dari dan pada jarak yang berjauhan, mudah didistribusikan untuk area yang luas, mudah diubah ke dalam bentuk energi lain, dan bersih (ramah lingkungan).

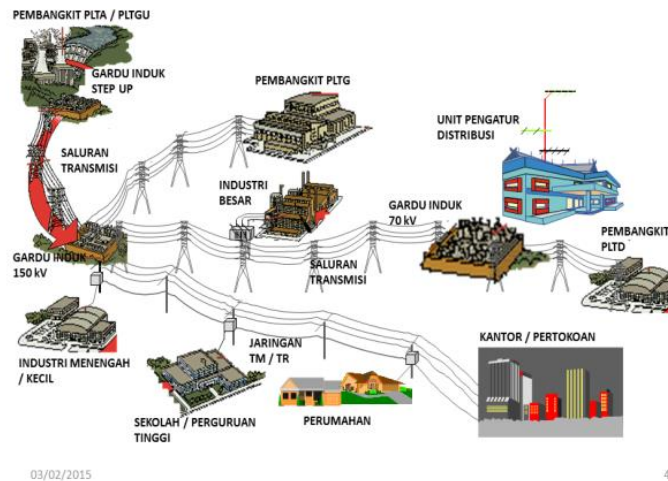
Oleh karena itu, manfaat listrik telah dirasakan oleh masyarakat, baik pada kelompok perumahan, sosial, bisnis atau perdagangan, industri dan publik. Tenaga listrik sebagai bagian dari bentuk energi dan cabang produksi yang penting bagi negara sangat menunjang upaya dalam memajukan dan mencerdaskan bangsa. Sebagai salah satu hasil pemanfaatan kekayaan alam yang menguasai hajat hidup orang banyak, tenaga listrik perlu dipergunakan untuk kesejahteraan dan kemakmuran rakyat. Yang dimaksud dengan sistem tenaga listrik adalah sekumpulan pusat listrik dan gardu induk (pusat beban) yang satu dengan yang lain dihubungkan oleh jaringan transmisi dan distribusi sehingga merupakan sebuah satu kesatuan yang terinterkoneksi. Suatu sistem tenaga listrik terdiri dari tiga bagian utama, yaitu: pusat pembangkit listrik, saluran transmisi, dan sistem distribusi. Suatu sistem distribusi menghubungkan

---

<sup>2</sup> Aris Munandar, Kuwahara. 2004. *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik* jidil III. Jakarta



semua beban yang terpisah satu dengan yang lain kepada saluran transmisi. Hal ini terjadi pada gardu-gardu induk (*substation*) di mana juga dilakukan transformasi tegangan dan fungsi pemutusan (*breaker*) dan penghubung beban (*switching*).



Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik

Tegangan pada generator besar biasanya berkisar di antara 13,8 kV dan 24 kV. Tetapi generator besar yang modern dibuat dengan tegangan bervariasi antara 18kV dan 24 kV. Tegangan generator dinaikkan ke tingkat yang dipakai untuk transmisi, yaitu 115 kV dan 765 kV. Tegangan tinggi standar (*high voltage, HV standard*) di luar negeri adalah 70 kV, 150 kV, dan 220 kV. Tegangan tinggi-ekstra standar (*extra high voltage, HV standard*) adalah 500 kV dan 700 kV. Keuntungan transmisi (*transmission capability*) dengan tegangan lebih tinggi akan menjadi jelas jika kita melihat pada kemampuan transmisi (*transmission capability*) suatu saluran transmisi. Kemampuan ini biasanya dinyatakan dalam Mega-Volt-Ampere (MVA). Tetapi kemampuan transmisi dari suatu saluran dengan tegangan tertentu tidak dapat diterapkan dengan pasti, karena kemampuan ini masih tergantung lagi pada batasan-batasan termal dari penghantar, jatuh tegangan (*drop voltage*) yang diperbolehkan, keandalan, dan persyaratan kestabilan sistem.

Penurunan tegangan dari tingkat transmisi pertama-tama terjadi pada gardu induk bertenaga besar, di mana tegangan diturunkan ke daerah antara 70



kV dan 150 kV, sesuai dengan tegangan saluran transmisinya. Beberapa pelanggan yang memakai tenaga untuk keperluan industri sudah dapat dicatu dengan tegangan ini. Penurunan tegangan berikutnya terjadi pada gardu distribusi primer, di mana tegangan diturunkan lagi menjadi 1 sampai 30 kV. Tegangan yang lazim digunakan pada gardu-distribusi adalah 20.000 V antar-fasa atau 11.500 V antara fasa ke tanah. Tegangan ini biasanya dinyatakan sebagai 20.000 V / 11.500 V. Sebagian besar beban untuk industri dicatu dengan sistem distribusi primer, yang mencatu transformator distribusi. Transformator-transformator ini menyediakan tegangan sekunder pada jaringan tegangan rendah tiga-fasa empat-kawat untuk pemakaian di rumah-rumah tempat tinggal. Standar tegangan rendah yang digunakan adalah 380 V antara antar fasa dan 220V di antara masing masing fasa dengan tanah, yang dinyatakan dengan 220/380 V.

## **2.2 Sistem Penyaluran**

Sistem Penyaluran adalah salah satu bagian utama dalam struktur sistem tenaga listrik yang berperan untuk mengirimkan daya listrik mulai dari pembangkitan kemudian disalurkan melalui jaringan transmisi, dan disalurkan ke instalasi pengguna tenaga listrik dengan menggunakan saluran distribusi. Sistem Penyaluran terbagi dua yaitu :

### **2.2.1 Saluran transmisi**

Saluran Transmisi adalah sistem penyaluran tenaga listrik yang beroperasi pada Tegangan Tinggi (TT) dan Tegangan Ekstra Tinggi (TET). Kemampuan sistem transmisi dengan tegangan lebih akan menjadi jelas jika dilihat pada kemampuan transmisi dari suatu saluran transmisi, kemampuan ini biasanya dinyatakan dalam satuan MVA (Mega Volt Ampere). Transmisi dapat menyalurkan tenaga listrik dari GI Pembangkitan ke GI Tegangan Tinggi dan dari GI Tegangan Tinggi ke GI Distribusi. Berdasarkan penjelasan di atas, saluran transmisi terbagi menjadi SUTT dan SUTET. SUTT dan SUTET beroperasi mulai dari tegangan 70 kV sampai dengan 500 kV yang merupakan saluran udara tegangan ekstra tinggi. Hal ini berkaitan dengan efisiensi



penyaluran kepada distribusi, karena jika tegangan transmisi besar, ketika sampai di distribusi akan tetap optimal.

### 2.2.2 Saluran distribusi <sup>9</sup>

Sistem Distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (Bulk Power Source) sampai ke konsumen. Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah; 1) pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan), dan 2) merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi. Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 154 kV, 220 kV atau 500 kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi.

Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir ( $I^2.R$ ). Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula. Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220 / 380 Volt. Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen.

Distribusi tenaga listrik adalah tahap akhir dalam pengiriman tenaga listrik; ini merupakan proses membawa listrik dari sistem transmisi

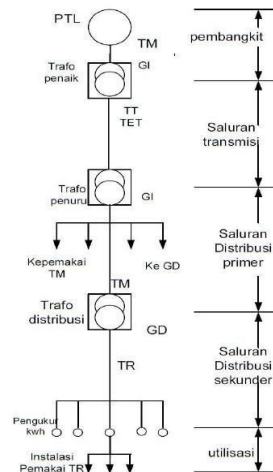
---

<sup>9</sup> Suhadi dkk, 2008, *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1*, Jakarta



listrik menuju ke konsumen listrik. Gardu distribusi terhubung ke sistem transmisi dan menurunkan tegangan transmisinya dengan menggunakan trafo.

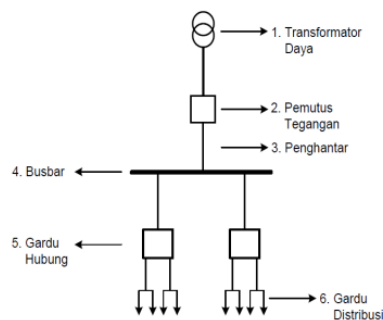
Jaringan Distribusi Tenaga Listrik dibagi menjadi dua bagian yaitu distribusi primer dan distribusi sekunder.



Gambar 2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

### 2.2.2.1 jaringan sistem distribusi primer<sup>3</sup>

Yaitu jaringan distribusi yang berasal dari jaringan transmisi yang diturunkan tegangannya di Gardu Induk (GI) menjadi Tegangan Menengah (TM) dengan nominal tegangan 20 kV yang biasa disebut JTM (Jaringan Tegangan Menengah) lalu disalurkan ke lokasi-lokasi pelanggan listrik kemudian di turunkan tegangannya di trafo pada gardu distribusi untuk disalurkan ke pelanggan.



Gambar 2.3 Diagram Sistem Distribusi Primer

<sup>3</sup> Buku 1 PT PLN (Persero). 2010. *Kriteria Desain Enjiniring Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah*. Jakarta : PT PLN (Persero)



## 1. Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)

Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) adalah jaringan distribusi tenaga listrik yang biasa digunakan dikarenakan biaya murah. SUTM memiliki kelebihan biaya pembangunan yang murah, jangkauannya yang luas, dan pemeliharaan yang mudah, namun memiliki kelemahan keandalan jaringan yang lebih rendah dari Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM). SUTM menggunakan tiang dengan beban kerja 200 daN, 350 daN, dan 500 daN, dengan Panjang tiang 11 m, 12 m, 13 m, dan 14 m. Penggunaan tiang dengan beban kerja tertentu disesuaikan dengan banyaknya sirkit perjalur saluran udara, besar penampang penghantar dan posisi/fungsi tiang (tiang awal, tiang tengah, tiang sudut). Pada SUTM dipasang beberapa peralatan seperti Pole Mounted Circuit Breaker (PMCB), Penutup Balik Otomatis (PBO) atau biasa disebut *Recloser*, Saklar Seksi Otomatis (SSO), dan Fuse Cut Out (FCO) sebagai proteksi jaringan yang berfungsi untuk mengurangi sejauh mungkin pengaruh gangguan pada penyaluran tenaga listrik serta memberikan perlindungan maksimal bagi operator, lingkungan, dan peralatan dalam terjadinya gangguan yang menetap (permanen) dan juga untuk mengurangi luasnya dampak ketika terjadi padam listrik baik akibat gangguan maupun pemadaman karena akan dilakukan pemeliharaan jaringan. Peletakan peralatan proteksi serta pemutus pada titik-titik tertentu juga dapat membantu untuk melokalisir gangguan yang terjadi.

## 2. Saluran Kabel Tanah Tegangan Menengah (SKTM)

Saluran Kabel Tanah Tegangan Menengah (SKTM) adalah jaringan distribusi tegangan menengah yang dipasang di bawah tanah. Mengingat biaya investasi yang mahal dan keunggulannya dibandingkan dengan Saluran Udara Tegangan Menengah, Saluran Kabel Tanah Tegangan Menengah (SKTM) dipakai pada hal-hal khusus yaitu :

1. Daerah padat beban tinggi
2. Segi estetika
3. Jenis pelanggan kritis
4. Permintaan khusus
5. Kabel keluar (kabel dari pembangkit / GI ke tiang SUTM)



6. Kabel Tee-Off dari SUTM ke gardu beton
7. Penyebrangan sungai dan jalur kereta api

Pada SKTM, proteksi jaringan hanya melindungi dari 2 penyebab gangguan, yaitu gangguan fasa-fasa dan gangguan fasa-tanah. Relai terpasang pada kubikel 20 kV di Gardu Induk, relai tipe arus lebih, fasa-fasa dan arus lebih hubung tanah. Jenis kabel yang digunakan adalah kabel dengan satu inti atau berinti ganda.

#### **2.2.2.2 jaringan sistem distribusi sekunder**

Yaitu jaringan distribusi dari gardu distribusi untuk di salurkan ke pelanggan dengan klasifikasi tegangan rendah yaitu 220 V atau 380 V (antar fasa). Pelanggan yang memakai tegangan rendah ini adalah pelanggan paling banyak karena daya yang dipakai tidak terlalu banyak. Jaringan dari gardu distribusi dikenal dengan JTR (Jaringan Tegangan Rendah), lalu dari JTR dibagi-bagi untuk ke rumah pelanggan, saluran yang masuk dari JTR ke rumah pelanggan disebut Sambungan Rumah (SR). Pelanggan tegangan ini banyaknya menggunakan listrik satu fasa, walau ada beberapa memakai listrik tiga fasa.

#### **1. Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR)**

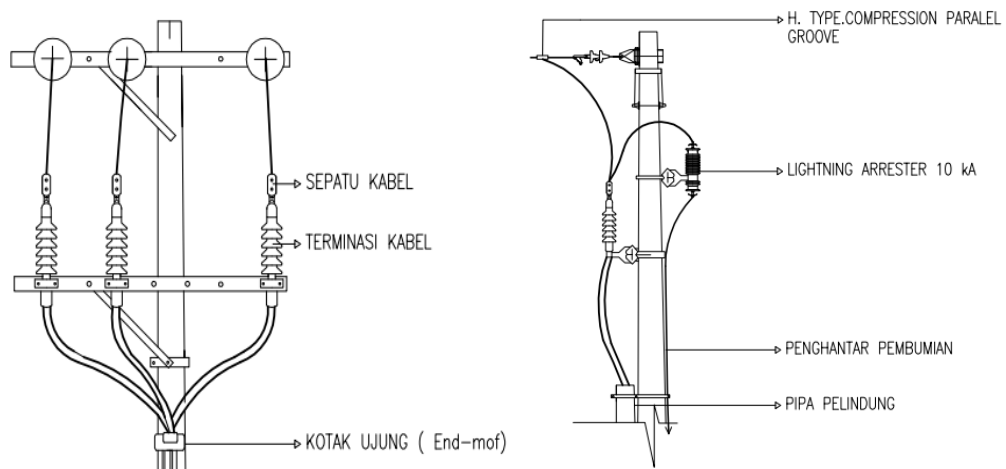
Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR) adalah jaringan dengan tegangan rendah yang merupakan keluaran gardu distribusi dan selanjutnya akan dihantarkan kepada pelanggan tegangan rendah (TR). SUTR ini biasa disebut sebagai Sambungan Rumah (SR) karena mayoritas dari penggunaan dari jaringan tegangan rendah udara ini adalah pelanggan domestic. Penghantar jaringan secara umum memakai kabel yang dikenal sebagai LVTC (Low Voltage Twisted Cable), IBC (Insulated Bundled Conductor), atau TIC (Twisted Insulated Conductor). Jangkauan operasi dibatasi oleh batas-batas tegangan +5% -10%, dengan pembebanan yang maksimal. Konstruksi jaringan dengan tiang sendiri panjang 9 meter atau dibawah saluran udara TM (underbuilt) tidak kurang dari 1 meter dibawah penghantar SUTM.

## 2. Saluran Kabel Tanah Tegangan Rendah (SKTR)

Saluran Kabel Tanah Tegangan Rendah (SKTR) adalah jaringan kabel tanah dengan tegangan rendah yang merupakan keluaran dari gardu distribusi yang selanjutnya akan dihantarkan kepada pelanggan tegangan rendah (TR). Pada SKTR, jenis kabel yang dipakai adalah jenis kabel dengan isolasi ganda atau dengan pelindung mekanis (contoh NYFGbY). Kabel jenis NYY dapat dipakai dengan persyaratan harus dimasukkan dalam pipa pelindung sebagai penahan tekanan mekanis. Persyaratan konstruksi kabel bawah tanah sama dengan persyaratan konstruksi kabel bawah tanah jaringan Tegangan Menengah, kedalaman penggelaran adalah  $\pm 60$  cm.

### 2.3 Tiang Awal (*Riser Pole*)<sup>4</sup>

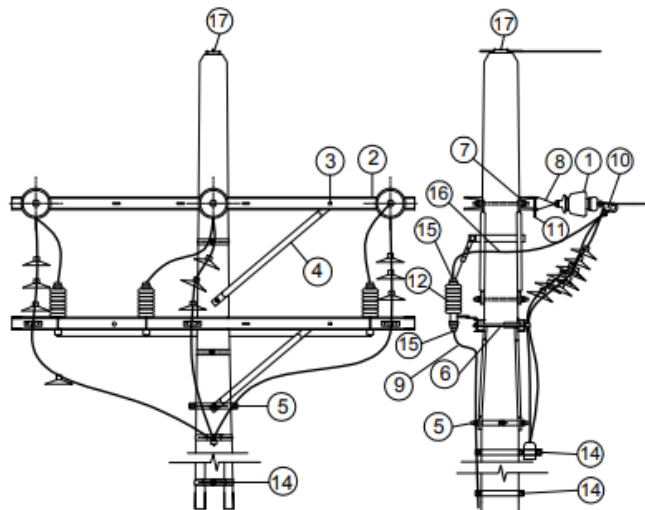
Tiang Awal (*Riser Pole*) atau biasa disebut dengan konstruksi TM 11 adalah konstruksi tiang keluaran dari kubikel 20 kV Gardu Induk. pada konstruksi tiang awal ini dipasang pada awal jaringan dimana terdapat kabel naik dari gardu induk / pusat listrik. Pada tiang ini terpasang 3 set isolator tarik, 2 buah cross arm UNP 10 x 2000, lightning arrester, pipa galvanis pelindung kabel diameter 4 inci, dan instalasi pbumian. Kekuatan tiang disesuaikan dengan besarnya penampang penghantar yang digunakan.



Gambar 2.4 Monogram Tiang Awal (*Riser Pole*)

<sup>4</sup> Buku 5 PT PLN (Persero). 2010. *Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah Tenaga Listrik*. Jakarta : PT PLN (Persero)





Gambar 2.5 Konstruksi Tiang Awal (*Riser Pole*)

Tabel 2.1 Keterangan Gambar 2.5

No.	Nama Material	Satuan	Jumlah
1	<i>Strain/Tension Disc / long Rod Insulator 24 kV</i>	Pcs	3
2	<i>Cross Arm 2000 (NP//UNP.10)</i>	Pcs	4
3	<i>Double arm Bolt &amp; Nut M 16X400+ washer</i>	Set	6
4	<i>Arm Tie Type 750 Pipa 3/4"</i>	Pcs	4
5	<i>Arm Tie Band + Nut &amp; Washer</i>	Set	1
6	<i>Double Arm Band &amp; Nut + washer</i>	Set	1
7	<i>U Strap</i>	Set	3
8	<i>HV Band Strap/Susp VEE/ Cross Arm Clevis</i>	Set	3
9	<i>Jumper Wire 80 mm / MV Insulated Conductor</i>	Mtr	6
10	<i>Dead end/Strain Clamp/Preformed end</i>	Set	3
11	<i>Bolt &amp; Nut M16X140+ Washer</i>	Pcs	1
12	<i>Lightning Arrester 24 KV 10 KA</i>	Set	3
13	<i>Mounting Bracket For Arrester</i>	Set	3
14	<i>Cable Band + Nut &amp; Washer</i>	Set	3
15	<i>Copper Tube / Cabel Schoen</i>	Pcs	10
16	<i>MV Insulated conductor</i>	Mtr	4.5
17	<i>Ground Wire End Clamp</i>	bh	1

## 2.4 Transduser

Transduser adalah perangkat elektronik yang mengkonversi suatu bentuk energi menjadi bentuk energi lainnya. Beberapa bentuk energi yang dimaksud seperti energi mekanik, energi listrik, energi cahaya, energi kimia, energi panas, energi akustik, energi elektromagnetik, dan masih banyak lagi.



Aplikasi transduser yang paling sederhana terdapat pada mic dan handphone, yang mengubah energi suara dari si pengguna menjadi signal elektrik yang kemudian diamplifikasi pada tingkatan tertentu. Setelah itu, signal elektrik ini diubah menjadi sinyal audio pada *loudspeaker*. Contoh penggunaan transduser lainnya selain mikrofon dan *loudspeaker* adalah termometer, antena, dan beberapa tipe sensor.

#### 2.4.1 Fungsi transduser

Transduser memiliki fungsi mengubah suatu bentuk energi menjadi energi lainnya. Sebagai contoh pada tang Ampere, tang Ampere menerima masukan induksi dari akibat arus yang mengalir pada rangkaian lalu dikonversi menjadi keluaran berupa nilai pengukuran (tampilan pada layar) tang Ampere tersebut.

#### 2.4.2 Cara kerja transduser

Cara kerja transduser adalah dengan mengubah energi menjadi bentuk sinyal elektronik dan begitu pula sebaliknya. Transduser terbagi menjadi dua jenis yaitu *input* (masukan) dan *output* (keluaran) transduser. Berikut penjelasan dari transduser *input* dan transduser *output* :

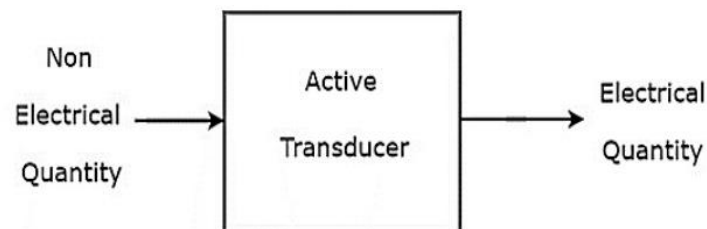
- Transduser *input* mengubah energi yang diterima menjadi sinyal elektronik. Itulah sebabnya mengapa sensor adalah bagian dari transduser. Sebab sensor menerima trigger berupa bentuk bentuk energi dan kemudian menerjemahkannya menjadi sinyal baik itu analog maupun digital. Namun terdapat perbedaan antara transduser dan sensor. Perbedaan antara keduanya lebih ditekankan ke fungsi dari komponen itu sendiri. Sensor hanya mengubah energi dan trigger yang diterima menjadi suatu nilai yang dapat dibaca dan diolah, sementara transduser lebih menekankan ke perubahan energi. Akselerometer, barometer, giroskop adalah contoh sensor sedangkan termistor, dan termokopel adalah contoh transduser .
- Transduser *ouput* mengubah sinyal listrik menjadi energi dalam bentuk lainnya. Contoh paling mudah, sebuah lampu dapat dikatakan sebagai sebuah transduser sebab lampu dapat mengubah energi listrik menjadi energi cahaya dan panas. Transduser *output* mentransfer sinyal keluar dari

domain listrik dan ke domain yang dapat dirasakan oleh salah satu dari lima indera manusia. Sejumlah besar daya biasanya diperlukan untuk mentransfer informasi keluar dari domain listrik.

### 2.4.3 Klasifikasi transduser

Transduser terbagi menjadi beberapa jenis berdasarkan faktor-faktor tertentu. Berikut klasifikasi dari transduser :

#### 1. Transduser Aktif dan Pasif



Gambar 2.6 Prinsip Kerja Transduser Aktif

Berdasarkan cara kerja dan konsumsi dayanya, transduser dibedakan menjadi dua bagian yaitu transduser aktif dan transduser pasif. Secara singkat, transduser dibedakan menjadi pasif dan aktif berdasarkan kebutuhan daya untuk menghasilkan output. Jika transduser aktif tidak membutuhkan daya tambahan sementara transduser pasif membutuhkan daya tambahan untuk menghasilkan outputnya.

Transduser aktif menghasilkan keluaran berupa tegangan atau arus, tanpa sumber energi eksternal. Transduser aktif juga dikenal sebagai transduser yang swadaya karena mereka mengembangkan sendiri sinyal keluaran listriknya. Energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan sinyal keluaran diperoleh dari besaran fisik yang akan diukur. Kristal piezoelektrik adalah contoh transduser aktif alami. Kristal memiliki sifat menghasilkan tegangan keluaran ketika diberikan gaya eksternal.

Transduser pasif mengambil daya dari sumber energi eksternal untuk transduksi. Kata transduksi berarti konversi energi dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Potensiometer linier adalah contoh transduser pasif. Potensiometer digunakan untuk mengatur resistansi dan membutuhkan sumber daya eksternal untuk dapat bekerja.



#### 1. Transduser berdasarkan media transdusi

Transduser dapat diklasifikasikan juga berdasarkan media transdusinya. Media transdusi itu sendiri dibagi menjadi 3 jenis yaitu resistif, induktif dan kapasitif. Kita akan lihat karakteristik dari masing-masing transduser tersebut.

- Transduser Resistif. Transduser jenis ini resistensinya bervariasi karena pengaruh lingkungan, jenis transduser seperti ini dikenal sebagai transduser resistif. Salah satu penerapan dari transduser jenis ini yaitu termometer sentuh, resistansi pada logam akan berubah karena perubahan suhu. Sifat perubahan resistansi ini digunakan untuk mengukur suhu.
- Transduser Induktif. Transduser induktif (elektromekanis) adalah perangkat listrik yang digunakan untuk mengubah gerakan fisik menjadi perubahan dalam nilai induktansi. Beberapa penerapan induktor yang pernah kita bahas sebelumnya merupakan bagian dari transduser induktif. Salah satu aplikasi nyatanya antara lain *proximity sensor*, untuk mengukur posisi, *touchpad*, gerakan dinamis, dll.
- Transduser Kapasitif. Transduser kapasitif menggunakan jumlah kapasitansi listrik untuk mengubah gerakan mekanis menjadi sinyal listrik. Kuantitas input menyebabkan perubahan kapasitansi yang langsung diukur oleh transduser kapasitif. Transduser jenis ini menggunakan pengubah mekanis untuk mengukur volume, kepadatan, berat, dan beberapa fungsi lainnya. Penerapan transduser ini yaitu sebagai transduser tekanan.

#### 2.4.4 Jenis- jenis transduser

##### a. Transduser Elektro Akustik

Contoh dari Transduser Elektro Akustik ini adalah Mikrofon. Mikrofon bekerja dengan cara mengubah gelombang suara yang mengenai diafragma menjadi sinyal listrik analog yang dapat dikirim melalui kabel atau yang terkini sudah secara nirkabel. Sementara untuk jenis perangkat *output* suara seperti *speaker*, *earphone*, juga merupakan transduser dengan prinsip kerja kebalikan dari mikrofon, yaitu mengubah sinyal elektrik menjadi suara.

##### b. Transduser Foto Elektrik

Transduser jenis ini bekerja berdasarkan interaksinya dengan energi cahaya. LED adalah contoh yang paling mudah dilihat karena energi listrik

yang diterima kemudian diubah menjadi cahaya. Transduser yang menjadikan cahaya sebagai input memiliki penerapan pada photo dioda, resistor cahaya, dan berbagai komponen lain yang menggunakan cahaya sebagai penentu nilai.

c. Transduser Elektro Magnetik

Cara kerja dari transduser elektro magnetik adalah sinyal listrik yang ditangkap dari input dikonversi menjadi gelombang cahaya tertentu sehingga menampilkan tampilan dalam layar. Yang membedakan transduser jenis ini dari transduser photo elektrik adalah transduser ini tidak sekedar mengubah menjadi cahaya tapi menjadi gelombang cahaya secara spesifik.

d. Transduser Tekanan

Penggunaan pressure transduser alias transduser tekanan dapat dijumpai di beberapa sektor. Seperti misalnya di sektor industri, transduser tekanan digunakan untuk me-monitor aliran dan tekanan fluida, mengkontrol tinggi tinggi air pada tanki penyimpanan, mengidentifikasi kebocoran gas pada pipa, menghitung tekanan pompa, dan lainnya.

e. Aktuator

Aktuator adalah perangkat keluaran elektromekanis yaitu sebuah alat yang mengubah input elektrik menjadi gerakan mekanis. Yang membedakan aktuator dari motor biasa pada bagian kemampuan kendali yang ada pada perangkat ini, sehingga gerakan yang dihasilkan dapat dikendalikan sesuai dengan input yang diberikan.

## 2.5 Sensor <sup>5</sup>

Sensor adalah perangkat yang digunakan untuk mendeteksi perubahan besaran fisik seperti tekanan, gaya, besaran listrik, cahaya, gerakan, kelembaban, suhu, kecepatan dan fenomena-fenomena lingkungan lainnya. Setelah mengamati terjadinya perubahan, *Input* yang terdeteksi tersebut akan dikonversi mejadi *Output* yang dapat dimengerti oleh manusia baik melalui perangkat

---

<sup>5</sup> Kho, Dickson. 2019. Pengertian Sensor dan Jenis-Jenis Sensor. [Teknikelektronika.com](http://Teknikelektronika.com). 27 Juni 2022



sensor itu sendiri ataupun ditransmisikan secara elektronik melalui jaringan untuk ditampilkan atau diolah menjadi informasi yang bermanfaat bagi penggunaannya.

Sensor pada dasarnya dapat digolong sebagai transduser *input* karena dapat mengubah energi fisik seperti cahaya, tekanan, gerakan, suhu atau energi fisik lainnya menjadi sinyal listrik ataupun resistansi (yang kemudian dikonversikan lagi ke tegangan atau sinyal listrik).

### 2.5.1 Klasifikasi sensor

Sensor-sensor yang digunakan pada perangkat elektronik pada dasarnya dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori utama yaitu :

1. Sensor Pasif dan Sensor Aktif
2. Sensor Analog dan Sensor Digital

Berikut ini adalah pembahasan singkat mengenai kedua klasifikasi sensor tersebut.

#### 1. Sensor Pasif dan Sensor Aktif

##### 1.1. Sensor Pasif (*Passive Sensor*)

Sensor Pasif adalah jenis sensor yang dapat menghasilkan sinyal output tanpa memerlukan pasokan listrik dari eksternal. Contohnya Termokopel (*Thermocouple*) yang menghasilkan nilai tegangan sesuai dengan panas atau suhu yang diterimanya.

##### 1.2. Sensor Aktif (*Active Sensor*)

Sensor Aktif adalah jenis sensor yang membutuhkan sumber daya eskternal untuk dapat beroperasi. Sifat fisik Sensor Aktif bervariasi sehubungan dengan efek eksternal yang diberikannya. Sensor Aktif ini disebut juga dengan Sensor Pembangkit Otomatis (*Self Generating Sensors*).

#### 2. Sensor Analog dan Sensor Digital

##### 2.1. Sensor Analog

Sensor Analog adalah sensor yang menghasilkan sinyal *output* yang kontinu atau berkelanjutan. Sinyal keluaran kontinu yang dihasilkan oleh sensor analog ini sebanding dengan pengukuran. Berbagai parameter

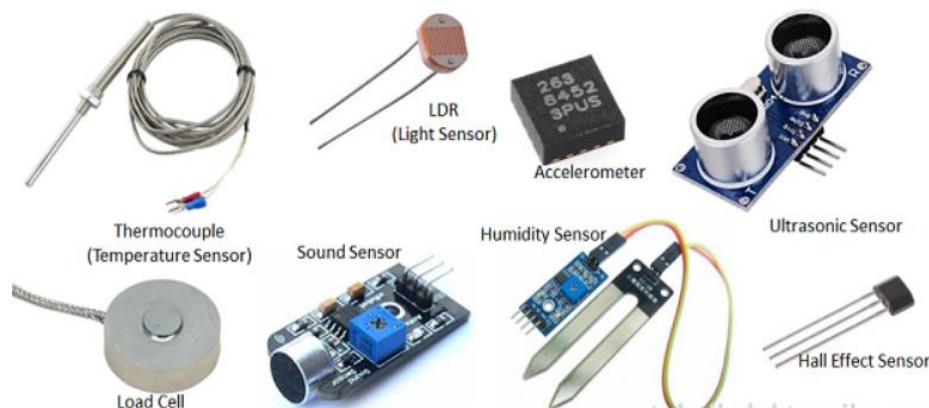


Analog ini diantaranya adalah suhu, tegangan, tekanan, pergerakan, dan lain-lainnya. Contoh Sensor Analog ini diantaranya adalah akselerometer (*accelerometer*), sensor kecepatan, sensor tekanan, sensor cahaya dan sensor suhu.

## 2.2. Sensor Digital

Sensor Digital adalah sensor yang menghasilkan sinyal keluaran diskrit. Sinyal diskrit akan non-kontinu dengan waktu dan dapat direpresentasikan dalam “*bit*”. Sebuah sensor digital biasanya terdiri dari sensor, kabel dan pemancar. Sinyal yang diukur akan diwakili dalam format digital. Output digital dapat dalam bentuk Logika 1 atau logika 0 (ON atau OFF). Sinyal fisik yang diterimanya akan dikonversi menjadi sinyal digital di dalam sensor itu sendiri tanpa komponen eksternal. Kabel digunakan untuk transmisi jarak jauh. Contoh Sensor Digital ini diantaranya adalah akselerometer digital (*digital accelerometer*), sensor kecepatan digital, sensor tekanan digital, sensor cahaya digital dan sensor suhu digital.

### 2.5.2 Jenis - jenis sensor



Gambar 2.7 Jenis – Jenis Sensor

Terdapat berbagai macam sensor dengan fungsi yang berbeda-beda. Berikut beberapa jenis sensor :

#### a. Akselerometer (Accelerometer)

Sensor Akselerometer adalah sensor yang mendeteksi perubahan posisi, kecepatan, orientasi, guncangan, getaran, dan kemiringan dengan gerakan indra. Akselerometer analog ini dapat digolongkan lagi menjadi beberapa



yang berbeda berdasarkan variasi konfigurasi dan sensitivitas. Berdasarkan pada sinyal keluaran, Akselerometer analog menghasilkan tegangan variabel konstan berdasarkan jumlah percepatan yang diterapkan pada Akselerometer. Selain Akselerometer Analog, Akselerometer ini juga digital.

b. Sensor Cahaya (*Light Sensor*)

Sensor Cahaya atau *Light Sensor* adalah Sensor analog yang digunakan untuk mendeteksi jumlah cahaya yang mengenai Sensor tersebut. Sensor cahaya analog ini dapat diklasifikasikan lagi menjadi beberapa jenis seperti foto-resistor, Cadmium Sulfida (CdS), dan fotosel.

*Light dependent resistor* atau LDR dapat digunakan sebagai sensor cahaya analog yang dapat digunakan untuk menghidupkan dan mematikan beban secara otomatis berdasarkan intensitas cahaya yang diterimanya. Resistansi LDR akan meningkat apabila intensitas cahaya menurun. Sebaliknya, Resistansi LDR akan menurun apabila intensitas cahaya yang diterimanya bertambah.

c. Sensor Suara (*Sound Sensor*)

Sensor Suara adalah Sensor analog yang digunakan untuk merasakan tingkat suara. Sensor suara analog ini menerjemahkan amplitudo volume akustik suara menjadi tegangan listrik untuk merasakan tingkat suara. Proses ini memerlukan beberapa sirkuit, dan menggunakan mikrokontroler bersama dengan Mikrofon untuk menghasilkan sinyal *output* analog.

d. Sensor Tekanan (*Pressure Sensor*)

Sensor Tekanan atau *Pressure Sensor* adalah Sensor yang digunakan untuk mengukur jumlah tekanan yang diterapkan pada sebuah sensor. Sensor tekanan akan menghasilkan sinyal keluaran analog yang sebanding dengan jumlah tekanan yang diberikan. Sensor piezoelektrik adalah salah satu jenis sensor tekanan yang dapat menghasilkan sinyal tegangan keluaran yang sebanding dengan tekanan yang diterapkan padanya.





e. Sensor Suhu (*Temperature Sensor*)

Sensor Suhu atau *Temperature Sensor* adalah Sensor tersedia secara luas baik dalam bentuk sensor digital maupun analog. Ada berbagai jenis sensor suhu yang digunakan untuk aplikasi yang berbeda. Salah satu Sensor Suhu adalah Termistor, yaitu resistor peka termal yang digunakan untuk mendeteksi perubahan suhu. Apabila Suhu meningkat, resistansi listrik dari termistor akan meningkat juga. Sebaliknya, jika suhu menurun, maka resistansi juga akan menurun.

f. Sensor Ultrasonik (*Ultrasonic Sensor*)

Sensor Ultrasonik adalah jenis sensor non-kontak yang dapat digunakan untuk mengukur jarak serta kecepatan suatu benda. Sensor Ultrasonik bekerja berdasarkan sifat-sifat gelombang suara dengan frekuensi lebih besar daripada rentang suara manusia. Dengan menggunakan gelombang suara, Sensor Ultrasonik dapat mengukur jarak suatu objek (mirip dengan SONAR). Sifat Doppler dari gelombang suara dapat digunakan untuk mengukur kecepatan suatu objek.

g. Sensor Giroskop (*Gyroscope sensor*)

Sensor Giroskop adalah sensor yang digunakan untuk merasakan dan menentukan orientasi dengan bantuan gravitasi bumi. Perbedaan utama antara Sensor Akselerometer dan Giroskop adalah bahwa Giroskop dapat merasakan rotasi di mana akselerometer tidak bisa.

h. Sensor Efek Hall (*Hall Effect Sensor*)

Sensor Efek Hall atau *Hall Effect Sensor* adalah sensor yang dapat mengubah informasi magnetik menjadi sinyal listrik untuk pemrosesan rangkaian elektronik selanjutnya. Sensor Efek Hall ini sering digunakan sebagai sensor untuk mendeteksi kedekatan (*proximity*), mendeteksi posisi (*positioning*), mendeteksi kecepatan (*speed*), mendeteksi pergerakan arah (*directional*) dan mendeteksi arus listrik (*current sensing*).



i. Sensor Kelembaban (*Humidity Sensor*)

Sensor Kelembaban atau *Humidity Sensor* merupakan sensor yang digunakan untuk mendeteksi tingkat kelembaban suatu lokasi. Pengukuran Tingkat Kelembaban ini sangat penting untuk pengamatan lingkungan di suatu wilayah, diagnosa medis ataupun di penyimpanan produk-produk yang sensitif.

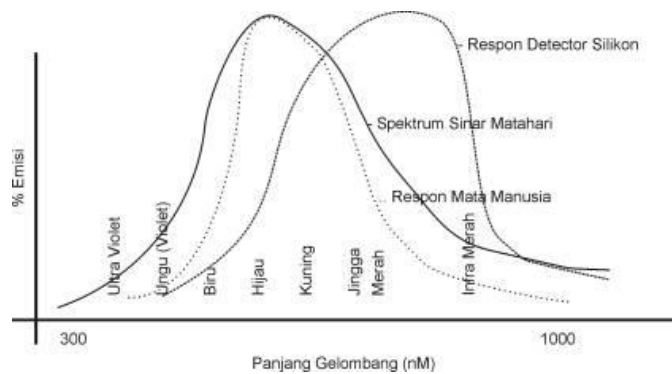
j. Sel Beban (*Load Cell*)

Sel Beban atau *Load Cell* adalah jenis sensor yang digunakan untuk mengukur berat. Input dari Load Cell ini adalah gaya atau tekanan sedangkan outputnya adalah nilai tegangan listrik. Ada beberapa jenis Load Cell, diantaranya adalah *Beam Load Cell*, *Single Point Load Cell*, dan *Compression Load Cell*.

## 2.6 Infra Merah

Infra Merah adalah radiasi elektromagnetik dari panjang gelombang lebih panjang dari cahaya tampak, tetapi lebih pendek dari radiasi gelombang radio. Namanya berarti "bawah merah" (dari bahasa Latin *infra*, "bawah"), merah merupakan warna dari cahaya tampak dengan gelombang terpanjang. Radiasi inframerah memiliki jangkauan tiga "order" dan memiliki panjang gelombang selang 700 nm dan 1 mm. Inframerah ditemukan secara tidak sengaja oleh *Sir William Herschell*, astronom kerajaan Inggris.

Pada dasarnya, komponen yang menghasilkan panas menghasilkan radiasi infra merah, termasuk tubuh manusia maupun tubuh binatang. Cahaya infra merah memiliki karakteristik tidak bisa dilihat oleh manusia, tidak bisa menembus materi yang tidak tembus pandang, bisa ditimbulkan oleh komponen yang menghasilkan panas, dan Panjang gelombangnya memiliki hubungan yang berlawanan atau berbanding terbalik dengan suhu, yang mana ketika suhu mengalami kenaikan, maka panjang gelombang mengalami penurunan.



Gambar 2.8 Spektrum Cahaya Infra Merah

## 2.7 Metode Pemeliharaan Distribusi Berbasis Kaidah Manajemen Aset

Proses penyaluran tenaga listrik 20 kV yang menggunakan Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) sebagai salah satu media penghantar utama mengakibatkan penerimaan energi listrik di sisi konsumen bergantung pada kondisi dan kinerja kehandalan SUTM dan peralatan pendukungnya. Selain Saluran Udara Tegangan Menengah yang disini merupakan sebagai media penghantar utama energi listrik distribusi, gardu distribusi juga memiliki peran yang sama pada kegiatan distribusi energi listrik. Pada gardu distribusi terdapat aset-aset seperti yang utama adalah Transformator Distribusi, *Fuse Cut Out* (FCO), *Lightning Arrester* (LA), Isolator, dan juga Peralatan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR). Salah satu fase dalam *life-cycle* yang penting dalam pemanfaatan aset distribusi adalah fase pemeliharaan. Tujuan utama dari kegiatan pemeliharaan aset distribusi adalah untuk menjamin kehandalan penyaluran tenaga listrik kepada konsumen. Dalam upaya mencapai tujuan utama pemeliharaan aset distribusi tersebut senantiasa dihadapkan pada optimalisasi tiga faktor utama yang saling bertentangan, yaitu terdiri dari biaya, kinerja, dan resiko. Metode pemeliharaan ini memadukan metode preventif / berbasis waktu (*preventive maintenance*) dan metode prediktif (*condition-based maintenance*). Dasar dari kegiatan ini adalah Surat Edaran Direksi PT PLN (Persero) No.0017 Tentang Metode Pemeliharaan Trafo Distribusi Berbasis Kaidah Manajemen Aset <sup>7</sup> dan Surat Edaran Direksi PT

<sup>7</sup> SE DIR PT PLN (PERSERO) NO 0017, 2014, *Metode Pemeliharaan Transformator Distribusi Berbasis Kaidah Manajemen Aset*. Jakarta



PLN (Persero) No.0018 Tahun 2014 Tentang Metode Pemeliharaan SUTM Berbasis Kaidah Manajemen Aset<sup>8</sup>. Disini penulis akan fokus kepada pemeliharaan metode pemeliharaan SUTM berdasarkan Surat Edaran Direksi PT PLN (Persero) No.0018.

### **2.7.1. Condition-based maintenance**

*Condition Based Maintenance* adalah pemeliharaan yang dilakukan pada peralatan memiliki potensi kegagalan operasi setelah melalui tahapan-tahapan inspeksi / *assessment* yang memadai baik secara visual maupun dengan menggunakan alat untuk melakukan monitor dan membuat analisa terhadap hasil pemeliharaan sebagai tindak pencegahan kondisi dan gejala kerusakan secara dini. Hasil monitor dan analisa hasil *Condition Based Maintenance* merupakan input yang dijadikan sebagai acuan tindak lanjut untuk perbaikan, kapan waktu pemeliharaan diperlukan, dan tingkat prioritas untuk dilakukannya pemeliharaan. Sederhananya ini adalah teknik yang menggunakan analisis data untuk mendeteksi anomaly pada peralatan yang beroperasi dan juga kemungkinan terjadinya kerusakan pada peralatan sehingga dapat dilakukan pemeliharaan sebelum terjadinya kerusakan.

### **2.7.2 Preventive maintenance**

*Preventive Maintenance* atau biasa disebut *Time-Based Maintenance* adalah pemeliharaan yang dilakukan khusus dilakukan Pada suatu peralatan utama distribusi untuk mencegah terjadinya kerusakan peralatan yang tiba-tiba dan mempertahankan unjuk kerja jaringan agar selalu beroperasi dengan tingkat keandalan dan efisiensi yang tinggi. *Preventive Maintenance* dilakukan dalam periode waktu tertentu yang telah ditentukan oleh perusahaan.

### **2.7.3 Health index**

*Health Index* atau indeks kesehatan dari suatu aset adalah tolok ukur untuk dilakukannya pemeliharaan aset. Penjadwalan pemeliharaan aset peralatan distribusi dibuat berdasarkan *Health Index* yang telah didapatkan dari kegiatan

---

<sup>8</sup> SE DIR PT PLN (PERSERO) NO 0018, 2014, *Metode Pemeliharaan Saluran Udara Tegangan Menengah Berbasis Kaidah Manajemen Aset*. Jakarta.



inspeksi / *assessment*. Semakin rendah *Health Index* dari suatu peralatan maka akan menjadi prioritas pemeliharaan sebagai tindak lanjutnya. Berikut tingkatan interpretasi *Health Index* dari SUTM dan Trafo Distribusi :

Tabel 2.2 Interpretasi Skor *Health Index* SUTM

No.	<i>Health Index</i>	<i>Scoring</i>	Deskripsi	Kecepatan <i>Follow-up</i> (hari)
1	<b>Baik</b>	3	Persentase tiang kondisi baik 100%	Tidak diperlukan - mengikuti inspeksi berikutnya
2	<b>Cukup</b>	2	Nilai terendah hasil inspeksi adalah cukup	Tidak diperlukan - mengikuti inspeksi berikutnya
3	<b>Kurang</b>	1	Nilai terendah hasil inspeksi adalah kurang	< 14 hari
4	<b>Buruk</b>	0	Nilai terendah hasil inspeksi adalah buruk	< 7 hari

Tabel 2.3 Interpretasi Skor *Health Index* Trafo Distribusi

No	<i>Health Index</i>	<i>Scoring</i>	Interpretasi
1	<b>Baik</b>	3	Penuaan Normal
2	<b>Cukup</b>	2	Penuaan Cepat
3	<b>Kurang</b>	1	Penuaan Sangat Cepat
4	<b>Buruk</b>	0	Resiko Kegagalan Tinggi

## 2.8 Inspeksi Distribusi

Inspeksi / *assessment* adalah kegiatan yang termasuk ke dalam metode pemeliharaan berbasis kaidah manajemen aset. Kegiatan inspeksi ini dilakukan dalam keadaan bertegangan (*online*) dan dalam periodik waktu tertentu pada seluruh peralatan kerja distribusi, baik jaringan distribusi maupun gardu distribusi. Kegiatan inspeksi umumnya dilakukan oleh tim inspeksi yang terdapat pada Unit Layanan Pelanggan (ULP) PT PLN (Persero). Terdapat beberapa jenis kegiatan inspeksi, yaitu Inspeksi *Tier I* dan Inspeksi *Tier II*. Inspeksi *Tier I* (*Online Assessment Tier I*) adalah melihat kondisi visual jaringan tanpa menggunakan alat-alat tertentu. Inspeksi *tier I* dilakukan pada gardu distribusi maupun jaringan SUTM dengan tujuan untuk melihat apakah terdapat

hal-hal yang tidak standar pada gardu distribusi serta SUTM. Inspeksi *tier* I dilakukan dalam periode waktu 3 bulan sekali. Inspeksi *tier* I pada SUTM terbagi menjadi dua yaitu terkait kebersihan ROW dan visual dari peralatan. Sedangkan inspeksi *tier* I pada gardu distribusi (yang mana berdasar SE Dir No.0017 adalah trafo distribusi) terbagi menjadi dua yaitu inspeksi visual dan pengukuran serta pembacaan beban dan bertujuan untuk mengetahui *health index* (tingkat kesehatan) pada aset. Berikut peralatan yang harus diinspeksi ketika melakukan kegiatan inspeksi *tier* I pada SUTM.

Tabel 2.4 Kegiatan Inspeksi (*Online Assessment*) *Tier* I pada SUTM

No.	Teknik Diagnosa	Item Diagnosa	Deskripsi Kondisi Baik
1	Kebersihan ROW	Pohon	2,5 m dari ROW dan tidak membahayakan jaringan
		Bambu	2,5 m dari ROW dan tidak membahayakan jaringan
		Umbul-umbul	2,5 m dari ROW dan tidak membahayakan jaringan
		Bangunan	2,5 m dari ROW dan tidak membahayakan jaringan
		Layangan	Bersih dari rangka / benang layangan
2	Visual Equipment	Tiang	Tegak dan fisik bagus
		Kawat	Andongan normal dan tidak rantas
		<i>Arrester</i>	Fisik dan konstruksi baik
		<i>Grounding</i>	Terpasang dengan baik
		<i>Fuse Cut Out</i>	Fisik dan konstruksi baik
		Kawat Tanah	Andongan normal dan tidak rantas
		<i>Arm-Tie</i>	Fisik dan konstruksi baik
		<i>Traves</i>	Fisik dan konstruksi baik
		<i>Isolator</i>	Fisik dan konstruksi baik
		<i>Top-ties</i>	Terpasang dengan baik
		<i>Jumper</i>	Terpasang dengan baik
Skur / <i>Druck</i>	Terpasang dengan baik dan bersih dari tanaman		

Tabel 2.5 Kegiatan Inspeksi (*Online Assessment*) Tier I pada Trafo Distribusi

No.	Grup Karakteristik	Karakteristik	Health Index			
			Baik	Cukup	Kurang	Buruk
1	Pembacaan dan Pengukuran Beban	Pembebanan Arus TR (% thp KHA Outlet)	< 60 %	60 % - < 80 %	80 % - < 100 %	≥ 100 %
		Ketidakseimbangan Arus antar Fasa	< 10 %	10 % - < 20 %	20 % - < 25 %	≥ 25 %
		Besar arus netral TR (% terhadap arus beban trafo)	< 10 %	10 % - < 15 %	15 % - < 20 %	≥ 20 %
		Pembebanan Trafo (% terhadap kapasitas)	< 60 %	60 % - < 80 %	80 % - < 100 %	≥ 100 %
2	Inspeksi Visual	Kebocoran Minyak Trafo	Bersih	Packing retak	Packing retak / berminyak	Rembes / Tetees
		Kondisi Fisik Trafo	Mulus	Cacat sirip minor	Cacat sirip mayor	Bengkak
		Pembumian Trafo	< 1,7 Ω	1,7 - < 5 Ω	5 - < 10 Ω	≥ 10 Ω
		Kesesuaian Ampere Fuse TR	Sesuai Standar	Deviasi 1 tingkat di atas standar	Deviasi 2 tingkat di atas standar	Fuse TR tidak ada (by pass)
		Kondisi <i>Low Voltage Switch Board</i> (LVSB)	Boks bersih, instalasi rapi	Boks kotor, instalasi rapi	Boks karatan, instalasi rapi	Boks bocor, instalasi buruk

Setelah dilakukan kegiatan inspeksi Tier I pada SUTM dan juga Trafo Distribusi, maka dilakukan juga kegiatan Inspeksi Tier II (*Online Assesment Tier II*) pada SUTM dan Trafo Distribusi. Kegiatan inspeksi tier II dilakukan dalam keadaan beroperasi dan ditujukan untuk memeriksa kondisi SUTM dan juga Trafo Distribusi beserta peralatan pendukungnya menggunakan peralatan inspeksi khusus, yaitu *Thermovision* atau alat Thermovisi dan juga *Ultra Sound*

*Detector* (USD) untuk mengetahui *Health Index* yang menentukan jadwal inspeksi selanjutnya. Apabila hasil inspeksi menunjukkan kondisi kurang dan juga buruk maka akan dilakukan tindakan perbaikan (*corrective action*). Apabila dilakukan *corrective action* maka *Health Index* akan kembali diremajakan. Kegiatan inspeksi *tier II* ini dilakukan dalam periode waktu 12 bulan (1 tahun) oleh petugas dari PLN atau *outsourcing* (vendor). Berikut peralatan yang harus diinspeksi ketika melakukan kegiatan inspeksi *tier II* pada SUTM dan juga Trafo Distribusi :

Tabel 2.6 Kegiatan Inspeksi (*Online Assesment*) *Tier II* pada SUTM

No.	Teknik Diagnosa	Item Diagnosa
1	<i>Infrared Thermography</i>	<i>Connector / Tension Joint</i>
		<i>Fuse Cut Out</i>
		Terminasi
		<i>Arrester</i>
2	<i>Ultrasound Detector</i>	<i>Connector / Tension Joint</i>
		<i>Fuse Cut Out</i>
		Terminasi
		<i>Arrester</i>
		<i>Isolator</i>

Tabel 2.7 Kegiatan Inspeksi (*Online Assesment*) *Tier II* pada Trafo Distribusi

No.	Grup Karakteristik	Karakteristik
1	<b>Analisis Kualitas Minyak Trafo</b>	Warna dan penampilan
		Tegangan tembus / <i>Breakdown voltage</i> (kV)
2	<i>Infrared Thermovision</i>	<i>Body</i> Trafo
		<i>Bushing</i> TM (Primer)
		<i>Bushing</i> TR (Sekunder)

Setelah dilakukan kegiatan inspeksi *tier II*, maka selanjutnya pada hasil inspeksi akan dilakukan analisa apakah sesuai standar atau tidak sesuai dengan parameter-parameter standar evaluasi yang ada.

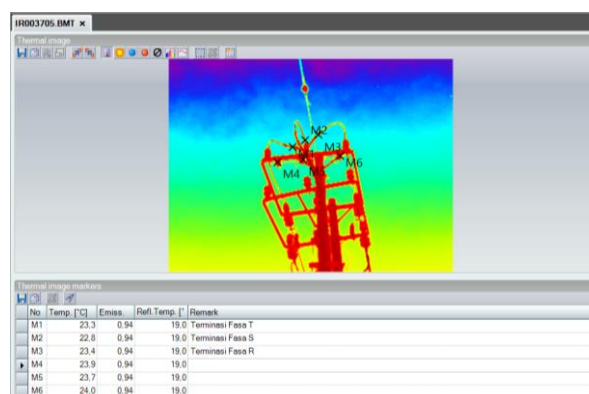




## 2.9 Thermovisi

Thermovisi adalah teknik mendeteksi atau mengetahui suhu panas dari jarak tertentu menggunakan alat inframerah Thermovisi. Thermovisi merupakan salah satu tugas dari tim inspeksi. Inspeksi *tier 2* yaitu inspeksi peralatan menggunakan alat ukur atau alat uji yang salah satunya merupakan Thermovisi. Jadi berdasarkan pengertian di atas tersebut, Thermovisi adalah kegiatan yang harus dilakukan dalam periode waktu tertentu. Thermovisi dilakukan menggunakan alat uji atau alat ukur untuk menemukan suatu kerusakan atau kelainan pada peralatan kelistrikan. Thermovisi dilakukan sesuai dengan instruksi kerja pada saat peralatan bertegangan atau beroperasi.

Selama beroperasi, peralatan yang menyalurkan arus listrik akan mengalami pemanasan. Bagian yang sering mengalami pemanasan dan harus diperhatikan adalah terminal dan sambungan, terutama antara dua metal yang berbeda serta penampang konduktor yang mengecil karena korosi atau rantas. Kenaikan beban yang terjadi, selain meningkatkan rugi-rugi juga dapat berakibat buruk. Apabila panas meningkat, kekuatan mekanis dari konduktor melemah, konduktor bertambah panjang, penampang mengecil, panas bertambah besar, demikian seterusnya, sehingga akibat terparahnya adalah konduktor putus. Pengukuran panas secara langsung pada peralatan listrik yang sedang beroperasi tidak mungkin dilakukan terutama untuk SUTM. Deteksi panas secara tidak langsung dapat dilakukan dengan menggunakan teknik sinar inframerah. Sinar inframerah atau dari spektrum radiasi gelombang elektromagnet.



Gambar 2.9 *Thermal Image*, Contoh Gambar Hasil Thermovisi



### 2.9.1 Alat pengukur suhu (alat thermovisi)

Thermovisi adalah instrument untuk memvisualisasikan dan mendeteksi suhu pada suatu objek yang di tangkap dan di tampilkan ke sebuah *display* dengan teknologi inframerah.

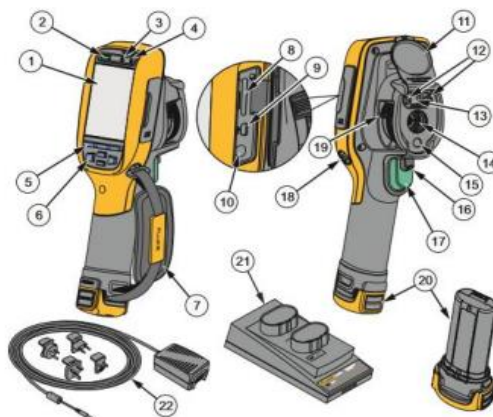
Untuk mengetahui suhu panas pada terminasi ataupun pada peralatan JTM, agar mendapatkan nilai selisih suhu sambungan terhadap suhu konduktor, sehingga dapat mendeteksi keadaan pada peralatan distribusi dalam keadaan normal atau tidak normal, serta membahas metode tentang bilangan yang tidak berdimensi yaitu pengukuran nilai emisivitas untuk memperoleh nilai emisivitas yang akurat dan baik, agar menyatakan bahwa nilai pengukuran suhu memiliki tingkat akurasi dan presisi yang baik. Dalam prakteknya ada 2 macam detektor panas yang digunakan yaitu:

1. *Scanning* yaitu pengukuran secara menyeluruh disekitar obyek. Metode ini juga sering disebut *thermography*.
2. *Spotting* yaitu pengukuran pada satu titik obyek penunjukannya langsung suhu obyek tersebut.

Pada dasarnya alat thermovisi biasa disebut dengan *thermal imagers* atau kamera inframerah. Radiasi sinar inframerah dapat digunakan bermacam-macam, antara lain melihat di dalam kegelapan dan menentukan suhu dari suatu benda dari jarak jauh. Sedangkan teknik melihat suhu dari jauh ini dikenal dengan *thermography*. Dengan cara ini maka dapat diketahui bagian-bagian yang mengalami panas berlebih, di luar kebiasaan. Tingginya suhu dapat dilihat pada skala warna. Bila suhu tertinggi yang terekam masih dibawah yang diizinkan, maka evaluasi foto dianggap normal. Namun bila terjadi pemanasan lebih setempat, sehingga terdapat perbedaan suhu yang signifikan (dari gradasi warna) antar bagian peralatan, berapapun besarnya maka keadaan ini harus segera ditangani, karena pasti terjadi penyimpangan. 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.



Gambar 2.10 Alat Thermovisi

Gambar 2.11 Keterangan *Thermovision* Secara Detil

Tabel 2.8 Keterangan Bagian dan Fungsi Alat Thermovisi

No.	Keterangan
1	<i>LCD display</i>
2	Tombol <i>power ON / OFF</i>
3	<i>Speaker</i>
4	Tombol fungsi Mikrofon
5	Tombol fungsi (F1, F2, dan F3)
6	Tombol panah
7	Tali tangan
8	<i>Slot</i> kartu memori
9	<i>Slot</i> kabel USB
10	Lubang pengisian daya
11	Tutup lensa
12	Senter
13	Kamera dan lensa
14	Lensa inframerah
15	Penunjuk laser



16	Tombol ukunder
17	Tombol utama
18	Tempat tali tangan
19	<i>IR-OptiFlex focus control</i>
20	Baterai Lithium-Ion
21	<i>Adapter AC</i>

### 2.9.2 Tujuan thermovisi <sup>8</sup>

Teknik melihat suhu dari jauh menggunakan *infrared* thermovisi, suhu dapat dilihat pada skala warna (gradasi). Bila suhu tertinggi yang terekam masih di bawah yang diizinkan, maka inspeksi berupa evaluasi foto dianggap normal. Namun bila terjadi pemanasan lebih setempat, sehingga terdapat perbedaan suhu yang signifikan (dari gradasi warna) antar bagian peralatan, berapapun besarnya maka keadaan ini harus segera ditangani, karena pasti terjadi penyimpangan gradasi warna pada infrared. Peralatan-peralatan yang di thermovisi adalah sebagai berikut:

- *Connector / Tension Joint*
- *Fuse Cut Out*
- Terminasi
- *Arrester*

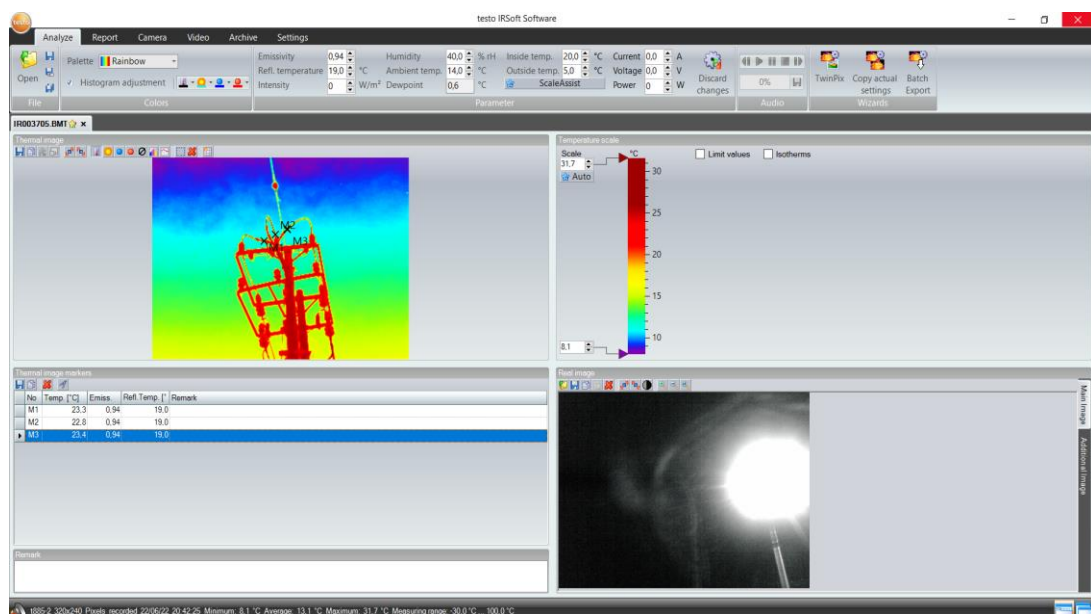
Pada penulisan laporan akhir ini, objek yang dilakukan thermovisi adalah terminasi pada konduktor JTM yang merupakan jaringan konduktor yang datang keluaran / *outgoing* dari kubikel penyulang Tomat 20 kV Gardu Induk Mariana. Dilakukan thermovisi dan ditemukan titik panas yang tidak normal dengan peralatan lainnya. Pemeriksaan thermovisi digunakan untuk melihat titik-titik sambungan pada instalasi Konduktor, hal ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan suhu antara konduktor. Dari thermovisi tersebut akan terlihat hasilnya pada display kamera kondisi suhu pada peralatan.

### 2.9.3 Testo IRSoft software

Setelah melakukan kegiatan Thermovisi menggunakan alat thermovisi, selanjutnya akan dilakukan analisa terhadap suhu dari peralatan-peralatan yang

<sup>8</sup> SE DIR PT PLN (PERSERO) NO 0018, 2014, *Metode Pemeliharaan Saluran Udara Tegangan Menengah Berbasis Kaidah Manajemen Aset*. Jakarta.

telah dilakukan thermovisi. Perlu diketahui bahwa *thermal image* hasil dari thermovisi memiliki format file .BMT yang hanya dapat dibuka menggunakan aplikasi yang telah disediakan oleh produsen kamera thermal yang mana disini adalah Testo. Disini penulis menggunakan aplikasi Testo IRSoft *Software* yang merupakan aplikasi yang telah disediakan oleh Testo pada paket pembelian kamera thermal Testo T885 sebagai aplikasi untuk melihat hasil pengukuran dan pembuatan laporan hasil pengukuran. Berikut tampilan dari Testo IRSoft *Software*:



Gambar 2.12 Tampilan Utama Aplikasi Testo IRSoft *Software*

Pada aplikasi Testo IRSoft *Software* ini terdapat beberapa menu yaitu di antaranya adalah “*Analyze*” dan “*Report*”. Pada menu *Analyze* terdapat beberapa sub-menu yang diantaranya adalah :

- *File* untuk membuka dan menyimpan file *thermal image* hasil thermovisi
- *Colors* yaitu untuk mengatur dan menyesuaikan palet warna pada *thermal image*
- *Parameter* yaitu untuk melihat nilai-nilai seperti persentase kelembaban dan suhu *ambient*



- *Wizards* yaitu untuk melakukan penyimpanan secara *batch thermal image*, menempatkan *thermal image* di atas *real image*, atau bahkan menyalin pengaturan pada *thermal image* yang sedang dibuka

Sedangkan pada menu Report terdapat dua sub-menu yaitu :

- *Create Report*. Digunakan untuk membuat laporan hasil dari Analisa *thermal image*
- *Edit Report*. Digunakan untuk membuka laporan yang telah dibuka sebelumnya

Selain menu dan sub-menu, terdapat juga *work sheet* yang menampilkan beberapa mini bar hasil dari *thermal image*. Beberapa mini bar itu adalah :

- *Thermal Image*, menampilkan *thermal image*. Disini kita dapat membuat titik atau menandai pada *thermal image* untuk melihat berapa suhu pada lokasi-lokasi tertentu yang sebelumnya sudah dijelaskan sesuai dengan Edaran Direksi PT PLN (Persero) No.0018 Tahun 2014 yaitu Terminasi, *Lightning Arrester (LA)*, *Connector / Tension Joint*, dan *Fuse Cut out*. Pada mini bar ini dapat dilakukan pencarian terhadap titik dengan suhu paling rendah maupun suhu tertinggi yang terdapat pada *thermal image* yang telah diambil. *Thermal image* pun dapat diatur seperti dibuat histogramnya, putar gambar, dan sebagainya.
- *Thermal Image Markers*. Disini ditampilkan nilai suhu pada titik atau tanda yang telah dibuat sebelumnya. Pada mini bar ini juga dapat dilakukan perubahan atau *edit* terhadap titik atau tanda yang telah dibuat.
- *Temperature Scale*. Disini ditampilkan skala suhu pada *thermal image* mulai dari suhu tertinggi hingga suhu terendah. Disini juga dapat dilakukan pengaturan terhadap skala suhu yang ada.
- *Real Image*. Disini ditampilkan gambar asli dari *thermal image*. Gambar yang ditampilkan adalah gambar seperti yang diambil menggunakan kamera biasa. Pada mini bar ini dapat diatur tingkat kecerahan dari gambar asli tersebut, dapat juga dilakukan *rotate* atau putar gambar, hapus dan simpan gambar, dan bahkan perbesaran gambar.

#### 2.9.4 Standar evaluasi hasil thermovisi<sup>8</sup>

Pengukuran suhu dengan *thermography* akan selalu memberikan nilai absolut dari objek terukur. Untuk menentukan dengan benar apakah suhu objek terlalu panas (*overheating*), ada dua pendekatan yang harus dilakukan dalam menyikapi hasil ukur yang didapat:

1. Membandingkan hasil ukur, dengan suhu operasi objek.

Suhu operasi adalah suhu normal dengan mempertimbangkan faktor pembebanan pada objek dan pengaruh suhu lingkungan di sekitarnya (*suhu ambient*). Untuk peralatan SUTM yang berada di luar ruangan, suhu operasi objek umumnya hanya 1°C atau 2°C di atas suhu lingkungan (*ambient*), sedangkan untuk peralatan dalam ruangan variasinya akan lebih besar.

2. Membandingkan hasil ukur dengan suhu sekitarnya objek (*suhu ambient*).

pada suhu operasinya, peralatan listrik yang rusak atau bekerja dalam kondisi tidak normal akan memberikan hasil ukur suhu yang berbeda dengan peralatan listrik lain yang sama di sekitarnya. Standar perbedaan suhu ( $\Delta T$ ) berdasarkan pada Surat Edaran Direktur PT PLN (Persero) No.0018 yaitu :

Tabel 2.9 Kriteria Perbedaan Suhu ( $\Delta T$ ) pada SUTM

No.	Kriteria	<b>Objek Diagnosa</b> : <i>Connector / Tension Joint</i> , FCO, Terminasi, dan <i>Arrester</i>	
		$\Delta T$ Terhadap Komponen Pembanding Sejenis	$\Delta T$ Terhadap <i>Ambient Temperature</i>
1	<b>Baik</b>	$\Delta T < 3^{\circ}\text{C}$	$\Delta T < 10^{\circ}\text{C}$
2	<b>Cukup</b>	$3^{\circ}\text{C} \leq \Delta T < 10^{\circ}\text{C}$	$10^{\circ}\text{C} \leq \Delta T < 20^{\circ}\text{C}$
3	<b>Kurang</b>	$10^{\circ}\text{C} \leq \Delta T < 15^{\circ}\text{C}$	$20^{\circ}\text{C} \leq \Delta T < 40^{\circ}\text{C}$
4	<b>Buruk</b>	$\geq 15^{\circ}\text{C}$	$\geq 40^{\circ}\text{C}$

#### 2.10 Hot Spot / Hot Point

Titik panas (*hot spot*) pada peralatan distribusi merupakan sebuah

<sup>8</sup> SE DIR PT PLN (PERSERO) NO 0018, 2014, *Metode Pemeliharaan Saluran Udara Tegangan Menengah Berbasis Kaidah Manajemen Aset*. Jakarta.



parameter yang dipantau dan dianalisa perubahannya setiap saat. *Hot spot* merupakan indikator yang tampil pada display kamera inframerah menunjukkan kondisi terkini suatu peralatan dalam kondisi normal atau tidak. Hal ini berkaitan erat dengan proteksi dan keandalan sistem yang ada pada jaringan. Selama beroperasi, jaringan tegangan menengah yang menghantarkan arus listrik akan mengalami pemanasan, karena kerugian arus mengalir dalam konduktor yang disebabkan oleh hambatan. Banyaknya peralatan yang sudah berusia tua dan jarak peralatan berdekatan dengan perbatasan peralatan yang lain, jadi sering mengalami manuver sehingga rawan muncul suhu panas (*hot spot*). Bagian terminal dan sambungan pada peralatan distribusi adalah bagian yang sering mengalami pemanasan, terutama antara dua metal yang berbeda, serta penampang konduktor yang mengecil karena korosi sehingga bagian tersebut harus di perhatikan. Pada intinya titik panas (*hot spot*) yang terjadi pada sambungan menyebabkan perbedaan suhu yang cukup signifikan dan disebabkan oleh beberapa faktor seperti baut kendur, kualitas material, *lifetime* / masa pakai material, *clamp* yang kotor, dan lain sebagainya. Faktor lain yang menyebabkan titik panas tentunya beban yang diterima peralatan tersebut, terlebih jika terjadi pada saat beban puncak.

Titik panas (*hot spot*) ini terjadi pada setiap sambungan antara Klem dan Konduktor atau antara 2 material yang berbeda, biasanya jenis konduktor yang dipakai berbahan dasar AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*) sedangkan klem berbahan dasar Aluminium dengan penyebab yang telah dijelaskan diatas.

## 2.11 Emisivitas Benda Hitam

Emisivitas adalah rasio energi yang diradiasikan oleh material tertentu dengan energi yang diradiasikan oleh benda hitam (*black body*) pada temperatur yang sama. Emisivitas bergantung pada faktor diantaranya temperatur, sudut elevasi emisi, dan panjang gelombang radiasi. Benda hitam merupakan sebutan untuk benda yang menyerap seluruh radiasi termal yang diterima, dengan tidak memantulkan cahaya dan tidak memungkinkan cahaya apapun untuk melewati atau keluar dari sisi manapun. Energi yang terserap akan memanaskan dan memancarkan radiasinya, radiasi ini yang biasa disebut





dengan radiasi benda hitam. Tidak ada benda yang benar-benar ideal sebagai benda hitam, tetapi ada beberapa benda yang berperilaku layaknya benda hitam. Ini adalah ukuran dari kemampuan suatu benda untuk meradiasikan energi yang diserapnya. Benda hitam sempurna memiliki emisivitas sama dengan 1 ( $\epsilon=1$ ) sementara objek sesungguhnya memiliki emisivitas kurang dari satu. Emisivitas adalah satuan yang tidak berdimensi. Pada umumnya, semakin kasar dan hitam benda tersebut, emisivitas meningkat mendekati 1. Semakin reflektif suatu benda, maka benda tersebut memiliki emisivitas mendekati 0. Sebagai contoh, perak yang disemir dengan sangat baik, memiliki emisivitas 0,02.

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

$$P = e \cdot \sigma \cdot T^4 \rightarrow e = \frac{P}{\sigma \cdot T^4} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

$P$  = energi *thermal conductivity* (Alumunium = 237 W)

$e$  = Koefisien Emisivitas

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

$T$  = Suhu mutlak (K)

## 2.12 Perhitungan Delta T

Pelaksanaan pengukuran temperature menggunakan thermovisi dilakukan di berbagai titik dan dilakukan perbandingan antara tiap titik. Standar pengukuran thermovisi untuk membandingkan suhu antara dua peralatan pembanding sejenis yaitu menggunakan persamaan pendekatan kriteria delta – t ( $\Delta T$ ) adalah sebagai berikut :

$$\Delta T = \left( \frac{I_{maks}}{I_{Saat Thermovisi}} \right)^2 \cdot (T_1 - T_2) \dots\dots\dots (2.2)$$

Sedangkan untuk membandingkan suhu antara peralatan dengan suhu *ambient* atau suhu sekitar yaitu menggunakan persamaan sebagai berikut :



$$\Delta T = \left( \frac{I_{maks}}{I_{Saat Thermovisi}} \right)^2 \cdot (T_{peralatan} - T_{ambient}) \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

$\Delta T$  = Selisih suhu klem terhadap konduktor ( $^{\circ}\text{C}$ )

$I_{maks}$  = Arus maksimal (A)

$I_{saat thermovisi}$  = Arus saat thermovisi (A)

$T_1$  dan  $T_2$  = Suhu peralatan yang sejenis ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{peralatan}$  = Suhu peralatan ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{ambient}$  = Suhu sekitar peralatan saat melakukan thermovisi ( $^{\circ}\text{C}$ )