



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pemanfaatan Tenaga Listrik^[10]

Tenaga listrik sebagai bagian dari bentuk energi dan cabang produksi yang penting bagi negara dapat menunjang upaya dalam memajukan dan mencerdaskan bangsa. Sebagai salah satu hasil pemanfaatan kekayaan alam yang menguasai kehidupan orang banyak, tenaga listrik perlu dipergunakan untuk kesejahteraan dan kemakmuran rakyat. 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 satu kesatuan yang terinterkoneksi. Suatu sistem tenaga listrik terdiri dari tiga bagian utama, yaitu: pusat pembangkit listrik, saluran transmisi, dan sistem distribusi.

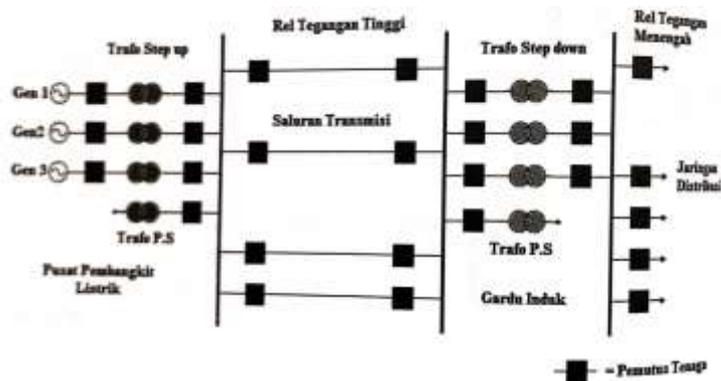
Tenaga listrik tentunya sangat bermanfaat bagi kehidupan manusia. Namun di sisi lain, listrik mempunyai potensi membahayakan bagi manusia dan berpotensi merusak lingkungan. Beberapa permasalahan di bidang ketenagalistrikan jika dilihat dari sisi pemanfaatan tenaga listrik adalah banyak instalasi tenaga listrik yang digunakan masih belum memenuhi standar semestinya. Di samping itu, untuk menjamin keselamatan manusia di sekitar instalasi, keselamatan pekerja, keamanan instalansi dan kelestarian fungsi lingkungan, usaha penyediaan tenaga listrik dan pemanfaatan tenaga listrik harus memenuhi ketentuan mengenai keselamatan ketenaga-listrikan.

Banyak 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 bentuk ke bentuk lain, serta memanfaatkannya tanpa menimbulkan pencemaran yang dapat merusak lingkungan hidup kita.

¹⁰ Suhadi dkk, 2008, *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1*, Jakarta, Hal 1

2.2 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan sebuah sistem kelistrikan yang menyalurkan daya listrik dari pembangkit listrik ke konsumen. Daya listrik yang disalurkan tersebut melalui sebuah jaringan yang disebut transmisi dan distribusi. Melalui jaringan ini daya listrik dapat dimanfaatkan oleh konsumen berdasarkan kebutuhan masing-masing pelanggan. Dalam penyalurannya, komponen-komponen tersebut tidak dapat dipisahkan satu sama lain. Oleh karena itu, secara umum sistem ketenagalistrikan dibagi atas tiga bagian utama, yaitu pembangkit, transmisi, dan distribusi. Ketiga komponen utama tersebut dapat dijelaskan melalui gambar berikut.



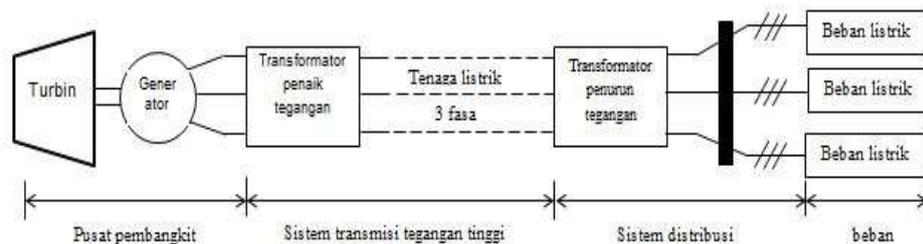
Gambar 2.1 Sistem ketenagalistrikan diagram satu garis

Gambar 2.1 di atas menunjukkan bahwa daya listrik yang digunakan oleh konsumen disalurkan melalui jaringan transmisi dan distribusi. Daya tersebut dihasilkan oleh pembangkit yang dikopel dengan generator. Jenis pembangkit listrik yang digunakan, seperti pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), Pembangkit listrik tenaga air (PLTA), atau jenis pembangkit lainnya. Melalui trafo *step-up* (penaik tegangan), tegangan yang dihasilkan dari generator kemudian disalurkan melalui jaringan transmisi ke distribusi. Sebelum disalurkan melalui jaringan distribusi, tegangan tersebut diturunkan kembali melalui trafo *step-down* (penurunan tegangan). Melalui trafo distribusi, daya listrik tersebut akan disalurkan ke konsumen berdasarkan kebutuhan masing-masing pelanggan. ^[5]

⁵Marwan, S.T. 2018. *Komputasi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta. Penerbit Andi. Hal 1-2

Pada suatu sistem yang cukup besar, tegangan yang keluar dari generator harus dinaikkan lebih dahulu dari tegangan menengah menjadi tegangan tinggi atau tegangan ekstratinggi. Penyaluran energi listrik melalui jarak yang jauh dilakukan dengan menaikkan tegangan guna memperkecil kerugian yang terjadi, berupa rugi-rugi daya.

Ada dua kategori saluran transmisi, yaitu saluran udara (*overhead line*), dan saluran bawah tanah (*underground*). Yang pertama menyalurkan tenaga listrik melalui kawat-kawat yang digantung pada tiang-tiang transmisi dengan perantaraan isolator, sedang saluran kategori kedua menyalurkan listrik melalui kabel bawah tanah. Kedua cara penyaluran mempunyai untung rugi sendiri sendiri. Dibandingkan dengan saluran udara, saluran bawah tanah tidak terpengaruh perubahan cuaca seperti hujan angin, petir, dan lain sebagainya. Saluran bawah tanah juga lebih estetik karena tidak mengganggu pandangan. Sayangnya, biaya penanggungannya lebih mahal dibanding saluran udara dan perbaikannya lebih sulit bilamana terjadi hubung singkat. Di samping itu juga masih ada kesukaran lain. ^[3]



Gambar 2.2 Sistem Tenaga Listrik

³Berlian taufik, cekdin cekmas. 2013. *Transmisi Daya Listrik*. Yogyakarta. Penerbit Andi. Hal 1-3

2.3 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 :

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.



Gambar 2.3 Penyaluran Transmisi

2. Saluran Distribusi

Saluran Distribusi adalah sistem penyaluran tenaga listrik yang beroperasi pada Tegangan Menengah (TM) dan Tegangan Rendah (TR).

a. Jaringan Distribusi Primer

Sistem distribusi primer digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk distribusi ke pusat-pusat beban, maupun kabel tanah sesuai dengan tingkat kehandalan yang diinginkan dan kondisi serta kondisi serta situasi lingkungan. Sistem distribusi primer dibatasi dari sisi sekunder trafo step down TT/TM di gardu induk sampai ke sisi primer trafo distribusi (trafo step down TM/TR).

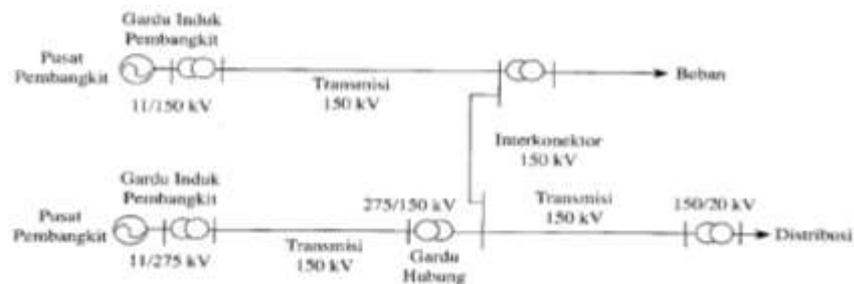
b. Jaringan Distribusi Sekunder

Sistem Distribusi Sekunder digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu distribusi ke instalasi pengguna tenaga listrik. Sistem ini biasanya disebut tegangan rendah yang langsung dihubungkan kepada konsumen/pemakai tenaga listrik. Sistem distribusi sekunder dibatasi dari sisi sekunder trafo distribusi (trafo stepdown TM/TR) sampai titik Sambungan Luar Pelayanan (SLP) atau konsumen. Saluran distribusi ini menggunakan tegangan rendah yaitu 220/380 volt.

2.4 Gardu Induk

Tegangan yang dibangkitkan generator terbatas dalam belasan kilovolt, sedangkan transmisi membutuhkan tegangan dari puluhan sampai ratusan kilovolt, sehingga di antara pembangkit dengan transmisi dibutuhkan trafo daya step up. Maka, semua perlengkapan yang terpasang di sisi sekunder trafo ini harus mampu memikul tegangan tinggi. Sebaliknya, tegangan transmisi dari puluhan sampai ratusan kilovolt, sedangkan konsumen membutuhkan tegangan dari ratusan volt sampai puluhan kilovolt, sehingga di antara transmisi dengan konsumen dibutuhkan trafo daya step down. Semua perlengkapan yang terpasang di sisi primer trafo ini juga harus mampu memikul tegangan tinggi. Trafo-trafo daya ini bersama dengan perlengkapan-perengkapannya disebut gardu induk. Jenis gardu induk dilihat dari fungsinya dibagi atas: gardu induk pembangkit, gardu induk beban dan gardu induk hubung. sedangkan dilihat dari jenis trafo daya yang terpasang, gardu induk dibagi atas gardu induk step up dan gardu induk step down. Gardu induk merupakan sub sistem dari sistem penyaluran (transmisi)

tenaga listrik, atau merupakan satu kesatuan dari sistem penyaluran (transmisi). Penyaluran (transmisi) merupakan sub sistem dari sistem tenaga listrik ^[4]



Gambar 2.4 Diagram garis sistem tenaga listrik interkoneksi

^[2] Gardu induk dapat juga dibagi berdasarkan penempatan instalasi peralatannya, yaitu gardu induk pasangan dalam dan gardu induk pasangan luar.

1. Gardu Induk Pasang Luar

Gardu induk jenis pasangan luar terdiri dari peralatan tegangan tinggi pasangan luar. Misalnya, transformator utama, peralatan penghubung (*switchgear*), dan sebagainya yang mempunyai peralatan kontrol pasangan dalam seperti meja penghubung (*switch board*) dan batere. Gardu induk untuk transmisi, yang mempunyai kondensator sinkron pasangan pada sisi tersier trafo utama dan trafo pasangan dalam, pada umumnya disebut juga sebagai jenis pasangan luar. Jenis pasangan luar memerlukan tanah yang luas namun biaya konstruksi yang murah dan penanganannya yang mudah. Karena itu, G.I jenis ini biasa dipakai di pinggir kota di mana harga tanah murah.

2. Gardu Induk Pasangan Dalam

Dalam GI jenis pasangan dalam ini, baik peralatan tegangan tinggi, seperti trafo utama, peralatan penghubung dan sebagainya, maupun peralatan kontrolnya, seperti meja penghubung dan sebagainya terpasang di dalam. Meskipun sebagian kecil ada yang terpasang di luar, GI ini disebut juga jenis pasangan dalam. Bila sebagian dari peralatan tegangan tingginya dipasang di

⁴ Bonggas L Tobing. 2012. *Peralatan Tegangan Tinggi*. Jakarta. Penerbit Erlangga. Hal 2

² Aris Munandar, Kuwahara. 2004. *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik* jidil III. Jakarta. Hal 1

bawah tanah, GI itu dapat disebut jenis pasangan setengah bawah tanah (*semi underground type*). Jenis pasangan dalam dipasang di pusat kota, di mana harga tanah mahal, dan di daerah pantai di mana ada pengaruh kontaminasi garam. Di samping itu jenis ini dipakai untuk menjaga keselarasan dengan daerah sekitarnya, juga untuk menghindari kebakaran dan gangguan suara.



Gambar 2.5 Gardu Induk Pasang Luar



Gambar 2.6 Gardu pasang dalam atau GIS

2.4.1 Fasilitas dan Peralatan Gardu Induk ^[2]

Gardu Induk dilengkapi dengan fasilitas dan peralatan yang diperlukan sesuai dengan tujuannya, dan mempunyai fasilitas untuk operasi dan pemeliharannya, sebagai berikut:

1. Transformator Utama

Trafo utama dipakai untuk menurunkan atau menaikkan tegangan; di GI ia menurunkan tegangan, di pusat pembangkit ia menaikkan tegangan.

²Aris Munandar, Kuwahara. 2004. *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik* jilid III. Jakarta. Hal 2-4

Ada 2 jenis transformator: 1 fasa dan 3 fasa. Akhir-akhir ini banyak yang terlihat kemajuan dalam teknik pembuatan trafo, dan keandalannya makin baik. Trafo 3 fasa banyak dipakai karena menguntungkan. Demikian pula halnya dengan pengubah penyalap berbeban, kemampuan makin baik, lebih awet dan pemeliharaannya mudah. Oleh karena itu makin banyak dipakai pengubah penyalap berbeban untuk GI tegangan sangat tinggi.

2. Alat Pengubah Fasa

Alat pengubah fasa dipakai untuk mengatur jatuh tegangan pada saluran atau transformator dengan mengatur daya reaktif, atau untuk menurunkan rugi daya dengan memperbaiki faktor daya. Alat tersebut ada yang berputar, ada yang stasioner. Yang berputar adalah kondensator statis dan reaktor shunt. Yang berputar dipakai baik kontinu. Tetapi alat ini sangat mahal dan pemeliharaannya rumit. Alat yang stasioner sekarang ini banyak dipakai menggantikan alat yang berputar, sebab teknik pembuatannya telah banyak mengalami kemajuan pesat, tegangannya dapat diatur tanpa kesulitan dengan penyetelan daya reaktif secara bertingkat mengikuti perluasan sistim tenaga listrik.

3. Peralatan penghubung

Saluran transmisi dan distribusi dihubungkan dengan GI jadi GI ini merupakan tempat pemusatan dari tenaga yang dibangkitkan dan interkoneksi dari sistim transmisi dan distribusi kepada para pelanggan. Saluran transmisi dan distribusi ini dihubungkan dengan ril (bus) melalui transformator utama. Setiap saluran mempunyai pemutus beban (*circuit breaker*) dan pemisah (*disconnect swith*) pada sisi keluarnya. Pemutus beban ini dipakai untuk menghubungkan atau melepaskan beban. Jika terjadi gangguan pada saluran transmisi atau alat lain, pemutus beban itu dipakai untuk memutuskan hubungan secara otomatis. Jika saluran transmisi dan distribusi, transformator, pemutus beban dan sebagainya mengalami perbaikan atau pemeriksaan, pemisah dipakai untuk memisahkan saluran dan peralatan tadi. Pemutus beban dan pemisah

dinamakan peralatan penghubung (*switchgear*).

4. Panel-Hubung dan Trafo Ukur

Panel-Hubung (*Switchboard*) merupakan pusat syaraf bagi suatu Gardu Induk. Pada panel hubung inilah operator dapat mengamati keadaan peralatan, melakukan operasi peralatan serta pengukuran-pengukuran tegangan, arus dan daya dan sebagainya, setiap waktu bila dipandang perlu. Bila terjadi gangguan, panel hubung itu membuka pemutus beban (secara otomatis) melalui rele pengaman dan memisahkan bagian yang terganggu. Karena tegangan dan arus tidak dapat diukur langsung pada sisi tegangan tinggi, maka transformator ukur (instrument) mengubahnya menjadi tegangan dan arus yang rendah, dan sekaligus memisahkan alat-alat ukur tadi dari sisi tegangan tinggi. Ada tiga jenis transformator ukur: Transformator tegangan, transformator arus, dan transformator tegangan dan arus.

5. Alat Pelindung

Alat-alat pelindung (*protective device*) dalam arti luas, di samping pemutus beban dan rele pengaman adalah sebagai berikut:

Arrester mengamankan peralatan GI terhadap tegangan lebih abnormal yang bersifat kejutan (*surja, surge*), misalnya kejutan petir dan surja hubung (*switching surge*). Akhir-akhir ini arrester jenis tiupan magnetis umum dipakai.

Beberapa peralatan netral sering dipakai di titik netral transformator untuk pengamanan pada waktu terjadi gangguan tanah. Tahanan pembumian netral dipakai untuk menekan tegangan lebih abnormal dan untuk memastikan bekerjanya rele pengaman. Kumputan pemadam busur api dipakai untuk menghilangkan atau memadamkan busur api tanah secara otomatis, atau reaktor pembumian netral dipasang untuk kompensasi arus kapasitif urutan fasa no, sering pula dipasang arrester pada titik netral transformator untuk pengamanan isolasinya.

6. Peralatan Lain-lain

Disamping peralatan tersebut di atas ada peralatan pembantu (auxiliary), seperti alat pendingin, alat pencuci isolator, batere, pengisi batere, kompresor, sumber tenaga, alat penerangan, dan sebagainya. Dalam operasinya G.I. berhubungan dengan pusat pembagi beban (load dispatching centre). Oleh karena itu harus ada pula peralatan komunikasi. Disamping itu G.I. yang penting sering dilengkapi pula dengan peralatan komunikasi untuk pengukuran jauh (telemetry) dan supervisi. Gardu-gardu yang tua kebanyakan dilengkapi pula dengan peralatan yang diperlukan untuk pemeliharaan, seperti misalnya ruang bongkar transformator, fasilitas untuk pemindahan transformator, bengkel, dan sebagainya. Sekarang fasilitas-fasilitas demikian sudah jarang dipasang, sebab keandalan peralatan G.I. sudah makin baik dan pemeliharaannya menjadi lebih mudah.

7. Bangunan / Gedung

Gedung G.I. berbeda-beda tergantung pada skala dan jenis G.I. Pada G.I. jenis pasangan luar, disamping panel hubung dan sumber tenaga untuk kontrol, hanyalah peralatan komunikasi dan kantor yang harus ada di dalam gedung. Oleh karena itu gedungnya kecil saja dibandingkan dengan G.I. jenis pasangan-dalam. Alat perlengkapan untuk gedung antara lain terdiri dari alat penerangan, instalasi air minum dan pembuang (drainage), alat pemadam api, ventilasi dan sebagainya. Selain itu kebanyakan disediakan pula perumahan pegawai untuk operator dan tukang di sekitar G.I.

2.5 Thermovisi

2.5.1 Predictive Maintenance ^[9]

Predictive Maintenance disebut juga dengan Pemeliharaan Berbasis Kondisi (*Condition Based Maintenance*). *Condition Based Maintenance* adalah pemeliharaan yang dilakukan dengan cara melakukan monitor dan membuat

⁹SK DIR PT. PLN (PERSERO), 2014, *Buku Pedoman SUTT/SKTT*. Jakarta. Hal 65

analisa tren terhadap hasil pemeliharaan untuk dapat memprediksi kondisi dan gejala kerusakan secara dini. Hasil monitor dan analisa hasil *Predictitive Maintenance* merupakan input yang dijadikan sebagai acuan tindak lanjut untuk *Planned Corrective Maintenance*.

Pada *Predictive Maintenance* ruang lingkup pengujian yang dilakukan adalah *In Service Measurement* yang artinya adalah pengujian yang dilakukan saat peralatan sedang beroperasi (bertegangan) untuk dapat memprediksi kondisi dan gejala kerusakan peralatan. Untuk SUTT/ SUTET, uraian kegiatan yang dilaksanakan meliputi pengujian thermovisi, ranging meter, puncture insulator, resistansi pentanahan tower.

2.5.2 Pengujian Thermovisi

Selama beroperasi, peralatan yang menyalurkan arus listrik akan mengalami pemanasan karena adanya I^2R . 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 I^2R , disamping meningkatkan rugi-rugi juga dapat berakibat buruk karena bila panas meningkat, kekuatan mekanis dari konduktor melemah, konduktor bertambah panjang, penampang mengecil, panas bertambah besar, demikian seterusnya, sehingga konduktor putus. Pengukuran panas secara langsung pada peralatan listrik yang sedang beroperasi tidak mungkin dilakukan terutama untuk SUTTT dan SUTET, karena tegangannya yang tinggi. Deteksi panas secara tidak langsung dapat dilakukan dengan menggunakan teknik sinar infra merah. Sinar infra merah atau *infrared* (disingkat IR) sebenarnya adalah bagian dari spektrum radiasi gelombang elektromagnet. ^[10]

Thermovisi adalah teknik mendeteksi atau mengetahui suhu panas dari jarak tertentu menggunakan alat inframerah Thermovisi. Thermovisi merupakan salah satu tugas operator yaitu melakukan CBM Level 1 dan Level 2. CBM level 1 merupakan suatu kegiatan pemeliharaan peralatan yang dilakukan setiap hari menggunakan indera manusia. CBM level 2 yaitu pemeliharaan peralatan

¹⁰SK DIR PT. PLN (PERSERO), 2014, *Buku Pedoman SUTT/SKTT*. Jakarta. Hal 65

menggunakan alat ukur atau alat uji salah satunya Thermovisi. Jadi berdasarkan pengertian di atas tersebut, Thermovisi adalah kegiatan yang harus dilakukan dalam periode waktu tertentu. Thermovisi merupakan bagian dari CBM level 2 (*Condition Based Maintenance*) yang 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 (*In Service Measurement*).



Gambar 2.7 Contoh tampilan display Thermovisi.

2.5.3. Tujuan Thermovisi

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 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 infra red. Peralatan yang di thermovisi pada klem/sambungan konduktor adalah sebagai berikut:

- klem pada jaringan Tower
- klem pada jaringan PMT
- klem pada jaringan PMS
- klem pada jaringan CT
- klem pada jaringan PT/CVT
- klem pada jaringan LA
- klem pada jaringan Busbar
- klem pada Trafo Tenaga.

Pada penulisan laporan akhir ini, objek yang dilakukan thermovisi adalah *clamp junction* pada konduktor yang merupakan jaringan konduktor yang datang dari tower menuju *Lightning Arrester* pada switchyard 150 kV Gardu Induk Keramasan. Dilakukan thermovisi dan ditemukan titik panas yang tidak normal dengan peralatan lainnya. Pemeriksaan thermovisi digunakan untuk melihat titik-titik sambungan pada instalasi Konduktor dan klem, hal ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan suhu antara konduktor dan klem. Dari thermovisi tersebut akan terlihat hasilnya pada display kamera kondisi suhu pada peralatan.

2.5.4 Standar Evaluasi Hasil Thermovisi ^[10]

Pengukuran suhu dengan *thermography* akan selalu memberikan nilai absolut dari objek terukur. Untuk menentukan dengan benar apakah suhu objek terlalu

¹⁰ SK DIR PT. PLN (PERSERO), 2014, *Buku Pedoman SUTT/SKTT*. Jakarta, hal 66-67.

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 SUTT/SUTET 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 hasil ukur objek lain yang sama di sekitarnya (objek tetangga).

pada suhu operasinya, peralatan listrik yang rusak atau bekerja dalam kondisi tidak normal akan memberikan hasil ukur yang berbeda dengan peralatan listrik lain yang sama di sekitarnya. Perbedaan hasil ukur ini (Δt), dikelompokkan menjadi 3 (tiga) kategori, yaitu:

Tabel 2.1 Standar evaluasi hasil ukur Thermovisi

KATEGORI	HASIL UKUR (Δt)	KONDISI
I	$< 5^{\circ}\text{C}$	Awal kondisi panas berlebih (<i>overheating</i>)
II	$5^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}$	peningkatan panas berlebih (<i>overheating</i>)
III	$>30^{\circ}\text{C}$	panas berlebih akut (<i>overheating</i>)

Tabel 2.2 Rekomendasi tindakan

KATEGORI	HASIL UKUR (Δt)	REKOMENDASI
I	$< 5^{\circ}\text{C}$	Lanjutkan pengukuran rutin 6 bulanan
II	$5^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}$	Dijadwalkan perbaikan atau penggantian maksimal 1 bulan

III	>30°C	Perbaikan atau penggantian secepatnya maksimal 1 minggu
-----	-------	---

Standard kondisi ini dilihat dari pengukuran suhu perbandingan antara klem dan konduktor serta peralatan antar fasa, arus mamaksimal yang pernah tercapai dan arus pada saat dithermovisi.

2.5.5 Alat Pengukur Suhu (Alat Thermovisi)

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 penunjukkannya 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.

Pada pengukuran ini, alat yang digunakan adalah alat ukur thermovisi. Alat ukur thermovisi yang digunakan juga merupakan kamera inframerah seperti alat ukur lainnya. Pada alat ukur ini, cara yang digunakan adalah *Spotting*, yaitu pengukuran pada satu titik objek penunjukannya langsung suhu objek tersebut.

Prinsip dasar dari alat ini adalah semua objek memancarkan energi inframerah. Semakin panas suhu benda, maka molekulnya semakin aktif dan semakin banyak energi inframerah yang dipancarkan. *Infrared Thermovisi* mengukur suhu menggunakan radiasi kotak hitam (inframerah) yang dipancarkan objek untuk membantu pekerjaan pengukuran atau thermovisi tanpa sentuhan untuk menggambarkan kemampuan alat mengukur suhu dari jarak jauh. Dengan mengetahui jumlah energi inframerah yang dipancarkan oleh objek dan emisinya, temperatur objek dapat dibedakan.

Desain utama dari Infrared Thermovisi yakni lensa pemfokus energi inframerah pada detektor, yang mengubah energi menjadi sinyal elektrik yang bisa ditunjukkan dalam unit temperatur setelah disesuaikan dengan variasi temperatur lingkungan. Konfigurasi fasilitas pengukur suhu ini bekerja dari jarak jauh tanpa menyentuh objek. Dengan demikian, Infrared Thermovisi berguna mengukur suhu pada keadaan di mana sensor tipe lainnya tidak dapat digunakan atau tidak menghasilkan suhu yang akurat untuk beberapa keperluan. Infrared Thermovisi ini cara penggunaannya hanya diarahkan ke media atau benda yang akan diukur suhunya, maka alat ini akan membaca suhu media tersebut. Kelebihan dan kekurangan dalam menggunakan alat thermovisi ini adalah sebagai berikut :

1. Kelebihan

- Tidak mempengaruhi objek yang diukur sama sekali
- Objek yang kecil juga dapat terukur.
- Dapat mengukur transient suhu.

2. Kekurangan

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

2.5.6 Informasi FLIR E Series ^[7]

1. Instruksi kerja ini dilaksanakan dalam keadaan instalasi bertegangan, berbeban maupun tidak berbeban.
2. Alat ini membangkitkan energy radio frekwensi sehingga dapat mempengaruhi frekwensi komunikasi, maka wajib memahami isi dari buku manual alat.
3. Jangan menggunakan sinal laser langsung ke mata karena akan menimbulkaniritasi.
4. Jangan membongkar batere atau memodifikasi, karena batere asli telah dilengkapi dengan pengaman terhadap hubung singkat dan pemanasan yang berlebihan.
5. Jangan melanjutkan penginderaan noktah panas jika diketahui kapasitas batere sudah rendah, maka segera diganti dengan batere yang sudah baik kapasitasnya. Gunakan batere yang sudah kecil kapasitasnya jika akan alat akan disimpan dengan batere terpasang.
6. Jangan menggunakan kamera ini pada kondisi sinar matahari dalam kondisi penuh tanpa dilengkapi dengan pelindung lensa. Seperti digunakan untuk mengukur panas matahari langsung dalam waktu yang lama sebab akan merusak keakuratan kamera menyebabkan rusaknya alat penditeksi didalam kamera.
7. Jangan menggunakan kamera pada daerah atau ruangan dengan temperature diatas 50°C sebab akan merusak kamera tersebut.
8. Jangan menggunakan batere yang terpasang pada kamera jika sumber tegangan disambungkan ke colokan penyulut rokok pada kendaraan (Car's Cigarette lighter).
9. Buanglah batere bekas sesuai penempatannya dan jangan di bakar pada api.
10. Jangan menggunakan thinner atau cairan lain yang sama pada kamera, kabel dan peralatan bantu (accessories) yang lain.

⁷ PT. PLN (PERSERO) P2JB. 2008. *Instruksi kerja penginderaan noktah panas*. Jakarta. Hal 7

11. Hati-hati pada saat membersihkan lensa infra merah sebab akan merusak lapisan pelindung lensa.

2.6 Hot point

Suhu panas (*hot point*) titik panas yang terjadi pada sambungan menyebabkan perbedaan suhu yang cukup signifikan dan disebabkan oleh beberapa faktor seperti baut kendur, kualitas material, life time material, clamp kotor dan lain-lain. Hot point dapat menghambat sistem penyaluran energi listrik, oleh sebab itu dibutuhkan penanganan yang tepat. ^[6]

Hot point 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 di gardu induk. Selama beroperasi, peralatan gardu induk 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 point*). Bagian terminal dan sambungan pada switchyard 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..

Titik panas (*hot point*) 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.

2.7 Lightning Arrester

2.7.1 Pengertian Lightning Arrester^[8]

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

⁶ PT. PLN (PERSERO). 2019. *Knowledge Sharing ULTG Keramasan*. Hal 3

⁸ SK DIR 0520 PT. PLN (Persero). 2014. *Buku pedoman final LA*. Jakarta. Hal 3

(SK-DIR PT PLN NOMOR 0520 TAHUN 2014). Surja bisa merambat di dalam konduktor saat peristiwa sebagai berikut :

- Kegagalan sudut perlindungan petir, sehingga surja petir mengalir di dalam konduktor
- Backflashover akibat nilai pentanahan yang tinggi, baik itu di gardu induk maupun disaluran transmisi
- Proses switching CB/DS
- Gangguan fasa-fasa atau fasa-tanah baik di gardu induk maupun di saluran transmisi

Pada saat peristiwa surja, *travelling wave*/gelombang berjalan merambat di penghantar sistem transmisi dengan kecepatan mendekati kecepatan cahaya. Surja dengan panjang gelombang dalam orde mikro detik ini berbahaya bila nilai tegangan surja yang tiba di peralatan lebih tinggi dari level BIL (*Basic Insulation Level*) peralatan. Untuk itu, LA dipasang untuk memotong tegangan surja dengan cara mengalirkan arus surja ke tanah dalam orde sangat singkat, dimana pengaruh *follow current* tidak ikut serta diketanahkan.

Selain melindungi peralatan dari tegangan lebih yang diakibatkan oleh tegangan lebih eksternal, arrester juga melindungi peralatan dari tegangan lebih yang diakibatkan oleh tegangan lebih internal seperti surja hubung. Surja hubung merupakan suatu gangguan tegangan lebih yang muncul secara internal yang disebabkan oleh lepas beban (karena gangguan alam) dan fluktuasi beban. Selain itu arrester juga merupakan kunci dalam koordinasi isolasi suatu sistem tenaga listrik. Bila surja hubung datang ke gardu induk maka arrester akan bekerja melepaskan muatan listrik serta mengurangi tegangan abnormal yang mengenai peralatan dalam gardu induk.



Gambar 2.8 *Lightning Arrester* Gardu Induk 150 kV

2.7.2 Konstruksi *Lightning Arrester* ^[8]

LA di saluran transmisi ataupun di gardu induk, memiliki konstruksi yang hampir serupa. Komponen utama dari LA adalah varistor/ komponen aktif yang terbuat dari Zinc Oxide. Varistor ini berbentuk keping blok, tersusun di dalam *housing/* kompartemen yang terbuat dari porselen ataupun polymer. Selain sebagai penyangga, *housing* ini juga berfungsi untuk menginsulasi antara bagian bertegangan dan tanah pada tegangan operasi LA. LA juga dilengkapi dengan katup *pressure relief* di kedua ujungnya. Katup ini berfungsi untuk melepas tekanan internal yang berlebih, pada saat LA dilalui arus surja.

2.7.3 *Thermovisi* Pada *Lightning Arrester*

Pengukuran *thermovisi* dilakukan juga pada *Lightning Arrester* pada Gardu Induk 150 kV. Bertujuan untuk melihat dan menemukan titik panas pada peralatan sehingga dapat mengetahui kondisi terkini peralatan *Lightning Arrester*. Adapun material yang dilakukan *thermovisi* sebagai berikut:

1. Dead End Clamp Line
2. Konduktor Dead End Clamp Line
3. Klem Penghubung Konduktor Atas
4. Konduktor Klem penghubung atas
5. Klem Penghubung Konduktor LA

⁸ SK DIR 0520 PT. PLN (Persero). 2014. *Buku pedoman final LA*. Jakarta. Hal 4



6. Konduktor penghubung Konduktor LA
7. Konduktor LA
8. Klem LA

2.8 Perhitungan Delta T

Pelaksanaan pengukuran temperature menggunakan thermovisi dilakukan di dua titik yaitu, temperature pada konduktor dan temperature pada klem sambungan. Standard pengukuran thermovisi untuk membandingkan suhu klem dan suhu konduktor menggunakan persamaan pendekatan kriteria delta – t (ΔT) adalah sebagai berikut :

$$\Delta T = \left(\frac{I \text{ maks}}{I \text{ Saat Thermovisi}} \right)^2 \cdot (T \text{ klem} - T \text{ konduktor})$$

..... (2.1)

Keterangan :

ΔT	= Selisih suhu klem terhadap konduktor
I maks	= Arus maksimal
I saat thermovisi	= Arus saat thermovisi
T klem	= Suhu klem (sambungan)
T konduktor	= Suhu konduktor

2.9 Perhitungan Emisivitas

Emisivitas dari sebuah bahan adalah rasio dari total energi yang dipancarkan oleh permukaan bahan terhadap energy yang dipancarkan oleh *black body* pada suhu dan panjang gelombang yang sama. Emisivitas adalah sebuah kemampuan bahan untuk menyerap dan memancarkan energy inframerah. Emisivitas adalah besaran dimensional yang tidak memiliki satuan. Untuk memperoleh nilai suhu yang akurat dari sebuah pengukuran, jadi harus diketahuinya nilai emisivitas. Pengukuran emisivitas dapat menggunakan aplikasi Flir Tools yang dapat secara langsung menampilkan nilai emisivitas pengukuran suhu suatu peralatan dan dapat juga dilakukan dengan perhitungan manual menggunakan rumus.

Nilai emisivitas akan dicari menggunakan rumus perpindahan radiasi hukum.

Rumus yang digunakan dalam perhitungan nilai emisivitas ini sebagai berikut :

$$P = e \cdot \sigma \cdot T^4 \rightarrow e = P / \sigma T^4 \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

P = energi *thermal conductivity* (Alumunium = 237 W / m²)

e = Emisivitas

σ = Konstanta Stefan Boltzman = 5,672 x 10⁻⁸ Watt / m² K⁴

T = Suhu mutlak (K)

2.10 Pengertian Bay Penghantar

Bay merupakan susunan peralatan switching yang terdapat pada *switchyard* 70 kV sampai 500 kV. Pada bay penghantar tersusun komponen listrik yang saling terhubung untuk mengalirkan tenaga listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah ataupun sebaliknya. Urutan pada bay penghantar berdasarkan material transmisi sebagai berikut :

- Lightning Arrester

Lightning Arrester merupakan peralatan yang berfungsi untuk melindungi peralatan listrik lain dari tegangan surja

- Potential Transformator

Berfungsi untuk merubah besaran tegangan dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau memperkecil besaran tegangan listrik pada sistem tenaga listrik, menjadi besaran tegangan untuk pengukuran dan proteksi.

- Pemisah Tegangan

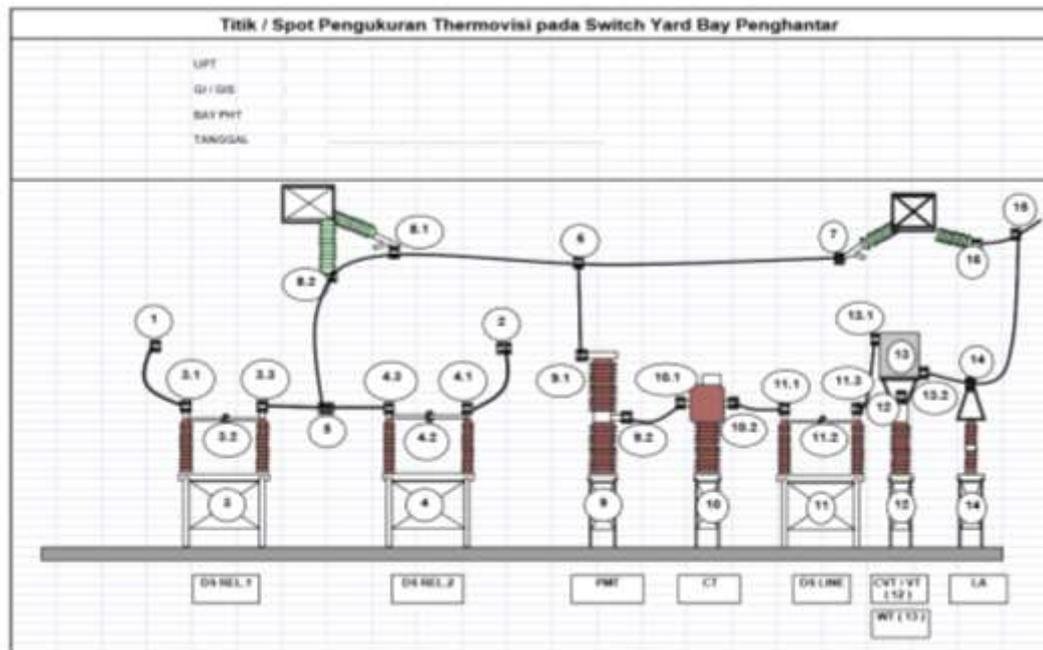
Saklar pemisah ini terpasang pada penghantar atau kabel yang menuju atau yang menghubungkan ke tanah. Saklar pemisah putar memiliki dua buah kontak diam dan dua buah kontak gerak yang dapat berputar pada sumbunya.

- Current Transformator

Berfungsi mengubah besaran arus dari arus yang besar ke arus yang kecil atau memperkecil besaran arus listrik pada sistem tenaga listrik, menjadi arus untuk sistem pengukuran dan proteksi

- Pemutus Tenaga atau *Circuit Breaker*

Peralatan pemutus, yang berfungsi untuk memutus rangkaian listrik dalam keadaan berbeban.



Gambar 2.9 Titik pengukuran *Hot Point* Bay Penghantar

2.11 *Clamp Junction* (Penghubung) ^[9]

Berfungsi menghubungkan sub sistem pembawa arus, sub sistem *insulation* (isolasi) dan sub sistem struktur. *Junction* pada sistem transmisi SUTT/ SUTET adalah semua komponen pendukung fungsi pembawa arus, isolasi dan struktur. Berdasarkan perannya sebagai komponen pendukung, *junction* terbagi atas:

1. *Suspension Clamp*

Suspension clamp adalah alat yang dipasang pada konduktor penghantar ke perlengkapan insulator gantung, yang berfungsi untuk memegang konduktor penghantar pada tiang *suspension*.

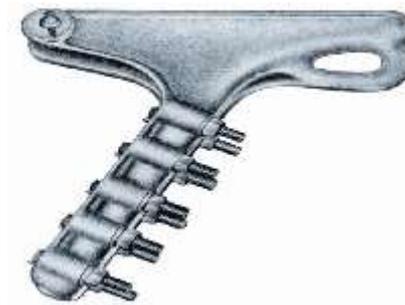
⁹ SK DIR 0520 PT. PLN (Persero). Buku SUTT-SUTET Final. 2014. Jakarta. Hal 27-28

2. *Strain Clamp*

Strainclamp adalah alat yang dipasangkan pada konduktor penghantar keperlengkapan insulator penegang, yang berfungsi untuk memegang konduktor penghantar pada tower tension.



Gambar 2.10 *Suspension Clamp*



Gambar 2.11 *Strain Clamp*