

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Secara umum sistem tenaga listrik terdiri atas komponen tenaga listrik yaitu pembangkit tenaga listrik, sistem transmisi dan sistem distribusi. Ketiga bagian ini merupakan bagian utama pada suatu rangkaian sistem tenaga listrik yang bekerja untuk menyalurkan daya listrik dari pusat pembangkit ke pusat- pusat beban. Rangkaian sistem tenaga listrik dapat dilihat pada gambar 2.1 dibawah berikut :



Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik

Energi listrik yang dihasilkan di pusat pembangkit listrik akan disalurkan melalui saluran transmisi kemudian melalui saluran distribusi akan sampai ke konsumen. Berikut ini penjelasan mengenai bagian utama pada sistem tenaga listrik pada umumnya, yaitu :

a. Pusat Pembangkit Listrik (*Power Plant*)

Pusat pembangkit listrik merupakan tempat energi listrik pertama kali dibangkitkan, dimana terdapat turbin sebagai penggerak awal (*Prime*

Mover) dan generator yang membangkitkan listrik dengan mengubah tenaga turbin menjadi energi listrik. Biasanya dipusat pembangkit listrik juga terdapat gardu induk. Peralatan utama pada gardu induk antara lain : transformer, yang berfungsi untuk menaikkan tegangan generator (11,5kV) menjadi tegangan transmisi atau tegangan tinggi (150kV) dan juga peralatan pengaman dan pengatur. Secara umum, jenis pusat pembangkit dibagi kedalam dua bagian besar yaitu pembangkit *hidro* yaitu PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air) dan pembangkit *thermal* diantaranya yaitu PLTU (Pusat Listrik Tenaga Uap), PLTG (Pusat Listrik Tenaga Gas), PLTN (Pusat Listrik Tenaga Nuklir), dan PLTGU (Pusat Listrik Tenaga Gas Uap).



Gambar 2.2 Pembangkit Listrik

b. Transmisi Tenaga Listrik (Sistem Transmisi)

Transmisi tenaga listrik merupakan proses penyaluran tenaga listrik dari pusat pembangkitan listrik hingga saluran distribusi listrik sehingga nantinya dapat tersalurkan pada pengguna listrik.



Gambar 2.3 Sistem Transmisi Tenaga Listrik

c. Sistem Distribusi

Sistem distribusi ini adalah sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pengguna listrik dan pada umumnya berfungsi dalam hal penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat. Sub sistem ini terdiri dari : pusat pengatur atau gardu induk, gardu hubung, saluran tegangan menengah atau jaringan primer (6 kV dan 20 kV) yang berupa saluran udara atau kabel bawah tanah, saluran tegangan rendah atau jaringan sekunder (380 V dan 220 V), gardu distribusi tegangan yang terdiri dari panel-panel pengatur tegangan baik tegangan menengah ataupun tegangan rendah, dan trafo.

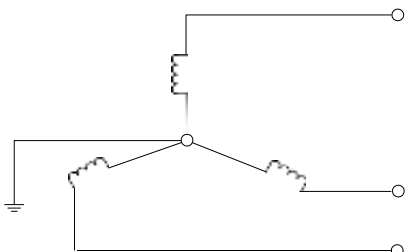


Gambar 2.4 Sistem Distribusi Listrik

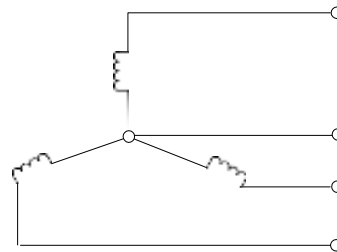
2.2 Sistem Transmisi

Saluran Transmisi merupakan media yang digunakan untuk mentransmisikan tenaga listrik dari *Generator Station* / Pembangkit Listrik sampai *Distribution Station* hingga sampai pada konsumen pengguna listrik. Tenaga listrik di transmisikan oleh suatu bahan konduktor yang mengalirkan tipe Saluran Transmisi Listrik

Penyaluran tenaga listrik pada transmisi menggunakan arus bolak-balik (AC) ataupun juga dengan arus searah (DC). Penggunaan arus bolak-balik yaitu dengan sistem tiga-fasa atau dengan empat-fasa.



Gambar 2.5 Sistem Tiga – Fasa



Gambar 2.6 Sistem Empat - Fasa

Saluran Transmisi dengan menggunakan sistem arus bolak-balik tiga fasa merupakan sistem yang banyak digunakan, mengingat kelebihan sebagai berikut :

- Mudah pembangkitannya
- Mudah pengubahan tegangannya
- Dapat menghasilkan medan magnet putar
- Dengan sistem tiga fasa, daya yang disalurkan lebih besar dan nilai sesaatnya konstan

2.2.1 Kategori Saluran Transmisi

a. Berdasarkan Pemasangan, saluran transmisi dibagi menjadi empat kategori, yaitu :

1. Saluran Udara (Overhead Lines)

Saluran transmisi yang menyalurkan energi listrik melalui kawat-kawat

yang digantung pada isolator antara menara atau tiang transmisi.

- Keuntungan dari saluran udara transmisi antara lain :
 1. Mudah dalam perbaikan
 2. Mudah dalam perawatan
 3. Mudah dalam mengetahui letak gangguan
 4. Lebih murah
- Kerugian dari saluran udara transmisi :
 1. Karena berada diruang terbuka, maka cuaca sangat berpengaruh terhadap keandalannya, dengan kata lain mudah terjadi gangguan dari luar, seperti gangguan hubungan singkat, gangguan tegangan bila tersambar petir, dan gangguan lainnya.
 2. Dari segi estetika / keindahan kurang, sehingga saluran transmisi bukan pilihan yang ideal untuk transmisi di dalam kota.



Gambar 2.7 Saluran Udara Transmisi

2 Saluran Kabel (*Cable Lines*)

a. Saluran Kabel Bawah Tanah (*Underground Cable*)

Saluran transmisi yang menyalurkan energi listrik melalui kabel yang dipendam didalam tanah. Kategori saluran seperti ini adalah favorit untuk pemasangan didalam kota, karena berada didalam tanah maka tidak

mengganggu keindahan kota dan juga tidak mudah terjadi gangguan akibat kondisi cuaca atau kondisi alam. Namun tetap memiliki kekurangan, antara lain mahal dalam instalasi dan investasi serta sulitnya menentukan titik gangguan dan memperbaikinya.



Gambar 2.8 Saluran Kabel Bawah Tanah Transmisi

b. Saluran Kabel Laut

Sama halnya seperti saluran kabel tanah, saluran kabel laut transmisi merupakan saluran yang menyalurkan energi listrik melalui kabel yang dipendam dibawah laut. Saluran seperti ini adalah untuk pemasangan dua daerah yang terpisahkan oleh sungai maupun laut yang cukup jauh, dimana biasanya tidak memungkinkan untuk dilalui melalui saluran udara transmisi. Mengingat bahwa saluran kabel laut biaya pembangunannya mahal dan pemeliharaannya sulit, maka jarang digunakan.



Gambar 2.9 Saluran Kabel Laut Transmisi

3. Saluran Isolasi Gas

Saluran Isolasi Gas (*Gas Insulated Line/GIL*) adalah Saluran yang diisolasi dengan gas, misalnya: gas SF₆, seperti gambar karena mahal dan resiko terhadap lingkungan sangat tinggi maka saluran ini jarang digunakan terutama di Indonesia.



Gambar 2.10 Saluran Isolasi Gas Transmisi

b. Berdasarkan Tegangan, saluran transmisi dibagi menjadi empat kategori, yaitu :

1. Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET)

Pada umumnya saluran transmisi di Indonesia digunakan pada pembangkit dengan kapasitas 500 kV dimana rentang tegangannya 200 kV – 500 kV. Dimana tujuannya adalah agar drop tegangan dari penampang kawat dapat direduksi secara maksimal, sehingga diperoleh operasional yang efektif dan efisien. Akan tetapi terdapat permasalahan mendasar dalam pembangunan SUTET ialah konstruksi tiang (tower) yang besar dan tinggi, memerlukan tanah yang luas, memerlukan isolator yang banyak, sehingga memerlukan biaya besar. Masalah lain yang timbul dalam pembangunan

SUTET adalah masalah sosial, yang akhirnya berdampak pada masalah pembiayaan.



Gambar 2.11 Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi

2. Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)

Pada saluran transmisi ini memiliki tegangan operasi antara 30kV sampai 150kV. Konfigurasi jaringan pada umumnya single atau doble sirkuit, dimana 1 sirkuit terdiri dari 3 fasa dengan 3 atau 4 kawat. Biasanya hanya 3 kawat dan penghantar netralnya diganti oleh tanah sebagai saluran kembali. Apabila kapasitas daya yang disalurkan besar, maka penghantar pada masing-masing fasa terdiri dari dua atau empat kawat (Double atau Qudrapole) dan Berkas konduktor disebut Bundle Conductor. Jarak terjauh yang paling efektif dari saluran transmisi ini ialah 100km. Jika jarak transmisi lebih dari 100 km maka tegangan jatuh (drop voltaje) terlalu besar, sehingga tegangan diujung transmisi menjadi rendah.



Gambar 2.12 Saluran Udara Tegangan Tinggi

3. Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT)

Saluran transmisi ini menggunakan kabel bawah tanah, dengan alasan beberapa pertimbangan :

- a. Ditengah kota besar tidak memungkinkan dipasang SUTT, karena sangat sulit mendapatkan tanah untuk tapak tower.
- b. Untuk ruang bebas juga sangat sulit dan pasti timbul protes dari masyarakat, karena padat bangunan dan banyak gedung-gedung tinggi.
- c. Pertimbangan keamanan dan estetika.
- d. Adanya permintaan dan pertumbuhan beban yang sangat tinggi.



Gambar 2.13 Saluran Kabel Tegangan Tinggi

2.3 Komponen Saluran Transmisi SUTT / SUTET

2.3.1 Komponen Utama

a. Pembawa Arus (Current Carrying)

Komponen yang termasuk dalam fungsi pembawa arus adalah komponen SUTT/ SUTET yang berfungsi dalam proses penyaluran arus listrik dari Pembangkit ke GI/ GITET atau dari GI/ GITET ke GI/ GITET lainnya. Komponen-komponen yang termasuk fungsi pembawa arus, yaitu :

1. Bare Conductor OHL (Termasuk ACSR, TACSR, dan ACCC)

Bahan konduktor yang dipergunakan untuk saluran energi listrik perlu memiliki sifat sifat sebagai berikut:

- Konduktivitas tinggi
- Kekuatan tarik mekanik tinggi
- Berat jenis yang rendah
- Ekonomis
- Lentur/ tidak mudah patah

Biasanya konduktor pada SUTT/ SUTET merupakan konduktor berkas (*stranded*) atau serabut yang dipilin, agar mempunyai kapasitas yang lebih besar dibanding konduktor pejal dan mempermudah dalam penanganannya. Jenis - jenis konduktor berdasarkan bahannya :

a. Konduktor Jenis Tembaga (BC: *Bare copper*)

Konduktor ini merupakan penghantar yang baik karena memiliki konduktivitas tinggi dan kekuatan mekanik yang cukup baik.

b. Konduktor jenis aluminium

Konduktor dengan bahan aluminium lebih ringan daripada konduktor jenis tembaga, konduktivitas dan kekuatan mekaniknya lebih rendah. Jenis-jenis konduktor aluminium antara lain :

- **Konduktor ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*)**

Konduktor jenis ini, bagian dalamnya berupa steel yang mempunyai kuat mekanik tinggi, sedangkan bagian luarnya berupa aluminium yang mempunyai konduktivitas tinggi. Karena sifat elektron lebih menyukai bagian luar konduktor daripada bagian sebelah dalam konduktor, maka pada sebagian besar SUTT maupun SUTET menggunakan konduktor jenis ACSR.

- **Konduktor TACSR (*Thermal Aluminium Conductor Steel Reinforced*)**

Pada saluran transmisi yang mempunyai kapasitas penyaluran / beban sistem tinggi maka dipasang konduktor jenis TACSR. Konduktor jenis ini mempunyai kapasitas lebih besar tetapi berat konduktor tidak mengalami perubahan yang banyak, tapi berpengaruh terhadap sagging.

- **Konduktor ACCC**

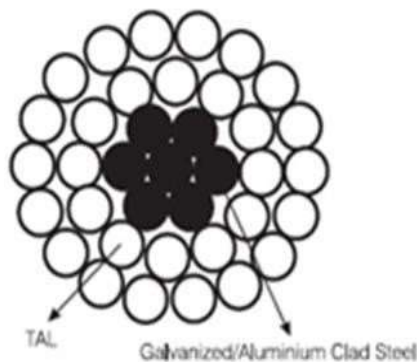
Konduktor jenis ini, bagian dalamnya berupa composite yang mempunyai kuat mekanik tinggi, dikarenakan tidak dari bahan konduktif, maka bahan ini tidak mengalami pemuaian saat dibebani arus maupun tegangan. Untuk konduktor jenis ini tidak mengalami korosi cocok untuk daerah pinggir pantai, sedangkan bagian luarnya berupa aluminium yang mempunyai konduktivitas tinggi. Konduktor jenis ini dipilih karena memiliki karakteristik high conductivity & low sag conductor.



Gambar 2.14 Konduktor ACSR



Gambar 2.15 Konduktor ACCC

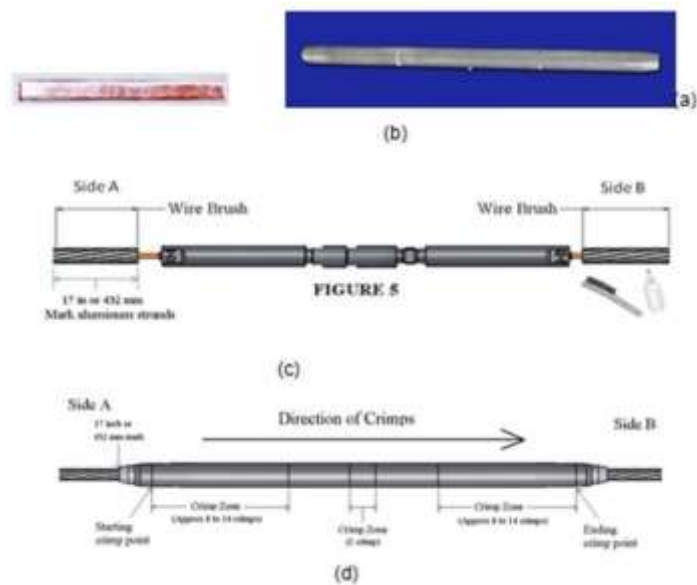


Gambar 2.16 Konduktor TACSR

2. Sambungan Konduktor (*Midspace Joint*)

Sambungan konduktor adalah material untuk menyambung konduktor penghantar yang cara penyambungannya dengan alat press tekanan tinggi. Sambungan (*joint*) harus memenuhi beberapa syarat antara lain:

- Konduktivitas listrik yang baik
- Kekuatan mekanik yang besar



Gambar 2.17 Midspan Joint

3. Jumper Joint

Berfungsi sebagai pembagi arus pada titik sambungan konduktor.

4. Jumper Conductor

Jumper Conductor digunakan sebagai penghubung konduktor pada tiang tension. Besar penampang, jenis bahan, dan jumlah konduktor pada konduktor penghubung disesuaikan dengan konduktor yang terpasang pada SUTT/ SUTET tersebut



Gambar 2.18 Jumper Conductor

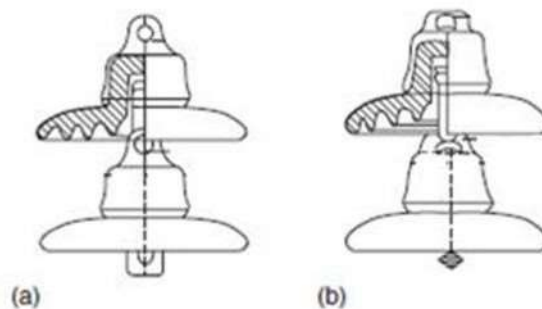
b. Isolasi (*Insulation*)

Insulation berfungsi untuk mengisolasi bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan/ *ground*, baik saat *normal continuous operation* dan saat terjadi surja (termasuk petir) didalam saluran transmisi.

- Menurut bentuknya, insulator terdiri dari :

1. Isolator Piring

Dipergunakan untuk insulator penegang dan insulator gantung, dimana jumlah piringan insulator disesuaikan dengan tegangan sistem.



Gambar 2.19 Isolator Piring (a) Tipe Clevis dan (b) Tipe Ball and Socket

2. Isolator Post

Dipergunakan sebagai tumpuan dan memegang bagi konduktor diatasnya untuk pemasangan secara vertikal dan sebagai insulator dudukan. Biasanya terpasang pada tower jenis pole atau pada tiang sudut. Dipergunakan untuk memegang dan menahan konduktor untuk pemasangan secara horizontal.

Gambar 2.20 Isolator *Post*

3. Isolator *Long Rod*

Insulator *long rod* adalah insulator porselen atau komposit yang digunakan untuk beban tarik.

Gambar 2.21 Isolator *Long Rod*

- Menurut Pemasangannya, isolator terdiri dari :

1. “ I ” String



Gambar 2.22 Isolator “ I ” String

2. “ V ” String



Gambar 2.23 Isolator “ V ” String

3. Horizontal String



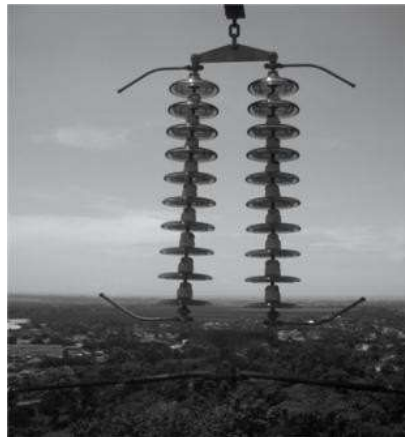
Gambar 2.24 Isolator Horizontal String

4. Single String



Gambar 2.25 Isolator *Single String*

5. Double String



Gambar 2.26 Isolator *Double String*

6. Quadruple String



Gambar 2.27 Isolator *Quadruple String*

- **Menurut Jenisnya**, isolator terbagi menjadi :

1. Isolator Keramik

Ceramic insulator adalah media penyekat antara bagian yang bertegangan dengan yang tidak bertegangan atau ground secara elektrik dan mekanik. Pada SUTT / SUTET, insulator berfungsi untuk mengisolir konduktor fasa dengan tower / *ground*. Insulator keramik terbuat dari bahan porselen yang mempunyai keunggulan tidak mudah pecah, tahan terhadap cuaca.



Gambar 2.28 Isolator Keramik

2. Isolator Non – Keramik

a. Isolator Gelas / Kaca

Digunakan hanya untuk insulator jenis piring. Bagian gelas harus bebas dari lubang atau cacat lain termasuk adanya gelembung dalam gelas. Warna gelas biasanya hijau, dengan warna lebih tua atau lebih muda. Jika terjadi kerusakan insulator gelas mudah dideteksi.



Gambar 2.29 Isolator Gelas / Kaca

b. Isolator Polimer



Gambar 2.30 Isolator Polimer

3. Isolasi Udara (*Ground Clearance*) Disekitar Kawat Penghantar

Isolasi udara berfungsi untuk mengisolasi antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan/ ground dan antar fasa yang bertegangan secara elektrik. Kegagalan fungsi isolasi udara disebabkan karena breakdown voltage yang terlampaui (jarak yang tidak sesuai, perubahan nilai tahanan udara, tegangan lebih), dan isolasi udara (*ground clearance*) mempunyai jarak bebas minimum yaitu jarak terpendek antara penghantar SUTT/ SUTET dengan permukaan tanah, benda benda dan kegiatan lain disekitarnya, yang mutlak tidak boleh lebih pendek dari yang telah ditetapkan demi keselamatan manusia dan makhluk hidup lainnya serta juga keamanan operasi SUTT/ SUTET (Peraturan Menteri Pertambangan dan Energi No. 01.P/47/MPE/1992 tanggal 07 Februari 1992, pasal 1 ayat 9).

c. Struktur (*Structure*)

Komponen utama dari Fungsi structure pada sistem transmisi SUTT / SUTET adalah Tiang (*Tower*).Tiang adalah konstruksi bangunan yang kokoh untuk menyangga / merentang konduktor penghantar dengan ketinggian dan jarak yang aman bagi manusia dan lingkungan sekitarnya dengan sekat insulator.

Tiang/ Tower Menurut Fungsi :**1. Tiang Penegang (*Tension Tower*)**

Tiang penegang disamping menahan gaya berat juga menahan gaya tarik dari konduktor- konduktor saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) atau Ekstra Tinggi (SUTET). Tiang penegang terdiri dari :

a. Tiang Sudut (*Angle Tower*)

Tiang sudut adalah tiang penegang yang berfungsi menerima gaya tarik akibat perubahan arah Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) atau Ekstra Tinggi (SUTET).



Gambar 2.31 Tiang Sudut

b. Tiang Akhir (*Dead End Tower*)

Tiang akhir adalah tiang penegang yang direncanakan sedemikian rupa sehingga kuat untuk menahan gaya tarik konduktor-konduktor dari satu arah saja. Tiang akhir ditempatkan di ujung Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) atau Ekstra Tinggi (SUTET) yang akan masuk ke *switch yard* Gardu Induk.

2. Tiang Penyangga (*Suspension Tower*)

Tiang penyangga untuk mendukung/ menyangga dan harus kuat terhadap gaya berat dari peralatan listrik yang ada pada tiang tersebut.



Gambar 2.32 Tiang *Suspension*

d. Penghubung (*Junction*)

Berfungsi menghubungkan sub sistem *Current carrying* (pembawa arus), sub sistem *insulation* (isolasi) dan subsistem *structure* (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 :

- **Menghubungkan subsistem *Current Carrying* (Pembawa Arus) dengan subsistem *insulation* (isolasi),** terdiri atas :

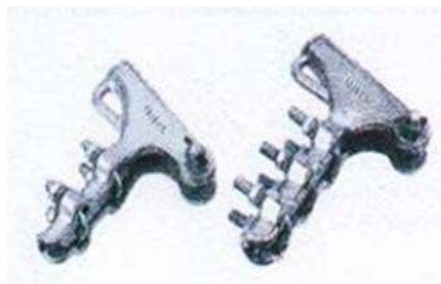
1. *Suspension Clamp*

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

Gambar 2.33 *Suspension Clamp*

2. *Strain Clamp*

Strain clamp adalah alat yang dipasangkan pada konduktor penghantar ke perlengkapan insulator penegang, yang berfungsi untuk memegang konduktor penghantar pada tower tension.

Gambar 2.34 *Strain Clamp*

3. *Dead End Clamp*

Komponen ini berfungsi sebagai pemegang konduktor pada tower *tension*.

Gambar 2.35 *Dead End Clamp*

- **Menghubungkan subsistem insulation (isolasi) dengan subsistem structure (struktur), terdiri atas :**

1. *Suspension Clamp GSW*

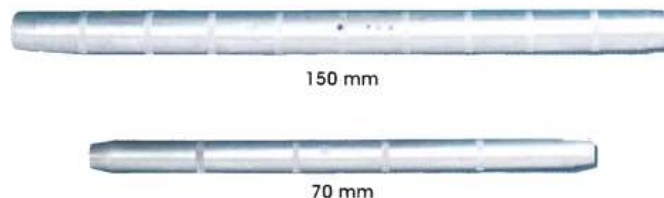
Menghubungkan subsistem pengamanan petir, terdiri atas suspension clamp GSW.



Gambar 2.36 *Suspension Clamp GSW*

2. *Joint GSW*

Menghubungkan antar subsistem pengamanan petir, terdiri dari joint GSW.



Gambar 2.37 *Joint GSW*

- **Pengaman dari Urat Konduktor Putus**

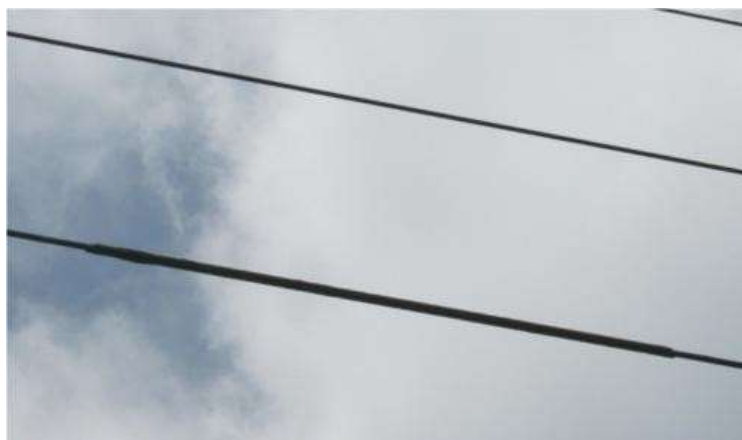
1. *Repair Sleeve*

Komponen ini berfungsi untuk melindungi alumunium konduktor dari putus urat alumunium konduktor tersebut. Repair sleeve dipasang pada kondisi urat alumunium konduktor putus maksimal 4 urat.

Gambar 2.38 *Repair Sleeve*

2. *Armour Rod Span*

Komponen ini berfungsi untuk melindungi alumunium konduktor dari putus urat alumunium konduktor tersebut. Armour rod span dipasang pada kondisi urat alumunium konduktor putus maksimal 3 urat.

Gambar 2.39 *Armour Rod Span*

2.4 **Pemeliharaan SUTT / SUTET**

Pemeliharaan SUTT/ SUTET memegang peranan sangat penting dalam menunjang kualitas dan keandalan penyediaan tenaga listrik kepada konsumen. Pemeliharaan SUTT/ SUTET adalah proses kegiatan yang bertujuan mempertahankan atau menjaga kondisi SUTT/ SUTET, sehingga dalam

pengoperasiannya SUTT/ SUTET dapat selalu berfungsi sesuai dengan karakteristik desainnya dan mencegah terjadinya gangguan yang merusak. Jadi, efektifitas dan efisiensi dari pemeliharaan SUTT/ SUTET dapat dilihat dari :

- Peningkatan *reliability, availability dan efficiency* SUTT/ SUTET
- Perpanjangan umur SUTT/ SUTET
- Perpanjangan interval overhaul (pemeliharaan besar) pada SUTT/ SUTET
- Pengurangan resiko terjadinya kegagalan atau kerusakan pada SUTT/ SUTET
- Peningkatan safety
- Pengurangan lama waktu padam
- Waktu pemulihan yang efektif.
- Biaya pemeliharaan yang efisien/ekonomis.

Adapun jenis-jenis pemeliharaan yang dilaksanakan meliputi :

2.4.1 Pemeliharaan Preventif (*Preventive Maintenance*)

Pemeliharaan yang dilaksanakan untuk mencegah terjadinya kerusakan secara tiba-tiba dan untuk mempertahankan unjuk kerja yang optimal sesuai umur teknisnya, melalui inspeksi secara periodik dan pengujian fungsi atau melakukan pengujian dan pengukuran untuk mendiagnosa kondisi peralatan. Pemeliharaan ini dapat dibagi menjadi 2 (dua), yaitu:

a. Pemeliharaan Rutin (*Routine Maintenance*)

Pemeliharaan secara periodik/berkala dengan melakukan inspeksi dan pengujian fungsi untuk mendeteksi adanya potensi kelainan atau kegagalan pada peralatan dan mempertahankan unjuk kerjanya. Dalam pelaksanaannya, pemeliharaan rutin pada SUTT/SUTET terdiri dari :

1. **Ground Patrol** : Pemeliharaan mingguan dan triwulan.
2. **Climb Up Inspection** : Pemeliharaan yang dilaksanakan minimal 1 (satu) kali dalam 5 Tahun atau lebih sesuai kebutuhan operasional

yang mengacu pada peta kerawanan instalasi (polusi tinggi, rawan petir dan tegakan) serta setelah gangguan yang memerlukan investigasi lanjutan dilapangan.

b. Pemeliharaan Prediktif (*Predictive Maintenance*)

Disebut juga dengan Pemeliharaan Berbasis Kondisi (*Condition Based Maintenance*). Adalah pemeliharaan yang dilakukan dengan cara melakukan monitor dan membuat analisa tren terhadap hasil pemeliharaan untuk dapat memprediksi kondisi dan gejala kerusakan secara dini. Hasil monitor dan analisa tren hasil *Predictive Maintenance* merupakan input yang dijadikan sebagai acuan tindak lanjut untuk *Planned Corrective Maintenance*. Ruang lingkup *Predictive Maintenance* meliputi :

1. *In Service Measurement*

Pengujian yang dilakukan saat peralatan operasi (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.

c. Pemeliharaan Pasca Gangguan

Pemeliharaan yang dilaksanakan setelah peralatan mengalami gangguan dengan kegiatan pemeliharaan yang dilaksanakan meliputi *In Service Visual Inspection (Ground Patrol*: melakukan pengecekan jalur setelah reclose/ trip akibat gangguan eksternal, dilanjutkan *Climb Up Inspection* untuk memastikan sumber gangguan) & *In Service Measurement (Thermovisi, puncture insulator/ ITeCe, Download TLA)*. Bila diketahui kondisi peralatan masih baik, maka peralatan dapat dioperasikan kembali; namun bila diketahui telah terjadi kerusakan yang memerlukan perbaikan, maka perlu ditindaklanjuti dengan *Corrective Maintenance*.

2.4.2 Pemeliharaan Korektif (*Corrective Maintenance*)

Pemeliharaan yang dilakukan karena peralatan mengalami kelainan/ unjuk kerja rendah pada saat menjalankan fungsinya atau kerusakan (berdasarkan *Condition Assesment* dari *Preventive Maintenance*), dengan tujuan untuk mengembalikan pada kondisi semula melalui perbaikan (*repair*) ataupun penggantian (*replace*). Di dalam pelaksanaannya, *Corrective Maintenance* dapat dibagi menjadi 2 (dua), yaitu :

a. Direncanakan (*Planned*)

Pemeliharaan yang dilakukan karena peralatan mengalami kelainan/ unjuk kerja rendah pada saat menjalankan fungsinya, dengan tujuan untuk mengembalikan pada kondisi semula melalui perbaikan (*repair*) ataupun penggantian (*replace*) secara terencana. Acuan tindak lanjut yang digunakan pada *Planned Corrective Maintenance* berdasarkan hasil pemeriksaan *Ground patrol*, *Climb up inspection* dan pengujian pada *Predictive Maintenance*.

b. Tidak Direncanakan (*Unplanned*)

Disebut juga dengan Pemeliharaan *Breakdown*. Adalah pemeliharaan yang dilakukan karena peralatan mengalami kerusakan secara tiba-tiba sehingga menyebabkan pemadaman. Untuk mengembalikan pada kondisi semula perlu dilakukan perbaikan besar (*repair*) atau penggantian (*replace*).

2.5 Pengujian Thermovisi

2.5.1 Definisi Suhu Panas / *Hot Point*

Suhu panas (*hot point*) merupakan suatu parameter yang banyak dipantau dan dianalisa perubahannya setiap saat. Hal ini berkaitan erat dengan keamanan dan keandalan sistem yang terjadi pada peralatan listrik khususnya di tower transmisi SUTT / SUTET. Pemantauan suhu panas (*hot point*) pada peralatan listrik PLN terutama pada tower transmisi SUTT / SUTET menggunakan bantuan alat yang disebut *thermal imagers* yang kemudian divisualkan melalui *display*/

monitor yang sering kita kenal dengan istilah thermovisi. Indikator timbulnya *hot point* / suhu panas pada *clamp* konektor pada konduktor adalah naiknya nilai arus maupun nilai tahanan (resistansi). Adapun penyebabnya sebagai berikut :

a. Getaran yang terus menerus karena periodik

Getaran yang terus terjadi akan mengakibatkan sambungan antara *clamp* dan konduktor terus bergerak hal ini akan mengakibatkan adanya jarak antara 2 material yang mengakibatkan timbulnya loncatan busur api. Getaran ini terjadi jika sambungan itu tidak terpasang dengan sempurna.

b. Perbedaan jenis material

Titik panas (*hot point*) ini juga biasanya disebabkan oleh pemasangan ataupun penggantian peralatan MTU (Material Transmisi Utama) baru yang tidak sesuai standar atau jenis materialnya berbeda. Perbedaan jenis material antara *clamp* dan konduktor akan mengakibatkan arus tidak mengalir dengan baik sehingga akan menimbulkan bunga api (panas). Contohnya seperti adanya cat pada *clamp* atau konduktor, cat tidak dapat menghantarkan arus listrik yang baik. Karena inilah arus listrik tidak dapat mengalir sehingga timbul panas.

c. Permukaan sentuh yang tidak rata

Seperti yang kita ketahui, permukaan *clamp* dan konduktor harus rapat atau menyatu dengan sempurna agar tidak ada jarak yang dapat menimbulkan hambatan. Hal ini dapat terjadi bukan hanya karena material *clamp* tidak rata, juga dapat terjadi karena mur baut yang kurang kencang dan adanya kawat, kabel tie, atau benda yang ada diantara konektor dan *clamp*. Maka dari itu permukaan *clamp* harus rata dan menyatu dengan konduktor dengan sempurna.

d. Zat kimia dan kotoran

Peralatan dan komponen tower transmisi yang berada di daerah pabrik atau yang memiliki polutan tinggi mempunyai resiko korosi yang besar. Hal

ini diakibatkan oleh faktor eksternal yaitu zat kimia dari pabrik ataupun kelembaban daerah sekitar tower transmisi. Korosi, lumut ataupun bekas cat bisa dibersihkan dengan sikat besi, kita harus berhati-hati dalam menyikat *clamp*, jangan sampai membuat *clamp* rusak (berbeda ukuran / menjadi tidak rata).

e. Degradasi material

Degradasi atau kerusakan material adalah hal yang tidak bisa terelakkan karena setiap material mempunyai *life time* nya sendiri. Salah satu contoh yang sering terjadi adalah munculnya korosi. Hal ini tentunya dapat dicegah dengan cara pergantian material dan memilih material dengan kualitas yang baik.

2.5.2 Definisi 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 (*clamp*), 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.

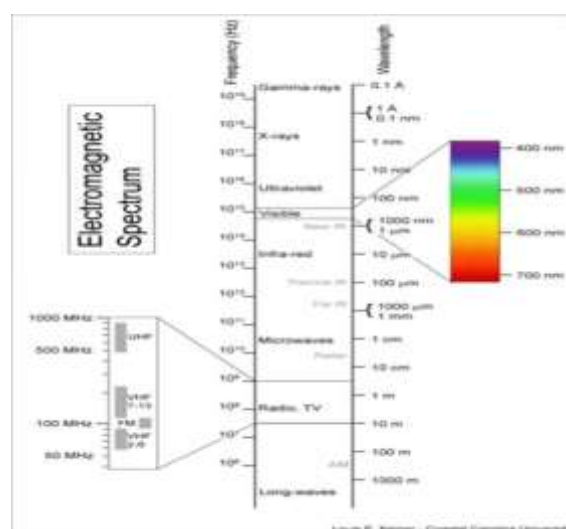
Pengukuran panas secara langsung pada peralatan listrik yang sedang beroperasi tidak mungkin dilakukan terutama untuk SUTT dan SUTET, karena tegangannya yang tinggi. Deteksi panas secara tidak langsung dapat dilakukan dengan menggunakan teknik sinar infra merah dari jauh guna mengetahui suhu antara konduktor dan terminal/sambungan (*clamp*) menggunakan alat *thermal imagers* yang kemudian ditangkap dan ditampilkan ke sebuah *display*, dimana teknik ini sering disebut dengan istilah Thermovisi. Dengan melakukan pengujian thermovisi ini, kita bisa mengetahui peralatan listrik tersebut mengalami kelainan

seperti *clamp*-nya kendor, kapasitas bebannya berlebihan, kotor atau berkarat dan perbedaan masa jenis, sehingga dengan cepat kita bisa melakukan penanganan perbaikan sesegera mungkin.



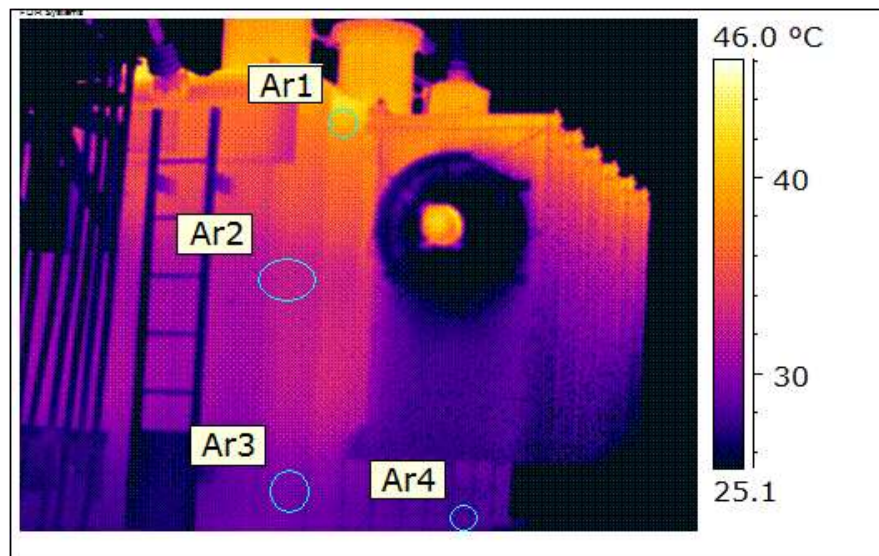
Gambar 2.40 Alat Thermovisi

Sinar infra merah atau *infrared* (disingkat IR) sebenarnya adalah bagian dari spektrum radiasi gelombang elektromagnet. IR mempunyai panjang gelombang antara 750 μm hingga 100 μm . Sebagai contoh, kamera Thermovisi yang menggunakan sensor HgCdTe (*mercury, cadmium, telurium*) yang mempunyai lebar bidang 8 s/d 12 *micro meter* dan mempunyai kepekaan suhu 0,10 $^{\circ}\text{F}$



Gambar 2.41 Spektrum Elektromagnet

Suhu dapat dilihat pada skala warna (gradasi). Bila suhu tertinggi yang terekam masih dibawah yang diijinkan, 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.



Gambar 2.42 Gradasi Warna Thermovisi

Dalam prakteknya ada 2 macam detektor panas yang digunakan yaitu:

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

2.6 Perhitungan Suhu *Clamp Connector* dan Konduktor

Melakukan perhitungan manual menggunakan persamaan pendekatan kriteria C. Rumus perbandingan suhu *clamp connector* dan suhu konduktor sebagai berikut :

$$\Delta T = \left(\frac{I_{\text{maks}}}{I_{\text{saat thermovisi}}} \right)^2 \cdot (T_{\text{clamp}} (T_2) - T_{\text{konduktor}} (T_1)) \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan : ΔT = Selisih suhu *clamp connector* terhadap konduktor

I_{maks} = Arus maksimal

$I_{\text{saat thermovisi}}$ = Arus saat thermovisi

T_{clamp} = Suhu *clamp connector*

$T_{\text{konduktor}}$ = Suhu konduktor

Adapun referensi perhitungan suhu *clamp* konektor dan konduktor mengacu pada standar SK DIR 0520 yang telah dikelompokkan menjadi 3 kategori, yaitu :

Tabel 2.1 Standar Evaluasi Pengujian Thermovisi

HASIL UKUR (ΔT)	REKOMENDASI
I(< 10°C)	Lanjutkan pengujian rutin 6 bulanan
II(10 – 30°C)	Dijadwalkan perbaikan atau penggantian seperlunya
III(> 30°C)	Perbaiki atau ganti secepatnya maksimal 1 minggu

2.7 Perhitungan Emisivitas

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

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



Keterangan : P = Energi *thermal conductivity* (Alumunium = 237 W/m.K)

e = Emisivitas

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

T = Suhu Mutlak (K)