



DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	1
DAFTAR GAMBAR	4
DAFTAR TABEL.....	7
PENDAHULUAN	8
I KOMPONEN & FUNGSI DAN FAILURE MODE EFFECT ANALYSIS (FMEA) SUTT & SUTET	9
I.1 KOMPONEN DAN FUNGSI	9
I.1.1 ISOLASI	9
I.1.1.1 ISOLASI PADAT (INSULATOR).....	9
I.1.1.1.1 INSULATOR MENURUT MATERIAL.....	10
I.1.1.1.2 INSULATOR MENURUT BENTUK.....	11
I.1.1.1.3 INSULATOR MENURUT PEMASANGAN	14
I.1.1.2 ISOLASI UDARA	16
I.1.2 PEMBAWA ARUS	16
I.1.2.1 KONDUKTOR PENGHANTAR.....	16
I.1.2.2 SAMBUNGAN KONDUKTOR (<i>COMPRESSION JOINT</i>).....	18
I.1.2.3 KONDUKTOR PENGHUBUNG (<i>JUMPER</i>).....	19
I.1.2.4 KLEM KONDUKTOR PENGHANTAR.....	20
I.1.3 KONSTRUKSI DAN PONDASI	21
I.1.3.1 TIANG MENURUT FUNGSI	22
I.1.3.2 TIANG MENURUT BENTUK	23
I.1.4 PROTEKSI PETIR	35
I.1.4.1 KONDUKTOR TANAH (<i>EARTH WIRE</i>).....	35
I.1.4.2 KONDUKTOR PENGHUBUNG KONDUKTOR TANAH.....	36
I.1.4.3 <i>ARCING HORN</i>	37
I.1.4.4 KONDUKTOR PENGHUBUNG KONDUKTOR TANAH KE TANAH	38



I.1.4.5	PENTANAHAN (<i>GROUNDING</i>)	39
I.1.5	AKSESORIS.....	40
I.1.5.1	AKSESORIS INSULATOR	41
I.1.5.2	AKSESORIS PANJAT.....	48
I.1.5.3	AKSESORIS K3.....	48
I.2	<i>FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA)</i>	50
I.2.1	PROSEDUR PEMBUATAN FMEA.....	51
I.2.2	FMEA SUTT & SUTET	52
II	PEDOMAN PEMELIHARAAN SUTT & SUTET	59
II.1	PEMELIHARAAN PREVENTIF (<i>PREVENTIVE MAINTENANCE</i>).....	60
II.1.1	PEMELIHARAAN RUTIN (<i>ROUTINE MAINTENANCE</i>)	60
II.1.1.1	<i>IN SERVICE VISUAL INSPECTION</i>	61
II.1.2	<i>PREDICTIVE MAINTENANCE</i>	68
II.1.2.1	<i>IN SERVICE MEASUREMENT</i>	68
II.1.2.2	<i>SHUTDOWN TESTING / MEASUREMENT</i>	80
II.1.3	PEMELIHARAAN PASCA GANGGUAN	81
II.2	<i>CORRECTIVE MAINTENANCE</i>	81
II.2.1	<i>PLANNED</i>	81
II.2.2	<i>UNPLANNED</i>	81
III	EVALUASI HASIL PEMELIHARAAN SUTT & SUTET	82
III.1	METODE EVALUASI HASIL PEMELIHARAAN SUTT & SUTET	82
III.2	STANDAR EVALUASI HASIL PEMELIHARAAN SUTT & SUTET	83
III.2.1	<i>IN SERVICE VISUAL INSPECTION</i>	83
III.2.2	PENGUJIAN THERMOVISI	90
III.2.3	PENGUJIAN KORONA.....	91
III.2.4	PENGUJIAN <i>PUNCTURE</i> (KEBOCORAN) INSULATOR.....	92
III.2.5	PENGUJIAN RESISTANSI PENTANAHAN <i>TOWER</i>	93
IV	REKOMENDASI HASIL PEMELIHARAAN SUTT & SUTET	94



IV.1	REKOMENDASI HASIL PEMELIHARAAN RUTIN	94
IV.2	REKOMENDASI PENGUJIAN THERMOVISI	99
IV.3	REKOMENDASI PENGUJIAN KORONA.....	99
IV.4	REKOMENDASI PENGUJIAN <i>PUNCTURE</i> (KEBOCORAN) INSULATOR.....	100
IV.5	REKOMENDASI PENGUJIAN RESISTANSI PENTANAHAN <i>TOWER</i>	100
	DAFTAR PUSTAKA	102



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Insulator komposit	11
Gambar 2 Insulator piring (a) tipe <i>clevis</i> (b) tipe <i>ball-and-socket</i>	12
Gambar 3 Komponen insulator piring tipe <i>ball-and-socket</i>	12
Gambar 4 Insulator <i>post</i>	13
Gambar 5 Insulator <i>long rod</i>	13
Gambar 6 Insulator “I” <i>string</i>	14
Gambar 7 Insulator “V” <i>string</i>	14
Gambar 8 Insulator horizontal <i>string</i>	14
Gambar 9 Insulator <i>single string</i>	15
Gambar 10 Insulator <i>double string</i>	15
Gambar 11 Insulator <i>quadruple</i>	16
Gambar 12 Bagian sambungan konduktor penghantar (a) Selongsong <i>steel</i> (b) Selongsong aluminium.....	19
Gambar 13 <i>Konduktor penghubung</i>	20
Gambar 14 Klem penegang dengan mur baut.....	21
Gambar 15 Klem penegang dengan <i>press</i> untuk konduktor ACSR & TACSR	21
Gambar 16 Klem Jembatan.....	21
Gambar 17 Konstruksi tiang pole	24
Gambar 18 Palang poligonal lengkung (<i>davit</i>).....	25
Gambar 19 Palang poligonal lurus	26
Gambar 20 <i>traverse</i> lurus.....	27
Gambar 21 Tiang delta.....	28
Gambar 22 Tiang zig-zag	29
Gambar 23 Tiang piramida.....	30
Gambar 24 Konstruksi tiang <i>lattice</i>	31
Gambar 25 Pondasi normal.....	32
Gambar 26 Pondasi spesial (<i>pancang</i>)	33



Gambar 27 Halaman tower	33
Gambar 28 <i>Leg tower</i>	34
Gambar 29 Konduktor tanah	36
Gambar 30 Konduktor penghubung konduktor tanah	37
Gambar 31 <i>Arcing horn</i> sisi penghantar	37
Gambar 32 <i>Arcing horn</i> sisi tower	38
Gambar 33 Bentuk lain <i>arcing horn</i>	38
Gambar 34 Konduktor penghubung konduktor tanah ke tanah.....	39
Gambar 35 Pentanahan tiang	40
Gambar 36 Klem penyangga.....	41
Gambar 37 <i>Armour rod</i>	42
Gambar 38 <i>Suspension yoke</i>	42
Gambar 39 <i>Socket clevis</i>	43
Gambar 40 <i>Bolt clevis</i>	43
Gambar 41 <i>Socket link bolt</i>	43
Gambar 42 <i>Spacer</i>	44
Gambar 43 <i>Clevis clamp suspension</i>	44
Gambar 44 <i>Turnbuckle / span scrup</i>	44
Gambar 45 <i>Damper</i>	45
Gambar 46 <i>Clamp OPGW</i>	45
Gambar 47 <i>Extention link</i>	45
Gambar 48 <i>Adjuster link</i>	46
Gambar 49 <i>Dead end press</i>	46
Gambar 50 <i>Compression dead end press</i>	46
Gambar 51 <i>Konduktor penghubung clamp</i>	47
Gambar 52 <i>Shackle</i>	47
Gambar 53 <i>Counter weight</i>	47
Gambar 54 <i>Link panjang</i>	48



Gambar 55 <i>Step bolt</i>	48
Gambar 56 Penghalang panjat / ACD (<i>Anti Climbing Device</i>)	49
Gambar 57 Tanda penghantar & nomor tiang	49
Gambar 58 Tanda bahaya.....	49
Gambar 59 <i>Ball sign</i>	50
Gambar 60 Lampu penerbangan <i>tower</i>	50
Gambar 61 <i>Flowchart</i> prosedur pembuatan FMEA.....	51
Gambar 62 Metode Pemeliharaan SUTT & SUTET	60
Gambar 63 Spektrum elektromagnetik	70
Gambar 64 Detektor panas tipe <i>spotting</i>	71
Gambar 65 <i>Thermography vs UV camera</i>	72
Gambar 66 Korona.....	73
Gambar 67 Urat dari konduktor yang putus.....	74
Gambar 68 Insulator yang tidak terpasang korona ring	74
Gambar 69 Peralatan yang kendur.....	75
Gambar 70 Korosi pada insulator	75
Gambar 71 <i>Shorted</i> insulator	75
Gambar 72 <i>Gap discharge</i> pada insulator	76
Gambar 73 Prinsip kerja peralatan deteksi korona	77
Gambar 74 Alat Uji <i>Puncture Test</i>	77
Gambar 75 Pentanahan Tiang	78
Gambar 76 Alur pengambilan keputusan evaluasi hasil pemeliharaan SUTT & SUTET	82
Gambar 77 Diagram alir pengambilan keputusan.....	91
Gambar 78 Contoh Hasil Pengujian <i>Puncture</i> Insulator.....	92

**DAFTAR TABEL**

Tabel 1 Jarak aman minimum saluran bertegangan	Error! Bookmark not defined.
Tabel 2 Daftar konduktor yang dipergunakan untuk SUTT & SUTET	18
Tabel 3 Fungsi SUTT & SUTET	52
Tabel 4 Sub Sistem SUTT & SUTET serta Fungsinya	52
Tabel 5 Komponen dan Sub Komponen SUTT & SUTET	53
Tabel 6 FMEA Sub Sistem Isolasi	54
Tabel 7 FMEA Sub Sistem Pembawa Arus	55
Tabel 8 FMEA Sub Sistem Konstruksi & Pondasi	56
Tabel 9 FMEA Sub Sistem Proteksi Petir	57
Tabel 10 FMEA Sub Sistem Aksesoris	58
Tabel 11 <i>Ground Patrol</i>	61
Tabel 12 <i>Climb up Inspection</i>	65
Tabel 13 Detektor infra merah	70
Tabel 14 <i>In service Measurement</i> SUTT & SUTET	79
Tabel 15 <i>Shutdown Testing / Measurement</i> SUTT & SUTET	80
Tabel 16 Standar evaluasi <i>In Service Visual Inspection</i>	83
Tabel 17 Standar evaluasi pengujian thermovisi	91
Tabel 18 Standar evaluasi pengujian korona	92
Tabel 19 Standar evaluasi pengujian resistansi pentanahan <i>tower</i>	93
Tabel 20 Rekomendasi hasil pemeliharaan rutin	94
Tabel 21 Rekomendasi pengujian thermovisi	99
Tabel 22 Rekomendasi pengujian korona	99
Tabel 23 Rekomendasi pengujian <i>puncture</i> (kebocoran) insulator Chance	100
Tabel 24 Rekomendasi pengujian resistansi pentanahan <i>tower</i>	100



PENDAHULUAN

Dalam Perusahaan Tenaga Listrik pemeliharaan sarana instalasi memegang peranan sangat penting dalam menunjang kualitas dan keandalan penyediaan tenaga listrik kepada konsumen. Pemeliharaan sarana instalasi adalah salah satu proses kegiatan yang bertujuan menjaga kondisi peralatan, sehingga dalam pengoperasiannya peralatan dapat selalu berfungsi sesuai dengan karakteristik desainnya.

Selama ini pemeliharaan sarana instalasi listrik yang dilaksanakan di PT PLN (Persero) mengacu pada Buku Pedoman Pemeliharaan Sistem Tenaga Tahun 1984 sesuai SE_032 /PST/1984 beserta revisi-revisinya dan petunjuk pemeliharaan pada *manual books* masing-masing peralatan yang masih menggunakan pola Pemeliharaan Berbasis Waktu (*Time Based Maintenance*). Seiring dengan perjalanan waktu, perkembangan teknologi dan dimulainya penerapan pola Pemeliharaan Berbasis Kondisi (*Condition Based Maintenance*) di PT PLN (Persero), maka dirasa perlu adanya Buku Pedoman Pemeliharaan dan Asesmen Kondisi Peralatan Sistem Tenaga baru yang dapat mengakomodasi perubahan-perubahan yang terjadi.

Buku Pedoman Pemeliharaan dan Asesmen Kondisi Peralatan Sistem Tenaga ini mencakup Komponen dan Fungsi Peralatan, *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), Pedoman Pemeliharaan SUTT & SUTET dan Evaluasi Hasil Pemeliharaan sebagai dasar asesmen kondisi peralatan serta Rekomendasi untuk acuan tindak lanjut kondisi peralatan. Dengan terbitnya buku ini dapat meningkatkan efisiensi dan efektifitas dari kegiatan pemeliharaan itu sendiri serta merubah pola pemeliharaan di PT PLN (Persero) yang tadinya menggunakan *Time Based Maintenance* 80% dan *Corrective Maintenance* 20% menjadi pola pemeliharaan yang menggunakan *Time Based Maintenance* 40%, *Condition Based Maintenance* 50% dan *Corrective Maintenance* 10% sehingga mempunyai nilai lebih untuk menjadi sistem pemeliharaan yang berstandar nasional.



BAB I

KOMPONEN & FUNGSI DAN FAILURE MODE EFFECT ANALYSIS (FMEA)

SUTT & SUTET

Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) adalah sarana yang terbentang di udara untuk menyalurkan tenaga listrik dari Pusat Pembangkit ke Gardu Induk (GI) / Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET) atau dari GI / GITET ke GI /GITET lainnya yang disalurkan melalui konduktor yang direntangkan antara tiang-tiang (*tower*) melalui insulator-insulator dengan sistem tegangan tinggi (30 kV, 70 kV, 150 kV) atau tegangan ekstra tinggi (275 kV, 500 kV).

I.1 KOMPONEN DAN FUNGSI

Berdasarkan fungsi dari tiap-tiap komponennya, sistem transmisi SUTT & SUTET dikelompokkan sebagai berikut :

1. Isolasi
2. Pembawa arus
3. Kontruksi dan pondasi
4. Proteksi petir
5. Aksesoris

I.1.1 ISOLASI

Isolasi berfungsi untuk mengisolasi bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan / ground baik secara elektrik maupun mekanik. Isolasi pada SUTT & SUTET dibedakan menjadi 2, yaitu :

1. Isolasi padat (insulator)
2. Isolasi udara

I.1.1.1 Isolasi Padat (Insulator)

Isolasi padat (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.



Sesuai fungsinya, insulator yang baik harus memenuhi sifat :

1. Karakteristik elektrik

Insulator mempunyai ketahanan tegangan impuls petir pengenal dan tegangan kerja, tegangan tembus minimum sesuai tegangan kerja dan merupakan bahan isolasi yang diapit oleh logam sehingga merupakan kapasitor. Kapasitansinya diperbesar oleh polutan maupun kelembaban udara di permukaannya. Apabila nilai isolasi menurun akibat dari polutan maupun kerusakan pada insulator, maka akan terjadi kegagalan isolasi yang akhirnya dapat menimbulkan gangguan.

2. Karakteristik mekanik

Insulator harus mempunyai kuat mekanik guna menanggung beban tarik konduktor penghantar maupun beban berat insulator dan konduktor penghantar.

I.1.1.1.1 Insulator Menurut Material

1. Insulator keramik (porselen & gelas)

a. Insulator porselen

Insulator porselen mempunyai keunggulan tidak mudah pecah, tahan terhadap cuaca. Dalam penggunaannya insulator ini harus di *glasur*. Warna *glasur* biasanya coklat, dengan warna lebih tua atau lebih muda. Hal itu juga berlaku untuk daerah dimana *glasur* lebih tipis dan lebih terang, sebagai contoh pada bagian tepi dengan radius kecil. Daerah yang di *glasur* harus dilingkupi *glasur* halus dan mengkilat, bebas dari retak dan cacat lain.

b. Insulator gelas

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.

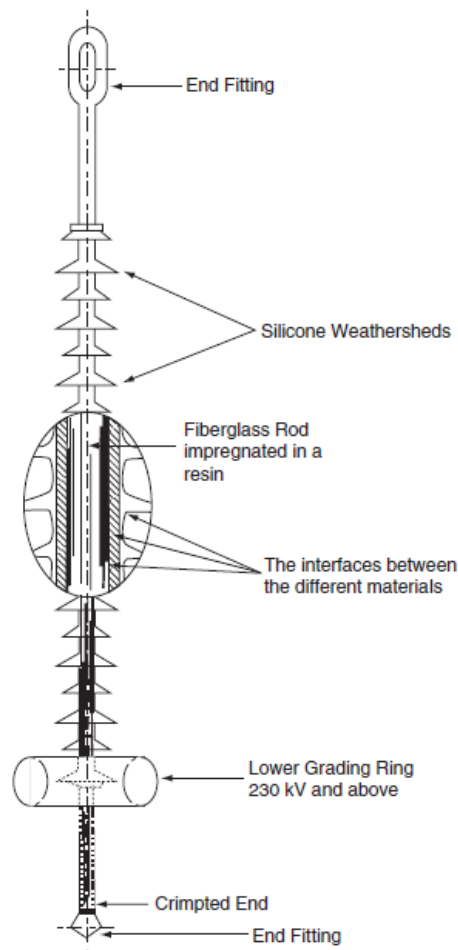
2. Insulator non-keramik (komposit)

Insulator non-keramik (komposit) terbuat dari bahan polimer. Insulator komposit dilengkapi dengan *mechanical load-bearing fiberglass rod*, yang diselubungi oleh *weather shed* polimer untuk mendapatkan nilai kekuatan elektrik yang tinggi.



Komponen utama dari insulator komposit yaitu :

- a. *End fittings*
- b. *Corona ring(s)*
- c. *Fiberglass-reinforced plastic rod*
- d. *Interface between shed and sleeve*
- e. *Weather shed*

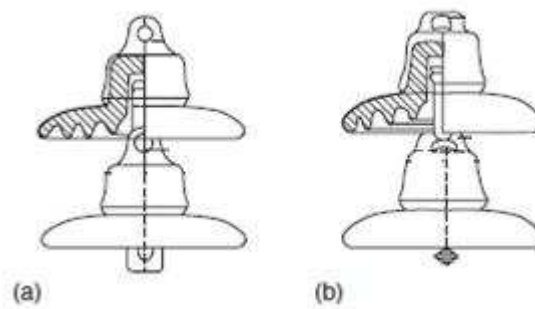


Gambar 1 Insulator komposit

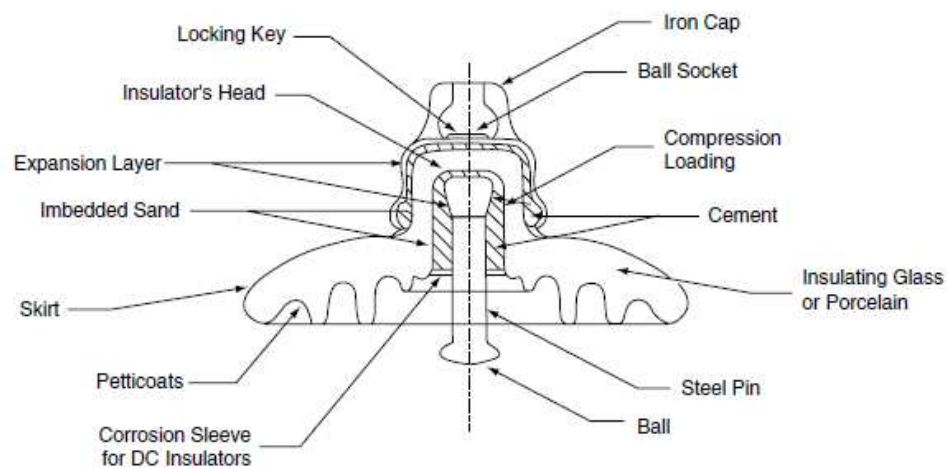
I.1.1.1.2 Insulator Menurut Bentuk

1. Insulator piring

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



Gambar 2 Insulator piring (a) tipe *clevis* (b) tipe *ball-and-socket*



Gambar 3 Komponen insulator piring tipe *ball-and-socket*

2. Insulator tipe *post*

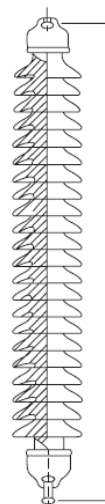
Dipergunakan sebagai tumpuan dan memegang bagi konduktor di atasnya untuk pemasangan secara vertikal dan sebagai insulator dudukan. Biasanya terpasang pada tower jenis pole atau pada tiang sudut. Dipergunakan untuk memegang dan menahan konduktor untuk pemasangan secara horizontal.



Gambar 4 Insulator *post*

3. Insulator *long rod*

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

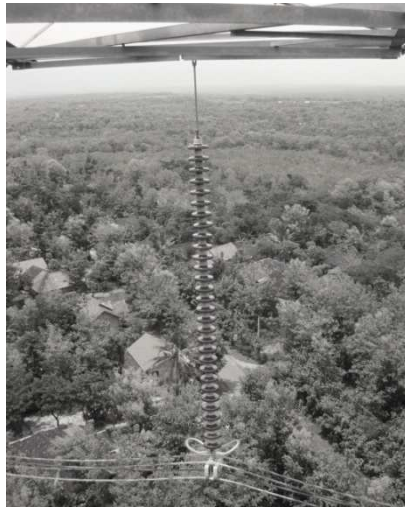


Gambar 5 Insulator *long rod*



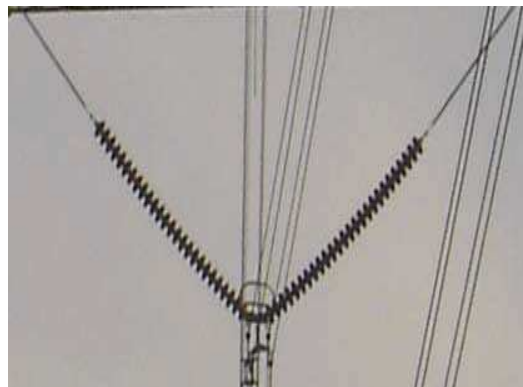
I.1.1.1.3 Insulator Menurut Pemasangan

1. "I" string



Gambar 6 Insulator "I" string

2. "V" string



Gambar 7 Insulator "V" string

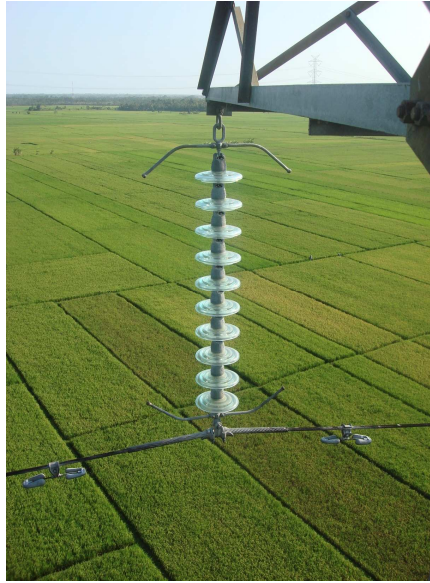
3. Horizontal string



Gambar 8 Insulator horizontal string

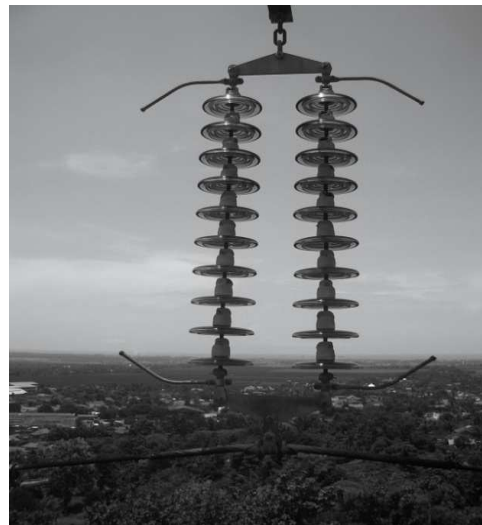


4. *Single string*



Gambar 9 Insulator *single string*

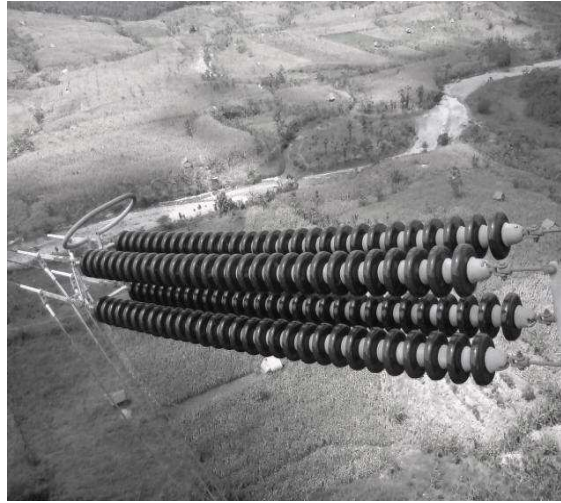
5. *Double string*



Gambar 10 Insulator *double string*



6. *Quadruple*



Gambar 11 Insulator *quadruple*

I.1.1.2 Isolasi Udara

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).

I.1.2 PEMBAWA ARUS

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 :

I.1.2.1 Konduktor Penghantar

Merupakan suatu media untuk menghantarkan arus listrik yang direntangkan lewat tiang-tiang SUTT & SUTET melalui insulator-insulator sebagai penyekat konduktor dengan tiang. Pada tiang *tension*, konduktor dipegang oleh *tension clamp* / *compression dead end clamp*, sedangkan pada tiang *suspension* dipegang oleh *suspension clamp*.



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

1. Konduktivitas tinggi
2. Kekuatan tarik mekanik tinggi
3. Berat jenis yang rendah
4. Ekonomis
5. 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 :

1. Konduktor jenis tembaga (BC : *Bare copper*)

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

2. 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 :

- a. 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.

Untuk daerah yang udaranya mengandung kadar belerang tinggi dipakai jenis ACSR/AS, yaitu konduktor jenis ACSR yang konduktor *steel*nya dilapisi dengan aluminium.

- b. Konduktor jenis 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.

Tabel 1 Daftar konduktor yang dipergunakan untuk SUTT & SUTET

NO.	TYPE KONDUKTOR	JENIS KONDUKTOR	NEGARA ASAL	STANDARD YG. DIGUNAKAN	DATA KONDUKTOR				CURRENT CARRYING CAPACITY (CCC) (Amp)	KETERANGAN
					LUAS PENAMPANG (mm ²)	DIAMETER (mm)	R DC 20° C (Ohm/ Km)	BERAT (kg/ Km)		
1.	ACSR	HAWK	USA	ASTM B 232 - 64, T ASTM B 232 - 69	281,03	21,79	0,1199	455	455	150 kV
2.	ACSR	HEN	USA	ASTM B 232 - 64, T ASTM B 232 - 69	298,07	22,40	0,1202	1.112	457	150 kV
3.	ACSR	DOVE	CANADA	CSA C.49 - 1965	327,77	23,55	0,1024	1.137	495	150 kV & 500 kV
4.	ACSR	GANNET	USA	ASTM B 232 - 64, T ASTM B 232 - 69	392,84	25,76	0,0858	1.365	618	150 kV & 500 kV
5.	ACSR	ZEBRA	BRITISH	BS. 215 P.2 - 1956 BS. 215 P.2 - 1970	484,50	28,62	0,0674	1.621	835	150 kV
6.	ACSR	DRAKE	CANADA	CSA C.49 - 1965	468,45	28,11	0,0715	1.624	611	150 kV
7.	ACSR	PEGION	CANADA	CSA C.49-1965	99,22	12,75	0,3366	343	241	70 kV
8.	ACSR	OSTRICH	CANADA	CSA C.49-1965	176,71	17,28	0,1900	613	343	70 kV
9.	ACSR	LINNET	USA CANADA	ASTM B232-69 CSA C49-1965	198,19 198,26	18,31 18,31	0,1699 0,1696	689 687	371 368	70 kV 70 kV
10.	ACSR	ACSR 240/40	GERMANY	DIN 48204	282,50	21,90	0,1188	987	457	150 kV
11.	ACSR	ACSR 340/ 30	INDONESIA	SII 1134 - 1981 SPLN 41 - 7 : 1981	369,10	25	0,0851	1.180	790	150 kV
12.	THERMAL	TACSR 240	JEPANG	JEC 74 - 1964 JIS C 3110 - 1968 JEC A 234 - 1977	297,60	22,40	0,112	1.024	819	150 kV
13.	THERMAL	TACSR 410	JEPANG	sda	480,80	28,50	0,0671	1.578	1.149	150 kV
14.	THERMAL	TACSR 330	JEPANG	sda	379,60	25,30	0,085	1.239	986	150 kV
15.	THERMAL	TACSR 520	JEPANG	sda	586,85	31,50	0,0588	1.962	1.304	150 kV
1.		CU	GERMANY	DIN 48201 & DIN 4313	16	4,51	-	-	140	
2.		CU	GERMANY	DIN 48201 & DIN 4313	25	5,64	-	-	180	
3.		CU	GERMANY	DIN 48201 & DIN 4313	35	6,68	-	-	220	
4.		CU	GERMANY	DIN 48201 & DIN 4313	50	7,99	-	-	280	

I.1.2.2 Sambungan Konduktor (*Compression 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 :

1. Konduktivitas listrik yang baik
2. Kekuatan mekanik yang besar

Ada 2 jenis teknik penyambungan konduktor penghantar ACSR & TACSR, yaitu :

1. Sambungan dengan puntiran (sekarang sudah jarang dipergunakan)
2. Sambungan dengan *press*



Sambungan konduktor penghantar dengan *press* terdiri dari :

- a. Selongsong *steel*, berfungsi untuk menyambung *steel* atau bagian dalam konduktor penghantar ACSR & TACSR.
- b. Selongsong aluminium berfungsi untuk menyambung aluminium atau bagian luar konduktor penghantar ACSR & TACSR.



(a)



(b)

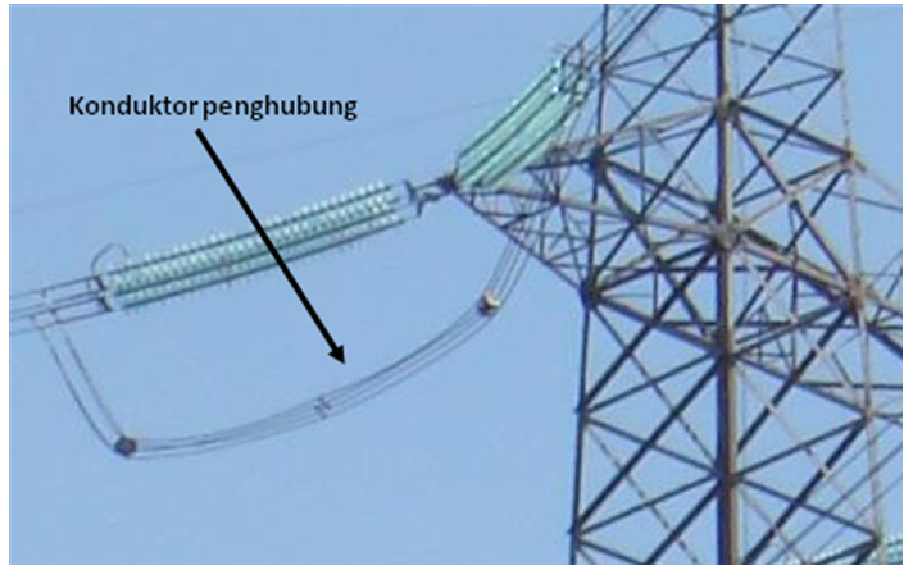
Gambar 12 Bagian sambungan konduktor penghantar (a) Selongsong *steel* (b) Selongsong aluminium

Penempatan *compression joint* harus memperhatikan hal-hal sebagai berikut :

- a. Diusahakan berada di tengah-tengah gawang atau bagian terendah dari andongan konduktor.
- b. Tidak boleh berada di dekat tower *tension*
- c. Tidak boleh di atas jalan raya, rel KA, SUTT, dll

I.1.2.3 Konduktor Penghubung (*Jumper*)

Konduktor penghubung 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 13 *Konduktor penghubung*

Jarak *konduktor penghubung* dengan tiang diatur sesuai tegangan operasi dari SUTT / SUTET konduktor pada tiang *tension* SUTET umumnya dipasang *counter weight* sebagai pemberat agar posisi dan bentuk *konduktor penghubung* tidak berubah. Pada tiang tertentu perlu dipasang insulator *support* untuk menjaga agar jarak antara *konduktor penghubung* dengan tiang tetap terpenuhi.

Untuk menjaga jarak dan pemisah antar konduktor *konduktor penghubung* pada konfigurasi 2 konduktor atau 4 konduktor perlu dipasang *twin spacer* ataupun *quad spacer*.

I.1.2.4 Klem Konduktor Penghantar

Klem konduktor penghantar digunakan untuk memegang konduktor penghantar terhadap insulator.

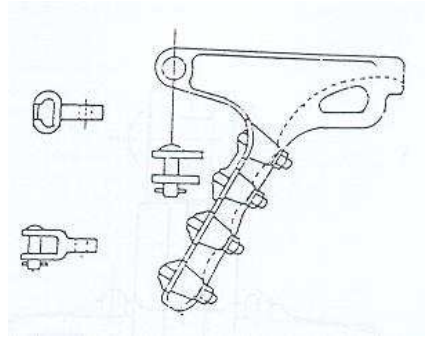
Macam-macam klem konduktor penghantar :

1. Klem penegang (*tension clamp*)

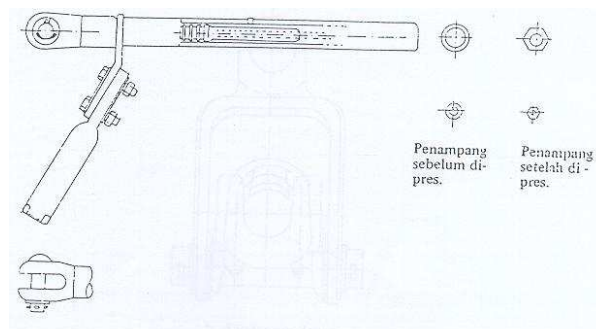
Umumnya terbuat dari campuran aluminium atau tembaga sesuai dengan kebutuhannya, dipergunakan untuk pengikat konduktor fasa pada insulator penegang pada tiang penegang.

Ada 2 (dua) macam klem penegang konduktor penghantar yang umumnya dipergunakan, yaitu :

- a. Klem penegang dengan mur baut (*strain clamp*)



Gambar 14 Klem penegang dengan mur baut

b. Klem penegang dengan *press*Gambar 15 Klem penegang dengan *press* untuk konduktor ACSR & TACSR2. Klem jembatan (*parallel groove clamp*)

Klem ini digunakan pada tiang-tiang tipe penegang (tiang *tension*) yang berfungsi sebagai penggandeng (penyambung) kedua ujung konduktor dari klem penegang satu dengan klem penegang lainnya.



Gambar 16 Klem Jembatan

I.1.3 KONSTRUKSI DAN PONDASI

Komponen utama dari Fungsi Konstruksi dan Pondasi 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.



I.1.3.1 Tiang 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).

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.

3. Tiang penyekat (*section tower*)

Yaitu tiang penyekat antara sejumlah *tower* penyangga dengan sejumlah *tower* penyangga lainnya karena alasan kemudahan saat pembangunan (penarikan konduktor), umumnya mempunyai sudut belokan yang kecil.

4. Tiang transposisi

Adalah tiang penegang yang berfungsi sebagai tempat perpindahan letak susunan fasa konduktor-konduktor Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) atau Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET).

5. Tiang portal (*gantry tower*)

Yaitu *tower* berbentuk portal digunakan pada persilangan antara dua saluran transmisi yang membutuhkan ketinggian yang lebih rendah untuk alasan tertentu (bandara, tiang *crossing*). Tiang ini dibangun di bawah saluran transmisi eksisting.



6. Tiang kombinasi (*combined tower*)

Yaitu *tower* yang digunakan oleh dua buah saluran transmisi yang berbeda tegangan operasinya.

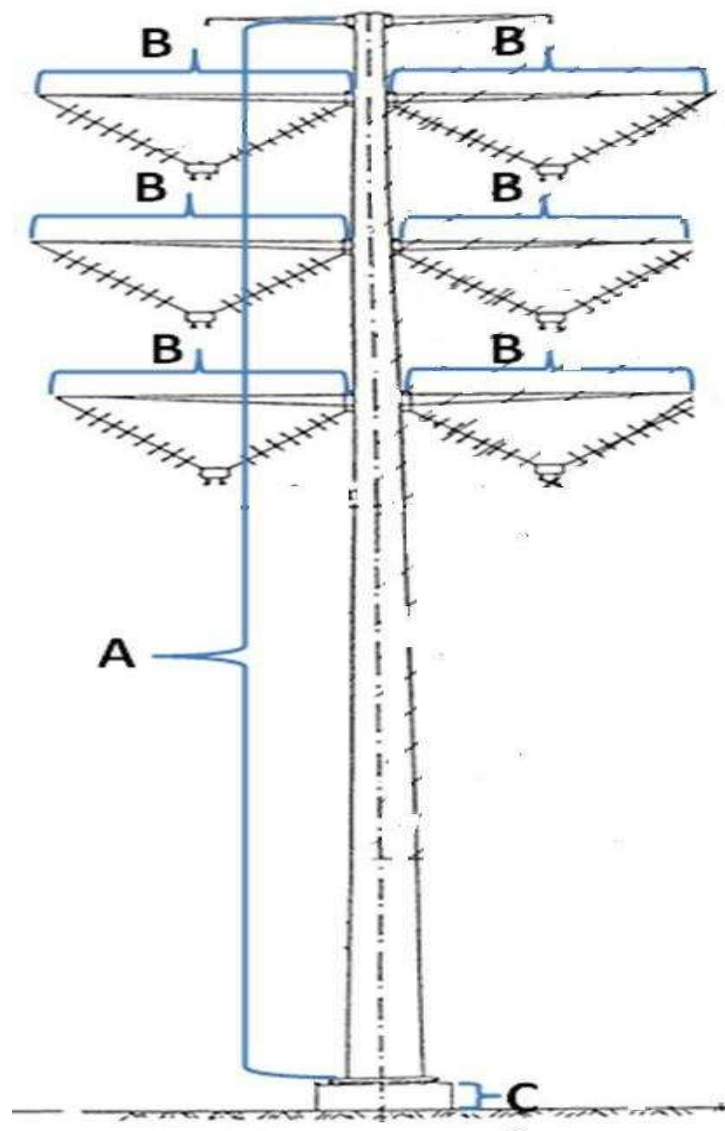
I.1.3.2 Tiang Menurut Bentuk

1. Tiang pole

Konstruksi SUTT dengan tiang beton atau tiang baja, pemanfaatannya digunakan pada perluasan SUTT dalam kota yang padat penduduk dan memerlukan lahan relatif sempit.

Berdasarkan materialnya, terbagi menjadi :

- a. Tiang pole baja
- b. Tiang pole beton



Gambar 17 Konstruksi tiang pole

Konstruksi tiang *pole* terdiri dari 3 bagian utama yaitu :

A. Tiang

Tiang adalah bagian utama dari tiang *pole* yang berfungsi sebagai penopang dari palang dan insulator. Untuk pemakaian pada saluran dengan jarak rentang yang panjang (menyeberang sungai, lembah dan sebagainya), digunakan tiang khusus yang konstruksinya dan dimensinya dibuat lebih besar serta lebih kuat dari pada jenis tiang yang standar.

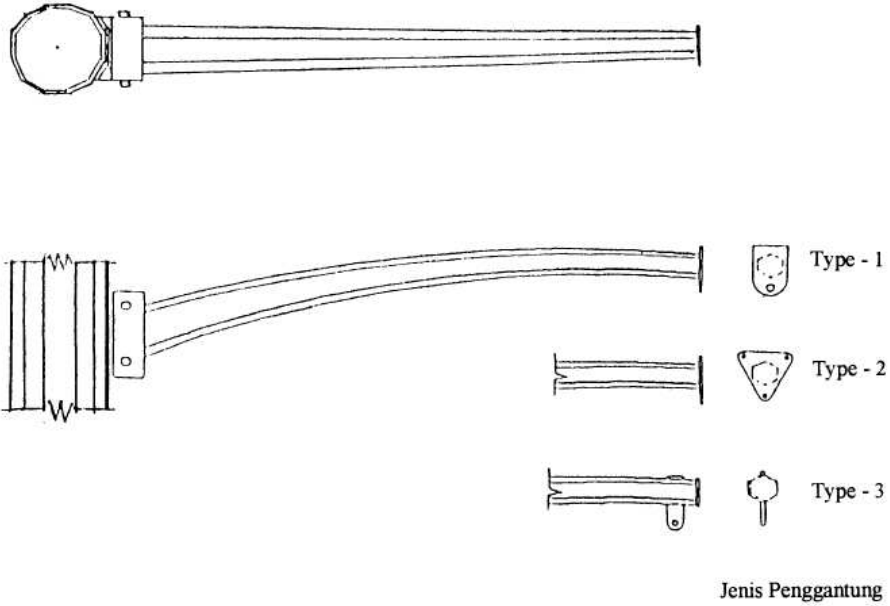
Tiang baja terbuat dari *high steel* yang berpenampang poligonal atau bulat, sedangkan tiang beton terbuat dari beton pra-tekan berpenampang bulat.



B. Palang (*travers*)

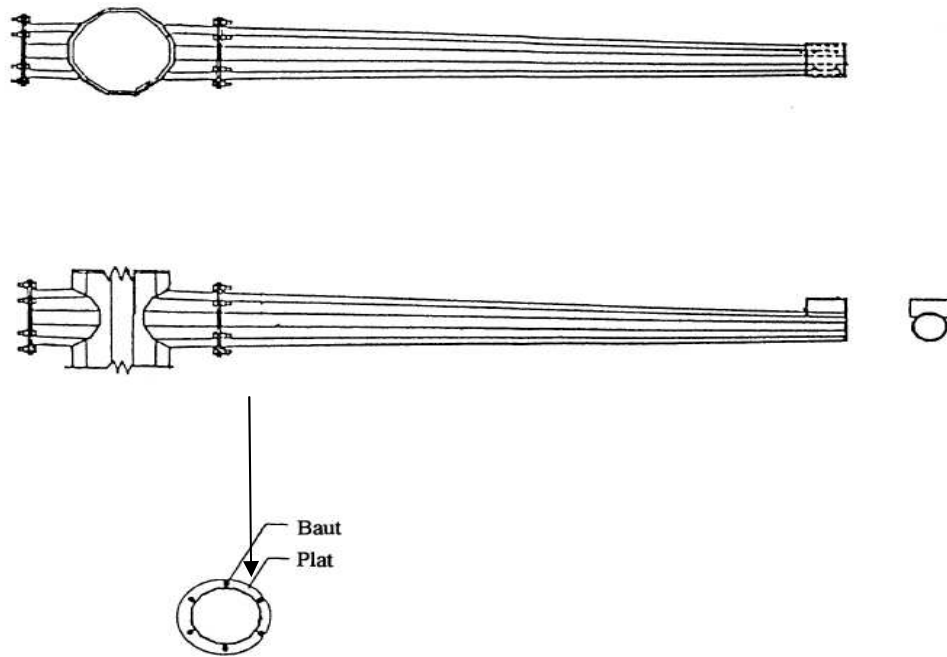
Jenis palang yang digunakan :

- palang poligonal lengkung (*davit*)



Gambar 18 Palang poligonal lengkung (*davit*)

- palang poligonal lurus



Gambar 19 Palang poligonal lurus

Traverse davit dan Traverse poligonal lurus dipergunakan untuk SUTT tiang tunggal. Sedangkan untuk SUTT tiang ganda menggunakan traverse lurus.



Gambar 20 traverse lurus

Bahan palang terbuat dari bahan baja mutu ASTM A-572 dengan minimum Grade 50 dan digalvanis.

C. Pondasi

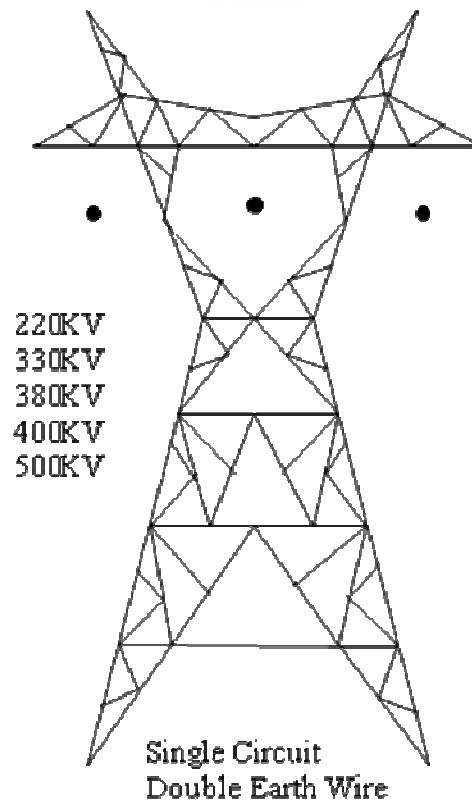
Jenis pondasi yang digunakan pada tiang *pole* adalah :

1. Pondasi bor yang terdiri atas :
 - a. Pondasi bor poros lurus
 - b. Pondasi bor tanam langsung
2. Pondasi beton bertulang dengan baut angkur, yang terdiri atas :
 - a. Pondasi beton bertulang dengan tiang pancang
 - b. Pondasi beton bertulang tanpa tiang pancang

2. Tiang kisi-kisi (*lattice tower*)

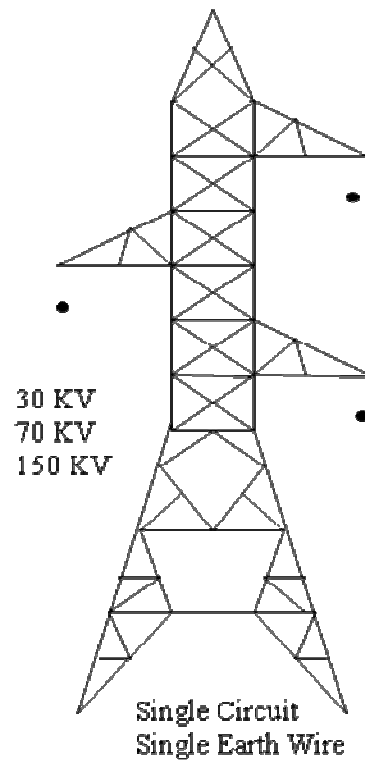
Terbuat dari baja profil, disusun sedemikian rupa sehingga merupakan suatu menara yang telah diperhitungkan kekuatannya disesuaikan dengan kebutuhannya. Berdasarkan susunan / konfigurasi penghantarnya dibedakan menjadi 3 (tiga) kelompok besar, yaitu :

- a. Tiang delta (*delta tower*)



Gambar 21 Tiang delta

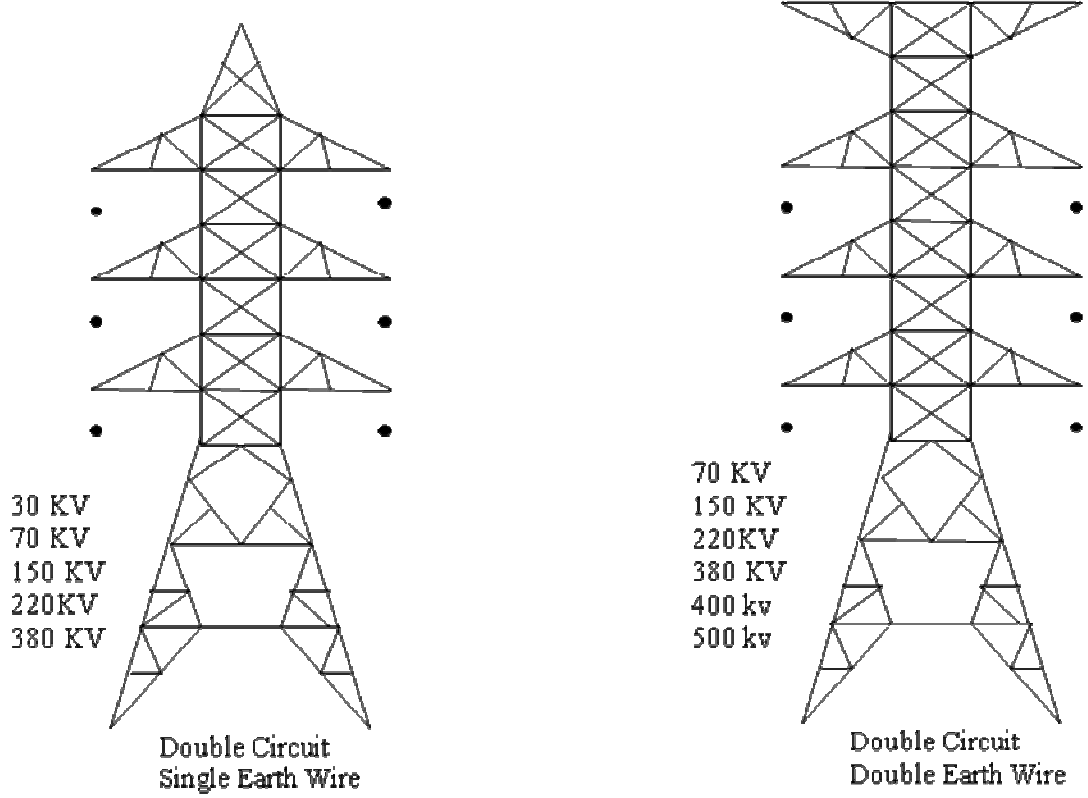
- b. Tiang zig-zag (*zig-zag tower*)



Gambar 22 Tiang zig-zag



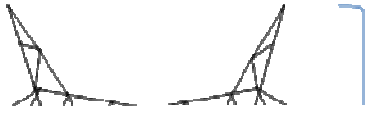
c. Tiang piramida (*pyramid tower*)



Gambar 23 Tiang piramida



Bagian-Bagian Tiang Kisi-kisi :



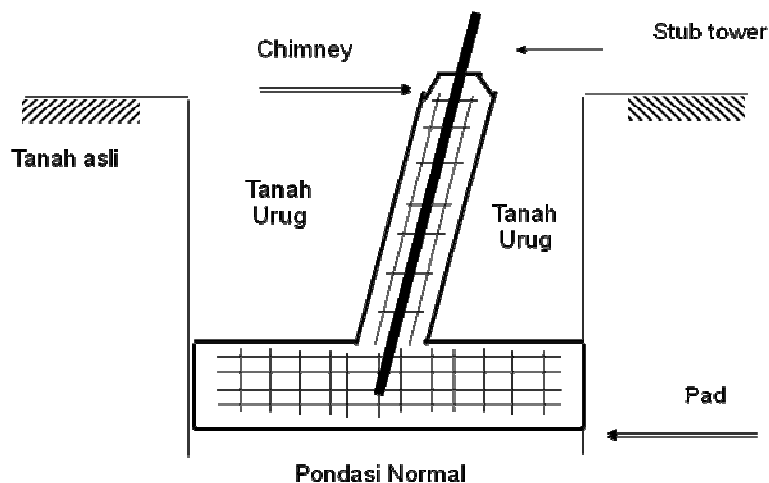


- *Auger*, dipilih karena mudah pengerjaannya dengan mengebor dan mengisinya dengan semen.
- *Rock drilled*, dipilih untuk daerah berbatuan.

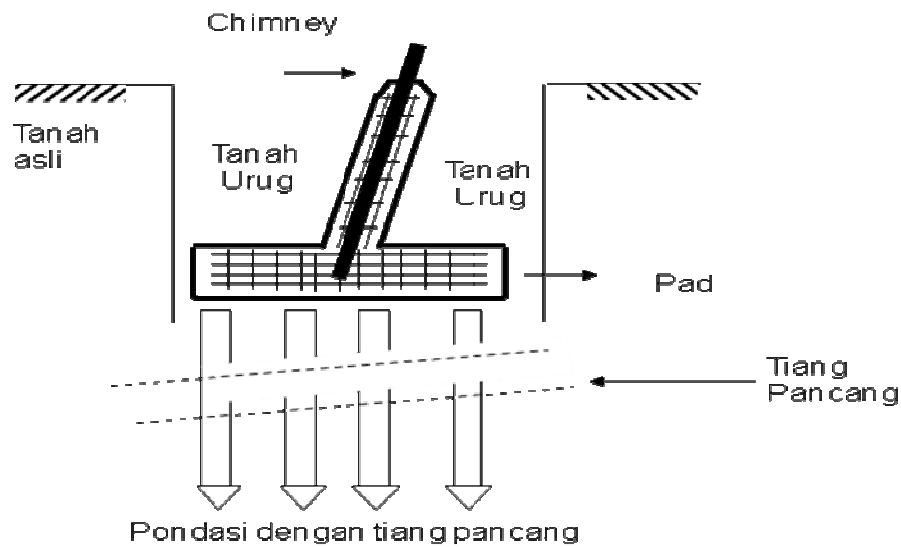
Stub adalah bagian paling bawah dari kaki *tower*, dipasang bersamaan dengan pemasangan pondasi dan diikat menyatu dengan pondasi. Bagian atas *stub* muncul dipermukaan tanah sekitar 0,5 sampai 1 meter dan dilindungi semen serta dicat agar tidak mudah berkarat.

Pemasangan *stub* paling menentukan mutu pemasangan *tower*, karena harus memenuhi syarat :

- Jarak antar *stub* harus benar
- Sudut kemiringan *stub* harus sesuai dengan kemiringan kaki *tower*
- Level titik hubung *stub* dengan kaki *tower* tidak boleh beda 2 mm (milimeter).

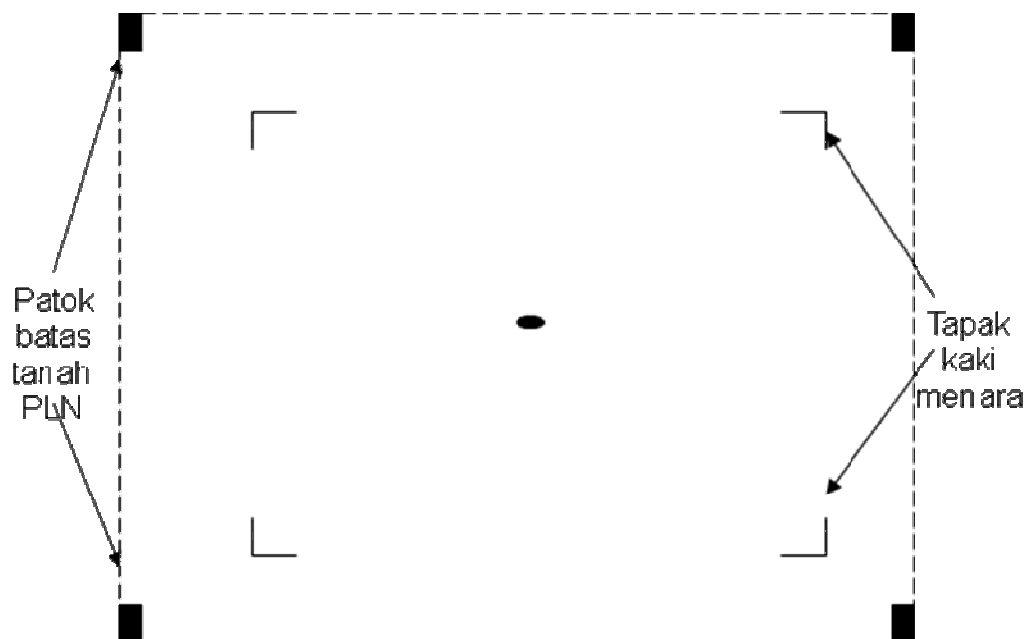


Gambar 25 Pondasi normal



Gambar 26 Pondasi spesial (pancang)

Halaman *tower* adalah daerah tapak *tower* yang luasnya diukur dari proyeksi keatas tanah galian pondasi. Biasanya antara 3 hingga 8 meter di luar *stub* tergantung pada jenis *tower*.



Gambar 27 Halaman tower

B. Kaki tower (*leg*)

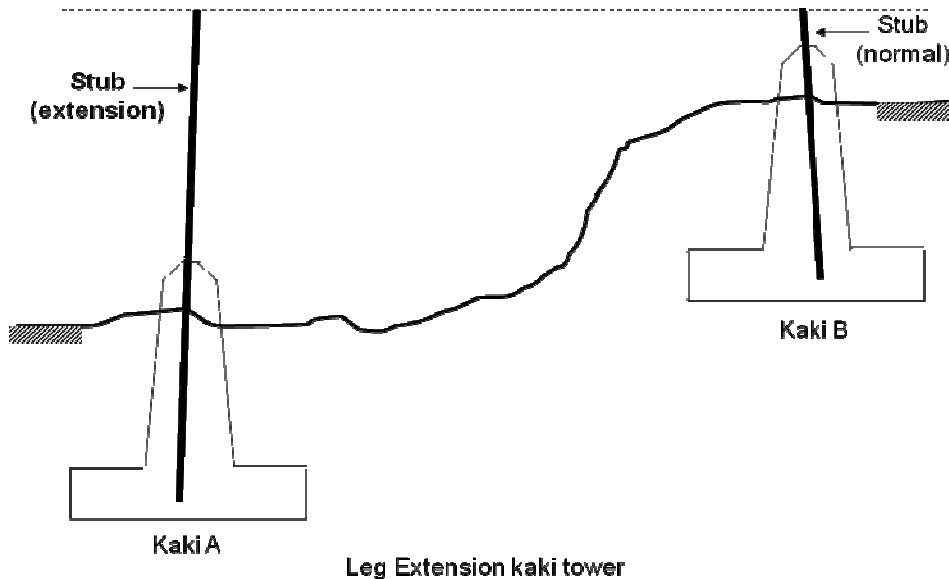
Leg adalah kaki *tower* yang terhubung antara *stub* dengan *tower body*. Pada tanah yang tidak rata perlu dilakukan penambahan atau



pengurangan tinggi *leg*. *Tower Body* harus tetap sama tinggi permukaannya.

Pengurangan *leg* ditandai : -1; -2; -3

Penambahan *leg* ditandai : +1; +2; +3



Gambar 28 Leg tower

C. Common body

Common body adalah badan *tower* bagian bawah yang terhubung antara *leg* dengan badan *tower* bagian atas (*super structure*). Kebutuhan tinggi *tower* dapat dilakukan dengan pengaturan tinggi *common body* dengan cara penambahan atau pengurangan.

Pengurangan *common body* ditandai : -3

Penambahan *common body* ditandai : +3; +6; +9; +12; +15

D. Traverse

Traverse adalah bagian *tower* yang berfungsi untuk tempat menggantungkan atau mengaitkan insulator konduktor fasa serta klem konduktor petir. Pada umumnya *Traverse* berbentuk segitiga kecuali *tower* jenis *tension* yang mempunyai sudut belokan besar berbentuk segi empat.



E. *Super structure*

Super structure adalah badan *tower* bagian atas yang terhubung dengan *common body* dan *traverse* konduktor fasa maupun konduktor petir. Pada *tower* jenis delta tidak dikenal istilah *super structure* namun digantikan dengan *bridge* dan “K” *frame*.

F. *Bridge*

Bridge adalah penghubung antara *traverse* kiri dan *traverse* kanan. Pada tengah-tengah *bridge* terdapat konduktor penghantar fasa tengah. *Bridge* tidak dikenal di *tower* piramida.

G. “K” *frame*

“K” *frame* adalah bagian *tower* yang terhubung antara *common body* dengan *bridge* maupun *traverse*. “K” *frame* terdiri atas sisi kiri dan kanan yang simetris. “K” *frame* tidak dikenal di *tower* piramida, hanya ada di tiang delta.

I.1.4 PROTEKSI PETIR

SUTT & SUTET merupakan instalasi penting yang menjadi target mudah (*easy target*) bagi sambaran petir karena strukturnya yang tinggi dan berada pada lokasi yang terbuka. Sambaran petir pada SUTT / SUTET merupakan suntikan muatan listrik. Suntikan muatan ini menimbulkan kenaikan tegangan pada SUTT / SUTET, sehingga pada SUTT / SUTET timbul tegangan lebih berbentuk gelombang impuls dan merambat ke ujung-ujung SUTT / SUTET. Tegangan lebih akibat sambaran petir sering disebut surja petir.

Jika tegangan lebih surja petir tiba di GI, maka tegangan lebih tersebut akan merusak isolasi peralatan GI. Oleh karena itu, perlu dibuat alat pelindung agar tegangan surja yang tiba di GI tidak melebihi kekuatan isolasi peralatan GI.

Komponen-komponen yang termasuk dalam fungsi proteksi petir adalah semua komponen pada SUTT & SUTET yang berfungsi dalam melindungi saluran transmisi dari sambaran petir, yang terdiri dari :

I.1.4.1 Konduktor Tanah (*Earth Wire*)

Konduktor tanah atau *Earth wire* adalah media untuk melindungi konduktor fasa dari sambaran petir. Konduktor ini dipasang di atas konduktor fasa dengan sudut perlindungan yang sekecil mungkin, dengan anggapan petir menyambar dari atas



konduktor. Namun, jika petir menyambar dari samping maka dapat mengakibatkan konduktor fasa tersambar dan dapat mengakibatkan terjadinya gangguan.



Gambar 29 Konduktor tanah

Konduktor tanah terbuat dari baja yang sudah digalvanis, maupun sudah dilapisi dengan aluminium. Pada SUTET yang dibangun mulai tahun 1990an, di dalam *ground wire* difungsikan *fiber optic* untuk keperluan telemetri, teleproteksi maupun telekomunikasi yang dikenal dengan OPGW (*Optic Ground Wire*), sehingga mempunyai beberapa fungsi.

Jumlah konduktor tanah pada SUTT maupun SUTET paling sedikit ada satu buah di atas konduktor fasa, namun umumnya dipasang dua buah. Pemasangan satu buah konduktor tanah untuk dua penghantar akan membuat sudut perlindungan menjadi besar sehingga konduktor fasa mudah tersambar petir.

Pada tipe penegang, pemasangan konduktor tanah dapat menggunakan klem penegang dengan *press* dan klem penegang dengan mur baut. Sedangkan pada tipe penyangga digunakan *suspension clamp* untuk memegang konduktor tanah.

I.1.4.2 Konduktor Penghubung Konduktor Tanah

Untuk menjaga hubungan konduktor tanah dengan tiang, maka pada ujung travers konduktor tanah dipasang konduktor penghubung yang dihubungkan ke konduktor



tanah. Konduktor penghubung terbuat dari konduktor tanah yang dipotong dengan panjang yang disesuaikan dengan kebutuhan.

Konduktor penghubung pada tipe penegang dipasang antara tiang dan konduktor tanah serta antar klem penegang konduktor tanah. Hal ini dimaksudkan agar arus gangguan petir dapat mengalir langsung ke tiang maupun antar konduktor tanah. Sedangkan pada tipe penyangga, konduktor penghubung dipasang pada tiang dan disambungkan ke konduktor tanah dengan klem jembatan ataupun dengan memasangnya pada *suspension clamp* konduktor tanah.



Gambar 30 Konduktor penghubung konduktor tanah

1.1.4.3 Arcing Horn

Alat pelindung proteksi petir yang paling sederhana adalah *arcing horn*. *Arcing horn* berfungsi memotong tegangan impuls petir secara pasif (tidak mampu memadamkan *follow current* dengan sendirinya). *Arcing horn* terpasang pada SUTT / SUTET yaitu :

1. *Arcing horn* sisi penghantar



Gambar 31 *Arcing horn* sisi penghantar

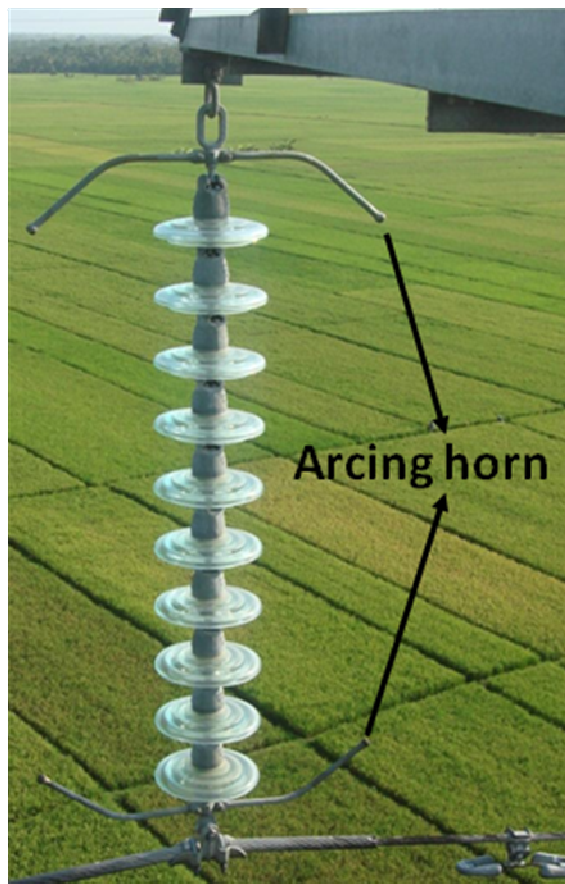


2. *Arcing horn* sisi tower



Gambar 32 *Arcing horn* sisi tower

3. Bentuk lain dari *arcing horn*



Gambar 33 Bentuk lain *arcing horn*

I.1.4.4 Konduktor Penghubung Konduktor Tanah ke Tanah

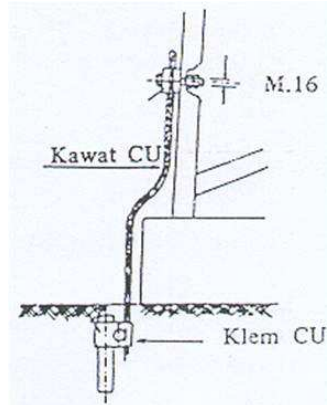
Pada tiang SUTT & SUTET yang berlokasi di daerah petir tinggi biasanya dipasang konduktor penghubung dari konduktor tanah ke tanah. Bahan yang dipakai untuk



konduktor penghubung umumnya sama dengan bahan konduktor tanah. Konduktor penghubung ini berfungsi agar arus petir yang menyambar konduktor tanah maupun tiang SUTT / SUTET dapat langsung disalurkan ke tanah dengan pertimbangan bahwa nilai hambatan konduktor lebih kecil dibandingkan nilai hambatan tiang.

Konduktor Penghubung Konduktor
Tanah ke tanah





Gambar 35 Pentanahan tiang

Jenis-jenis pentanahan tiang pada SUTT & SUTET :

1. *Electroda bar*, yaitu suatu rel logam yang ditanam di dalam tanah. Pentanahan ini paling sederhana dan efektif, dimana nilai tahanan tanah adalah rendah.
2. *Electroda plat*, yaitu plat logam yang ditanam di dalam tanah secara horisontal atau vertikal. Pentanahan ini umumnya untuk pengamanan terhadap petir.
3. *Counter poise electrode*, yaitu suatu konduktor yang digelar secara horisontal di dalam tanah. Pentanahan ini dibuat pada daerah yang nilai tahanan tanahnya tinggi atau untuk memperbaiki nilai tahanan pentanahan.
4. *Mesh electrode*, yaitu sejumlah konduktor yang digelar secara horisontal di tanah yang umumnya cocok untuk daerah kemiringan.

Komponen-komponen pentanahan tiang :

1. Konduktor pentanahan, terbuat dari bahan yang konduktifitasnya besar.
2. Klem pentanahan atau sepatu kabel.
3. Batang pentanahan.
4. Klem sambungan konduktor pentanahan.

I.1.5 AKSESORIS

Aksesoris pada sistem transmisi SUTT / SUTET adalah semua komponen pendukung fungsi isolasi, fungsi konstruksi dan fungsi K3 dari sistem tersebut. Berdasarkan perannya sebagai komponen pendukung, aksesoris dibedakan menjadi :



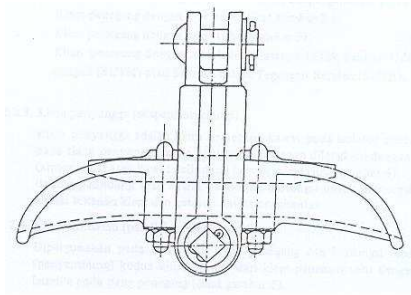
1. Aksesoris insulator
2. Aksesoris panjang (fungsi konstruksi)
3. Aksesoris K3

I.1.5.1 Aksesoris Insulator

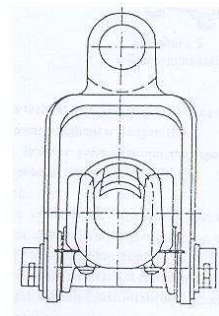
Merupakan semua komponen pendukung agar insulator dapat terhubung secara mekanis dengan tower dan konduktor. Komponen ini terdiri dari :

1. Klem penyangga (*suspension clamp*)

Suspension clamp adalah alat yang dipasangkan pada konduktor penghantar ke perlengkapan insulator gantung, yang berfungsi untuk memegang konduktor penghantar pada tiang *suspension*. Sebelum dipasang pada *suspension clamp*, konduktor penghantar harus dilapisi *armour rod* untuk mengurangi kelelahan bahan pada konduktor akibat dari adanya vibrasi atau getaran pada konduktor penghantar dan akibat tekanan klem.



(a) Pandangan samping



(b) Pandangan depan

Gambar 36 Klem penyangga





Gambar 39 *Socket clevis*

4. *Bolt clevis*

Komponen ini berfungsi untuk menghubungkan *socket* insulator dengan *link*.



Gambar 40 *Bolt clevis*

5. *Socket link bolt*

Komponen ini berfungsi untuk menghubungkan *socket* insulator dengan *cold yoke* pada tower *tension*.



Gambar 41 *Socket link bolt*

6. *Spacer*

Komponen ini berfungsi sebagai pemisah / perentang dan sekaligus sebagai peredam getaran pada konduktor.



Gambar 42 *Spacer*

7. *Clevis clamp suspension*

Komponen ini berfungsi sebagai penghubung *clamp suspension* dengan *yoke*.



Gambar 43 *Clevis clamp suspension*

8. *Turnbuckle / span scrup*

Komponen ini berfungsi untuk mengatur kekencangan / kekendoran tarikan konduktor / konduktor.



Gambar 44 *Turnbuckle / span scrup*



9. *Damper*

Komponen ini berfungsi sebagai peredam getaran pada konduktor.



Gambar 45 *Damper*

10. *Clamp OPGW*

Komponen ini berfungsi sebagai pemegang konduktor OPGW yang terpasang pada tower dan melindungi konduktor agar tidak tergores.



Gambar 46 *Clamp OPGW*

11. *Extention link*

Komponen ini berfungsi untuk menghubungkan travers dengan *yoke* pada tower *tension* sisi *cold end*.



Gambar 47 *Extention link*

12. *Adjuster link*

Komponen ini berfungsi untuk menghubungkan *yoke* dengan konduktor dan memperoleh *sagging* yang diinginkan.



Gambar 48 *Adjuster link*

13. *Dead end press*

Komponen ini berfungsi untuk mematikan dan menghubungkan konduktor dengan insulator pada sisi *cold tower*.



Gambar 49 *Dead end press*

14. *Compression dead end press*

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



Gambar 50 *Compression dead end press*

15. *Konduktor penghubung clamp*

Komponen ini berfungsi sebagai penghubung *konduktor penghubung* dengan konduktor.



Gambar 51 Konduktor penghubung clamp

16. *Shackle*

Komponen ini berfungsi untuk menghubungkan *link* dengan *tower*.



Gambar 52 *Shackle*

17. *Counter weight*

Komponen ini berfungsi untuk mengurangi guncangan pada konduktor penghubung atau konduktor.



Gambar 53 *Counter weight*

18. *Link panjang*

Komponen ini berfungsi untuk memperpanjang jarak insulator dengan sisi *tower*.

Gambar 54 *Link* panjang

I.1.5.2 Aksesoris Panjat

Komponen pendukung yang memudahkan petugas untuk melakukan pemanjatan ke atas tower, yaitu :

1. Baut panjat (*step bolt*)

Step bolt adalah baut yang dipasang dari atas ACD ke sepanjang badan *tower* hingga *super structure* dan traverse konduktor petir. Berfungsi untuk pijakan petugas sewaktu naik maupun turun dari *tower*.

Gambar 55 *Step bolt*

I.1.5.3 Aksesoris K3

Komponen pendukung yang bertujuan untuk memberikan peringatan bahaya dan informasi di sekitar saluran transmisi.

1. Penghalang panjat / ACD (*Anti Climbing Device*)

Penghalang panjat berfungsi untuk menghalangi orang yang tidak berkepentingan untuk naik tower. Penghalang panjat dibuat runcing, berjarak 10 cm dengan yang lainnya dan dipasang di setiap kaki tower dibawah Rambu tanda bahaya.



Gambar 56 Penghalang panjang / ACD (*Anti Climbing Device*)

2. Tanda penghantar & nomor tiang

Komponen ini berfungsi untuk identitas *tower*.



Gambar 57 Tanda penghantar & nomor tiang

3. Tanda bahaya

Komponen ini berfungsi untuk memberikan peringatan bahaya tegangan tinggi.



Gambar 58 Tanda bahaya

4. *Ball sign*

Komponen ini berfungsi untuk memberi tanda bagi pesawat yang lewat yang terpasang pada konduktor dan konduktor petir.

Gambar 59 *Ball sign*

5. Lampu penerbangan (*aviation light*)

Adalah rambu peringatan berupa lampu terhadap lalu lintas udara, berfungsi untuk memberi tanda kepada pilot pesawat terbang bahwa terdapat konduktor transmisi. Jenis lampu penerbangan adalah sebagai berikut :

- Lampu penerbangan yang terpasang pada *tower* dengan suplai dari jaringan tegangan rendah

Gambar 60 Lampu penerbangan *tower*

- Lampu penerbangan yang terpasang pada konduktor penghantar dengan sistem induksi dari konduktor penghantar.

I.2 FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA)

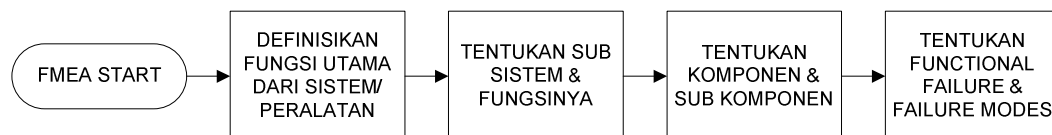
Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) adalah prosedur analisa dari model kegagalan (*failure modes*) yang dapat terjadi dalam sebuah sistem untuk diklasifikasikan berdasarkan hubungan sebab-akibat dan penentuan efek dari kegagalan tersebut terhadap sistem.



Model kegagalan (*failure modes*) sendiri adalah setiap kejadian yang menyebabkan *functional failure* (ketidakmampuan suatu aset untuk dapat bekerja sesuai fungsinya sesuai unjuk kerja yang dapat diterima pemakai). Sedangkan *Effects Analysis* mengacu kepada pembelajaran konsekuensi-konsekuensi dari kegagalan tersebut. Penyebab kegagalan (*failure causes*) adalah semua kesalahan (*errors*) atau cacat / ketidaksempurnaan (*defects*) dalam proses, design, atau barang yang dapat terjadi atau nyata terjadi.

FMEA diperkenalkan secara formal di awal tahun 1940 oleh Angkatan Bersenjata Amerika untuk keperluan militer. Dalam FMEA, kegagalan diprioritaskan berdasarkan seberapa seriuskah konsekuensi yang diakibatkannya, frekuensi terjadinya, dan kemudahan dalam mendeteksinya. FMEA juga merupakan dokumentasi pengetahuan terkini dan tindakan tentang resiko kegagalan untuk digunakan dalam pengembangan berkelanjutan. Tujuan pembuatan FMEA adalah sebagai dasar pengambilan tindakan untuk mengurangi atau bahkan menghilangkan resiko kegagalan, dimulai dari prioritas tertinggi. FMEA dapat digunakan untuk evaluasi prioritas manajemen resiko dalam pengurangan kerapuhan sistem terhadap ancaman. FMEA membantu pemilihan tindakan perbaikan yang mengurangi dampak kumulatif konsekuensi (resiko) umur dari sebuah kegagalan sistem.

I.2.1 PROSEDUR PEMBUATAN FMEA



Gambar 61 *Flowchart* prosedur pembuatan FMEA

1. Mendefinisikan fungsi utama dari sistem / peralatan

Sistem adalah kumpulan komponen yang secara bersama-sama bekerja membentuk satu atau lebih fungsi. Fungsi sistem tidak sama dengan fungsi komponen.

2. Menentukan sub sistem dan fungsinya

Sub sistem adalah peralatan dan/atau komponen yang bersama-sama membentuk satu fungsi. Dari fungsinya sub sistem berupa unit yang berdiri sendiri dalam suatu sistem.

3. Menentukan komponen dan sub komponen sistem

4. Menentukan *functional failures* dan *failures modes*



I.2.2 FMEA SUTT & SUTET

1. Fungsi SUTT & SUTET

Tabel 2 Fungsi SUTT & SUTET

SISTEM	FUNGSI SISTEM
Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) & Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET)	Menyalurkan daya listrik dari Sisi Pembangkit ke Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi dan dari GITET ke GI/ GIS melalui Konduktor Telanjang dengan aman dan rugi daya yang kecil

2. Sub Sistem SUTT & SUTET serta Fungsinya

Tabel 3 Sub Sistem SUTT & SUTET serta Fungsinya

NO	SUB SISTEM	FUNGSI SUB SISTEM
1	Fungsi Isolasi	Menjaga agar tidak terjadi hubung singkat antara bagian yang bertegangan dengan tanah atau bagian bertegangan dengan bagian bertegangan lainnya
2	Fungsi Pembawa Arus	Menyalurkan arus listrik dari satu titik ke titik lain
3	Fungsi Konstruksi & Pondasi	Menopang komponen fungsi isolasi, pembawa arus dan proteksi
4	Fungsi Proteksi Petir	Melindungi saluran transmisi dari sambaran petir
5	Fungsi Aksesoris	Mendukung Fungsi Isolasi, Fungsi Konstruksi serta K3



3. Komponen dan Sub Komponen SUTT & SUTET

Tabel 4 Komponen dan Sub Komponen SUTT & SUTET

ISOLASI		PEMBAWA ARUS		KONSTRUKSI & PONDASI TOWER LATTICE	
N O	KOMPONEN	N O	KOMPONEN	N O	KOMPONEN
1	PADAT (INSULATOR)	1	KONDUKTOR PENGHANTAR	1	BRACING/MEMBER/DIAGONAL
2	UDARA	2	SAMBUNGAN KONDUKTOR PENGHANTAR	2	PLAT SAMBUNGAN RANGKA
		3	KONDUKTOR PENGHUBUNG	3	PONDASI/KOPEL
		4	KLEM KONDUKTOR PENGHANTAR	4	CAT/GALVANIS TIANG

PROTEKSI PETIR		AKSESORIS		KONSTRUKSI & PONDASI TOWER POLE	
N O	KOMPONEN	N O	KOMPONEN	N O	KOMPONEN
1	KONDUKTOR TANAH	1	AKSESORIS ISOLASI	1	KONSTRUKSI TIANG
2	KONDUKTOR PENGHUBUNG KONDUKTOR TANAH	2	AKSESORIS PANJAT	2	PONDASI/KOPEL
3	KONDUKTOR PENGHUBUNG EW KE TANAH	3	AKSESORIS K3	3	CAT/GALVANIS TIANG
4	ARCING HORN				
5	PENTANAHAN				



4. Functional Failures dan Failures Modes SUTT & SUTET

a. Sub Sistem Isolasi

Tabel 5 FMEA Sub Sistem Isolasi

SUB SISTEM	SUB SUB SISTEM	Fungsi	Kegagalan Fungsi	F-1	F-2	F-3	F-4	F-5	F-6	F-7	
ISOLASI	ISOLATOR (ISOLASI PADAT)	Mengisolasi antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan / ground baik secara mekanis maupun elektrik	Bagian bertegangan terhubung dengan ground / fasa lainnya	Tegangan Impulse / Tegangan Operasional lebih tinggi dari BIL	Jumlah isolator flash melebihi standar (> 50%)	Distribusi Tegangan tidak memenuhi standar	Corona pada insulator	Polusi pada isolator	Daerah dengan polutan tinggi	Daerah pabrik petrokimia	
										Hutan tropis	
										Daerah semen	
										Daerah pinggir pantai	
										Daerah pabrik batubara & genteng	
										Daerah tanah pasir besi	
	Daerah pertanian tebu										
	ISOLASI UDARA	Mengisolasi antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan / ground dan antar fasa bertegangan secara elektrik	Terjadi hubung singkat antar fasa atau fasa ke ground melalui media udara	Titik Ground yang mendekati bagian bertegangan	Renceng isolator putus	Penurunan kemampuan mekanis	Korosi pada Ball & Socket	Timbulnya Corona	Uap air garam yang terperangkap di isolator	Tipe isolator tidak sesuai isolator produk gagal Jumlah isolator tidak sesuai	Daerah Pantai
											Daerah Rawa
											Daerah Vulkanik
											Daerah polutan
											Dekat Pabrik Rokok
Dekat Pabrik Kimia											
ISOLASI UDARA	Mengisolasi antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan / ground dan antar fasa bertegangan secara elektrik	Terjadi hubung singkat antar fasa atau fasa ke ground melalui media udara	Titik Ground yang mendekati bagian bertegangan	Jarak arching horn berubah	Mur & baut terlepas / kendur	Adanya bangunan / tegakan di dalam daerah ROW	Pohon	Uap air garam yang terperangkap di isolator	Salah desain	Daerah Pantai	
										Daerah Rawa	
										Daerah Vulkanik	
										Daerah polutan	
										Dekat Pabrik Rokok	
										Dekat Pabrik Kimia	
ISOLASI UDARA	Mengisolasi antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan / ground dan antar fasa bertegangan secara elektrik	Terjadi hubung singkat antar fasa atau fasa ke ground melalui media udara	Titik Ground yang mendekati bagian bertegangan	Jarak arching horn berubah	Mur & baut terlepas / kendur	Sagging konduktor di bawah yang diijinkan	Pohon	Uap air garam yang terperangkap di isolator	Salah desain	Daerah Pantai	
										Daerah Rawa	
										Daerah Vulkanik	
										Daerah polutan	
										Dekat Pabrik Rokok	
										Dekat Pabrik Kimia	
ISOLASI UDARA	Mengisolasi antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan / ground dan antar fasa bertegangan secara elektrik	Terjadi hubung singkat antar fasa atau fasa ke ground melalui media udara	Titik Ground yang mendekati bagian bertegangan	Jarak arching horn berubah	Mur & baut terlepas / kendur	Terjadi pemuaian konduktor	Kondutor dibebani lebih	Uap air garam yang terperangkap di isolator	Salah desain	Daerah Pantai	
										Daerah Rawa	
										Daerah Vulkanik	
										Daerah polutan	
										Dekat Pabrik Rokok	
										Dekat Pabrik Kimia	
ISOLASI UDARA	Mengisolasi antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan / ground dan antar fasa bertegangan secara elektrik	Terjadi hubung singkat antar fasa atau fasa ke ground melalui media udara	Titik Ground yang mendekati bagian bertegangan	Jarak arching horn berubah	Mur & baut terlepas / kendur	Perubahan sagging	Suspension klem kendur	Uap air garam yang terperangkap di isolator	Salah desain	Daerah Pantai	
										Daerah Rawa	
										Daerah Vulkanik	
										Daerah polutan	
										Dekat Pabrik Rokok	
										Dekat Pabrik Kimia	
ISOLASI UDARA	Mengisolasi antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan / ground dan antar fasa bertegangan secara elektrik	Terjadi hubung singkat antar fasa atau fasa ke ground melalui media udara	Titik Ground yang mendekati bagian bertegangan	Jarak arching horn berubah	Mur & baut terlepas / kendur	Kondisi cuaca	Hujan	Uap air garam yang terperangkap di isolator	Salah desain	Daerah Pantai	
										Daerah Rawa	
										Daerah Vulkanik	
										Daerah polutan	
										Dekat Pabrik Rokok	
										Dekat Pabrik Kimia	
ISOLASI UDARA	Mengisolasi antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan / ground dan antar fasa bertegangan secara elektrik	Terjadi hubung singkat antar fasa atau fasa ke ground melalui media udara	Titik Ground yang mendekati bagian bertegangan	Jarak arching horn berubah	Mur & baut terlepas / kendur	Ada benda asing yang menghubungkan antar fasa	Benang Layangan	Uap air garam yang terperangkap di isolator	Salah desain	Daerah Pantai	
										Daerah Rawa	
										Daerah Vulkanik	
										Daerah polutan	
										Dekat Pabrik Rokok	
										Dekat Pabrik Kimia	
ISOLASI UDARA	Mengisolasi antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan / ground dan antar fasa bertegangan secara elektrik	Terjadi hubung singkat antar fasa atau fasa ke ground melalui media udara	Titik Ground yang mendekati bagian bertegangan	Jarak arching horn berubah	Mur & baut terlepas / kendur	Kawat emali	Benang basah	Uap air garam yang terperangkap di isolator	Salah desain	Daerah Pantai	
										Daerah Rawa	
										Daerah Vulkanik	
										Daerah polutan	
										Dekat Pabrik Rokok	
										Dekat Pabrik Kimia	
ISOLASI UDARA	Mengisolasi antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan / ground dan antar fasa bertegangan secara elektrik	Terjadi hubung singkat antar fasa atau fasa ke ground melalui media udara	Titik Ground yang mendekati bagian bertegangan	Jarak arching horn berubah	Mur & baut terlepas / kendur	Getaran	Frekuensi listrik	Uap air garam yang terperangkap di isolator	Salah desain	Daerah Pantai	
										Daerah Rawa	
										Daerah Vulkanik	
										Daerah polutan	
										Dekat Pabrik Rokok	
										Dekat Pabrik Kimia	
ISOLASI UDARA	Mengisolasi antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan / ground dan antar fasa bertegangan secara elektrik	Terjadi hubung singkat antar fasa atau fasa ke ground melalui media udara	Titik Ground yang mendekati bagian bertegangan	Jarak arching horn berubah	Mur & baut terlepas / kendur	Angin	Mendung	Uap air garam yang terperangkap di isolator	Salah desain	Daerah Pantai	
										Daerah Rawa	
										Daerah Vulkanik	
										Daerah polutan	
										Dekat Pabrik Rokok	
										Dekat Pabrik Kimia	
ISOLASI UDARA	Mengisolasi antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan / ground dan antar fasa bertegangan secara elektrik	Terjadi hubung singkat antar fasa atau fasa ke ground melalui media udara	Titik Ground yang mendekati bagian bertegangan	Jarak arching horn berubah	Mur & baut terlepas / kendur	Hujan lebat	Gerimis	Uap air garam yang terperangkap di isolator	Salah desain	Daerah Pantai	
										Daerah Rawa	
										Daerah Vulkanik	
										Daerah polutan	
										Dekat Pabrik Rokok	
										Dekat Pabrik Kimia	
ISOLASI UDARA	Mengisolasi antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan / ground dan antar fasa bertegangan secara elektrik	Terjadi hubung singkat antar fasa atau fasa ke ground melalui media udara	Titik Ground yang mendekati bagian bertegangan	Jarak arching horn berubah	Mur & baut terlepas / kendur	Hujan es	Puting beliung	Uap air garam yang terperangkap di isolator	Salah desain	Daerah Pantai	
										Daerah Rawa	
										Daerah Vulkanik	
										Daerah polutan	
										Dekat Pabrik Rokok	
										Dekat Pabrik Kimia	
ISOLASI UDARA	Mengisolasi antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan / ground dan antar fasa bertegangan secara elektrik	Terjadi hubung singkat antar fasa atau fasa ke ground melalui media udara	Titik Ground yang mendekati bagian bertegangan	Jarak arching horn berubah	Mur & baut terlepas / kendur	Angin keras	Malam hari	Uap air garam yang terperangkap di isolator	Salah desain	Daerah Pantai	
										Daerah Rawa	
										Daerah Vulkanik	
										Daerah polutan	
										Dekat Pabrik Rokok	
										Dekat Pabrik Kimia	



b. Sub Sistem Pembawa Arus

Tabel 6 FMEA Sub Sistem Pembawa Arus

SUB SISTEM	SUB SUB SISTEM	Fungsi	Kegagalan Fungsi	F-1	F-2	F-3	F-4	F-5	F-6			
PEMBAWA ARUS	KONDUKTOR	Media penghantaran arus listrik	Arus tidak dapat disalurkan	Kawat putus	Kawat rantas	Direct Stroke	Kegagalan sudut perlindungan petir	Kesalahan pemasangan				
								Kawat GSW Melorot	Aging			
								Benda asing	Benang layang-layang yang menggunakan kawat email			
									Peluru			
	Korosi	Tertimpa pohon / tegakan lain										
		Korosi pada baja konduktor	Intrusi air & kimia									
	Kawat Mekar	Kesalahan Pemasangan										
	JUMPER / JOINT	Media penghantaran arus dan penyambung konduktor pada tower	Arus tidak dapat disalurkan	Jumper lepas	Konduktor yang di jumper rantas	Fatig (kelelahan bahan)	Pengepresan terlalu kencang (Over pressure)	Getaran & angin				
									Sambungan kendor	Baut jumperan kendor	Bahan tidak sejenis	
										Pemuaian tidak sama	Beban diatas arus nominalnya	
	Baut jumperan berkarat	Intrusi air & kimia										
		JOINT KONDUKTOR	Media penghantaran arus dan penyambung konduktor pada tengah gawang	Arus tidak dapat disalurkan	Joint Cable lepas	Terjadi pemanasan yang berlebihan	Timbulnya Corona	Proses pengepresan kurang sempurna				
Baut jumperan kendor												
Vibrasi kawat yang besar	Tidak terpasang spacer pada konduktor	Timbulnya Corona	Bahan tidak sejenis	Beban diatas arus nominalnya	Proses pengepresan kurang sempurna							
									COMPRESSION DEAD END	Media penghantaran arus dan pengikat akhir konduktor	Arus tidak dapat disalurkan	Compression Dead End putus



c. Sub Sistem Konstruksi & Pondasi

Tabel 7 FMEA Sub Sistem Konstruksi & Pondasi

SUB SISTEM	SUB SUB SISTEM	Fungsi	Kegagalan Fungsi	F-1	F-2	F-3	F-4
KONSTRUKSI & PONDASI	BRACING / MEMBER / DIAGONAL	Menahan beban konduktor, isolator, kawat petir dan tempat terpasangnya komponen saluran transmisi	Terjadi short circuit bracing dengan kawat fasa	Konstruksi tower miring	Angin puting beliung		
				Bracing / Member lepas	Mur & baut kendur		
			Tower roboh	Bracing / Member hilang	Pencurian		
				Besi siku mengalami penurunan kekuatan mekanik	Terjadinya pengeroposan	Timbulnya korosi	
				Rusak komponen yang terpasang pada tower secara fisik dan elektrik	Tertimpa bracing		
					Terkena flash Dipotong oleh orang Tertimpa pohon		
	CAT / GALVANIS TIANG	Sebagai media untuk melindungi besi siku dari korosi	Memperpendek lifetime dari besi siku	Besi siku mengalami penurunan kekuatan mekanik	Terjadinya pengeroposan	Timbulnya korosi	Polusi tinggi
	PLAT SAMBUNGAN RANGKA	Sebagai media untuk menghubungkan besi yang satu dengan lainnya	Beban yang dipikul pada tiang tidak berimbang	Tower miring	Plat sambungan tidak terhubung dengan besi lainnya	Mur Baut tidak terpasang pada plat	Hilang
						Tidak terpasang Plat	Mur baut kendur
	PONDASI / KOPEL	Berfungsi untuk tumpuan utama beban Tiang dan kelengkapannya	Tower roboh	Pondasi bergeser	Terjadi longsor pada tanah di halaman tower		
				Salah Desain	Pondasi tidak sesuai dengan standar		
				Angin puting beliung	Cuaca buruk		
Tower Miring			Pondasi bergeser	Terjadi longsor pada tanah di halaman tower			
			Salah Desain	Pondasi tidak sesuai dengan standar			
			Angin puting beliung	Cuaca buruk			



d. Sub Sistem Proteksi Petir

Tabel 8 FMEA Sub Sistem Proteksi Petir

SUB SISTEM	SUB SUB SISTEM	Fungsi	Kegagalan Fungsi	F-1	F-2	F-3	F-4	F-5			
PROTEKSI PETIR	KAWAT PENGHUBUNG EW KE TANAH	Sebagai penghantar arus petir ke bumi	Gagal menghantarkan arus surja petir ke tanah	Sambaran langsung pada konduktor	Melebihi BIL Isolator	Ukuran kawat tanah tidak sesuai SPLN	Tidak/ kurang sempurna sambungan sambungan kawat tanah	Sambungan pada baut EW tidak sempurna			
				Back flashover	Nilai tahanan tanah yang tinggi	Resistivity Struktur tanah sangat tinggi	Bebatuan	Sambungan pada baut tanah tidak sempurna			
	KAWAT PETIR / GSW / EW	Melindungi Konduktor dari sambaran petir langsung (direct stroke)	Flash over dengan konduktor	Terjadi sambaran petir di sepanjang transmisi	Sudut perlindungan yang tidak sesuai standar	Salah design					
					Kawat tanah putus	Asesoris penghubung lepas	Karat	Pemasangan yang tidak sesuai dengan standar	Human error		
	PENTANAHAN	Menyalurkan arus petir ke bumi	Back flashover	Tegangan Tower melebihi BIL Renceng Isolator	Tahanan Tanah melebihi standar	Sambungan ke tahanan pentanahan tidak sempurna	Rod / Komponen pentanahan hilang	Kondisi tanah memiliki Resistivitas Tinggi (Kapur, cadas)			
									Pemasangan pentanahan tidak standar	Rod Kurang Dalam	
										Jumlah Rod kurang	
									Tahanan Tower tinggi	Sambungan antar besi tidak sempurna	
	ARCHING HORN	Memotong tegangan impuls petir secara pasif (tidak mampu memadamkan follow current dengan sendirinya)	Gagal memotong tegangan surja petir	Posisi Tanduk api tidak sempurna	Tidak Seajar	Mur Baut Koneksi Pole kendur	Fatigue akibat getaran				
								Patah	Aging	Korosi	
								Tidak terpasang	Jatuh	Aging	
	JUMPER KAWAT TANAH	Menyalurkan arus petir ke bumi	Terjadi Flash over	Back flashover	Tegangan impuls petir melebihi BIL Isolator	Jumper tidak sempurna	Jumper lepas	Baut berkarat			
Jumper kendur								Baut kendur			
Jumper putus								Kawat tanah berkarat			



e. Sub Sistem Aksesoris

Tabel 9 FMEA Sub Sistem Aksesoris

SUB SISTEM	SUB SUB SISTEM	Fungsi	Kegagalan Fungsi	F1	F2	F3	F4	F5
AKSESORIS	AKSESORIS ISOLATOR	Komponen pendukung agar isolator dapat terhubung secara mekanis dengan tower dan konduktor	Isolator Terlepas	Komponen Penghubung piring insulator lepas	Korosif	Arching pada komponen ball & socket/ U Bolt/ Yoke	Polutan	
					Stress mekanis tinggi	Pemasangan counter weight dan Sag adjuster tidak sempurna	Hilang	
							Tidak terpasang	
	AKSESORIS PANJAT	Komponen pendukung yang memudahkan petugas untuk melakukan pemanjatan ke atas tower	Petugas tidak dapat melaksanakan kegiatan pemanjatan melalui aksesoris panjat	Baut panjat rusak	Korosi			
					Bengkok	Korosi		
				Baut panjat hilang	Pencurian			
					Lepas / Jatuh	Korosi		
	AKSESORIS K3	Komponen pendukung yang bertujuan untuk memberikan peringatan bahaya dan informasi di sekitar saluran transmisi	Gagal memberikan peringatan dan informasi	Komponen hilang	Pencurian			
					Jatuh	Aging		
				Komponen Rusak	Komponen tidak terbaca	Polusi lumut		
Korosif								

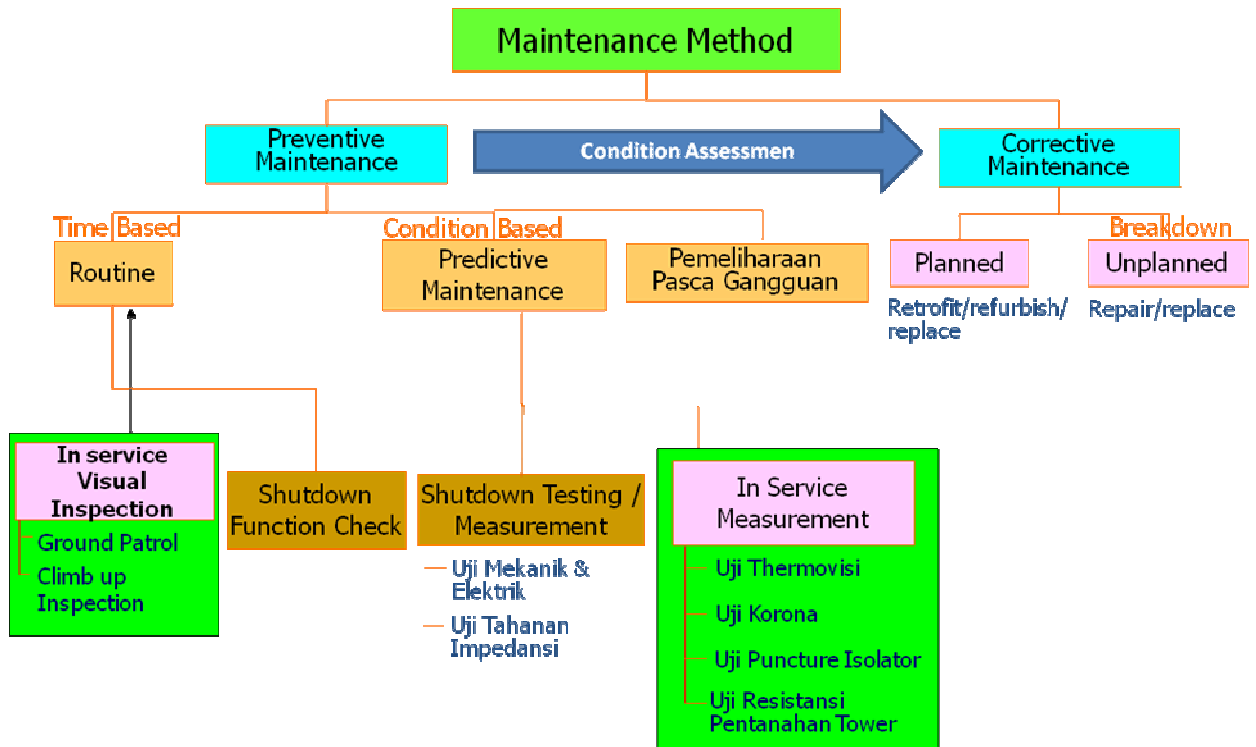


BAB II

PEDOMAN 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 :

- Peningkatkan *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.



Gambar 62 Metode Pemeliharaan SUTT & SUTET

Adapun jenis-jenis pemeliharaan yang dilaksanakan meliputi :

II.1 PEMELIHARAAN PREVENTIF (*PREVENTIVE MAINTENANCE*)

Adalah pemeliharaan yang dilaksanakan untuk mencegah terjadinya kerusakan secara tiba-tiba dan untuk mempertahankan unjuk kerja yang optimal sesuai umur teknisnya, melalui inspeksi secara periodic dan pengujian fungsi atau melakukan pengujian dan pengukuran untuk mendiagnosa kondisi peralatan.

Kegiatan ini dilaksanakan dengan berpedoman kepada : *instruction manual* dari pabrik, standar-standar yang ada (IEC, IEEE, CIGRE, ANSI, dll) dan pengalaman serta observasi / pengamatan operasi di lapangan.

Pemeliharaan ini dapat dibagi menjadi 2 (dua), yaitu :

II.1.1 PEMELIHARAAN RUTIN (*ROUTINE MAINTENANCE*)

Adalah 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 :



- Pemeliharaan mingguan (*Ground patrol*)
- Pemeliharaan 5 tahunan (*Climb up Inspection*) atau 20% dari panjang SUTT & SUTET pertahun. Untuk perlakuan khusus disesuaikan dengan kondisi (polusi tinggi, rawan petir dan setelah gangguan yang penyebabnya tidak jelas).

Secara garis besar, ruang lingkup pemeliharaan *Routine* meliputi :

II.1.1.1 *In Service Visual Inspection*

Adalah pekerjaan pemantauan / pemeriksaan secara berkala / periodik kondisi peralatan saat operasi dengan hanya memanfaatkan 5 (lima) panca indera dan alat ukur bantu sederhana sebagai pendeteksi. Tujuan *In Service Visual Inspection* untuk mendapatkan indikasi awal ketidaknormalan peralatan (*anomali*) sebagai bahan untuk melakukan Evaluasi *Level 1* dan data yang dapat diolah secara statistik sebagai informasi bagi pengembangan atau tindakan pemeliharaan.

Pada SUTT & SUTET, *In Service Visual Inspection* terbagi menjadi :

1. *Ground Patrol*

Ground patrol adalah jenis pekerjaan pemantauan / pemeriksaan secara berkala / periodik terhadap jalur transmisi (SUTT & SUTET) tanpa memanjat tower, yang dilakukan oleh *Line walker* (Petugas *Ground Patrol*). Hasil pemeriksaan *Ground patrol* merupakan input yang dijadikan acuan tindak lanjut untuk *Planned Corrective Maintenance*.

Uraian kegiatan yang dilaksanakan meliputi :

Tabel 10 *Ground Patrol*

JADWAL PEMELIHARAAN MINGGUAN

KEADAAN : OPERASI

PELAKSANA : PETUGAS *GROUND PATROL*

NO	PERALATAN YANG DIPERIKSA	SASARAN PEMERIKSAAN
I.	ISOLASI	
I.1.	Isolasi Padat (Insulator)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Periksa kondisi piring insulator apakah normal, pecah, atau kotor menggunakan teropong atau <i>binocular</i> ▪ Periksa apakah benda asing (binatang, benang, layang-layang, balon, sampah) ada atau tersangkut di insulator



I.2.	Isolasi udara	<ul style="list-style-type: none">Periksa jarak bebas SUTT & SUTET (fasa ke fasa & fasa ke tanah) menggunakan <i>Ranging Meter</i>, apakah sesuai ketentuan yang berlaku (Lampiran Peraturan Menteri Pertambangan & Energi Nomor : 01.P/47/MPE/1992 Tanggal : 7 Februari 1992) dan peliharalah
II.	PEMBAWA ARUS	
II.1.	Konduktor penghantar (Konduktor)	<ul style="list-style-type: none">Periksa kondisi konduktor penghantar (konduktor) apakah normal, rantas, putus atau mekarPeriksa andongan konduktor apakah masih dalam keadaan normalPeriksa kondisi peredam getaran (<i>vibration damper</i>) apakah normal, korosi, bergeser, lepas atau hilangPeriksa kondisi <i>spacer</i> apakah normal, bergeser, bengkok, kendor, patah, klem lepas atau hilangPeriksa apakah benda asing (binatang, benang, layang-layang, balon, sampah) ada atau tersangkut di konduktor
II.2.	Sambungan konduktor (<i>Compression joint</i>)	
II.3.	Konduktor penghubung	<ul style="list-style-type: none">Periksa kondisi konduktor penghubung apakah normal, mekar, rantas atau lepas
II.4.	Klem konduktor penghantar	<ul style="list-style-type: none">Periksa kondisi <i>armour rod</i> apakah normal, mekar atau putus
III.	KONSTRUKSI DAN PONDASI	
III.1.	Halaman <i>tower</i>	<ul style="list-style-type: none">Periksa kondisi halaman <i>tower</i> apakah normal, kotor, ada pohon / semak belukar, ada jalan longsor, banjir atau dimanfaatkan orang lainPeriksa kondisi patok batas apakah normal, tertimbun, pecah, retak atau hilang
III.2.	<i>Stub</i>	<ul style="list-style-type: none">Periksa kondisi <i>stub</i> apakah normal, bengkok, korosi, tertimbun tanah atau tergenang air



III.3.	Pondasi	<ul style="list-style-type: none">▪ Periksa kondisi kopel pondasi apakah normal, patah, bengkok, retak, amblas atau tertimbun tanah▪ Periksa kondisi <i>chimney</i> / kepala pondasi apakah normal, tertimbun tanah, retak, tergenang air, bergeser, miring atau amblas
III.4.	<i>Tower (Leg, Common body, Body, Traverse)</i>	<ul style="list-style-type: none">▪ Periksa kondisi konstruksi tiang apakah normal, bergeser atau miring▪ Periksa kondisi plat sambungan rangka apakah normal, hilang, mur & baut hilang, bengkok, korosi atau kendur▪ Periksa kondisi <i>bracing</i> / <i>member</i> / besi diagonal apakah normal, hilang, bengkok, korosi, kendur, tidak terpasang, tidak nempel atau patah▪ Periksa kondisi mur & baut apakah normal, korosi atau hilang▪ Periksa kondisi cat / <i>galvanis</i> apakah normal, terkelupas atau korosi▪ Periksa apakah benda asing (binatang, benang, layang-layang, balon, sampah) ada atau tersangkut di <i>tower</i>
IV.	PROTEKSI PETIR	
IV.1.	Konduktor tanah (<i>EW, GSW, OPGW</i>)	<ul style="list-style-type: none">▪ Periksa kondisi konduktor tanah apakah normal, rantas, korosi atau putus▪ Periksa kondisi peredam getaran (<i>vibration damper</i>) apakah normal, korosi, bergeser, lepas atau hilang▪ Periksa apakah benda asing (binatang, benang, layang-layang, balon, sampah) ada atau tersangkut di konduktor tanah
IV.2.	<i>Konduktor penghubung</i> konduktor tanah	<ul style="list-style-type: none">▪ Periksa kondisi <i>konduktor penghubung</i> konduktor tanah apakah normal, mekar, rantas atau lepas
IV.3.	<i>Arcing horn</i>	<ul style="list-style-type: none">▪ Periksa kondisi <i>arching horn</i> apakah normal, tidak terpasang, salah pasang atau lepas
IV.4.	Konduktor penghubung EW ke tanah	



IV.5.	Pentanahan (<i>Grounding</i>)	<ul style="list-style-type: none">Periksa kondisi pentanahan (<i>grounding</i>) apakah normal, hilang, terlepas, korosi, kendor, putus atau rantas
V.	AKSESORIS	
V.1.	Aksesoris isolasi	
V.2.	Aksesoris panjat	<ul style="list-style-type: none">Periksa kondisi baut panjat (<i>step bolt</i>) apakah normal, hilang, bengkok, korosi, patah, kendor atau kurang panjang dratnya
V.3.	Aksesoris K3	<ul style="list-style-type: none">Periksa kondisi penghalang panjat (<i>Anti Climbing Device</i>) apakah normal, kendor, bengkok, korosi, hilang atau patahPeriksa kondisi plat tanda bahaya apakah normal, kendor, pudar, korosi, rusak atau hilangPeriksa kondisi plat tanda penghantar apakah normal, kendor, pudar, korosi, rusak, salah pasang atau hilangPeriksa kondisi <i>indicator lamp</i>(<i>air traffic light</i>) apakah normal, rusak, pecah, mati atau hilangPeriksa kondisi <i>ball sign</i> apakah normal, bergeser, pecah atau hilangPeriksa kondisi lampu aviasi apakah normal, pecah, mati, rusak atau hilang

2. *Climb up Inspection*

Climb up inspection adalah jenis pekerjaan pemeriksaan secara berkala / periodik terhadap tower berikut perlengkapannya dilakukan oleh *Climber* (petugas pemeliharaan) dengan cara memanjat *tower* pada SUTT / SUTET yang dalam keadaan bertegangan. Hasil pemeriksaan *Climb up* merupakan input yang dijadikan acuan tindak lanjut untuk *Planned Corrective Maintenance*.



Uraian kegiatan yang dilaksanakan meliputi :

Tabel 11 *Climb up Inspection*

JADWAL PEMELIHARAAN 5 TAHUNAN

KEADAAN : OPERASI

PELAKSANA : PETUGAS PEMELIHARAAN

NO	PERALATAN YANG DIPERIKSA	SASARAN PEMERIKSAAN
I.	ISOLASI	
I.1.	Isolasi Padat (Insulator)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Periksa kondisi piring insulator apakah normal, flek, retak, pecah, atau kotor menggunakan teropong dan senter. ▪ Periksa kondisi ikatan insulator apakah normal, korosi, pin tidak lengkap menggunakan teropong dan senter ▪ Periksa posisi rencengan insulator apakah normal atau miring ▪ Periksa apakah benda asing (binatang, benang, layang-layang, balon, sampah) ada atau tersangkut di insulator
I.2.	Isolasi udara	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Periksa jarak bebas SUTT & SUTET (fasa ke fasa & fasa ke tanah) sesuai ketentuan yang berlaku (Lampiran Peraturan Menteri Pertambangan & Energi Nomor : 01.P/47/MPE/1992 Tanggal : 7 Februari 1992)
II.	PEMBAWA ARUS	
II.1.	Konduktor penghantar (Konduktor)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Periksa kondisi konduktor penghantar (konduktor) apakah normal, rantas, putus atau mekar ▪ Periksa andongan konduktor apakah masih dalam keadaan normal ▪ Periksa kondisi peredam getaran (<i>vibration damper</i>) apakah normal, korosi, bergeser, lepas atau hilang ▪ Periksa kondisi <i>spacer</i> apakah normal, bergeser, bengkok, kendor, patah, klem lepas atau hilang ▪ Periksa apakah benda asing (binatang, benang, layang-layang, balon, sampah) ada



		atau tersangkut di konduktor
II.2.	Sambungan konduktor (<i>Compression joint</i>)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Periksa kondisi <i>midspan compression joint</i> apakah normal atau temperatur tinggi dengan kamera thermovisi ▪ Periksa kondisi <i>repair sleeve</i> apakah normal, pecah atau temperatur tinggi dengan kamera thermovisi
II.3.	<i>Konduktor penghubung</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Periksa kondisi <i>konduktor penghubung</i> apakah normal, mekar, rantas, lepas atau temperatur tinggi ▪ Periksa kondisi <i>counter weight</i> apakah normal atau ada kelainan
II.4.	Klem konduktor penghantar	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Periksa kondisi <i>suspension / tension clamp</i> apakah normal, korosi, pecah, atau baut tidak lengkap ▪ Periksa kondisi <i>armour rod</i> apakah normal, mekar atau putus
III.	KONSTRUKSI DAN PONDASI	
III.1.	Halaman <i>tower</i>	
III.2.	<i>Stub</i>	
III.3.	Pondasi	
III.4.	<i>Tower (Leg, Common body, Body, Traverse)</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Periksa kondisi konstruksi tiang apakah normal, bergeser atau miring ▪ Periksa kondisi plat sambungan rangka apakah normal, hilang, mur & baut hilang, bengkok, korosi atau kendor ▪ Periksa kondisi <i>bracing / member / besi diagonal</i> apakah normal, hilang, bengkok, korosi, kendor, tidak terpasang, tidak nempel atau patah ▪ Periksa kondisi mur & baut apakah normal, korosi atau hilang ▪ Periksa kondisi cat / <i>galvanis</i> apakah normal, terkelupas atau korosi ▪ Periksa apakah benda asing (binatang, benang, layang-layang, balon, sampah) ada atau tersangkut di <i>tower</i>
IV.	PROTEKSI PETIR	



IV.1.	Konduktor tanah	<ul style="list-style-type: none">▪ Periksa kondisi konduktor tanah apakah normal, rantas, korosi atau putus▪ Periksa kondisi peredam getaran (<i>vibration damper</i>) apakah normal, korosi, bergeser, lepas atau hilang▪ Periksa kondisi <i>midspan compression joint</i> apakah normal, bengkok atau korosi▪ Periksa kondisi <i>suspension / tension clamp</i> apakah normal, korosi, pecah, sackle berkarat atau baut tidak lengkap▪ Periksa kondisi <i>armour rod</i> apakah normal, mekar, putus atau tidak lengkap▪ Periksa kondisi <i>box joint</i> konduktor optic apakah normal atau hilang▪ Periksa kondisi konduktor yang turun ke <i>box joint</i> apakah normal, putus atau hilang▪ Periksa apakah benda asing (binatang, benang, layang-layang, balon, sampah) ada atau tersangkut di konduktor tanah
IV.2.	<i>Konduktor penghubung</i> konduktor tanah	<ul style="list-style-type: none">▪ Periksa kondisi <i>konduktor penghubung</i> konduktor tanah apakah normal, mekar, rantas atau lepas
IV.3.	<i>Arcing horn</i>	<ul style="list-style-type: none">▪ Periksa kondisi <i>arcing horn</i> apakah normal, tidak terpasang, salah pasang, lepas, kendor, korosi atau terkena <i>flash</i>
IV.4.	Konduktor penghubung EW ke tanah	<ul style="list-style-type: none">▪ Periksa kondisi konduktor penghubung EW ke tanah apakah normal, putus, hilang, korosi, rantas atau kendor
IV.5.	Pentanahan (<i>Grounding</i>)	<ul style="list-style-type: none">▪ Periksa kondisi pentanahan (<i>grounding</i>) apakah normal, hilang, terlepas, korosi, kendor, putus, rantas atau nilai pentanahannya tidak sesuai standar
V.	AKSESORIS	
V.1.	Aksesoris isolasi	<ul style="list-style-type: none">▪ Periksa kondisi aksesoris <i>fittings</i> insulator (pin, <i>sackle</i>, dll) apakah normal, korosi atau tidak lengkap
V.2.	Aksesoris panjat	<ul style="list-style-type: none">▪ Periksa kondisi baut panjat (<i>step bolt</i>) apakah normal, hilang, bengkok, korosi,



		patah, kendur atau kurang panjang dratnya
V.3.	Aksesoris K3	<ul style="list-style-type: none">▪ Periksa kondisi penghalang panjat (ACD) apakah normal, kendur, bengkok, korosi, hilang atau patah▪ Periksa kondisi plat tanda bahaya apakah normal, kendur, pudar, korosi, rusak atau hilang▪ Periksa kondisi plat tanda penghantar, tanda phasa & nomor tiang apakah normal, kendur, pudar, korosi, rusak, salah pasang atau hilang▪ Periksa kondisi <i>indicator lamp</i>(<i>air traffic light</i>) apakah normal, rusak, pecah, mati atau hilang▪ Periksa kondisi <i>ball sign</i> apakah normal, bergeser, pecah atau hilang▪ Periksa kondisi lampu aviasi apakah normal, pecah, mati, rusak atau hilang

II.1.2 PREDICTIVE MAINTENANCE

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

Ruang lingkup *Predictive Maintenance* meliputi :

II.1.2.1 In Service Measurement

Adalah pengujian yang dilakukan saat peralatan operasi (bertegangan) untuk dapat memprediksi kondisi dan gejala kerusakan peralatan secara dini yang waktu pelaksanaannya disesuaikan dengan kondisi peralatan. Untuk SUTT & SUTET, uraian kegiatan yang dilaksanakan meliputi pengujian *Thermovisi*, *Korona*, *Puncture Insulator*, Resistansi pentanahan *tower*.

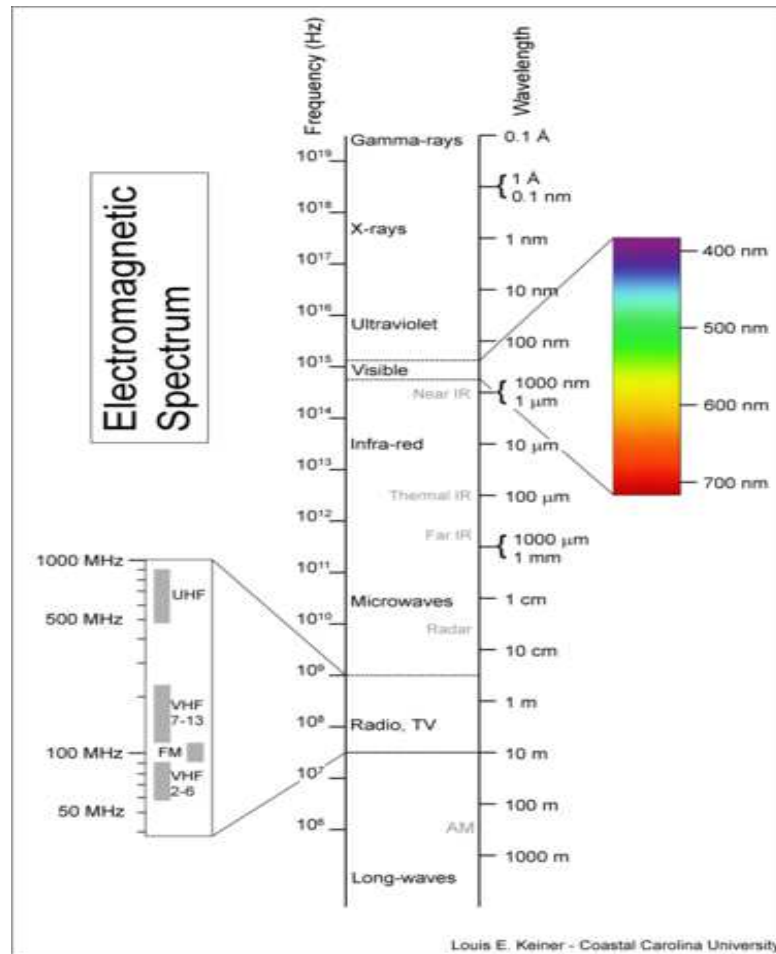


A. Pengujian *Thermovisi*

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 elektromagnetik. IR mempunyai panjang gelombang antara 750 nm hingga 100 μm (lihat grafik spektrum).



Gambar 63 Spektrum elektromagnetik

Detektor infra merah

Adalah *photo detector* yang sensitif terhadap radiasi sinar infra merah. Dua jenis utama detektor ini adalah jenis *thermal* dan *photonic*. Sebagai contoh sbb :

Tabel 12 Detektor infra merah

TIPE	SPECTRAL RANGE (MM)
Indium gallium arsenide (InGaAs) photodiodes	0,7 – 2,6
Germanium photodiodes	0,8 – 1,7
Lead sulfide (PbS) photoconductive detectors	1 – 3,2
Lead selenide (PbSe) photoconductive detectors	1,5 - 5,2 dll



Sebagai contoh, kamera termovisi yang menggunakan sensor HgCdTe (*mercury, cadmium, telurium*) yang mempunyai lebar bidang 8 s/d 12 *micro meter*, dan mempunyai kepekaan suhu 0,10 °F

Jenis detektor panas

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 (lihat gambar)



Gambar 64 Detektor panas tipe *spotting*

Thermography

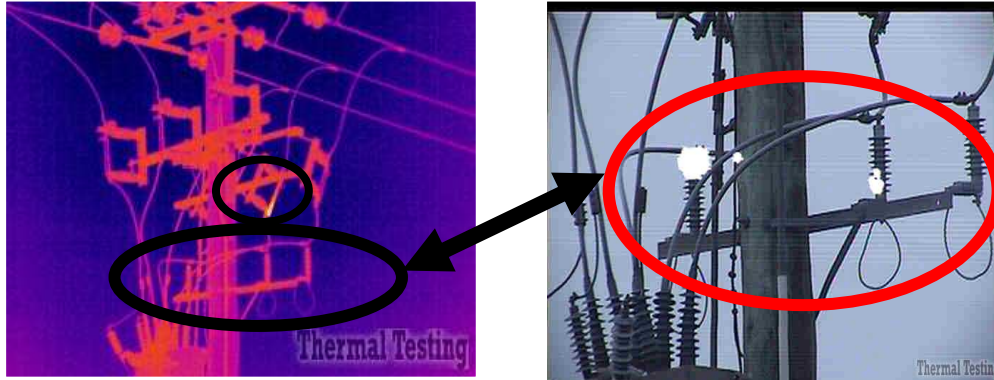
Radiasi sinar infra merah dapat digunakan bermacam-macam, antara lain melihat didalam kegelapan dan menentukan suhu dari suatu benda dari jarak jauh. Teknik melihat suhu dari jauh ini dikenal dengan *thermography*. Dengan cara ini maka dapat diketahui bagian-bagian yang mengalami panas berlebih, diluar kebiasaan.

Tingginya suhu dapat dilihat pada skala warna. 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.

- *Thermography vs UV camera*



Infra red camera	UV camera
Mendeteksi delta T	Mendeteksi korona, <i>Partial Discharge & Arcing</i>
Tergantung arus	Tergantung tegangan
Dipengaruhi oleh radiasi panas matahari dan lingkungan	Dipengaruhi oleh semua lampu, serta <i>humidity</i>
Biasanya terdeteksi setelah fase lanjut	Terdeteksi pada fase awal

Gambar 65 *Thermography vs UV camera*

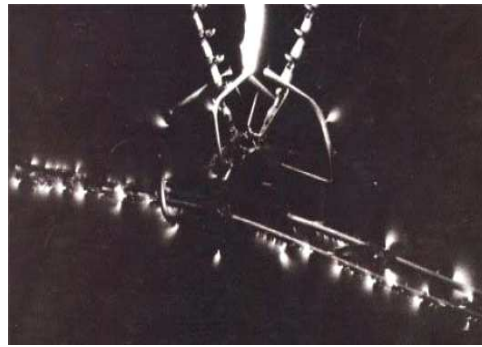
B. Pengujian Korona

Partial Discharge, korona, *sparkover*, *flashover*, *breakdown* adalah rumpun kejadian luahan listrik secara berurutan yang dapat terjadi pada isolasi.

Partial discharge (PD) adalah kejadian *breakdown* listrik pada suatu bagian kecil dari sistim isolasi listrik yang berbentuk cair atau padat, akibat stres tegangan listrik. Selama kejadian PD, tidak ada jembatan langsung antara 2 elektroda. Sedangkan korona, dalam astronomi adalah plasma "*atmosphere*" dari matahari atau benda angkasa. Dalam ilmu listrik, korona adalah *partial discharge* yang bersinar dari konduktor dan insulator, karena ionisasi dari udara, ketika medan listrik melewati batas kritis (24-30 kV/cm).



Korona matahari



Korona malam hari

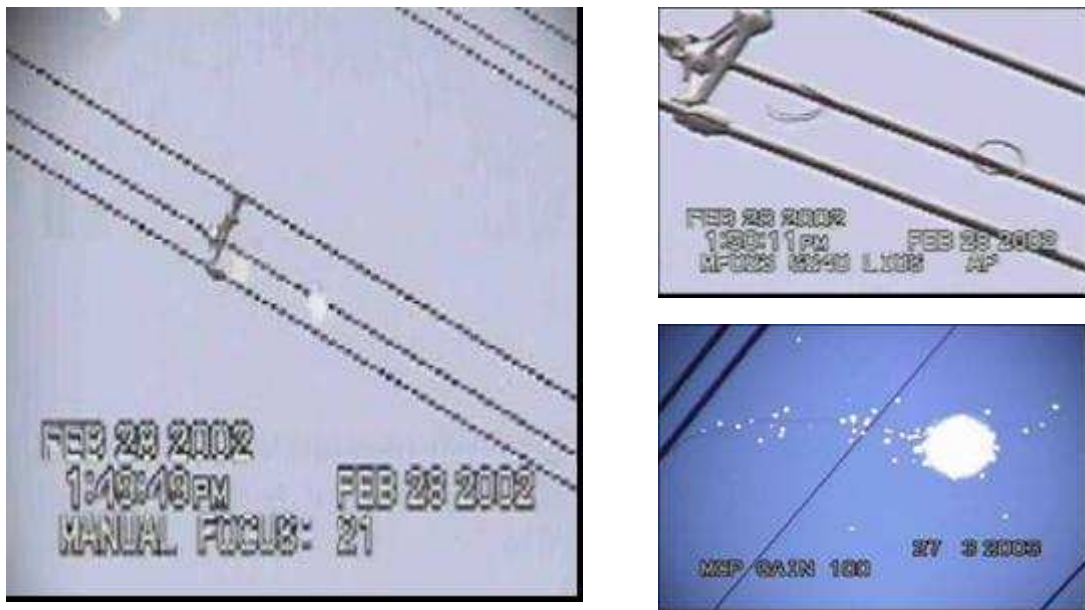
Gambar 66 Korona

Corona discharge memancar pada gelombang antara 280-405 nm yaitu daerah sinar ultraviolet (UV) karena itu tidak terlihat oleh mata kita. Meskipun sangat lemah, pada gelombang sekitar 400 nm, korona dapat terlihat pada kondisi gelap malam. Korona tidak bisa dilihat siang hari karena tertutup oleh pancaran radiasi matahari. Panas yang ditimbulkan oleh korona juga sangat kecil, sehingga tidak dapat ditangkap oleh *infrared thermal cameras*.

- Faktor-faktor yang mempengaruhi korona :
 - Tekanan udara
Tekanan udara rendah -> Nilai E_{kritis} menjadi rendah -> Lebih banyak korona
 - Kelembaban
Kelembaban yang tinggi mengakibatkan lebih banyak korona
 - Suhu
Suhu yang tinggi -> Tekanan udara rendah -> Nilai E_{kritis} menjadi rendah -> Lebih banyak korona
- Sifat buruk korona terhadap lingkungan :
 - Membangkitkan material korosif seperti *ozone* dan *nitrogen oxides* yang menjadi *nitric acid* pada kondisi kelembaban tinggi.
 - Korona menyebabkan kerusakan pada insulator, terutama *non-ceramic insulators* (NCI).
 - *Radio interference* (RI/RFI) terutama pada gelombang AM.
 - *Audio noise*
- Efek dari timbulnya korona :
 - Penurunan kualitas insulator polimer
 - Menimbulkan kerusakan fisik pada komponen
 - Menyebabkan interferensi radio



- Menimbulkan *audio noise*
- Indikasi akan kemungkinan kerusakan
- Indikasi akan pemasangan peralatan yang tidak sesuai
- Indikasi dari efektifitas pembersihan
- Indikasi kemungkinan terjadinya *flashover* atau trip
- Sumber dari korona pada sistim kelistrikan:
 - Urat dari konduktor yang putus



Gambar 67 Urat dari konduktor yang putus

- Pemasangan peralatan yang tidak sesuai



Gambar 68 Insulator yang tidak terpasang korona ring

- Peralatan yang kendor



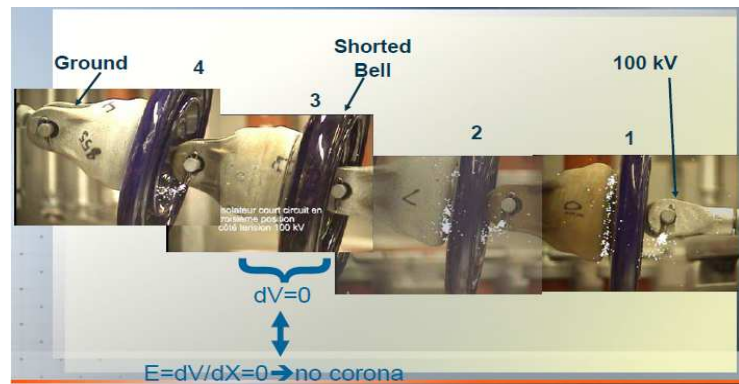
Gambar 69 Peralatan yang kendur

- o Korosi



Gambar 70 Korosi pada insulator

- o Indikasi insulator yang short



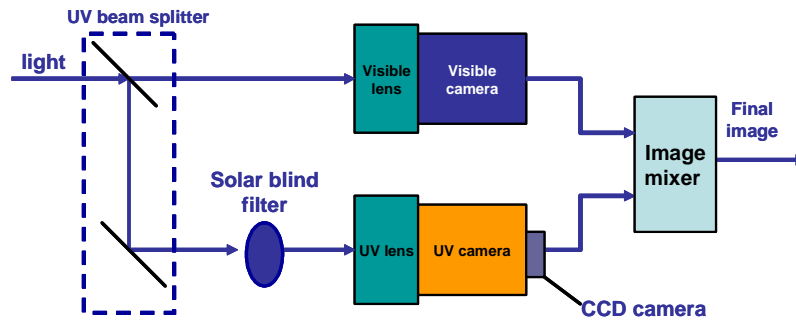
Gambar 71 Shorted insulator

- o Gap discharge



Gambar 72 Gap discharge pada insulator

- Cacat pada insulator keramik yang dapat mengakibatkan korona :
 - Kontaminasi
 - *Short* antara *pin* dan *socket*
 - Retak pada bagian semen di sekitar *pin*
 - Karat pada sambungan *ball-socket*
 - *Positive feedback loop* :
 - Semen yang tergerus menyebabkan korona
 - Korona menyebabkan semen tergerus
 - Korosi menyebabkan korona
 - Korona menyebabkan korosi
- Cacat pada insulator polimer yang dapat mengakibatkan korona :
 - Kontaminasi dan *tracking* pada lapisan permukaan
 - Korona *ring* yang rusak, hilang atau pemasangannya yang tidak sesuai
 - Batang yang terbuka dan terkarbonasi
 - Sambungan yang rusak
 - Lubang yang menembus lapisan
- Cacat pada konduktor yang dapat mengakibatkan korona :
 - Urat konduktor yang putus
 - Urat konduktor yang terbuka
 - Kontaminasi
 - *Armour rod* yang rusak
 - *Spacer* yang rusak atau kendur
- Prinsip kerja Peralatan deteksi korona



Visible camera

UV camera

Kombinasi

Gambar 73 Prinsip kerja peralatan deteksi korona

C. Pengujian *Puncture* (kebocoran) Insulator

Menurut IEC 1211 tahun 1994, *Insulator of Ceramic Material or Glass for Overhead Lines with a Nominal Voltage Greater than 1000 V – Puncture Testing*, definisi *Puncture test* adalah tes dengan memberikan tegangan impulse pada piring insulator. Namun, definisi *puncture test* di lapangan adalah pengukuran distribusi potensial antar keping insulator dalam satu renceng dengan menggunakan alat Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) yang dikenal sebagai *Transmission Tester*, sehingga pekerjaannya pun harus dilaksanakan secara PDKB.



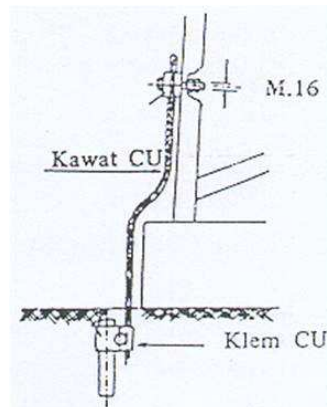
Gambar 74 Alat Uji *Puncture Test*



Distribusi potensial pada keping insulator dalam satu renceng memang tidak merata, hal ini diakibatkan adanya arus bocor insulator dari sisi konduktor bertegangan ke sisi menara. Arus bocor inilah yang dimanfaatkan oleh *Transmission Tester* untuk mendapatkan besaran tegangan setiap keping insulator.

D. Pengujian Resistansi pentanahan tower

Pentanahan tower adalah perlengkapan pembumian sistem transmisi yang berfungsi untuk meneruskan arus listrik dari tiang SUTT maupun SUTET ke tanah. Pentanahan tiang terdiri dari konduktor tembaga atau konduktor baja yang diklem pada pipa pentanahan yang ditanam di dekat pondasi tiang, atau dengan menanam plat aluminium / tembaga disekitar pondasi tiang yang berfungsi untuk mengalirkan arus dari konduktor tanah akibat sambaran petir.



Gambar 75 Pentanahan Tiang

Nilai pentanahan tiang harus dibuat sekecil mungkin agar tidak menimbulkan tegangan tiang yang tinggi yang pada akhirnya dapat mengganggu sistem penyaluran. Batasan nilai pentanahan tiang sebagai berikut :

- Sistem 70 kV : maksimal 5 Ohm
- Sistem 150kV : maksimal 10 Ohm
- Sistem 275 kV / 500kV : maksimal 15 Ohm

Tabel 13 *In service Measurement* SUTT & SUTET

KEADAAN : OPERASI

PELAKSANA : PETUGAS PEMELIHARAAN

NO	PERALATAN YANG DIPERIKSA	SASARAN PEMERIKSAAN
I.	ISOLASI	
I.1.	Isolasi Padat (Insulator)	<ul style="list-style-type: none">▪ Uji korona▪ Uji <i>thermovisi</i>▪ Uji <i>Puncture</i> (PDKB)
I.2.	Isolasi udara	<ul style="list-style-type: none">▪ Uji medan magnet & listrik
II.	PEMBAWA ARUS	
II.1.	Konduktor penghantar	<ul style="list-style-type: none">▪ Uji korona▪ Uji <i>thermovisi</i>
II.2.	Sambungan konduktor (<i>Compression joint</i>)	<ul style="list-style-type: none">▪ Uji korona▪ Uji <i>thermovisi</i>
II.3.	Konduktor penghubung	<ul style="list-style-type: none">▪ Uji korona▪ Uji <i>thermovisi</i>
II.4.	Klem konduktor penghantar	<ul style="list-style-type: none">▪ Uji korona▪ Uji <i>thermovisi</i>
III.	KONSTRUKSI DAN PONDASI	
III.1.	Halaman <i>tower</i>	
III.2.	<i>Stub</i>	
III.3.	Pondasi	
III.4.	<i>Tower (Leg, Common body, Body, Traverse)</i>	
IV.	PROTEKSI PETIR	
IV.1.	Konduktor tanah	
IV.2.	Konduktor penghubung konduktor tanah	
IV.3.	<i>Arcing horn</i>	
IV.4.	Konduktor penghubung Konduktor tanah ke tanah	
IV.5.	Pentanahan (<i>Grounding</i>)	<ul style="list-style-type: none">▪ Uji resistansi pentanahan <i>tower</i>
V.	AKSESORIS	
V.1.	Aksesoris isolasi	
V.2.	Aksesoris panjat	
V.3.	Aksesoris K3	

**II.1.2.2 Shutdown Testing / Measurement**

Adalah pengujian contoh yang dilakukan saat peralatan tidak operasi (padam) untuk dapat memprediksi kondisi dan gejala kerusakan peralatan secara dini. Khususnya pada transmisi yang sudah habis masa manfaatnya.

Tabel 14 *Shutdown Testing / Measurement* SUTT & SUTET

KEADAAN : PADAM

PELAKSANA : PETUGAS PEMELIHARAAN

NO	PERALATAN YANG DIPERIKSA	CARA PEMERIKSAAN
I.	ISOLASI	
I.1.	Isolasi Padat (Insulator)	Uji mekanik & elektrik (contoh)
I.2.	Isolasi udara	
II.	PEMBAWA ARUS	
II.1.	Konduktor penghantar	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Uji tahanan impedansi ▪ Uji mekanik & elektrik (contoh)
II.2.	Sambungan konduktor (<i>Compression joint</i>)	
II.3.	Konduktor penghubung	
II.4.	Klem konduktor penghantar	
III.	KONSTRUKSI DAN PONDASI	
III.1.	Halaman <i>tower</i>	
III.2.	<i>Stub</i>	
III.3.	Pondasi	
III.4.	<i>Tower (Leg, Common body, Body, Traverse)</i>	
IV.	PROTEKSI PETIR	
IV.1.	Konduktor tanah	Uji mekanik & elektrik
IV.2.	Konduktor penghubung Konduktor tanah	
IV.3.	<i>Arcing horn</i>	
IV.4.	Konduktor penghubung Konduktor tanah ke tanah	
IV.5.	Pentanahan (<i>Grounding</i>)	
V.	AKSESORIS	
V.1.	Aksesoris isolasi	
V.2.	Aksesoris panjang	
V.3.	Aksesoris K3	



II.1.3 PEMELIHARAAN PASCA GANGGUAN

Adalah 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 dan Korona).

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*.

II.2 CORRECTIVE MAINTENACE

Adalah pemeliharaan yang dilakukan ketika 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 :

II.2.1 PLANNED

Adalah pemeliharaan yang dilakukan ketika 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* dan pengujian pada *Predictive Maintenance*.

II.2.2 UNPLANNED

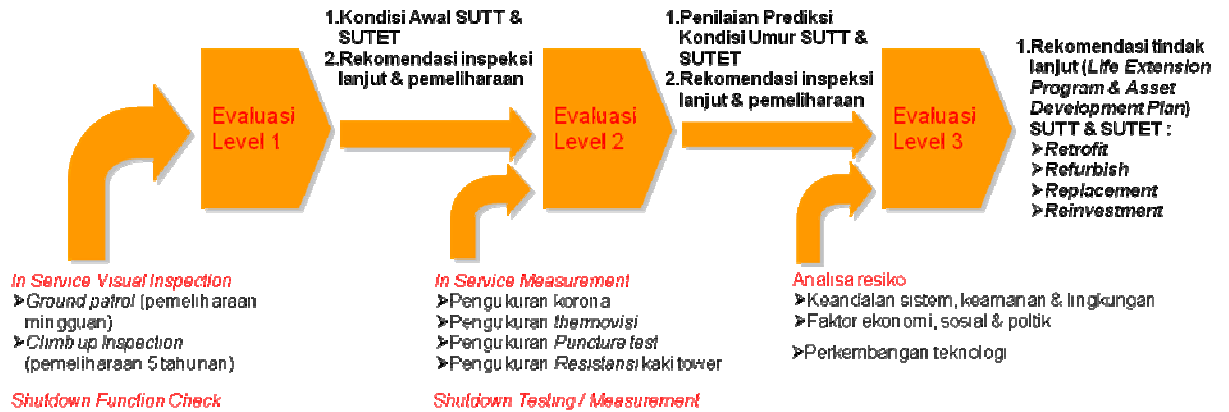
Disebut juga dengan Pemeliharaan *Breakdown*. Adalah pemeliharaan yang dilakukan ketika peralatan mengalami kerusakan secara tiba-tiba sehingga menyebabkan pemadaman. Untuk mengembalikan pada kondisi semula perlu dilakukan perbaikan besar (*repair*) atau penggantian (*replace*).



BAB III

EVALUASI HASIL PEMELIHARAAN SUTT & SUTET

III.1 METODE EVALUASI HASIL PEMELIHARAAN SUTT & SUTET



Gambar 76 Alur pengambilan keputusan evaluasi hasil pemeliharaan SUTT & SUTET

Metode evaluasi hasil pemeliharaan SUTT & SUTET mengacu pada alur pengambilan keputusan seperti pada gambar di atas. Proses pengambilan keputusan tersebut meliputi 3 (tiga) tahapan utama, yaitu :

1. Evaluasi Level 1

Merupakan tahap awal metode evaluasi hasil pemeliharaan SUTT & SUTET. Pelaksanaan Evaluasi Level 1 menggunakan input hasil pemeliharaan rutin SUTT & SUTET baik yang sifatnya mingguan yaitu *Ground patrol* dan 5 (lima) tahunan *Climb up inspection*. Tahapan ini menghasilkan Kondisi Awal SUTT & SUTET (*Early warning*) dan Rekomendasi pelaksanaan inspeksi lanjut & pemeliharaan.

2. Evaluasi Level 2

Adalah tahap lanjutan metode evaluasi hasil pemeliharaan SUTT & SUTET. Pelaksanaan Evaluasi Level 2 menggunakan input Kondisi Awal SUTT & SUTET (*Early warning*) dan Rekomendasi pelaksanaan inspeksi lanjut & pemeliharaan dari Evaluasi Level 1 ditambah dengan hasil pemeliharaan *In Service Measurement* dan *Shutdown Testing / Measurement*. Tahapan ini menghasilkan Penilaian Prediksi Kondisi Umur SUTT & SUTET (*Life prediction*) dan Rekomendasi pelaksanaan inspeksi lanjut & pemeliharaan.



3. Evaluasi Level 3

Merupakan tahap akhir metode evaluasi hasil pemeliharaan SUTT & SUTET. Pelaksanaan Evaluasi Level 3 menggunakan input Penilaian Prediksi Kondisi Umur SUTT & SUTET (*Life prediction*) dan Rekomendasi pelaksanaan inspeksi lanjut & pemeliharaan dari Evaluasi Level 2 ditambah dengan Evaluasi Resiko yang meliputi Keandalan sistem, keamanan & lingkungan dan Faktor ekonomi, sosial & politik serta Perkembangan teknologi terkini. Tahapan ini menghasilkan Rekomendasi tindak lanjut yang berupa Program perpanjangan umur SUTT & SUTET dan Rencana pengembangan aset (*Life extension program & Asset development plan*) seperti *Retrofit, Refurbish, Replacement* ataupun *Reinvestment*.

III.2 STANDAR EVALUASI HASIL PEMELIHARAAN SUTT & SUTET

Standar adalah acuan yang digunakan dalam mengevaluasi hasil pemeliharaan untuk dapat menentukan kondisi peralatan yang dipelihara. Standar yang ada berpedoman kepada : *instruction manual* dari pabrik, standar-standar internasional maupun nasional (IEC, IEEE, CIGRE, ANSI, SPLN, SNI dll) dan pengalaman serta observasi / pengamatan operasi di lapangan.

III.2.1 IN SERVICE VISUAL INSPECTION

Tabel 15 Standar evaluasi *In Service Visual Inspection*

PERALATAN YANG DIPERIKSA	SASARAN PEMERIKSAAN	EVALUASI / AKIBAT
ISOLASI		
Isolasi Padat (Insulator)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Piring insulator pecah, retak & flek ▪ Pin ikatan insulator tidak lengkap atau aus ▪ Ikatan insulator korosi 	Penurunan Level BIL dan <i>Creepage Distance</i> pada insulator Penurunan mechanical strength pada renceng insulator Penurunan mechanical strength pada renceng insulator
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Piring insulator kotor ▪ Ada benda asing (binatang, benang, 	Penurunan Level BIL dan <i>Creepage Distance</i> pada insulator Terjadi hubung singkat antar fasa dan fasa ke tanah (<i>ground</i>)



	layang-layang, balon, sampah) atau tersangkut	
Isolasi udara	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Jarak bebas tidak terpenuhi 	Terjadi hubung singkat antar fasa dan fasa ke tanah (<i>ground</i>)
PEMBAWA ARUS		
Konduktor penghantar	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Konduktor penghantar rantas, putus atau mekar ▪ Peredam getaran (<i>vibration damper</i>) lepas atau hilang ▪ <i>Spacer</i> bengkok atau patah ▪ Klem <i>spacer</i> lepas atau hilang 	<p>Arus tidak dapat disalurkan</p> <p>Konduktor rantas atau putus</p> <p>Konduktor terhubung jadi satu</p> <p>Konduktor rantas atau putus</p>
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Andongan konduktor tidak normal ▪ Peredam getaran (<i>vibration damper</i>) bergeser ▪ <i>Spacer</i> bergeser atau kendur 	<p>Jarak bebas tidak terpenuhi</p> <p>Tidak bisa menahan getaran konduktor</p> <p>Konduktor tidak terentang sempurna</p>
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Peredam getaran (<i>vibration damper</i>) korosi ▪ Ada benda asing (binatang, benang, layang-layang, balon, sampah) atau tersangkut 	<p>Peredam getaran (<i>vibration damper</i>) patah atau rusak</p> <p>Terjadi hubung singkat antar fasa dan fasa ke tanah (<i>ground</i>)</p>
Sambungan konduktor (<i>Compression joint</i>)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Repair sleeve</i> pecah 	Konduktor rantas atau putus
Konduktor penghubung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Konduktor penghubung mekar atau rantas 	Konduktor penghubung putus



	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Konduktor penghubung lepas ▪ <i>Counter weight</i> ada kelainan 	<p>Terjadi hubung singkat fasa ke tanah(<i>ground</i>)</p> <p>Terjadi hubung singkat fasa ke tanah(<i>ground</i>)</p>
Klem Konduktor penghantar	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Suspension / tension clamp</i> korosi ▪ <i>Suspension / tension clamp</i> pecah ▪ Baut <i>suspension / tension clamp</i> tidak lengkap ▪ <i>Armour rod</i> mekar atau putus 	<p>Konduktor lepas</p> <p>Konduktor lepas</p> <p>Konduktor lepas</p> <p>Konduktor putus</p>
KONSTRUKSI DAN PONDASI		
Halaman <i>tower</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Halaman <i>tower</i> kotor, ada pohon / semak belukar atau dimanfaatkan orang lain ▪ Patok batas tertimbun 	<p>Mengganggu saat ada pekerjaan pemeliharaan</p> <p>Batas kepemilikan tanah hilang</p>
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Halaman <i>tower</i> ada jalan longsor atau banjir ▪ <i>Stub</i> bengkok 	<p>Pondasi amblas atau rusak</p> <p>Tower miring</p>
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Patok batas pecah atau hilang ▪ Patok batas retak 	<p>Batas kepemilikan tanah hilang</p> <p>Batas kepemilikan tanah hilang</p>
<i>Stub</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Stub</i> korosi 	Tower roboh
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Stub</i> tertimbun tanah atau tergenang air 	<i>Stub</i> korosif
Pondasi	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kopel pondasi patah, bengkok, retak ▪ <i>Chimney / kepala pondasi</i> retak 	<p>Tower miring</p> <p>Tower roboh</p>
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kopel pondasi 	Kopel pondasi rusak atau patah



	<ul style="list-style-type: none"> ambias atau tertimbun tanah ▪ <i>Chimney</i> / kepala pondasi tertimbun tanah, tergenang air atau ambias 	Pondasi rusak
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Chimney</i> / kepala pondasi bergeser atau miring 	Tower miring atau roboh
<i>Tower (Leg, Common body, Body, Traverse)</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Konstruksi tiang bergeser atau miring 	Tower miring atau roboh
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Plat sambungan rangka hilang atau bengkok 	Tower miring atau roboh
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mur & baut plat sambungan rangka hilang 	Tower miring atau roboh
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Bracing / member / besi diagonal</i> hilang, tidak terpasang, bengkok atau patah 	Tower miring atau roboh
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ada benda asing (binatang, benang, layang-layang, balon, sampah) atau tersangkut 	Terjadi hubung singkat fasa ke ground
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Plat sambungan rangka kendur ▪ <i>Bracing / member / besi diagonal</i> tidak nempel ▪ <i>Bracing / member / besi diagonal</i> kendur 	Tower miring atau roboh Tower miring atau roboh Tower miring atau roboh
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cat / <i>galvanis</i> terkelupas ▪ Plat sambungan rangka korosi ▪ <i>Bracing / member /</i> 	Besi tower korosif Tower miring atau roboh Tower miring atau roboh	



	<ul style="list-style-type: none"> besi diagonal korosi ▪ Mur & baut korosi 	Tower miring atau roboh
PROTEKSI PETIR		
Konduktor tanah (EW, GSW, OPGW)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ada benda asing (binatang, benang, layang-layang, balon, sampah) atau tersangkut 	Terjadi hubung singkat fasa ke ground
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Peredam getaran (<i>vibration damper</i>) bergeser 	Konduktor tanah rantas atau putus
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Konduktor tanah rantas atau putus 	Terjadi hubung singkat fasa ke ground
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Konduktor tanah korosi 	Konduktor tanah putus
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Peredam getaran (<i>vibration damper</i>) korosi 	Konduktor tanah rantas atau putus
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Peredam getaran (<i>vibration damper</i>) lepas atau hilang 	Konduktor tanah rantas atau putus
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Midspan compression joint</i> bengkok 	Konduktor tanah lepas
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Midspan compression joint</i> korosi 	Konduktor tanah lepas
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Suspension / tension clamp</i> korosi 	Konduktor tanah lepas
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Sackle suspension / tension clamp</i> korosi 	Konduktor tanah lepas
<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Suspension / tension clamp</i> pecah 	Konduktor tanah lepas	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Baut <i>suspension / tension</i> tidak lengkap 	Konduktor tanah putus	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Armour rod</i> mekar, putus atau tidak 	Komunikasi terputus	



	<p>lengkap</p> <ul style="list-style-type: none">▪ <i>Box joint</i> konduktor optic hilang▪ Konduktor yang turun ke <i>box joint</i> putus atau hilang	Komunikasi terputus
Konduktor penghubung Konduktor tanah	<ul style="list-style-type: none">▪ Konduktor penghubung Konduktor tanah apakah mekar, rantas	Konduktor penghubung Konduktor tanah putus
	<ul style="list-style-type: none">▪ Konduktor penghubung Konduktor tanah lepas	Resistansi pentanahan tower tinggi
<i>Arcing horn</i>	<ul style="list-style-type: none">▪ <i>Arcing horn</i> salah pasang	Terjadi hubung singkat fasa ke ground
	<ul style="list-style-type: none">▪ <i>Arcing horn</i> tidak terpasang atau lepas	Terjadi hubung singkat fasa ke ground
Konduktor penghubung Konduktor tanah ke tanah	<ul style="list-style-type: none">▪ Konduktor penghubung Konduktor tanah ke tanah kendur	Resistansi pentanahan tower tinggi
	<ul style="list-style-type: none">▪ Konduktor penghubung Konduktor tanah ke tanah putus, hilang atau rantas	Resistansi pentanahan tower tinggi
	<ul style="list-style-type: none">▪ Konduktor penghubung Konduktor tanah ke tanah korosi	Konduktor penghubung Konduktor tanah ke tanah putus
Pentanahan (<i>Grounding</i>)	<ul style="list-style-type: none">▪ Pentanahan (<i>grounding</i>) terlepas atau kendur	Resistansi pentanahan tower tinggi
	<ul style="list-style-type: none">▪ Pentanahan (<i>grounding</i>) hilang,	Resistansi pentanahan tower tinggi



	<ul style="list-style-type: none"> ▪ putus atau rantas ▪ Pentanahan (<i>grounding</i>) korosi 	Pentanahan (<i>grounding</i>) putus atau rantas
AKSESORIS		
Aksesoris isolasi	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aksesoris <i>fittings</i> insulator (pin, <i>sackle</i>, dll) korosi ▪ Aksesoris <i>fittings</i> insulator (pin, <i>sackle</i>, dll) tidak lengkap 	<p>Ikatan insulator lepas atau putus</p> <p>Ikatan insulator lepas atau putus</p>
Aksesoris panjat	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Baut panjat (<i>step bolt</i>) kendur 	Terjadi kecelakaan kerja
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Baut panjat (<i>step bolt</i>) hilang, bengkok, patah atau kurang panjang dratnya ▪ Baut panjat (<i>step bolt</i>) korosi 	<p>Terjadi kecelakaan kerja</p> <p>Terjadi kecelakaan kerja</p>
Aksesoris K3	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Penghalang panjat (<i>Anti Climbing Device</i>) kendur ▪ Plat tanda penghantar kendur 	<p>Terjadi kecelakaan umum</p> <p>Terjadi kecelakaan kerja</p>
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Plat tanda penghantar salah pasang ▪ <i>Ball sign</i> bergeser 	<p>Terjadi kecelakaan kerja</p> <p>Terjadi kecelakaan umum</p>
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Penghalang panjat (<i>Anti Climbing Device</i>) bengkok, hilang atau patah ▪ Penghalang panjat (<i>Anti Climbing Device</i>) korosi ▪ Plat tanda bahaya kendur, pudar, 	<p>Terjadi kecelakaan umum</p> <p>Terjadi kecelakaan umum</p> <p>Terjadi kecelakaan kerja</p>



	korosi, rusak atau hilang	Terjadi kecelakaan kerja
	▪ Plat tanda penghantar pudar	Terjadi kecelakaan umum
	▪ Plat tanda penghantar korosi	Terjadi kecelakaan kerja
	▪ Plat tanda penghantar rusak atau hilang	Terjadi kecelakaan umum
	▪ <i>Ball sign</i> pecah atau hilang	Terjadi kecelakaan umum
	▪ Lampu aviasi pecah, mati, rusak atau hilang	

III.2.2 PENGUJIAN THERMOVISI

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 disekitarnya (suhu *ambient*). Untuk peralatan SUTT & SUTET yang berada diluar ruangan, suhu operasi objek umumnya hanya 1°C atau 2°C diatas suhu lingkungan (*ambient*), sedangkan untuk peralatan dalam ruangan variasinya akan lebih besar.

2. Membandingkan hasil ukur dengan hasil ukur objek lain yang sama disekitarnya (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 disekitarnya. Perbedaan hasil ukur ini (Δt), dikelompokkan menjadi 3 (tiga) kategori, yaitu :

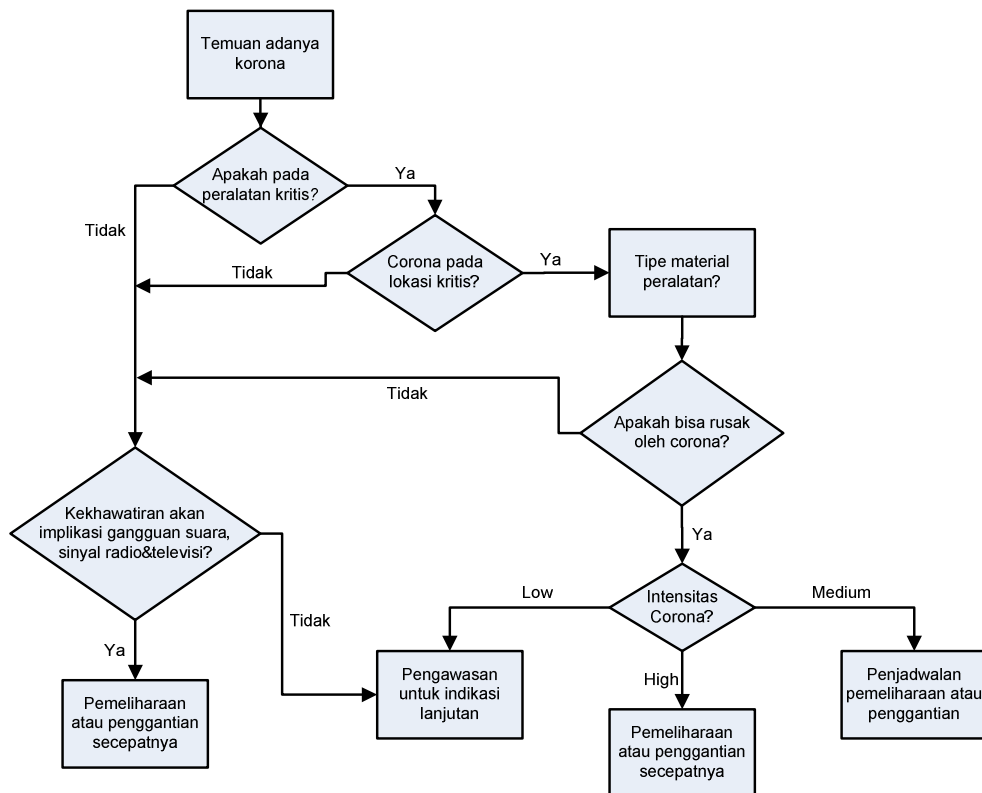


Tabel 16 Standar evaluasi pengujian thermovisi

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

* Diambil dari *manual instruction* Kamera thermovisi FLIR

III.2.3 PENGUJIAN KORONA



Gambar 77 Diagram alir pengambilan keputusan

INTENSITAS KORONA :



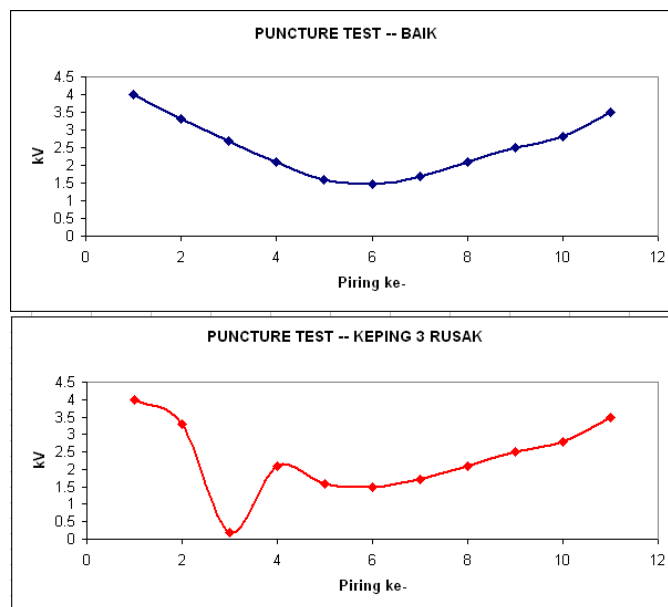
Tabel 17 Standar evaluasi pengujian korona

KATEGORI	HASIL UKUR	KONDISI
Low	< 1000 countrate/menit	<ul style="list-style-type: none">➤ Berpotensi mengurangi usia peralatan➤ Indikasi kerusakan minor dari pemburukan komponen
Medium	1000 – 5000 countrate/menit	<ul style="list-style-type: none">➤ Dapat menyebabkan pemburukan yang signifikan terhadap usia peralatan➤ Indikasi kerusakan/pemburukan komponen yang dapat diukur
High	> 5000 countrate/menit	<ul style="list-style-type: none">➤ Menyebabkan pemburukan yang sangat cepat➤ Indikasi kerusakan parah terhadap komponen/peralatan

* Diambil dari *manual instruction* Kamera korona OFIL Daycor Superb

III.2.4 PENGUJIAN *PUNCTURE* (KEBOCORAN) INSULATOR

Evaluasi terhadap pengujian ini adalah dengan melihat kurva distribusi potensial antar keping insulator. Insulator rusak (*breakdown*) akan ditunjukkan dengan nilai tegangan keping insulator yang mengalami penurunan dibandingkan nilai tegangan keping insulator yang lain dalam satu renceng seperti gambar di bawah.

Gambar 78 Contoh Hasil Pengujian *Puncture* Insulator



Gambar pertama di atas menunjukkan hasil ukur masing-masing keping insulator dalam satu renceng dalam kondisi normal, sedangkan gambar kedua menunjukkan hasil ukur pada keping nomor 3 mengalami kerusakan (*breakdown*).

Dalam kegiatan Pemeliharaan SUTT & SUTET, selain untuk mengetahui kondisi insulator, hasil pengujian kebocoran insulator (*puncture test*) juga digunakan sebagai standar untuk menentukan apakah suatu pekerjaan pemeliharaan insulator secara bertegangan (*On line*) dapat dilakukan atau tidak. Bila hasil ukur kebocoran insulator menunjukkan bahwa lebih dari 50% + 1 jumlah insulator dalam satu renceng tidak sesuai standar, maka pekerjaan pemeliharaan insulator harus dilaksanakan secara tidak bertegangan (*Off line*).

III.2.5 PENGUJIAN RESISTANSI PENTANAHAN TOWER

Pentanahan tiang berfungsi untuk mengalirkan arus dari konduktor tanah akibat sambaran petir, oleh karena itu nilai pentanahan tiang harus dibuat sekecil mungkin agar tidak menimbulkan tegangan tiang yang tinggi yang pada akhirnya dapat mengganggu sistem penyaluran. Batasan nilai pentanahan tiang sebagai berikut :

Tabel 18 Standar evaluasi pengujian resistansi pentanahan tower

PERALATAN YANG DIPERIKSA	TEGANGAN OPERASI	STANDAR
Pentanahan (<i>Grounding</i>)	70 kV	≤ 5 Ohm
	150 kV	≤ 10 Ohm
	275 kV / 500 kV	≤ 15 Ohm



BAB IV

REKOMENDASI HASIL PEMELIHARAAN SUTT & SUTET

Rekomendasi merupakan tindak lanjut yang harus dilaksanakan sebagai evaluasi dari hasil pemeliharaan yang telah dilakukan. Rekomendasi berpedoman kepada *instruction manual* dari pabrik dan pengalaman serta observasi / pengamatan operasi di lapangan.

IV.1 REKOMENDASI HASIL PEMELIHARAAN RUTIN

Adalah tindak lanjut dari hasil pemeliharaan rutin mingguan dan 5 tahunan (*Ground Patrol & Climb Up Inspection*) sebagai tindakan pencegahan terjadinya kelainan / unjuk kerja rendah pada peralatan saat menjalankan fungsinya atau kerusakan. Rekomendasi hasil pemeliharaan rutin berpedoman kepada pengalaman serta observasi / pengamatan operasi di lapangan.

Tabel 19 Rekomendasi hasil pemeliharaan rutin

PERALATAN YANG DIPERIKSA	SASARAN PEMERIKSAAN	REKOMENDASI
ISOLASI		
Isolasi Padat (Insulator)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Piring insulator pecah, retak & flek ▪ Pin ikatan insulator tidak lengkap atau aus ▪ Ikatan insulator korosi 	➤ Penggantian
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Piring insulator kotor ▪ Ada benda asing (binatang, benang, layang-layang, balon, sampah) atau tersangkut 	➤ Pembersihan
Isolasi udara	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Jarak bebas tidak terpenuhi 	➤ Pembersihan
PEMBAWA ARUS		
Konduktor penghantar	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Konduktor penghantar rantas, putus atau mekar ▪ Peredam getaran (<i>vibration damper</i>) lepas atau hilang ▪ <i>Spacer</i> bengkok atau patah 	➤ Penggantian



	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Klem <i>spacer</i> lepas atau hilang 	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Andongan konduktor tidak normal ▪ Peredam getaran (<i>vibration damper</i>) bergeser ▪ <i>Spacer</i> bergeser atau kendor 	➤ Pengencangan
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Peredam getaran (<i>vibration damper</i>) korosi ▪ Ada benda asing (binatang, benang, layang-layang, balon, sampah) atau tersangkut 	➤ Pembersihan
Sambungan konduktor (<i>Compression joint</i>)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Repair sleeve</i> pecah 	➤ Penggantian
<i>Konduktor penghubung</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Konduktor penghubung mekar atau rantas ▪ Konduktor penghubung lepas ▪ <i>Counter weight</i> ada kelainan 	➤ Penggantian
Klem Konduktor penghantar	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Suspension / tension clamp</i> korosi ▪ <i>Suspension / tension clamp</i> pecah ▪ Baut <i>suspension / tension clamp</i> tidak lengkap ▪ <i>Armour rod</i> mekar atau putus 	➤ Penggantian
KONSTRUKSI DAN PONDASI		
<i>Halaman tower</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Halaman <i>tower</i> kotor, ada pohon / semak belukar atau dimanfaatkan orang lain ▪ Patok batas tertimbun 	➤ Pembersihan
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Halaman <i>tower</i> ada jalan longsor atau banjir ▪ <i>Stub</i> bengkok 	➤ Perbaikan
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Patok batas pecah atau hilang ▪ Patok batas retak 	➤ Penggantian
<i>Stub</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Stub</i> korosi 	➤ Pengecatan



	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Stub</i> tertimbun tanah atau tergenang air 	➤ Pembersihan
Pondasi	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kopel pondasi patah, bengkok, retak ▪ <i>Chimney</i> / kepala pondasi retak 	➤ Perbaikan
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kopel pondasi amblas atau tertimbun tanah ▪ <i>Chimney</i> / kepala pondasi tertimbun tanah, tergenang air atau amblas 	➤ Pembersihan
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Chimney</i> / kepala pondasi bergeser atau miring 	➤ Perbaikan
Tower (Leg, Common body, Body, Traverse)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Konstruksi tiang bergeser atau miring 	➤ Perbaikan
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Plat sambungan rangka hilang atau bengkok ▪ Mur & baut plat sambungan rangka hilang ▪ <i>Bracing</i> / <i>member</i> / besi diagonal hilang, tidak terpasang, bengkok atau patah 	➤ Penggantian
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ada benda asing (binatang, benang, layang-layang, balon, sampah) atau tersangkut 	➤ Pembersihan
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Plat sambungan rangka kendur ▪ <i>Bracing</i> / <i>member</i> / besi diagonal tidak nempel ▪ <i>Bracing</i> / <i>member</i> / besi diagonal kendur 	➤ Pengencangan
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cat / <i>galvanis</i> terkelupas ▪ Plat sambungan rangka korosi ▪ <i>Bracing</i> / <i>member</i> / besi diagonal korosi ▪ Mur & baut korosi ▪ Cat / <i>galvanis</i> korosi 	➤ Pengecatan
PROTEKSI PETIR		
Konduktor tanah (EW, GSW, OPGW)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ada benda asing (binatang, benang, layang-layang, balon, 	➤ Pembersihan



	sampah) atau tersangkut	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Peredam getaran (<i>vibration damper</i>) bergeser 	➤ Perbaikan
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Konduktor tanah rantas atau putus ▪ Konduktor tanah korosi ▪ Peredam getaran (<i>vibration damper</i>) korosi ▪ Peredam getaran (<i>vibration damper</i>) lepas atau hilang ▪ <i>Midspan compression joint</i> bengkok ▪ <i>Midspan compression joint</i> korosi ▪ <i>Suspension / tension clamp</i> korosi ▪ <i>Sackle suspension / tension clamp</i> korosi ▪ <i>Suspension / tension clamp</i> pecah ▪ Baut <i>suspension / tension</i> tidak lengkap ▪ <i>Armour rod</i> mekar, putus atau tidak lengkap ▪ <i>Box joint</i> konduktor optic hilang ▪ Konduktor yang turun ke <i>box joint</i> putus atau hilang 	➤ Penggantian
Konduktor penghubung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Konduktor penghubung 	➤ Penggantian
Konduktor tanah	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Konduktor tanah apakah mekar, rantas ▪ Konduktor penghubung ▪ Konduktor tanah lepas 	➤ Perbaikan
<i>Arcing horn</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Arcing horn</i> salah pasang 	➤ Perbaikan
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Arcing horn</i> tidak terpasang atau lepas 	➤ Penggantian
Konduktor penghubung Konduktor tanah ke	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Konduktor penghubung ▪ Konduktor tanah ke tanah ▪ kendor 	➤ Pengencangan



tanah	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Konduktor penghubung Konduktor tanah ke tanah putus, hilang atau rantas ▪ Konduktor penghubung Konduktor tanah ke tanah korosi 	➤ Penggantian
Pentanahan (<i>Grounding</i>)	▪ Pentanahan (<i>grounding</i>) terlepas atau kendur	➤ Pengencangan
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pentanahan (<i>grounding</i>) hilang, putus atau rantas ▪ Pentanahan (<i>grounding</i>) korosi 	➤ Penggantian
AKSESORIS		
Aksesoris isolasi	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aksesoris <i>fittings</i> insulator (pin, <i>sackle</i>, dll) korosi ▪ Aksesoris <i>fittings</i> insulator (pin, <i>sackle</i>, dll) tidak lengkap 	➤ Penggantian
Aksesoris panjat	▪ Baut panjat (<i>step bolt</i>) kendur	➤ Pengencangan
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Baut panjat (<i>step bolt</i>) hilang, bengkok, patah atau kurang panjang dratnya ▪ Baut panjat (<i>step bolt</i>) korosi 	➤ Penggantian
Aksesoris K3	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Penghalang panjat (<i>Anti Climbing Device</i>) kendur ▪ Plat tanda penghantar kendur 	➤ Pengencangan
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Plat tanda penghantar salah pasang ▪ <i>Ball sign</i> bergeser 	➤ Perbaikan
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Penghalang panjat (<i>Anti Climbing Device</i>) bengkok, hilang atau patah ▪ Penghalang panjat (<i>Anti Climbing Device</i>) korosi ▪ Periksa kondisi plat tanda bahaya apakah normal, kendur, pudar, korosi, rusak atau hilang ▪ Plat tanda penghantar pudar ▪ Plat tanda penghantar korosi 	➤ Penggantian



	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Plat tanda penghantar rusak atau hilang ▪ <i>Ball sign</i> pecah atau hilang ▪ Lampu aviasi pecah, mati, rusak atau hilang 	
--	--	--

* Bersumber dari pengalaman serta observasi / pengamatan operasi di lapangan

IV.2 REKOMENDASI PENGUJIAN THERMOVISI

Tabel 20 Rekomendasi pengujian thermovisi

PERALATAN YANG DIPERIKSA	HASIL UKUR (Δt)	REKOMENDASI
➤ Konduktor penghantar (Konduktor)	I ($< 5^{\circ}\text{C}$)	Lanjutkan pengujian rutin 6 bulanan
➤ Sambungan konduktor (Compression joint)	II ($5 - 30^{\circ}\text{C}$)	Dijadwalkan perbaikan atau penggantian seperlunya
➤ Konduktor penghubung ➤ Klem konduktor penghantar	III ($> 30^{\circ}\text{C}$)	Perbaiki atau ganti secepatnya maksimal 1 minggu

* Diambil dari *manual instruction* Kamera thermovisi FLIR

IV.3 REKOMENDASI PENGUJIAN KORONA

Tabel 21 Rekomendasi pengujian korona

PERALATAN YANG DIPERIKSA	HASIL UKUR	REKOMENDASI
➤ Isolasi padat (insulator)	Low (countrate $< 1000/\text{menit}$)	Lanjutkan pengujian rutin 6 bulanan
	Medium (countrate $< 1000 - 5000/\text{menit}$)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Lakukan pengujian rutin 3 bulanan ➤ Lakukan pengujian rutin 1 bulanan bila ada kecenderungan peningkatan hasil ukur 3 bulanan ➤ Dijadwalkan perbaikan atau penggantian seperlunya



	High (count rate > 5000/menit)	Perbaiki atau ganti secepatnya
--	--------------------------------	--------------------------------

* Diambil dari *manual instruction* Kamera korona OFIL Daycor Superb

IV.4 REKOMENDASI PENGUJIAN *PUNCTURE* (KEBOCORAN) INSULATOR

Tabel 22 Rekomendasi pengujian *puncture* (kebocoran) insulator Chance

PERALATAN YANG DIPERIKSA	HASIL UKUR	REKOMENDASI
Isolasi padat (insulator)	Distribusi tegangan normal	Lanjutkan pengujian rutin 5 tahunan
	Drop tegangan $\leq 30\%$	Lakukan pemeriksaan lanjutan (visual, kadet, pengukuran <i>thermovisi</i> & korona)
	Drop tegangan $\geq 30\%$	Perbaiki atau ganti secepatnya

* Diambil dari manual instruction Transmission Tester AB

IV.5 REKOMENDASI PENGUJIAN RESISTANSI PENTANAHAN *TOWER*

Tabel 23 Rekomendasi pengujian resistansi pentanahan *tower*

PERALATAN YANG DIPERIKSA	TEGANGAN OPERASI	HASIL UKUR	REKOMENDASI
Pentanahan (<i>Grounding</i>)	70 kV	≤ 5 Ohm	Lanjutkan pengujian rutin 1 tahunan
		> 5 Ohm	Perbaiki, ganti secepatnya atau diberikan penambahan pentanahan kaki tiang
	150 kV	≤ 10 Ohm	Lanjutkan pengujian rutin 1 tahunan
		> 10 Ohm	Perbaiki, ganti secepatnya atau diberikan penambahan pentanahan kaki tiang
	275 kV / 500 kV	≤ 15 Ohm	Lanjutkan pengujian rutin 1 tahunan
		> 15 Ohm	Perbaiki, ganti secepatnya atau diberikan penambahan pentanahan kaki tiang



**DAFTAR PUSTAKA**

- SURAT EDARAN NO. 032/PST/1994, "*Himpunan Buku Petunjuk dan Pemeliharaan Peralatan Penyaluran Tenaga Listrik*", PT PLN (Persero) Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban Jawa Bali, 2000.
- ARISMUNANDAR, A., "*Teknik Tegangan Tinggi*", Jakarta : Pradnya Paramita, 1984.
- TOBING, BONGGAS L., "*Peralatan Tegangan Tinggi*", Jakarta : Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama, 2003.
- SPLN 121 : 1996, "*Konstruksi Saluran Udara Tegangan Tinggi 70 kV dan 150 kV Dengan Tiang Beton/Baja*", PT Perusahaan Listrik Negara (Persero), 1996.
- Wadell, Brian C., "*Transmission Line Design Handbook*", Norwood : Artech House Inc, 1991.
- Bayliss C. R. and Hardy B. J., "*Transmission and Distribution Electrical Engineering Third Edition*", USA : Elsevier Ltd, 2007.
- ELECTRIC SYSTEMS TECHNOLOGY INSTITUTE, "*Electrical Transmission and Distribution Reference Book Fifth Edition*", ABB Power T&D Company Inc, 1997.
- MEIER, ALEXANDRA VON, "*Electric Power Systems : a Conceptual Introduction*", New Jersey : John Wiley & Sons, Inc, 2006.
- GRIGSBY, LEONARD L., "*Electric Power Generation, Transmission and Distribution*", Boca Raton : Taylor & Francis Group, LLC, 2007.
- "*User's manual ThermaCAM™ B640, ThermaCAM™ P640 and ThermaCAM™ SC640*", FLIR Systems, 2006.
- "*Presentasi Kamera Korona Daycor Superb*", OFIL.
- SUDRAJAT, A., "*Presentasi Pengenalan SUTT / SUTET*".