

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian yang Relevan

Penelitian yang ada sebelumnya mengenai "Optimasi Pemasangan TLA (Transmission Line Arrester) Untuk Mengurangi Gangguan Petir pada SUTT 150 kV Gilimanuk – Celukan Bawang – Pamaron" dimana hasilnya menunjukkan dengan adanya optimasi dalam penentuan titik terpasangnya TLA pada tower SUTT mampu mengurangi risiko adanya flashover serta mampu meningkatkan kehandalan sistem jaringan transmisi dimana pada penelitian ini dilakukan simulasi dengan bantuan software ATP (Alternative Transients Program) [3].

Penelitian dengan judul "Analisa Kinerja Transmission Line Arrester (TLA) SUTT 150 kV Akibat Induksi Sambaran Petir pada Transmisi Koto Panjang – Garuda Sakti". Penelitian ini menganalisa kinerja TLA pada SUTT 150 kV Koto Panjang – Garuda Sakti akibat induksi sambaran petir. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa TLA dapat membawa 92% arus sambaran petir, yang lebih dari nilai minimum kinerja TLA yaitu 75,29%. Hal ini menunjukkan bahwa TLA yang terpasang memiliki kinerja yang optimal dalam melindungi saluran transmisi dari gangguan akibat petir [4].

2.2. Tinjauan Pustaka

2.2.1. Komponen Utama Jaringan Transmisi

Berdasarkan fungsi dari setiap komponen, sistem jaringan transmisi SUTT dikelompokkan menjadi beberapa komponen yaitu :

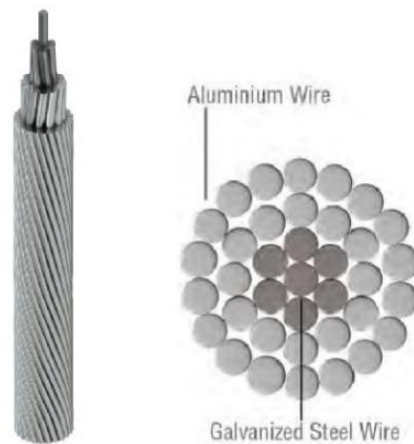
A. Konduktor

Konduktor menjadi media yang membawa arus pada jaringan SUTT dengan kapasitas arus yang berbeda-beda tergantung pada spesifikasinya yang dihubungkan melalui tower SUTT. Konduktor yang terdapat di tower *tension* dihubungkan dengan *tension clamp*, dan untuk tower jenis *suspension*

menggunakan *suspension clamp*. Selain itu, terpasang juga isolator yang terhubung ke tower sebagai insulator pada tower. Suatu konduktor yang dipakai untuk penyaluran listrik harus mempunyai beberapa sifat berikut yakni :

- Konduktivitas yang tinggi
- Kekuatan tarik mekanik yang tinggi
- Beban Jenis yang rendah
- Ekonomis
- Tidak mudah patah

Adapun untuk bahan konduktor yang sering digunakan ialah bahan tembaga dan aluminium. Konduktor jenis Tembaga atau yang dikenal dengan istilah *Bare Cooper* merupakan penghantar yang memiliki kemampuan menghantarkan listrik yang tinggi serta kekuatan mekanikalnya yang cukup baik. Disamping itu, harganya yang mahal membuat konduktor jenis ini rawan terhadap aksi pencurian. Sebaliknya, konduktor dengan bahan Aluminium harganya relatif lebih murah dan beratnya lebih ringan dibandingkan tembaga, namun untuk konduktivitas dan kekuatan mekanikalnya lebih rendah. Mayoritas SUTT memakai tipe ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*) sebagai konduktor untuk mendapatkan kualitas yang setara dengan bahan tembaga di mana dalam kawat berupa *steel* yang memiliki kekuatan mekanik yang tinggi, dengan bagian luar yang memiliki konduktivitas tinggi.



Gambar 2.1 Konduktor ACSR

B. Isolator

Isolator memiliki peran penting sebagai pemisah antara bagian-bagian dalam sistem kelistrikan yang membawa arus listrik dan bagian lain yang tidak bertegangan. Fungsi ini tetap berlangsung, baik dalam kondisi operasi normal maupun saat terjadi gangguan seperti lonjakan tegangan atau sambaran petir di jaringan transmisi. Agar dapat menjalankan fungsinya dengan baik, bahan yang digunakan untuk membuat isolator harus memiliki daya tahan listrik yang sangat tinggi guna mencegah terjadinya kebocoran arus. Selain itu, isolator juga harus cukup tebal untuk menahan tegangan tinggi agar tidak terjadi tembusan listrik. Tak hanya itu, isolator harus mampu menopang beban dari konduktor serta tahan terhadap getaran atau guncangan yang mungkin terjadi [5]. Dalam sistem transmisi tegangan tinggi (SUTT), isolasi ini umumnya dibedakan menjadi tiga jenis utama :

a) Ceramic insulator

Merupakan bagian yang memisahkan antara sisi yang dalam keadaan bertegangan dengan sisi yang tidak bertegangan baik secara elektrik maupun mekanik. Di jaringan transmisi sendiri, insulator diperlukan guna untuk mengisolasi bagian konduktor fasa dengan tower. Insulator keramik dibuat dari bahan porselen sehingga membuatnya tidak

gampang pecah serta mampu bertahan akan cuaca. Insulator ini biasanya dilapisi dengan glasur yang berwarna coklat



Gambar 2.2 Ceramic Insulator

b) Insulator gelas/ kaca

Biasanya ditemukan pada jenis insulator piring. Insulator ini harus bebas dari lubang atau cacat lain seperti adanya gelembung dalam gelas. Berbeda dengan jenis insulator sebelumnya, insulator kaca ini berwarna hijau dan karena terbuat dari kaca maka kerusakan pada insulator ini dapat dengan mudah untuk terdeteksi.

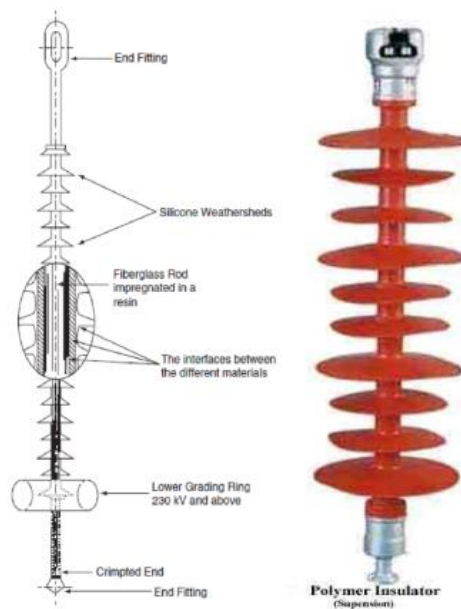


Gambar 2.3 Insulator Kaca

c) Insulator Polymer

Insulator polymer memiliki *mechanical load-bearing fiberglass rod*, yang dilapisi dengan *weather shed polimer* sehingga memungkinkan memiliki nilai yang tinggi untuk daya eletriknya. Komponen yang menjadi bagian dari insulator polymer terdiri dari :

- *End fittings*
- *Corona ring(s)*
- *Fiberglass-reinforced plastic rod*
- *Interface between shed and sleeve*
- *Weather shed*



Gambar 2.4 Insulator Polimer

C. Bagian – Bagian Tower

Bagian dari Tower SUTT terdiri dari :

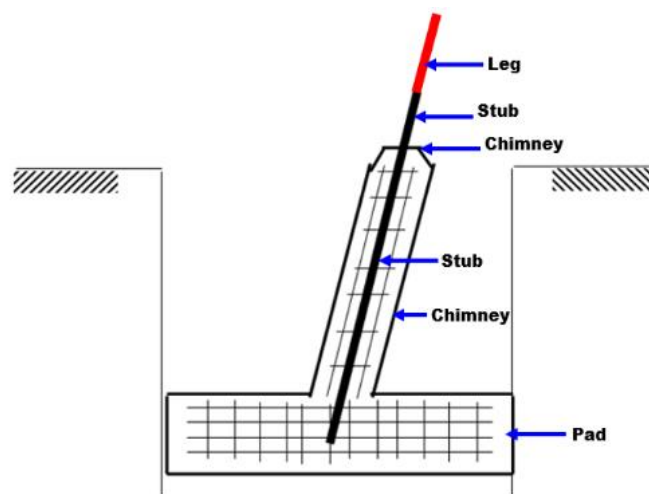
a) Pondasi

Pondasi merupakan konstruksi dari beton yang bertulang untuk menyatukan antara kaki tower (*stub*) dan *ground*. Pemilihan jenis pondasi disesuaikan menurut keadaan lingkungan atau issue geografisnya serta beban yang ditanggung oleh tower. Untuk tower

dengan tipe tension dirancang untuk menahan beban tarik yang lebih kuat dibandingkan tower dengan tipe suspension.

b) Stub

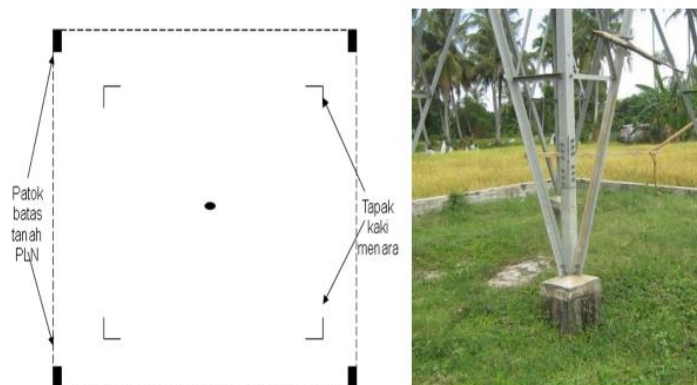
Stub ialah bagian yang paling bawah dari suatu kaki tower yang terpasang pada tower saat pendirian pondasi dibuat menyatu dengan pondasi. Bagian teratas dari stub dimunculkan ke permukaan tanah sekitar 0,5 - 1 meter dimana bagian tersebut ditutupi dengan semen serta dicat sehingga meminimalisir kondisi berkarat.



Gambar 2.5 Struktur Bagian Bawah Tower

c) Halaman Tower

Halaman tower mencakup wilayah dengan luas yang diukur dari proyeksi ke atas tanah galian pondasi. Jaraknya sekitar 3 - 8 meter di luar stub namun kembali lagi pada tipe tower yang digunakan.



Gambar 2.6 Halaman Tower

d) Leg

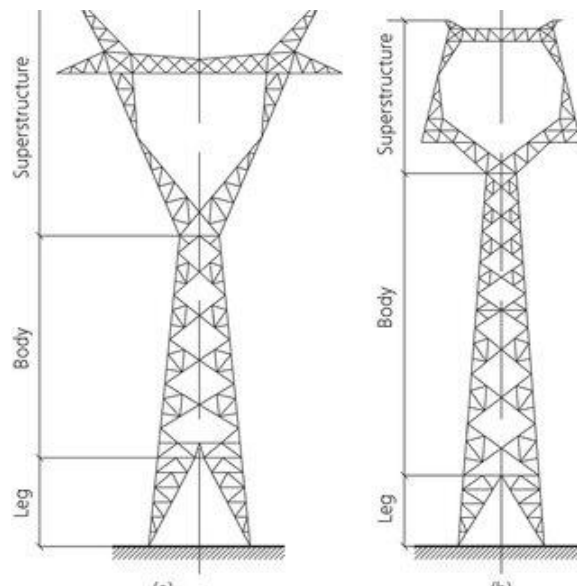
Leg atau kaki tower merupakan bagian yang menjadi penghubung antara *stub* dengan *body* tower. Jika keadaan tanah sekitar tower tidak rata, maka perlu dilakukan penyesuaian kembali untuk tinggi leg dengan memperhatikan kondisi *body* tower yang harus memiliki tinggi permukaan yang sama.

e) Common Body

Common body ialah bagian bawah dari sebuah tower yang menghubungkan antara *leg* dengan badan tower bagian atas (*super structure*). Untuk ketinggian tower dapat disesuaikan dengan level tegangan yang digunakan.

f) Super Structure

Super structure mencakup bagian tower paling atas yang menghubungkan *common body* dan *cross arm* kawat fasa ataupun kawat petir.



Gambar 2.7 Bagian Leg, Body dan Superstructure Tower

g) Cross Arm

Cross arm merupakan bagian dari tower yang menjadi tempat menggantung isolator kawat fasa serta clamp kawat petir. Bentuk dari

cross arm sendiri ialah seperti segitiga. Pada tower tension dengan sudut belokan yang besar biasanya *Cross arm* berbentuk segi empat.

h) *K Frame*

K frame adalah bagian dari tower yang menghubungkan *common body* dengan *bridge* ataupun *cross arm*. *K frame* harus simetris antara sisi kanan dan kirinya.

i) *Bridge*

Bridge menjadi penghubung antara *cross arm* yang berada di sisi kiri dengan *cross arm* bagian tengah. Dalam *bridge* sendiri terdapat kawat penghantar fasa tengah.

j) Rambu Tanda Bahaya

Rambu yang memberi peringatan akan risiko bahaya pada instalasi SUTT.



Gambar 2.8 Rambu Tanda Bahaya

k) *Nameplate Tower*

Nameplate tower berisi informasi terkait nomor tower, nama penghantar serta urutan fasa yang terpasang pada tower.



Gambar 2.9 Nameplate Tower

1) Anti Climbing Device (ACD)

ACD atau dikenal sebagai penghalang panjat dengan tujuan menghalangi orang awam untuk memanjat tower. ACD dibentuk runcing dengan jarak 10 cm satu sama lainnya yang terpasang pada tiap kaki tower dengan posisi berada sebelum rambu tanda bahaya.



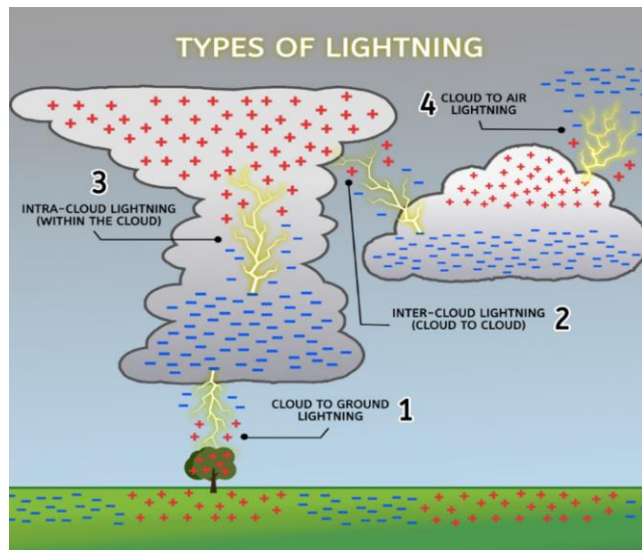
Gambar 2.10 Anti Climbing Device (ACD)

m) Step Bolt

Step bolt merupakan baut yang terpasang di sisi tower yang digunakan sebagai pijakan bagi petugas saat hendak melakukan inspeksi naik maupun turun dari tower.

2.2.2. Teori Dasar Petir

Petir dapat dijelaskan sebagai sebuah kejadian alam yang timbul ketika lapisan atmosfer atas menjadi tidak seimbang karena pergerakan udara hangat yang disebabkan oleh paparan sinar matahari bersamaan dengan udara yang lebih dingin di atasnya. Ketika lapisan atmosfer atas menjadi tidak seimbang karena pergerakan udara hangat akibat paparan sinar matahari bersamaan dengan udara yang lebih dingin di atasnya, terjadi petir. Gerakan molekul udara vertikal dihasilkan oleh aliran udara yang naik ini. Selama ada aliran udara vertikal yang naik dan turun, muatan terpisah dari molekul-molekul yang mengandung uap air karena suhu terus turun hingga akhirnya berubah menjadi es. Udara hangat yang bergerak ke atas mengangkat tetesan air ke area awan yang sangat dingin. Namun, molekul air yang telah membeku bergerak ke bawah. Situasi seperti ini menyebabkan tetesan air dan potongan es berbenturan, yang dapat menyebabkan potongan es menjadi lebih kecil. Graupel yang terbentuk kemudian bercampur dengan partikel air dan es lainnya, menyebabkan fenomena listrik statis di mana elektron bermuatan negatif terlepas dan jatuh ke dasar awan, sedangkan partikel bermuatan positif naik ke atas awan dan dapat berkumpul dan bergerak ke samping jika jumlahnya meningkat.



Gambar 2.11 Ilustrasi terbentuknya petir

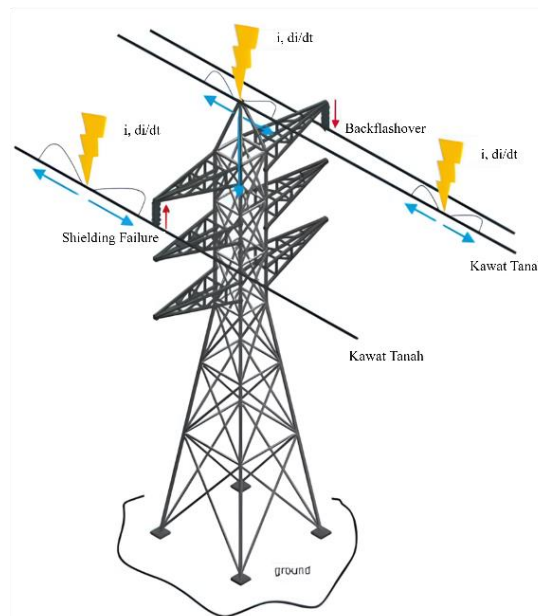
Berdasarkan tempatnya, petir dapat dibedakan menjadi beberapa jenis yaitu :

- a. Petir *Intra Cloud* (IC) adalah mekanisme pelepasan muatan listrik di dalam satu awan.
- b. Petir *Cloud to Cloud* (CC) adalah mekanisme pelepasan muatan listrik yang terjadi diantara awan yang satu dengan awan lainnya.
- c. Petir *Cloud to Ground* adalah mekanisme pelepasan muatan listrik dari awan ke bumi (*Cloud to Ground*, CG).

Menurut muatannya, petir Cloud to Ground terbagi menjadi dua. Untuk Petir Cloud to Ground Positif (CG+) membawa muatan listrik positif dari bagian atas awan menuju ke permukaan bumi, dan CG+ menghantarkan muatan positif dan terkait dengan keberadaan awan Cumulonimbus. Akibatnya, petir Cloud to Ground Negatif (CG-) terbentuk karena pelepasan muatan listrik negatif dari awan ke bumi. CG- membawa muatan negatif ke permukaan bumi dan terkait dengan curah hujan konvektif. Karena berinteraksi langsung dengan aktivitas manusia, seperti saluran transmisi, petir jenis CG ini adalah yang paling dikhawatirkan.

2.2.3. Gangguan Petir pada Jaringan Transmisi

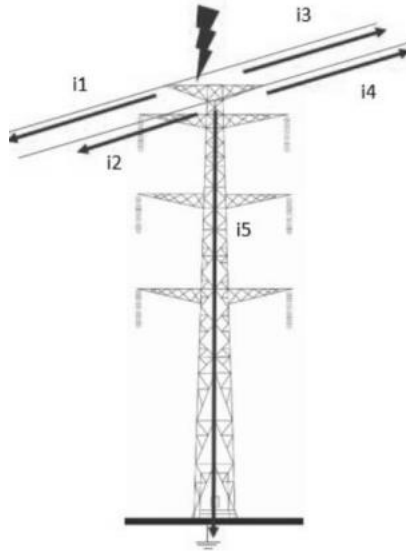
Gangguan akibat petir merupakan salah satu masalah utama dalam kehandalan penyaluran sistem tenaga listrik. Indonesia sebagai wilayah dengan tingkat sambaran petir yang tinggi tentunya memiliki probabilitas gangguan akibat petir yang cukup besar, terkhususnya pada daerah dengan tingkat kerawanan sambaran petir tinggi. Gangguan tersebut berdampak dalam pemadaman, kerusakan peralatan, serta menghambat proses penyaluran tenaga listrik [6]. Adapun gangguan yang terdapat pada saluran transmisi akibat petir dibagi menjadi tiga cara, yaitu :



Gambar 2.12 Ilustrasi Sambaran Petir pada jaringan Transmisi

A. Sambaran langsung pada tower transmisi.

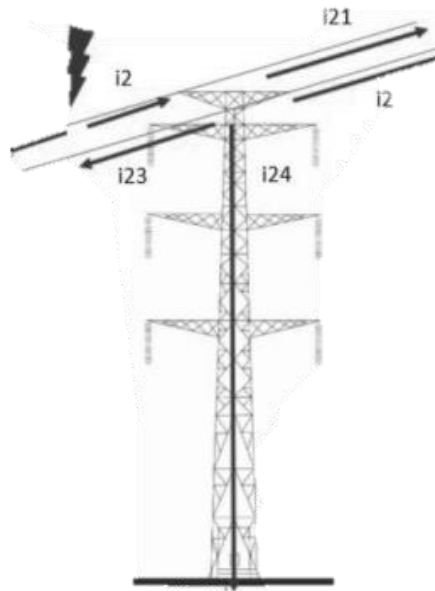
Sambaran yang langsung mengenai tower, dimana arus maksimum dari petir akan melalui bagian dari tower. Ketika tegangan akibat sambaran petir pada bagian tower lebih dari batas tegangan tembus dari isolator yang terpasang maka memungkinkan terjadinya *backflashover*. Istilah Back Flashover dimana arus petir yang mengenai kawat pelindung atau tower selanjutnya menimbulkan efek tegangan impuls yang apabila besar tegangannya melebihi BIL isolator, maka akan terjadi *flashover* yang menyebabkan short circuit pada transmisi [7].



Gambar 2.13 Ilustrasi Sambaran Langsung pada Tower

B. Sambaran langsung pada kawat tanah.

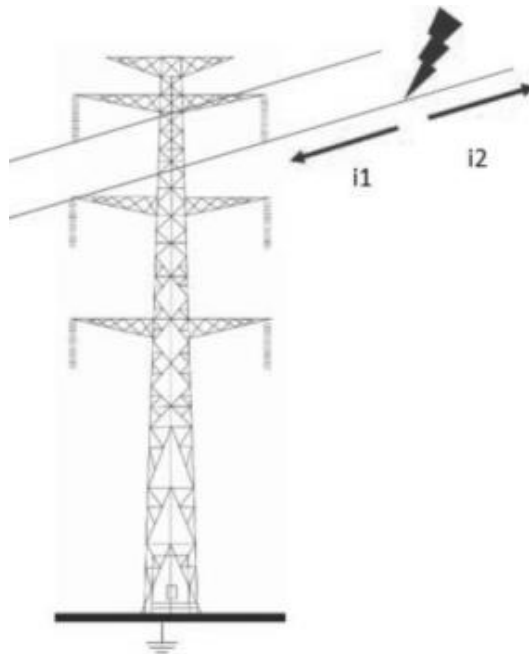
Sambaran yang langsung mengenai kawat tanah, adapun nilai arus yang mengenai kawat tanah biasanya lebih rendah dibandingkan pada saat sambaran pada tower, namun untuk parameter tegangan yang ditimbulkan sebaliknya, jauh lebih besar [8].



Gambar 2.14 Sambaran Petir pada kawat tanah

C. Sambaran langsung pada kawat fasa.

Sambaran yang timbul akibat adanya kegagalan sudut perlindungan petir. Ketika tegangan yang timbul karena sambaran ini lebih dari nilai tegangan tembus isolator maka dapat mengakibatkan adanya gangguan *shielding failure* [8]. Pada umumnya tegangan impuls yang terjadi saat terjadi sambaran petir yang mengenai konduktor hanya memiliki nilai beberapa kA. Sementara arus maksimum yang dapat menyebabkan *shielding failure* diperoleh melalui metode electro geometrik yang dapat dihitung berdasarkan besar sudut lindung kawat GSW terhadap konduktor.



Gambar 2.15 Sambaran langsung pada kawat fasa

2.2.4. Pengaman dari Gangguan Petir

SUTT sebagai instalasi kelistrikan yang penting menjadi sasaran yang memungkinkan untuk sambaran petir karena struktur tower yang tinggi didukung dengan lokasi yang terbuka. Sambaran petir pada SUTT menjadi suntikan muatan listrik yang menyebabkan lonjakan tegangan pada SUTT yang kemudian menimbulkan tegangan lebih berbentuk gelombang impuls yang akan merambat ke ujung-ujung SUTT. Kondisi dimana terjadi tegangan lebih karena sambaran petir disebut juga sebagai surja petir [9]

Ada macam-macam metode yang dapat diterapkan dalam sistem proteksi petir yang sudah ada sebelumnya sebagaimana dalam standar IEEE 1243/1997 tentang “*Guide for Improving the Lightning Performance of Transmission Lines*” [10], yakni :

A. Penambahan Jumlah Keping Isolator

Menambahkan jumlah kepingan isolator pada SUTT menjadi salah satu langkah strategis untuk mengoptimalkan pengamanan dan mengatasi gangguan akibat sambaran petir. Dengan penambahan keping isolator membuat bertambahnya jarak isolasi antara bagian konduktor dengan badan tower, hal ini membuat kemampuan isolasi akan adanya tegangan impuls juga bertambah sehingga mampu membuat saluran transmisi dapat bertahan apabila terjadi lonjakan tegangan secara tiba-tiba. Namun, dalam pelaksanaan penambahan keping isolator harus diperhatikan untuk stabilitas mekanik dari struktur tower karena dengan penambahan ini akan mempengaruhi beban mekanik dari struktur tower. Dalam penerapannya, keefektifitasnya masih dipengaruhi banyak faktor seperti analisis kondisi lokal dan desain sistem transmisi.



Gambar 2.16 Penambahan Keping Isolator

B. Penambahan Kawat Tanah

Sejak pertengahan tahun 1910-an, telah diketahui bahwa kawat tanah (OHGW) pada saluran transmisi dapat mengurangi tegangan petir yang timbul pada isolator. Pengurangan ini terjadi melalui tiga cara berikut:

- a) Dengan menangkap sambaran petir yang seharusnya mengenai konduktor fasa
- b) Dengan mengalirkan sebagian arus sambaran yang seharusnya melewati impedansi pondasi tower
- c) Dengan meningkatkan kopling modus-bersama (common-mode coupling) dari gelombang tegangan pada kawat tanah ke konduktor fasa, sehingga tegangan pada isolator di tower berkurang

Hanya efek pertama yang mengharuskan kawat tanah ditempatkan di atas konduktor fasa. Satu atau lebih kawat pelindung yang dipasang di bawah konduktor fasa tidak akan dapat menangkap sambaran petir, tetapi dapat meningkatkan kopling dan mengurangi tegangan petir pada isolator hampir seefektif jika dipasang di atas konduktor fasa. Gambar 9 menunjukkan perkiraan tingkat trip-out untuk saluran tipikal 345 kV dengan dua sirkuit [B22] ketika ditambahkan kawat pelindung ketiga atau sepasang kawat baru yang dipisahkan sejauh 4 m.

C. Revitalisasi jumper GSW

Maksudnya ialah proses memperbaiki atau mengganti jumper GSW demi menjamin keandalannya sebagai proteksi petir yang terdapat pada jaringan transmisi. GSW memiliki fungsi utama yaitu sebagai jalur proteksi utama apabila terdapat sambaran petir, Dimana GSW ini yang menyalurkan arus gangguan akibat petir langsung menuju sistem pentanahan tower sehingga melindungi konduktor fasa dari gangguan atau kerusakan. Revitalisasi jumper GSW ini berpengaruh karena apabila terdapat jumper GSW yang aus atau korosi akan menaikkan nilai resistansi jalur dan berakibat pada berkurangnya efektivitas sistem proteksi itulah mengapa hal ini menjadi hal yang penting untuk terus menjaga keandalan sistem transmisi, terutama di wilayah dengan intensitas sambaran petir tinggi. Dengan pengecekan secara berkala, material yang digunakan berkualitas, dan pelaksanaan revitalisasi yang tepat, proteksi jalur transmisi terhadap gangguan petir dapat ditingkatkan secara signifikan.



Gambar 2. 17 Pemeliharaan GSW

D. Pembersihan Isolator Polutan

Istilah Basic Insulation Level (BIL) mengacu pada kemampuan sebuah isolator untuk mencegah tegangan impuls yang muncul ketika petir menyambar atau switching surge. Jika isolator tidak bersih, tegangan tembusnya akan mempengaruhi isolator, membuatnya rentan terhadap flashover. Kotoran seperti debu, garam, atau polusi dapat menciptakan jalur konduktif, yang mengurangi kapasitas isolator untuk menahan tegangan impuls tinggi. Karena BIL memiliki batas maksimal dalam menahan tegangan impuls akibat petir, pembersihan isolator bertujuan untuk menjaga BIL isolator sesuai dengan spesifikasi. Isolator yang kotor memiliki pengaruh dalam peningkatan risiko gangguan karena *flashover* dapat terjadi pada tegangan yang lebih rendah dari nilai BIL yang seharusnya. Dengan pembersihan isolator tentunya akan sangat berpengaruh dalam kehandalan penyaluran kelistrikan.



Gambar 2.18 Pemeliharaan GSW

E. Pemasangan TLA (Transmission Line Arrester)

TLA memiliki spesifikasi yang serupa seperti penangkal petir standar namun yang berbeda ialah bagaimana pengaplikasiannya. TLA dipasang secara paralel dengan isolator yang ada pada saluran transmisi yang berfungsi untuk mencegah terjadinya kerusakan isolator. Line arrester telah berhasil digunakan pada banyak saluran transmisi. Hasil yang sangat baik dilaporkan pada suatu saluran yang melintasi pegunungan dengan resistivitas tanah tinggi (umumnya berbatu) dan paparan petir yang tinggi, yang menyebabkan seringnya terjadi *flashover* petir dan kerusakan isolator. Lokasi-lokasi ini sulit dijangkau oleh tim pemeliharaan, sehingga biaya perawatan menjadi mahal. Selain itu, resistivitas tanah yang tinggi serta lapisan tanah yang tipis membuat pemasangan counterpoise atau elektroda pentanahan dalam menjadi mahal dan kurang bermanfaat. Peningkatan keandalan baik pada saluran tunggal maupun ganda, serta penurunan biaya pemeliharaan dan operasional, terkadang dapat menyeimbangkan biaya pemasangan arrester. Line arrester akan terpapar beban angin dan getaran yang lebih tinggi dibandingkan arrester stasiun yang dipasang di tanah. Oleh karena itu, diperlukan konstruksi yang kuat secara mekanis dan tidak mudah pecah. Untuk pemasangan di lokasi terpencil, dibutuhkan pula bobot yang ringan serta ketahanan terhadap tembakan senjata. Persyaratan ini dapat dipenuhi dengan

teknologi housing non-keramik. Penerapan arrester pada menara transmisi untuk membatasi flashover akibat petir sangat berbeda, dan juga lebih kompleks, dibandingkan dengan aplikasi pada gardu. Jenis aplikasi arrester ini harus ditangani dengan hati-hati jika ingin memperoleh peningkatan kinerja yang signifikan. Sebagai contoh, jika arrester hanya dipasang pada satu menara, hasilnya bisa saja justru memindahkan flashover ke menara yang berdekatan. Oleh karena itu, evaluasi analitis yang cermat mengenai lokasi arrester, impedansi pondasi, karakteristik celah seri, manfaat OHGW, dan pembagian energi pada arrester sangat disarankan sebelum dilakukan pemasangan. Selain itu, kemungkinan kegagalan arrester dari berbagai penyebab juga harus diperhitungkan dalam estimasi keandalan saluran.



Gambar 2.19 Pemasanan TLA

F. Isolasi tidak seimbang (*unbalance insulation*)

Isolasi tidak seimbang pada saluran ganda (*double-circuit*), yang pertama kali diterapkan oleh Kawai et al, merupakan upaya sengaja untuk memaksa sebagian besar flashover terjadi pada satu sirkuit, sehingga sirkuit lainnya hanya mengalami sedikit flashover, atau bahkan tidak sama sekali. Ketika sirkuit yang lebih lemah mengalami flashover, konduktor fasanya akan langsung terhubung ke menara melalui jalur flashover, sehingga secara sementara berfungsi sebagai kawat pelindung bawah (*underbuilt shield wires*) hingga pemutus tenaga (breaker) membuka. Tegangan isolator pada sirkuit yang tidak terganggu

berkurang karena sebagian arus sambaran dialirkan ke impedansi surja fasa. Kopling tegangan mode-bersama (*common-mode voltage coupling*) juga meningkat, sehingga tegangan mode-normal yang muncul pada isolasi menjadi lebih kecil. Sirkuit yang berada paling bawah memiliki impedansi surja ke tanah yang paling rendah. Sirkuit ini juga akan memberikan peningkatan kopling terbesar, sehingga secara logis dipilih sebagai sirkuit yang lebih lemah. Desain saluran dengan lebih dari satu level tegangan dalam satu menara merupakan contoh ekstrem dari isolasi tidak seimbang. Kinerja saluran terhadap petir pada sirkuit dengan tegangan lebih tinggi dalam kasus ini lebih baik daripada yang diperkirakan jika sirkuit bertegangan lebih rendah tidak ada. Keuntungan-keuntungan ini mengurangi kemungkinan terjadinya flashover pada sirkuit yang lebih kuat. Pada saluran yang sudah ada, tidak selalu memungkinkan untuk memberikan isolasi berlebih pada satu sirkuit agar tercapai diferensial isolasi yang memadai. Dalam kasus seperti itu, kekuatan isolasi pada sirkuit lainnya dapat dikurangi. Walaupun hal ini memberikan diferensial yang cukup, tetapi akan meningkatkan tingkat flashover pada sirkuit yang lebih lemah, yang mungkin tidak dapat diterima. Jika tinggi menara memungkinkan, penggunaan kawat pelindung bawah (*underbuilt shield wires*) dapat dipertimbangkan untuk menurunkan total tingkat flashover hingga mencapai level yang dapat diterima.

2.2.5. *Transmission Line Arrester (TLA)*

Pada dasarnya jaringan transmisi sudah dirancang untuk gangguan sambaran petir. Akan tetapi, tidak memungkinkan untuk terhindar dari adanya gangguan sehingga harus mengupayakan bagaimana tower tersebut dapat bekerja dengan optimal. Jalur transmisi sendiri memiliki masa pakai terbatas dan seiring dengan berjalannya waktu, kebutuhan pelanggan terhadap tingkat pelayanan semakin tinggi maka daripada melakukan perubahan jalur transmisi yang sudah lama berdiri dengan biaya yang mahal, solusi lainnya ialah menerapkan pemasangan arrester petir yang biasanya ada pada Gardu Induk namun dalam versi yang dapat digunakan pada saluran transmisi yaitu *Transmission Line Arrester (TLA)*. TLA merupakan salah satu proteksi yang digunakan

pada jaringan transmisi dengan tujuan untuk menjaga isolator serta sistem apabila terdapat tegangan transien tinggi yang berakibat terjadinya *Flashover*, seperti yang disebabkan oleh petir atau *switching surges*. Penangkal petir (*Arrester*) dirancang menjadi jalan pintas yang dengan mudah dilalui oleh arus petir, agar tidak menimbulkan tegangan yang melebihi peralatan yang terpasang pada jaringan transmisi sehingga kehandalan dari transmisi dapat tetap terjaga. Dalam kondisi normal, TLA akan menjadi isolator, namun apabila timbul surja TLA menjadi konduktor dengan meneruskan aliran arus yang tinggi. Ketika tegangan impuls akibat surja hilang, TLA bekerja dengan cepat untuk kembali berfungsi sebagai isolator agar pemutus daya tidak sempat membuka.



Gambar 2.20 Transmission Line Arrester

TLA berfungsi untuk mengamankan sistem dari kejadian - kejadian seperti :

1. *Back flashover*, ialah peristiwa dimana petir menyambar pada *grounding* sistem (seperti tower dan GSW) namun arus petir tersebut tidak mampu diteruskan ke tanah akibat *impact local grounding* tidak berfungsi sebagaimana mestinya.
2. *Shielding failure* (SF), kejadian ini disebabkan karena sambaran petir yang langsung mengenai kawat fasa. Proses *shielding failure* terjadi ketika petir menyambar langsung pada kawat fasa, arus petir kemudian mengalir sepanjang kawat fasa dan akan timbul impedansi surja kawat fasa. Adapun tegangan yang muncul juga merupakan perkalian antara seberapa besar arus petir dengan impedansi dari surja kawat fasa. Apabila nilai tegangan yang dibangkitkan

melebihi nilai BIL isolator maka akan menyebabkan lompatan arus dari kawat fasa menuju struktur tower atau *shielding failure*. Peristiwa ini menjadi salah satu penyebab utama terjadinya gangguan pada saluran transmisi yang dapat berpengaruh pada sistem bahkan memungkinkan terjadinya pemadaman dikarenakan lonjakan tegangan dan arus yang melebihi tingkat isolasi peralatan yang ada pada jaringan sistem maupun gardu induk. Biasanya untuk mengatasi hal ini ditambahkan kawat tanah pada setiap tower dengan tujuan untuk mencegah *stepped leader* menyambar kawat fasa. Meskipun demikian, ada saja kemungkinan adanya beberapa sambaran dengan arus kecil yang mungkin tidak dapat dilindungi dan menyebabkan petir menyambar kawat fasa.

2.2.6. Prinsip Kerja *Transmission Line Arrester* (TLA)

Prinsip kerja dari TLA ini sama halnya seperti Lightning Arrester (LA) yang terdapat di Gardu Induk, pembedanya ialah TLA ini dipasang pada tower SUTT/SUTET tepatnya pada insulator tower yang pemasangannya dilakukan secara paralel. TLA sendiri berfungsi sebagai peralatan untuk meminimalisir terjadinya gangguan pada sistem jaringan transmisi khususnya *flashover* dan *back flashover* akibat sambaran petir. *Transmission line arrester* akan membatasi tegangan berlebih yang mengalir di kawat fasa, dan menjadi jalan pintas untuk meneruskan arus surja ke tanah. Adapun persyaratan yang harus dipenuhi oleh suatu TLA ialah mampu meminimalisir adanya tegangan sistem normal tak terbatas waktu serta meneruskan arus surja ke tanah tanpa mengalami kerusakan.

Terdapat 2 desain TLA yang berbeda-beda yang terdiri dari *Externally Gapped Line Arrester* (EGLA), dan *Non-Gapped Line Arresters* (NGLA). *Non-Gapped Line Arrester* (NGLA) adalah adaptasi dasar dari penangkal petir yang ada pada gardu induk yang berfungsi untuk melindungi peralatan yang ada di dalam serandang seperti transformator daya.

A. NGLA (*Non-Gapped Line Arresters*)

NGLA adalah arrester tanpa ruang pemutus antara elemen proteksi (MOV) dan konduktor. TLA jenis ini biasanya disambungkan langsung ke grounding dan fasa saluran transmisi. Karena tidak adanya celah pemutus, respons NGLA dapat dinilai dengan sangat cepat. Oleh karena itu, NGLA dapat meminimalkan lonjakan tegangan secara tiba-tiba seperti petir atau surge pergeseran. Selain itu, NGLA dapat digunakan untuk operasi dalam jangka panjang di lingkungan dengan intensitas petir yang tinggi. Dibalik kelebihanannya, NGLA juga memiliki kelemahan yaitu mudah rentan jika dihadapkan dengan arus bocor yang lebih tinggi dalam jangka waktu panjang dibandingkan dengan EGLA, membutuhkan pemeliharaan lebih sering untuk memastikan MOV tetap dalam kondisi optimal.



Gambar 2.21 TLA tipe NGLA

B. EGLA (*Externally Gapped Line Arresters*)

EGLA kurang lebih sama seperti NGLA yang berfungsi untuk meminimalisir tegangan saat terjadi lonjakan secara mendadak. EGLA memiliki celah eksternal (*external gap*) yang terdapat antara MOV dan konduktor. Gap ini hanya melepaskan arus ketika tegangan meningkat lebih dari batas tertentu; celah udara dimaksudkan untuk menghasilkan percikan hanya ketika tegangan meningkat. Karena hanya berfungsi saat ada lonjakan, MOV menggunakan lebih sedikit energi dibandingkan NGLA. Gap luar bertujuan untuk mengurangi beban

operasi harian MOV karena pemasangannya menjauhkan MOV dari tegangan normal sistem. Dengan celah eksternal yang ada, respon EGLA cenderung lebih lambat, sehingga membutuhkan waktu untuk memicu pelepasan arus, dan kurang efektif di area dengan intensitas petir yang sangat tinggi. Selain itu, EGLA memiliki kelebihan dalam mengurangi arus bocor dan kerusakan karena operasi normal pada MOV, dan membutuhkan biaya perawatan yang lebih rendah dibandingkan NGLA.



Gambar 2.22 TLA Tipe EGLA

2.2.7. Parameter Pertimbangan Penggunaan *Transmission Line Arrester* (TLA)

Dalam melakukan pemilihan TLA yang tepat sehingga dapat berfungsi dengan optimal dan tetap efisien di dalam penggunaannya maka perlu diperhatikan sejumlah kriteria yang menjadi pertimbangan secara teknis maupun kondisi operasional peralatan. Adapun Parameter-Parameter lainnya meliputi :

a. Tegangan Minimal

Tegangan di mana penangkap petir tetap dapat melakukan fungsinya, yang juga dikenal sebagai tegangan pengenalan atau tegangan nominal. Penangkap petir tidak boleh bekerja pada tegangan sistem yang paling tinggi, tetapi mereka masih dapat

menghentikan arus belakang sistem. Dalam kebanyakan kasus, harga tegangan sistem tertinggi adalah 110% dari harga tegangan nominal sistem. Koefisien pentanahan adalah perbandingan antara tegangan RMS fasa sehat ke tanah dalam keadaan gangguan di lokasi penangkap petir.

b. Arus Pelepasan Nominal (*Nominal Discharge Current*)

Arus pelepasan dengan harga puncak dan bentuk gelombang tertentu dikenal sebagai arus pelepasan nominal, yang digunakan untuk menentukan kelas penangkap petir berdasarkan kemampuan melewati arus dan karakteristik pelindungnya.

c. Tegangan Percikan Frekuensi (*Power Frequency Spark Over Voltage*)

Tegangan maksimum AC juga dikenal sebagai tegangan percikan frekuensi. Gangguan lebih dalam dengan amplitud yang rendah di dalam arrester tidak boleh digunakan karena dapat merusak arrester. Tegangan percikan frekuensi minimum jala-jala adalah sebagai berikut, menurut standar IEC.

d. Tegangan Percikan Impuls Maksimal (*Maximum Impuls Spark Over Voltage*)

Tegangan percikan impuls adalah tegangan impuls tertinggi yang terjadi pada terminal arrester sebelum arrester berfungsi. Menurut IEC 60-2/73, bentuk gelombang impuls adalah $1,2 \mu\text{s}/50 \mu\text{s}$, yang menunjukkan bahwa arrester akan memotong surja petir dan mengalirkannya ke tanah untuk mengukur tegangan percikan impuls maksimum jika tegangan puncak surja petir sebelumnya lebih tinggi atau sama dengan tegangan percikan maksimum dari arrester.

e. Tegangan Sisa

Tegangan sisa (di/dt dalam kA/s) dengan harga puncak 5 kA dan 10 k untuk arus pelepasan dan tegangan nominal dari arrester tertentu tergantung pada kecuraman gelombang arus yang datang (di/dt dalam kA/s) dan amplitud arus pelepasan. Karakteristik tahanan yang tidak linear (non linear) menyebabkan hal ini. Walaupun arus pelepas maksimum mencapai 65 kA atau 100 kA, tegangan sisa biasanya tidak melebihi tingkat isolasi dasar (BIL) atau tingkat isolasi dasar (TID) untuk peralatan yang dilindungi.

f. Arus Pelepasan Maksimum

Arus surja maksimum yang dapat mengalir melalui arrester setelah tembusnya sela seri tanpa merusak atau mengubah sifat arrester disebut arus pelepasan maksimum.