

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka adalah pengumpulan referensi dari buku-buku, penelitian sebelumnya, tinjauan pustaka terkait dan jurnal-jurnal dari internet yang berhubungan atau yang dapat mendukung teori penyelesaian proyek akhir “ Kajian Pemasangan *Ground Steel Wire* Pada Penyulang Lukisan Jaringan Distribusi 20 KV Di PT.PLN Area Teluk Naga ” ini.

Jurnal-jurnal yang dijadikan sebagai referensi didapat dari internet dimana jurnal yang digunakan harus memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh pihak jurusan Teknik Elektro STT-PLN Jakarta. Ketentuan ini dibuat supaya hasil dari penelitian ini bisa dipertanggung jawabkan nantinya. Jurnal - jurnal tersebut meliputi tinjauan pustaka terkait dalam penelitian ini seperti berikut ini

Tinjauan pustaka terkait adalah:

1. Abduh, Syamsir, **Fenomena Petir**, Penerbit Universitas Trisakti, Jakarta, 2004.

Menjelaskan mengenai proses terjadinya petir, mekanisme sambaran petir, parameter sambaran petir, proteksi petir dan beberapa artikel terkait yang telah penulis publikasikan pada seminar nasional maupun di berbagai jurnal.

2. Irawanto, Arief, **Artikel Sambaran dan Penangkal Petir**, FTUI, Jakarta.

Menjelaskan artikel tentang proses terjadinya petir, pandangan umum masyarakat mengenai petir, serta cara menjelaskan penangkal petir agar dapat dihantarkan langsung ke bumi.

3. Abdul , Satyagraha , Kadir, **Kajian *Ground Wire* ACSR Putus Pada SUTT Ungaran – Bawen**, Jakarta, 2015.

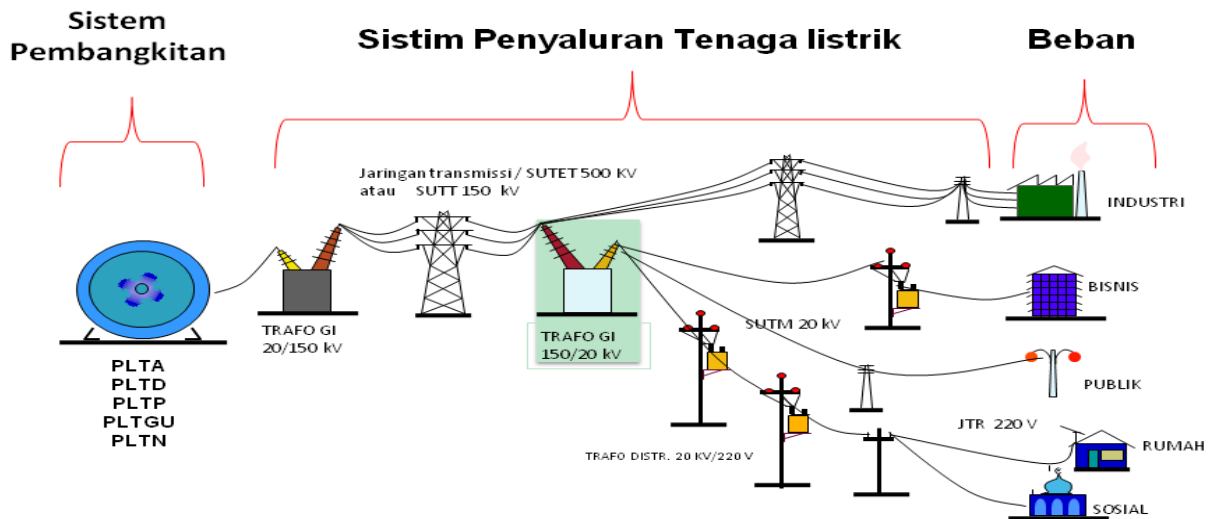
Menjelaskan kajian mengenai putusnya *Ground Wire* ACSR, serta pengujian langsung dan penjelasan spesifikasi beberapa *Ground Wire* yang dapat direkomendasikan untuk dipasang di saluran udara.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik adalah sekumpulan pusat listrik dan gardu induk (pusat beban) yang satu sama lain dihubungkan oleh jaringan transmisi sehingga merupakan suatu kesatuan interkoneksi. Sistem tenaga listrik terbagi atas sub – sub sistem yang dibedakan berdasarkan fungsinya, yaitu :

1. Sistem Pembangkit
2. Sistem Transmisi
3. Sistem Distribusi
4. Sistem Pemanfaat



Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik

2.2.2. Sistem Pembangkit

Sistem pembangkit adalah suatu instalasi pusat pembangkit tenaga listrik yang mengubah energi primer (tenaga air, bahan bakar, nuklir, dll) menjadi energi listrik. Pusat tenaga

listrik yang telah dimiliki oleh PLN adalah :
PLTA, PLTU, PLTG, PLTP, dan PLTD

2.2.3. Sistem Transmisi

Sistem transmisi adalah suatu instalasi system tenaga listrik yang berfungsi melayani penyaluran tenaga listrik dari pusat pembangkit sampai ke sistem distribusi. Instalasi syistem penyaluran terdiri dari :

1. Gardu Induk
2. Jaringan Transmisi
3. Pusat pengatur Beban

Adapun fungsi dari transmisi yaitu:

1. Menyalurkan energi listrik dari pembangkit listrik ke gardu induk
2. Menyalurkan energi listrik dari gardu induk ke gardu induk lainnya
3. Menyalurkan energi listrik dari gardu induk ke jaringan tegangan menengah dalam gardu distribusi

2.2.4. Sistem Distribusi

Sistem distribusi adalah sistem yang berfungsi mendistribusikan tenaga listrik kepada para pemanfaat. Sistem distribusi merupakan sistem tenaga listrik yang paling banyak mengalami gangguan, sehingga masalah utama dalam operasi sistem distribusi adalah mengatasi gangguan. Jumlah gangguan dalam sistem distribusi relatif banyak dibandingkan dengan

jumlah gangguan pada bagian sistem lainnya. Disamping itu masalah tegangan, bagian-bagian instalasi yang berbeban lebih dan rugi-rugi daya dalam jaringan merupakan masalah yang perlu dicatat dan dianalisa secara terus-menerus, untuk dijadikan masukan bagi perencanaan pengembangan sistem dan juga untuk melakukan tindakan penyempurnaan pemeliharaan dan penyempurnaan operasi sistem distribusi.

Sistem distribusi terbagi 2 bagian, yaitu :

1. Sistem Distribusi Tegangan Menengah

Sistem distribusi tegangan menengah disebut juga sistem distribusi primer yang mempunyai tegangan kerja diatas 1kV dan setinggi – tingginya 35kV. Sistem tegangan menengah berawal dari gardu induk/pusat listrik pada sistem terpisah (*isolated*). Penyaluran pada sistem ini ada 2 yaitu saluran udara tegangan menengah (SUTM) dan saluran kabel tegangan menengah (SKTM).

2. Sistem Distribusi Tegangan Rendah

Sistem distribusi tegangan rendah disebut juga sistem distribusi sekunder, sistem ini memiliki tegangan kerja setinggi-tingginya 1kV dan tegangan nominal 380/220 Volt. Sistem distribusi tegangan rendah dimulai dari sisi sekunder trafo *step down* pada gardu distribusi dan berakhir pada sambungan rumah tegangan rendah .

2.2.5. Sistem Pemanfaat

Umumnya instalasi listrik yang ada pada tegangan pemanfaatan disebut sistem pemanfaat seperti:

1. Instalasi tegangan rendah ke pemanfaat TR
2. Instalasi tegangan menengah ke pemanfaat TM
3. Instalasi tegangan tinggi ke pemanfaat TR

2.2.6. Jenis-jenis Jaringan Tegangan Menengah

1. Saluran Kabel Tanah Tegangan Menengah (SKTM)

Konstruksi SKTM ini adalah konstruksi yang aman dan andal untuk mendistribusikan tenaga listrik Tegangan Menengah, tetapi relatif lebih mahal untuk penyaluran daya yang sama.

Keadaan ini dimungkinkan dengan konstruksi isolasi penghantar per Fase dan pelindung mekanis yang dipersyaratkan. Pada rentang biaya yang diperlukan, konstruksi ditanam langsung adalah termurah bila dibandingkan dengan penggunaan konduit atau bahkan tunneling (terowongan beton).

Penggunaan Saluran Kabel bawah tanah Tegangan Menengah (SKTM) sebagai jaringan utama pendistribusian tenaga listrik adalah sebagai upaya utama peningkatan kualitas pendistribusian. Dibandingkan dengan SUTM, penggunaan SKTM akan memperkecil resiko kegagalan operasi akibat faktor eksternal / meningkatkan keamanan ketenagalistrikan.

Secara garis besar, termasuk dalam kelompok SKTM adalah:

- a. SKTM bawah tanah – *underground MV Cable*.
- b. SKTM laut – *Submarine MV Cable*

Selain lebih aman, namun penggunaan SKTM lebih mahal untuk penyaluran daya yang sama, sebagai akibat konstruksi isolasi penuh penghantar per Fase dan pelindung mekanis yang dipersyaratkan sesuai keamanan ketenagalistrikan.

Penerapan instalasi SKTM seringkali tidak dapat lepas dari instalasi Saluran Udara Tegangan Menengah sebagai satu kesatuan sistem distribusi sehingga masalah transisi konstruksi diantaranya tetap harus dijadikan perhatian.

Keuntungan pemakaian kabel bawah tanah adalah :

- a. Tidak terpengaruh oleh cuaca buruk, bahaya petir, badai, tertimpa pohon, dsb.
- b. Tidak mengganggu pandangan, bila adanya bangunan yang tinggi.
- c. Dari segi keindahan, saluran bawah tanah lebih sempurna dan lebih indah dipandang.
- d. Mempunyai batas umur pakai dua kali lipat dari saluran udara.
- e. Ongkos pemeliharaan lebih murah, karena tidak perlu adanya pengecatan.
- f. Tegangan drop lebih rendah karena masalah induktansi bisa diabaikan.
- g. Tidak ada gangguan akibat sambaran petir, angin topan dan badai.
- h. Keandalan lebih baik dan tidak ada korona.
- i. Rugi-rugi daya lebih kecil.
- j. Menciptakan keindahan tata kota.

Adapun kerugian atau kelemahan dari penggunaan jaringan kabel bawah tanah ialah sebagai berikut :

- a. Harga kabel yang relatif mahal
- b. Gangguan yang terjadi bersifat permanen
- c. Tidak fleksibel terhadap perubahan jaringan

- d. Waktu dan biaya untuk menanggulangi bila terjadi gangguan lebih lama dan lebih mahal
- e. Biaya investasi pembangunan lebih mahal dibandingkan dengan saluran udara,
- f. Saat terjadi gangguan hubung singkat, usaha pencarian titik gangguan tidak mudah (susah),
- g. Perlu pertimbangan-pertimbangan teknis yang lebih mendalam di dalam perencanaan, khususnya untuk kondisi tanah yang dilalui.
- h. Hanya tidak dapat menghindari bila terjadi bencana banjir, desakan akar pohon, dan ketidakstabilan tanah.
- i. Biaya pemakaian lebih besar atau lebih mahal.
- j. Sulit mencari titik kerusakan bila ada gangguan.

2. Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)

Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) adalah sebagai konstruksi termurah untuk penyaluran tenaga listrik pada daya yang sama. Konstruksi ini terbanyak digunakan untuk konsumen jaringan Tegangan Menengah yang digunakan di Indonesia.

Ciri utama jaringan ini adalah penggunaan penghantar telanjang yang ditopang dengan isolator pada tiang besi/beton. Penggunaan penghantar telanjang, dengan sendirinya harus diperhatikan faktor yang terkait dengan keselamatan ketenagalistrikan seperti jarak aman minimum yang harus dipenuhi penghantar bertegangan 20 kV tersebut antar Fase atau dengan bangunan atau dengan tanaman atau dengan jangkauan manusia. Termasuk dalam kelompok yang diklasifikasikan SUTM adalah juga bila penghantar yang digunakan adalah penghantar berisolasi setengah AAAC-S (*half insulated single core*).

Penggunaan penghantar ini tidak menjamin keamanan terhadap tegangan sentuh yang dipersyaratkan akan tetapi untuk mengurangi resiko gangguan temporer khususnya akibat sentuhan tanaman.

Keuntungannya :

- a. Lebih fleksibel dan leluasa dalam upaya untuk perluasan beban.
- b. Dapat digunakan untuk penyaluran tenaga listrik pada tegangan diatas 66 kV.
- c. Lebih mudah dalam pemasangannya.
- d. Bila terjadi gangguan hubung singkat, mudah diatasi dan dideteksi.
- e. Mudah dilakukan perluasan pelayanan dengan penarikan cabang yang diperlukan.
- f. Mudah memeriksa jika terjadi gangguan pada jaringan.
- g. Mudah untuk melakukan pemeliharaan.
- h. Tiang-tiang jaringan distribusi primer dapat pula digunakan untuk jaringan distribusi sekunder dan keperluan pemasangan trafo atau gardu distribusi tiang, sehingga secara keseluruhan harga instalasi menjadi lebih murah.

Kerugian dari jaringan hantaran udara adalah gangguan sambaran petir, gangguan dari manusia, serta mengganggu pemandangan dikarenakan oleh banyaknya tiang-tiang dan kabelkabel hantaran udara yang digunakan sehubungan dengan banyaknya konsumen yang harus dilayani.

Kerugiannya :

- a. Mudah terpengaruh oleh cuaca buruk, bahaya petir, badai, tertimpa pohon, dsb.
- b. Untuk wilayah yang penuh dengan bangunan yang tinggi, sukar untuk menempatkan saluran.
- c. Masalah efek kulit, induktansi, dan kapasitansi yang terjadi, akan mengakibatkan tegangan drop lebih tinggi.
- d. Ongkos pemeliharaan lebih mahal, karena perlu jadwal pengecatan dan penggantian material listrik bila terjadi kerusakan.

2.2.7. Menjaga kestabilan jaringan pada SUTM

Berbicara mengenai kestabilan jaringan pada SUTM agar tetap terus bekerja secara optimal tak lepas dari bagaimana cara kita menanggulangi gangguan-gangguan yang sering terjadi dan salah satu gangguan yang masih menjadi perhatian pada jaringan SUTM ada sambaran petir, disini akan membahas mengenai penjelasan petir dan metode penanggulangannya.

Bagi orang awam, petir merupakan sesuatu yang menakutkan. Tidak sedikit korban yang meninggal akibat sambaran petir termasuk korban manusia. Tetapi anggapan bagi orang dengan kekhususan Tenaga Listrik, petir merupakan sesuatu yang perlu dikaji lebih dalam. Berbagai usaha dilakukan untuk melindungi peralatan listrik dari petir. Transmisi tenaga listrik lewat saluran udara terbuka merupakan "sasaran sambaran petir". Untuk itulah diperlukan perlindungan, diantaranya dengan menggunakan *overhead groundwire* (kawat tanah).

Petir merupakan kejadian alam di mana terjadi loncatan muatan listrik antara awan dengan bumi. Loncatan muatan listrik tersebut diawali dengan mengumpulnya uap air di dalam awan. Ketinggian antara permukaan atas dan permukaan bawah pada awan dapat mencapai jarak sekitar 8 km dengan temperatur bagian bawah sekitar 16 °C dan temperatur bagian atas sekitar -16 °C. Akibatnya, di dalam awan tersebut akan terjadi kristal-kristal es. Karena di dalam awan terdapat angin ke segala arah, maka kristal-kristal es tersebut akan saling bertumbukan dan bergesekan sehingga terpisahkan antara muatan positif dan muatan negatif.

Pemisahan muatan inilah yang menjadi sebab utama terjadinya sambaran petir. Pelepasan muatan listrik dapat terjadi di dalam awan, antara awan dengan awan, dan antara awan

dengan bumi tergantung dari kemampuan udara dalam menahan beda potensial yang terjadi.

Petir yang kita kenal sekarang ini terjadi akibat awan dengan muatan tertentu menginduksi muatan yang ada di bumi. Bila muatan di dalam awan bertambah besar, maka muatan induksi pun makin besar pula sehingga beda potensial antara awan dengan bumi juga makin besar. Kejadian ini diikuti pelopor menurun dari awan dan diikuti pula dengan adanya pelopor menaik dari bumi yang mendekati pelopor menurun. Pada saat itulah terjadi apa yang dinamakan petir.

Panjang kanal petir bisa mencapai beberapa kilometer, dengan rata-rata 5 km. Kecepatan pelopor menurun dari awan bisa mencapai 3 % dari kecepatan cahaya. Sedangkan kecepatan pelepasan muatan balik mencapai 10 % dari kecepatan cahaya.

1. Sistem Perlindungan Petir

Mengingat kerusakan akibat sambaran petir yang cukup berbahaya, maka muncullah usaha-usaha untuk mengatasi sambaran petir. Teknik penangkal petir pertama kali ditemukan oleh Benyamin Franklin dengan menggunakan interseptor (terminal udara) yang dihubungkan dengan konduktor metal ke tanah. Teknik ini selanjutnya terus dikembangkan untuk mendapatkan hasil yang efektif.

Sekilas mengenai teknik penangkal petir, dikenal 2 macam sistem, yaitu :

a. Sistem Penangkal Petir

Sistem ini menggunakan ujung metal yang runcing sebagai pengumpul muatan dan diletakkan pada tempat yang tinggi sehingga petir diharapkan menyambar ujung metal tersebut terlebih dahulu. Sistem ini memiliki kelemahan di mana apabila sistem penyaluran arus petir ke tanah tidak berfungsi baik, maka ada kemungkinan timbul kerusakan pada peralatan

elektronik yang sangat peka terhadap medan transien.

b. Dissipation Array System (DAS)

Sistem ini menggunakan banyak ujung runcing (*point discharge*) di mana tiap bagian benda yang runcing akan memindahkan muatan listrik dari benda itu sendiri ke molekul udara di sekitarnya. Sistem ini mengakibatkan turunnya beda potensial antara awan dengan bumi sehingga mengurangi kemampuan awan untuk melepaskan muatan listrik.

2. Sistem Perlindungan Petir Pada Transmisi Tenaga Listrik

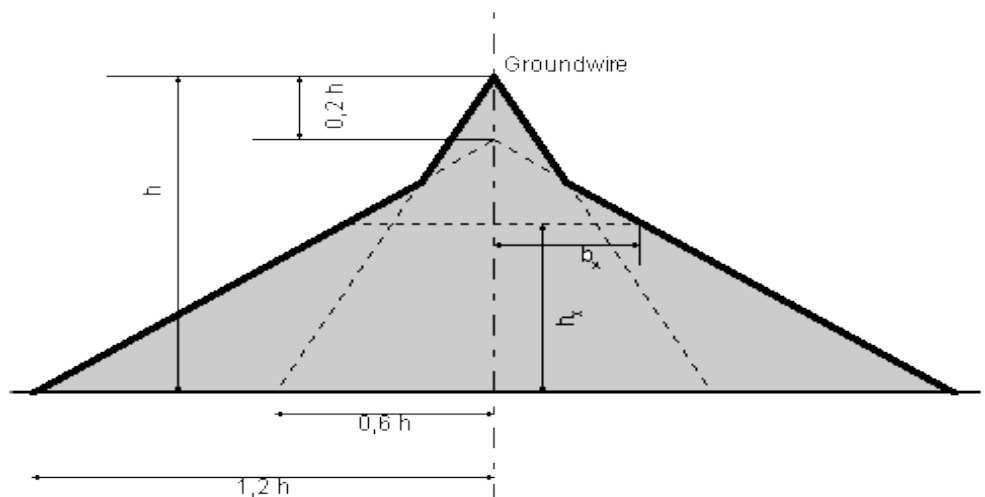
Petir akan menyambar semua benda yang dekat dengan awan. Atau dengan kata lain benda yang tinggi akan mempunyai peluang yang besar tersambar petir. Transmisi tenaga listrik di darat dianggap lebih efektif menggunakan saluran udara dengan mempertimbangkan faktor teknis dan ekonomisnya. Tentu saja saluran udara ini akan menjadi sasaran sambaran petir langsung. Apalagi saluran udara yang melewati perbukitan sehingga memiliki jarak yang lebih dekat dengan awan dan mempunyai peluang yang lebih besar untuk disambar petir.

Selama terjadinya pelepasan petir, muatan positif awan akan menginduksi muatan negatif pada saluran tenaga listrik. Muatan negatif tambahan ini akan mengalir dalam 2 arah yang berlawanan sepanjang saluran. Surja ini mungkin akan merusak isolasi saluran atau hanya terjadi pelepasan di antara saluran-saluran tersebut.

Desain isolasi untuk tegangan tinggi (HV) dan tegangan ekstra tinggi (EHV) cenderung untuk melindungi saluran dari adanya tegangan lebih akibat surja hubung dan surja petir. Untuk tegangan ultra tinggi (UHV), desain isolasi lebih cenderung kepada proteksi terhadap surja hubung. Adanya tegangan lebih

Dalam hal melindungi saluran tenaga listrik tersebut, ada beberapa cara yang dapat diterapkan. Salah satu cara yang paling mudah adalah dengan menggunakan kawat tanah (*overhead groundwire*) pada saluran. Prinsip dari pemakaian kawat tanah ini adalah bahwa kawat tanah akan menjadi sasaran sambaran petir sehingga melindungi kawat fasa dengan daerah/zona tertentu.

Dalam melindungi kawat phasa tersebut, daerah proteksi *groundwire* dapat digambarkan seperti pada Gambar 2.2



Daerah proteksi dengan menggunakan 1 buah *groundwire*

16

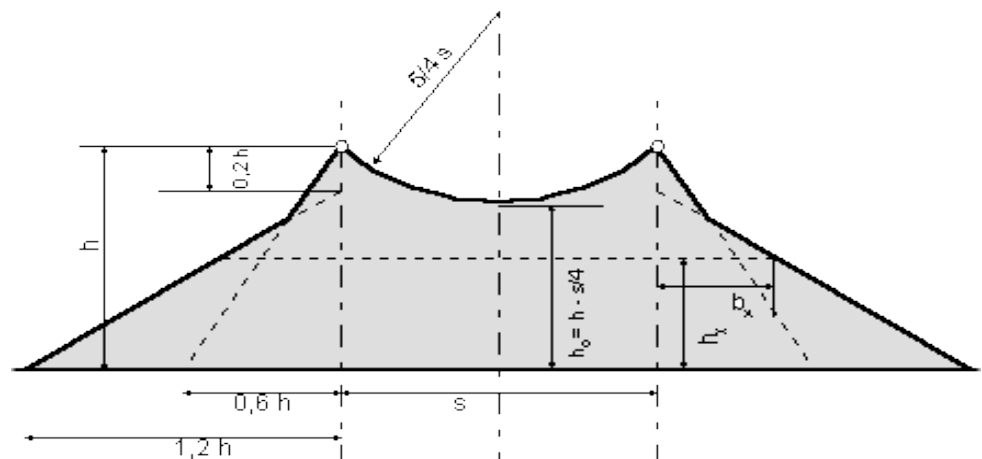
$\frac{2}{3} h$. Sedangkan zona proteksi *groundwire* terletak di dalam daerah yang diarsir. Di dalam zona tersebut, diharapkan tidak terjadi sambaran petir langsung sehingga di daerah tersebut pula kawat fasa dibentangkan.

Apabila h_x merupakan tinggi kawat fasa yang harus dilindungi, maka lebar b_x dapat ditentukan dalam 1 kondisi, yaitu :

- a. Untuk $h_x > \frac{2}{3} h$, $b_x = 0,6 h (1 - h_x/h)$

Dalam beberapa kasus, sebuah *groundwire* dirasa belum cukup untuk memproteksi kawat fasa sepenuhnya. Untuk meningkatkan performa dalam perlindungan terhadap sambaran petir langsung, lebih dari satu *groundwire* digunakan.

Bila digunakan 2 buah *groundwire* dengan tinggi h dari tanah dan terpisah sejauh s , perhitungan untuk menetapkan zona proteksi petir dilakukan seperti halnya menggunakan 1 buah *groundwire*. Gambar 2.3 menunjukkan zona perlindungan dari penggunaan 2 buah *groundwire*.



Gambar 2.3.

Zona perlindungan dari penggunaan 2 buah *groundwire*

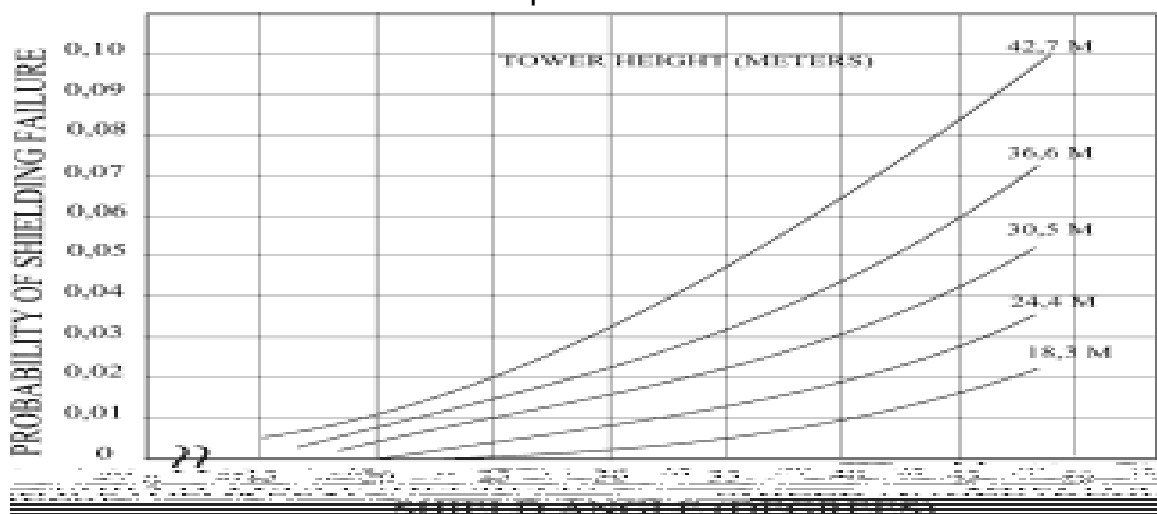
Dari gambar tersebut, apabila h_0 menyatakan tinggi titik dari tanah di tengah-tengah 2 *groundwire* yang terlindungi dari sambaran petir, maka h_0 dapat ditentukan : $h_0 = h - s/4$

Sedangkan daerah antara 2 *groundwire* dibatasi oleh busur lingkaran dengan jari-jari $\frac{5}{4} s$ dengan titik pusat terletak pada sumbu di tengah-tengah 2 *groundwire*.

Seperti yang telah disebutkan pada saat sebelumnya bahwa hadirnya *groundwire* dimaksudkan sebagai tempat sambaran petir langsung dan dapat melindungi kawat phase. Zona perlindungan *groundwire* dapat dinyatakan dengan parameter sudut perlindungan, yaitu sudut antara garis vertikal *groundwire* dengan garis hubung antara *groundwire* dan kawat phase. Jika sudut perlindungan tersebut dinyatakan dalam α dan tinggi *groundwire* adalah h , maka probabilitas sambaran petir pada *groundwire* (p) dapat ditentukan sebagai berikut :

$$\log p = \frac{\alpha \sqrt{h}}{90} - 4$$

Dari persamaan tersebut, terlihat bahwa makin tinggi *groundwire* dan sudut perlindungan yang besar, akan mengakibatkan probabilitas tersebut meningkat. Untuk itu diperlukan pemilihan tinggi *groundwire* dan sudut perlindungan yang tepat untuk mendapatkan performa perlindungan yang baik dari sambaran petir.



Gambar 2.4.

Kurva probabilitas kegagalan perlindungan vs sudut perlindungan

Gambar 2.4. menunjukkan probabilitas kegagalan perlindungan dari sambaran petir ke saluran sebagai fungsi dari ketinggian *groundwire* dan sudut perlindungan.

Untuk meningkatkan keandalan sistem ini, diperlukan pentanahan yang baik pada setiap menara listrik. Jika petir menyambar pada *groundwire* di dekat menara listrik, maka arus petir akan terbagi menjadi dua bagian. Sebagian besar arus tersebut mengalir ke tanah melalui pentanahan pada menara tersebut. Sedangkan yang sebagian lebih kecil mengalir melalui *groundwire* dan akhirnya menuju ke tanah melalui pentanahan pada menara listrik berikutnya. Lain halnya jika petir menyambar pada tengah-tengah *groundwire* antara 2 menara listrik. Gelombang petir ini akan mengalir ke menara-menara listrik yang dekat dengan tempat sambaran tersebut.

3. Usaha Untuk Meningkatkan Performa Perlindungan

Usaha yang paling mudah untuk meningkatkan performa perlindungan adalah dengan menggunakan lebih dari satu *groundwire*. Dengan cara ini diharapkan petir akan selalu menyambar pada *groundwire* sehingga memperkecil probabilitas kegagalan perlindungan. Cara ini dapat disertai dengan menggunakan *counterpoise*, yaitu konduktor yang ditempatkan di bawah saluran (lebih sering ditanamkan dalam tanah) dan dihubungkan dengan sistem pentanahan dari menara listrik. Hasilnya, impedansi surja akan lebih kecil.

Usaha-usaha lainnya di antaranya :

- a. Memasang *couplingwire* di bawah kawat fasa (konduktor yang disertakan di bawah saluran transmisi dan dihubungkan dengan sistem pentanahan menara listrik).
- b. Mengurangi resistansi pentanahan menara listrik dengan menggunakan elektroda pentanahan yang sesuai.
- c. Menggunakan arester.

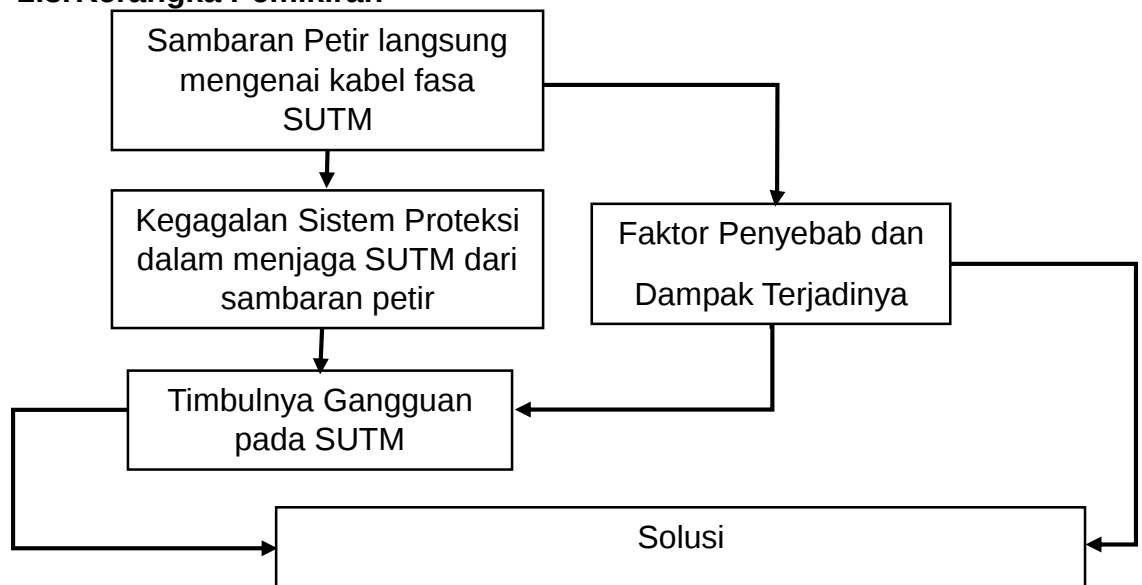
Cara yang terakhir ini boleh dikatakan sebagai alat pelindung yang paling baik terhadap gelombang surja. Arester inilah yang terus dikembangkan oleh para ahli untuk mendapatkan performa perlindungan yang makin baik.

Pemakaian *overhead groundwire* dalam saluran transmisi tenaga listrik mempunyai harapan agar sambaran petir tidak mengenai kabel kawat fasa. Dengan wilayah luas zona/daerah perlindungan *groundwire* tergantung

Dari hasil ketinggian *groundsteelwire* itu sendiri. Probabilitas kegagalan dalam perlindungan akan naik dengan makin tingginya *groundwire* dan besarnya sudut perlindungan. Untuk itu diperlukan pemilihan ketinggian serta sudut perlindungan yang sesuai untuk mendapatkan perlindungan yang baik.

Peningkatan performa perlindungan transmisi tenaga listrik dari sambaran petir yang paling mudah dilakukan dengan menambahkan jumlah kehadiran *groundsteelwire*. Kombinasi pemakaian *groundsteelwire* dengan peralatan-peralatan lainnya sangat diharapkan untuk memperoleh performa perlindungan yang lebih tinggi di antaranya dengan pemakaian arester yang merupakan alat pelindung modern.

2.3. Kerangka Pemikiran



Gambar 2.5. Kerangka Pemikiran