

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Kajian Terdahulu ^[1,2,3,4]

Pada penelitian terkait ini, penulis mengkaji penelitian terdahulu mengenai sistem proteksi petir transmisi yang dilakukan oleh penelitian-penelitian sebelumnya yang dapat menjadi dasar dari penelitian yang dilakukan. Beberapa penelitian mengenai proteksi petir transmisi adalah sebagai berikut.

Tabel II.1. Penelitian Terdahulu

No	Penulis	Judul	Keterangan
1	Cecep Zaenal Mutaqin, Fri Murdiya,(2017)	Analisa Pemasangan Insulator Pada Gsw/Kawat Tanah Tower Transmisi 150 Kv Di Pt Pln (Persero) P3b Sumatera	1. Pada kondisi GSW yang dimodifikasi, dengan menambahkan isolator tumpu 20 kV sebagai insulasi GSW dan tower. Sehingga penghubungan kawat tanah langsung ke pentanahan dan tidak lagi menggunakan tiang besi. hal tersebut mengakibatkan perubahan karakteristik; 2. Ketahanan terhadap arus petir menjadi meningkat. Pada Kondisi normal dengan simulasi petir 50 kA terjadi flash, Pada kondisi modifikasi berubah menjadi 220 kA baru terjadi flash pada

No	Penulis	Judul	Keterangan
			insulator fasa.
2	Djoko Darwanto, (2016)	Inovasi Isolated Ground Shield Wire (IGSW)	<i>Isolated Ground Shield Wire (IGSW)</i> untuk melindungi tower transmisi dari sambaran petir, sehingga mengurangi kerugian PT Perusahaan Listrik Negara (PLN) dan konsumen dari PLN itu sendiri.
3	Inovasi dari PT PLN UPT KALTIMRA	Inovasi Direct Grounding sebagai pengaman petir	Menurunkan gangguan sambaran petir yang diperkirakan 2 – 3 % dari jumlah gangguan di tahun 2012
4	Novi Andrian,Edi Ervianto	Analisa Keberagaman Sistem I-GSW Untuk Perlindungan Menara Transmisi 150 kV Terhadap Sambaran Petir Langsung	Semakin tinggi nilai tahanan pentanahan menara dan semakin tinggi arus petir yang menyambar sehingga sistem I-GSW akan semakin kuat untuk melindungi menara transmisi dari kenaikan tegangan.
5	Reynaldo Zoro, (2012)	Proteksi terhadap tegangan lebih pada sistem tenaga listrik.	menjelaskan bahwa Petir merupakan fenomena alam yang tidak dapat

No	Penulis	Judul	Keterangan
			ditiadakan. Dalam masyarakat modern petir menjadi permasalahan yang sangat penting karena petir memiliki kemampuan untuk mengganggu dan bahkan merusak infrastruktur publik seperti sistem tenaga listrik (pembangkitan, transmisi dan distribusi), sistem telekomunikasi, dan peralatan elektronik, maka dari itu proteksi petir sangat lah penting bagi jaringan transmisi, gardu induk dan maupun jaringan distribusi.

Tabel II.2. Penelitian Penulis

No	Penulis	Judul	Keterangan
1	Ajrur Habib	ANALISA UNJUK KERJA SISTEM PROTEKSI PETIR TRANSMISI PADA JARINGAN TRANSMISI SUTT SINGKAWANG – BENGKAYANG 150 kV	1. Menggunakan metode simulasi dengan menggunakan software ATPDraw.8 untuk mengetahui performa dari sebelum digunakan dan sesudah

			<p>digunakannya sistem proteksi petir.</p> <p>2. Menganalisa spesifikasi dari material yang digunakan dalam metode ini.</p> <p>3. Menganalisa performa dari sistem proteksi petir dengan mencocokkan dari hasil recode gangguan yang ada di lapangan.</p>
--	--	--	---

II.2 Profil PLN UP3B KALBAR

PLN Unit Pelaksana Penyaluran dan Pengatur Beban (UP3B) KALBAR merupakan salah satu unit operasi yang berada di bawah PLN Unit Induk Pembangkitan dan Penyaluran (UIKL) Kalimantan. PLN UP3B terbentuk pada tanggal 7 Juni 2016 melalui Peraturan Direksi PT PLN (Persero) Nomor 0247.P/DIR/2016 tentang organisasi PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Penyaluran dan Pengatur Beban Sistem Kalimantan Barat pada PT PLN (Persero) Wilayah Kalimantan Barat.

PLN Unit Pelaksana Penyaluran dan Pengatur Beban (UP3B) Kalbar merupakan salah satu unit operasi yang berada di bawah PLN Unit Induk Pembangkitan dan Penyaluran (UIKL) Kalimantan. Tugas utama unit ini adalah menyalurkan energi listrik dari pembangkit ke beban. PLN Unit Pelaksana Penyaluran dan Pengatur Beban (UP3B) Kalbar menyalurkan energi listrik dengan menggunakan Tower Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV (SUTT) yang terbentang dari Pontianak hingga ke Bengkayang dan Interkoneksi dengan Sistem Sarawak Malaysia menggunakan Tower Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 275 kV. Menurut data aset gardu induk dan transmisi 2020 PLN Unit Pelaksana Penyaluran dan Pengatur Beban (UP3B) Kalbar memiliki 17 Gardu Induk Tegangan Tinggi 150 kV dan 1 Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi 275 kV dengan jumlah Tower SUTT/SUTET sebanyak 2503.

II.3 Tower Transmisi SUTT/SUTET ^[5]

Tower Transmisi Saluran Udara Tegangan Tinggi/Extra Tinggi (SUTT/SUTET) merupakan media yang digunakan untuk mentransmisikan tenaga listrik dari pusat pembangkit tenaga listrik, sistem transmisi hingga pusat beban (konsumen). Tenaga listrik ditransmisikan oleh suatu bahan konduktor yang disebut dengan saluran transmisi listrik. Saluran transmisi yang menyalurkan energi listrik melalui kawat-kawat yang digantung pada isolator antara tower atau tiang transmisi disebut saluran udara. Saluran listrik udara adalah sebuah struktur yang digunakan dalam transmisi dan distribusi tenaga listrik untuk menghantarkan listrik ke tempat yang jauh. Saluran dapat terdiri dari satu atau lebih konduktor (umumnya kelipatan tiga) yang dipasang di menara atau tiang. Karena sebagian besar insulasi disediakan oleh udara, maka saluran listrik udara umumnya merupakan metode termurah untuk mentransmisikan listrik dalam jumlah besar.

Tower untuk mendukung saluran listrik dapat dibuat dari kayu, baja, aluminum, beton, dan terkadang juga plastik yang diperkuat. Kabel pada saluran listrik umumnya terbuat dari aluminium (baik aluminium murni atau yang diperkuat baja, ataupun material komposit, seperti karbon dan fiber kaca), walaupun kabel tembaga juga digunakan dalam saluran listrik tegangan menengah dan rendah. Tujuan utama dalam perancangan saluran listrik adalah untuk menjaga jarak yang cukup antara kabel dengan tanah, sehingga dapat menghindarkan kabel dari kontak yang berbahaya, namun tetap tidak menyulitkan dalam perawatan, serta tahan terhadap petir, salju, gempa bumi, dan potensi perusak lainnya (Buku Pedoman Pemeliharaan SUTT/SUTET PT PLN, 2014).

II.4 Gangguan Petir Pada Jaringan Transmisi SUTT/SUTET ^[6]

Warsono (2020) menjelaskan, Petir terjadi karena adanya proses peluruhan muatan ion akibat adanya perbedaan potensial antara awan dan bumi (*Cloud to Ground*) atau dengan awan lainnya (*Cloud to Cloud*) Proses terjadinya muatan pada awan karena dia bergerak terus menerus secara teratur, dan selama pergerakannya dia akan berinteraksi dengan awan lainnya sehingga muatan negatif akan berkumpul pada salah satu sisi (atas atau bawah), sedangkan muatan positif berkumpul pada sisi sebaliknya. Jika perbedaan potensial antara awan dan bumi cukup besar, maka akan terjadi pembuangan muatan negatif (elektron) dari awan ke bumi atau sebaliknya untuk mencapai kesetimbangan. Pada proses pembuangan muatan ini, media yang

dilalui elektron adalah udara. Karakteristik petir awan ke tanah (*Cloud to Ground*) terbagi menjadi dua, yaitu: 1. awan ke tanah (*Cloud to Ground*) Positif, dimana muatan positif di bagian atas awan mengalir ke bumi yang bermuatan negatif. 2. awan ke tanah (*Cloud to Ground*) Negatif, dimana muatan negatif yang terkumpul di bagian bawah awan mengalir ke bumi yang bermuatan positif

Sambaran petir yang mengenai sistem tenaga listrik akan menimbulkan tegangan lebih. Tegangan lebih ini akan membahayakan peralatan apabila dibiarkan mengalir pada sistem dan tersalurkan ke beban. Tegangan lebih adalah tegangan yang terjadi pada kawat penghantar tegangan tinggi, oleh karena adanya penyuntikan energi secara tiba-tiba pada kawat tersebut. Tegangan tersebut hanya dapat ditahan untuk waktu terbatas dimana tegangan lebih tersebut merupakan tegangan peralihan (*transient*) dari kondisi abnormal ke kondisi normal. Salah satu gangguan dari luar sistem adalah sambaran petir, baik secara langsung maupun tidak langsung mengenai kawat penghantar atau kawat tanah dari saluran udara tegangan tinggi.

Untuk melindungi kawat-kawat fasa dari sambaran petir pada tower dipasangkan kawat tanah (*ground wire*). Gangguan yang disebabkan oleh sambaran langsung (*direct stroke*) pada kawat tanah saluran udara tegangan tinggi adalah fenomena peluapan balik (*back flashover*). Arus petir yang menyambar pada tower atau kawat tanah akan menyebabkan gelombang berjalan sepanjang kawat tanah kemudian arus surja petir akan mengalir ke tanah melalui tower transmisi. Tower transmisi yang pada keadaan normal mempunyai potensial yang sama dengan potensial bumi akan mengalami kenaikan tegangan karena mengalirnya arus surja petir pada impedansi surja tower, impedansi surja kawat, dan resistansi pentanahan. Fenomena peluapan balik (*back flashover*) terjadi bila tegangan pada isolator saluran lebih besar atau sama dengan tegangan kritis lompatan api (*critical flashover*) atau *Basic Insulation Level* (BIL) Isolator sehingga lompatan api terjadi pada isolator tersebut. Fenomena peluapan balik (*back flashover*) ini dipengaruhi oleh tingginya nilai tahanan pentanahan tower transmisi serta tingginya nilai induktansi Tower.

II.5 Klasifikasi Sistem Proteksi Petir Pada jaringan SUTT/SUTET ^[5]

Dalam pembahasan buku pedoman pemeliharaan transmisi KEPDIR 0520-1.K.DIR.2014, sistem proteksi petir haruslah mempunyai daya ketahanan dari gangguan petir, dan sistem proteksi petir dibuat agar suatu permasalahan dalam hal ini permasalahannya adalah gangguan

petir pada jaringan SUTT/SUTET oleh karena itu sistem ini harus mempunyai klasifikasi khusus di antaranya;

1. Mempunyai daya tahan yang baik dari suatu gangguan (Petir),
2. Mempunyai ujung kerja yang baik,
3. Ekonomis.

II.6 Sistem Proteksi Petir Transmisi Pada Jaringan Transmisi SUTT ^[7]

Pada jurnal yang di tulis Arif Irawanto (1998), 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.

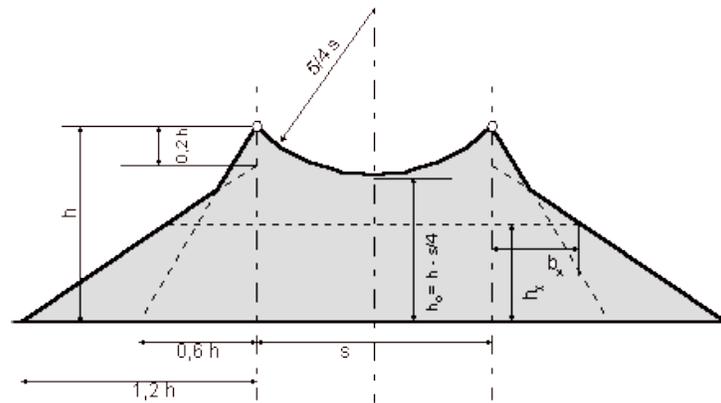
Desain isolasi untuk tegangan tinggi (HV) dan tegangan ekstra tinggi (EHV) cenderung untuk melindungi saluran dari adanya tegangan lebih akibat surja hubung dan surja petir. Untuk tegangan ultra tinggi (UHV), desain isolasi lebih cenderung kepada proteksi terhadap surja hubung. Adanya tegangan lebih ini akan mengakibatkan naiknya tegangan operasi yang tentunya dapat merusak peralatan-peralatan listrik.

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.

kawat tanah (*Overhead groundwire*) yang digunakan untuk melindungi saluran tenaga listrik, diletakkan pada ujung teratas saluran dan terbentang sejajar dengan kawat fasa. kawat

tanah (*groundwire*) ini dapat ditanahkan secara langsung atau secara tidak langsung dengan menggunakan sela yang pendek.

Dalam melindungi kawat fasa tersebut, daerah proteksi kawat tanah (*groundwire*) dapat digambarkan seperti pada Gambar,II.1



Gambar.II.1. Zona perlindungan dari penggunaan 2 buah kawat tanah

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

Sedangkan daerah antara 2 kawat tanah (*groundwire*) dibatasi oleh busur lingkaran dengan jari-jari $5/4 s$ dengan titik pusat terletak pada sumbu di tengah-tengah 2 kawat tanah (*groundwire*).

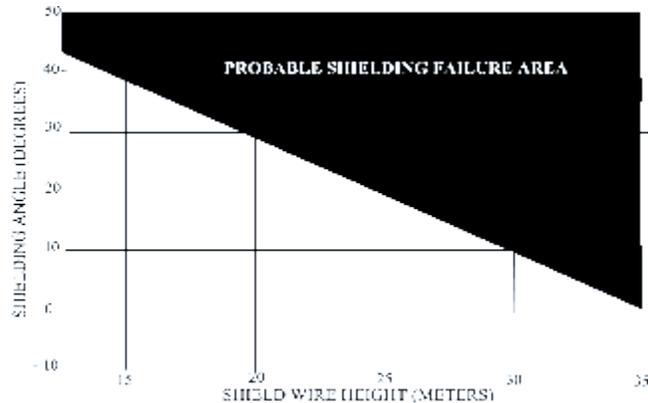
Seperti disebutkan sebelumnya bahwa hadirnya kawat tanah (*groundwire*) dimaksudkan sebagai tempat sambaran petir langsung dan dapat melindungi kawat fasa. Zona perlindungan kawat tanah (*groundwire*) dapat dinyatakan dengan parameter sudut perlindungan, yaitu sudut antara garis vertikal kawat tanah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

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

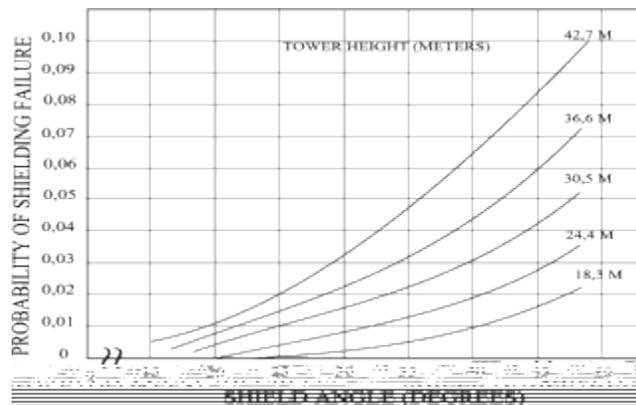
Dari persamaan tersebut, terlihat bahwa makin tinggi kawat tanah (*groundwire*) dan sudut perlindungan yang besar, akan mengakibatkan probabilitas tersebut meningkat. Untuk itu

diperlukan pemilihan tinggi kawat tanah (*ground wire*) dan sudut perlindungan yang tepat untuk mendapatkan performa perlindungan yang baik dari sambaran petir.

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



Gambar.II.2. Kurva ketinggian kawat tanah (*groundwire*) vs sudut perlindungan



Gambar.II.3. Kurva probabilitas kegagalan perlindungan vs sudut perlindungan

Gambar.II.2 menunjukkan kurva antara ketinggian rata-rata *ground wire* vs sudut perlindungan rata-rata. Dari gambar tersebut terlihat daerah berwarna hitam merupakan daerah kemungkinan gagal dalam perlindungan. Sedangkan Gambar.II.3 menunjukkan probabilitas kegagalan perlindungan dari sambaran petir ke saluran sebagai fungsi dari ketinggian kawat tanah (*groundwire*) dan sudut perlindungan.

Dengan demikian, kurva pada Gambar.II.2 menunjukkan probabilitas kegagalan dalam perlindungan kurang dari 1% (berdasar kurva Gambar.II.3). Probabilitas ini berarti lebih kecil dari satu kali kegagalan dalam setiap 100 sambaran petir pada kawat tanah (*groundwire*).

Untuk meningkatkan keandalan sistem ini, diperlukan pentanahan yang baik pada setiap menara listrik. Jika petir menyambar pada kawat tanah (*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 sebagian kecil mengalir melalui kawat tanah (*groundwire*) dan akhirnya menuju ke tanah melalui pentanahan pada menara listrik berikutnya. Lain halnya jika petir menyambar pada tengah-tengah kawat tanah (*groundwire*) antara 2 menara listrik. Gelombang petir ini akan mengalir ke menara-menara listrik yang dekat dengan tempat sambaran tersebut.

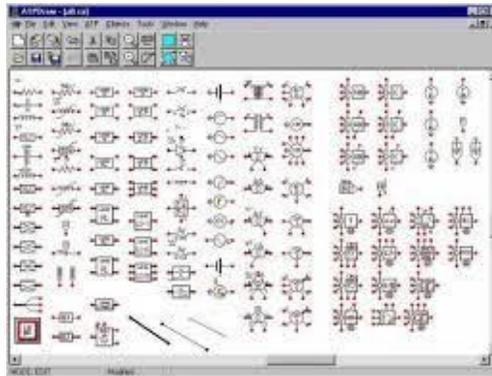
II.7 ATP (*Alternative Transients Program*) Drawing ^[8]

ATP adalah program komputer yang didesain untuk menyelesaikan masalah peralihan pada sistem tenaga listrik untuk rangkaian terkonsentrasi (*lumped*), rangkaian terdistribusi atau kombinasi kedua rangkaian tersebut. Program versi ini pertama kali dikembangkan oleh H. M. Dommel di Munich Institute of Technology awal tahun 1960- an.

H. M. Dommel mengembangkan program ini di University of British Columbia. Sekitar tahun 1980, EMTP menjadi program yang diminati oleh perusahaan listrik. EMTP DCG (*Development Coordinating Group*) bekerja sama dengan EFRI (*Electric Power Research Industry*) untuk pengembangan EMTP.

Karakteristik surja petir yang terjadi pada saluran transmisi kemudian sampai pada arrester dapat diketahui dengan mensimulasikannya dengan menggunakan suatu perangkat lunak (*software*) ATP-EMTP, dimana ATP-EMTP adalah suatu program komputer terintegrasi yang didesain khusus untuk menyelesaikan permasalahan peralihan (*transient*) pada sistem tenaga listrik dengan parameter R, L, dan C. EMTP digunakan untuk menganalisa tegangan lebih transien yang diakibatkan oleh surja hubung dan surja petir karena program ini

menyediakan fasilitas pemodelan generator, pemutus tenaga, arrester, sumber surja petir, dan pemodelan saluran tenaga listrik. (Dedi, 2009).



Gambar.II.4. Tampilan awal dari aplikasi ATP draw