

Evaluasi Perlindungan Kawat Fasa Saluran Transmisi Tegangan Tinggi 150 KV Terhadap Petir Menggunakan Kawat Tanah

Zulfadli Pelawi¹⁾, Jamilah Husna²⁾, Ayatullah Komaini³⁾,
Fahrul Halim Pulungan⁴⁾, Diva Prima Syahputra Lubis⁵⁾

^{1,2)}Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, UISU-Medan

^{3,4,5)}Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, UISU-Medan

zulfadlipelawi@gmail.com

Abstrak

Pada umumnya kita telah mengetahui seringnya gangguan terhadap jaringan transmisi adalah gangguan alam, seperti gangguan kilat terhadap jaringan transmisi disebabkan jaringan transmisi yang melalui udara, panjang, tinggi dan tersebar diberbagai daerah terbuka serta beroperasi dalam segala macam kondisi. Hingga sampai sekarang belum ada yang menunjukkan kegunaan kilat bagi kehidupan, belum mendapat jalan untuk mencegah atau memanfaatkan energi yang ditimbulkan oleh petir tersebut. Walaupun demikian ilmu pengetahuan manusia tetap berkembang dengan kemajuan teknologi. Dengan salah satu alat pengaman kawat udara (Overhead Ground Wire) untuk melindungi kawat- kawat fasa dari jaringan transmisi. Diantara pertimbangan-pertimbangan yang diambil dalam perancangan pemeriksaan saluran transmisi adalah letak kawat tanah terhadap kawat fasa, karena diharapkan petir akan menyambar kawat tanah dan persentase tersambarnya kawat fasa akan kecil.

Kata Kunci : *Perlindungan, Transmisi, Kawat Tanah, Sudut Perlindungan.*

I. PENDAHULUAN

Pada akhir abad ke-19 sistem tenaga listrik dibumikan. Hal ini dapat dimengerti karena pada waktu itu sistem-sistem tenaga listrik masih kecil, jadi bila ada gangguan kawat bumi arus gangguan masih kecil (± 5 A). Pada umumnya bila arus gangguan itu sebesar 5A atau lebih kecil busur listrik yang timbul pada kontak-kontak antara kawat yang terganggu dan bumi masih dapat padam sendiri (Self Extinguish). Tetapi sistem-sistem tenaga itu makin lama makin besar baik panjangnya maupun tenaganya. Dengan demikian arus yang timbul bila terjadi lagi gejala-gejala "Arching Grounds" semakin menonjol. Gejala ini sangat berbahaya karena akan menimbulkan tegangan lebih transient yang dapat merusak alat-alat.

Oleh karena itu mulai abad-20, pada saat sistem-sistem tenaga mulai besar sistem-sistem itu tidak lagi dibiarkan terisolasi (Isolated) yang dinamakan sistem delta tetapi titik netral sistem itu dibumikan melalui tahanan atau reaktansi. Pentanahan itu umumnya dilakukan dengan menghubungkan netral transformator ke bumi. Pada umumnya di Indonesia, memakai jaringan transmisi tegangan tinggi. Sumber gangguan yang paling besar disaluran transmisi adalah gangguan sambaran kilat dan kemudian menyusul karena gangguan alam lainnya

Peneliti hanya ingin membicarakan mengenai pengaman pendukung jaringan transmisi tegangan tinggi seperti pentanahan untuk penyaluran daya yang berlebih akibat yang ditimbulkan sambaran petir mengenai kawat tanah udara (Overhead Ground Wire) sebagai pelindung (Shielding) jaringan transmisi tegangan tinggi.

Penggunaan kawat tanah ditujukan untuk pengaman kawat fasa. Disini kawat tanah berfungsi sebagai pelindung (Shielding), energi sambaran kilat akan dialirkan ke dalam bumi melalui tiang atau menara yang dibumikan setelah lebih dahulu ditangkap oleh kawat tanah tersebut.

Kita telah mengetahui bahwa kilat merupakan aspek gangguan yang berbahaya terhadap saluran transmisi yang menggagalkan keandalan dan keamanan sistem tenaga dan tak mungkin dihindarkan, sedangkan alat-alat pengaman seperti: Arester, Fuse Gap dan Rod Gap terbatas kemampuannya maka untuk mengurangi akibat yang ditimbulkan sambaran petir digunakanlah kawat tanah udara (Overhead Ground Wire) sehingga koordinasi isolasi akan lebih ekonomis.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dasar Pentanahan

Pentanahan merupakan salah satu faktor utama dalam setiap pengamanan (perlindungan) rangkaian listrik. Untuk melakukan pengamanan (perlindungan) tersebut diperlukan perancangan pentanahan sesuai standar yang berlaku.

Tujuan pentanahan pada dasarnya adalah :

- Ditujukan pada titik netral dan pentanahan umum, dimaksudkan untuk mengurangi besar tegangan lebih surja dan mengontrol besarnya arus hubungan singkat.
- Pada sistem yang tidak dibumikan arus gangguan itu relatif besar (> 5 A) sehingga busur listrik yang timbul tidak dapat padam sendiri, hal ini akan menyebabkan gejala "Arching Ground", pada sistem yang dibumikan gejala tersebut hampir tidak ada.

- Untuk membatasi tegangan-tagangan pada fasa-fasa yang tidak terganggu (sehat).

Pada sistem-sistem di bawah 115 KV banyak dipakai pentanahan melalui Peterson Coil. Pada sistem yang tegangannya lebih besar (115 KV keatas) ada kecenderungan dengan pentanahan tanpa impedansi (*Solid Grounding*) atau (*Effektive Grounding*).

Effektive Grounding adalah pentanahan dimana perbandingan antara reaktansi urutan positif lebih kecil atau sama dengan tiga, dan perbandingan tahanan urutan nol dan reaktansi urutan positif lebih kecil atau sama dengan satu.

- a. Sistem 30 KV dan 70 KV dengan Peterson Coil.
- b. Sistem 150 KV dengan pentanahan langsung.

Karakteristik sistem pentanahan yang efektif antara lain adalah:

1. Terencana dengan baik, semua koneksi yang terdapat pada sistem harus merupakan koneksi yang sudah direncanakan sebelumnya dengan kaidah-kaidah tertentu.
2. Verifikasi secara visual dapat dilakukan.
3. Menghindarkan gangguan yang terjadi pada arus listrik dari perangkat.
4. Semua komponen metal harus ditahan/diikat oleh sistem pentanahan, dengan tujuan untuk meminimalkan arus listrik melalui material yang bersifat konduktif pada potensial listrik yang sama.

2.2 Pemilihan Sistem Pentanahan

Pemilihan sistem pentanahan didasarkan atas faktor.

- a. Selektivitas dan Sensitivitas Ground Fault Relaying
- b. Pembatasan arus gangguan tanah
- c. Tingkat yang diperlukan dari proteksi tegangan surja Arrester.
- d. Pembatasan tegangan lebih Transien.

2.3 Bagian-bagian yang di Tanahkan

Dalam sebuah instalasi listrik ada empat bagian yang harus ditanahkan atau sering juga disebut dibumikan. Empat bagian dari instalasi listrik ini adalah:

- a. Semua bagian instalasi yang terbuat dari logam (menghantar listrik) dan dengan mudah bisa disentuh manusia. Hal ini perlu agar potensial dari logam yang mudah disentuh manusia selalu sama dengan potensial tanah (bumi) tempat manusia berpijak sehingga tidak berbahaya bagi manusia yang menyentuhnya.
- b. Bagian pembuangan muatan listrik (bagian bawah) dari lightning arrester. Hal ini diperlukan agar lightning arrester dapat berfungsi dengan baik, yaitu membuang muatan listrik yang diterimanya dari petir ke tanah (bumi) dengan lancar.

- c. Kawat petir yang ada pada bagian atas saluran transmisi. Kawat petir ini sesungguhnya juga berfungsi sebagai lightning arrester. Karena letaknya yang ada di sepanjang saluran transmisi, maka semua kaki tiang transmisi harus ditanahkan agar petir yang menyambar kawat petir dapat disalurkan ke tanah dengan lancar melalui kaki tiang saluran transmisi.
- d. Titik netral dari transformator atau titik netral dari generator. Hal ini diperlukan dalam kaitan dengan keperluan proteksi khususnya yang menyangkut gangguan hubung tanah.

Dalam praktek, diinginkan agar tahanan pentanahan dari titik-titik pentanahan tersebut di atas tidak melebihi 4 ohm.

2.4 Faktor Yang Mempengaruhi Tahanan Elektroda Pentanahan

Tahanan dari elektroda pentanahan dibuat harus mengikuti beberapa komponen, antara lain:

- a. Tahanan Dari Material Elektroda.
Pasak yang biasanya digunakan sebagai penjepit antara elektroda batang dengan kabel yang dijepitkan untuk sambungan ke peralatan yang dibumikan memiliki tahanan yang kecil karena elektroda-elektroda pentanahan ukurannya lebih besar dan memiliki penampang yang sedemikian sehingga tahanan pasak dapat diabaikan terhadap tahanan dari keseluruhan sistem pentanahan.
- b. Tahanan Kontak Dari Elektroda Dengan Tanah.
Apabila elektroda pentanahan bersih dari cat atau minyak dan dipancangkan dengan kuat ke tanah, maka tahanan kontak dari elektroda dengan tanah dapat diabaikan.
- c. Tahanan Dari Tanah Itu Sendiri.
Lapisan tanah yang terdekat dengan elektroda pentanahan yang dipancangkan ke tanah memiliki permukaan yang sempit, sehingga menghasilkan tahanan pentanahan yang besar. Sedangkan pada lapisan tanah yang lain yang memiliki permukaan yang lebih luas memiliki tahanan yang lebih kecil, sehingga dapat dikatakan pada jarak tertentu ada daerah yang disebut daerah tahanan efektif yaitu suatu lapisan tanah yang tidak akan menambah tahanan pentanahan di sekitar elektroda pentanahan yang dipancangkan ke tanah.

2.5 Pentanahan Kaki Menara

Untuk melindungi konduktor fasa dari sambaran petir, dipasang kawat pelindung di atas konduktor fasa yang dilindungi, yang disambungkan ke bumi guna menyalurkan arus petir. Agar tegangan balik petir yang mungkin menimbulkan loncatan listrik pada penghantar dapat dibatasi. Tahanan (resistansi) kaki menara harus diusahakan sekecil mungkin, ± 5 ohm, maksimum 10 ohm. pentanahan kaki menara dapat

dilakukan dengan bantuan batang-batang pentanahan, kawat pentanahan atau penyeimbang (counterpoise) pada tanah yang tahanan jenisnya tinggi (tanah berbatu).

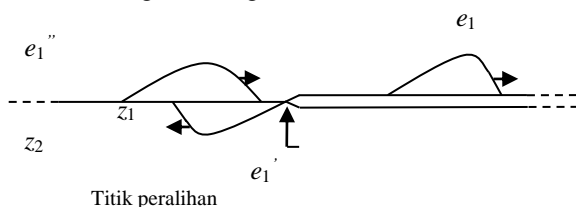
2.6 Gelombang Berjalan Pada Hantaran Udara Tegangan Tinggi

Dari sudut energi dapat dikatakan bahwa gelombang berjalan pada kawat disebabkan oleh penyuntikan energi secara tiba-tiba pada kawat. Energi yang merambat ini berupa arus dan tegangan. Gelombang berjalan ini diredam oleh kerugian puncak (corona). Bilamana arus dan tegangan suatu rangkaian transmisi mengalami perubahan dari suatu keadaan stedi (steady state) ke keadaan stedi yang lain disebabkan oleh pengoperasian seperti operasi pemutusan (switching), sambaran petir, hubungan singkat atau sebab-sebab lain, terjadi tegangan-tegangan surja yang bergerak sepanjang saluran dengan kecepatan cahaya. Tegangan-tegangan surja ini untuk sebagian dipantulkan dan untuk sebagian lainnya diteruskan pada tiap titik atau tempat saluran dimana terdapat perubahan-perubahan konstanta saluran. Gelombang-gelombang ini diredam dan biasanya menghilang dalam waktu yang singkat. Pada saluran pendek fenomena gelombang berjalan biasanya sudah berlalu dan belum memiliki pengaruh yang berarti pada nilai tegangan-tegangan nominal.

Bila gelombang berjalan menemui titik peralihan, misalnya hubungan terbuka, hubungan singkat atau perubahan impedansi, maka sebagian gelombang itu akan dipantulkan dan sebagian lagi akan diteruskan ke bagian lain dari titik tersebut.

Pada titik peralihan itu sendiri, besar tegangan dan arus dapat dari 0 sampai $2 \times$ besar tegangan gelombang yang datang.

Gelombang yang datang dinamakan gelombang datang (incident wave), dan kedua gelombang lain yang timbul karena titik peralihan itu dinamakan gelombang pantulan (reflected wave) dan gelombang terusan (transmitted wave).



Gambar 1. Perubahan impedansi pada titik peralihan.

Dimana :

- e_1 = Gelombang datang (incident wave)
- e_1' = Gelombang pantulan (reflected wave)
- e_1'' = Gelombang terusan (transmitted wave)
- z_1 = Impedansi surja kawat udara
- z_2 = Impedansi surja kabel

Persoalan gelombang berjalan ini sangat sukar, sehingga harus diadakan banyak penyederhanaan supaya dapat dipergunakan untuk keperluan teknik pada saat ini gelombang berjalan telah diselidiki pada :

- a. Kawat Tunggal
- b. Kawat Majemuk
- c. Kecepatan mejemuk dari gelombang berjalan

Bagian terbesar dari studi mengenai gangguan pada sistem transmisi ialah teori gelombang berjalan, yang membahas mengenai sumber gelombang, karakteristik serta keadaan pada titik peralihan dari transmisi.

3.2 Sumber-Sumber Gelombang Berjalan

Sampai saat ini sebab-sebab dari gelombang berjalan yang di ketahui ialah :

- a. Sambaran kilat secara langsung pada kawat,
- b. Sambaran kilat tidak langsung pada kawat (Induksi),
- c. Operasi pemutusan (switching operations),
- d. Busur tanah (arcing grounds)
- e. Gangguan-gangguan pada sistem oleh berbagai-bagai kesalahan,
- f. Tegangan mantap sistem.

Semua macam sebab-sebab ini menimbulkan surja (surge) pada kawat, yaitu surja tegangan dan surja arus disebabkan oleh kelebihan energi secara tiba-tiba pada kawat. Energi ini merambat pada kawat fasa, sama halnya seperti kita melemparkan batu pada air yang tenang pada sebuah kolam. Energi yang merambat ini terdiri dari arus dan tegangan. Kecepatan merambat gelombang berjalan tergantung dari konstanta-konstanta kawat fasa. Pada kawat hantaran udara, kecepatan merambat ini kira-kira 300 meter per mikrodetik, jadi sama dengan kecepatan cahaya. Pada kabel tanah kira-kira 150 meter per mikrodetik.

Dengan sendirinya segala macam diskontinuitas pada transmisi tidak mempunyai efek pada gelombang, sebelum gelombang mencapainya. Tetapi bila gelombang mencapai titik peralihan, terjadi perubahan gelombang sehingga terdapat sedikit perbedaan dengan gelombang semula.

III. PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan Menentukan Sudut Perlindungan

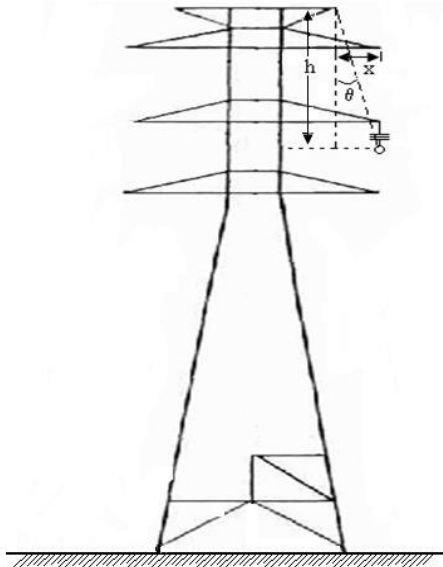
Besarnya sudut perlindungan mempunyai hubungan-hubungan dengan tinggi menara, dimana semakin tinggi menara transmisi semakin tinggi kemungkinan kegagalan perlindungan.

Untuk melindungi (mengurangi) kegagalan perlindungan ini, haruslah dipilih sudut

perlindungan yang kecil. Rumus yang dapat dipakai dalam menghitung sudut perlindungan seperti persamaan :

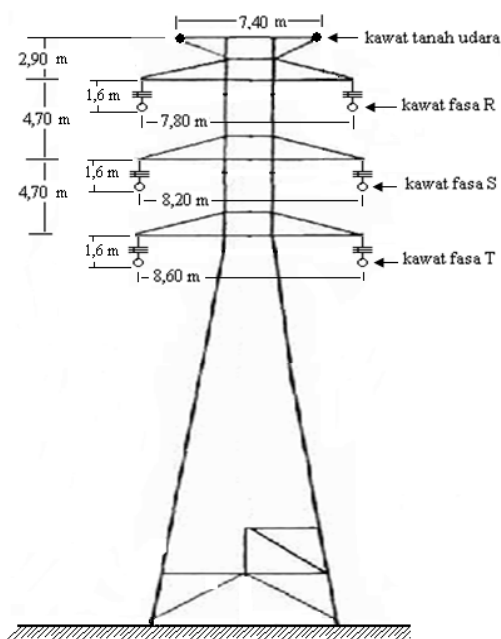
$$\theta = \arctan \frac{x}{h}$$

- Dimana :
- h = jarak antara kawat tanah dengan garis horizontal yang menghubungkan kawat fasa.
 - x = selisih antara panjang cross arm kawat tanah dengan kawat fasa
 - θ = sudut perlindungan



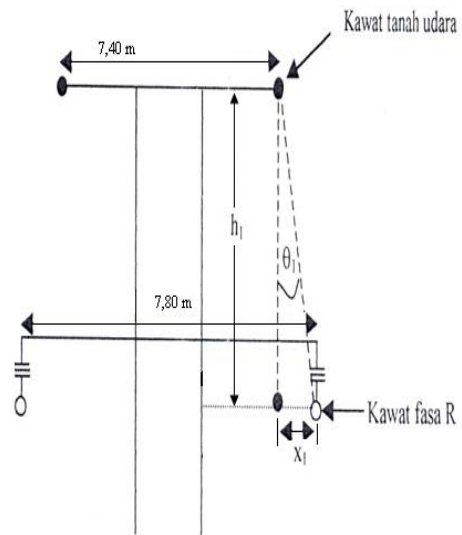
Gambar 2. Kontruksi menara transmisi.

Pada Gambar 2 menara untuk menentukan sudut perlindungan pada jaringan transmisi tegangan tinggi :



Gambar 3. Kontruksi menara 150 kV tipe AA.

- a. Perhitungan sudut pelindung antara kawat tanah dengan kawat fasa R



Gambar 4. Menara kawat tanah dengan kawat fasa R.

$$x = 3,9 - 3,7 = 0,2 \text{ m}$$

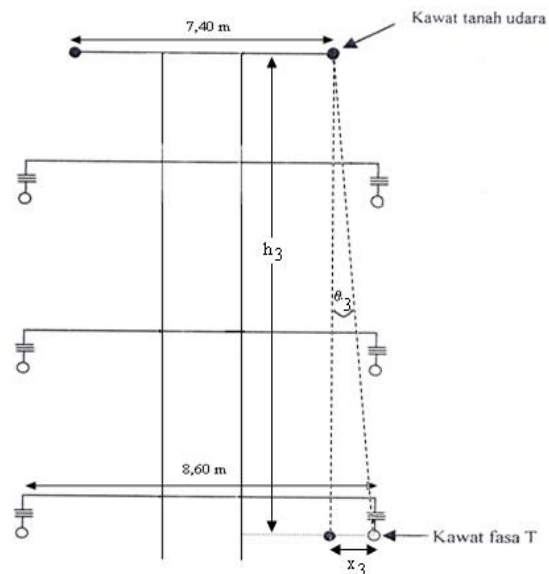
$$h_1 = 2,90 + 1,6 = 4,5 \text{ m}$$

$$\theta_1 = \arctan \frac{x}{h}$$

$$\theta_1 = \arctan \frac{0,2}{4,5}$$

$$\theta_1 = 2,54^\circ$$

- b. Perhitungan sudut pelindung antara kawat tanah dengan kawat fasa S



Gambar 5. Menara kawat tanah dengan kawat fasa T.

$$\begin{aligned}
 x_3 &= 0,6 \text{ m} \\
 h_3 &= 4,70 + 1,6 + 10,8 = 17,1 \text{ m} \\
 \theta_3 &= \arctan \frac{x_3}{h_3} \\
 \theta_3 &= \arctan \frac{0,6}{17,1} \\
 \theta_3 &= 2^\circ
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan sudut pelindung kawat tanah di atas maka diperoleh :

- Nilai dari sudut pelindung antara kawat tanah dengan kawat fasa R adalah $\theta_1 = 2,54^\circ$. Karena sudut pelindung θ lebih kecil dari 18° maka pelindung kawat transmisi ini adalah baik.
- Nilai dari sudut pelindung antara kawat tanah dengan kawat fasa S adalah $\theta_2 = 2,12^\circ$. Karena sudut pelindung θ lebih kecil dari 18° maka pelindung kawat transmisi ini adalah baik.
- Nilai dari sudut pelindung antara kawat tanah dengan kawat fasa T adalah $\theta_3 = 2$. Karena sudut pelindung θ juga lebih kecil dari 18° maka pelindung kawat transmisi ini adalah baik.

IV. KESIMPULAN

4.1 Kesimpulan

Dari pembahasan maka diperoleh beberapa kesimpulan antara lain :

- Pada pembangunan jaringan transmisi yang sangat perlu diperhatikan adalah perancangan proteksi saluran transmisi terhadap letak kawat fasa
- Seringnya gangguan terhadap jaringan transmisi adalah gangguan alam, seperti seringnya gangguan petir terhadap jaringan transmisi yang disebabkan jaringan transmisi yang panjang serta dalam segala macam kondisi udara.
- Sudut pelindung kawat tanah sesuai dengan perhitungan diperoleh untuk :
 - Nilai dari sudut pelindung antara kawat tanah dengan kawat fasa R adalah $\theta_1 = 2,54^\circ$
 - Nilai dari sudut pelindung antara kawat tanah dengan kawat fasa S adalah $\theta_2 = 2,12^\circ$
 - Nilai dari sudut pelindung antara kawat tanah dengan kawat fasa T adalah $\theta_3 = 2$
 Jadi untuk perlindungan dari kawat tanah udara itu adalah baik.

- Kawat tanah udara berfungsi sebagai pengaman pada saluran transmisi 150 kV guna mengurangi akibat dari sambaran petir secara langsung.
- Menara jaringan transmisi dapat menjadi pentanahan dengan mengalirkan arus lebih pada kawat tanah melalui menara transmisi.

4.2 Saran

- Jarak antara kawat tanah dan kawat fasa sebaiknya jangan terlalu jauh karena di sankasikan petir akan menyambar langsung ke kawat fasa.
- Sebaiknya dilakukan pemeriksaan berkala pada tahanan kaki menara karena dikhawatirkan nilai tahanan menjadi tinggi yang disebabkan oleh umur konduktor yang sudah tua, permasalahan pada sambungan dan sebagainya.

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, A, DR, 1978. *Teknik Tegangan Tinggi*, Edisi ke-4, PT. Pradnya Pramit, Jakarta.
- Abdul Kadir, 1986, *Pengantar Teknik Tenaga Listrik*, Lp3ES. Jakarta
- Arismunandar, 1993, *Teknik Tenaga listrik*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta
- Aslimeri, dkk, Dkk., 2008, *Teknik Transmisi Tenaga Listrik Jilid 3*, Penerbit Direktorat Jendral Pendidikan Dasar Dan Menengah, Departmen Pendidikan Nasional.
- Kadir, Abdul, *Transmisi Tenaga Listrik*, Press – Universitas Indonesia.
- Hutauruk T. S., 1976. *Pengetanahan Netral Sistem-sistem Tegangan Tinggi*, Departemen Elektro Teknik Fakultas Teknologi Industri, ITB.
- Hutauruk T. S., 1987. *Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan*, Institut Teknologi Bandung dan Univeristas Tri Sakti.
- Hutauruk T. S., 1976. *Gelombang Berjalan Pada Sistem Transmisi dan Proteksi dan Peralatan Pada Surja*, Institut Teknologi Bandung.