

Analisa Gelombang Berjalan Pada Saluran Transmisi 70 kV Gardu Induk Teling

Chirstoper A. Santjiatodjaja, Lily S. Patras, Glanny Mangindaan
Jurusan Teknik Elektro-FT, UNSRAT, Manado-95115,

Email: csantjia@gmail.com, lilyspatras@gmail.com, glanny_m@unsrat.ac.id

Abstract—Transmission construction consists of internal interference such as switching surges and external interference such as lightning surge strikes. Lightning surge that hit the transmission network can result in the emergence of travelling waves in the form of impulses on the conductor. This travelling wave will cause overvoltage, and flashover. If regarding a tower transmission that has the right grounding and the appropriate arrester, the interference will be continued to the ground. If there is no reflection wave or wave will be released because the wave cannot be suppressed by protection and grounding equipment.

Keywords : Interference; Lightning; Transmission; Travelling Waves.

Abstrak— Sistem transmisi saluran udara memiliki gangguan internal seperti surja switching dan gangguan eksternal seperti sambaran surja petir. Sambaran surja petir yang menghantam jaringan transmisi dapat mengakibatkan timbulnya gelombang berjalan yang berbentuk impuls pada penghantar. Gelombang berjalan ini akan menyebabkan tegangan lebih (*overvoltage*), juga dapat mengakibatkan terjadinya lompatan api (*flashover*). Gangguan yang terjadi pada saluran transmisi akan berupa gelombang berjalan. Apabila mengenai suatu tower (menara) transmisi yang mempunyai pentanahan yang tepat dan arrester yang sesuai maka gangguan akan diteruskan ketanah. Jika tidak akan terjadi gelombang pantulan atau gelombang yang dilepaskan karena gelombang sudah tidak dapat diredam oleh peralatan proteksi dan grounding.

Kata kunci : Gangguan; Gelombang Berjalan; Petir; Transmisi.

I. PENDAHULUAN

Sistem Transmisi merupakan proses penyaluran tenaga listrik dari tempat pembangkit tenaga listrik (*Power Plant*) hingga Saluran distribusi listrik (*substation distribution*) sehingga dapat disalurkan sampai pada konsumen pengguna listrik. Standar tegangan pada sistem transmisi di Indonesia diklasifikasikan sebagai tegangan

ekstra tinggi (TET) yaitu dengan nominal 500 kV dan tegangan tinggi (TT) dengan nominal 70 kV dan 150 kV. Tujuan tegangan dinaikan agar dapat meminimalisir rugi-rugi daya dan drop tegangan, karena penyaluran pasti melalui jalur yang panjang, semakin panjang jalur maka akan semakin berpengaruh pada rugi daya jika tegangan tidak dinaikan.

Konstruksi transmisi terdiri dari dua yaitu Saluran Udara dan Saluran Kabel yang terdiri dari, Saluran Udara (*Overhead Lines*) Tegangan Tinggi (SUTT) / Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET), Saluran Kabel Tanah (*Underground Line*) Tegangan Tinggi (SKTT), Saluran Kabel Laut (*Submarine Line*) Tegangan Tinggi (SKLTT). Pada transmisi saluran udara terdapat beberapa komponen pendukung yang penting yaitu Konduktor, Tower / Tiang Penyangga, Isolator dan Kawat Tanah.

Pada sistem transmisi saluran udara tak lepas dari gangguan. Gangguan berasal dari internal maupun eksternal. Gangguan internal seperti surja switching dan gangguan eksternal seperti sambaran surja petir. Sambaran surja petir yang menghantam jaringan transmisi dapat mengakibatkan timbulnya gelombang berjalan yang berbentuk impuls pada penghantar. Gelombang berjalan ini akan menyebabkan terjadinya tegangan lebih (*overvoltage*), dan juga dapat mengakibatkan terjadinya lompatan api (*flashover*). Tegangan ini biasanya sampai lebih dari satu juta volt.

Gangguan yang terjadi pada saluran transmisi akan berupa gelombang berjalan. Apabila mengenai suatu tower (menara) transmisi yang mempunyai pentanahan yang tepat dan arrester yang sesuai maka gangguan akan diteruskan ketanah. Jika tidak akan terjadi gelombang pantulan atau gelombang yang dilepaskan karena gelombang sudah tidak dapat diredam oleh peralatan proteksi dan grounding.

Dengan demikian saya mencoba untuk mengangkat masalah ini menjadi judul penelitian sebagai berikut “Analisa Gelombang Berjalan pada Saluran Transmisi 70kV GI Teling”.

A. Pengertian Saluran Transmisi

Saluran Transmisi adalah penyaluran energi listrik dari pembangkit listrik sampai ke sistem distribusi hingga sampai pada konsumen pengguna listrik. Tenaga listrik ditransmisikan melalui suatu bahan konduktor yang mengalirkan listrik. Pada sistem tenaga listrik, jarak antara pembangkit dengan beban yang cukup jauh akan menimbulkan adanya perubahan kualitas tegangan. Dengan demikian sebuah saluran transmisi harus memiliki berbagai komponen untuk menjaga kestabilan kualitas tenaga listrik yang disalurkan. [2]

Rumus yang digunakan untuk mencari nilai tahanan saluran menurut persamaan (1):

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (1)$$

Dimana : ρ = tahanan jenis (Ω m)
 l = panjang kawat (m)
 A = luas penampang kawat (m^2)

B. Tower Transmisi

Berfungsi sebagai penyangga kawat (konduktor / penghantar) yang direntangkan antara tower-tower (tiang-tiang) pada jalur transmisi melalui isolator-isolator

Konstruksi tower besi baja merupakan jenis konstruksi saluran transmisi tegangan tinggi (SUTT) ataupun saluran transmisi tegangan ekstra tinggi (SUTET) yang paling banyak digunakan di jaringan PLN, karena mudah dirakit terutama untuk pemasangan di daerah pegunungan dan jauh dari jalan raya, harganya yang relatif lebih murah dibandingkan dengan penggunaan saluran bawah tanah serta pemeliharannya yang mudah.[7]

C. Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik

Gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik sangat beragam besaran dan jenisnya. Gangguan dalam sistem tenaga listrik adalah keadaan tidak normal dimana keadaan ini dapat mengakibatkan terganggunya kontinuitas pelayanan tenaga listrik. Secara umum klasifikasi gangguan pada sistem tenaga listrik disebabkan oleh 2 faktor, yaitu:

- 1). Gangguan yang berasal dari dalam sistem
- 2). Gangguan yang berasal dari luar system

Penyebab gangguan yang berasal dari dalam sistem antara lain :

- 1). Tegangan dan arus abnormal
- 2). Pemasangan yang kurang baik

- 3). Kesalahan mekanis karena proses penuaan
- 4). Beban lebih
- 5). Kerusakan material seperti isolator pecah, kawat putus, atau kabel cacat isolasi.

Sedangkan untuk gangguan yang berasal dari luar sistem antara lain :

- 1). Gangguan-gangguan mekanis karena pekerjaan galian saluran lain. Gangguan ini terjadi untuk sistem kelistrikan bawah tanah.
- 2). Pengaruh cuaca seperti hujan, angin, serta surja petir. Pada gangguan surja petir dapat mengakibatkan gangguan tegangan lebih dan dapat menyebabkan gangguan hubung singkat karena tembus isolasi peralatan (*breakdown*).
- 3). Pengaruh lingkungan seerti pohon, batang dan benda-benda asing serta akibat kecerobohan manusia.

Ditinjau dari segi lamanya waktu gangguan, maka dapat dikelompokkan menjadi :

- 1). Gangguan yang bersifat temporer, yang dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutuskan sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangannya. Gangguan sementara jika tidak dapat hilang dengan segera, baik hilang dengan sendirinya maupun karena bekerjanya alat pengaman dapat berubah menjadi gangguan permanen.
- 2). Gangguan yang bersifat permanen, diman untuk membebaskannya diperlukan tindakan perbaikan dan/atau menyingkirkan penyebab gangguan tersebut.

Untuk gangguan yang bersifat sementara setelah arus gangguannya terputus misalnya karena terbukanya *circuit breaker* oleh rele pengamannya, peralatan atau saluran yang terganggu tersebut siap dioperasikan kembali. Sedangkan pada gangguan permanen terjadi kerusakan yang bersifat permanen sehingga baru bisa dioperasikan kembali setelah bagian yang rusak diperbaiki atau diganti.

Pada saat terjadi gangguan akan mengalir arus yang sangat besar pada fasa yang terganggu menuju titik gangguan, dimana arus gangguan tersebut mempunyai harga yang jauh lebih besar dari rating arus maksimum yang diijinkan, sehingga terjadi kenaikan temperatur yang dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan listrik yang digunakan.[6]

D. Gelombang Berjalan Pada Transmisi

Beberapa gangguan pada jalur transmisi seperti pembukaan dan penutupan jalur yang terjadi tiba-tiba, hubungan singkat atau kegagalan mengakibatkan terjadinya tegangan lebih atau arus lebih pada jalur tersebut bahwa gangguan ini merambat sebagai

gelombang berjalan ke ujung saluran atau terminal, seperti sebuah sub stasiun.

Gangguan ini tersebar sebagai gelombang berjalan hingga akhir saluran. Biasanya gelombang berjalan ini merupakan gelombang dengan frekuensi tinggi. Gelombang ini bisa dipantulkan, ditransmisikan, teredam, atau terdistorsi selama penyebaran sampai energinya terserap. Sebuah jalur transmisi terdiri dari beberapa unsur elektrik, misalnya R , L , C dan G .

Ada juga reaktansi dan impedansi yang juga merupakan karakteristik dari saluran transmisi. Reaktansi merupakan tahanan yang bereaksi terhadap perubahan tegangan atau perubahan arus. Sedangkan impedansi mengacu pada keseluruhan dari sifat tahanan terhadap arus baik mencakup resistansi, reaktansi atau keduanya. Reaktansi terbagi menjadi 2 yaitu reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif. Adapun rumusnya sesuai persamaan (2) dan (3):

$$X_L = 2\pi fL \quad (2)$$

dan

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} \quad (3)$$

1). *Transien Saluran Transmisi*

Tegangan lebih transien (*transient overvoltage*) yang terjadi pada suatu sistem tenaga dapat disebabkan oleh faktor luar (misalnya petir) atau ditimbulkan dari dalam oleh kerja swiching. Transien yang terjadi pada sistem transmisi pada umumnya disebabkan oleh perubahan yang mendadak pada kondisi kerja atau konfigurasi (susunan) sistem. Petir merupakan ancaman bahaya pada peralatan sistem tenaga listrik, adapun kerja swiching dapat juga meyebabkan kerusakan pada perlengkapan tersebut. Pada tegangan mendekati 230 kV perlindungan terhadap petir perlu diperhatikan tingkat isolasi dari saluran dan peralatan. Pada sistem dengan tegangan antara 230 kV dan 700 kV, kerja swiching maupun petir kemungkinan menyebabkan kerusakan pada isolasi. Pada tegangan di atas 700 kV surja swiching (*switching surges*) adalah faktor yang paling menentukan untuk tingkat isolasinya

Kabel bawah tanah harus tahan terhadap sambaran petir langsung dan dapat dilindungi terhadap transien yang berasal dari saluran udara. Tetapi karena alasan ekonomis dan teknis, saluran udara pada tingkat tegangan transmisi adalah jauh lebih banyak, kecuali pada keadaan yang luar biasa dan untuk jarak pendek seperti misalnya untuk dibawah sungai.

Dalam banyak hal saluran atas-tiang dapat dilindungi dari serangan petir yang langsung oleh satu atau beberapa kawat dengan potensial tanah yang tergantung di atas penghantar saluran daya. Kawat pelindung ini, yang juga dinamakan kawat tanah, terhubung ke tanah melalui menara transmisi yang menopang saluran daerah yang dianggap aman biasanya adalah 30° di sebelah menyebelah bidang tegak dibawah kawat tanah; jadi saluran daya harus berada di dalam sektor 60° ini. Dalam kebanyakan kasus kawat-kawat tanahlah yang menerima serangan petir, dan bukannya saluran daya.

Sambaran petir yang menghantam kawat tanah atau penghantar daya menyebabkan suatu injeksi arus yang terbagi dua, setengahnya mengalir ke satu arah dan setengahnya lagi ke arah yang lain. Nilai puncak arus pada penghantar yang terkena petir banyak berbeda karena intensitas sambaran petir itupun berbeda-beda. Nilai-nilai yang sering didapatkan adalah 10.000 A atau lebih. Dalam kasus-kasus dimana saluran daya langsung terkena petir, kerusakan perlengkapan pada ujung-ujung saluran disebabkan oleh tegangan antara saluran dan tanah yang diakibatkan oleh muatan-muatan yang diinjeksikan yang bergerak sepanjang saluran sebagai arus. Tegangan-tegangan ini biasanya sampai lebih dari satu juta volt. Sambaran petir pada kawat tanah dapat juga menyebabkan surja tegangan tinggi pada saluran daya karena induksi elektromagnetis.[4]

2). *Analisa Transien : Gelombang Berjalan*

Saluran tanpa rugi (*lossless line*) adalah representasi yang baik dari saluran frekuensi tinggi di mana ωL dan ωC menjadi sangat besar dibandingkan dengan R dan G .

Pendekatan yang dipilih untuk persoalan ini sama seperti yang telah digunakan terdahulu untuk menurunkan hubungan tegangan dan arus dalam keadaan tetap (*steady state*) untuk saluran yang panjang dengan konstanta yang tersebar merata (*distributed constants*) dan akan diukur jarak x sepanjang saluran dari ujung pengirim (bukan dari ujung penerima) ke elemen diferensial dengan panjang Δx . Tegangan v dan arus i adalah fungsi-fungsi x dan t , sehingga perlu menggunakan turunan sebagian (*partial derivative*).

3). *Analisa Transien : Pantulan*

Jika sakelar ditutup dan suatu tegangan terhubung pada saluran, suatu gelombang tegangan v^+ mulai berjalan sepanjang saluran diikuti oleh suatu gelombang arus i^+ . perbandingan antara tegangan v_R dan arus i_R di ujung saluran pada setiap saat harus sama dengan resistansi penutup Z_R . karena itu kedatangan v^+ dan i^+ di ujung penerima dimana nilai-nilainya adalah V_R^+ dan I_R^+ harus menimbulkan gelombang yang berjalan ke belakang atau gelombang-gelombang pantulan v^- dan i^- yang nilainya di

ujung penerima adalah v_R^- dan i_R^- sedemikian sehingga seperti persamaan (4)

$$\frac{v_R}{i_R} = \frac{v_R^+ + v_R^-}{i_R^+ + i_R^-} = Z_R \quad (4)$$

Dimana v_R^- dan i_R^- adalah gelombang pantulan v^- dan i^- yang diukur pada ujung penerima. Jika $Z_C = \sqrt{L/C}$ maka menjadi seperti persamaan (5) dan (6),

$$i_R^+ = \frac{v_R^+}{Z_C} \quad (5)$$

dan

$$i_R^- = \frac{v_R^-}{Z_C} \quad (6)$$

Kemudian dimasukan nilai i_R^+ dan i_R^- kedalam persamaan (7) menghasilkan

$$v_R^- = \frac{Z_R - Z_C}{Z_R + Z_C} v_R^+ \quad (7)$$

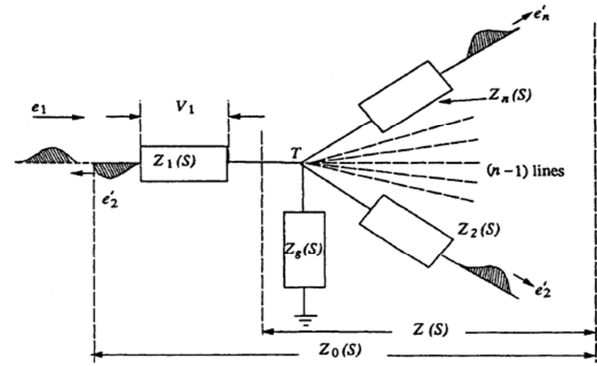
Tegangan v_R^- di ujung penerima adalah fungsi yang sama dari t seperti v_R^+ (tetapi dengan besar yang berkurang kecuali Z_R sama dengan nol atau tak terhingga). Koefisien pantulan ρ_R untuk tegangan pada ujung penerima saluran didefinisikan sebagai v_R^-/v_R^+ , jadi untuk tegangan sesuai dengan persamaan (8),

$$\rho_R = \frac{Z_R - Z_C}{Z_R + Z_C} \quad (8)$$

Jika saluran ditutup dengan impedansi karakteristik Z_C , terlihat bahwa koefisien pantulan baik untuk tegangan maupun untuk arus akan sama dengan nol. Tidak akan ada gelombang pantulan, dan saluran akan berlaku seakan-akan panjangnya tidak terhingga. Hanya jika suatu gelombang pantul kembali ke ujung pengirim, barulah sumber tegangan merasakan bahwa saluran itu tidak terhingga panjangnya atau tidak ditutup dengan Z_C .

Penutupan dengan hubungan singkat (*short circuit*) menghasilkan suatu ρ_R untuk tegangan yang sama dengan -1. Jika ujung saluran merupakan suatu rangkaian terbuka, Z_R adalah tak terhingga dan ρ_R didapatkan dengan membagi pembilang dan penyebut dengan Z_R dan membuat Z_R mendekati tak terhingga untuk menghasilkan $\rho_R = 1$ pada batas untuk tegangan.

Gelombang yang berjalan kembali ke arah ujung pengirim akan menyebabkan pantulan-pantulan baru yang ditentukan oleh koefisien pantulan pada ujung pengirim ρ_S . Untuk impedansi ujung pengirim sama dengan Z_S sehingga persamaan (8) menjadi persamaan (9)



Gambar 1. Titik transisi (T) dan penyebaran gelombang di titik transisi

$$\rho_S = \frac{Z_S - Z_C}{Z_S + Z_C} \quad (9)$$

Dengan Z_S sebagai impedansi ujung pengirim, nilai tegangan permulaan yang dikenakan pada saluran akan sama dengan tegangan sumber yang dikalikan dengan $Z_C/(Z_S + Z_C)$. Pada saat sumber dihubungkan ke saluran Z_C dan Z_S dalam hubungan seri maka gelombang tegangan yang datang merasakan suatu impedansi saluran Z_C dan bekerja sebagai suatu pembagi tegangan.[3]

4). Refleksi Dan Transmisi Gelombang Pada Titik Transisi

Setiap kali ada perubahan mendadak dalam parameter saluran transmisi, seperti rangkaian terbuka atau pemutusan hubungan, gelombang berjalan mengalami transisi, gelombang dipantulkan atau dikirim kembali dan hanya sebagian ditransmisikan ke depan. Pada titik transisi, gelombang tegangan atau arus dapat mencapai nilai yang dapat bervariasi dari nol sampai dua kali nilai awalnya.

Gelombang datang disebut gelombang datang dan gelombang lainnya disebut gelombang pantulan dan ditransmisikan pada titik transisi gelombang tersebut dibentuk sesuai dengan hukum kirchhoff's dan mereka memenuhi persamaan *diferensial line*. [1]

E. Diagram Lattice Bewley

Adalah sebuah diagram yang diperkenalkan oleh Bewley, yang menunjukkan suatu pengamatan posisi dan arah pergerakan masing-masing gelombang (gelombang keluaran, gelombang pantulan dan gelombang terusan) dalam sistem pada setiap saat. Diagram ini mampu mengatasi kesulitan dalam mengamati penggandaan pemantulan yang terjadi berturut-turut pada bermacam-macam simpangan.

Dianggap bahwa suatu saluran transmisi mempunyai resistansi R, induktansi L, konduktansi G dan

kapasistansi C. semua dalam per satuan panjang. Jika

γ = konstanta perambatan (propagasi) saluran transmisi, dan

E = besar nilai surja tegangan pada sending end

Biasanya, faktor redaman k berkaitan dengan panjang saluran yang partikuler. Dimisalkan $k = e^{-\alpha l}$ untuk panjang saluran l.

Konstanta perambatan saluran γ dari sebuah saluran dengan impedansi seri per satuan panjang Z dan admitansi shunt per satuan panjang y diberikan sesuai persamaan (10)

$$\gamma = \sqrt{z \cdot y} = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} \tag{10}$$

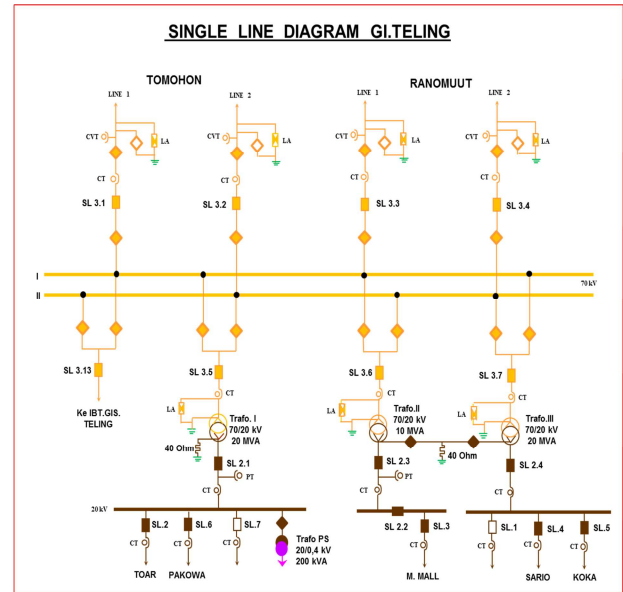
Dengan cara yang sama, impedansi surja saluran (impedansi karakteristik) Z_c sesuai persamaan (11)

$$Z_c = \sqrt{\frac{z}{y}} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \tag{11}$$

Ketika sebuah surja tegangan, dengan besar nilai satuan, menjangkau sebuah simpangan di antara dua bagian saluran dengan impedansi surja Z_1 dan Z_2 , maka suatu bagian α diteruskan dan suatu bagian β di pantulkan balik. Saat melintas saluran kedua, jika faktor redaman adalah k, ketika telah menjangkau ujung penutupan saluran kedua maka amplitude surja tersebut akan berkurang nilainya menjadi $k \cdot \alpha$. Diagram *lattice* dapat dirancang sebagai berikut ini. Ditentukan ujung-ujung saluran dengan interval waktu yang sesuai telah dipilih, maka garis-garis diagonal pada diagram tersebut menunjukkan sebuah perjalanan gelombang.

Dalam merancang diagram *lattice bewley*, ada hal-hal yang harus diperhatikan:

- 1) Semua gelombang berjalan dengan arah menurun seiring dengan bertambahnya waktu.
- 2) Posisi semua gelombang pada setiap saat dapat diperkirakan langsung dari diagram.
- 3) Potensial (nilai gelombang) pada setiap titik, di setiap waktu, merupakan superposisi dari semua gelombang yang telah sampai di titik tersebut hingga suatu waktu tersebut.
- 4) Perjalanan gelombang tersebut mudah untuk dilacak. Sangatlah mungkin untuk menemukan dimana gelombang tersebut dan gelombang lain yang menjadi penyusunnya itu datang.
- 5) Redaman diperhitungkan. Maka, gelombang yang sampai pada ujung saluran yang jauh mempunyai hubungan dengan nilai masukan gelombang dikalikan faktor redaman saluran.[5]



Gambar 2. Single Line Diagram GI Teling

II. DATA DAN PERHITUNGAN

A. Gardu Induk Teling

Gardu Induk Teling merupakan salah satu gardu induk yang termasuk dalam sistem minahasa. Gardu Induk Teling terhubung dengan saluran transmisi. Gardu Induk Teling memiliki tegangan sistem 70 kV (GI Teling – GI Tomohon), 150 kV (GI Teling – GIS Teling), 70 kV (GI Teling – GI Ranomut). Gardu Induk Teling berada di daerah mapanget.

Dalam Gambar 2 energi listrik dari GI Teling dipasok ke pelanggan dengan menggunakan 3 penyulang yaitu SL 3.5, SL 3.6 dan SL 3.7.

Untuk mempelajari gelombang berjalan pada saluran transmisi gardu induk teling-tomohon diperlukan data tipe kawat, panjang saluran, tahanan jenis kawat, dan jari-jari kawat yang terpasang. Data yang didapatkan akan digunakan untuk menganalisa gelombang berjalan pada saluran transmisi gardu induk teling-tomohon.

B. Data Teknis Gardu Induk Teling

Dalam penelitian ini ada beberapa data teknis yang didapatkan dari gardu induk teling, AP2B tomohon dan tragi teling. Adapun data-data teknis yang diperoleh dan digunakan sebagai penunjang analisa yang saya lakukan adalah sebagai berikut; :

1) Data Sambaran Petir Pada Tower

Sambaran petir di saluran transmisi sering terjadi, Tabel I terdapat data sambaran petir yang terjadi di sekitar tower transmisi teling-tomohon.

TABEL I
DATA SAMBARAN PETIR PADA TOWER

No	Transmission Line	Sambaran Petir	No Tower			Terdekat	Target Lokasi Pemasangan
			<2 KM	<1 KM	<0,5 KM		
9	Teling - Tomohon	1	63,64,65	-	-	65	-
		2	51,52,53,54,55,56,57,58,59,60,61	55	-	55	55
		3	42,43,44,45,46	47,48,49,50,51,52,53,54,55	35,36,37,38	49	49
		4	29,30,31,32,40,41,42,43	33,34,39	27,28,29	37	-
		5	20,21,22,23,31,32,33,34	24,25,26,30		28	34
		6	42,43,44,45,46,47			45	42,47
		7	31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41			36	31,47

2) Data Spesifikasi Kawat Saluran Udara

Gardu induk dalam sistem minahasa dihubungkan dengan saluran udara tegangan tinggi (SUTT). Tabel II ini memaparkan tegangan, tipe, diameter, panjang dan tahanan jenis kawat yang digunakan GI teling-tomohon.

3) Data Reaktansi Saluran

Untuk menentukan nilai induktif dan kapasitif pada saluran transmisi gardu induk teling, maka diperlukan data dan parameter-parameter yang digunakan untuk melakukan analisa. Data ini di ambil dari buku "electric power transmission system engineering". Data ini dipilih berdasarkan diameter kawat. Nilai frekuensi yang digunakan pada reaktansi ini adalah 60 Hz.

C. Perhitungan Tegangan Tertinggi Sistem

Untuk menentukan nilai rating tegangan pada gelombang berjalan dari gardu induk teling, maka diperlukan data dan parameter-parameter yang digunakan untuk melakukan analisa. Diantara lain data tegangan sistem gardu induk teling dan jumlah hari guruh per tahun atau IKL (Iso Kreanuc Level)

Rating tegangan arrester adalah tegangan bolak-balik maksimum yang diperbolehkan pada terminal arrester, dimana tegangan ini dapat memutus arus susulan (*power follow current*) yang terjadi ketika arrester mengalami percikan dimana dalam penentuan tegangan ini berguna untuk mengetahui tegangan tertinggi yang dapat dihasilkan gardu induk teling.

$$U_m = 1.1 \times U_{ff}$$

Dimana :

$$U_m = \text{Tegangan maksimum fasa ke tanah}$$

$$U_{ff} = \text{tegangan sistem fasa ke fasa}$$

TABEL II
DATA SPESIFIKASI KAWAT SALURAN UDARA

No	Nama GI	Tegangan	Tipe	Diameter	Panjang	P
1	GI Teling	70 kV	ACSR 173.1	14,85	17.000	2.65×10^{-8}
2	GI Teling	70 kV	ACSR 173.1	14,85	17.000	2.65×10^{-8}

TABEL III
DATA REAKTANSI INDUKTIF DAN REAKTANSI KAPASITIF

Code	Area (Cmil)	Diameter (mil)	Single Conductor	
			X_L	X_C
Ostrich	300.000	0,68	0,4583	0,1057

Maka,

$$\begin{aligned} U_m &= 1.1 \times U_{ff} \\ &= 1.1 \times 66 \\ &= 72.6 \text{ kV} \end{aligned}$$

D. Luas Penampang Kawat Pada Saluran Transmisi

Untuk dapat menentukan luas penampang kawat maka dibutuhkan data diameter atau jari-jari kawat yang terpasang pada saluran GI Teling – Tomohon. Diameter kawat ($D = 14,85\text{mm}$) berdasarkan Tabel 2. Sebelum menghitung luas penampang kawat, jari harus kawat harus di hitung terlebih dahulu

$$\begin{aligned} r \text{ (jari-jari kawat)} &= D \text{ (diameter kawat)} / 2 \\ &= 14,85 / 2 \\ &= 7,42 \text{ mm} \end{aligned}$$

Setelah jari-jari kawat didapatkan maka luas penampang bisa langsung dicari dengan rumus :

$$A = \pi r^2$$

Dimana : A = Luas penampang kawat

r = Jari-jari kawat

Maka,

$$\begin{aligned} A &= \pi r^2 \\ &= 3,14 \times 7,42^2 \\ &= 172,88 \text{ mm}^2 \\ &= 1,72 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

E. Nilai Tahanan Pada Saluran Transmisi

Setelah nilai luas penampang pada kawat didapat, maka dicari nilai tahanan dari saluran transmisi gardu induk teling – tomohon. Untuk mencari nilai tahanan maka digunakan rumus pada persamaan (1)

$$R = \rho \frac{l}{A} \Omega$$

$$= 2,65 \times 10^{-8} \times \frac{17.000}{1,72 \times 10^{-4}}$$

$$= 2,62 \Omega$$

F. Reaktansi Saluran Gardu Induk Teling - Tomohon

Untuk mencari nilai L dan C pada saluran gardu induk teling maka digunakan data pada Tabel 3 dan rumus pada persamaan (2) dan (3).

1) Induktif

Untuk mencari nilai induktif maka digunakan rumus sebagai berikut:

$$X_L = 2\pi fL$$

Dimana :

$$f = \text{Frekuensi (Hz)}$$

$$L = \text{Induktansi (H/mi)}$$

Maka,

$$X_L = 2\pi fL$$

$$0,4583 = 2 \times 3,14 \times 60 \times L$$

$$L = \frac{0,4583}{376,8}$$

$$= 0,001216 \text{ H/mi}$$

$$= 1,216 \times 10^{-3} \text{ H/mi}$$

2) Kapasitif

Untuk mencari nilai kapasitif maka digunakan rumus sebagai berikut :

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

Dimana :

$$f = \text{Frekuensi (Hz)}$$

$$C = \text{Kapasitansi (\mu F/mi)}$$

Maka,

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

$$0,1057 = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 60 \times C}$$

$$C = \frac{1}{376,8 \times 0,1057}$$

$$= 0,025 \mu\text{F/mi}$$

G. Impedansi Karakteristik

Setelah didapati nilai L dan C maka selanjutnya dicari nilai Zc (impedansi karakteristik) pada saluran transmisi teling – tomohon. Untuk mendapatkan nilai Zc, terlebih dahulu dicari nilai z dan y.

$$z = R + j2\pi fL$$

$$= 2,62 + j 2 \times 3,14 \times 50 \times 1,216 \times 10^{-3}$$

$$= 2,62 + j0,38$$

$$= 2,64 \angle 8,25^\circ \Omega/\text{mi}$$

$$y = j2\pi fC$$

$$= j 2 \times 3,14 \times 50 \times 0,025 \times 10^{-6}$$

$$= j 7,85 \times 10^{-6}$$

$$= 7,85 \times 10^{-6} \angle 90^\circ \text{ S/mi}$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{z}{y}}$$

$$= \sqrt{\frac{2,64 \angle 8,25^\circ}{7,85 \times 10^{-6} \angle 90^\circ}}$$

$$= \sqrt{336.305} \angle 8,25^\circ - 90^\circ$$

$$= 579,9 \angle -81,75^\circ \Omega$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Nilai Koefisien Pantulan Penerima dan Pengirim

Dalam menghitung gelombang berjalan pada saluran transmisi gardu induk teling – tomohon maka perlu ditentukan dulu nilai dari koefisien pantulan saluran transmisi tersebut. Dengan menggunakan persamaan (8) dan (9) maka perhitungan koefisien pantulan sebagai berikut :

$$\rho_R = \frac{2,62 - 579,9}{2,62 + 579,9}$$

$$= \frac{-577,28}{582,52}$$

$$= -0,991$$

$$\rho_S = \frac{0 - 579,9}{0 + 579,9}$$

$$= \frac{-579,9}{579,9}$$

$$= -1$$

B. Perhitungan Gelombang Pantulan Pada Ujung Penerima Dan Pengirim

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan diatas, maka besar nilai tegangan pada ujung penerima, tegangan ujung pengirim dan selisih tegangan pada saluran dapat dilihat pada Tabel IV.

TABEL IV
HASIL HASIL HITUNG GELOMBANG PANTULAN

Tegangan ujung penerima (v_R)	Tegangan ujung pengirim (v_S)	Selisih tegangan pada ujung penerima (v_R)	
v_1^-	-69,37	v_2^- 69,37	v_R 0,63
v_3^-	-68,74	v_4^- 68,74	v_R 1,26
v_5^-	-68,12	v_6^- 68,12	v_R 1,88
v_7^-	-67,5	v_8^- 67,5	v_R 2,5
v_9^-	-66,89		v_R 3,11

C. Analisa Hasil Perbandingan Gelombang Berjalan Pada Saluran Transmisi GI Teling

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa gelombang yang berjalan pada saluran ini makin lama akan makin teredam. Jika kita bandingkan nilai redaman dengan jumlah tower yang ada pada saluran transmisi ini, kita bisa menyimpulkan bahwa hampir tiap tower bisa meredam tegangan lebih sebesar 1% tapi ada beberapa tower yang tidak dapat meredam dengan baik dikarenakan jarak antar tower yang cukup panjang dan peralatan proteksi atau *grounding* di tower yang mulai berkurang efisiensinya sehingga redaman untuk gelombang pantulannya menjadi berkurang.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan pada penelitian ini, dapat ditarik beberapa kesimpulan berikut, yaitu tegangan lebih yang diakibatkan petir pada saluran transmisi GI Teling akan teredam karena konfigurasi salurannya pada kedua ujung GI memiliki Lightning Arrester yang dipasang secara paralel dengan CVT. Dari hasil perhitungan gelombang berjalan pada saluran transmisi dengan tegangan sistem 70 kV, didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut :

$$Z_c = 579,9 \Omega$$

$$\rho_R = -0,991$$

$$\rho_S = -1$$

$$v_R = 0,63 \text{ kV}$$

Berdasarkan perhitungan maka diketahui gelombang yang diredam pada ujung penerima sebesar 0,63 kV

B. Saran

Dari hasil analisa yang saya lakukan kiranya dapat menjadi referensi untuk perhitungan gelombang berjalan pada gardu induk teling di Manado

Nilai hasil perhitungan dapat diolah lebih lanjut untuk referensi menentukan gelombang berjalan pada saluran transmisi dari teling – ranomuut.

V. KUTIPAN

- [1] M. S. Naidu., 1995. *High Voltage Engineering*, New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited.
- [2] T. S. Hutauruk., 1985. *Transmisi Daya Listrik*, Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [3] W. Stevenson., *Elements Of Power System Analysis Third Edition – Terjemahan Indonesia*
- [4] T. Gonen., 1988. *Electric Power Transmission System Engineering: Analysis and Design*, California State University Sacramento: A Wiley-Interscience Publication, California.
- [5] Anonimous., *Diktat Teknik Tegangan Tinggi*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [6] Alexsander, B. (2018). *Analisa Koordinasi Isolasi Peralatan di Gardu Induk Teling 70 kV*. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer*, 7(2)
- [7] Luntungan, R. (2018). *Analisa Daerah Lindung dan Grounding Pada Tower Transmisi Akibat Terjadinya Back Flashover*. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer*, 7(3)
- [8] Pranoto A. (2018) *Analisa Sistem pentanahan Gardu Induk Teling Dengan Kontruksi Grid (Kisi-Kisi)*. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer*, 7(3)

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Christoper A. Santijatodjaja, anak pertama dari dua bersaudara. Lahir dari pasangan suami-istri, Ayah : Januar Sandrawidjaja dan Ibu : Heidy Sutjiato, di Manado pada tanggal 11 Januari 1997, Penulis telah menempuh pendidikan secara berturut-turut di, TK Nissi (2001-2002), SD GMIM 1 Bitung (2002-2008), SMP Negeri 2 Bitung (2008-2011), SMA Negeri 2 Bitung (2011-2014). Dan pada tahun 2014 penulis memulai pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado di Jurusan Teknik Elektro, dengan mengambil konsentrasi Minat Teknik Tenaga Listrik pada tahun 2016. Dalam menempuh pendidikan penulis juga pernah melaksanakan Kerja Praktek yang bertempat di PT. PLN Persero, AP2B Sistem Minahasa, Tomohon pada 12 Juni 2017 s/d 11 Agustus 2017. Begitu pula selama menempuh pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado, penulis juga aktif dalam organisasi mahasiswa Himpunan Mahasiswa Elektro (HME).