

# Analisa Koordinasi Isolasi Peralatan di Gardu Induk Teling 70 kV

Brando Alexsander R, Lily S Patras, Fielman Lisi

Teknik Elektro Universitas Sam Ratulangi Manado, Jl. Kampus Bahu-Unsrat Manado, 95115

Email: brandoalexsander0@gmail.com, lilyspatras@gmail.com, fielmanlisi@gmail.com

## Abstract

*Along with the development of the era, the need for electrical energy continues to increase, with the increasing demand for electrical energy, the power system must also be adequate for the reliability of power systems can also grow. In the substation there is a setting of coordination Isolation. The Isolation must be planned and arranged appropriately, so that the isolation coordination within the substation can work optimally.*

*Isolation planning in the Parent Station Teling, aims to create a system whose parts, respectively and each other have an insulation resistance such that in every operational condition the quality of service / supply of electricity can be achieved with a minimum cost possible. This analysis is used to improve high security and economical prices work by limiting the surge of over voltage and discharge to the ground and must be able to drain without making equipment damage.*

**Keywords:** arrester, BIL, coordination of isolation, over voltage

## Abstrak

*Seiring dengan berkembangnya zaman, kebutuhan akan energy listrik terus meningkat, dengan meningkatnya kebutuhan akan energy listrik maka sistem tenaga listrik juga harus memadai agar kehandalan sistem tenaga listrik juga dapat berkembang. Dalam gardu induk terdapat settingan koordinasi Isolasi. Perhitungan harus direncanakan dan diatur dengan tepat, agar koordinasi isolasi yang berada dalam gardu induk dapat bekerja optimal.*

*Perhitungan Isolasi di Gardu Induk Teling, bertujuan untuk menciptakan suatu sistem yang bagian-bagiannya, masing-masing dan satu sama lainnya mempunyai ketahanan isolasi yang sedemikian rupa sehingga dalam setiap kondisi operasi kualitas pelayanan/penyediaan tenaga listrik dapat dicapai dengan biaya yang seminimum mungkin. Analisa ini digunakan untuk meningkatkan keamanan yang tinggi dan harga yang ekonomis bekerja dengan membatasi surja tegangan lebih dan mengalirkannya (discharge) ketanah dan harus mampu mengalirkan tanpa membuat peralatan mengalami kerusakan.*

**Katakunci :** arrester, BIL, koordinasi isolasi, tegangan lebih,

## I. PENDAHULUAN

Gardu induk listrik merupakan bagian dari sistem tenaga listrik, gardu induk adalah terminal sistem tenaga listrik yang menghubungkan jaringan transmisi dan jaringan distribusi, yang berarti merupakan bagian penting penyaluran tenaga listrik. Dalam Gardu Induk dikenal “Koordinasi Isolasi” yang mengatur perlindungan peralatan-peralatan yang berada dalam Gardu Induk agar terhindar dari bahaya tegangan lebih serta agar dapat meminimalkan biaya perawatan.

Dilihat dari sisi sumber gangguan, terdapat berbagai macam gangguan yang terjadi pada isolasi, yaitu ;

- 1).Tegangan lebih petir (*Lightning over voltage*)
- 2).Tegangan lebih surja hubung (*Switching over voltage*)
- 3).Tegangan lebih sementara (*temporary over voltage*).

Koordinasi Isolasi yang baik akan mampu menahan tegangan kerja sistem yang normal dan tegangan tidak normal yang mungkin muncul dalam sistem, Isolasi juga harus mampu meminimalkan apabila terjadi kegagalan atau fenomena yang terjadi pada tempat-tempat gangguan sehingga meminimalkan kerusakan hanya pada bagian yang mengalami kerusakan tanpa merambat ke bagian lain.

Adanya masalah-masalah yang muncul dalam isolasi maka perlu dilakukan perhitungan tingkat isolasi serta penentuan BIL (*Basic Isolation Level*) dari setiap peralatan, untuk menghindari kerusakan akibat kegagalan-kegagalan isolasi peralatan gardu induk ketika bekerja sehingga dapat bekerja sesuai dengan standard dan dipasang dengan benar.

Untuk itu kami mencoba membuat penelitian tugas akhir dengan judul “Analisa Koordinasi Isolasi Peralatan di Gardu Induk Teling 70 KV”.

### A. BIL (*Basic Isolation Level*)

Kekuatan untuk menahan tegangan sering dinyatakan dalam bentuk tingkat isolasi dasar (*BIL*).

Untuk setiap tegangan sistem memiliki *BIL (Basic Isulation Level)* yang telah ditentukan sesuai dengan standart internasional yang berlaku. Sebagian besar peralatan di gardu induk seperti trafo, pemutus daya, saklar pemisah, trafo arus, trafo tegangan ; dibuat dengan tingkat isolasi yang sama. Kecuali trafo yang kadang-kadang di produksi dengan tingkat isolasi yang lebih rendah dengan 15% an ekonomis, dan trafo umumnya dilindungi langsung oleh arrester.

Arrester diletakan dekat dengan trafo, sehingga perlindungan peralatan listrik di gardu induk tidak semua dapat dilindungi arrester. Daerah lindung arrester ditentukan oleh 3 faktor yaitu :

- 1). Ketahanan isolasi dari peralatan
- 2). Tegangan kerja dari penangkap petir
- 3). Jarak antara penangkap petir dengan peralatan tersebut.

Berdasarkan penjelasan diatas, maka peralatan-peralatan yang tidak dilindungi atau berada diluar daerah lindung dari *arrester* akan diberikan BIL yang satu tingkat lebih tinggi dari peralatan-peralatan yang berada di daerah lindung *arrester*. Pada umumnya tingkat isolasi dari peralatan gardu induk seperti pemutus daya, saklar pemisah, trafo pengukuran mempunyai BIL 10% lebih tinggi dari BIL trafo.

Tingkat isolasi *phasa-phasa* pada saklar pemisah yang terbuka harus 10-15% lebih tinggi dari tingkat isolasi *phasa-grounding*.

### B. Koordinasi Isolasi

Prinsip dasar dari koordinasi isolasi adalah kemampuan tingkat isolasi saluran transmisi harus disesuaikan dengan tegangan sistem serta isolasi peralatan listrik yang terpasang. Sehingga pada saat terjadi kegagalan isolasi maka kerusakan yang terjadi hanya pada daerah terjadi kegagalan dan tidak mengganggu kerja peralatan listrik lainnya.

Untuk gelombang tegangan akibat dari sambaran petir, tegangannya sangat tinggi, sehingga hampir tidak mungkin mengisolasi peralatan sistem terhadap tegangan tersebut. Untuk itu pengamanan petir digunakan kawat tanah dan tahanan tanah yang rendah, serta untuk gelombang yang datang ke gardu induk digunakan arrester. Peralatan sistem juga harus mempunyai ketahanan isolasi yang cukup serta sesuai dengan sistem pengamannya.

Dalam penerapan koordinasi isolasi, digunakan prinsip-prinsip sebagai berikut :

- 1) Arrester dipakai sebagai alat utama, sehingga tegangan lebih harus ditentukan untuk peralatan yang dilindungi oleh arrester. Penggunaan arrester harus disesuaikan dengan tegangan sistem.
- 2) Tegangan sistem meliputi tiga harga :
  - a. Tegangan nominal sistem
  - b. Tegangan dasar sistem
  - c. Tegangan maksimum sistem

Koordinasi Isolasi yang baik akan menjamin kurva dari peralatan harus selalu berada diatas kurva alat pelindung (*Lightning Arrester / Penangkap Petir*) pada seluruh daerah pada kurva tersebut, selain fungsi utama ini ada beberapa karakteristik koordinasi isolasi secara umum dalam skema pengamanan peralatan.

### C. Perhitungan Tegangan Tertinggi Sistem

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. Dapat dilihat pada persamaan (1) sebagai berikut.

$$Um = 1.1 \times Uff \quad (1)$$

Dimana :  $Um$  = Tegangan maksimum fasa ke netral

$Uff$  = Tegangan sistem fasa ke fasa

### D. Jumlah sambaran petir ( $N_L$ ) pada saluran Transmisi

Untuk menentukan jumlah sambaran petir ( $N_L$ ) pada saluran transmisi 70 kV Tomohon-Teling diperlukan data *thunderstorm* atau hari guruh untuk mencari banyaknya jumlah hari guruh atau IKL (*Iso Kreaunic Level*) pada daerah sekitaran saluran transmisi Tomohon-Teling. Berdasarkan dengan data hari guruh tahun 2016 nilai IKL = 128 sambaran per tahun.

**E. Impedansi Surja**

Dalam menentukan impedansi surja, terlebih dahulu harus diketahui jenis kabel transmisi yang digunakan dan kawat transmisi 70 kV pada saluran transmisi tomohon-teling adalah jenis ACSR (sesuai lampiran). Dimana diameter kawat ( $d= 14,85\text{mm}$ ) berdasarkan tabel. Sebelum menghitung impedansi surja maka, jari-jari kawat ( $r$ ) harus ditentukan terlebih dahulu, seperti pada persamaan (2) sebagai berikut.

$$z = \sqrt{L/C} = 60 \ln \frac{2h}{r} \quad (\Omega) \quad (2)$$

dimana,  $r$  merupakan jari-jari kawat dan  $h$  adalah tinggi kawat diatas tanah.

**F. Jarak maksimum arrester dengan transformator yang dihubungkan dengan saluran udara.**

Perlindungan yang baik diperoleh bila arrester ditempatkan sedekat mungkin pada jepitan transformator. Tetapi didalam praktek sering arrester itu harus ditempatkan sejarak  $S$  dari transformator yang dilindungi. Karena itu jarak tersebut harus ditentukan agar perlindungan dapat berlangsung baik.

Sebuah gelombang terpa yang berjalan menuju gardu akan dipotong amplitudonya oleh arrester hingga hanya mempunyai amplitudo sebesar tegangan kerja dari arrester itu sendiri. Tegangan gelombang datang maksimum yang terjadi pada trafo setelah pantulan pertama adalah sebagaimana pada persamaan (3).

$$S = \frac{U_t - U_a}{2 \cdot \frac{du}{dt}} \cdot v \quad (3)$$

- $U_t$  = tegangan pada jepitan tranformator [kV]
- $U_a$  = tegangan kerja arrester/penangkap petir [kV]
- $du/dt$  = kecuraman dari gelombang datang [kV/ $\mu\text{det}$ ]
- $v$  = kecepatan rambat gelombang [di udara : 300m/  $\mu\text{det}$ ]
- $S$  = jarak antara trafo ke penangkap petir [m]

**G. Tegangan Tembus Isolator Udara**

Tegangan yang timbul di isolator saluran transmisi bergantung pada puncak dan kecuraman muka gelombang petir yang menyambar saluran transmisi. Sambaran petir yang terjadi di saluran

transmisi tidak semua mengakibatkan *flashover* pada isolator karena bergantung pada besar tegangan yang timbul dan tidak melewati nilai tegangan tembus isolator ( $U_d$ ), ditunjukkan pada persamaan (4) sebagai berikut

$$U_d = U_{50\%} = (K_1 + K_2 / t^{0,75}) \times 10^3 \text{ kV} \quad (4)$$

Dimana,

- $U_{50\%}$  = tegangan tembus isolator, kV
- $K_1$  = 0,4 W
- $K_2$  = 0,71 W
- $W$  = panjang rentengan isolator, meter
- $t$  = waktu tembus atau waktu lompatan api pada isolator,  $\mu\text{det}$

**H. Penentuan Rating Pengenal Arrester**

Tegangan pengenal arrester merupakan karakteristik yang paling penting untuk perlindungan gardu induk. Tegangan pengenal arrester menentukan tingkat perlindungan dari arrester, jika tegangan kerja arrester berada di bawah TID dari peralatan yang dilindungi, maka faktor keamanan yang optimum terhadap peralatan dapat diperoleh dengan persamaan (5).

$$U_c = \text{Teg. Sistem} \times 1.1 \times \text{koefisien pentanahan} \quad (5)$$

Jika nilai rating arrester dari GI di bawah 75% maka ditambahkan 7,5% sesuai dengan standart yang berlaku.

**I. Menentukan Arus Pelepasan Arrester ( $I_a$ )**

Untuk menentukan arus pelepasan arrester maka diperlukan parameter-parameter, diantara lain adalah nilai tegangan gelombang datang ( $U_d$ ), Impedansi surja ( $z$ ) dan tegangan kerja arrester ( $U_a$ ) sebagaimana pada persamaan (6)

Nilai  $U_d$  dapat diambil dari nilai  $U_{50\%}$  , karena tegangan yang muncul dari tegangan tembus isolator memiliki nilai yang sama dengan nilai tegangan kawat penghantar sehingga tegangan dari kawat merupakan tegangan gelombang yang datang ke gardu induk

Dimana,

$$U_{50\%} = 894 \text{ kV}$$

$$U_A = 216 \text{ kV}$$

$$z = 528 \Omega$$

$$I_a = \frac{2 \cdot U_d - U_A}{z} \quad (6)$$

### J. Faktor Perlindungan

Berdasarkan dengan teori yang dijelaskan di dasar teori, faktor perlindungan merupakan nilai tolak ukur dari tingkat perlindungan yang ada di gardu induk. Faktor perlindungan pada umumnya bernilai 20% dan faktor perlindungan yang baik tidak boleh berada dibawah 20%. Berdasarkan dengan teori diatas maka perhitungan FP berdasarkan dengan persamaan (7).

$$FP = BIL \text{ Peralatan} - \text{Tingkat Perlindungan Arrester}$$

Dimana ,

$$\text{Tingkat Perlindungan Arrester} = U_A \times 10\% (\text{panjang kawat} + \text{toleransi pabrik}) \quad (7)$$

### K. Penentuan BIL Trafo Gardu Induk Teling

Berdasarkan dengan analisa yang telah dilakukan diatas, maka nilai parameter-parameter untuk menentukan BIL Gardu Induk Teling telah memenuhi syarat, sehingga perhitungan BIL gardu induk teling dapat dilihat pada persamaan (8) sebagai berikut ;

$$\text{Penentuan BIL Trafo} = U_A + 20\% \text{ FP} \quad (8)$$

$$U_A = \text{Tingkat Perlindungan Arrester}$$

$$\text{FP} = 20\% \text{ Faktor Perlindungan}$$

$$\text{Penentuan Tegangan Lebih Switching} = \frac{U_n}{\sqrt{3}} \times 6,5$$

$$\text{Penentuan Tegangan Lebih Sementara} = \frac{U_n}{\sqrt{3}} \times 3$$

## II.METODE PENELITIAN

### A. Data Teknis

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini, adalah sebagai berikut :

- 1). Data teknis Transformator yang terpasang di Gardu Induk Teling, dapat dilihat pada tabel I.
- 2). Data teknis *Arrester* yang terpasang di Gardu Induk Teling, dapat dilihat pada tabel II.
- 3). Data Thunderstrom atau hari guruh pada tahun 2017. Data didapatkan dari stasiun Meteorologi dan Geofisika, dapat dilihat pada lampiran.
- 4). Data *Maximum Impulse Sparkover Test Voltages*, data didapatkan dari *IEC-701-2 ; Isulation Coordination*, data digunakan untuk menentukan tegangan kerja ( $U_c$ ) dari *arrester* dan kecuraman gelombang datang ( $du/dt$ ) dapat dilihat pada tabel III.
- 5). Data koordinat tower pada saluran transmisi Tomohon-Teling, data yang diambil adalah data ketinggian tower transmisi Teling. Dapat dilihat di lampiran
- 6). Data Standart Tingkat Isolasi Datar (TID) atau *Basic Insulation Level (BIL)* peralatan yang dilindungi. Didalam penelitian ini peralatan yang dilindungi adalah trafo dan peralatan disekitar area transformator. Dapat dilihat di tabel IV.
- 7). Data spesifikasi kabel saluran udara tomohon-teling, dimana kawat yang digunakan adalah kawat jenis ACSR 173.1. dapat dilihat ditabel V
- 8). Data sambaran petir pada tower transmisi jalur tomohon-teling.
- 9). Data peta kerapatan petir wilayah kota manado tahun 2017.
- 10). Data spesifikasi peralatan terpasang di Gardu Induk Teling tahun 2017.

TABEL I  
TABEL SPESIFIKASI KABEL SALURAN UDARA

No	Nama	Tegangan	Tipe	diameter
1	GI Teling	70 kV	ACSR173.1	14,85
2	GI Teling	70 kV	ACSR 173.1	14,85

TABEL II  
MAXIMUM IMPULSE SPARKOER TEST VOLTAGES

Arrester rating	F.O.W	10 kA Light and Heavy-duty and 5 kA Series A ff.		5 kA, Series B ff		2.5 kA		1.5 kA
		Std.** kV, peak	F.O.W.* kV, peak	Std.** kV, peak	F.O.W.* kV, peak	Std.* kV, peak	F.O.W.* kV, peak	F.O.W.* kV, peak
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.175	10	-	-	-	-	2.2	3.5	3.5
0.280	10	-	-	-	-	2.5	3.0	4.5
0.500	10	-	-	-	-	3.0	4.5	4.5
0.660	10	-	-	-	-	5.0	6.0	6.0
3	25	13	15	21	26	13	15	
4.5	37	17.5	20	-	36	17.5	20	
6	50	22.6	26	40	44	22.6	26	
7.5	62	27	31	-	52	27	31	
9	75	32.5	38	58	59	32.5	38	
10.5	87	38	44	-	-	38	44	
12	100	43	50	70	73	43	50	
15	125	54	62	80	83	54	62	
18	150	65	75	85	91	65	75	
21	175	76	88	HHH	106	76	88	
24	200	87	100	HHH	121	87	100	
27	225	97	112	HHH	133	97	112	
30	250	108	125	HHH	143	108	125	
33	275	119	137	HHH	HHH	119	137	
36	300	130	150	HHH	HHH	130	150	
39	325	141	162	HHH	HHH			
42	350	151	174					
51	425	184	212					
54	450	195	224					
60	500	216	250					
75	625	270	310					
84	700	302	347					
96	790	324	371					
102	830	343	394					
108	870	363	418					
120	940	400	463					
126	980	420	485					
138	1030	460	530					
150	1080	500	577					
174	1160	570	660					
186	1180	610	702					
198	1200	649	746					
16 225	1200	3.28U <sub>n</sub> **	3.78U <sub>n</sub> **					

TABEL III  
DATA TRANSFORMATOR TERPASANG DI GI TELING

No	Lokasi Transformator	Daya Terpasang (MVA)	Tegangan (kV)	Nilai Reaktansi (X) %	Hubungan Belitan ()
1	GI Teling Unit 1	20	70/20	12,2	Y-Y
2	GI Teling Unit 2	10	70/20	7,36	Y-Y
3	GI Teling Unit 3	20	70/20	11,77	Y-Y

s

TABEL IV  
TABEL ARRESTER TERPASANG DI GARDU INDUK TELING

No	Merk/Type	Terpasang	Rated Current	Voltage
1	MCGRAWEDISON/F-30	Bay P.Tomohon 1	10 kA	66 kV
2	BOWTHROPE BRIGHTON ENGLAND / IMB 75	Bay P. Tomohon 2	10 kA	66 kV
3	BOWTHROPE BRIGHTON ENGLAND / IMB 75	Bay P. Ranomut 1	10 kA	66 kV
4	BOWTHROPE BRIGHTON ENGLAND / IMB 75	Bay P. Ranomut 2	10 kA	66 kV
5	ABB / EXLIMQ072-EV072	Trafo 1	10 kA	66 kV
6	BOWTHROPE BRIGHTON ENGLAND / IMB 75	Trafo 2	10 kA	66 kV
7	BOWTHROPE BRIGHTON ENGLAND / IMB 75	Trafo 3	10 kA	66 kV

TABEL V  
PENETAPAN TINGKAT ISOLASI TRANSFORMATOR  
DAN PENANGKAP PETIR

SPESIFIKASI	TEGANGAN NOMINAL SISTEM		
	150 kV	66 kV	20 kV
Tegangan Tertinggi untuk Peralatan	170 kV	72,5 kV	24 kV
Pentanahan Netral	Efektif	Tahanan	Tahanan
Transformator Tegangan pengenalan (sisi tegangan tinggi)	150 kV	66 kV	20 kV
Tingkat Isolasi Dasar (TID)	650 kV	325 kV	125 kV
Penangkap petir Tegangan pengenalan	138 kV <sup>(1)</sup> 150 kV <sup>(1)</sup>	75 kV <sup>(1)</sup>	21 kV <sup>(1)</sup> 24 kV <sup>(1)</sup>
Arus pelepasan nominal	10 kA	10 kA 5kA	5 kA <sup>(2)</sup>
Tegangan pelepasan	460 kV <sup>(1)</sup> 500 kV <sup>(1)</sup>	270 kV <sup>(1)</sup>	76 kV <sup>(1)</sup> 87 kV <sup>(1)</sup>
Tegangan percikan denyut muka gelombang (MG)	530 kV 577 kV	310 kV	88 kV 100 kV
Tegangan percikan denyut Standar *)	460 kV 500 kV	270 kV	76 kV 87 kV
Kelas	10 kA tugas berat 10 kA tugas ringan	10 kA tugas ringan 5 kA seri A	5 kA Seri A

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk Analisa Koordinasi Isolasi Gardu Induk Teling, telah dilakukan beberapa perhitungan untuk mendapatkan parameter-parameter yang akan digunakan untuk penentuan BIL Transformator Gardu Induk Teling, perhitungan tersebut antara lain.

#### A. Penentuan Tegangan Tertinggi Sistem

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.

$$U_m = 1.1 \text{ Uff}$$

Dimana :  $U_m$  = Tegangan maksimum fasa ke netral

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

Maka,

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

#### B. Frekuensi Sambaran Petir di Saluran Transmisi

Untuk menentukan jumlah sambaran petir ( $N_L$ ) pada saluran transmisi 70 kV Tomohon-Teling diperlukan data *thunderstorm* atau hari guruh untuk mencari banyaknya jumlah hari guruh atau IKL (*Iso Kreaunic Level*) pada daerah sekitaran saluran transmisi Tomohon-Teling. Berdasarkan dengan data hari guruh tahun 2016 nilai IKL = 128.

#### C. Impedansi Surja

Dalam menentukan impedansi surja, terlebih dahulu harus diketahui jenis kabel transmisi yang digunakan dan kawat transmisi 70 kV pada saluran transmisi tomohon-teling adalah jenis ACSR (sesuai lampiran). Dimana diameter kawat ( $d = 14,85 \text{ mm}$ ) berdasarkan tabel. Sebelum menghitung impedansi surja maka, jari-jari kawat ( $r$ ) harus ditentukan terlebih dahulu seperti pada persamaan (10).

$$\begin{aligned} r \text{ (jari-jari kawat)} &= D \text{ (diameter kawat)} / 2 \\ &= 14,85 / 2 = 7,42 \text{ mm} = 7,42 \times 10^{-3} \text{ m} \end{aligned} \quad (10)$$

Berdasarkan persamaan (10), maka

$$\begin{aligned} z &= \sqrt{L/C} = 60 \ln \frac{2h}{r} \text{ (}\Omega\text{)} \\ &= 60 \ln 2 \times (28,5) / 7,42 \times 10^{-3} \\ &= 60 \ln 57 / 7,42 \times 10^{-3} \\ &= 60 \ln 76819,701 \\ &= 60 \times 11,24 \\ &= 674.4 \Omega \end{aligned}$$

#### D. Tegangan Tembus Isolator Udara

Berdasarkan dengan persamaan diatas, maka dapat ditentukan tegangan tembus isolator udara ( $U_a$ ).

$W$  = panjang rentangan isolator untuk tegangan 70 kV (0,886).

$$K_1 = 0,4 \quad W = 0,4 \times 0,886 = 0,35$$

$$K_2 = 0,7 \quad W = 0,7 \times 0,886 = 0,62$$

$t$  = waktu tegangan berdasarkan waktu muka gelombang  $1,2 \mu\text{det}$ .

Maka ;

$$\begin{aligned}
 U_d = U_{50\%} &= (K_1 + K_2 / t^{0,75}) \times 10^3 \text{ kV} \\
 &= (0,35 + 0,62 / 1,2^{0,75}) \times 10^3 \\
 &= (0,35 + 0,62 / 1,14) \times 10^3 \\
 &= (0,35 + 0,544) \times 10^3 \\
 &= 894 \text{ kV}
 \end{aligned}$$

### E. Penentuan Rating Pengenal Arrester

Berdasarkan dengan analisa dan dasar teori yang telah dirumuskan di bab sebelumnya, penentuan rating pengenal arrester yang berhubungan dengan penentuan BIL Transformator di gardu Induk Teling.

Tegangan Pengenal Arrester ( $U_c$ ) merupakan karakteristik yang paling penting untuk perlindungan gardu induk. Tegangan pengenal arrester menentukan tingkat perlindungan dari arrester, jika tegangan kerja arrester berada di bawah TID dari peralatan yang dilindungi, maka faktor keamanan yang optimum terhadap peralatan dapat diperoleh.

Koefisien Pentanahan GI Teling : 0,7  $\Omega$

Teg. Dasar Sistem Teling : 70 kV

$U_c = \text{Teg. Sistem} \times 1.1 \times \text{koefisien pentanahan}$

$$= 70 \times 1,1 \times 0,7$$

$$= 53,9 \text{ kV}$$

Karena nilai rating arrester dari GI Teling di bawah 75% maka ditambahkan 7,5% sesuai dengan standart yang berlaku, sehingga

$$U_c = 53,9 \times 1.075$$

$$= 57,94 \text{ kV}$$

$$= 58 \text{ kV}$$

### F. Menentukan Arus Pelepasan Arrester ( $I_a$ )

Untuk menentukan arus pelepasan arrester maka diperlukan parameter-parameter, diantara lain adalah nilai tegangan gelombang datang ( $U_d$ ), Impedansi surja ( $z$ ) dan tegangan kerja arrester ( $U_a$ ).

Nilai  $U_a$  dapat diambil dari nilai  $U_{50\%}$ , karena tegangan yang muncul dari tegangan tembus isolator memiliki nilai yang sama dengan nilai tegangan kawat penghantar sehingga tegangan dari kawat merupakan tegangan gelombang yang datang ke gardu induk

Dimana,

$$U_{50\%} = 894 \text{ kV}$$

$$U_A = 216 \text{ kV}$$

$$z = 528 \Omega$$

$$\begin{aligned}
 I_a &= \frac{2 \cdot U_d - U_A}{z} \\
 &= \frac{2 \cdot (894) - (216)}{528} \\
 &= \frac{1788 - 216}{528} \\
 &= \frac{1572}{528} \\
 &= 2,97 \text{ kA} \\
 &= 3,0 \text{ kA}
 \end{aligned}$$

Arus pelepasan Arrester GI Teling adalah 3,0 kA dan memiliki tegangan sistem 70 kV, maka kelas arrester yang digunakan adalah kelas 10 kA *heavy duty* dan 5 kA kelas B.

### G. Faktor Perlindungan

Berdasarkan dengan teori yang dijelaskan di dasar teori, faktor perlindungan merupakan nilai tolak ukur dari tingkat perlindungan yang ada di gardu induk. Faktor perlindungan pada umumnya bernilai 20% dan faktor perlindungan yang baik tidak boleh berada dibawah 20%.

$$FP = BIL \text{ Peralatan} - \text{Tingkat Perlindungan Arrester}$$

Dimana ,

Tingkat Perlindungan Arrester =  $U_A \times 10\%$  (panjang kawat + toleransi pabrik)

$$= 216 \times 1,1$$

$$= 237,6 \text{ kV}$$

$$\text{Sehingga } FP = 325 - 237,6$$

$$= 87,4$$

$$= 87,4 / 325$$

$$= 0,268$$

$$FP = 26,8 \%$$

Faktor Perlindungan dari GI Teling sudah memenuhi standart dalam perlindungan Gardu Induk.

### H. Penentuan BIL Trafo Gardu Induk Teling

Berdasarkan dengan analisa yang telah dilakukan diatas, maka nilai parameter-parameter untuk menentukan BIL Gardu Induk Teling telah memenuhi syarat, sehingga BIL gardu induk teling adalah sebagai berikut ;

Penentuan BIL Trafo 1

(UNINDO - 70/120 kV-10 MVA)

$$\begin{aligned} 1) \text{ BIL Trafo 1} &= U_A + 20\% \text{ FP} \\ &= 216 \times 1,2 \\ &= 259,2 \text{ kV} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) \text{ BIL Trafo 2} &= U_A + 20\% \text{ FP} \\ &= 216 \times 1,2 \\ &= 259,2 \text{ kV} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3) \text{ BIL Trafo 3} &= U_A + 20\% \text{ FP} \\ &= 216 \times 1,2 \end{aligned}$$

$$= 259,2 \text{ kV}$$

$$4) \text{ BIL Tegangan lebih switching} = \frac{70}{\sqrt{3}} \times 6,5 = 262,6 \text{ kV}$$

$$5) \text{ BIL Tegangan lebih sementara} = \frac{70}{\sqrt{3}} \times 3 = 121,2 \text{ kV}$$

Dicheck; Ternyata tegangan lebih switching (262,2 kV) < TID Peralatan 325 kV

Ternyata tegangan lebih sementara (121,2 kV) < Tegangan ketahanan jala-jala (140 kV).

### I. Penempatan Arrester

Pada dasarnya arrester harus diletakan dekat dengan peralatan-peralatan penting di gardu induk, khususnya trafo. Arrester biasa dipasang pada ujung saluran transmisi yang terdapat gardu induk atau trafo yg memiliki fungsi vital.

Dimana,

$U_t$  = nilai tegangan diambil dari TID transformator sesuai perhitungan (259,2kV)

$U_A$  = tegangan kerja arrester yaitu 216kV

$du/dt$  = 482,83 kV/ $\mu$ s berdasarkan tabel 4 dan pendekatan pada lampiran

$v$  = kecepatan rambat gelombang [di udara : 300 m/ $\mu$ s]

$$\begin{aligned} S &= \frac{U_t - U_A}{2 \cdot \frac{du}{dt}} \cdot v \\ &= \frac{259,2 - 216}{2 \cdot (482,83)} \cdot 300 \\ &= \frac{43,2}{965,66} \cdot 300 \\ &= \frac{12960}{965,66} \\ &= 13,42 \text{ m} \end{aligned}$$

Berdasarkan dengan persamaan diatas, penempatan lokasi arrester dari tranformator adalah 13,42 meter, sehingga transformator dari peralatan di gardu induk cukup terlindungi.

Grafik perbandingan tegangan pengenal arrester dapat dilihat pada gambar 1.

TABEL VI

TABEL HASIL HITUNG TEGANGAN PENGENAL ARRESTER DI GARDU INDUK TELING

Tegangan Sistem (kV)	Tegangan Pengenal $U_c$ (kV)	Tegangan Kerja $U_A$ (kV)	Arus Pelepasan $I_A$ (kA)	Faktor Perlindungan (%)
70 kV	58 kV	216 kV	3,0 kA	26,8 %

TABEL VII

DATA HASIL PERHITUNGAN BIL GI TELING

No	Peralatan di Gardu Induk	BIL Transformator (kV)	BIL Tegangan Puncak Impuls (kV)	BIL Tegangan Ketahanan Frekuensi Jala-Jala (kV)
1	BIL Transformator 1	259.2 kV	262,6 kV	121,2 kV
2	BIL Transformator 2	259.2 kV	262,6 kV	121,2 kV
3	BIL Transformator 3	259.2 kV	262,6 kV	121,2 kV

Gambar 1.

Grafik Perbandingan Tegangan Pengenal Arrester



## KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil analisa dan pembahasan diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Tegangan tertinggi yang dapat diterima Gardu Induk Teling adalah 72,6 kV, dimana tegangan ini adalah tegangan yang menjadi parameter Arrester untuk bekerja.
- 2) Dari hasil perhitungan nilai pengenal atau rating arrester pada saluran transmisi dengan tegangan sistem 70 kV, didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut :
  - a) Tegangan Pengenal ( $U_c$ ) = 58 kV
  - b) Arus Pelepasan Arrester ( $I_A$ ) = 3.0 kA
  - c) Faktor Perlindungan GI Teling = 26.8 %
  - d) BIL Transformator 1 = 259.2 kV
  - e) BIL Transformator 2 = 259.2 kV
  - f) BIL Transformator 3 = 259.2 kV
3. Hasil hitung untuk jarak arrester dan transformator agar arrester dapat bekerja dan melindungi trafo serta peralatan lain dengan baik adalah 13,42 m. Analisa koordinasi isolasi yang saya lakukan didapatkan dengan asumsi gangguan terjadi pada saluran transmisi udara arah Tomohon-Teling.

### B. Saran

Saran yang dapat saya berikan berdasarkan dengan analisa yang saya lakukan adalah sebagai berikut ;

- 1) hasil analisa yang saya lakukan kiranya dapat menjadi referensi untuk perhitungan koordinasi gardu induk teling di Manado.
- 2) Nilai hasil perhitungan dapat diolah lebih lanjut untuk referensi penetapan koordinasi isolasi peralatan di gardu induk teling yang akan digunakan pada arrester yang terpasang

di gardu induk teling dan saluran transmisi dari tomohon-teling.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. D, Marsudi., *Operasi Sistem Tenaga Listrik*, Balai Penerbit & HUMAS ISTN, Jakarta, 1990.
- [2]. Anonimus., *Buku Petunjuk Operasi dan Pemeliharaan Peralatan*, Perusahaan Listrik Negara, Jakarta, 1984.
- [3]. Z, Reynaldo., *Proteksi Terhadap Tegangan Lebih Pada Sistem Tenaga Listrik*, Penerbit ITB, Bandung.
- [4]. Anonimus., *Diktat Teknik Tegangan Tinggi*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [5]. T.S. Hutaauruk., *Gelombang Berjalan Dan Proteksi Surja*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1991.
- [6]. W, Stevenson., *Elements Of Power System Analysis Third Edition* –Terjemahan Indonesia, Lembaga Penerbitan Universitas Brawijaya, Malang, 1982
- [7]. T, Gonen., *Electric Power Transmission System Engineering: Analysis and Design*. California State University Sacramento: A Wiley-Interscience Publication, California, 1988.
- [8]. SPLN 7\_1978, *Pedoman Pemilihan Tingkat Isolasi Transformator Dan Penangkal Petir*.
- [9]. SPLN 41-7\_1981, *Hantaran Aluminium Berpenguat Baja (ACSR)*.
- [10]. Paraisu Misael, *Analisa Rating Lightning Arrester Pada Jaringan Transmisi 70 kV Tomohon-Teling*, Manado, 2013
- [11]. W. Rio, *Studi Analisa Sistem Koordinasi Isolasi Peralatan di Gardu Induk 150 kV New-Turen*, 2010

#### RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Brando Aleksander Ranti, anak pertama dari keluarga. Lahir dari pasangan suami istri Erik Jerry Ranti (Ayah) dan Linda Sofia Rolos di Manado tanggal 19 Desember 1994.

Penulis telah menempu pendidikan secara berturut-turut di SD Tunas Bangsa Bontang (2000-2006), SMP Negeri 2 Bontang (2006-2009), SMA Negeri 3 Bontang (2009-2012) dan pada tahun 2012 penulis memulai pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado di Jurusan Teknik Elektro, dengan mengambil konsentrasi Minat Teknik Tenaga Listrik pada tahun 2014. Dalam menempuh pendidikan penulis juga melaksanakan kerja praktek yang bertempat di PT. PLN Persero, AP2B Tomohon pada 29 Desember 2015-29 Februari 2016.

Penulis selesai melaksanakan pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado, Jurusan Teknik Elektro pada tanggal 28 Februari 2018, begitu pula selama menempuh pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado, penulis juga aktif dalam organisasi mahasiswa Himpunan Mahasiswa Elektro (HME), UKM Basket dan Olahraga Fakultas Teknik.