

ANALISA KOORDINASI ISOLASI ARRESTER PADA TRANSFORMATOR DI GARDU INDUK PANIKI 150 kV

Amelia Lidia Kolompoy ¹⁾, Lily S. Patras ²⁾, Glany M. Ch. Mangindaan ³⁾,
Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sam Ratulangi Manado, Jl. Kampus Bahu, 95115, Indonesia
Email: ameliakolompoy018@gmail.com, patraslilys48@gmail.com, mangindaan@gmail.com

Abstract - Paniki Substation with a system voltage of 150 kV, plays an important role in the distribution of electricity. With the existing insulation coordination, it is necessary to re-evaluate whether it is still effective or not to protect substation equipment, especially transformers of disturbances such as lightning overvoltage. Remember that in 2020 there were 154 lightning strikes around the Paniki area, North Minahasa. The ultimate protection for lightning strikes is the Lightning Arrester. Where to determine or choose a reliable arrester, it is necessary to pay attention to the arrester rated value whether it is appropriate for use at 150 kV panic substations. From the results of the analysis at the Paniki substation, the highest system voltage is 170 kV where this voltage becomes a parameter for the arrester to work, then the rated voltage $U_c = 138$ kV, and based on the rated voltage of the arrester, then obtained that the working voltage/discharge voltage of the arrester $U_A = 460$ kV, current arrester discharge $I_a = 2.53$ kA, protection factor (FP) = 22 % and BIL for transformers (1 and 2) = 650 kV and the maximum distance between arresters and transformers allowed is 28.5 meters.

Keywords: Insulation Coordination, Lightning Arrester, Substation

Abstrak – Gardu Induk Paniki dengan tegangan sistem 150 kV, memegang peranan penting dalam penyaluran listrik. Dengan koordinasi isolasi yang sudah ada, maka perlu dievaluasi kembali apakah masih efektif atau tidak untuk melindungi peralatan gardu induk khususnya transformator dari gangguan seperti tegangan lebih petir. Mengingat pada tahun 2020 ada 154 kali sambaran petir disekitar daerah Paniki, Minahasa Utara. Proteksi utama untuk sambaran petir adalah lightning arrester. Dimana, untuk menentukan atau memilih arrester yang handal perlu diperhatikan nilai pengenal/rating arrester apakah sudah tepat digunakan pada gardu induk Paniki 150 kV. Dari hasil analisa di gardu induk Paniki diperoleh tegangan tertinggi sistem 170 kV, dimana tegangan ini menjadi parameter untuk arrester bekerja, kemudian tegangan pengenal $U_c = 138$ kV dan berdasarkan tegangan pengenal arrester maka diperoleh juga tegangan kerja arrester $U_A = 460$ kV, arus pelepasan $I_A = 2.53$ kA, dengan faktor perlindungan 22% dan BIL Trafo 650 kV dan jarak arrester dengan transformator yang diperbolehkan yaitu 28.5 meter.

Kata kunci : Koordinasi Isolasi, Lightning Arrester, Gardu Induk

I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan faktor penting untuk menunjang kehidupan dan kegiatan masyarakat terutama untuk keperluan penerangan, serta sebagai sumber utama dalam sektor industry. Sistem tenaga listrik adalah suatu sistem kesatuan dari tenaga listrik yang terdiri dari pembangkit, transmisi, distribusi, hingga sampai ke tangan konsumen. Untuk menghubungkan jaringan transmisi dan jaringan distribusi ada bagian yang disebut gardu induk listrik. Gardu induk listrik merupakan bagian dari sistem tenaga listrik dan merupakan terminal sistem tenaga karena menghubungkan jaringan transmisi dan jaringan distribusi. Untuk itulah gardu induk merupakan bagian yang penting dalam penyaluran energi listrik. Energi listrik yang disalurkan tidak lepas dari adanya gangguan, baik gangguan dari dalam maupun gangguan dari luar. Salah satu gangguan yang sering terjadi adalah sambaran petir. Sambaran petir pada saluran transmisi 150 kV dapat menimbulkan tegangan lebih yang akan membahayakan peralatan-peralatan yang berada pada gardu induk. Untuk itu dalam melindungi peralatan-peralatan tersebut dalam gardu induk dikenal “Koordinasi Isolasi”. Koordinasi Isolasi adalah pemilihan kekuatan isolasi. Tujuan koordinasi isolasi adalah untuk melindungi peralatan dan penghematan (ekonomis). Perlindungan peralatan pada gardu induk biasa menggunakan *arrester* yang dapat membatasi tegangan surja di bawah tingkat isolasi dasar peralatan. Setiap isolasi memiliki BIL (*Basic Isolation Level*) dari peralatan, dimana BIL merupakan tingkat isolasi suatu peralatan yang diperoleh dari tegangan puncak impuls standar, dimana kekuatan isolasi dari peralatan harus sama atau lebih besar dari BIL. Penelitian koordinasi isolasi ini dilakukan pada Gardu Induk Paniki karena adanya gangguan akibat petir yang sering terjadi pada isolasi, seperti tegangan lebih petir (*Lightning over voltage*) dan tegangan lebih surja hubung. Untuk itu perlu dilakukan analisa untuk menghitung tingkat isolasi serta penentuan BIL dari setiap peralatan untuk menghindari kegagalan-kegagalan isolasi pada gardu induk ketika bekerja sehingga konsep perlindungan terhadap peralatan dalam hal ini koordinasi isolasi dapat tercapai secara optimal. Untuk itu penulis mencoba membuat

penelitian tugas akhir dengan judul “Analisa Koordinasi Isolasi Arrester pada Transformator di Gardu Induk Paniki 150 kV”

A. Landasan Teori

1) Tingkat Isolasi Dasar

Kekuatan untuk menahan tegangan sering dinyatakan dalam bentuk tingkat isolasi dasar (TID) atau Basic Insulation Level (BIL). Untuk setiap tegangan sistem memiliki BIL 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 pada trafo yang kadang-kadang dipakai isolasi yang lebih rendah (reduced insulation) dengan alasan ekonomis, dan trafo umumnya dilindungi langsung oleh arrester [1].

Tingkat isolasi dasar untuk peralatan dengan tegangan tertinggi kelas B ($52 \text{ kV} \leq U_m < 300 \text{ kV}$), tingkat isolasinya berdasarkan tegangan ketahanan impuls petir dan tegangan frekuensi jala-jala .

Untuk menentukan tingkat isolasi dasar (TID) dari peralatan yang dilindungi maka dapat menggunakan persamaan sebagai berikut ;

$$\text{BIL Trafo} = LPL + 20\% \text{ (faktor perlindungan)} \quad (1)$$

Dimana,

$$LPL = U_A \times 110\% \quad (2)$$

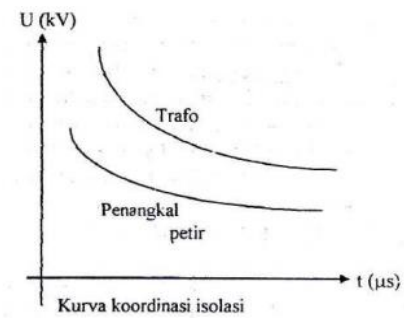
Dimana, LPL = tingkat perlindungan petir (kV)

U_A = tegangan kerja arrester (kV)

2) Koordinasi Isolasi

Koordinasi Isolasi adalah penentuan tingkat isolasi yang tepat dari berbagai komponen yang ada pada sistem serta pengaturannya. Kemampuan tingkat isolasi saluran transmisi harus disesuaikan dengan tegangan sistem serta isolasi peralatan listrik yang terpasang. Sehingga ketika terjadi kegagalan isolasi, kerusakannya hanya terjadi dibagian yang mengalami kegagalan dan tidak mengganggu kerja peralatan lainnya [2].

Unsur dasar dari koordinasi isolasi adalah menentukan tegangan lebih dari sistem, mengetahui kekuatan isolasi peralatan spesifik di gardu, memilih penangkal lonjakan peringkat dan lokasi atau peralatan mitigasi atau operasi pembatasan, untuk memastikan sistem *overvoltage* dikenakan tidak melebihi isolasi pelindung yang sesuai .



Gambar 1 : Kurva Koordinasi Isolasi.^[15]

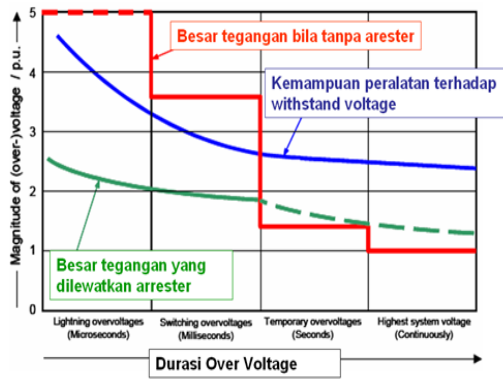
Koordinasi isolasi yang baik akan menjamin bahwa kurva V-t (Gambar 1) dari peralatan harus selalu berada diatas kurva V-t dari alat pelindung (seperti penangkap petir/Lightning Arrester) pada seluruh daerah dari kurva V-t tersebut. Selain fungsi utama ini ada beberapa karakteristik koordinasi isolasi secara umum [6], yaitu :

1. Bahwa isolasi peralatan akan mampu menahan tegangan kerja system yang normal dan tegangan tidak normal yang mungkin timbul dalam system.
2. Bahwa isolasi peralatan akan gagal hanya jika terjadi tegangan lebih luar
3. Bahwa jika kegagalan terjadi, maka hanya pada tempat-tempat yang menimbulkan kerusakan paling minimum.

3) Lightning Arrester

Lightning arester atau surge arrester merupakan peralatan yang didesain untuk melindungi peralatan lain dari tegangan surja (baik surja hubung maupun surja petir) dan pengaruh follow current. Sebuah arrester harus mampu bertindak sebagai insulator, mengalirkan beberapa miliampere arus bocor ke tanah pada tegangan sistem dan berubah menjadi konduktor yang sangat baik, mengalirkan ribuan ampere arus surja ke tanah, memiliki tegangan yang lebih rendah daripada tegangan withstand dari peralatan ketika terjadi tegangan lebih, dan menghilangkan arus susulan mengalir dari sistem melalui arrester (power follow current) setelah surja petir atau surja hubung berhasil didisipasikan. Pada Gambar 2 diperlihatkan skematik diagram level tegangan yang mungkin timbul pada perlatan gardu induk baik yang menggunakan LA atau tidak.

Cara kerja arrester yaitu pada kondisi normal arrester berfungsi sebagai isolator dan bila terjadi surja maka berlaku sebagai konduktor dan mengalirkan arus akibat surja tersebut kedalam tanah, supaya tidak menuju ke peralatan. Arrester juga harus mampu memutuskan arus ikutan yang nilainya masih cukup besar untuk merusak peralatan yang dilindungi [7].



Gambar 2 : Skematik diagram level tegangan yang mungkin timbul pada peralatan gardu induk, menggunakan LA maupun tidak. ^[10]

Arrester memiliki karakteristik yaitu :

1. Memiliki tegangan dasar yang tidak boleh dilampaui
2. Memiliki karakteristik yang dibatasi oleh tegangan bila dilalui oleh berbagai macam arus petir
3. Memiliki batas termis

Selain karakteristik arrester juga memiliki parameter, yaitu :

- Tegangan Frekuensi Daya : adalah besaran fasa ke tanah yang dioperasikan kontinu pada arrester.
- Continuous Operating Voltage : disimbolkan (U_c) sama dengan MCOV (maximum continuous operating voltage) merupakan nilai tegangan frekuensi daya dimana arrester dapat terus beroperasi tanpa batasan tertentu.
- Rated Voltage, Nilai rated mencerminkan kemampuan arrester dalam menghadapi *Temporary Overvoltage*. Rated voltage ini hanya boleh dialami oleh arrester selama durasi tertentu, yaitu 10 detik. Nilainya, $U_r = 1,25 \times U_c$
- Lightning Impuls Protective Level, Nilai ini menunjukkan besar tegangan diantara kedua ujung arrester ketika nominal discharge current mengalir melalui arrester. Lightning current impulse bervariasi dari 1,5 kA hingga 20 kA (IEC 60099-4). [7]

4) Jumlah Sambaran Petir

Dalam perencanaan pengamanan peralatan gardu induk terhadap sambaran petir, hal yang perlu diketahui adalah hari guruh dari daerah setempat. Hari guruh atau thunder storm day adalah hari terjadinya petir tanpa memperhatikan frekuensi kejadiannya [8]. Pada umumnya adanya G.I. di daerah yang banyak hari guruhnya dan saluran transmisi yang melalui daerah itu memerlukan usaha penanggulangan terhadap petir yang cukup dibandingkan dengan daerah yang kurang banyak hari guruhnya. Meskipun demikian, segi

ekonomi dan keandalan penyediaan tenaga tidak boleh diabaikan dalam usaha penanggulangan bahaya petir. Karena akhir-akhir ini kemampuan dari arrester telah banyak diperbaiki, maka perencanaan peralatan dalam usaha penanggulangan terhadap petir dengan keandalan yang tinggi dapat dipermudah [14].

Iso Keraunic Level (IKL) adalah ukuran kepadatan petir di suatu tempat tertentu yang dihitung berdasarkan jumlah hari guruh dibagi banyaknya hari selama satu tahun yang dinyatakan dalam persamaan :

$$IKL = \frac{hg}{365} \quad (3)$$

Semakin besar harga dari kepadatan sambaran petir pada suatu daerah, maka kegagalan dari perlindungan gardu induk semakin besar. Untuk Indonesia yang terletak di sekitar daerah khatulistiwa dengan iklim tropis, jumlah petir per km^2 per tahun dinyatakan dalam persamaan :

$$N = 0,15IKL \quad (4)$$

Dimana,

IKL = Iso Keraunic Level

N = jumlah sambaran petir per km^2 per tahun

Hg = haru guruh

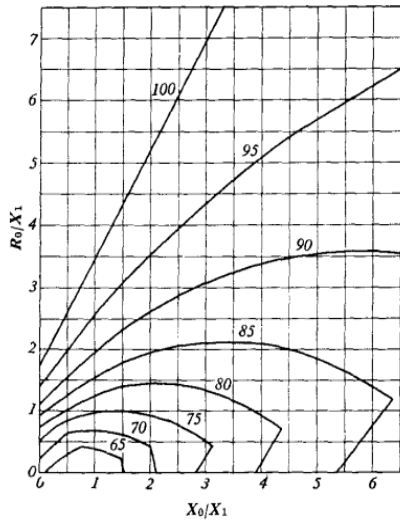
5) Rating Pengenal Arrester

Tegangan nominal atau tegangan pengenal (U_c) atau Nominal Voltage Arrester adalah tegangan dimana penangkap petir masih dapat bekerja sesuai dengan karakteristiknya. Namun ini hanyalah pengenal tegangan, pada beberapa jenis arrester perlu juga disebut pengenal arusnya yang menentukan kapasitas termal arrester tersebut. Arrester tidak dapat bekerja pada tegangan maksimum system, namun tetap mampu memutuskan arus ikutan dari system secara efektif [2].

$$\begin{aligned} U_c &= \text{Tegangan rms fasa ke fasa tertinggi} \times \text{koefisien} \\ &\quad \text{pentanahan} \\ &= \text{Tegangan rms fasa} \times 1,10 \times \text{koefisien Pentanahan} \end{aligned} \quad (5)$$

Dimana :

- Tegangan tertinggi sistem umumnya diambil harga 110% dari harga tegangan nominal sistem. (kV)
- Koefisien pentanahan merupakan perbandingan antara tegangan rms fasa ke tanah dalam keadaan gangguan pada tempat dimana penangkap petir dipasang, dengan
- tegangan rms fasa ke fasa tertinggi dari sistem dalam keadaan tidak ada gangguan. (kV)



Gambar 3 : Lengkung-lekung tegangan maksimum tanah untuk system yang diketanahkan dengan impedansi.^[2]

Pengkap petir umumnya tidak dapat bekerja jika ada gangguan fasa ke tanah di satu tempat dalam system, karena itu tegangan pengenalan dari penangkap petir harus lebih tinggi dari tegangan fasa sehat ke tanah, jika tidak arrester akan melakukan arus ikutan system yang terlalu besar dan menyebabkan penangkap petir rusak.

6) Arus Pelepasan Nominal

Arus pelepasan nominal adalah arus dengan harga puncak dan bentuk gelombang tertentu yang digunakan untuk menentukan kelas dari arester sesuai dengan kemampuan arus dan karakteristik pelindungnya [4]

Berikut merupakan spesifikasi dari Nominal Discharge Current menurut standar Inggris/Eropa (IEC) $8\mu\text{det}/20\mu\text{det}$, menurut standar Amerika $10\mu\text{s}/20\mu\text{s}$ dengan kelas PP 10 kA; 2.5 kA dan 1.5 kA. [6]; [13]

- Kelas arus 10 kA, untuk perlindungan gardu induk yang besar dengan frekuensi sambaran petir yang cukup tinggi dengan tegangan sistem diatas 70kV.
- Kelas arus 5 kA, untuk tegangan sistem dibawah 70kV.
- Kelas arus 2.5 kA, untuk gardu-gardu kecil dengan tegangan sistem dibawah 22 kV, dimana pemakaian kelas 5 kA tidak lagi ekonomis.
- Kelas arus 1.5 kA, untuk melindungi trafo-trafo kecil.

Untuk arus pelepasan pada saat peristiwa gelombang berjalan menuju gardu induk dapat ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut :

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

Dimana :

I_a = arus pelepasan *arrester* (kA)

U_d = tegangan gelombang datang (kV)

U_A = tegangan kerja/tegangan sisa (kV)

Z = Impedansi surja dari pada kawat saluran (Ω)

7) Tegangan Pelepasan / Tegangan Kerja (U_A)

Tegangan kerja atau tegangan pelepasan merupakan salah satu faktor yang menentukan tingkat perlindungan dari penangkap petir. Jika tegangan kerja dari penangkap petir ada dibawah BIL dari peralatan yang dilindungi, maka faktor keamanan yang cukup untuk perlindungan peralatan yang optimum dapat diperoleh [1].

8) Impedansi Surja

Impedansi surja adalah nilai impedansi yang didapat pada saat terjadi surja, baik surja petir maupun surja hubung. Impedansi surja juga dipengaruhi oleh konstanta L dan C yang merambat pada kawat penghantar, dimana kedua konstanta itu juga dipengaruhi oleh karakteristik dari kawat itu juga [12].

Impedansi surja untuk kawat udara adalah sebagai berikut :

$$z = \sqrt{L/C} = 60 \ln \frac{2h}{r} \Omega \quad (7)$$

dimana : r adalah jari-jari kawat (diameter kawat /2)

h adalah tinggi kawat diatas tanah (28.5 m)

9) Tegangan Tembus Isolator

Merupakan tegangan yang timbul pada isolator disalurkan transmisi, tergantung terhadap puncak dan kecuraman dari gelombang petir. Namun tidak semua sambaran petir mengakibatkan lompatan api (flashover) pada isolator, karena bergantung juga terhadap besar tegangan yang timbul dan tidakmelebihi tegangan tembus isolator udara. [8]; [12]

$$U_{50\%} = \left(K_1 + \frac{K_2}{t^{0.75}} \right) \times 10^3 \text{ kV} \quad (8)$$

Dimana,

$U_{50\%}$ = tegangan tembus isolator (kV)

K_1 = 0,4W

K_2 = 0,71W

W = Panjang rentang isolator untuk tegangan 150 kV, 0.886 meter

t = Tegangan yang dihitung berdasarkan muka gelombang 1,2 μdet

10) Jarak Lindung Arrester

Umumnya alat-alat pelindung harus diletakan sedekat mungkin dengan peralatan yang akan dilindungi, khususnya pada ujung transmisi dimana terdapat gardu atau transformator. Berdasarkan SPLN-7:1978 untuk sirkit ganda sistem tegangan 150 kV jarak antara arrester dan transformator tidak melebihi 80 meter dan untuk sirkit tunggal adalah seperdua dari jarak tersebut [13]. Apabila gelombang mencapai transformator, terjadi pantulan total dan gelombang itu kembali ke kawat dengan polaritas yang sama. Waktu yang dibutuhkan oleh gelombang untuk merambat Kembali ke arrester sama dengan $2S/v$. Jarak maksimum arrester dan trafo bila dihubungkan langsung dengan saluran udara dan trafo dianggap sebagai jepit terbuka, dimana koefisien terusan sama dengan 2. Dapat dilihat pada Gambar 4. Berikut merupakan persamaan untuk menghitung jarak antaran arrester dengan transformator :

$$S = \frac{v(E_p - E_a)}{2A} \quad (9)$$

Dimana,

E_p = tegangan pada jepit trafo setelah pantulan [kV]

E_a = tegangan pada jepit arrester [kV]

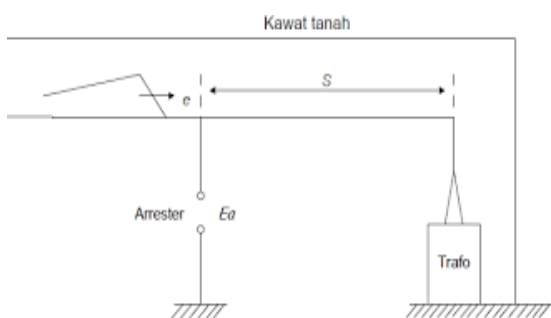
S = jarak arrester dari trafo [m]

V = kecepatan rambat gelombang diudara [300 m/ μ s]

A = tegangan lebih masuk dari saluran transmisi [kV]

11) Faktor Perlindungan (Protection Margin)

Faktor perlindungan adalah besar perbedaan tegangan BIL dari peralatan yang dilindungi dengan tegangan kerja dari arrester. Pada saat menentukan tingkat perlindungan peralatan yang dilindungi oleh arrester umumnya diambil harga 10 % diatas tegangan kerja dari arrester, ini bertujuan untuk mengatasi kenaikan tegangan pada kawat penghubung dan toleransi pabrik. Besar faktor perlindungan ini umumnya 20 % dari BIL peralatan untuk arrester yang dipasang dekat peralatan yang dilindungi [14].



Gambar 4: Arrester dan transformator.^[5]

$$FP = BIL \text{ Peralatan} - \text{Tingkat Perlindungan LA} \quad (10)$$

Dimana,

Tingkat Perlindungan Arrester = $U_A \times 110\%$ (Panjang kawat + toleransi)

II. METODE PENELITIAN

A. Prosedur Penelitian

- Studi literatur, yaitu mengumpulkan literatur-literatur yang berhubungan dengan koordinasi isolasi
- Pengambilan data yang berhubungan dengan koordinasi isolasi peralatan Gardu Induk Paniki di PT. PLN (Persero) Wilayah Suluttenggo.
- Diskusi dengan dosen pembimbing, dosen-dosen lain, teman-teman mahasiswa mengenai masalah-masalah yang berhubungan dengan penuisan
- Pengolahan data berdasarkan teori yang diambil dari literatur dan data yang ada
- Penarikan kesimpulan

B. Data Teknis

Adapun data-data yang dikumpulkan didalam penelitian ini, adalah sebagai berikut :

1. Data Transformator terpasang di G.I Paniki dapat dilihat pada tabel I
2. Data *Arrester* terpasang di G.I Paniki, dapat dilihat pada tabel II
3. Data spesifikasi kabel saluran udara dimana tipe yang digunakan G.I Paniki adalah ACSR 240, dapat dilihat pada tabel III
4. Data hari guruh atau thunderstorm pada tahun 2020, data ini diperoleh dari stasiun Geofisika dan dapat dilihat pada tabel IV
5. Data penentuan tegangan kerja arrester (U_C) dari arrester dan kecuraman gelombang datang (du/dt), dapat dilihat pada tabel V
6. Data standar penetapan Tingkat Isolasi Dasar (TID) atau *Basic Insulation Level (BIL)*. Dalam penelitian ini peralatan yang dilindungi adalah transformator.

TABEL I
Data Transformator Terpasang

No.	Lokasi Trafo	Merk	Daya Terpasangan (MVA)	Tegangan (kV)	Nilai Reaktansi (X) %	Hubunan Belitan
1.	GI Paniki Unit 1	UNINDO	30 MVA	150/20 kV	12.47 %	Y-Y
2.	GI Paniki Unit 2	Schneider Electric	60 MVA	150/20 kV	11.66 %	Y-Y

TABEL II
Data Arrester Terpasang di GI Paniki

No.	Merk/Type	Terpasang	Rated Current	Voltage
1.	ABB/PEXLIM Q144 – XH170	Bay Tanjung Merah 1	10 kA	150kV
2	ABB/PEXLIM Q144 – XH170	Bay Tanjung Merah 2	10 kA	150 kV
3	ABB/PEXLIM Q144 – XH170	Bay GIS Teling 1	10 kA	150 kV
4.	ABB/PEXLIM Q144 – XH170	Bay GIS Teling 1	10 kA	150 kV
5.	ABB/PEXLIM Q144 – XH170	Trafo 1	10 kA	150 kV
6.	SIEMENS/LD – CL3	Trafo 2	10 kA	150 kV

TABEL III
Data Spesifikasi Kabel Saluran Udara

No.	Nama	Tegangan	Tipe	Diamater
1.	GI Paniki	150 kV	ACSR	17.49 mm
2.	GI Paniki	150 kV	ACSR	17.49 mm

TABEL IV
Maximum Impulse Spakover Test Voltage

Arrester Rating kV r.m.s	Front Steepness F.O.W* kV/μs	10 kA light and heavy duty and 5 kA, series A ⁺⁺	
		Std.** kV, peak	F.O.W* kV, peak
(1)	(2)	(3)	(4)
30	250	108	125
33	275	119	137
36	300	130	150
39	325	141	162
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
To 225 ⁺	1200	3.28 U _R ^{***}	3.78 U _R ^{***}
To 396 ⁺	1200	3.26 U _R ^{***}	3.76 U _R ^{***}
Above 396 ⁺⁺	1200	+++	+++

TABEL IV
Data Hari Guruh Tahun 2020

Bulan	Tahun	Jumlah Sambaran
Januari	2020	0
Februari	2020	0
Maret	2020	0
April	2020	59
Mei	2020	5
Juni	2020	3
Juli	2020	2
Agustus	2020	1
September	2020	32
Oktober	2020	11
November	2020	9
Desember	2020	32
Total	154 kali dalam tahun 2020	

TABEL VI
Penetapan Tingkat Isolasi Dasar

SPESIFIKASI	TEGANGAN NOMINAL		
	150 kV	66 kV	20 kV
Tegangan tertinggi untuk peralatan	170 kV	72.5 kV	24 kV
Pentanahan Netral	Efektif	Tahanan	Tahanan
<u>Transformator</u> Tegangan Pengenal (sisi tegangan tinggi) Tingkat Isolasi Dasar (TID)	150 kV 650 kV	66 kV 325 kV	20 kV 125 kV
<u>Penangkat Petir</u> Tegangan Pengenal Arus Pelepasan Nominal	138 kV ⁽¹⁾ 150 kV ⁽¹⁾ 10 kA	74 kV ⁽¹⁾ 10 kA 5 kA	21 kV ⁽¹⁾ 24 kV ⁽¹⁾ 5 kA ⁽²⁾
Tegangan Pelepasan	460 kV ⁽¹⁾ 500 kV ⁽¹⁾	270 kV ⁽¹⁾	76 kV ⁽¹⁾ 87 kV ⁽¹⁾
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

Didalam menganalisa koordinasi isolasi arrester pada transformator di GI Paniki, maka telah dilakukan beberapa perhitungan untuk mendapatkan parameter-parameter yang akan digunakan untuk penentuan BIL Transformator Gardu Induk Paniki, perhitungan tersebut antara lain :

A. Menentukan Tegangan Tertinggi Sistem

Tegangan tertinggi sistem umumnya diambil dari harga 110% dari tegangan normal sistem. Rating tegangan untuk arrester adalah tegangan maksimum (tegangan AC) yang diperbolehkan pada terminal arrester, tegangan inilah yang dapat memutus arus susulan (Follow Current) yang terjadi ketika ada percikan pada arrester. Selain itu penentuan tegangan ini juga berfungsi untuk mengetahui tegangan maksimum atau tegangan tertinggi sistem yang dapat dihasilkan Gardu Induk Paniki.

$$U_m = 1,1 \times U_{ff}$$

Ket.

U_m = Tegangan maksimum fasa ke netral

U_{ff} = Tegangan sistem fasa ke fasa

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} U_m &= 1,1 \times U_{ff} \\ &= 1,1 \times 150 \\ &= 165 \text{ kV} \end{aligned}$$

Berdasarkan standar PLN tegangan tertinggi peralatan dapat mencapai 170 kV, sehingga untuk tegangan sistem 150kV dipilih tegangan tertinggi peralatan $U_m = 170$ kV.

B. Jumlah Sambaran Petir

Dalam menentukan jumlah sambaran petir (N_L) pada saluran transmisi 150kV Paniki-Tanjung Merah dibutuhkan data hari guruh atau thunderstorm untuk dapat mengetahui banyaknya jumlah hari guruh atau *IKL (Iso Kreaunic Level)* pada daerah sekitaran saluran transmisi Paniki-Tanjung Merah. Berdasarkan dengan data hari guruh tahun 2020 nilai $IKL = 154$ kali

C. Impedansi Surja

Penentuan impedansi surja membutuhkan data berupa jenis kabel transmisi yang digunakan. Kawat transmisi 150 kV yang digunakan pada lane/saluran Paniki-Tanjung Merah adalah ACSR 240 dengan diameter kawat 17.49 mm berdasarkan tabel III. Dan untuk menghitung impedansi surja maka digunakan persamaan (7) sebagai berikut ;

Namun sebelum menentukan z , terlebih dahulu harus menentukan jari-jari kawat (r) ;

$$r (\text{jari-jari kawat}) = \frac{d(\text{diameterkawat})}{2}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{17,49\text{mm}}{2} \\ &= 8,74\text{mm} \\ &= 8,74 \times 10^{-3} \text{ m} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas diperoleh $r = 8,74 \times 10^{-3}$ m, setelah itu dilanjutkan dengan menghitung impedansi surja ;

$$\begin{aligned} z &= \sqrt{L/C} = 60 \ln \frac{2h}{r} \\ &= 60 \ln \frac{2(28,5)}{8,74 \times 10^{-3}} \\ &= 60 \ln \frac{57}{8,74 \times 10^{-3}} \\ &= 60 \ln 6521,739 \\ &= 60 \times 8,78 \\ &= 524,4 \Omega \end{aligned}$$

D. Tegangan Tembus Isolator

Berdasarkan dengan persamaan (8) , maka dapat ditentukan tegangan tembus isolator udara (U_d).

W = Panjang rentangan isolator untuk tegangan 150 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 μ det.

Maka diperoleh ;

$$\begin{aligned} U_d = U_{50\%} &= \left(K_1 + \frac{K_2}{t^{0,75}} \right) \times 10^3 \\ &= \left(0,35 + \frac{0,62}{1,2^{0,75}} \right) \times 10^3 \end{aligned}$$

$$= \left(0,35 + \frac{0,62}{1,14} \right) \times 10^3$$

$$= (0,35 + 0,544) \times 10^3$$

$$= 894 \text{ kV}$$

E. Penentuan Tegangan Pengenal Arrester (U_c)

Karakteristik yang paling penting untuk perlindungan gardu induk adalah tegangan pengenal arrester. Tegangan

pengenal arrester menentukan tingkat perlindungan dari arrester, jika tegangan kerja arrester berada dibawah TID dari peralatan yang dilindungi, maka factor keamana yang optimum terhadap peralatan dapat diperoleh. Sesuai dengan dasar teori Sistem yang dibumikan secara langsung koefisien pembumiannya (η) adalah 0,8 (arrester 80%). Menggunakan persamaan (5).

$$\begin{aligned} U_C &= \text{Tegangan Sistem} \times 1.1 \times \text{koefisien pentanahan} \\ &= 150 \text{ kV} \times 1.1 \times 0.8 \\ &= 132 \text{ kV} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan tegangan pengenal arrester adalah 132 kV, tetapi nilai tegangan pengenal 132 kV tidak ada, sehingga digunakan tegangan pengenal dengan nilai 138 kV.

F. Penentuan Tegangan Kerja Arrester (U_A)

Tegangan kerja atau tegangan pelepasan arrester ditentukan berdasarkan tabel Maximum Residual Voltage dan tabel penetapan tingkat isolasi transformator dan penetapan penangkap petir sesuai lampiran. Untuk tegangan sistem 150 kV dan tegangan pengenal 138 kV, tegangan pelepasan arrester adalah $U_A = 460 \text{ kV}$

G. Penentuan Arus Pelepasan Arrester (I_A)

Untuk menentukan arus pelepasan arrester maka diperlukan parameter-parameter berupa nilai tegangan gelombang datang (U_d), impedansi surja (z) dan tegangan pelepasan/tegangan kerja arrester (U_A). Dimana nilai U_d dapat diambil dari nilai $U_{50\%}$ yang telah diperoleh pada perhitungan tegangan tembus isolator, dikarenakan tegangan tembus isolator memiliki nilai yang sama dengan nilai tegangan kawat penghantar sehingga tegangan dari kawat merupakan tegangan gelombang yang datang ke gardu induk.

Berikut perhitungan arus pelepasan arrester menggunakan persamaan (6) sebagai berikut ;

Dimana ,

$$\begin{aligned} U_d &= U_{50\%} = 894 \text{ kV} \\ U_A &= 460 \text{ kV} \\ z &= 524.4 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_a &= \frac{2U_d - U_a}{z} \\ &= \frac{2(894) - 460}{524,4} \\ &= \frac{1788 - 460}{524,4} \end{aligned}$$

$$= \frac{1328}{524,4} = 2,53 \text{ kA}$$

Arus pelepasan arrester GI Paniki yaitu 2,53 kA dan memiliki tegangan sistem 150 kV dan digunakan kelas arrester 10 kA.

H. Faktor Perlindungan (FP)

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

FP = BIL Peralatan – Tingkat Perlindungan Arrester
Dimana,

$$\begin{aligned} \text{Tingkat Perlindungan Arrester} &= U_A \times 10 \% \\ &= 460 \times 1.1 \\ &= 506 \text{ kV} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga, FP} &= 650 - 506 \\ &= 144 \\ &= 144 / 650 \\ &= 0.22 \\ &= 22 \% \end{aligned}$$

I. Penentuan BIL Transformator

Berdasarkan dengan analisa diatas, maka nilai parameter-parameter untuk menentukan BIL Gardu Induk Paniki telah memenuhi syarat, sehingga BIL gardu induk paniki berdasarkan persamaan (1) dan (2) adalah sebagai berikut ;

$$\begin{aligned} \text{BIL Trafo} &= LPL + 20\% \\ LPL &= U_A \times 110\% \\ &= 460 \times 1,1 \\ &= 506 \text{ kV} \end{aligned}$$

Sehingga ,

$$\begin{aligned} \text{BIL Trafo} &= LPL + 20\% \\ &= 506 + 20\% \\ &= 607,2 \text{ kV} \end{aligned}$$

TID atau BIL yang direkomendasikan yaitu dipilih BIL trafo yang $\geq 607,2 \text{ kV} = 650 \text{ kV}$, dengan ketahanan frekuensi jala-jala = 275 kV berdasarkan tabel 2.2.

$$\begin{aligned} \text{BIL Tegangan lebih switching} &= \frac{150}{\sqrt{3}} \times 6,5 \\ &= 562,9 \text{ kV} \end{aligned}$$

$$\text{BIL Tegangan lebih sementara} = \frac{150}{\sqrt{3}} \times 3,0 = 259,8 \text{ kV}$$

J. Penentuan Jarak Arrester

Dalam praktek penempatan arrester sering ditempatkan sejarak S dari transformator. Trafo merupakan peralatan yang penting dalam gardu induk maka dari itu untuk keperluan koordinasi isolasi, maka arrester sebagai peralatan pelindung diletakan dengan trafo. Jarak arrester dengan trafo dihitung berdasarkan persamaan (9).

Dimana,

$$E_p = \text{BIL Trafo} = 650 \text{ kV}$$

$$E_a = U_A = 460 \text{ kV}$$

$$v = 300 \text{ m}/\mu\text{det}$$

$$A = 1000 \text{ dv/dt}$$

$$S = \frac{300(650 - 460)}{2(1000)}$$

$$S = \frac{300(190)}{2000}$$

$$S = \frac{57000}{2000}$$

$$S = 28,5 \text{ m}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, jarak arrester terhadap transformator adalah 28,5 m. Semakin dekat jarak antara arrester dengan transformator maka semakin baik. Jarak arrester yang terpasang di GI Paniki adalah 3 meter.

TABEL VII

TABEL HASIL PERHITUNGAN KOORDINASI ISOLASI BERDASARKAN ANALISA KONDISI

No.	Parameter Koordinasi Isolasi	Jumlah
1.	Arrester :	
	• Tegangan Pengenal (U_c), (kV)	138 kV
	• Tegangan Kerja (U_A), (kV)	460 kV
	• Kelas arus pelepasan impuls petir (kA)	10 kA
	• Jarak arrester dari trafo (m)	28,5 m
2.	- BIL Trafo (kV)	650 kV
	- Ketahanan Frekuensi Jala-jala	275 kV
	- BIL Tegangan Lebih Switching	562,9 kV
	- BIL Tegangan Lebih Sementara	259,8 kV

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil analisa dan pembahasan dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut ;

1. Tegangan tertinggi (U_m) yang dapat diterima Gardu Induk Paniki adalah 170 kV. Nilai tegangan ini menjadi parameter arrester untuk bekerja.
2. Hasil perhitungan nilai pengenal atau rating arrester pada Gardu Induk Paniki dengan tegangan sistem 150 kV, diperoleh hasil sebagai berikut;
 - Tegangan Pengenal (U_C) = 138 kV
 - Arus Pelepasan Arrester (I_a) = 10 kA
 - Faktor Perlindungan GI Paniki = 22%
 - BIL Transformator = 650 kV
3. Spesifikasi arrester yang terpasang di Gardu Induk Paniki telah memenuhi kriteria kebutuhan dari sistem untuk melindungi tranformator dari dari surja petir maupun tegangan lebih, sehingga perlindungan yang diberikan arrester sudah optimal.

B. Saran

Pembahasan dan hasil analisa untuk nilai pengenal atau rating arrester pada Gardu Induk Paniki 150 kV, kiranya dapat menjadi referensi untuk menentukan jenis arrester yang akan digunakan. Dan untuk pengembangan penelitian ini kiranya dapat diaplikasikan pada gardu induk lainnya.

V. KUTIPAN

- [1] Arismunandar, Artono. 1990. *Teknik Tegangan Tinggi*. Jakarta: Pradnya Paramita
- [2] Arismunandar, Artono. 1990. *Teknik Tenaga Listrik Jilid 3 Gardu Induk*. Jakarta: Pradnya Paramita
- [3] BMKG Stasiun Geofisika Kelas 1 Winangun, Manado.
- [4] Gonen, T. 1988. "*Electric Power Transmission System Engineering: Analysis and Design*". California State University Sacramento : A Wiley Interscience Publication, California.

- [5] Hajar, Ibnu dan Eko Rahman. 2017. *“Kajian Pemasangan Lightning Arrester Pada Sisi HV Transformator Daya Unit Satu Gardu Induk Teluk Betung”*. Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknik PLN. Jakarta
- [6] Hileman, Andrew R. 1999. *Insulation Coordination for Power Systems*. New York : Marcel Dekker, Inc.
- [7] IEC Publication 71-2. 1970. *“Lightning Arrester”*. Part 1 : Non-linear resistor type arrester for a.c. system
- [8] IEC Publication 71-2. 1976. *“Insulation Coordination”*. Part 2 : Application Guide.
- [9] Paraisu, M.S. 2013. *“Analisa Rating Lightning Arrester Pada Jaringan Transmisi 70 kV Tomohon-Teling”*. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi. Manado
- [10] PT. PLN (Persero), Lightning Arrester
- [11] PT. PLN (Persero) UPT MANADO. 2019. SOP Peralatan Gardu Induk Paniki. Manado
- [12] Ranti, Brando Alexander. 2018. *“Analisa Koordinasi Isolasi Peralatan Di Gardu Induk Teling 70 kV”*. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, UNSRAT. Manado
- [13] SPLN 7-1978, Pedoman Pemilihan Tingkat Isolasi Transformator dan Penangkap Petir
- [14] Wullur Fenny. 2005. *“Evaluasi Koordinasi Isolasi pada Peralatan Gardu Induk 150 kV Lopana”*. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, UNSRAT. Manado
- [15] Zoro, R., 1987. *“Masalah Tegangan Tinggi”*. Badan Pelaksana Prokerma PLN-ITB Pendidikan Sarjana Teknik Elektro ITB

TENTANG PENULIS



Penulis bernama lengkap **Amelia Lidia Kolompoy**, anak pertama dari dua bersaudara Yonatan Imanuel Kolompoy (adik) dari pasang suami istri Elia Kolompoy (Ayah) dan Riny Lakoy (Ibu). Lahir di Modoinding 1 April 1999. Sebelum menempuh jenjang pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi, penulis telah menempuh pendidikan secara berturut-turut di SD GMIM Pinasungkulan Kec. Modoinding (2005-2011), SMP Negeri 2 Modoinding (2011-2014), SMA Katolik Theodorus Kotamobagu (2014-2017).

Pada tahun 2017, penulis memulai pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado di Jurusan Teknik Elektro, dengan mengambil konsentrasi minat Tenaga Listrik. Pada tahun 2020 penulis melaksanakan Kerja Praktek (Magang) di PT. Jago Elfah Anugerah.

Selama menempuh pendidikan penulis aktif dalam kegiatan dan organisasi di dalam dan luar kampus, terutama dalam kegiatan di Laboratorium Tenaga Listrik UNSRAT, UPK Kristen FT. UNSRAT (Panitia RP3 2018 dan Panitia BC 2018-2020) dan Himpunan Mahasiswa Elektro FT. UNSRAT (Bid.Akademik 2019-2020 dan Bendahara 2020-2021). Penulis selesai menempuh pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado pada Bulan November 2021, dengan judul Analisa Koordinasi Isolasi Arrester pada Transformator di Gardu Induk Paniki 150 kV.