

SKRIPSI

**EVALUASI TINGKAT ISOLASI DASAR TERHADAP PENENTUAN
ARRESTER TEGANGAN NOMINAL JARINGAN PADA GARDU INDUK
DI POLEWALI MANDAR SULAWESI BARAT**



MUH. IQBAL

105 82 1473 14

HALMAN

105 82 1167 13

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**

2019

**EVALUASI TINGKAT ISOLASI DASAR TERHADAP PENENTUAN
ARRESTER TEGANGAN NOMINAL JARINGAN PADA GARDU INDUK
DI POLEWALI MANDAR**

SULAWESI BARAT

Skripsi

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat

Untuk Memperoleh Gelar Sarjana

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknik

Disusun dan diajukan oleh:

MUH. IQBAL

105 82 1473 14

HALMAN

105 82 1167 13

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**

2019



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website: www.unismuh.ac.id, e_mail: unismuh@gmail.com

Website: <http://teknik.unismuh.makassar.ac.id>

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : **EVALUASI TINGKAT ISOLASI DASAR TERHADAP PENENTUAN ARRESTER TEGANGAN NOMINAL JARINGAN PADA GARDU INDUK POLEWALI**

Nama : 1. Halman
2. Muh. Iqbal

Stambuk : 1. 10582 1167 13
2. 10582 1473 14

Makassar, 19 Juni 2019

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing,

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Ir. Hj. Hafsa Nirwana, M.T

Rizal Ahdiyat Duyo, S.T., M.T

Mengetahui,

Ketua Jurusan Elektro



Adriani, S.T., M.T.

NBM : 1044 202



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website: www.unismuh.ac.id, e_mail: unismuh@gmail.com

Website: <http://teknik.unismuh.makassar.ac.id>

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

PENGESAHAN

atas nama Halman dengan nomor induk Mahasiswa 10582 1167 13 dan Muh. Iqbal dengan nomor induk Mahasiswa 10582 1473 14, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0003/SK-Y/20201/091004/2019, sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Senin tanggal 17 Juni 2019.

Makassar,

15 Syawal 1440 H

19 Juni 2019 M

Panitia Ujian :

Anggawas Umum

Rector Universitas Muhammadiyah Makassar

Prof. Dr. H. Abdul Rahman Rahim, SE., MM.

Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Dr. Ir. H. Muh. Arsyad Thaha, M.T

Anggaji

Ketua : Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc

Sekretaris : Adriani, S.T., M.T

Anggota : 1. Dr. Umar Katu, S.T., M.T

2. Dr. Eng. Ir. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng :

3. Anugrah, S.T., M.M

Mengetahui :

Pembimbing I

Dr. Ir. Hj. Hafsah Nirwana, M.T

Pembimbing II

Rizal Ahdiyat Duyo, S.T., M.T

Dekan



Ir. Hamzah Al Imran, S.T., M.T., IPM

NBM : 855 500

KATA PENGANTAR



Puji syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena Rahmat dan Hidayahnyalah sehingga penulis dapat menyusun skripsi ini, dan dapat kami selesaikan dengan baik. Tugas proposal ini disusun sebagai salah satu persyaratan akademik yang harus ditempuh dalam rangka penyelesaian program studi pada jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Adapun judul tugas proposal ini adalah *“EVALUASI TINGKAT ISOLASI DASAR TERHADAP PENENTUAN ARRESTER TEGANGAN NOMINAL JARINGAN PADA GARDU INDUK POLEWALI”*.

Penulis Menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan-kekurangan, hal ini disebabkan penulis sebagai manusia yang tidak luput dari kesalahan dan kekurangan baik yang ditinjau dari segi teknis penulisan maupun dari perhitungan-perhitungan. Oleh karena itu penulis menerima dengan ikhlas dan senang hati segala koreksi serta perbaikan guna penyempurnaan tulisan ini agar kelak dapat bermanfaat.

Proposal ini dapat terwujud berkat dan ya bantuan, arahan, dan bimbingan dan berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segala ketulusan dan kerendahan hati, kami mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Ir. Hamsah Al Imran, ST., MT. selaku dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar

2. Dr. Ir. Hj. Hafsah Nirwana, MT selaku Dosen Pembimbing satu
3. Adriani, ST.,MT. Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
4. Rizal A Duyo, ST.,MT. Selaku Dosen Pembimbing dua
5. Ayahanda dan Ibunda tercinta, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala limpahan kasih sayang, doa dan pengorbanannya terutama dalam bentuk materi dalam menyelesaikan kuliah.
6. Saudara-saudaraku serta rekan-rekan mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar terkhususny angkatan 2014 yang dengan keakrabannya dan persaudaraannya banyak membantu dalam menyelesaikan tugas proposal ini.

Semoga semua pihak tersebut diatas mendapat pahala yang berlipat ganda disisi Allah SWT dan proposal yang sederhana ini dapat bermanfaat bagi penulis, rekan-rekan, masyarakat serta bangsa dan Negara, amin.

Makassar, Februari 2019

Penulis

EVALUASI TINGKAT ISOLASI DASAR TERHADAP PENENTUAN ARRESTER TEGANGAN NOMINAL JARINGAN PADA GARDU INDUK DI POLEWALI MANDAR SULAWESI BARAT

Muh. Iqbal¹, Halman²

^{1,2} Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar

E-mail: ¹Muh.iqbhal96@gmail.com, ²Aimankocak20@gmail.com

ABSTRAK

Abstrak; Muh. Iqbal , Halman; (2019); Gardu Induk merupakan bagian yang sangat penting dalam sistem penyaluran energi listrik dengan nilai investasi yang besar. Oleh karena itu perlu diamankan agar terhindar dari kerusakan akibat gangguan dari dalam sistem maupun dari luar sistem. Untuk mengatasi gangguan yang mungkin terjadi, digunakan relay proteksi untuk gangguan yang berasal dari dalam sistem dan arrester untuk gangguan yang berasal dari luar sistem berupa sambaran petir. Pada Gardu Induk Polewali dengan tegangan sistem 150 kV, dalam mengatasi gangguan akibat sambaran petir digunakan arrester dengan tegangan besar 150 kV untuk melindungi peralatan dengan tingkat isolasi dasar 750 kV yang dipasang pada jarak 5 meter dari alat yang dilindungi.

Kata kunci : Gardu induk, arrester, petir dan isolasi

EVALUASI TINGKAT ISOLASI DASAR TERHADAP PENENTUAN ARRESTER TEGANGAN NOMINAL JARINGAN PADA GARDU INDUK DI POLEWALI MANDAR SULAWESI BARAT

Muh. Iqbal¹, Halman²

^{1,2} Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar

E-mail: ¹Muh.iqbhal96@gmail.com, ²Aimankocak20@gmail.com

ABSTRACT

Abstract; Muh. Iqbal, Halman; (2019); Substation is a very important part of the electrical energy distribution system with a large investment value. Therefore it needs to be secured to avoid damage due to interference from the system or from outside the system. To overcome the possible interference, a protection relay is used for interference originating from the system and arresters for interference originating from outside the system in the form of a lightning strike. At the Polewali Substation with a 150 kV system voltage, overcoming interference due to lightning strikes a 150 kV large voltage arrester is used to protect equipment with a base insulation level of 750 kV installed at a distance of 5 meters from the protected equipment.

Keywords: substations, arresters, lightning and insulation

DAFTAR ISI

Isi Halaman

HALAMAN SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN.....	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	2
C. Tujuan Penelitian	2
D. Manfaat Penelitian	3
E. Batasan Masalah.....	3
F. Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
A. Tegangan Lebih Surja	5
1. Proses Terjadinya Petir	5
2. Tahapan Sambaran Petir ke Tanah	5

3. Bentuk Sambaran Surja Petir	6
4. Mekanisme Sambaran Surja Petir	7
a. Pengaruh Bentuk Permukaan Bumi	7
b. Efek Kedekatan dengan Konduktor Pentanahan.....	8
B. Alat Pengaman Tegangan Lebih Surja.....	8
1. Tanduk Api (Arcing Horn).....	8
2. Penangkal Petir (Lightning Arrester)	10
a. Jenis-jenis Arrester.....	12
b. Prinsip Kerja Arrester	14
C. Koordinasi isolasi pada gardu induk 150 Kv	16
D. Dasar Penentuan Koordinasi Isolasi.....	17
E. Isolasi Hantaran Udara.....	18
F. Tingkat Isolasi Peralatan Gardu	21
G. Pemilihan Arrester	25
1. Menentukan Tegangan Pengenal Arrester	25
2. Menentukan Arus Pelepasan Arrester.....	27
3. Menentukan Tegangan Pelepasan (Kerja)	29
4. Faktor Perlindungan	30
5. Penentuan Jarak Maksimum Arrester dan Peralatan.....	30
BAB III METOLOGI PENELITIAN	33
A. Waktu dan Tempat	33
a. Waktu	33
b. Tempat Penelitian.....	33

B. Metode Penelitian.....	33
C. Langkah-langkah Penelitian.....	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	37
A. Data Hasil Penelitian.....	37
B. Koordinasi Isolasi Pada Gardu Induk 150 kv Polewali	39
C. Perencanaan Koordinasi Isolasi	39
1. Menentukan Tegangan Pengenal Arrester	39
2. Menentukan Arus Pelepasan Arrester	40
3. Menentukan Tegangan Pelepasan Arrester.....	41
4. Menentukan TID Peralatan	41
5. Menentukan Jarak Maksimum Arrester Keperalatan.....	43
D. Evaluasi Koordinasi Isolasi Pada Gardu Induk 150 kv Polewali.....	43
1. Menghitung Jumlah Isolator Gantung.....	44
2. Menghitung Impuls Margin (Faktor Perlindungan Antara Arrester dengan Trafo).....	44
3. Menghitung Jarak Maksimum Arrester ke Trafo.....	45
4. Menghitung Jarak Pisah Arrester dengan CB	46
E. Analisis Hasil	46
BAB V PENUTUP.....	48
A. Kesimpulan	48
B. Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

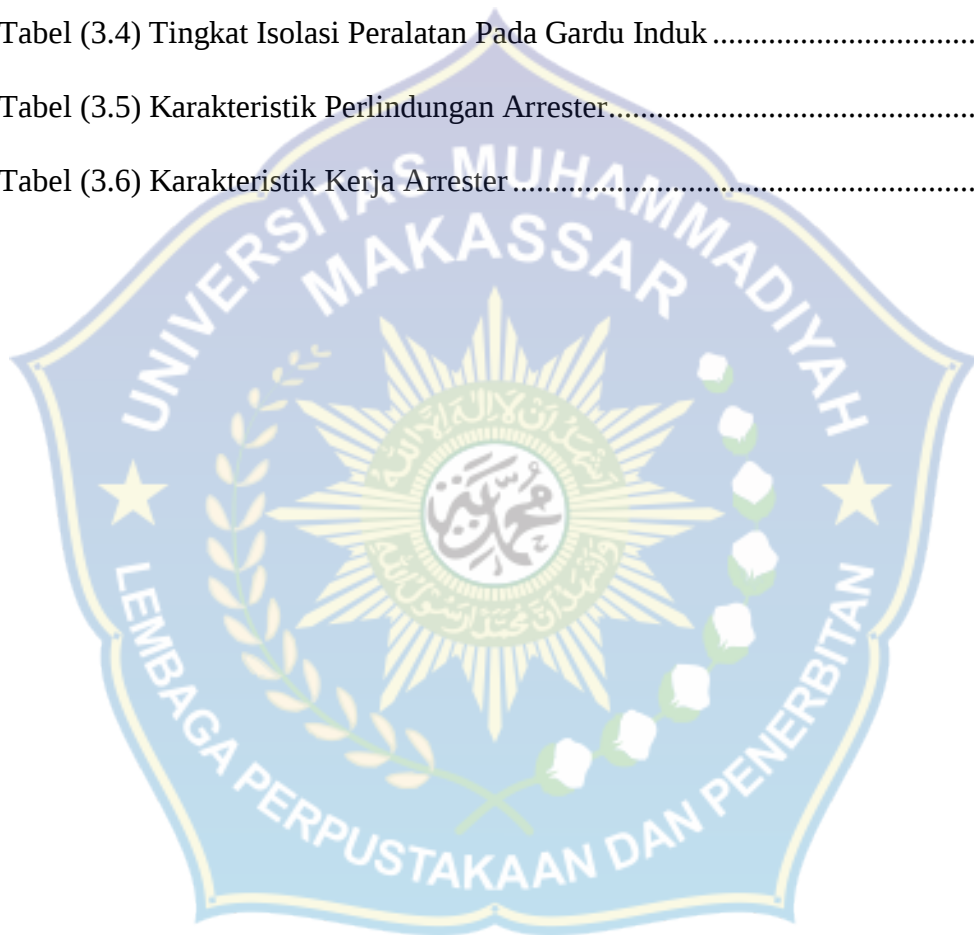
DAFTAR GAMBAR

Gambar (2.1) Mekanisme Sambaran Petir	7
Gambar (2.2) Tanduk Api Dan Karakteristik Volt Waktu.....	9
Gambar (2.3) Bagian-bagian Utama Penangkal Petir	11
Gambar (2.4) Gardu Induk Dengan Perlindungan Arrester	12
Gambar (2.5) Elemen-elemen Arrester Jenis Ekspulsi	13
Gambar (2.6) Elemen-elemen Arrester Jenis Katup	14
Gambar (3.1) Transformator dan Arrester Terpisah Sejauh S.....	31
Gambar (3.2) Diagram Blok Sistem	34



DAFTAR TABEL

Table (3.1) Tegangan Lebih Pada Sistem	18
Table (3.2) Karakteristik Lompatan Api Isolator Gantung 250 mm	20
Tabel (3.3) Standar Tingkat Isolasi.....	21
Tabel (3.4) Tingkat Isolasi Peralatan Pada Gardu Induk	24
Tabel (3.5) Karakteristik Perlindungan Arrester.....	28
Tabel (3.6) Karakteristik Kerja Arrester	29



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Saat ini, kebutuhan akan tenaga listrik semakin meningkat sehingga tegangan tinggi sangat diperlukan. Adanya tegangan tinggi disebabkan karena pusat-pusat pembangkitan tenaga listrik tidak selalu berada didekat pusat beban sehingga diperlukan jaringan yang sangat panjang antara pusat pembangkit dengan pusat beban. Jarak yang jauh ini akan menyebabkan drop tegangan yang besar terjadi pada beban (konsumen).

Kontinuitas pelayanan daya dan keandalan suatu sistem tenaga listrik dipengaruhi oleh kemampuan gardu induk dalam menahan gangguan. Selain tegangan tinggi juga terdapat tegangan periodik yang melebihi tegangan nominal jaringan. Tegangan aperiodik ini dibedakan menjadi dua yaitu:

- Tegangan lebih surja hubung, akibat dan proses perubahan posisi pemutus tenaga (CB) pada operasi jaringan sistem tenaga.
- Tegangan lebih surja petir, yang timbul akibat sambaran petir.

Kedua jenis tegangan aperiodik ini dapat melebihi beberapa kali tegangan nominal jaringan sehingga dapat merusak peralatan-peralatan listrik pada jaringan.

Dengan demikian harus dipertimbangkan berapa tingkat isolasi peralatan yang seharusnya dan kemampuan dari alat-alat proteksi tegangan lebih. Koordinasi isolasi didefinisikan sebagai korelasi antara kekuatan isolasi peralatan sistem tenaga dan sirkuit-sirkuit listrik di satu pihak dengan karakteristik proteksi

tegangan lebih di lainpihak, sehingga isolasi peralatan tersebut terlindung dari bahaya-bahaya tegangan lebih secara ekonomis.

Kesalahan dalam penerapan proteksi terhadap petir, bisa berakibat fatal karena Gardu Induk Polewali mensuplai daya yang cukup tinggi. Kegagalan Gardu Induk Polewali dapat menyebabkan sistem di Polewali dan sekitarnya padam total khususnya pada waktu beban puncak. Sehubungan dengan hal tersebut di atas penulis mengambil judul "Evaluasi Tingkat Isolasi Dasar Terhadap Penentuan Arrester Tegangan Nominal Jaringan Pada Gardu Induk Polewali".

B. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah adalah :

1. Berapakah tegangan pengenalan arrester untuk tegangan sistem 150 kV.
2. Bagaimanakah faktor perlindungan arrester terhadap transformator.
3. Bagaimanakah evaluasi untuk tingkat isolasi dasar (TID) peralatan yang terpasang pada Gardu Induk.
4. Bagaimanakah evaluasi jarak maksimum arrester ke transformator.

C. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin di capai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan tegangan pengenalan arrester untuk tegangan sistem 150 kV.
2. Mengetahui faktor perlindungan arrester terhadap transformator.
3. Mengevaluasi tingkat isolasi dasar (TID) peralatan yang terpasang pada GarduInduk.
4. Mengevaluasi jarak maksimum arrester ke transformator.

D. Manfaat Penelitian

Gardu Induk merupakan bagian yang besar peranannya dalam sistem penyaluran energi listrik dengan investasi yang sangat besar. Oleh sebab itu manfaat dari tugas akhir ini adalah memberikan perlindungan pada sistem proteksi yang membatasi atau mencegah kerusakan peralatan akibat adanya gangguan pada sistem.

E. Batasan Masalah

Peninjauan mengenai evaluasi sistemnya, akan mencakup masalah yang sangat luas. Untuk membatasi masalah maka koordinasi isolasi Gardu Induk Polewalihanya dilihat dari segi perlindungan terhadap petir.

F. Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis menggunakan metode-metode sebagai berikut:

- Studi literatur, yaitu dengan studi dari buku-buku yang menjadi referensi dalam penulisan landasan teori.
- Pengambilan data, yaitu dengan metode wawancara dan pengambilan data pada Gardu Induk Polewali yang berkaitan dengan tugas akhir ini.

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini disusun secara berurut sebagai berikut:

Bab I merupakan pendahuluan yang berisikan latar belakang masalah, alasan memilih judul, rumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, metode penulisan serta Sistematika penulisan.

- Bab II merupakan bagian yang memberikan gambaran umum mengenai sumber tegangan lebih dan proteksi tegangan lebih.
- Bab III merupakan pengembangan metode analisis mengenai koordinasi isolasi pada Gardu Induk.
- Bab VI merupakan perhitungan serta evaluasi koordinasi isolasi pada gardu induk Polewali.
- Bab V merupakan kesimpulan dari hasil penelitian yang telah ditulis pada bab-bab pendahuluan dan sekaligus memberikan saran-saran.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Tegangan Lebih Surja

1. Proses Terjadinya Petir

Pada keadaan tertentu, dalam lapisan atmosfer bumi terdapat gerakan angin ke atas membawa udara lembab. Semakin tinggi dari permukaan bumi maka tekanan dan suhunya rendah. Uap air mengondensasi menjadi titik air dan membentuk awan.

Angin keras yang meniup ke atas membawa awan lebih tinggi. Pada ketinggian kurang lebih 5 km, awan membeku menjadi kristal es, yang turun lagi karena adanya gravitasi bumi. Karena tetesan air mengalami pergeseran, maka terjadilah pemisahan muatan listrik. Tetesan air yang bermuatan positif berada di bagian atas dan yang bermuatan negatif berada di bawah.

Dengan adanya awan yang bermuatan akan timbul induksi pada permukaan bumi, sehingga timbul muatan listrik. Mengingat dimensi bumi dianggap rata terhadap awan. Jika medan listrik yang terjadi melebihi medan tembus udara, maka terjadilah pelepasan muatan dan pada saat itulah terjadi petir.

2. Tahapan Sambaran Petir ke Tanah

Pada saat gradien tegangan di awan melebihi harga tembus terionisasi maka terjadilah pilot steamer yang menentukan arah perambatan muatan dari awan ke udara yang ionisasinya rendah di ikuti dengan titik cahaya.

Petir merupakan suatu proses awal yang terjadi di atmosfer pada waktu hujan (thunder storm). Muatan akan terkonsentrasi didalam awan dan muatan yang berlawanan akan timbul pada permukaan tanah dibawahnya. Jika muatan bertambah, beda potensial antara awan dan tanah akan naik maka kuat medan di udara juga akan naik. Jika kuat medan ini melebihi kuat medan diantara awan dan tanah maka akan terjadi pelepasan muatan.

Pilot steamer yang membawa muatan akan mengawali aliran ke tanah sehingga saluran yang di buat oleh pilot steamer ini menjadi bermuatan dan kuat medan (potensial gradien) dari ujung leader ini sangat tinggi.

Setiap sambaran petir bermula sebagai suatu lidah petir yang bergerak turun dari awan bermuatan. Kemudian terjadilah gerakan pilot steamer yang diikuti dengan lompatan titik-titik cahaya yang dinamakan step leader.

3. Bentuk Sambaran Surja Petir

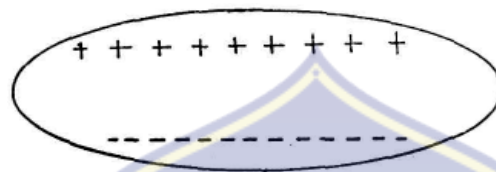
Sambaran petir dapat berupa sambaran langsung dan sambaran tidak langsung. Sambaran langsung adalah sambaran yang terjadi langsung pada konduktor atau peralatan Gardu Induk. Gangguan ini menyebabkan tegangan lebih (over voltage) yang sangat tinggi dan paling membahayakan sistem tenaga listrik.

Sambaran tidak langsung adalah sambaran petir yang terjadi tidak langsung mengenai konduktor atau peralatan Gardu Induk. Gangguan ini pengaruhnya terhadap sistem tidak terlalu membahayakan, tetapi gangguan inilah yang paling banyak terjadi pada sistem.

4. Mekanisme Sambaran Surja Petir

Loncatan dalam awan terjadi sesudah potensial gradien pada mata ujung petir.

Loncatan berupa arus listrik menuju kearah permukaan bumi dengan kecepatan kurang lebih $\frac{1}{6}$ dari kecepatan sinar (3×10^8 m/s).



Gambar 2.1 Mekanisme sambaran petir

Jalan yang di tempuh oleh petir tidak lurus, tetapi biasanya berkelok-kelok.

Mata petir berpindah-pindah sehingga merupakan cabang beranting .

a. Pengaruh Bentuk Permukaan Bumi

Petir lebih cenderung menyambar tempat-tempat yang tinggi di permukaan bumi. Hal ini karena kuat medan di sekitar ujung atau puncak bangunan lebih rapat dan sifat muatan akan cenderung mengumpul pada puncak yang runcing . Bukan tidak mungkin sebuah bangunan yang tinggi tidak disambar petir pada ujungnya tetapi pada dasar ataupun tengahnya yang disebabkan oleh step leader.

b. Efek Kedekatan dengan Konduktor Pentanahan

Saat konduktor penangkal petir dilalui arus sambaran petir, sangatlah mungkin orang atau bangunan di sekitarnya akan di sambar oleh arus sambaran tersebut.

B. Alat Pengaman Tegangan Lebih Surja

Alat pengaman terhadap tegangan surja berfungsi melindungi peralatan sistem tenaga listrik dengan cara membatasi surja tegangan lebih yang datang dan mengalirkannya ke tanah. Berhubung dengan fungsinya itu, pengaman harus dapat menahan tegangan sistem 50 Hz untuk waktu yang tak terbatas dan harus dapat melakukan surja arus ketanah tanpa mengalami kerusakan. Selain itu sebuah alat pengaman yang baik mempunyai perbandingan perlindungan yang tinggi, yaitu perbandingan antara tegangan surja maksimum yang diperbolehkan pada waktu pelepasan (discharge) dan tegangan sistem 50 Hz maksimum yang dapat di tahan sesudah pelepasan terjadi. Ada dua macam alat pengaman terhadap adanya surja pada sistem tenaga listrik yang umum di pakai yaitu :

1. Tanduk api (arcing horn)
2. Penangkal petir (lightning arrester).

1. Tanduk Api (arcing horn)

Tanduk api adalah alat pengaman yang paling sederhana, alat ini terdiri dari dua batang penghantar yang mempunyai penampang tertentu (umumnya persegi) dengan luas kurang lebih 0,5 inci². Pada kedua sumbu yang sama, batang penghantar tersebut di pisahkan oleh sela udara dan dapat diatur jaraknya.

Salah satu dari batang penghantar tadi dihubungkan pada saluran transmisi sedangkan batang penghantar yang lain dihubungkan ke tanah. Sela itu biasanya diatur supaya terjadi kegagalan (breakdown), kira-kira 20 % dibawah tegangan percikan dari isolator. Jarak antara sela dan isolator harus lebih besar dari $\frac{1}{3}$ panjang sela, seperti diperlihatkan pada gambar 2.2. Panjang sela tergantung dari tegangan sistem dimana semakin tinggi tegangan, maka sela yang digunakan semakin panjang.

Meskipun tanduk api mempunyai bentuk yang sederhana, peralatan ini memiliki keterbatasan sebagai berikut:

- Tidak dapat memutuskan arus susulan (power flow current) yang diakibatkan oleh percikan api.
- Sela batang dapat meleleh akibat energi panas dengan temperatur tinggi yang lepas melalu busur api.
- Karakteristik tembus dari tanduk api sangat dipengaruhi oleh keadaan alam seperti kelembaban, temperatur dan tekanan.
- Untuk gelombang pendek, tegangan gagalnya naik lebih besar dari pada



Gambar 2.2 Tanduk api dan Karakteristik Volt-Waktu Keterangan:

a. Tanduk api pada isolasi saluran

b. Karakteristik Volt-Waktu

A = Lengkung tanduk api

B = Karakteristik lompatan api dan isolator peralatan

S = Sela

d = Jarak tanduk api ke isolator

Jadi tanduk api merupakan alat pengaman yang kurang baik dan tidak bisa pakai sebagai alat pengaman utama terhadap surja, tetapi tanduk api dapat digunakan sebagai pengaman cadangan. Sekarang tanduk api masih dipakai untuk melindungi CB dalam keadaan terbuka, bushing dipergunakan terutama untuk trafo dan pada isolator hantaran udara.

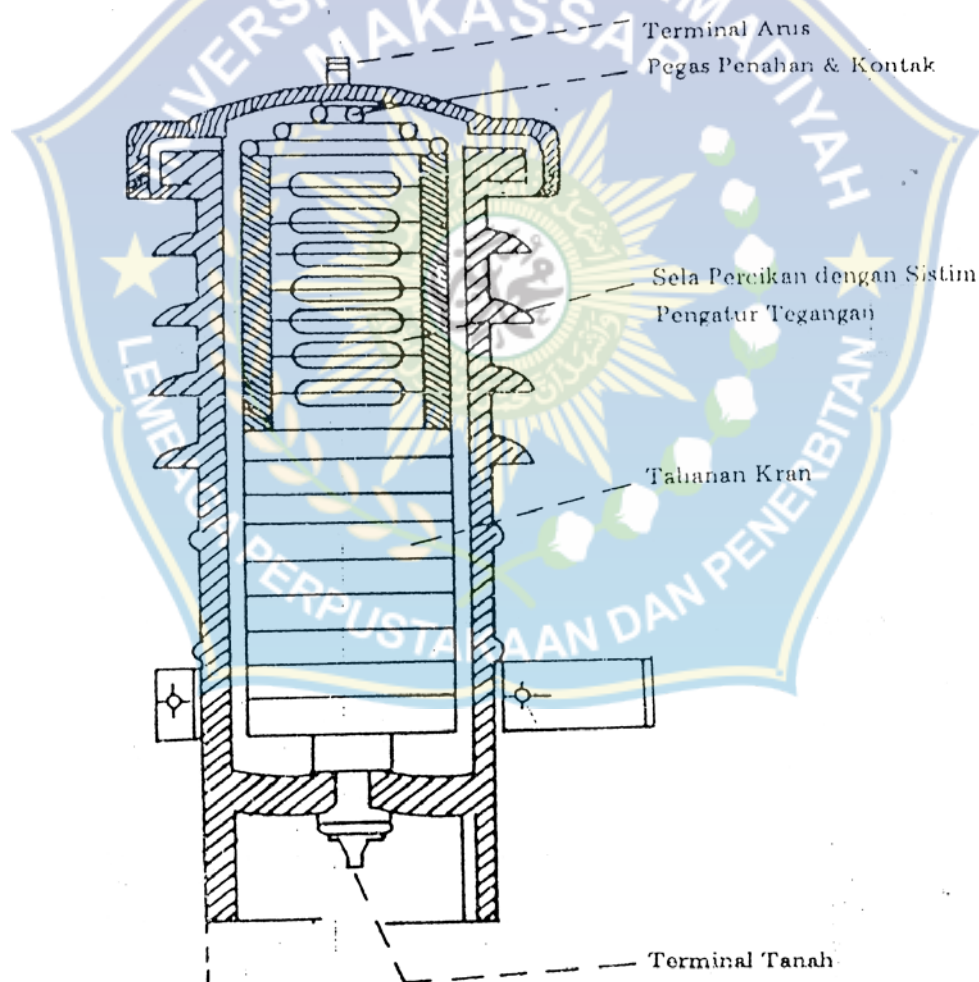
2. Penangkal Petir (Lightning Arrester)

Penangkal petir adalah alat untuk melindungi isolasi atau peralatan listrik terhadap tegangan lebih yang diakibatkan oleh sambaran petir dengan jalan mengalirkan arus ketanah serta membatasi berlangsungnya arus susulan. Alat ini bersifat sebagai jalan pintas (by-pass) disekitar isolasi yang membentuk jalan dan mudah dilalui arus kilat ke sistem pentanahan sehingga tidak menimbulkan tegangan lebih yang tinggi dan tidak merusak isolasi peralatan listrik. Jalan pintas itu harus sedemikian rupa sehingga tidak mengganggu aliran daya sistem 50 Hz.

Pada pokoknya arrester terdiri dari sela api (spark gap) tahanan katup (Valve Resistor) dan sistem pengaturan atau pembagi tegangan (Grading system). Tahanan kran mempunyai sifat khusus bahwa tahananannya kecil bila tegangan besar. Proses pengecilan tahanan berlangsung cepat sekali yaitu selama tegangan

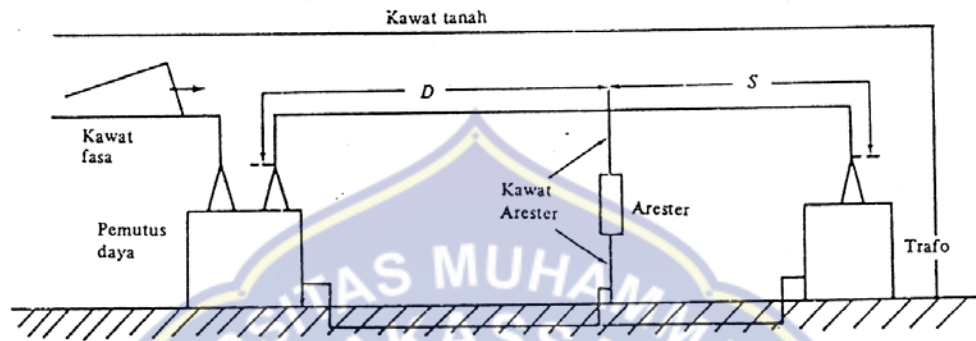
lebih mencapai harga puncak. Dalam hal ini tegangan lebih cepat mengakibatkan penurunan drastis tahanan, sehingga jatuh tegangan dibatasi meskipun arusnya besar.

Jadi pada keadaan normal arrester berlaku sebagai isolator dan bila timbul tegangan surja alat ini berlaku sebagai konduktor yang tahananannya relatif rendah, sehingga dapat mengalirkan arus yang tinggi. Setelah surja hilang arrester harus dengan cepat kembali menjadi isolator sehingga pemutus daya tidak sempat membuka.



Gambar 2.3 Bagian-bagian utama penangkal petir

Sesuai dengan fungsinya, arrester pada umumnya dipasang pada setiap ujung SUTT yang memasuki Gardu Induk. Bahkan di Gardu Induk besar ada kalanya pada transformator dipasang juga arrester untuk menjamin terlindungnya transformator dan peralatan lainnya dari tegangan lebih tersebut.



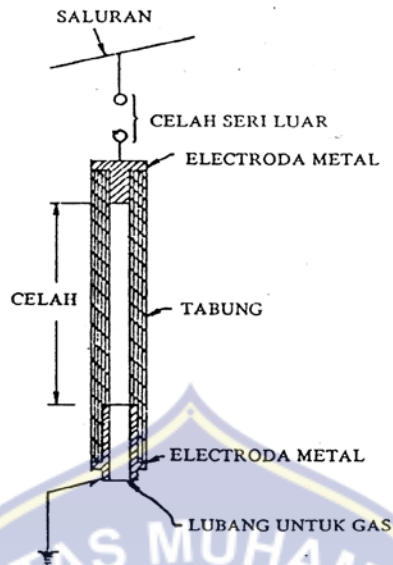
Gambar 2.4 Gardu Induk dengan perlindungan Arrester

a. Jenis-jenis Arrester

Arrester terbagi atas dua jenis yaitu jenis ekspulsi (expulsion type) dan jenis katup (valve type).

1) Arrester Jenis Ekspulsi (expulsion type)

Arrester tipe ekspulsi (gambar 2.5) terdiri dari tabung isolasi yang mempunyai elektroda disetiap; ujung dan lubang discharge pada ujung bawah. Panjang tabung sedemikianrupa sehingga tegangan percik (sparkover) terjadi pada gap antara dua elektroda dalam tabung.



Gambar 2.5 Elemen-elemen arrester jenis ekspulsi

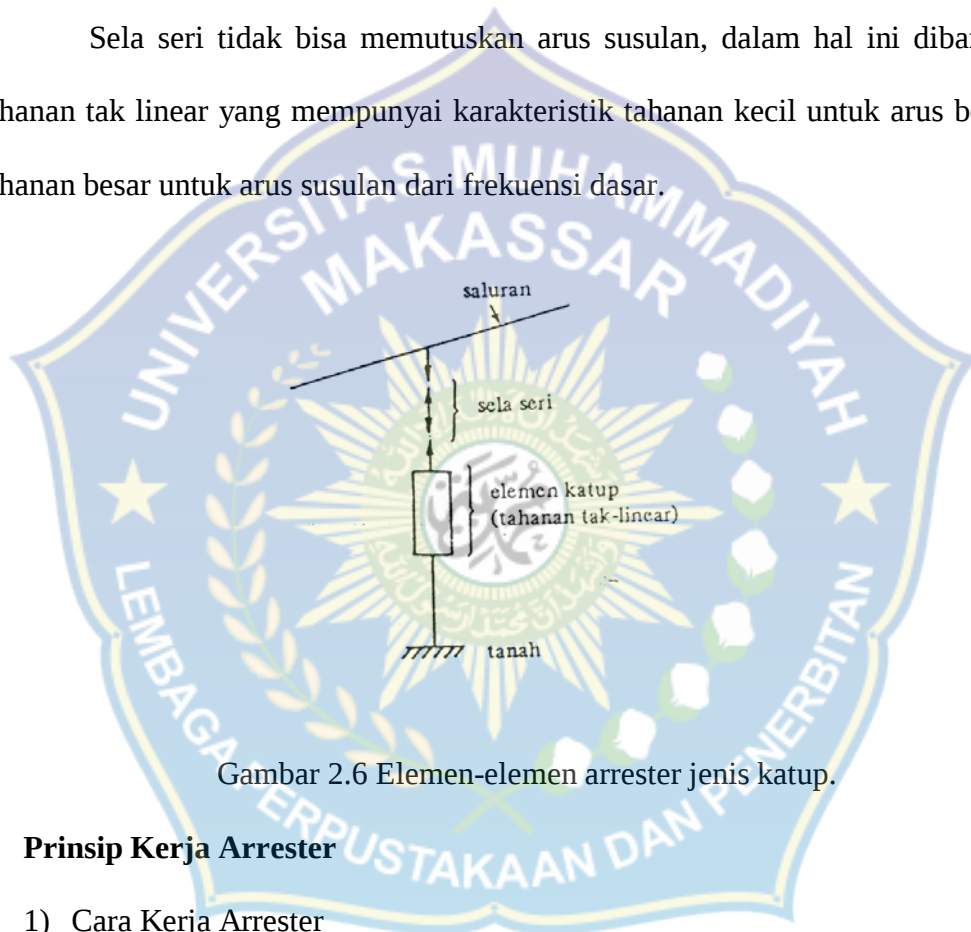
Bila ada tegangan surja yang tinggi sampai pada jepitan arrester kedua sela percik, yang diluar dan yang berada dalam tabung serat, tembus seketika dan membentuk jalan pengantar dalam bentuk busur api. Jadi arrester mempunyai konduktor dengan impedansi rendah dan melakukan surja arus dan arus daya sistem bersama-sama. Panas yang timbul karena mengalirnya arus petir menguapkan sedikit bahan dinding tabung serat, sehingga gas yang ditimbulkannya menyembur pada api dan mematikannya pada waktu arus susulan melewati titik nolnya. Arus susulan dalam arrester jenis ini dapat mencapai harga yang tinggi sekali tetapi lamanya tidak lebih dari satu atau dua gelombang dan biasanya kurang dari setengah gelombang. Jadi tidak menimbulkan gangguan.

Arrester ini banyak digunakan pada saluran transmisi untuk membatasi besar surja yang memasuki Gardu Induk. Dalam penggunaan yang seperti ini arrester jenis ekspulsi biasa juga disebut sebagai tabung pelindung.

2) Arrester Jenis Katup (valve type)

Arrester jenis katup ini terdiri dari sela percik terbagi atau sela seri yang terhubung dengan elemen tahanan yang mempunyai karakteristik tidak linear (gambar 2.6) Tegangan frekuensi dasar tidak dapat menimbulkan tembus pada sela seri, Apabila sela seri tembus pada saat tiba suatu surja yang cukup tinggi, alat tersebut menjadi penghantar.

Sela seri tidak bisa memutuskan arus susulan, dalam hal ini dibantu oleh tahanan tak linear yang mempunyai karakteristik tahanan kecil untuk arus besar dan tahanan besar untuk arus susulan dari frekuensi dasar.



Gambar 2.6 Elemen-elemen arrester jenis katup.

b. Prinsip Kerja Arrester

1) Cara Kerja Arrester

Sebelum surja mencapai transformator, arrester akan melakukan petir setelah kurang lebih 0,25 μs tegangan surja akan mencapai harga tegangan tembus sela, sehingga arrester akan bekerja. Tegangan surja yang naik dengan cepat ini akan menyebabkan elemen non linear mempunyai tahanan yang rendah sehingga

memungkinkan energi dari surja dilepaskan ke tanah, dengan demikian surja yang masuk ke peralatan yang dilindungi sudah tidak membahayakan peralatan sistem.

Proses ini hanya memerlukan waktu beberapa puluh micro second (20-30 us).

Tegangan maksimum yang terjadi di terminal arrester disebut tegangan kerja atau tegangan pelepasan dari arrester.

Dalam hal sistem beroperasi normal maka arrester diharapkan mampu menahan tegangan kerja sistem dan tidak menyalurkan arus ke tanah. Bila gelombang berjalan pada kawat fasa menuju dan sampai ke arrester maka sela api akan tembus, tahanan menjadi sangat kecil menyebabkan arus surja tersalurkan ke tanah melalui lempengan tahanan. Bila arus surja telah lewat maka harga tahanan arrester akan kembali ke harga semula.

2) Arus Pelepasan Nominal

Adalah arus pelepasan dengan harga puncak dan bentuk gelombang tertentu yang digunakan untuk menentukan kelas dari arrester sesuai dengan kemampuan melakukan arus dan karakteristik perlingkungannya.

3) Tegangan Percikan Frekuensi Jala-jala

Arrester tidak boleh bekerja pada gangguan tegangan lebih di dalam sistem (Internal Overvoltage) dengan amplitud yang rendah karena dapat membahayakan sistem. Untuk alasan ini maka ditentukan tegangan percikan frekuensi jala-jala minimum. Menurut standar IEC - $1,5 \times$ rating tegangan arrester.

4) Tegangan Percikan Impuls Maksimum

Adalah tegangan impuls tertinggi yang terjadi pada terminal sebelum arrester tersebut

bekerja. Bentuk gelombang impuls tersebut menurut IEC adalah 1,2/50 (is. Hal ini menunjukkan bahwa jika tegangan puncak surja yang datang mempunyai harga yang lebih tinggi atau sama dengan tegangan percikan maksimum dari arrester, maka arrester tersebut akan bekerja memotong surja tersebut dan mengalirkannya ke tanah.

5) Tegangan Sisa

Adalah tegangan yang timbul diantara terminal arrester pada saat arus surja mengalir ke tanah.

6) Arus Pelepasan Maksimum

Adalah surja maksimum yang dapat mengalir melalui arrester setelah tembusnya sela sen tanpa merusak atau merubah karakteristik dari arrester. Bentuk gelombang arus surja menurut standar IEC adalah $4 \mu\text{s}/10 \mu\text{s}$. Harga puncak arus adalah 65 kA untuk kelas 5 kA dan 100 kA untuk kelas 10 kA.

C. Koordinasi isolasi pada gardu induk 150 kv

Sebagaimana diketahui bahwa pemakaian tegangan tinggi sangat membantu dalam usaha menekan rugi-rugi daya listrik pada saluran transmisi. Pemakaian tegangan tinggi 150 KV didasarkan pada faktor ekonomis dan teknis penyaluran daya listrik ke konsumen.

Gardu Induk dalam penyaluran daya merupakan bagian yang sangat vital sehingga semua peralatan yang ada didalamnya harus terjaga dari setiap gangguan yang dapat menyebabkan kerusakan. Gangguan yang terjadi diantaranya adalah tegangan lebih yang mengancam isolasi peralatan, sehingga semua peralatan dalam Gardu Induk (terutama transformator) harus dilindungi oleh alat pelindung.

Persoalan utama yang menyangkut tegangan lebih surja petir adalah ketahanan isolasi. Dan untuk persoalan ini ditemukan dua permasalahan pokok yaitu penekanan biaya

serendah mungkin dan tingkat perlindungan yang diperoleh semaksimal mungkin. Untuk itulah diperlukan adanya koordinasi isolasi, dimana arti koordinasi isolasi ini adalah korelasi antara kemampuan isolasi peralatan listrik di satu pihak dan alat-alat pelindung di lain pihak sedemikian rupa sehingga isolasi peralatan tersebut terlindung dari bahaya-bahaya tegangan lebih secara ekonomis. Tujuannya adalah menciptakan suatu sistem yang bagian-bagiannya, satu sama lain mempunyai ketahanan isolasi yang diatur sedemikian rupa sehingga dalam setiap kondisi operasi, kualitas pelayanan/penyediaan tenaga listrik dapat dicapai dengan biaya seminim mungkin, termasuk faktor biaya awal (first cost), biaya pemeliharaan dan biaya peralatan cadangan (spare).

Masalah koordinasi isolasi secara garis besar menyangkut hal-hal sebagai berikut:

1. Penentuan tingkat isolasi dari isolasi hantaran udara
2. Penentuan Tingkat Isolasi Dasar (TID) peralatan
3. Pemilihan arrester (alat pelindung)

D. Dasar Penentuan Koordinasi Isolasi

Dalam kaitannya dengan koordinasi isolasi Gardu Induk 150 KV maka dasar yang dipilih harus mempertimbangkan besarnya tegangan lebih yang mungkin timbul (lihat tabel 3.1)

Tabel 3.1 Tegangan Lebih Pada Sistem

Jenis tegangan lebih	Waktu Berlangsungnya	Besarnya (PU)
Bertahan	1 - 60 detik	1,0-1,4
Sementara	0,03 - 1 detik	1,4-3
Surja Hubung	10 -4000 μ s	1,5-3,5
Surja Petir	0,5-10s	>4

Dari tabel diatas jelas bahwa surja petir mempunyai harga tegangan tertinggi yang berarti harus selalu diperhitungkan dalam setiap penentuan koordinasi isoalsi.

Surja hubung belum menyebabkan kerusakan yang berarti pada isolasi dibandingkan dengan surja petir, sehingga dasar/orientasi utama koordinasi isolasi Gardu Induk 150 kV adalah surja petir. Ini berarti bahwa semua isolasi yang dipakai pada peralatan gardu induk 150 kV hanya berorientasi pada surja petir disatu pihak dan tingkat proteksi dari arrester dilain pihak sehingga jika terjadi kegagalan isolasi maka surja petirlah yang menjadi penyebabnya bukan tegangan lebih lain.

E. Isolasi Hantaran Udara

Isolasi adalah sifat dari bahan yang dapat memisahkan secara elektris dua penghantar atau lebih yang berdekatan dan bertegangan berbeda sehingga tidak terjadi kebocoran arus, atau terjadinya lompatan api(flashover). Isolator adalah alat listrik yang dipakai untuk menjalankan tugas mengisolasi.

Dalam menyalurkan tenaga listrik dari suatu tempat ke tempat yang lain digunakan kawat transmisi yang digantung oleh serangkaian isolator pada menara transmisi. Isolator ini disebut isolator gantung yang biasanya terbuat dari porselin yang diapit oleh elektroda-elektroda. Isolator gantung memegang peranan yang

penting dalam koordinasi peralatan gardu. Tidak hanya penentuan tingkat isolasi, tetapi juga dalam penentuan besarnya surja yang memasuki gardu.

Isolator gantung mempunyai karakteristik lompatan api, frekuensi daya (basah/kering) dan tegangan lompatan api impuls. Karakteristik dapat dijadikan pedoman dalam menentukan jumlah isolator gantung yang diperlukan pada transmisi untuk tegangan sistem tertentu. Jumlah isolator yang terlalu banyak walaupun handal tetapi akan memperbesar surja yang masuk ke gardu induk sehingga membahayakan peralatan, sebaliknya jika sedikit maka akan sering terjadi gangguan dan keandalan menurun. Dalam hal ini diperlukan perencanaan isolasi sistem yang cukup tahan terhadap tegangan lebih dengan mengingat koordinasinya dengan alat pelindung.

Isolasi hantaran udara harus cukup tinggi untuk mencegah terjadinya kegagalan yang disebabkan oleh surja hubung dan tegangan lebih frekuensi daya dengan memperhitungkan pengaruh lingkungan/alam yang dapat menurunkan tegangan tembus isolator (hujan, angin, kotoran pabrik dan lain-lain).

Tabel 3.2 Karakteristik Lompatan Api Isolator Gantung 250 mm

Jumlah Piringan	Tegangan Lompatan Api Frekuensi 50 Hz		Tegangan Lompatan Api Impuls (kV)
	Kering (kV)	Basah (kV)	
1	80	50	150
2	155	90	225
3	215	130	355
4	270	170	440
5	325	215	525
6	380	255	610
7	435	295	695
8	485	335	780
9	540	375	960
10	590	415	945
11	640	455	1025
12	690	490	1105
13	735	525	1185
14	785	565	1265
15	830	600	1345
16	875	635	1425
17	920	670	-1505
18	965	705	1585
19	1010	740	1665
20	1055	775	1745
21	1100	810	1825
22	1145	845	1905
23	1190	880	1985
24	1235	915	2065
25	1240	950	2145

F. Tingkat Isolasi Peralatan Gardu

Suatu cara yang paling baik untuk melaksanakan koordinasi isolasi antara tingkat isolasi dalam gardu dan isolasi saluran yang memasuki gardu yaitu dengan menetapkan isolasi secara umum misalnya: -Pemilihan tingkat isolasi yang cocok Semua isolasi yang ada pada gardu diusahakan agar tingkat isolasinya lebih besar dari tegangan lompatan api (flashover) pemakaian alat-alat pelindung yang cocok, agar dapat memberikan perlindungan yang baik.

Untuk tingkat kekuatan isolasi peralatan tenaga listrik, telah ditetapkan kelas isolasi dan tingkat dasar isolasi terhadap impuls (TID/BIL) yang harus dispesifikasikan sebagai standar kekuatan isolasi dari kelas tadi (ditetapkan sesuai standar internasional)

Tabel 3.3 Standar Tingkat Isolasi

Tegangan maksimum V_m	Dasar PU $V_m \sqrt{2} \sqrt{3}$	Tegangan ketahanan surja petir	Tegangan ketahanan frekuensi daya
KV	KV	KV	KV
52	42,5	250	95
72,5	59	325	140
123	100	450	185
145	118	550	230
170	239	650	275
245	200	750	325
		850	360
		950	395
		1050	460

TID dibuat dengan memperlihatkan harga puncak surja petir, kemampuan pengaman dari alat pelindung. Kekuatan isolasi dari setiap peralatan dalam sistim

dipilih dari tabel diatas (atau tabel-tabel lain yang berlaku) sesuai dengan kelas tegangannya dengan mengingat adanya alat pelindung, derajat kemampuan pengaman, pentingnya sistem dan frekuensi sambaran petir pada sistem.

Tingkat isolasi dasar (TID) atau juga disebut dengan basic insulation level (BIL) adalah isolasi peralatan yang digunakan pada suatu sistem dan harus mampu menahan tegangan impuls yang mengenainya pada waktu tertentu. Tegangan impuls adalah tegangan yang naik secara tiba-tiba dalam waktu yang singkat dan turun dalam waktu yang lebih lama.

Harga puncak dari gelombang tersebut dinamakan TID yang didefinisikan sebagai tingkat-tingkat patokan (reference level) dinyatakan dalam tegangan puncak impuls. Isolasi peralatan harus sama atau lebih besar dari TID-nya.

Masalah dalam koordinasi adalah tingkat isolasi dasar peralatan dengan tegangan maksimum yang mungkin terjadi pada terminal arrester. Faktor yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut:

1. Tegangan gagal ditentukan oleh kecepatan naiknya tegangan (kecuraman gelombang berjalan)
2. Tegangan pelepasan ditentukan oleh kecepatan naiknya arus surja dan juga besarnya arus tersebut.
3. Jarak arrester dengan isolasi peralatan yang dilindungi dapat mempengaruhi besarnya tegangan yang terjadi sampai ke peralatan.
4. Bahaya surja tergantung pada baik buruknya perlindungan sistem, seperti tingkat isolasi peralatan, karakteristik arrester, penempatan dan pemasangan arrester,
5. Memilih arus impuls yang diperkirakan akan dilepaskan melalui arrester.

6. Menentukan tingkat pelepasan maksimum (tegangan kerja) dari arrester yang dipilih.
7. Menentukan tingkat ketahanan impuls dari peralatan yang akan dilindungi (TID peralatan).
8. Memastikan bahwa tegangan kerja arrester berada dibawah TID dengan faktor perlindungan yang cukup.
9. Menentukan jarak lindung antara arrester dengan peralatan yang akan dilindungi.
Pada umumnya kelas yang dipilih sesuai dengan tegangan nominal dalam sistem, tetapi tidak selalu sama. Untuk sistem 150 kV dengan tegangan maksimum 165 kV dipilih kelas referensi 170 kV dengan TID 750 kV (isolasi penuh) dan 650 atau 550 kV sebagai isolasi dikurangi. Dalam praktek tingkat isolasi penuh dipakai untuk peralatan yang dihubungkan pada sistem dengan pembumian/pentanahan tidak efektif, dan tingkat isolasi yang dikurangi (diturunkan) untuk sistem dengan pentanahan efektif. Ini disebabkan karena kenaikan tegangan pada fasa untuk gangguan satu fasa ketanah pada sistem dengan pentanahan efektif lebih rendah dibandingkan dengan keadaan pentanahan tidak efektif.

Dan sesuai dengan prinsip perlindungan, maka koordinasi isolasi untuk sistem yang didalamnya terdapat tegangan 23 sampai dengan 345 kV tertera pada tabel 3.4.

Tabel 3.4 Tingkat Isolasi Peralatan Pada Gardu Induk

Tegangan dasar sistem (kV)	Tegangan impuls (kV)			
	Isolasi Ril	Isolasi pemisah	Trafo	pemutus beban
23	330	225	150150	
34,5	420	235	200200	
46	490	300	250250	
69	565	440	350	350
92	720	520	450/350	650
115	865	590	550/450	650
138	1000	590	550/450	650
161	1145	800	750/600	750
330	1665	1475	1175	1175
345	1665	1475	1175	1175

Dari tabel diatas digunakan 4 tingkat isolasi yaitu isolasi ril tertinggi, pemisah, pemutus beban dan trafo terendah. Persentase selisih antara tingkat isolasi tersebut tidak seragam karena hanya dipakai oleh peralatan yang sudah ada (tersedia). Misalnya isolasi ril dalam sebuah gardu tegangan tinggi dapat ditambah dengan isolator secukupnya dengan tidak mengubah prinsip ekonomisnya. Isolasi pemisah, transformator pengukuran dan CB dicapai dengan menggunakan kelas isolasi yaitu 10 % lebih tinggi dari isolasi trafo. Trafo diisolasikan serendah mungkin dengan tetap memperhatikan persyaratan selisih tingkat isolasi arrester.

Jadi dalam suatu Gardu Induk, peralatan utama yang harus dilindungi oleh arrester adalah transformator. Cukup atau tidaknya perlindungan yang diberikan oleh arrester pada isolasi trafo ditentukan oleh selisih (margin) dari perlindungan terhadap TID-nya. Selisih perlindungan ini dinyatakan dengan persamaan berikut;

$$IM = \left| \frac{TID}{KIA} - 1 \right| \times 100\% \dots\dots\dots(3.1)$$

IM= Impuls Margin

KIA = Karakteristik Impuls dari Arrester (tegangan pelepasan maksimum pada 10 kA) + 30 kV (Arrester lead drop).

Kriteria yang berlaku adalah bahwa IM sebesar 20 % (untuk 10 kA) dianggap cukup untuk melindungi isolasi transformator.

G. Pemilihan Arrester

Dalam pemilihan kelas dan rating arrester, ada beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan yakni:

1. Keperluan proteksi : ini berhubungan dengan kekuatan isolasi dari alat-alat yang harus dilindungi dan karakteristik impuls dari arrester.
2. Kondisi tegangan sistem : menyangkut persoalan sistem tegangan yang akan timbul pada terminal arrester, seperti tegangan sistem pada saat gangguan.
3. Arus hubung singkat: ini hanya diperlukan pada arrester jenis expulsion (Protector Tube).
4. Faktor kondisi luar: misalnya ketinggian dari permukaan laut, temperatur dan kelembaban yang tinggi serta pengotoran pada terminal gap seri arrester,
5. Faktor ekonomi: ialah perbandingan antara biaya pemeliharaan dan kerusakan bila tidak ada arrester atau bila dipasang arrester yang lebih rendah mutunya.

1. Menentukan Tegangan Pengenal Arrester

Arrester tidak boleh bekerja pada tegangan maksimum sistem yang direncanakan, tetapi masih tepat mampu memutuskan arus susulan dari sistem secara efektif. Arrester umumnya tidak boleh bekerja jika ada gangguan fasa ke tanah disatu

tempat dalam sistem, karena itu tegangan pengenalan dari arrester harus lebih tinggi dari tegangan fasa normal ke tanah. Jika tidak demikian maka arrester akan melakukan arus susulan sistem yang terlalu besar yang menyebabkan arrester rusak akibat beban lebih termis (thermal overloading).

Untuk menyelidiki kemungkinan pemakaian tingkat isolasi yang lebih rendah karena pemakaian arrester, perhitungan tegangan lebih dilakukan ditempat arrester itu dengan menambahkan 10 % dari harga yang dihitung dan diberikan tegangan dasar arrester yang terdekat dengan hasilnya.

Untuk mengetahui tegangan maksimum yang mungkin terjadi pada fasa normal ke tanah sebagai akibat gangguan satu fasa ke tanah perlu diketahui:

- Tegangan sistem tertinggi umumnya diambil harga 105-110% dari harga tegangan nominal sistem.
- Koefisien Pembumian

Didefinisikan sebagai tegangan efektif fasa normal ke tanah dalam keadaan gangguan pada tempat dimana arrester dipasang, dengan tegangan efektif fasa ke fasa tertinggi dari sistem dalam keadaan tidak ada gangguan. Jadi tegangan pengenalan dari suatu arrester (arrester rating) adalah tegangan efektif (rms) fasa ke fasa tertinggi dikalikan koefisien pembumian = tegangan efektif fasa ke fasa dikali 1,1 kali koefisien pembumian. Dengan kata lain tegangan pengenalan arrester adalah harga rata-rata rms maksimum tegangan frekuensi daya yang diizinkan dimana arrester tersebut dapat bekerja dengan baik tanpa merubah karakteristik operasinya.

Untuk sistem yang dibumikan langsung koefisien pembumiannya 0,8 (arrester 80%) dan untuk sistem yang dibumikan tidak langsung koefisien pembumiannya 1,0 (arrester 100%). Untuk sistem 150 kV mempunyai tegangan pengenalan arrester sebagai berikut:

- a. Jika dibumikan langsung

$$V=150 \times 0,8 = 120 \text{ kV}$$

- b. Jika dibumikan tidak langsung

$$V=150 \times 1,0 = 150 \text{ kV}$$

Harga ini masih harus disesuaikan dengan standar yang ada. Yang terpenting dalam pemilihan tegangan pengenalan arrester adalah tegangan pengenalnya tidak boleh lebih kecil dari tegangan maksimum sistem.

2. Menentukan Arus Pelepasan Arrester

Arrester mempunyai batas kemampuan dalam mengalirkan arus pelepasan dimana batas ini erat hubungannya dengan lama waktu pelepasan. Tetapi rusaknya arrester karena adanya arus pelepasan yang dapat mencapai 100 kA ternyata jarang sekali. Meskipun demikian penting, rating arus ini juga ditentukan untuk mengetahui tipe dari arrester yang akan dipasang. Untuk tipe gardu mempunyai kapasitas arus maksimum 100 kA.

Mengenai perlindungan gardu perlu ditambahkan bahwa pukulan langsung terhadap arrester harus dihindarkan sejauh mungkin dengan perlindungan yang tepat oleh karena arus pukulan langsung mungkin lebih besar dari kemampuan arrester itu sendiri. Bila perlindungan tidak praktis maka arrester hanya harus melindungi pukulan

langsung dalam batas kemampuannya. Arus yang melebihi kemampuan arrester akan merusak arrester itu.

Dalam menentukan besarnya arus pelepasan maksimum yang akan melewati suatu arrester, ada beberapa langkah yang perlu diperhatikan, yaitu:

- a. Menentukan harga puncak surja yang sampai pada lokasi arrester, sebagai faktor keamanan terhadap kemungkinan timbulnya variasi tegangan yang mungkin menyebabkan terjadinya lompatan api pada isolator saluran transmisi maka ditambahkan 20 % dari tegangan sistem. Jadi puncak surja maksimum yang akan mencapai isolasi arrester adalah:

$$V = 1,2 \times TID \text{ saluran.(3-2)}$$

Menentukan tegangan jepitan arrester (E_o) pada waktu arus pelepasan sama dengan nol (I_o). Tegangan E_o dan tahanan R dari arrester diperoleh dari tabel 3.5

Tabel 3.5 Karakteristik Perlindungan Arrester

Pengenal Arrester (kV)	E_o (kV)	R (ohm)
97	36	4,4
109	258	4,8
121	290	6
133	320	6
145	342	6,6
169	410	8
182	430	8
195	455	9
285	625	12

- b. Menentukan impedansi surja saluran $Z_s = 60 \ln \frac{2h}{r}$

- c. Menghitung arus pelepasan maksimum yang boleh melewati arrester.

$$I = \frac{2V - E_o}{Z_s + R} \dots\dots\dots(3.3)$$

- d. Menentukan harga I.R (voltage drop)

- e. Menentukan tegangan terminal" arrester $E_a = E_o + I \cdot R$

3. Menentukan Tegangan Pelepasan (Kerja)

Ini adalah karakteristik yang paling penting dari arrester untuk perlindungan peralatan dalam gardu. Tegangan kerja ini menentukan tingkat perlindungan arrester, Jika tegangan kerja arrester berada dibawah TID peralatan yang dilindungi maka dengan faktor keamanan yang cukup (ditambah 10 % untuk toleransi pabrik) perlindungan peralatan yang optimal dapat diperoleh

.Tabel 3.6 Karakteristik Kerja Arrester

Pengenal Arrester (kV)	Tegangan Percik (*)		Tegangan Pelepasan (kV)		
	Kecuraman	Maksimum	3kA	5Ka	10 kA
97	808	310	242	258	280
109	908	360	264	282	306
121	1008	390	301	320	350
145	1208	460	350	375	408
169	1408	540	423	450	490
182	1633	585	440	470	510
195	2017	610	470	500	545

Tegangan kerja tergantung pada arus pelepasan dari arrester dan kecuraman arus yang datang. Dan untuk menentukan kecuraman gelombang arus yang datang digunakan persamaan:

$$\frac{2dV/dt}{Z_s} \dots\dots\dots(3.4)$$

Untuk arus pelepasan yang lebih tinggi maka tegangan kerja arrester ini tidak akan naik lebih tinggi lagi karena karakteristik tahanan yang tidak linear dari arrester. Dan umumnya tegangan kerja ini tidak akan melebihi TID dari peralatan yang dilindungi meskipun arus pelepasan maksimum mencapai 65 kA dan 100kA.

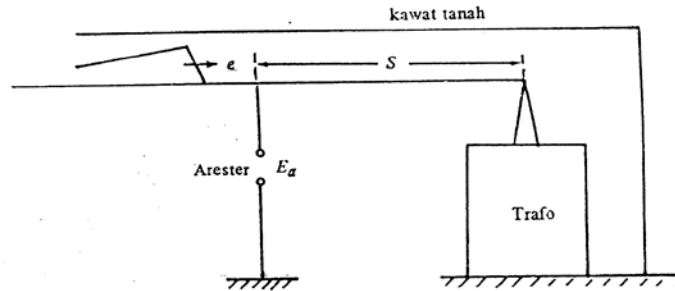
4. Faktor Perlindungan

Faktor perlindungan adalah besar perbedaan tegangan antara TID dari peralatan yang dilindungi dengan tegangan kerja (pelepasan) dari arrester. Pada waktu menentukan tingkat perlindungan peralatan yang akan dilindungi oleh arrester umumnya diambil harga 10% diatas tegangan kerja arrester. Tujuan untuk mengatasi kenaikan tegangan pada kawat penghubung dan toleransi pabrik. Besar faktor yang dipasang dekat dengan peralatan yang akan dilindungi (lihat persamaan 3-1).

Jika tidak diperoleh faktor perlindungan yang cukup maka dipilih TID peralatan yang setingkat lebih tinggi atau memilih tegangan kerja areester yang lebih rendah. Jadi faktor perlindungan = TID peralatan dikurangi tingkat perlindungan arrester. Tingkat perlindungan arrester = 1,1 x tegangan kerja arrester.

5. Penentuan Jarak Maksimum-Arrester dan Peralatan

Disini akan dibahas jarak maksimum arrester dan transformator bila dihubungkan dengan saluran udara dan transformator dianggap sebagai jepitan terbuka.



Gambar 3.1 Transformator dan Arrester Terpisah Sejauh S

Perlindungan yang baik diperoleh bila arrester ditempatkan sedekat mungkin pada jepitan transformator, tetapi dalam praktek sering arrester itu harus ditempatkan sejauh S dari transformator yang dilindungi. Karena itu, Jarak tersebut harus ditentukan agar perlindungan dapat berlangsung dengan baik, misalnya:

- E_a = tegangan percikan / kerja arrester
- E_p = tegangan pada jepitan transformator
- A = dV/dt = kecuraman gelombang datang
- v = kecepatan merambat gelombang (300 m/us)
- S = Jarak arrester ke trafo

Untuk kecepatan koordinasi isolasi, transformator dianggap sebagai jepitan terbuka, yaitu keadaan yang paling berbahaya, dimana koefisien terusan sama dengan 2. Apabila gelombang mencapai transformator, terjadi pantulan total, dan gelombang ini kembali ke kawat dengan polaritas yang sama. Waktu yang dibutuhkan oleh gelombang untuk merambat kembali ke arrester = $2S/v$. Bila arrester mulai memercik tegangan jepit arrester ;

$$E_a = At + A(t-2S/V)$$

$$= 2At - 2AS/v \dots\dots\dots(3-5)$$

Bila waktu percik arrester tso dihitung mulai gelombang itu pertama kali sampai ke arrester ,maka dari persamaan (3-5),

$$T_{so} = \frac{E_a + 2AS/v}{2A} \dots\dots\dots(3-6)$$

Setelah arrester itu memercikia berlaku sebagai jepitan hubung singkat dan menghasilkan gelombang sebesar:

$$-A(t-tso) \dots\dots\dots(3-7)$$

ke kedua pihak dari arrester supaya tegangannya tetap E_g

Gelombang negatif ini yang merambat ke transformator dan setelah pantulan pertama pada transformator terjadi, jumlah tegangan pada transformator menjadi:

$$E_{pa} = 2At - 2A(t-tso) = 2A tso$$

$$2A = \frac{E_a + 2AS/v}{2A}$$

Atau

$$E_p = E_a + 2AS/v \dots\dots\dots(3-8)$$

$$S = \frac{(E_p - E_a)v}{2A} \dots\dots\dots(3.9)$$

Harga maksimum $E_p = 2E_a$

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

a. Waktu

Pembuatan tugas akhir ini akan dilaksanakan selama 6 bulan, mulai dari Februari 2019 sampai dengan Agustus 2019 sesuai dengan perencanaan waktu yang terdapat pada jadwal penelitian.

b. Tempat

Penelitian dilaksanakan di Gardu Induk 150 kv Polewali

B. Metode Penelitian

Metode penelitian ini berisikan langkah-langkah yang ditempuh penulis dalam menyusun tugas akhir ini. Metode penelitian ini disusun untuk memberikan arah dan cara yang jelas bagi penulis sehingga penyusunan tugas akhir ini dapat berjalan dengan lancar.

Dalam penulisan tugas akhir ini penulis menggunakan metode dalam pengumpulan data sebagai berikut:

a. Observasi

Yaitu mengadakan studi lapangan khususnya di di Gardu Induk 150 kv Polewali

b. Literatur

Yaitu pengumpulan data melalui pencarian dengan menggunakan berbagai referensi yang berkaitan dengan bahasan dalam penulisan tugas akhir ini.

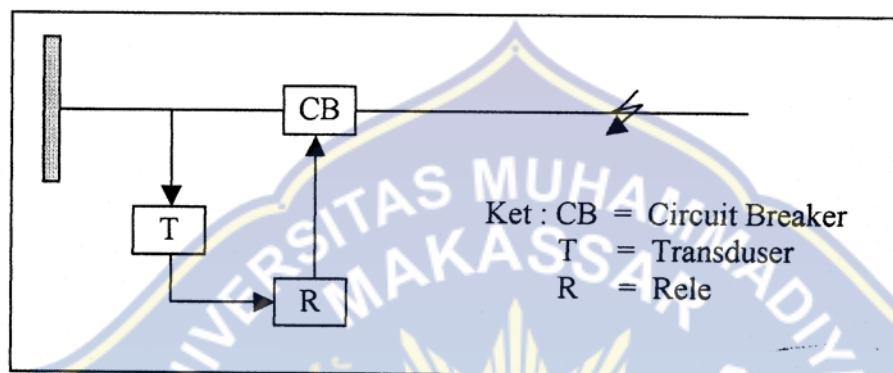
c. Diskusi

Yaitu pengumpulan data dengan cara wawancara langsung dengan beberapa narasumber yang lebih banyak mengetahui hal yang berhubungan dengan pembahasan dalam tugas akhir ini.

d. Metode Penelitian

Metode penelitian ini berisikan langkah-langkah yang ditempuh penulis dalam menyusun tugas akhir ini. Metode penelitian ini disusun untuk memberikan arah dan cara yang jelas bagi penulis sehingga penyusunan tugas akhir ini dapat berjalan dengan lancar.

C. Langkah – langkah Penelitian



Gambar 3.2 Diagram blok sistem

Pada gambar diatas adalah sebuah diagram blok sederhana dari sebuah sistem proteksi. Titik P dimisalkan oleh transduser. Transduser ini akan memberikan sinyal pada rele, sehingga rele tersebut akan menggerakkan pemutus. Pada saluran kelistrikan, untuk mengisolir bagian yang terkena gangguan digunakan rele proteksi, yang masing-masing mempunyai daerah pengaman tersendiri sistem ini lebih dikenal sebagai sistem perlindungan protection sistem.

Dalam sistem penyaluran daya listrik, jika terjadi gangguan maka sensor mengirim sinyal ke rele proteksi untuk memerintahkan pemutus daya (circuit breaker) membuka bilamana gangguan tersebut melampaui batas setting yang telah ditentukan pada rele proteksi. Pemutus daya ini ditempatkan sedemikian rupa sehingga sistem yang normal terpisah dari sistem yang mengalami gangguan.

1. Fungsi dan Peranan Relay Proteksi

Nilai investasi peralatan listrik pada suatu pembangkit listrik dan jaringan transmisi sangat besar sehingga perhatian yang khusus harus diutamakan agar setiap peralatan tidak hanya beroperasi dengan efisien yang optimal, tetapi juga teramankan dari gangguan dan kerusakan yang fatal. Untuk itu relay proteksi sangat diperlukan pada jaringan proteksi saluran transmisi. Fungsi dan peranan dari rele proteksi ini antara lain:

- a. Memberikan sinyal untuk melepaskan kontak pemutus tenaga/circuit breaker dengan tujuan mengisolir gangguan atau kondisi yang tidak normal yakni hubung singkat.
- b. Melokalisir daerah yang terganggu untuk mencegah meluasnya pengaruh dan akibat yang timbul bagi peralatan lainnya.
- c. Memutuskan hubungan sistem (tripping) pada jaringan transmisi yang terganggu dengan cepat guna menjaga stabilitas, kontinuitas, dan pelayanan kerja dari syste

2. Syarat-Syarat Umum dari Rele Proteksi

Rele proteksi ditinjau dari jenis dan dalam penggunaannya harus memiliki syarat-syarat yang penting dalam pengoperasiannya sehingga dapat bekerja sesuai dengan fungsinya secara maksimal.

Syarat tersebut terdiri dari beberapa hal yakni:

- a. Kecepatan kerja

Tujuan terpenting dari rele proteksi adalah memisahkan bagian yang terkena gangguan, dari sistem jaringan yang normal dengan cepat (speed) agar tidak menimbulkan kerugian yang lebih besar. Dan untuk dapat meningkatkan keandalan (reliable) operasi dari sistem digunakan proteksi dengan kecepatan kerja yang lebih tinggi dan dipadukan dengan pemutus jaringan kecepatan tinggi. Adakalanya rele proteksi dikehendaki dengan

perlambatan waktu (time delay) yang digunakan pada koordinasi proteksi dari beberapa daerah proteksi yang berturut-turut bilamana kondisi sistem memungkinkan adanya perlambatan waktu kerja dari rele tersebut.

b. Kepekaan (Sensitive)

Rele proteksi yang digunakan harus mampu untuk memberikan respon terhadap gangguan yang timbul dalam sistem yakni dapat bekerja pada awal kejadian gangguan.

c. Selektifitas

Adalah kemampuan sistem proteksi untuk mengetahui letak terjadinya gangguan, dan memilih pemutus jaringan yang terdekat dari tempat gangguan untuk membuka. Andal (Reliable)

Keandalan dari sistem proteksi adalah kemampuan suatu rele untuk dapat bekerja dengan baik dan benar pada berbagai kondisi sistem. Keandalan sistem proteksi ini dibagi atas dua unsur yakni:

- Kemampuan rele yang selalu bekerja dengan baik pada kondisi abnormal (saat terjadi gangguan, dan
- Kemampuan rele untuk tidak bekerja pada kondisi normal.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Data hasil penelitian

Data-data yang diperoleh pada Gardu Induk Polewali sebagai berikut:

1. 150 kV Lightning Arrester

Buatan : Sweden

Tegangan sistem :

- Nominal : 150kV
- Tertinggi : 162kV

Rating:

- Tegangan pengenalan : 150kV
- Frekuensi : 50 Hz
- Arus pelepasan nominal : 10kA
- Tegangan pelepasan/kerja : 41 l(crest) pada 3/20 μ s
- TID : 750 kV

2. 170kVCB

Buatan : Germany

Type : S1-170F1

Rating:

- Tegangan nominal sistem : 150 kV
- Tegangan dasar : 170kV
- Frekuensi : 50 Hz
- Arus nominal : 3150 A

3. 170kVDS

Buatan : Spain

Tegangan sistem :

- Nominal : 150kV
- Tertinggi : 170kV Rating:
- Tegangan dasar : 170kV
- Frekuensi : 50 Hz
- Arus nominal : 1250 A

4. 170WCT

Buatan : Australia

Type : IMBD170L214

Rating :

- Tegangan dasar : 170 kV
- Frekuensi : 50 Hz
- Tegangan ketahanan : 325 kV
- TID : 750 kV

5. Transformator (Power Tratb)

Buatan : Indonesia

Frekuensi : 50 Hz

Rated Power :

20 MVA/3fasa

Tegangan dasar :

170 kV

TID : 650 kV

6. Saluran dan Menara Transmisi

- Tinggi menara : 33,3 meter
- Tinggi kawat tanah terbawah : 21,4 meter
- Diameter konduktor : 22,4 mm
- Jumlah isolator gantung : 12 buah

B. Koordinasi isolasi pada gardu induk 150 Kv Polewali

Gardu Induk 150 kV Polewali berperan penting dalam hubungannya terhadap sistem tenaga listrik di daerah Sulawesi Selatan, karena Gardu Induk tersebut terinterkoneksi pusat Pembangkit Listrik Tenaga Air Bakaru dengan Gardu Induk Fare-pare dan Gardu Induk Majene melalui transmisi saluran tegangan tinggi 150 kV.

Oleh sebab itu, sangatlah penting meninjau masalah koordinasi isolasi yang berhubungan erat dengan masalah teknis dan ekonomis Gardu Induk tersebut.

C. Perencanaan Koordinasi Isolasi

1. Menentukan Tegangan Pengenal Arrester

Sistem pembumian pada gardu induk 150 kV Polewali menggunakan NGR (Neutral Grounding Resistor) sebesar 200 ohm. Sistem pembumian ini dikategorikan dalam sistem pembumian tidak langsung, sehingga mempunyai koefisien pembumian 1,0. Tegangan maksimum yang diambil 110% dari tegangan nominal.

$$\text{Tegangan maksimum} = 150 \times 1,1 = 165 \text{ kV}$$

$$\text{Tegangan pengenalan} = 150 \times 1,1 \times 1,0 = 165 \text{ kV}$$

Berdasarkan tabel 3.5 dan 3.6 harga yang mendekati tegangan pengenalan di atas adalah 169 kV dan 145 kV. Oleh karena tegangan pengenalan harus lebih besar dari tegangan pengenalan sistem, maka dipilih 169 kV sebagai tegangan pengenalan dari arrester.

2. Menentukan Arus Pelepasan Arrester

a. Menentukan harga puncak surja

TID saluran diambil dari 12 unit isolator gantung yang mempunyai masing-masing 12 piringan. Berdasarkan tabel 3.2 TID saluran untuk 12 jumlah piringan isolator gantung adalah 1105 kV, maka :

$$\begin{aligned} V_{\text{puncak}} &= 1,2 \times \text{TID saluran} \\ &= 1,2 \times 1105 \text{ kV} = 1326 \text{ kV} \end{aligned}$$

b. Menentukan tegangan jepitan arrester (E_o) dan tahanan arrester (R)

Dari tabel 3.5 untuk tegangan pengenalan arrester 169 kV diperoleh :

$$E_o = 410 \text{ kV dan } R = 8 \text{ ohm}$$

c. Menentukan impedansi surja

Diketahui:

➤ Total kawat fasa terbawah = 21,5 meter

➤ Jari-jari kawat konduktor = 22,4 mm

$$\begin{aligned} Z_s &= 60 \ln \frac{2l}{r} \\ &= \frac{2 \times 21,5}{22,4 \times 10^{-3}} = 454 \text{ ohm} \end{aligned}$$

d. Menghitung arus pelepasan dari arrester

$$I = \frac{2V - E_o}{Z_s + R} = \frac{2 \times 1326 - 410}{454 + 8} = 4,9 \text{ kA}$$

- e. Menentukan harga IR (drop voltage) Arrester

$$IR = 4,9 \times 8 = 39,2 \text{ kV}$$

- f. Menentukan tegangan terminal arrester

$$E_a = E_0 + IR$$

$$= 410 + 39,2 = 449,2 \text{ W}$$

3. Menentukan Tegangan Pelepasan Arrester

Dengan mengacu pada tabel 3.6 untuk tegangan pengenalan arrester 169 kV, maka tegangan pelepasannya:

- Untuk kelas arus 5 kA = 450 kV
- Untuk kelas arus 10 kA = 490 kV

Dengan kecuraman gelombang tegangan $dv/dt = 1408 \text{ kV}/\mu\text{s}$. Menentukan kecuraman gelombang arus :

$$\begin{aligned} &= \frac{2dV/dt}{Z_s} \\ &= \frac{2 \times 1408}{454} \\ &= 6,203 \text{ kA}/\mu\text{s} \end{aligned}$$

4. Menentukan TID peralatan

Dengan mengacu pada tabel 3.3 tegangan maksimum sistem 165 kV, dapat dipilih kelas referensi 170 kV dengan :

- Isolasi penuh = 750 k
- Isolasi dikurangi = 650 kV dan 550 kV

Trafo diisolasi serendah mungkin dengan tetap memperhatikan faktor perlindungan. Peraiatan pemisah diisolasi satu tingkat di atasnya, yaitu 10 % di

atas TID trafo. Jika TID trafo di ambil 650 kV, maka TID peralatan pemisah 750 kV.

a. Menentukan TID trafo

$$IM = \left| \frac{TID}{KIA} - 1 \right| \times 100\%$$

Dimana : IM = 20 %

$$KIA = \text{tegangan pelepasan} + 30 \text{ kV}$$

$$= 490 + 30 = 520 \text{ kV}$$

$$20\% = \left| \frac{TID}{KIA} - 1 \right| \times 100\%$$

$$0,2 = \frac{TID}{520} - 1$$

$$1,2 = \frac{TID}{520}$$

$$TID = 1,2 \times 520 = 624 \text{ kV}$$

Dari tabel 3.3

- Dipilih TID trafo $\geq$ yaitu 650 kV
- Diperoleh tegangan ketahanan jala-jala sebesar 275 kV

b. Menentukan TID peralatan (CB, DS, CT dan PT)

TID peralatan ini harus lebih tinggi dari TID trafo karena tidak mendapat perlindungan dari arrester. TID peralatan ini diambil 10 % di atas TID trafo.

$$TID \text{ peralatan} = 1,1 \times TID \text{ trafo}$$

$$= 1,1 \times 650 = 715 \text{ kV}$$

Dari tabel 3.3 dipilih TID sebesar 750 kV

5. Menentukan Jarak Maksimum Arrester ke Peralatan

Dari persamaan (3-8) diperoleh :

$$E_p = E_a + 2A S/v$$

Dimana :

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

$$E_a = 450 \text{ kV}$$

$$A = 1408 \text{ kV}/\mu\text{s}$$

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

maka :

$$S = \frac{(650-450) \times 300}{2 \times 1408} = 21,3 \text{ meter}$$

S adalah jarak pisah maksimum antara arrester dengan transformator, sedangkan jarak pisah antara CB adalah :

$$D = \frac{(750-450) \times 300}{2 \times 1408} = 32 \text{ meter}$$

D. Evaluasi Koordinasi Isolasi pada Gardu Induk 150 KV Polewali

Untuk mengkoordinasi isolasi gardu induk 150 kV Polewali maka perlu dicatat data-data yang diperoleh pada Gardu Induk Polewali sebagai berikut:

No.	Nama peraiatan	TID (kV)	Tegangan dasar (kV)
1	Lightning Arrester	750	150
2	CB	750	170
3	DS	750	170
4	CT	750	170
5	Trafo	650	170

1. Menghitung Jumlah Isolator Gantung

Dari perhitungan TID peralatan pada awal bab IV, untuk tegangan maksimum sistem 165 kV (kelas referensi 170 kV) diperoleh TED peralatan sebesar 750 kV (isolasi penuh). Sehingga dari tabel 3.2 untuk sistem 150 kV digunakan isolator gantung minimal 8 buah dengan melihat data sebagai berikut:

- Tegangan lompatan api impuls = 780 kV
- Tegangan lompatan frekuensi 50 Hz (kering) = 485 kV
- Tegangan lompatan frekuensi 50 Hz (basah) = 335 kV

Dari data pada Gardu Induk 150 kV Polewali diperoleh jumlah isolator gantung sebanyak 12 buah. Dari jumlah tersebut, tegangan lebih dalam sistem tidak akan menyebabkan lompatan api pada isolator. Penambahan jumlah isolator dari jumlah minimum yang telah ditetapkan sangat tepat dalam rangka menghindari adanya kemungkinan penurunan tegangan lompatan api karena beberapa faktor, antara lain :

- Pengotoran debu
- Pengotoran limbah industri
- Kerusakan salah satu isolator

Jadi jumlah isolator yang terpasang di saluran transmisi untuk Polewali dan sekitarnya sudah memadai secara teknis.

2. Menghitung Impuls Margin (Faktor Perlindungan antara Arrester dengan Transformator)

$$IM = \left| \frac{TID}{KIA} - 1 \right| \times 100\%$$

Dimana :

TID trafo = 650 kV

KIA = tegangan pelepasan = 411 kV

$$\begin{aligned} \text{IM} &= \left| \frac{650}{411+30} - 1 \right| \times 100\% \\ &= 47,4\% \end{aligned}$$

Harga ini lebih besar dari 20 %, sehingga tingkat perlindungan arrester terhadap surja sangat tinggi. Dapat pula dihitung kemungkinan pemakaian TID yang lebih rendah (turun 2 tingkat) yaitu sebesar 550 kV.

$$\begin{aligned} \text{IM} &= \left| \frac{550}{411+30} - 1 \right| \times 100\% \\ &= 24,7\% \end{aligned}$$

Ternyata harga IM masih lebih besar dari 20 %, sehingga penggunaan TID transformator sebesar 550 kV masih memiliki faktor perlindungan yang tinggi sesuai kriteria yang berlaku (sebesar 20 %).

3. Menghitung Jarak Maksimum Arrester ke Trafo

Untuk itu perlu dicatat data arrester yang dipakai pada Gardu Induk 150 kV Polewali. Untuk arrester dengan tegangan pengenalan 150 kV diperoleh data sebagai berikut:

$$A = 1408 \text{ kV}/\mu\text{s}$$

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

$$E_a = 411 \text{ kV}$$

Maka:

$$\begin{aligned} S &= \frac{(650-411) \times 300}{2 \times 1408} \\ &= 25,46 \text{ meter} \end{aligned}$$

sehingga besar surja yang tiba di transformator adalah

$$\begin{aligned} E_p &= E_a + 2As/v \\ &= 411 + \frac{2 \times 1408 (25,46)}{300} \\ &= 649,9 \text{ kV} = 650 \text{ kV} \end{aligned}$$

Kenyataan yang di peroleh di lapangan, jarak arrester ke transformator adalah 5 meter. Untuk S = 5 meter, besar surja yang tiba di transformator adalah :

$$\begin{aligned} E_p &= E_a + 2As/v \\ &= 411 + \frac{2 \times 1408 (5)}{300} \\ &= 458 \text{ kV} \end{aligned}$$

Harga ini masih jauh di bawah TID transformator sebesar 650 kV, sehingga arrester dapat melindungi trafo secara efektif.

4. Menghitung Jarak Pisah Arrester dengan CB

$$\begin{aligned} D &= \frac{(750-411) \times 300}{2 \times 1408} \\ &= 36 \text{ meter} \end{aligned}$$

Kenyataan yang di peroleh di lapangan, jarak arrester ke CB adalah 7 meter. Dari hasil perhitungan jarak arrester dengan CB adalah 36 meter, sedangkan pada penerapannya hanya 7 meter. Jadi terdapat selisih jarak 29 meter.

E. Analisis Hasil

Berdasarkan hasil perhitungan antara arrester dan TID peralatan terpasang dengan hasil perhitungan terdapat selisih nilai, dimana nilai arrester dan TID peralatan terpasang lebih besar dari nilai hasil perhitungan. Selisih nilai ini disebabkan karena faktor keamanan 10 % terlebih dahulu dimasukkan pada tegangan dasar arrester sehingga tegangan dasar arrester terpasang lebih besar dari

tegangan dasar arrester hasil perhitungan yang mempengaruhi nilai perlindungan secara keseluruhan. Selisih nilai ini dimaksudkan untuk menambah tingkat keandalan sistem perlindungan tanpa mempengaruhi kinerja sistem.





BAB V

P E N U T U P

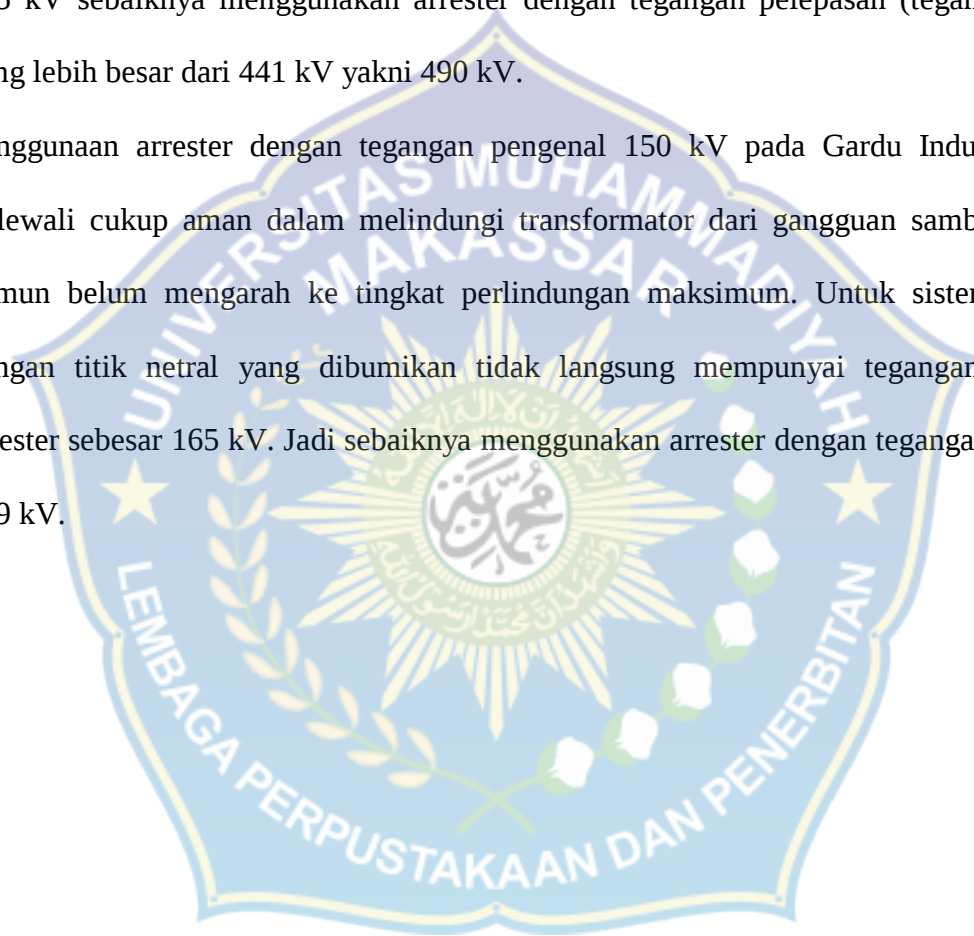
A. Kesimpulan

Dari hasil evaluasi dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Untuk tegangan sistem 150 kV dengan titik netral yang dibumikan tidak langsung, mempunyai tegangan pengenalan arrester sebesar 165 kV. Penggunaan tegangan pengenalan 145 kV yang berada dibawahnya, cukup aman untuk melindungi transformator dari gangguan sambaran petir. Sementara penggunaan tegangan pengenalan arrester 169 kV dimaksudkan untuk menambah tingkat keandalan sistem perlindungan.
2. Dengan TID peralatan terpasang sebesar 750 kV, ini lebih besar dari TID peralatan yang direkomendasikan untuk tegangan sistem 150 kV yakni 715 kV sehingga akan mampu menahan tegangan sistem, baik dalam keadaan normal maupun keadaan tidak normal yang mungkin timbul dari dalam maupun dari luar sistem.
3. Faktor perlindungan arrester terhadap transformator (IM) dengan tingkat isolasi dasar 650 kV sebesar 47,4 %, lebih besar dari kriteria yang berlaku yaitu 20 % sehingga sangat handal. Jika TED diturunkan menjadi 550 kV, maka EM = 24,7 %, harga ini masih memenuhi kriteria keamanan.
4. Jarak maksimum antara arrester ke trafo (S) = 25,46 meter, sedang yang terpasang di lapangan yaitu S = 5 meter. Meskipun penempatan arrester yang baik sedekat mungkin dengan alat yang dilindungi, namun dengan jarak 5 meter arrester mampu mengamankan peralatan dari gangguan sambaran petir, dilihat dari surja maksimum yang masuk ke transformator adalah $458 \text{ kV} < \text{TID transformator } 650 \text{ kV}$ sehingga sangat handal.

B. Saran

1. Pada Gardu Induk dengan tegangan sistem 150 kV dan titik netral dibumikan tidak langsung terhadap tegangan lebih surja dengan menggunakan arrester, sebaiknya menempatkan arrester pada jarak yang sedekat mungkin dengan peralatan yang dilindungi. Untuk itu gardu induk 150 kV Polewali dengan tegangan pengenalan arrester 165 kV sebaiknya menggunakan arrester dengan tegangan pelepasan (tegangan kerja) yang lebih besar dari 441 kV yakni 490 kV.
2. Penggunaan arrester dengan tegangan pengenalan 150 kV pada Gardu Induk 150 kV Polewali cukup aman dalam melindungi transformator dari gangguan sambaran petir, namun belum mengarah ke tingkat perlindungan maksimum. Untuk sistem 150 kV dengan titik netral yang dibumikan tidak langsung mempunyai tegangan pengenalan arrester sebesar 165 kV. Jadi sebaiknya menggunakan arrester dengan tegangan pengenalan 169 kV.



DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, A, 2015. Teknik Tegangan Tinggi, Jakarta : PT Pradnya Paramita.
- Hutauruk , 2016. Gelombang Berjalan Dan Proteksi Surja. Jakarta :Erlangga.
- Sirait dan Parouli Pakpahan. 2016. Proteksi Sistem Tenaga Listrik L Bandung: 1TB..
- Abdul khadir 2016 ", Transformator", Jakarta , Elex Media Komputindo.
- B.M. Weady, Sistem Tenaga Listrik, Edisi Ketiga, Aksara Persada Indonesia, 2016
- Gonen Turan, 2015 ", Modern Power System Analysis ",Canada, John wiley and sons Inc
- Jhon Parson and H.G. Barnet, Electrical Translation and Distribution Reference Book, Westinghouse Electrical Corporation, Eats Pittsburg, Fourth Edition, 2015.
- Kadir Wahid ,2017 "/Transmisi Tegangan Listrik", Jakarta, Ul-Press.
- Perusahaan Listrik Negara (PLN)", SistemProteksi Transformator", Pusdiklat.
- PLN Wilayah VIII, Basil Rapat Dinas Tahunan PLN Wlayah VIII, Makassar, 10Mei2017.
- Sutoyo. . Maslin, 2017", Transformator\ Yogvakarta, Andi Offset
- Soemarto Sudirman Ir., Pola Pengaman Sistem Distribusi, Topik I, Perusahaan Umum Listrik Negara, Jakarta, 2017.
- Tahir Harahap Ir., Studi Distribusi Sulawesi Selatan dan Tenggara, Perusahaan Listrik Negara, Makassar, 2017.
- Perusahaan Listrik Negara (PLN)", SistemProteksi Transformator", Pusdiklat.

Gonen Turan, 2017 ", Modern Power System Analysis ",Canada, John wiley and sons Inc

Zoro, Reynaldo 2017.Masalah Tegangan Tinggi, Perlindungan Terhadap Tegangan Lebih Petir dan Koordinasi pada Sistem TenagaBandung: Bp Prokerma PLN-ITB.

