

Sample 1_Jurnal Berlin.pdf

by cekturnitin aja 1

Submission date: 14-Nov-2024 06:32PM (UTC-0500)

Submission ID: 2492020825

File name: Sample_1_Jurnal_Berlin.pdf (865.87K)

Word count: 6834

Character count: 41160

The Determination of the Distance Placement of the 150 kV Surge Arrester with the Transformer at Lopana Substation

Penentuan Penempatan Jarak Arrester dengan Transformator 150 kV di Gardu Induk Lopana

Berlin Keintjem, Glanny M. Mangindaan, Lily Patras

Dept. of Electrical Engineering, Sam Ratulangi University Manado, Kampus Bahu St., 95115, Indonesia
e-mails :18021103044@student.unsrat.ac.id ; glanny_m@unsrat.ac.id ; patraslily48@gmail.com

Received: [date]; Revised: [date]; Accepted: [date]

Abstract — The increasing demand for electrical energy along with the progress of time requires a sufficient and reliable electrical power system to distribute electricity. Therefore, various efforts are made to minimize disturbances, both at substations and on transmission lines. One common disturbance at substations is overvoltage, which can be caused by lightning strikes or switching surges, and can damage equipment at the substation. To address this, each substation has insulation coordination.

The Lopana Substation, operating at a system voltage of 150 kV, is essential for electricity distribution. To ensure the effectiveness of the existing insulation coordination in protecting substation equipment, especially transformers, from disturbances like lightning-induced overvoltage, a reevaluation is necessary. An analysis at the Lopana Substation showed a maximum system voltage of 170 kV, which is used as a reference for the arrester's operation. The nominal voltage is $U_c = 138$ kV. Based on the arrester's nominal voltage, the operating or release voltage of the arrester is $U_A = 460$ kV, with a discharge current of $I_a = 10$ kA, a protection factor (PF) of 22%, a Basic Insulation Level (BIL) for the transformer of 650 kV, and a maximum permissible distance between the arrester and the transformer of 28.5 meters.

Key words — Substation, Lightning Arrester, Transformer.

Abstrak — Kebutuhan energi listrik yang terus bertambah seiring perkembangan zaman menuntut sistem tenaga listrik yang memadai dan andal dalam menyalurkan energi listrik. Oleh karena itu, berbagai upaya dilakukan untuk meminimalkan gangguan, baik di gardu induk maupun di saluran transmisi. Salah satu gangguan yang sering terjadi di gardu induk adalah tegangan lebih, baik yang disebabkan oleh sambaran petir maupun tegangan lebih surja hubung, yang dapat merusak peralatan di gardu induk. Untuk mengatasi hal tersebut, setiap gardu induk memiliki koordinasi isolasi.

Gardu Induk Lopana dengan tegangan sistem 150kV memiliki peran penting dalam distribusi listrik. Untuk memastikan bahwa peralatan gardu induk, khususnya transformator, terlindungi secara efektif dari gangguan seperti tegangan lebih yang disebabkan oleh petir, perlu dilakukan evaluasi ulang terhadap koordinasi isolasi yang ada. Berdasarkan analisis di Gardu Induk Lopana, tegangan tertinggi sistem yang ditemukan adalah 170 kV, yang menjadi acuan kerja bagi arrester, dengan tegangan pengenalan $U_c = 138$ kV. Berdasarkan tegangan pengenalan arrester, tegangan kerja atau tegangan pelepasan arrester (U_A) adalah 460 kV, dengan arus pelepasan arrester (I_a) sebesar 10 kA, faktor perlindungan (FP) sebesar 22%, BIL untuk transformator sebesar 650 kV, dan jarak maksimum antara arrester dan transformator yang diperbolehkan adalah 28,5 meter.

Kata kunci — Gardu Induk, Lightning Arrester, Transformator.

I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan faktor penting untuk menunjang kehidupan dan kegiatan masyarakat. Energi ini dapat digunakan untuk berbagai tujuan, seperti penerangan, pemanasan, pendinginan, dan menggerakkan mesin-mesin listrik. Sistem tenaga listrik adalah sebuah unit terpadu yang meliputi pembangkit, transmisi, dan distribusi listrik sampai ke konsumen.

Gardu listrik merupakan bagian penting dalam kerangka ketenagalistrikan, berkemampuan sebagai terminal yang menghubungkan jaringan transmisi dengan organisasi pengangkut. Oleh karena itu, gardu induk berperan penting dalam mendistribusikan daya listrik ke pengguna.

Selama proses distribusi daya listrik dari gardu induk ke pengguna, sering terjadi pengaruh-pengaruh yang meresahkan, salah satunya ialah lonjakan tegangan transien yang bisa diakibatkan oleh sambaran petir. Ketika petir menyambar gardu induk, tegangan pada peralatan di gardu tersebut dapat meningkat secara signifikan. Jika tegangan ini melebihi batas isolasi peralatan (BIL) yang diizinkan, dapat merusak isolasi peralatan. Dengan demikian, diharapkan adanya sistem proteksi seperti penangkal petir atau surja Arrester untuk membatasi tegangan surja di bawah BIL peralatan.

Pada ketenagalistrikan, Arrester adalah elemen utama koordinasi isolasi. ketika lonjakan tegangan terjadi di gardu, lalu arrester akan melepaskan muatan listrik sehingga mengurangi tegangan abnormal yang dapat merusak gardu juga peralatan didalamnya.

Menempatkan arrester sedekat mungkin dengan peralatan dapat melindungi peralatan dari gangguan tegangan lebih transien. Ketika terjadi gelombang berjalan yang menyebabkan tegangan lebih pada peralatan yang terletak agak jauh dari arrester, peralatan tersebut tetap terlindungi selama jaraknya masih dalam radius kerja proteksi arrester.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Gardu Induk

Gardu induk adalah bagian integral dari ketenagalistrikan yang terpusat di lokasi tertentu dan dilengkapi dengan saluran transmisi, saluran distribusi, peralatan hubung, transformator, peralatan proteksi, dan pengendalian. Gardu induk ini berperan

utama dalam mengatur distribusi energi listrik dari pembangkit ke pengguna akhir.

Pembangkit berperan dalam menghasilkan energi listrik dari generator yang akan diubah menjadi tegangan tinggi melalui transformator step up. Energi listrik yang telah ditingkatkan tegangannya tersebut kemudian dialirkan melalui penghantar menuju gardu induk.

B. Gangguan Gangguan pada Instalasi Listrik Terbuka

Gangguan yang terjadi pada instalasi listrik bervariasi dalam jenis dan tingkat keparahannya. Gangguan pada instalasi listrik adalah kondisi abnormal yang dapat mengganggu kelancaran penyediaan tenaga listrik. Secara umum, gangguan dalam sistem tenaga listrik diklasifikasikan menjadi dua faktor utama:

1) Gangguan internal

Penyebab gangguan yang berasal dari dalam sistem adalah akibat dari kondisi internal yang terjadi di dalamnya:

- a. Tegangan dan arus yang tidak biasa,
- b. Memasang peralatan kurang bagus,
- c. Kegagalan mekanisme akibat penuaan peralatan,
- d. Terjadi *Over Load*
- e. Isolator yang pecah atau mengalami kerusakan, putusnya kawat, atau kerusakan isolasi pada kabel.

2) Gangguan eksternal

Penyebab gangguan yang berasal dari luar sistem mencakup:

- a. Pengaruh pohon atau tumbuhan seperti akar atau ranting pohon yang tumbuh terlalu dekat dengan saluran listrik dapat menyebabkan gangguan jika terjadi kontak atau kejatuhan.
- b. Dampak kondisi cuaca serupa hujan, gempa, badai, dan petir. Petir dapat menyebabkan lonjakan tegangan yang dapat mengakibatkan kerusakan pada isolasi peralatan dan berpotensi menyebabkan hubung singkat.

Jika dilihat dari durasi gangguannya, maka terdapat dua jenis gangguan:

- a. Gangguan sementara, yang dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutus area yang terganggu dari sumber tegangan untuk sementara waktu. Gangguan permanen dapat diakibatkan oleh gangguan yang bersifat sementara dan tidak dapat hilang dengan cepat, baik secara alamiah maupun akibat pengoperasian alat pengaman.
- b. Gangguan yang bersifat tidak dapat diubah, di mana untuk menghilangkannya memerlukan tindakan perbaikan dan/atau menghapus penyebab gangguan tersebut.

3) Petir

Petir adalah fenomena alam yang biasanya terjadi saat musim hujan, di mana langit mendadak terang dengan kilatan cahaya yang menyilaukan. Beberapa saat kemudian, terdengar suara menggelegar yang disebut guruh.

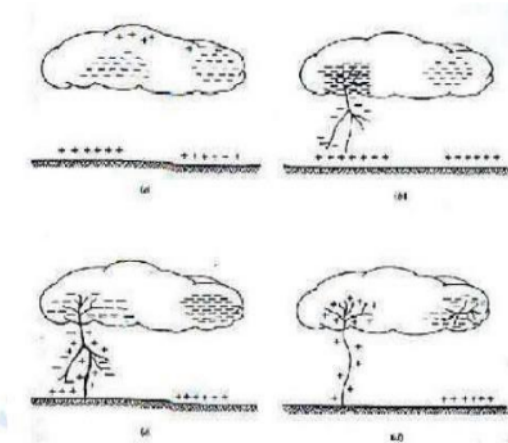
Perbedaan yang mungkin terjadi antara awan dan bumi atau antara awan dengan awan lainnya dapat menyebabkan terjadinya sambaran petir. Karena pergerakan dan interaksinya yang konstan dengan awan lain, terjadilah pembentukan muatan awan. Akibatnya, muatan negatif dapat terakumulasi di satu sisi awan (atas atau bawah), sedangkan muatan positif dapat terakumulasi di sisi lainnya.

4) Proses terjadinya petir

Dalam kondisi khusus di atmosfer bumi, angin yang bergerak ke atas membawa udara yang kaya akan kelembaban. Saat ketinggian dari permukaan bumi semakin tinggi, suhu udara menurun dan tekanannya juga menurun. Hal ini menyebabkan uap air dalam udara tersebut mengembun menjadi titik air yang membentuk awan.

Antara 30.000 dan 40.000 kaki, awan terangkat ke ketinggian yang lebih tinggi oleh angin kencang. Gravitasi bumi menyebabkan uap air awan dan partikel aerosol membeku menjadi kristal es di atas 5 km. Muatan listrik terpisah akibat pergerakan air secara vertikal dan horizontal yang tidak menentu. Tetesan air di puncak awan biasanya bermuatan positif, sedangkan tetesan air di dasarnya bermuatan negatif.

Medan listrik tercipta di permukaan bumi sebagai akibat adanya muatan induksi yang disebabkan oleh adanya awan bermuatan. Bumi dianggap datar jika dibandingkan dengan awan karena ukurannya, sehingga permukaan bumi dan permukaan awan dapat diibaratkan seperti dua pelat kapasitor. Akibatnya, muatan menumpuk di awan yang letaknya berlawanan dengan permukaan bumi. Jika medan listrik yang terbentuk melebihi medan tembus udara, muatan akan dilepaskan, dan pada saat itu terjadi petir dari awan ke tanah.



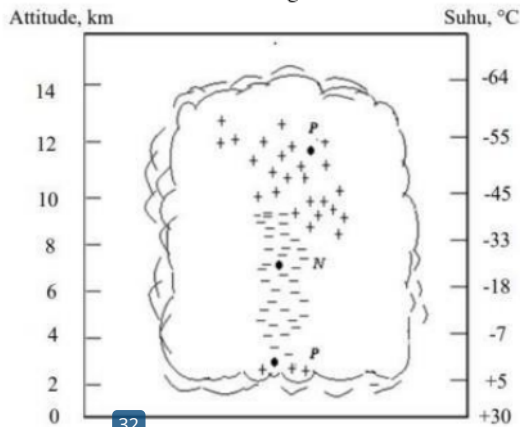
Gambar 2.1 Proses terjadinya petir

5) Tahapan perambatan petir

Petir yang merambat beberapa kilometer dari awan ke permukaan bumi merupakan fenomena kelistrikan sementara yang terjadi dalam waktu beberapa ratus mikrodetik. Daerah antara daerah bermuatan positif (P) di dasar awan dan daerah bermuatan negatif (N) di atasnya merupakan tempat terjadinya sambaran petir. Pra-pelepasan adalah proses turunnya elektron dari wilayah N awan untuk menetralkan muatan positif di wilayah P. Setelah itu, petir dihasilkan saat elektron bergerak menuju permukaan bumi. Sambaran petir pertama dikenal sebagai "pelopor pertama", dan jalur perambatannya tidak selalu lurus.

Seluruh proses pelepasan muatan ini disebut sebagai kilat, yang dapat bertahan antara 0,5 hingga 1 detik. Satu flash terdiri dari beberapa pelepasan, termasuk tiga atau empat sapuan arus tinggi. Petir di awan bergerak antara daerah N yang bermuatan negatif dan daerah P yang bermuatan positif di atasnya, sehingga tidak bersentuhan langsung dengan permukaan bumi.

Petir antar awan merupakan jenis petir lain yang terjadi antara awan cumulonimbus dengan muatan berbeda.



Gambar 2.2 Persebaran muatan positif dan negatif di dalam awan

26

C. Efek Sambaran Petir

1) Sambaran Tidak Langsung

Sambaran tidak langsung adalah muatan induksi yang terjadi pada jaringan akibat dari petir yang menyambar ke bumi atau antara awan ke awan. Biasanya, lonjakan arus yang dihasilkan tidak terlalu besar, sehingga hal ini tidak menjadi masalah serius.

2) Sambaran Langsung

Sambaran petir langsung dari awan ke jaringan menyebabkan lonjakan tegangan yang cepat pada area yang disambar. Daerah yang menerima sambaran ini dapat meliputi tower, kawat petir, dan kawat penghantar.

D. Peralatan Instalasi Tenaga Listrik

1) Transformator

Transformator mampu mengubah daya listrik dengan mengarahkan tegangan tanpa mengubah frekuensi. Trafo grounding digunakan untuk menentukan titik netral pada trafo daya. Istilah "transformator arus netral" (NCT) menggambarkan komponen ini. Selain itu, terdapat perangkat grounding, neutral grounding resistance (NGR).

2) Neutral Grounding Resistance (NGR)

Obstruksi Pembentukan Imparsial (NGR) adalah suatu alat yang ditempatkan di antara tanda netral transformator dan kerangka pemasangan. Kemampuannya adalah untuk mengurangi dampak arus kekurangan yang terjadi dalam kerangka tersebut.

3) Circuit Breaker (CB)

Alat pemutus yang disebut dengan pemutus arus (CB) digunakan untuk menghentikan aliran listrik ketika ada beban di atasnya. Dapat digunakan pada saat terjadi gangguan maupun pada saat jaringan normal. Circuit Breaker (CB) menghasilkan busur api ketika dinyalakan, sehingga mempunyai sistem pemadam busur listrik seperti minyak, udara, atau gas (OCB).

4) Disconnecting Switch (DS)

Disconnecting Switch, atau dikenal juga sebagai PMS, merupakan alat pemisah dengan fungsi untuk memutus kerangka listrik. Proses pemutusan ini dilakukan saat rangkaian tidak sedang terbebani, karena saklar pemisah ini hanya dapat diaktifkan ketika tidak ada arus listrik mengalir melalui rangkaian.

Oleh karena itu, pemutus daya harus diaktifkan terlebih dahulu sebelum Disconnecting Switch dapat dioperasikan. Secara umum, pemisah dibagi menjadi dua jenis berdasarkan fungsinya :

- Pemisah peralatan berfungsi untuk melindungi instalasi yang sedang dalam keadaan terhubung dan juga berperan sebagai alat yang dapat melepaskan pemutus arus saat tidak sedang terbebani.
- Pemisah tanah berperan dalam melindungi peralatan dari sisa tegangan setelah pemutusan SUTT atau SUTM dilakukan.

5) Lightning Arrester (LA)



Gambar 2.3 Lightning arrester

Arrester adalah perangkat perlindungan untuk sistem tenaga listrik dari lonjakan petir. Fungsinya adalah membatasi lonjakan tegangan yang berlebihan dengan mengalirkannya ke tanah. Penangkapan sangat penting untuk mengoordinasikan isolasi dalam konteks sistem tenaga listrik. Arrester akan menghilangkan muatan listrik dan mengurangi tegangan abnormal yang dapat menyebabkan kerusakan pada gardu induk dan peralatannya ketika terjadi lonjakan arus di gardu induk. Peralatan dilindungi dari lonjakan tegangan yang disebabkan oleh petir dan gangguan tegangan selanjutnya oleh arrester surja. Mengatur Arrester sebaik yang diharapkan dengan perangkat keras dapat melindungi terhadap tegangan lebih sementara. Meskipun ada lonjakan yang dapat menyebabkan tegangan berlebih pada peralatan yang jauh dari Arrester, Arrester dapat memastikan perlindungan jika berada dalam radius kerja proteksi. Ketika tegangan sistem normal, Arrester harus bertindak sebagai isolator, mengirimkan sejumlah kecil arus bocor ke tanah, dan ketika terjadi lonjakan arus, ia harus menjadi konduktor yang sangat efektif, mengirimkan arus lonjakan ribuan ampere ke tanah. Selain itu, Arrester harus memiliki tegangan yang lebih rendah dari peralatan untuk mencegah kerusakan dan menghilangkan sisa arus dari sistem setelah terjadi sambaran petir atau lonjakan tegangan.

3

Arrester harus dapat menahan tegangan sistem 50 Hz secara kontinu tanpa batas waktu dan mampu mengalirkan lonjakan arus ke tanah tanpa mengalami kerusakan. Selain itu, perangkat pelindung yang efektif memiliki rasio perlindungan yang tinggi, yaitu perbandingan antara tegangan maksimum yang diizinkan pada saat pelepasan (discharge) lonjakan dengan tegangan maksimum sistem 50 Hz yang dapat ditahan setelah pelepasan tersebut.

Arrester bertanggung jawab untuk mengkoordinasikan isolasi peralatan gardu induk dan harus bertindak sebagai isolator dengan mengirimkan sejumlah kecil Lightning Arrester. Kapasitas utama Penangkal Petir adalah untuk membatasi nilai tegangan pada peralatan di gardu yang dilindungi. Nilai total tegangan paralel peralatan yang dilindungi akan dipengaruhi oleh tegangan induktif pada kabel ini ketika terjadi lonjakan arus, sehingga panjang kabel yang menghubungkan arrester juga harus diperhatikan. Perangkat keras dan bangunan terlindung dari sambaran petir langsung dengan jaminan petir pada arrester. Dalam kondisi tegangan organisasi yang khas, kemampuan arrester tegangan nyata sebagai penutup yang pada dasarnya tidak memungkinkan arus mengalir mulai dari tahap paling awal. Namun apabila terjadi tegangan lebih pada terminal arrester maka arrester dengan cepat berfungsi sebagai pemandu dan menyuplai tegangan lebih ke dalam tanah, sehingga kecukupan lonjakan tegangan yang sampai pada peralatan pengaman dikurangi.

a. Perkembangan arrester

Sejak sekitar 100 tahun yang lalu saat sistem listrik AC pertama kali diimplementasikan di saluran transmisi, teknologi perlindungan petir telah mengalami perkembangan. Awalnya, teknologi ini menggunakan gap udara sebagai proteksi. Selanjutnya teknologi ini berkembang dengan memanfaatkan kombinasi antara celah udara dan resistor non-linear, hingga penggunaan resistor non-linear tanpa celah, yang mulai diterapkan sekitar 20 tahun yang lalu. Saat ini, sebagian besar arrester dalam sistem transmisi PLN menggunakan teknologi terbaru dengan memanfaatkan keping ZnO tanpa gap.

Perkembangan teknologi Arrester dapat dirangkum sebagai berikut:

1892 – 1908: Menggunakan Air Gap

1908 – 1930: Multiple gaps dengan resistor

1930 – 1960: Lead Oxide dengan resistor

1960 – 1960: Passive Gapped Silicon Carbide

1960 – 1982: Active Gapped Silicon Carbide

1976 – sekarang: MOSA tanpa gap

1985 – sekarang: MOSA tanpa gap dengan polymer housings

b. Prinsip kerja arrester

Pada keadaan normal operasional, arrester bertindak sebagai isolator. Namun, saat terjadi surja akibat petir, arrester akan berfungsi sebagai konduktor yang mengalirkan arus tinggi ke tanah. Setelah tegangan surja tersebut hilang, arrester dengan cepat kembali menjadi isolator, sehingga peralatan tidak mengalami gangguan yang cukup lama. Pada kondisi normal tanpa adanya petir, arus bocor yang mengalir melalui arrester tidak boleh melebihi 2 mA.

Titik potong atas dan bawah lampu kilat masih berada di udara karena tegangan tertinggi dari kerangka dan tingkat perlindungan perangkat keras yang dilindungi. Dengan asumsi bahwa arrester hanya digunakan untuk melindungi perlindungan dari risiko bahaya akibat impedansi tanpa memperhatikan efek bantuan, maka cukup menggunakan lubang batang yang memungkinkan terjadinya kilatan cahaya ketika tegangan mencapai titik tertentu. tingkat berbahaya. Tegangan sistem AC akan terus mengikuti tikungan hingga pemutus heap dibuka.

Dengan memasang api di tengah-tengah api tersebut, mungkin apinya bisa padam. Tetapi jika resistor mempunyai nilai yang tetap, tegangan dapat naik sedemikian rupa sehingga upaya untuk melindungi insulasi tidak akan berhasil. Hasilnya, digunakan resistor variabel dengan sifat unik, yang resistansinya rendah ketika tegangan dan arus tinggi. Resistansi akan meningkat sekali lagi setelah tegangan berlebih hilang dan tegangan normal kembali, membatasi arus sisa menjadi sekitar 50 ampere. Ketika tegangan sistem pertama kali mencapai nol, celah api akhirnya menghilangkan arus sisa ini.

c. Bagian-bagian arrester

1. Arrester memiliki dua elektroda: elektroda atas, yang dihubungkan ke bagian aktif, dan elektroda bawah, yang dihubungkan ke tanah.
2. Spark gap: Akan terjadi busur api pada celah percikan atau celah percikan jika arrester yang dipasang mengalami tegangan lebih akibat sambaran petir atau lonjakan rangkaian.
3. Tahanan katup yang digunakan pada arrester ini merupakan bahan yang memiliki sifat penghalang yang dapat berubah sesuai dengan perubahan tegangan yang didapat.

d. Syarat-syarat arrester

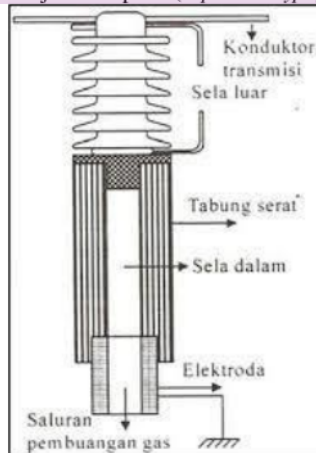
Untuk memaksimalkan penggunaan arrester dalam koordinasi, berikut adalah prinsip-prinsip yang harus diterapkan:

1. Arrester harus memiliki tegangan dasar 50 Hz yang dipilih sedemikian rupa sehingga tidak melebihi nilai tersebut dalam kondisi normal atau saat terjadi hubungan singkat.
2. Arrester akan memberikan jaminan yang layak dengan asumsi bahwa terdapat batas yang memadai antara tingkat arrester dan perangkat keras yang dilindunginya. Semua peralatan gardu induk dengan tingkat BIL sama atau lebih tinggi dari kawasan proteksi arrester harus dimasukkan dalam kawasan proteksi.
3. Direkomendasikan untuk memasang arrester di dekat peralatan utama, dan harus memiliki tahanan tanah yang rendah.
4. Kapasitas termal arrester harus mampu menangani arus besar yang disebabkan oleh energi dalam saluran panjang.
5. Penurunan tegangan maksimum arrester bukan penurunan tegangan rata-rata harus digunakan sebagai tingkat proteksi.
6. Untuk menyelaraskan tingkat proteksi arrester dengan BIL, maka perlu ditentukan nilai tegangan keluaran arus petir.

7. Saat menentukan perangkat arrester, kemampuan beberapa saluran untuk melindungi gardu induk dari gangguan petir harus diperhitungkan.
 8. Persentase tambahan harus ditambahkan ke nilai yang dihitung atau ditentukan arrester jika tegangan 50 Hz melintasi arrester tidak pasti. Saat ini, tambahan 10% digunakan sebagai faktor keamanan untuk mencegah arrester beroperasi pada transien tegangan 50 Hz yang harus dihentikan oleh arrester.
- e. Fungsi pengaman
1. Mencegah kerusakan pada perangkat keras dalam sistem tenaga listrik karena gangguan atau keadaan kerja yang tidak biasa.
 2. Mengurangi kerusakan pada peralatan sistem tenaga listrik akibat gangguan atau kondisi operasi yang tidak normal.
 3. Memperkecil area yang terdampak sehingga gangguan tidak meluas ke sistem yang lebih besar.
 4. Menyediakan layanan tenaga listrik yang andal dan berkualitas tinggi bagi konsumen.
 5. Melindungi manusia dari risiko yang disebabkan oleh tenaga listrik.
- f. Jenis-jenis arrester

Terdapat 21 jenis arrester yaitu:

1. Arrester jenis ekspulsi (*expulsion type*)



Gambar 2.4 Arrester jenis ekspulsi

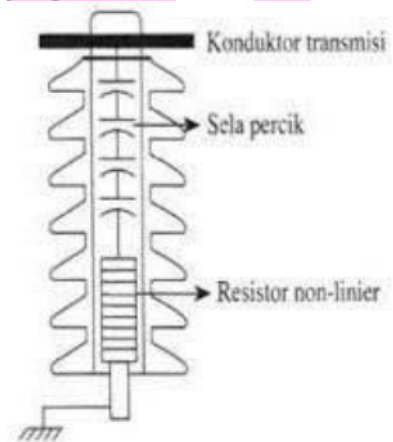
Digunakan dalam sistem tenaga listrik yang beroperasi pada tegangan sampai dengan 33 kV. Gambar tersebut menggambarkan konstruksinya. Celah luar dan celah dalam arrester ini dihubungkan secara seri. Elektroda ban dalam yang dibumikan dalam bentuk pipa dipasang ke ban dalam di dalam tabung serat. Arrester dapat mengalirkan frekuensi daya tegangan tinggi tanpa menimbulkan korona atau arus bocor ke tanah karena memiliki dua pasang elektroda tersebut. Isolator penyangga lapisan luar mempunyai tegangan loncatan api yang lebih rendah dibandingkan dengan tegangan tembus lapisan luar.

2. Arrester jenis katup (*valve type*)

Arrester katup dikategorikan menurut interval percik menjadi:

- a) Arrester katup sela pasif

Arrester sela pasif diterapkan pada jaringan distribusi saluran udara.



Gambar 2.5 Arrester Katup Sela Pasif

Arrester ini terdiri dari sela percik, resistor nonlinier, dan isolator tabung membentuk arrester ini. Sela percik terbuat dari beberapa pelat katoda yang dihubungkan secara seri. Untuk menjaga kinerja arrester tidak terpengaruh oleh udara di sekitarnya, resistor nonlinier dan sela percik ditempatkan di dalam tabung isolasi tertutup.

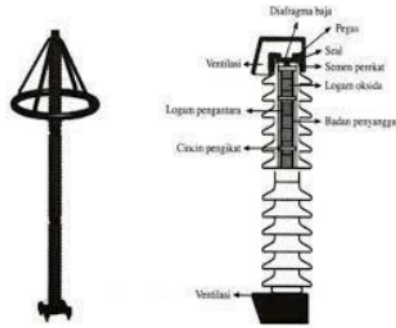
Beberapa silikon karbida yang terhubung seri membentuk resistor non-linier. Ketebalannya kurang lebih 25 mm dan diameternya kurang lebih 90 mm. Apabila arus yang lemah dilewatkan, resistor ini mempunyai nilai hambatan yang sangat tinggi, namun bila arus yang kuat dilewatkan, maka nilai hambatannya sangat rendah.

- b) Arrester katup sela aktif

Pada titik pusat jaringan distribusi dan jaringan tegangan tinggi, digunakan arrester katup sela aktif. Metode yang digunakan untuk mengakhiri busur pada celah percikan adalah perbedaan utama antara arrester katup aktif dan arrester katup pasif, yang konstruksinya hampir sama. Pemadaman busur api dilakukan pada arrester katup aktif dengan memanjangkan dan mendinginkan busur dengan menciptakan medan magnet di celah percikan.

- c) Arrester katup tanpa sela percik

Semua level tegangan dapat digunakan dengan arrester tanpa sela. Gambar di bawah menggambarkan konstruksi tipe arrester tak terputus. Berbeda dengan dua arrester katup sebelumnya, arrester katup ini menggunakan resistor non-linier oksida logam sebagai pengganti celah percikan. Arrester ini sering disebut arrester MO karena bahan utamanya adalah oksida logam.



Gambar 2.6 Arrester Katup Tanpa Sela Percik

Berdasarkan penempatannya arrester katup terbagi dalam tiga jenis:

- d) Arrester katup jenis gardu
Arrester katup jenis gardu dikenal karena efisiensinya yang tinggi meskipun harganya juga lebih mahal dibandingkan jenis lainnya. Istilah "gardu" mengacu pada penggunaannya di gardu induk berkapasitas besar. Arrester ini biasanya dipakai untuk melindungi peralatan bernilai tinggi dalam sistem yang memiliki tegangan antara 2.400 volt hingga 287 kV atau lebih.
- e) Arrester katup jenis saluran
Jika dibandingkan dengan jenis arrester gardu induk, jenis saluran ini lebih hemat biaya. Proteksi saluran transmisi dalam konteks ini tidak disebut dengan istilah "saluran". Arrester saluran ini, seperti arrester gardu induk, digunakan untuk melindungi peralatan yang sangat kritis di gardu induk. Seringkali, sistem dengan tegangan antara 15 kV dan 69 kV menggunakan arrester saluran jenis ini.
- f) Arrester jenis gardu untuk mesin-mesin
Arrester gardu induk semacam ini dibuat untuk menjaga keamanan mesin berputar. Kisaran tegangan yang digunakan arrester ini adalah antara 2,4 kV dan 15 kV.
- g) Arrester katup jenis distribusi untuk mesin-mesin
Arrester jenis distribusi ini diperuntukkan secara khusus untuk melindungi mesin-mesin berputar dan juga transformator dengan pendinginan udara tanpa minyak. Arrester ini digunakan pada peralatan dengan tegangan antara 120 Volt hingga 750 Volt.

g. Penempatan arrester

Sesuai standar SPLN-7:1978, penempatan arrester pada gardu induk sangat penting. Jarak maksimum antara arrester dan trafo pada rangkaian ganda dengan sistem tegangan 150 kV tidak boleh melebihi 80 meter, sedangkan jarak minimum dalam rangkaian tunggal harus setengahnya. Tujuannya adalah untuk mengurangi kemungkinan terjadinya flashover.

Ada sejumlah alasan mengapa penangkap harus ditempatkan sedekat mungkin dengan peralatan yang dilindungi:

1. Mengurangi kemungkinan tegangan penggerak menyebar ke kawat yang menghubungkan arrester ke alat yang dilindungi.
2. Ketika arrester dihidupkan maka frekuensi tegangan impuls yang masih berada di dalam kabel yang menghubungkan arrester dengan trafo akan dipantulkan ketika sampai pada terminal trafo sehingga menimbulkan tegangan dua kali lipat pada terminal arrester. Hal ini dapat dihindari dengan memasang arrester langsung pada terminal trafo.
3. Induktansi arrester ke kawat trafo harus diperhitungkan jika terlalu panjang.

E. Tegangan Sistem

Tegangan sistem adalah faktor yang membedakan satu sistem dari sistem lainnya. Terdapat tiga jenis tegangan sistem, yaitu:

1. Tegangan nominal adalah tegangan pada kawat yang umumnya digunakan untuk membedakan satu sistem dari sistem lainnya;
2. Tegangan dasar (rated), yaitu tegangan perencanaan yang dapat ditahan oleh alat yang bersangkutan dan dimana alat tersebut dapat dipakai secara kontinu;
3. Tegangan maksimum adalah tegangan tertinggi yang dapat ditahan oleh alat tersebut, di mana arrester dipasang.

Umumnya, tegangan sistem di gardu induk dioperasikan mendekati tegangan nominal yang telah ditetapkan sebagai standar. Tegangan sistem gardu induk sering kali dijalankan pada tegangan maksimum yang berkisar 5-10% di atas tegangan nominal. Tegangan dasar yang digunakan untuk arrester adalah tegangan maksimum frekuensi rendah (50 Hz) di mana arrester tersebut berfungsi dengan baik. Dalam sistem terisolasi, arrester harus memiliki tegangan dasar maksimum yang tidak melampaui tegangan dasar maksimum sistem itu sendiri. Arrester semacam ini disebut sebagai arrester tegangan dasar penuh atau 100%. Sementara itu, pada sistem yang dibumikan, tegangan dasar maksimum dari arrester dapat diturunkan menjadi 80% dari tegangan sistem maksimum. Metode dan aplikasi khusus memungkinkan penggunaan arrester dengan tegangan dasar sebesar 75- 80%.

Tegangan lebih sementara adalah gangguan yang mencakup gangguan ke tanah, switching, dan energize saluran yang disebabkan oleh kondisi abnormal.

F. Tingkat Isolasi Dasar (TID)

Tingkat Isolasi Dasar, atau BIL, adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan kapasitas suatu material untuk menahan tegangan. Setiap tegangan kerangka memiliki BIL yang diselesaikan berdasarkan norma terkait. Hampir semua peralatan gardu, seperti transformator, PMT, PMS, transformator arus, dan transformator daya, dirancang menggunakan tingkat isolasi yang persis. Namun, ada pengecualian terhadap transformator yang biasa menggunakan isolasi yang kian lebih kecil demi ekonomi; transformator ini biasanya dilindungi langsung oleh arrester.

Dalam menentukan (TID), bisa menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\text{BIL Trafo} = \text{LPL} + 20\% (\text{FP}) \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana,

$$LPL = U_A \times 110\% \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

LPL = Tingkat perlindungan petir (kV)

U_A = Tegangan kerja arrester (kV)

TABEL 2. 1 TINGKAT ISOLASI STANDAR 52 kV ≤ Um < 300 kV

Tegangan tertinggi peralatan (Um) (kV)	Nilai dasar untuk tegangan p. u. $U_m \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$ (puncak) (kV)	Ketahanan impuls petir (puncak) (kV)	Ketahanan frekuensi jala-jala (puncak) (kV)
52	42,5	250	95
72,5	59	325	140
123	100	450	185
		550	230
		450	185
145	118	550	230
		650	275
		550	230
170	139	650	275
		750	325
		650	275
		750	325
245	200	850	360
		950	395
		1050	460

Sumber: IEC Publication 71-1, "Insulation coordination", 1978

G. Rating Pengenal Arrester

Tegangan pengenal (UC) dari arrester adalah penangkap petir yang berfungsi sesuai dengan karakteristik yang dimiliki. Meskipun ini hanya tegangan pengenal, beberapa jenis arrester juga memerlukan penetapan arus pengenal yang ditentukan berdasarkan daya termal arrester itu sendiri. Arrester tidak bisa beroperasi daya sistem ¹²ncapai puncak, akan tetapi pasti bisa secara efektif memutus arus ikutan dari sistem.

Tegangan ¹²n Pengenal dari suatu penangkap petir (rating arrester) adalah:

$$U_c = \text{Tegangan rms fasa ke fasa tertinggi} \times \text{koefisien pentanahan} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

1. Tegangan sistem tertinggi biasanya diambil sebesar 110% dari tegangan nominal sistem. ³
2. Koefisien pentanahan adalah rasio antara tegangan rms fasa ke tanah ⁶aat terjadi gangguan di lokasi pemasangan penangkap petir, dengan tegangan rms fasa ke fasa tertinggi dari sistem saat tidak ada gangguan. ³

³ Penangkap petir umumnya tidak dapat berfungsi jika terjadi ¹ngguan fasa ke tanah di suatu bagian sistem. Oleh karena itu, tegangan pengenal penangkap petir harus lebih tinggi dari tegangan fasa ¹sehat ke tanah. Jika tidak, arrester akan menyalurkan arus ikutan sistem yang terlalu besar dan menyebabkan kerusakan pada penangkap petir.

H. Arus Pelepasan Nominal (Nominal Discharge)

²⁷ Arus pelepasan nominal merujuk pada arus dengan nilai puncak dan bentuk gelombang tertentu, yang digunakan untuk mengklasifikasikan arrester berdasarkan kapasitas arus dan karakteristiknya.

Proteksinya dapat dilihat dari spesifikasi Arus lepas nominal sesuai dengan standar (IEC) menggunakan bentuk gelombang $8\mu\text{det}/20\mu\text{d}$ ¹ dan standar Amerika menggunakan bentuk gelombang $10\mu\text{s}/20\mu\text{s}$, dengan kelas PP 10 kA, 2.5 kA, dan 1.5 kA. Kelas ² arus 10 kA, digunakan untuk perlindungan gardu induk besar dengan frekuensi sambaran petir yang cukup tinggi dan tegangan sistem di atas 70 kV.

1. Kelas 5 kA adalah arus yang digunakan pada sistem dengan tegangan di bawah 70 kV.
2. Kelas 2,5 kA adalah arus yang digunakan pada gardu induk ¹¹ yang lebih kecil dengan tegangan sistem di bawah 22 kV dimana kelas 5 kA sudah tidak ekonomis lagi.
3. Arus kelas 1,5 kA digunakan untuk mengamankan trafo kecil.

Persamaan berikut dapat digunakan untuk menyatakan arus pelepasan ketika gelombang bergerak menuju gardu induk:

$$I_A = \frac{2U_d - U_A}{Z} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

I_A = arus pelepasan

U_d = ¹gangguan gelombang datang

U_A = tegangan kerja/tegangan sisa

Z = Impedansi surja dari pada kawat saluran ²

I. Tegangan Pelepasan/Tegangan Kerja

Salah satu faktor yang menentukan tingkat proteksi yang diberikan oleh penangkap petir adalah tegangan kerja yang disebut juga dengan tegangan pelepasan. Proteksi peralatan yang ⁹ optimal dengan faktor keamanan yang memadai dapat dicapai jika tegangan kerja penangkal petir berada di bawah BIL (Basic Insulation Level) peralatan yang dilindungi.

Tegangan pada saat bekerja dipengaruhi oleh:

1. Arus pelepasan dari arrester
2. Kecuraman gelombang arus (di/dt)

J. Impedansi Surja

Nilai impedansi yang timbul pada saat terjadinya lonjakan arus, seperti sambaran petir atau lonjakan arus yang disebabkan oleh saluran listrik, disebut dengan impedansi lonjakan arus. Konstanta L (induktansi) dan C (kapasitansi) yang mengalir melalui kawat penghantar berdampak pada impedansi lonjakan arus, begitu pula sifat fisik kawat itu sendiri. Berikut penjelasan impedansi lonjakan kabel overhead:

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}} = 60 \ln \frac{2h}{r} \Omega \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

r = jari-jari kawat (diameter kawat/2)

h = tinggi kawat di atas tanah (28,5)

K. Tegangan Tembus Isolator

Besaran dan laju naik turunnya gelombang petir mempengaruhi tegangan yang timbul pada pelindung saluran transmisi. Namun, tergantung pada voltase dan apakah lebih tinggi dari voltase tembus isolator udara, tidak semua sambaran petir akan menyebabkan isolator menyalta.

$$U_{50\%} = \left(K_1 + \frac{K_2}{i^{0,75}} \right) \times 10^3 \text{ kV} \dots\dots\dots(2.6)$$

¹ Dimana:

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

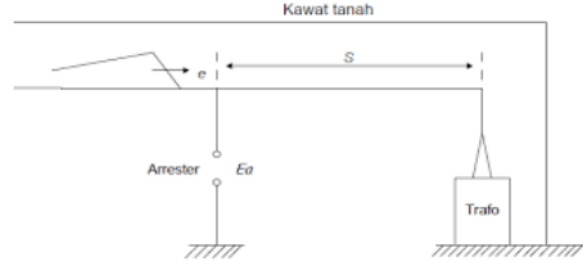
K_1 = 0,4 W

$K_2 = 0,7W$
 $W =$ Panjang rentang isolator untuk tegangan 150 kV, 0,886 meter
 $t =$ tegangan yang dihitung berdasarkan muka gelombang, 1,2 μ det

L. Jarak Lindung Arrester

Secara umum, perlengkapan perlindungan sebaiknya dipasang secepat mungkin di dekat peralatan yang perlu dilindungi, apalagi di ujung transmisi seperti gardu induk atau trafo. Menurut standar SPLN-7:1978, sistem double dengan daya 150kV, jangka maksimum antar arrester dengan trafo adalah 80 meter. Sedangkan sistem tunggal, jarak maksimumnya ialah setengah nilai sistem ganda.

8 Dampak dari frekuensi yang berulang dapat menyebabkan tegangan yang lebih tinggi pada area yang jauh dari arrester, namun peralatan tetap dapat diamankan dengan panjang yang sama dengan jarak antara arrester dan perangkat keras tetap berada di dalam sejauh mungkin. Arrester biasa 18 dipasang pada suara pemandu dan trafo menyempit di gardu induk. Namun, tidak semua gardu induk memiliki jarak yang seragam antara lokasi penempatan arrester dan transformator.



Gambar 2.2 : arrester dan transformator terpisah jarak (S)

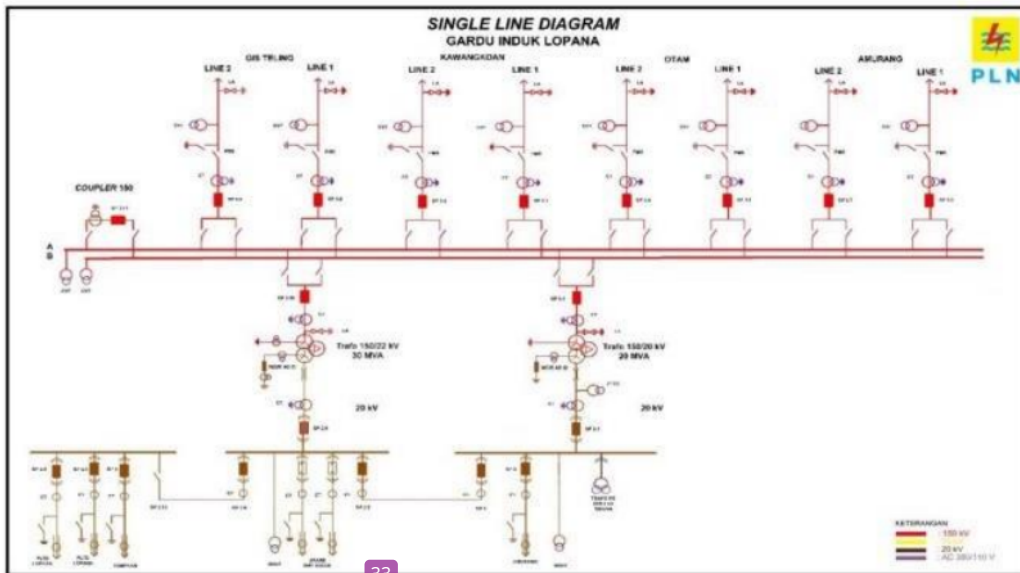
Gambar tersebut menggambarkan jarak maksimum yang ada antara arrester dan trafo ketika keduanya langsung dihubungkan ke saluran udara. Trafo dianggap sebagai penjepit dengan koefisien keluaran 2.

$$S = \frac{V(E_p - E_a)}{2A} \dots\dots\dots (2.7)$$

- 1 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 yang datang (300m/ μ s)
 - $A =$ Tegangan lebih masuk dari saluran transmisi

III. DATA DATA PERHITUNGAN

A. Gardu Induk Lopana



33 Gambar 3.1 Single Line Diagram Lopana

6 Gardu Induk Lopana terletak di daerah Minahasa Selatan. Gardu Induk Lopana merupakan salah satu gardu induk yang termasuk dalam sistem Minahasa. Di Sulawesi Utara Sistem 28 nahasa adalah suatu sistem tenaga listrik yang melayani tiga provinsi yaitu Sulawesi Utara, Gorontalo dan Sulawesi Tengah atau disebut Wilayah SULUTTENGGGO. Dalam pengoperasian Sistem Minahasa banyak juga terjadi gangguan-gangguan, baik itu gangguan internal atau yang terjadi dalam sistem itu sendiri maupun gangguan Eksternal. Untuk itu setiap Perlatan Instalasi Listri harus bekerja lebih efektif dan selektif. Berikut merupakan Single Line Diagram Gardu Induk Lopana.

B. Data Teknis Gardu Induk Lopana

Dalam penelitian ini ada beberapa data teknis yang didapatkan di Gardu Induk Lopana. Data-data tersebut digunakan untuk menunjang analisis yang akan saya lakukan, sebagai berikut:

- 1) Data arrester
Dalam penelitian ini pembahasan fokus pada Arrester ABB AB / PEXLIM Q144-YV170E seperti pada Gambar 3.2 yang tersambung dengan transformator 2 merk B&D PX-074-COMB yang bekerja pada tegangan 150 KV.



Gambar 3.2 Arrester ABB AB / PEXLIM Q 144-YV170E

TABEL 3.1 DATA ARRESTER

Data Arrester	
Merk/Type	ABB AB/PEXLIM Q 144-YV170E
Class	10
Tahun	2019
Ur	144 kV
BIL	150 kV
Uc	115 kV
Short Circuit Current	65 kA
S/N LA Fasa R	75298911
S/N LA Fasa S	75298912
S/N LA Fasa T	75298913

1) Data transformator

Gardu Induk Lopana memiliki Transformator Daya 2 18/30 MVA dengan merk B&D Transformer. Transformator ini dilengkapi dengan arrester yaitu ABB AB / PEXLIM Q 144-YV170E.



Gambar 3.3 Transformator B&D PX-074-COMB

TABEL 3.2 DATA TRANSFORMATOR

Data Transformator	
Merk	B&D Transformer
19 Type	PX-074-COMB
Year Of Manufacture	2020
Standard	IEC 60076
Rated Power	18 / 30 MVA
Cooling	ONAN / ONAF
Frequency	50 HZ
Phases	3
Connection Symbol	YNyn0+d

2) Data kabel/kawat

TABEL 3.3 DATA KABEL/KAWET

Data Kabel/Kawat	
Merk	ACSR
Tegangan	150 kV
Ukuran Nominal	240
Diameter	21.90 mm ²

C. Menentukan Tegangan Sistem Maksimum

Rating tegangan arrester merupakan tegangan pertukaran paling ekstrim hingga diijinkan pada terminal arrester, dimana tekanan ini bisa saja mengganggu aliran listrik sisa yang terjadi pada saat arrester bekerja. Penentuan rating ini penting untuk menentukan tegangan puncak yang dapat ditangani oleh Gardu Induk Lopana, seperti yang diperlihatkan dalam persamaan berikut ini.

$$Um = 1,1 \times Uff$$

Ket.

Um = Tegangan maksimum fasa ke netral

Uff = Tegangan sistem fasa ke fasa

Penyelesaian :

$$Um = 1,1 \times 150$$

$$Um = 165 \text{ kV}$$

Menurut standar PLN, daya maksimum alat bisa menggapai 170 kV. Oleh karena itu, bagi sistem dengan daya 150 kV, dipilih nilai maksimum tegangan peralatan (Um) sebesar 170 kV.

D. Impedansi Surja

Sebelum menentukan impedansi surja, penting untuk mengetahui spesifikasi kawat transmisi yang dipakai, yaitu kabel transmisi 150kV jenis ACSR (sesuai lampiran). Diameter kawat ($d = 21.90 \text{ mm}$) dapat dilihat dari tabel. Untuk menghitung impedansi surja, langkah awalnya adalah menentukan jari-jari kawat (r) seperti yang dijelaskan dalam persamaan berikut ini.

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

Sebelum menghitung impedansi surja (Z), pertama-tama perlu menentukan jari-jari kabel (r).

$$\begin{aligned} r \text{ (jari - jari kawat)} &= \frac{d \text{ (diameter kawat)}}{2} \\ &= \frac{21.90}{2} \\ &= 10,95 \text{ mm} \\ &= 10,95 \times 10^{-3} \text{ m} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas maka impedansi surja dapat ditentukan dengan cara berikut:

$$\begin{aligned} z &= \sqrt{L/C} = 60 \ln \frac{2h}{r} \text{ (}\Omega\text{)} \\ &= 60 \ln \frac{2(28,5)}{10,95 \times 10^{-3}} \text{ (}\Omega\text{)} \\ &= 60 \ln \frac{57}{10,95 \times 10^{-3}} \text{ (}\Omega\text{)} \\ &= 60 \ln 5205,479 \text{ (}\Omega\text{)} \\ &= 60 \times 8,56 \text{ (}\Omega\text{)} \\ &= 513,6 \text{ (}\Omega\text{)} \end{aligned}$$

E. Tegangan Tembus Isolator Udara

Amplitudo dan kecepatan naik turunnya gelombang yang menyambar saluran transmisi menentukan tegangan timbul pada

isolator tersebut. Karena besarnya tegangan yang terbentuk tidak boleh melebihi nilai tegangan tembus isolator (U_d), seperti terlihat pada persamaan, maka tidak semua sambaran petir pada saluran menyebabkan terjadinya flashover pada isolator seperti yang dijelaskan dalam persamaan berikut:

$$U_d = U_{50\%} = (K_1 + \frac{K_2}{t^{0,75}} \times 10^3)$$

Dimana:

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

K_1 = 0,4 W

K_2 = 0,7 W

W = panjang rentangan isolator (meter)

t = waktu tegangan berdasarkan waktu naik gelombang 1,2 μ det

1 ketahui:

W = panjang rentangan isolator untuk tegangan 150 kV = 0,886 m (lampiran)

6 $= 0,4 \times W = 0,4 \times 0,886 = 0,35$

12 $= 0,7 \times W = 0,7 \times 0,886 = 0,62$

T = tegangan yang dihitung berdasarkan waktu muka gelombang 1,2 μ det

Maka diperoleh:

$$U_d = U_{50\%} = (K_1 + \frac{K_2}{t^{0,75}} \times 10^3)$$

$$U_{50\%} = (0,35 + \frac{0,62}{1,2^{0,75}} \times 10^3)$$

$$U_{50\%} = (0,35 + 0,544) \times 10^3 = 894 \text{ kV}$$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk menganalisis kemampuan arrester dalam melindungi Transformator 2 di Gardu Induk Lopana dan menentukan jarak optimal penempatan arrester dari transformator, Beberapa perhitungan telah dilakukan untuk mendapatkan parameter-parameter yang diperlukan dalam menetapkan Tingkat Isolasi Dasar (BIL) untuk transformator di Gardu Induk Lopana. Perhitungan ini mencakup:

A. Menentukan Tegangan Pengenal Arrester

Tegangan pengenal arrester adalah kriteria utama dalam melindungi gardu transformator. Tingkat proteksi arrester ditentukan oleh tegangan pengenal arrester. Berdasarkan persamaan berikut, faktor keamanan optimal pada peralatan 1 pat dicapai jika tegangan kerja arrester lebih rendah dari Tingkat Isolasi Dasar peralatan yang dilindungi sesuai per 1 naan berikut:

U_c = Tegangan Sistem x 1,1 x koefisien pentanahan

Konstanta pentanahan = 0,8 Ω (harus dibawa 5 Ω)

Maka per 2 itungan matematisnya sebagai berikut;

$$U_c = U_r \times 1,1 \times 0,8$$

$$U_c = 150 \times 1,1 \times 0,8$$

$$U_c = 132 \text{ kV}$$

Dari hasil yang didapatkan, seharusnya daya nominal Arrester ialah 132 kV, namun karena tidak tersedia tegangan nominal dengan nilai 132 kV, maka digunakan tegangan nominal dengan nilai 138 kV.

Berlin Keintjem - The Determination of the Distance Placement of the 150 kV Surge Arrester with the Transformer at Lopana Substation

B. Menentukan Tegangan Kerja/Tegangan Pelepasan Arrester

Tegangan yang berfungsi atau tegangan pelepasan arrester dihitung berlandaskan tabel Tegangan Sisa Terbesar dan pedoman untuk menentukan tingkat pemisahan transformator dan penangkal petir, sebagaimana dipahami dalam sambungan. Tegangan pelepasan arrester adalah U_A 460 kV u 6 uk sistem dengan tegangan 150 kV dan tegangan pengenal 138 kV.

C. Menentukan Arus Pelepasan Arrester (I_A)

Dalam perhitungan Discharge current Arrester, biasanya dilakukan perhitungan me 1 unakan formula dasar yang melibatkan tegangan puncak gelombang datang (U_d), impedansi surja (z), dan tegangan kerja arrester (U_a) seperti dijelaskan dalam contoh. Bahwa U_d bisa diperoleh berdasarkan tegangan $U_{50\%}$, yang merupakan tegangan tembus isolator dan serupa dengan tegangan pada kawat penghantar. Poin tersebut kemudian ditambahkan 7,5% sesuai dengan standar yang berlaku, karena voltage pada konduktor akan sama dengan tegangan gelombang yang masuk ke GI yang tidak melebihi 75%.

$$I_A = \frac{2U_d - U_A}{Z}$$

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

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

$$Z = 513,6 \Omega$$

maka:

Arus pelepasan arrester di Gardu Induk Lopana adalah 2,58 kA dengan tegangan sistem 150 kV, menggunakan arrester dengan kelas 10 kA.

D. Menentukan Faktor Perlindungan

Menurut teori yang diuraikan dalam bagian dasar teori, faktor perli 1 lindungan merupakan indikator tingkat perlindungan di gardu induk. Biasanya, faktor perlindungan bernilai 20%, dan untuk mendapatkan perlindungan yang baik, nilainya tidak boleh kurang dari 20%. Oleh karena itu, perhitungan faktor perlindungan (FP) dilakukan berdasarkan persamaan berikut:

$$1 \text{ FP} = \text{BIL Peralatan} - \text{Tingkat Perlindungan Arrester}$$

$$\text{Tingkat Perlindungan Arrester} = U_A \times 1,1 \text{ (panjang kawat + toleransi pabrik)}$$

$$= 460 \times 1,1$$

$$= 506 \text{ kV}$$

$$\text{FP} = 650 - 506$$

$$\text{FP} = 144$$

$$\text{FP} = 144 / 650$$

$$\text{FP} = 0,22$$

$$\text{FP} = 22\%$$

Hasil Perhitungan Tegangan Pengenal GI Lopana dalam bentuk tabel.

TABEL 4.1 HASIL PERHITUNGAN PENGENAL GI LOPANA

Tegangan sistem (kV)	Tegangan pengenal/ U_c (kV)	Tegangan kerja U_A (kV)	Arus pelepasan I_A (kA)	FP (%)
150 kV	138 kV	460 kV	2,58 kA	22%

E. Menentukan BIL Transformator di GI Lopana

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan sebelumnya, nilai parameter-parameter untuk menetapkan Basic Insulation Level (BIL) Gardu Induk Lopana telah memenuhi semua persyaratan yang ditetapkan. Oleh karena itu, perhitungan Tingkat Isolasi (BIL) Gardu Induk Lopana dapat ditemukan dalam persamaan 2.1 dan 2.2 sebagai berikut:

Penentuan BIL Trafo 2 (B&D Transformer PX-074-COMB 150 kV – 18/30 MVA)

$$\begin{aligned} \text{BIL Transformator} &= \text{LPL} + 20\% \text{ FP} \\ \text{LPL} &= U_A \times 110\% \\ &= 460 \times 1.1 \\ &= 506 \text{ kV} \end{aligned}$$

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

Tingkat insulasi dasar yang direkomendasikan adalah setidaknya 607,2 kV, yang setara dengan 650 kV, dengan ketahanan terhadap tegangan impuls mencapai 275 kV, sesuai dengan tabel yang disediakan di atas.

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

$$\begin{aligned} \text{Penentuan tegangan lebih sementara} &= \frac{U_n}{\sqrt{3}} \times 3 \\ &= \frac{150}{\sqrt{3}} \times 3 \\ &= 259,8 \text{ kV} \end{aligned}$$

Maka diperoleh data hasil perhitungan BIL Transformator GI Lopana

Peralatan	Tegangan puncak impuls (kV)	Tegangan ketahanan frekuensi jala-jala (kV)
BIL Transformator 2	562,9	259,8

F. Menentukan Penempatan Arrester

Secara praktis, arrester sering kali ditempatkan pada jarak S dari transformator. Mengingat pentingnya transformator dalam gardu induk, arrester ditempatkan dekat dengan transformator sebagai bagian dari koordinasi isolasi. Jarak antara arrester dan transformator dihitung berdasarkan persamaan yang telah dijelaskan sebelumnya.

$$S = \frac{V(E_p - E_a)}{2A}$$

Dimana:

E_p = Basic Insulation Level Trafo = 650 kV

E_a = Tegangan Kerja (UA) = 460 kV

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

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

Maka:

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

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

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

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

Setelah dilakukan perhitungan diatas, maka didapatkan jarak Arrester dan Trafo adalah 28,5 meter. Semakin dekat jarak antara Arrester dan Trafo, semakin optimal kinerjanya. Di Gardu Induk Lopana, jarak Arrester yang dipasang adalah 28,5 meter.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan diskusi yang telah dilakukan, kesimpulan dapat diperoleh sebagai berikut:

- Tegangan maksimum yang dapat ditangani oleh Gardu Induk Lopana adalah 170 kV, yang merupakan parameter kerja untuk arrester.
- Berdasarkan perhitungan untuk Gardu Induk Lopana dengan sistem tegangan 150 kV, hasilnya adalah:
 - Tegangan Pengenal (U_c) = 138 kV
 - Arus Pelepasan Arrester (I_A) = 10 kA
 - Faktor Perlindungan Gardu Induk Lopana = 22%
 - Basic Insulation Level (BIL) untuk Trafo = 650 kV
- Berdasarkan perhitungan, jarak optimal antara arrester dan transformator untuk memastikan perlindungan yang efektif terhadap transformator dan peralatan lainnya adalah 28,5 meter. Semakin dekat arrester dipasang dengan peralatan yang dilindungi, terutama transformator, semakin efektif arrester dalam menjalankan fungsinya.

B. Saran

Berdasarkan analisis dan perhitungan yang telah saya lakukan, hasil ini dapat digunakan sebagai acuan untuk menetapkan jarak terdekat antara Arrester dan Trafo di GI Lopana, dan bisa diperluas untuk pengembangan lebih lanjut.

VI. REFERENSI

- Sintianingrum, Yul Martin, Endah Komalasari 2016. Simulasi Tegangan Lebih Akibat Sambaran Petir terhadap Penentuan Jarak simum untuk Perlindungan Peralatan pada Gardu Induk. Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro. Jurusan Teknik Elektro, Universitas 141.pung.
- I Putu Weda Jayanthana, Cok. Gede Indra Partha, I Gede Dyana Arjana 2020. analisa penempatan lightning arrester pada cable head 60 sebagai pengamanan transformator gis bandara ngurah rai. jurnal spektrum. Program 22. i Teknik Elektro, Universitas Udayana.
- Rifky Labado, Mujiman, Prastyono Eko Pambudi 2015. analisa penempatan arrester terhadap efektifitas proteksi transformator pada pt. pln (persero) p3b jawabali app salatiga gardu induk 150 kv bantul. Jurnal

Elektrikal. Jurusan Teknik Elektro, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta.

- [4] Ibnu Hajar, Eko Rahman 2017. kajian pemasangan lightning arrester pada sisi hv transformator daya unit satu gardu induk teluk betung. jurnal energi listrik. Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknik PLN Jakarta.
- [5] Jonner Manihuruk, S.T., M.T., Toga Simorangkir 2021, Novrin L Sitanggang. Studi Kemampuan Arrester Untuk Pengaman Transformator Pada Gardu Induk Tanjung Morawa 150 KV. ELPOTECS Jurnal. Program Studi Teknik Elektro, Universitas HKBP Nommensen



Penulis bernama lengkap **BERLIN VICTOR KEINTJEM**, anak ketiga dari tiga bersaudara. Lahir di Boyong Atas pada tanggal 15 September 2000. Penulis menempuh pendidikan di SD GMM Boyong Atas pada Tahun (2006-2012), selanjutnya SMP Negeri 2 Tenga pada Tahun (2012-2015), dan menyelesaikan sekolah tingkat atas di SMA Negeri 1

Manado pada Tahun (2015-2018). Pada tahun 2018, penulis melanjutkan studi di Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Program Studi Elektro, Universitas Sam Ratulangi, Manado. Dua tahun kemudian yaitu pada tahun 2020, penulis memilih konsentrasi minat Teknik Tenaga Listrik dan Tegangan Tinggi. Penulis melaksanakan Kerja Praktek di ULPLTP Lahendong, Kabupaten Minahasa selama 3 bulan yaitu pada bulan Juli – September 2021 dan melaksanakan Kuliah Kerja Terpadu angkatan 128 di Desa Woloan, Kecamatan Tomohon Barat, Kabupaten Minahasa. Penulis memutuskan untuk menulis Tugas Akhir mengenai Penentuan Penempatan Jarak Arrester dengan Transformator 150 kV di Gardu Induk Lopana. Selama perkuliahan di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Jurusan Teknik Elektro, Penulis merupakan anggota aktif organisasi Himpunan Mahasiswa Elektro Fakultas Teknik (HME FT-UNSRAT).

Sample 1_Jurnal Berlin.pdf

ORIGINALITY REPORT

20%

SIMILARITY INDEX

20%

INTERNET SOURCES

4%

PUBLICATIONS

7%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	repo.unsrat.ac.id Internet Source	5%
2	www.neliti.com Internet Source	2%
3	repository.its.ac.id Internet Source	1%
4	digilibadmin.unismuh.ac.id Internet Source	1%
5	ejournal.unsrat.ac.id Internet Source	1%
6	123dok.com Internet Source	1%
7	jurnalnasional.ump.ac.id Internet Source	1%
8	ejournal.uhn.ac.id Internet Source	1%
9	eprints.polsri.ac.id Internet Source	1%

10	Lewi Simarmata, Glanny Mangindaan, Lily Patras. "Analisis Perbaikan Jatuh Tegangan pada Penyulang Distribusi Primer 20 kV", Jurnal Teknik Elektro dan Komputer, 2024 Publication	1 %
11	docplayer.info Internet Source	<1 %
12	adoc.pub Internet Source	<1 %
13	makalah-beta.blogspot.com Internet Source	<1 %
14	ocs.unud.ac.id Internet Source	<1 %
15	repo.bunghatta.ac.id Internet Source	<1 %
16	id.scribd.com Internet Source	<1 %
17	Submitted to SDM Universitas Gadjah Mada Student Paper	<1 %
18	electrician.unila.ac.id Internet Source	<1 %
19	journal.binadarma.ac.id Internet Source	<1 %
20	idoc.pub Internet Source	<1 %

21	repository.umsu.ac.id Internet Source	<1 %
22	journal.akprind.ac.id Internet Source	<1 %
23	Submitted to Sriwijaya University Student Paper	<1 %
24	www.scribd.com Internet Source	<1 %
25	Aurel Kirey Jenifer Kaloh, Sherwin R.U.A. Sompie, Dirko G. S. Ruindungan. "Rancang Bangun Realitas Maya Interaktif Universitas Sam Ratulangi", Jurnal Teknik Elektro dan Komputer, 2022 Publication	<1 %
26	www.slideshare.net Internet Source	<1 %
27	repository.ump.ac.id Internet Source	<1 %
28	kabar-terhangat.blogspot.com Internet Source	<1 %
29	Merlin Florentina Blonteng, Alwin M. Sambul, Sary D.E. Paturusi. "Analysis of User Experience in University Academic Portal Using System Usability Scale (A Case Study in	<1 %

INSPIRE Portal of Sam Ratulangi University)",
Jurnal Teknik Informatika, 2022

Publication

30	ejurnal.politeknikpratama.ac.id Internet Source	<1 %
31	eprints.umm.ac.id Internet Source	<1 %
32	digilib.unila.ac.id Internet Source	<1 %
33	journal.unilak.ac.id Internet Source	<1 %
34	jurnalimprovement.wordpress.com Internet Source	<1 %
35	vinelkaryamandiri.blogspot.com Internet Source	<1 %
36	scholar.unand.ac.id Internet Source	<1 %
37	eprints.ums.ac.id Internet Source	<1 %

Exclude quotes Off

Exclude matches Off

Exclude bibliography Off