

STUDI KEMAMPUAN ARRESTER SEBAGAI MEDIA PROTEKSI TRANSFORMATOR PADA SISTEM TRANSMISI 150 KV DI GARDU INDUK BAYU

Ferdiansyah¹, Nazaruddin², Rudi Syahputra³

^{1,2,3} Prodi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi

Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe

Email: aferdi914@gmail.com¹, nazaruddin@pnl.ac.id², rudi.syahputra@gmail.com³

ABSTRAK

Gardu induk merupakan komponen vital dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi mengubah tegangan dari tinggi ke rendah atau sebaliknya serta melakukan berbagai fungsi penting lainnya. Dalam sistem transmisi bertegangan tinggi 150 kV, transformator memainkan peran kunci dalam penyaluran energi listrik. Namun, transformator sangat rentan terhadap gangguan tegangan lebih yang dapat disebabkan oleh sambaran petir. Gangguan ini dapat menyebabkan kerusakan serius pada transformator, yang berpotensi menimbulkan kegagalan sistem dan biaya perbaikan yang tinggi. Untuk melindungi transformator dari gangguan tegangan lebih, arrester digunakan sebagai perangkat proteksi. Arrester berfungsi untuk membatasi besarnya tegangan lebih yang dapat merusak transformator. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kapasitas arrester yang digunakan dalam melindungi transformator pada gardu induk 150 kV, serta menentukan jarak pemasangan arrester yang tepat untuk perlindungan optimal. Dari hasil analisis, kapasitas arrester yang digunakan dalam melindungi peralatan transformator pada gardu induk 150 kV ditentukan berdasarkan tegangan operasional maksimum arrester (U_c), energi yang harus diserap (W), dan tegangan proteksi yang dibutuhkan (U_p). Hasil menunjukkan bahwa tegangan maksimum operasional arrester (U_c) sebesar 86,6 kV, energi yang harus diserap sebesar 40.000 J, dengan arus impuls 10 kA dan durasi impuls 0,000020 detik, serta tegangan proteksi (U_p) sebesar 200 kV. Selain itu, jarak optimal pemasangan arrester terhadap transformator berdasarkan perhitungan memperoleh nilai sebesar 15 meter, sementara jarak pemasangan di lapangan sebesar 3 meter. Hal ini menunjukkan bahwa pemasangan arrester masih berada dalam batas aman dan proteksi yang baik dapat dicapai jika arrester ditempatkan sedekat mungkin dengan transformator.

Kata-Kata Kunci : *Transformator, Arrester, Kapasitas Arrester, dan Jarak Pemasangan Arrester*

I. PENDAHULUAN

Gardu induk adalah bagian dari sistem pembangkitan, transmisi, dan distribusi listrik. Gardu induk mengubah tegangan dari tinggi ke rendah, atau sebaliknya, atau melakukan beberapa fungsi penting lainnya. Antara stasiun pembangkit dan konsumen, tenaga listrik dapat mengalir melalui beberapa gardu induk pada tingkat tegangan yang berbeda. Gardu induk dapat mencakup transformator untuk mengubah tingkat tegangan antara tegangan transmisi tinggi dan tegangan distribusi yang lebih rendah, atau pada interkoneksi dua tegangan transmisi yang berbeda.

Sistem transmisi bertegangan tinggi seperti 150 kV memainkan peran penting dalam penyaluran energi listrik dari pembangkit ke pusat beban. Transformator adalah salah satu komponen kunci dalam sistem ini, yang berfungsi untuk mengubah tegangan listrik ke tingkat yang sesuai untuk penyaluran atau distribusi. Namun, transformator sangat rentan terhadap gangguan tegangan lebih, yang dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti sambaran petir, switching operations, atau gangguan lainnya di jaringan. Tegangan lebih ini dapat

menyebabkan kerusakan serius pada isolasi transformator dan komponen lain, yang pada akhirnya dapat menyebabkan kegagalan sistem, downtime, dan biaya perbaikan yang tinggi.

Untuk melindungi transformator dari gangguan tersebut, digunakan arrester sebagai perangkat proteksi. Arrester berfungsi untuk membatasi besarnya tegangan lebih yang terjadi dengan cara menyalurkan energi berlebih ke tanah, sehingga mencegah kerusakan pada peralatan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Gardu Induk

Gardu Induk adalah salah satu sistem tenaga yang memegang peranan penting dalam pendistribusian daya dan pengendalian beban. Gardu-gardu tersebut adalah pusat kendali beban, pusat pemecahan masalah, pusat pendaftaran meteran listrik dan pusat pemecahan masalah, pusat pendaftaran meteran listrik dan tegangan jatuh dan naik. Kegagalan gardu induk untuk menjalankan fungsinya dapat mengakibatkan pemadaman listrik bagi konsumen [1]

Gardu induk dibagi menjadi dua jenis berdasarkan transformator daya yang terpasang, yaitu gardu induk step-up dan gardu induk step-down. Sementara itu, jika dilihat dari fungsinya, gardu induk dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, termasuk gardu induk pembangkit, gardu induk beban, dan gardu induk hubung. Selain itu, gardu induk juga dapat dibagi berdasarkan lokasi instalasinya menjadi gardu induk pasangan dalam dan gardu induk pasangan luar.

1. Komponen Gardu Induk
 - a. Transformator Tegangan (PT)
 - b. Pelapis Frekuensi Tinggi (LT)
 - c. Saklar Pembumian (ES)
 - d. Saklar Pemisah (DS,DSL)
 - e. Transformator Arus (CT)
 - f. Pemutus Daya
 - g. Lightning Arrester (LA)
 - h. Transformator Daya (TD)

B. Sistem Transmisi

Sistem Transmisi merupakan proses penyaluran tenaga listrik dari tempat pembangkit tenaga listrik (*Power Plant*) hingga Saluran distribusi listrik (*substation distribution*) sehingga dapat disalurkan sampai pada konsumen pengguna listrik. Standar tegangan pada sistem transmisi di Indonesia diklasifikasikan sebagai tegangan ekstra tinggi (TET) yaitu dengan nominal 500 kV dan tegangan tinggi (TT) dengan nominal 70 kV dan 150 kV. Tujuan tegangan dinaikan agar dapat meminimalisir rugi-rugi daya dan drop tegangan, karena penyaluran pasti melalui jalur yang panjang, semakin panjang jalur maka akan semakin berpengaruh pada rugi daya jika tegangan tidak dinaikan.[2]

Sistem transmisi sebagai elemen krusial dalam infrastruktur penyediaan energi listrik yang memiliki tanggung jawab untuk mengalirkan energi listrik dari pembangkit ke pusat beban atau konsumen akhir. Sistem transmisi terdiri dari sejumlah saluran transmisi, gardu induk, transformator, dan perangkat listrik lainnya yang bekerja secara kolaboratif untuk meneruskan arus listrik dalam jumlah besar dari sumber pembangkit ke berbagai titik distribusi.

C. Transformator

Transformator, atau yang sering disebut sebagai trafo, merupakan suatu perangkat statis yang berfungsi untuk mengalihkan energi listrik dari satu sirkuit ke sirkuit lainnya melalui proses induksi elektromagnetik. Trafo seringkali digunakan untuk mengubah atau menyesuaikan level tegangan antara sirkuit-sirkuit tersebut. Perangkat ini umumnya ditemukan dalam setiap sistem penyediaan energi listrik yang menggunakan Arus Bolak-Balik (AC).

Trafo adalah perangkat listrik yang digunakan untuk menukar tegangan arus dalam suatu rangkaian tanpa memengaruhi total daya listrik. Ini berarti bahwa trafo mampu mengubah listrik bertegangan tinggi dengan arus

kecil menjadi listrik bertegangan rendah dengan arus besar, dan sebaliknya. Trafo terdiri dari gulungan primer dan gulungan sekunder yang terpisah satu sama lain. Ketika gulungan primer dialiri oleh listrik AC, medan magnet yang berubah-ubah dihasilkan. Karena gulungan sekunder berdekatan dengan gulungan primer, medan magnet ini menginduksi arus listrik AC di dalam gulungan sekunder.



Gbr.1 Transformator

1. Jenis-Jenis Transformator

- a. Berdasarkan Fungsi
 - (1). Transformator Daya (*Power Transformer*)
Digunakan di stasiun pembangkit listrik dan gardu induk untuk menaikkan atau menurunkan tegangan pada sistem transmisi dan distribusi listrik dan Memiliki kapasitas tinggi dan efisiensi tinggi.
 - (2). Transformator Distribusi (*Distribution Transformer*)
Digunakan untuk menurunkan tegangan dari jaringan distribusi ke level tegangan yang sesuai untuk konsumen akhir dan biasanya ditempatkan di tiang listrik atau di dekat area pemukiman.
- b. Berdasarkan Konstruksi
 - (1). Transformator Inti (*Core Type Transformer*)
Memiliki inti besi yang dikelilingi oleh kumparan primer dan sekunder dan umumnya digunakan untuk transformator daya besar.
 - (2). Transformator Cangkang (*Shell Type Transformer*)
Kumparan primer dan sekunder melilit inti besi berbentuk cangkang dan digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan perlindungan tambahan terhadap gangguan magnetik.

c. Berdasarkan Media Pendingin

Transformator Kering (Dry Type Transformer), Pendinginan dilakukan melalui udara dan cocok untuk aplikasi dalam ruangan di mana keselamatan adalah prioritas.

2. Prinsip Kerja Transformator

Di dalam transformator atau trafo terdapat dua atau lebih gulungan kawat yang melilit inti yang biasanya terbuat dari besi. Gulungan-gulungan ini, atau biasa disebut sebagai kumparan, dipisahkan secara listrik tetapi terhubung secara magnetik melalui jalur yang memiliki reluktansi yang rendah. Transformator atau trafo bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Ketika kumparan primer terhubung dengan sumber tegangan bolak-balik (AC), fluks magnetik bolak-balik akan dihasilkan di dalam inti yang meliliti kumparan tersebut. Kumparan primer ini membentuk sirkuit tertutup, yang mengakibatkan arus mengalir di dalamnya. Karena adanya fluks magnetik di kumparan primer, induksi sendiri, atau self-induction, terjadi di kumparan tersebut. Pengaruh induksi dari kumparan primer juga menyebabkan terjadinya induksi di kumparan sekunder.

Induksi pada kumparan sekunder, yang juga dikenal sebagai induksi bersama atau mutual induction, mengakibatkan terciptanya fluks magnetik. Fluks magnetik di kumparan sekunder menghasilkan gaya gerak listrik. Ketika rangkaian sekunder tersebut dimuat dengan beban, ini menyebabkan arus sekunder mengalir sebagai akibat dari gaya gerak listrik yang dihasilkan. Dengan demikian, trafo ini mengalirkan energi listrik melalui proses magnetik.

3. Fungsi Transformator

Fungsi transformator adalah mengubah karakteristik listrik suatu rangkaian. Besaran utama yang diubah oleh sebuah transformator adalah tegangan. Transformator berfungsi untuk menurunkan atau menaikkan tegangan listrik. Transformator step-up sebagai contoh, berperan dalam meningkatkan tegangan listrik, sementara transformator step-down berfungsi untuk menurunkan tegangan listrik.

D. Arrester

1. Pengertian Arrester

Arrester atau biasa dikenal sebagai lightning arrester merupakan perangkat yang dirancang untuk melindungi peralatan dalam sistem tenaga listrik dari gangguan surja petir. Fungsinya adalah membatasi lonjakan tegangan yang berlebihan yang dapat merusak peralatan dengan mengalirkannya ke tanah. Dengan memperhatikan perannya, arrester

harus mampu menangani tegangan sistem pada frekuensi 50 Hz dalam jangka waktu yang singkat, sambil mampu mengalirkan arus surja ke tanah tanpa mengalami kerusakan pada dirinya sendiri.

2. Bagian-Bagian Arrester

Arrester (penangkal petir) adalah perangkat yang digunakan untuk melindungi instalasi listrik dari lonjakan tegangan yang disebabkan oleh sambaran petir atau gangguan lainnya. Bagian-bagian utama dari arrester pada (Gbr.2) berikut ini:[3]



Gbr.2 Bagian-bagian Arrester

a. Elektroda

Elektroda adalah terminal dari arrester yang dihubungkan dengan bagian yang bertegangan di bagian atas, dan elektroda bawah dihubungkan dengan tanah.

b. Sela Percikan

Apabila terjadi tegangan lebih yang diakibatkan oleh sambaran petir atau surja hubung pada arrester yang terpasang, maka pada sela percikan (*spark gap*) akan terjadi loncatan busur api dan ditiup keluar oleh tekanan gas yang di timbulkan oleh tabung fiber yang terbakar

c. Tahanan katup

Tahanan yang digunakan dalam arrester ini adalah suatu jenis material yang sifat tahanannya dapat berubah apabila mendapatkan perubahan tegangan.

3. Jenis-Jenis Arrester

a. Arrester Ekspulsi

Arrester jenis ekspulsi digunakan pada sistem tenaga listrik bertegangan hingga 33 kV.

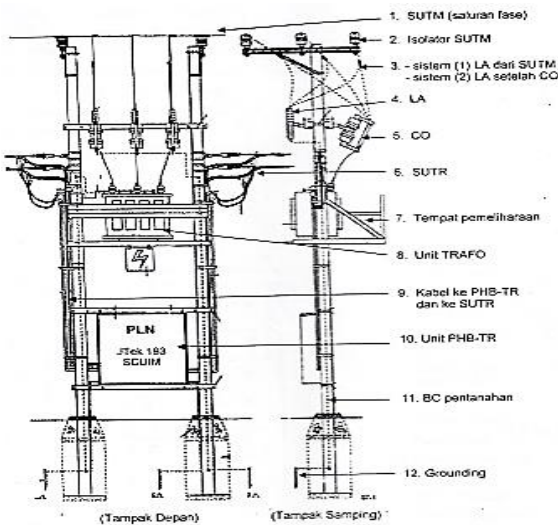
b. Arrester Katup

Berdasarkan sela percikannya, arrester katup terdiri dari arrester sela pasif, arrester sela aktif dan, arrester tanpa sela percik. Arrester sela pasif digunakan pada jaringan distribusi

hantaran udara, arrester sela aktif digunakan pada jaringan tegangan tinggi dan titik pusat jaringan distribusi, sedangkan arrester tanpa sela digunakan untuk semua tingkat tegangan.

4. Prinsip Kerja Arrester

Dalam keadaan normal, arrester berperan sebagai isolator. Namun, saat terjadi gangguan surja akibat adanya petir, arrester akan berfungsi sebagai konduktor untuk mengalirkan arus tinggi ke tanah. Setelah tegangan surja itu hilang, arrester dengan cepat kembali menjadi isolator, sehingga perangkat pemutus PMT tidak perlu diaktifkan. Pada keadaan normal tanpa gangguan petir, arus bocor arrester tidak boleh melebihi 2 mA.



Gbr.3 Gardu Tiang Trafo

a. Tahanan Tak Linier

Batas atas dan batas bawah dari tegangan percikan ditentukan oleh tegangan maksimum sistem dan oleh tingkat isolasi peralatan yang dilindungi. Jika arrester digunakan hanya untuk melindungi isolasi terhadap gangguan tanpa memperhatikan dampaknya terhadap pelayanan, maka cukup dengan memasang sela yang memungkinkan terjadinya percikan ketika tegangan mencapai tingkat bahaya. Tegangan sistem AC akan mempertahankan busur api hingga pemutus beban dibuka.

b. Karakteristik Arrester

Untuk gelombang berjalan yang datang pada sebuah trafo, arus pelepasan dalam arrester ditentukan oleh tegangan maksimum yang di teruskan oleh kawat (isolasinya), oleh impedansi surja dari pada kawat, dan oleh karakteristik dari arrester sebagai berikut:

c. Pemilihan Tingkat Isolasi Dasar (BIL)

BIL (*Basic Insulation Level*) menggambarkan tingkat isolasi terhadap petir. Untuk memastikan bahwa penggunaan arrester dalam koordinasi isolasi memberikan hasil optimal, penting untuk mematuhi prinsip-prinsip dasar. Salah satu prinsipnya adalah bahwa daerah perlindungan harus memiliki cakupan yang memadai untuk melindungi semua peralatan gardu induk yang memiliki BIL (*Basic Insulation Level*) atau tingkat isolasi yang lebih tinggi dari daerah perlindungan. Untuk menunjukkan perbandingan BIL dengan tegangan sistem maksimum dapat dilihat pada tabel 1.

TABEL I
Perbandingan BIL dengan Tegangan Sistem

Tegangan Sistem (KV)		Pengujian Trafo
Dasar	Maksimum	BIL (KV)
130	145	650
		550
161	170	450
		750
230	242	650
		550
		1,050
		900

5. Menghitung Kapasitas Arrester

Untuk menghitung kapasitas arrester dapat menggunakan persamaan (1), (2) dan (3) berikut :

a. Menghitung Tegangan Operasional Arrester (Uc)

$$U_c = \frac{U_r}{\sqrt{3}} \tag{1}$$

Dimana: U_c = Tegangan Operasional Arrester (kV), U_r = Tegangan Nominal (kV)

b. Menghitung Energi yang harus diserap oleh Arrester (W)

$$W = I_{imp} \times U_p \times t \tag{2}$$

Dimana: W = Energi yang harus diserap Arrester (MJ), I_{imp} = Arus Sambaran Petir (kA), U_p = Level Proteksi Tegangan Arrester (kV), t = Durasi Impuls (detik)

- c. Menghitung Tegangan Proteksi yang dibutuhkan (U_p)

$$U_p = \frac{W}{I_{imp} \times t} \quad (3)$$

Dimana: U_p = Tegangan Proteksi yang diperlukan (kV), W = Energi yang harus diserap Arrester (MJ), I_{imp} = Arus Sambaran Petir (kA), t = Durasi Impuls (detik)

6. Menghitung Jarak Penempatan Arrester Dengan Peralatan

Jarak arrester terhadap peralatan adalah penting untuk memastikan perlindungan optimal terhadap lonjakan tegangan. Penempatan arrester yang tepat berkaitan dengan berbagai faktor seperti panjang kabel, jenis peralatan yang dilindungi, dan karakteristik sistem listrik. Berikut adalah beberapa prinsip dasar dari teori jarak arrester terhadap peralatan.

- a. Minimalkan Panjang Kabel

Untuk memastikan bahwa lonjakan tegangan dapat diredam dengan cepat, jarak antara arrester dan peralatan yang dilindungi harus sedekat mungkin. Panjang kabel yang lebih pendek mengurangi induktansi dan resistansi yang dapat mempengaruhi efektivitas proteksi arrester.

- b. Penempatan di Titik Masuk

Arrester biasanya dipasang di titik masuk kabel atau konduktor ke dalam instalasi atau gedung. Ini adalah titik di mana lonjakan tegangan dari petir atau gangguan eksternal pertama kali akan masuk ke sistem.

- c. Pengaruh Induktansi Kabel

Panjang dan jenis kabel yang digunakan antara arrester dan peralatan juga mempengaruhi efektivitas perlindungan. Kabel dengan induktansi tinggi dapat menyebabkan kenaikan tegangan tambahan yang disebut sebagai efek "*voltage let-through*".

- d. Pemeliharaan Grounding yang Baik

Grounding yang baik sangat penting untuk efektivitas arrester. Grounding yang buruk dapat menyebabkan tegangan sisa yang tinggi bahkan setelah arrester mengalihkan sebagian besar lonjakan tegangan.

Untuk menghitung jarak arrester dengan peralatan yang dilindungi maka dapat menggunakan persamaan (4) sebagai berikut:

$$S = \frac{1}{2} \frac{(E_p - E_a) v}{A} \quad (4)$$

Dimana: S = Jarak antara arrester dengan trafo (m), E_p = Tegangan pada jepitan trafo, E_a = Tegangan percik arrester (*arrester sparkover voltage*), v = kecepatan merambat gelombang, $A = de/dt =$ kecuraman gel datang, dan dianggap kontan

- E. Tegangan Impuls

Tegangan impuls digunakan untuk menguji tegangan yang disebabkan oleh tegangan internal dan eksternal serta untuk mempelajari proses terjadinya tembusan. Secara umum, tegangan impuls dihasilkan dengan melepaskan muatan dari kapasitor tegangan menengah (melalui sela bola) dalam suatu rangkaian resistor dan kapasitor.

1. Keperluan dan Fungsi Pengujian

Tegangan lebih yang timbul akibat pelepasan muatan petir dikenal sebagai tegangan lebih luar. Tegangan lebih ini memiliki pola gelombang yang tidak beraturan dan direspons seperti saat muatan dilepaskan dari sebuah kapasitor melalui tahanan induktif.

2. Bentuk Tegangan impuls

Secara umum, dalam laboratorium tegangan impuls yang digunakan memiliki karakteristik naik secara cepat dalam waktu yang sangat singkat, kemudian diikuti oleh penurunan yang lambat hingga mencapai nilai nol.

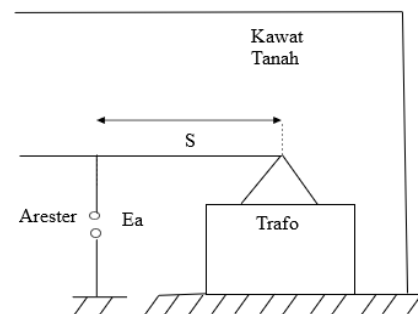
- F. Teori Perhitungan Jarak Maksimum

1. Penggunaan Teori Pantulan Berulang untuk Menentukan Jarak Maksimum Arester dan Peralatan

Jarak maksimum antara arrester dan peralatan atau panjang maksimum kabel penghubung dapat ditentukan secara pendekatan dengan menggunakan teori pantulan berulang.

2. Jarak Maksimum Arrester dan Trafo yang Dihubungkan dengan Saluran Udara

Untuk menentukan jarak maksimum arrester dan peralatan yang dilindungi yang dihubungkan langsung dengan saluran udara dianggap sebagai jepitan terbuka, maka dapat dilihat pada gambar 4.



Gbr.4 Skema Jarak Transformator dengan Jarak Arrester

III. METODOLOGI

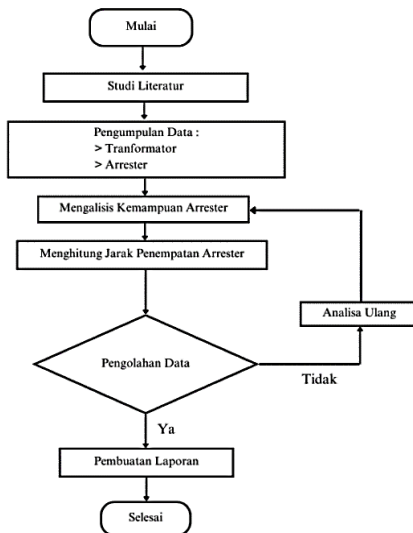
A. Pengambilan Data Lapangan

Pengambilan data lapangan dilakukan pada PT. PLN (Persero) Gardu Induk Bayu yang terletak di meunasah Beunot, kecamatan Syamtalira Bayu, Kabupaten Aceh Utara, Aceh. Data yang diperoleh dapat berupa *manual book*, dokumentasi, instruksi kerja (IK) dan juga meliputi data spesifikasi Arrester.

Tabel II
Data Nameplate Arrester

No	Item	Spesifikasi
1	Type	MCA4 - 150
2	Unit Selection	1
3	Standard	IEC.99-4 1991
4	Serial No.	T925
5	Tahun	1997
6	Buatan	England
7	Class	10 KA
8	Rated Voltage	150 KV
9	Protection Voltage	175 -200 KV
10	Pressure Relief	40 KArms
11	Uc - MCOV	120 KV
12	Line Discharge	Class 3

B. Flow Chart



Gbr.5 Flow Chart

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Kapasitas Arrester

Kapasitas Arrester pada gardu induk harus dihitung dengan memperhatikan beberapa faktor, termasuk tegangan nominal sistem, arus sambaran

petir, serta faktor keselamatan dan perlindungan peralatan. Berikut langkah-langkah yang harus diperhatikan dalam memperhitungkan kapasitas arrester:

- Tegangan Sistem (Ur)**
Tentukan tegangan nominal sistem, biasanya dalam kV. Arrester harus memiliki tegangan nominal yang sedikit lebih tinggi dari tegangan sistem untuk menangani tegangan lebih yang mungkin terjadi.
- Arus Impuls Sambaran Petir (Iimp)**
Hitung arus maksimum yang diharapkan saat ada sambaran petir, biasanya dalam kA.
- Faktor Keselamatan**
Untuk memastikan bahwa arrester dapat melindungi sistem dengan baik, pilih arrester dengan tegangan dan arus yang melebihi kondisi operasi maksimum yang diharapkan. Biasanya, standar internasional seperti IEC atau IEEE akan memberikan panduan faktor keselamatan.
- Kapasitas Energi**
Pastikan arrester memiliki kapasitas energi yang cukup untuk menyerap energi dari sambaran petir atau gangguan lain tanpa merusak arrester.

Untuk menghitung kapasitas arrester dapat menggunakan persamaan (1), (2) dan (3) berikut :

- Menghitung Tegangan Operasional Arrester (Uc):

$$U_c = \frac{U_r}{\sqrt{3}}$$

$$U_c = \frac{150 \text{ kV}}{\sqrt{3}}$$

$$U_c = 86,6 \text{ kV}$$

Jadi, tegangan operasional maksimum arrester (Uc) yang dibutuhkan adalah 86.6 kV.

- Menghitung Energi yang Harus Diserap oleh Arrester (W):

Berdasarkan keterangan data arus sambaran petir (Iimp) sebesar 10 kA, tegangan proteksi arrester (Up) sebesar 200 kV dan durasi impuls 0,000020 detik. Energi yang harus diserap oleh arrester dapat dihitung menggunakan rumus:

$$W = I_{imp} \times U_p \times t$$

$$W = 10.000 \text{ A} \times 200.000 \text{ V} \times 0,000020 \text{ s}$$

$$W = 40.000 \text{ J}$$

Jadi, energi yang harus diserap oleh arrester adalah 40.000 J (40 kJ)

(3). Menghitung Tegangan Proteksi yang dibutuhkan (U_p):

$$U_p = \frac{W}{I_{imp} \times t}$$

$$U_p = \frac{40.000 \text{ J}}{10.000 \text{ A} \times 0,000020 \text{ detik}}$$

$$U_p = \frac{40.000 \text{ J}}{0,2 \text{ A} \cdot \text{detik}}$$

$$U_p = 200 \text{ kV}$$

Jika energi yang harus diserap oleh arrester adalah 40.000 J, dengan arus impuls 10 kA dan durasi impuls adalah 0,000020 detik, maka tegangan proteksi (U_p) yang diperlukan adalah 200 kV.

B. Perhitungan Jarak Arrester Dengan Trafo

Diketahui bahwa tegangan sistem berdasarkan standar IEC 99-4 (1991), untuk mengamankan peralatan adalah sebagai berikut, transformator daya 60 MVA dengan tegangan nominal 150 kV dan tegangan pada jepitan trafo (E_p) atau BIL 750 kV, Trafo dilindungi oleh arrester dengan tegangan percik (E_a) 650 KV, dengan jarak perlindungan terhadap peralatan adalah sejauh 3 meter berdasarkan data lapangan, misalkan surja yang datang sebagai variable percobaannya, merambat menuju peralatan yang dilindungi arrester dengan kecepatan rambat gelombang impuls (v) 300 m/ μ dt dan kecuraman gelombang (A) sebesar 1.000 kV/dt, setelah dihitung secara matematis diperoleh perhitungan jarak maksimum arrester dengan persamaan (4).

$$S = \frac{1}{2} \frac{(E_p - E_a) v}{A}$$

$$S = \frac{1}{2} \cdot \frac{(750 \text{ kV} - 650 \text{ kV}) \cdot 300 \text{ m}/\mu\text{dt}}{1000 \text{ kV}/\text{dt}}$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \frac{(100 \text{ kV}) \cdot 300 \text{ m}/\mu\text{dt}}{1000 \text{ kV}/\text{dt}}$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \frac{30.000 \text{ kV} \cdot \text{m}/\text{dt}}{1000 \text{ kV}/\text{dt}}$$

$$= \frac{15.000 \text{ kV} \cdot \text{m}/\text{dt}}{1000 \text{ kV}/\text{dt}}$$

$$= 15 \text{ meter}$$

Pada hal berdasarkan jarak dilapangan dipasang sejauh 3 meter, sehingga pemasangannya masih di bawah harga maksimum. Perlindungan yang baik diperoleh bila arrester ditempatkan sedekat mungkin pada jepitan trafo. Tetapi, dalam praktek arrester itu harus ditempatkan dengan jarak (S) dari trafo yang dilindungi. Karena itu, jarak tersebut ditentukan agar perlindungan dapat berlangsung dengan baik.

V. KESIMPULAN

1. Tegangan maksimum operasional arrester (U_c) diperoleh sebesar 86,6 kV dan energi yang harus diserap oleh arrester adalah 40.000 J, dengan arus impuls 10 kA dan durasi impuls adalah 0,000020 detik, maka tegangan proteksi (U_p) yang diperlukan adalah 200 kV.
2. Perlindungan yang baik diperoleh bila arrester ditempatkan sedekat mungkin pada jepitan trafo. Tetapi, dalam praktek arrester itu harus ditempatkan dengan jarak (S) dari trafo yang dilindungi. Karena itu, jarak tersebut ditentukan agar perlindungan dapat berlangsung dengan baik.

RERERENSI

- [1]. Golden Sitompul dkk., 2023. **Analisis Tahanan Pada Gardu Induk Akibat Pengaruh Air Hujan.**
- [2]. Chirstoper A. Santijatodjaja dkk., 2019. **Analisa Gelombang Berjalan Pada Saluran Transmisi 70 kV Gardu Induk Teling**
- [3]. Toga Simorangkir dkk., 2021. **Studi Kemampuan Arrester Untuk Pengaman Transformator Pada Gardu Induk Tanjung Morawa 150 KV**