



Terbit online pada laman web jurnal:

<https://ejournal.sttp-yds.ac.id/index.php/js/index>**SAINSTEK**

| ISSN (Print) 2337-6910 | ISSN (Online) 2460-1039 |



Analisa *Lightning Arrester* Pada Trafo Daya Dengan Simulasi Matlab Di Gardu Induk Balai Pungut Duri

Fadhli Palaha^a, Ermawati^b, Machdalena^c, Ilham Chairuddin^d, Jhon Fiter^e

^{a,b,c,d,e}Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru, Jl. Dirgantara No.4 Arengka Raya, Kota Pekanbaru

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 18 Desember 2024

Revisi Akhir: 30 Desember 2024

Diterbitkan Online: 31 Desember 2024

KATA KUNCI

Lightning Arrester,

Matlab Simulink,

Gardu Induk

KORESPONDENSI

Telepon: 081371137720

E-mail: fadhlyyy@yahoo.com

ABSTRACT

Lightning Arrester merupakan peralatan yang paling penting untuk melindungi gardu induk dari tegangan tinggi, yang berperan untuk membatasi switching dan lonjakan arus petir kemudian dialirkan ke tanah. Tujuannya untuk mendapatkan jarak optimum penempatan *Arrester* dengan metoda simulasi menggunakan software Matlab. Hasil analisa simulasi yang dilakukan di wilayah gardu induk balai pungut dengan kecuraman 2000 du/dt jarak proteksi *Lightning Arrester* dengan transformator 5,48 meter, jarak *Lightning Arrester* dengan transformator di gardu induk balai pungut 3 meter, sehingga dapat dikatakan penempatan jarak *Lightning Arrester* dengan transformator serta peralatan proteksi lainnya dibawah nilai optimum dan masih dapat bekerja dalam kondisi maksimal. pada scope Arus Surja Petir pada rangkaian simulasi tidak menggunakan *arrester* terbaca dari durasi waktu 0.2 detik - 0.4 detik arus terlihat kondisi tidak normal karena tidak adanya pengaman *Arrester*. Dari hasil analisa rangkaian simulasi surja petir menggunakan *arrester* dengan jarak pengujian 3 meter dan jarak pengujian 5 meter pada saat terjadi Surja petir terjadi penurunan tegangan sampai 1.2×10^5 kV atau 120.000 Volt (120 kV) Surja Petir terbaca pada simulasi dari durasi waktu 0.2 detik - 0.4 detik dan kemudian tegangan kembali normal 1.5×10^5 kV atau 150.000 Volt (150 kV). Pada scope Arus diawali kondisi normal dan terjadi penurunan dikarenakan data pada *Arrester* sudah dimasukkan pada rangkaian simulasi Surja Petir Menggunakan *Arrester* dan kemudian arus kembali normal pada Arus 7.049×10^4 kA Surja Petir terbaca pada simulasi dari durasi waktu 0.2 detik - 0.4 detik Arus hilang pada saat terjadi surja petir dan kemudian arus kembali normal.

1. PENDAHULUAN

Sistem tenaga sering dipengaruhi oleh gangguan hubung singkat di gardu induk, terutama gardu induk. Transformator merupakan peralatan listrik yang paling mahal dan rentan terhadap korsleting, yang dapat menyebabkan kerusakan dan memerlukan proteksi penangkal petir untuk mengurangi dampak buruk dari korsleting itu sendiri.

Arrester surja adalah perangkat yang paling penting untuk melindungi gardu dari tegangan tinggi, perannya adalah untuk membatasi arus *switching* dan tegangan lebih, yang dilakukan ke tanah. Dalam sistem tenaga, penangkal petir adalah kunci isolasi. Ketika tegangan lonjakan mencapai gardu induk, penangkal petir melepaskan muatan listrik, mengurangi tegangan *anomali* yang diterapkan ke gardu induk dan peralatannya.

Dapat menentukan penempatan penangkal petir untuk *switchgear* tegangan tinggi Karena evaluasi *desain* dan proses beberapa gardu induk, kegagalan penangkal petir

selama surja dapat merusak gardu induk. Semua sistem tenaga harus dilindungi dari tegangan lebih. Sebagai pertimbangan proteksi sistem tenaga, petir sangat penting untuk menghindari kerusakan jaringan listrik dengan desain yang baik dan benar. Penentuan lokasi *arrester* yang optimal memiliki dampak yang signifikan terhadap proteksi sistem tenaga dan meminimalkan risiko kegagalan, yang memungkinkan setiap jaringan untuk mempertahankan skema proteksi yang benar dan sebanding dengan faktor proteksi. Dan mengurangi biaya proteksi [2].

Prinsip pengoperasian *arrester* adalah *arrester* berfungsi sebagai *isolator* pada kondisi normal, dan ketika terjadi tegangan lebih, alat ini dapat diubah menjadi penghantar *resistansi* yang *relatif* rendah [3], sehingga arus yang besar dapat dialirkan ke tanah. Apakah untuk melakukan. Setelah tegangan lebih dihilangkan, *arrester* perlu diisolasi dengan cepat lagi. Umumnya penangkal petir dipasang pada kedua ujung saluran tegangan tinggi fiktif yang masuk ke gardu induk. Mengoptimalkan lokasi penangkal petir di jaringan distribusi Anda dapat meningkatkan kinerja jaringan distribusi Anda dalam melindungi peralatan Anda dari induksi petir. Untuk mencegah hal ini, semua peralatan gardu induk harus dilengkapi dengan penangkal petir. Untuk hasil terbaik dengan penangkal petir, Anda perlu menggunakan penangkal petir terbaik. Hal ini berdampak signifikan terhadap fungsi dan kinerja *arrester* dalam melindungi perangkat dari tegangan lebih. *Arrester* ini harus dapat segera mengalihkan arus gangguan impuls petir yang dihasilkan ke bumi. Oleh karena itu, gardu induk perlu dilindungi dari sambaran petir. Menempatkan *arresster* Melindungi perangkat dari kegagalan tegangan lebih sementara sedekat mungkin dengan perangkat. jika peralatan di dekat *arrester* memiliki gelombang berjalan yang menyebabkan surja.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gardu Induk

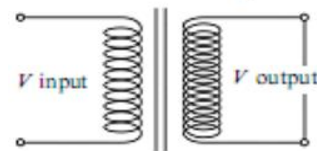
Gardu induk disebut juga gardu unit pusat beban yang merupakan gabungan dari *transformer* dan rangkaian *switch gear* yang tergabung dalam satu kesatuan melalui sistem kontrol yang saling mendukung untuk keperluan operasional. Pada dasarnya gardu induk bekerja mengubah tegangan yang dibangkitkan oleh pusat pembangkit tenaga listrik menjadi tenaga listrik menjadi tegangan tinggi atau tegangan transmisi dan sebaliknya mengubah tegangan menengah atau tegangan distribusi [6].

2.2 Transformator

Transformator adalah perangkat listrik yang, berdasarkan prinsip induksi *elektromagnetik*, dapat *mentransfer* dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih sirkuit ke sirkuit lain melalui kopling *magnetik*. Transformator memiliki banyak jenis namun pada umumnya transformator terbagi menjadi 2 jenis yaitu [8].

a. Transformator Step Up

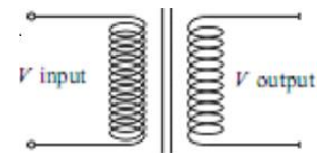
Transformator *step up* adalah transformator yang berfungsi untuk menaikkan tegangan $V_p < V_s$. transformator ini memiliki lilitan primer (N_p) yang lebih sedikit dari pada lilitan sekunder (N_s). Transformator jenis *step up* digunakan pembangkit listrik bertegangan tinggi dan alat-alat elektronika lainnya yang membutuhkan tegangan yang lebih tinggi



Gambar 1 Simbol Transformator Step up

b. Transformator Step Down

Transformator *step down* adalah transformator yang berfungsi untuk menurunkan tegangan, sehingga $V_p > V_s$. transformator *step down* memiliki lilitan primer (N_p) yang lebih banyak dengan lilitan sekunder (N_s). Transformator jenis *step* pada umumnya digunakan pada alat-alat elektronika seperti radio, televisi, dan lain-lain yang membutuhkan tegangan yang lebih rendah.



Gambar 2 Simbol Transformator Step Down

2.3 Lightning Arrester (LA)

Lightning Arrester adalah perangkat yang melindungi sistem tenaga dari lonjakan petir. Perangkat *arrester* surja ini dirancang untuk melindungi perangkat dalam sistem tenaga dengan membatasi tegangan lebih input dan beralih ke ground [5].

Arrester ini bertindak sebagai *isolator*, memasukkan beberapa *miliamp* arus bocor ke tanah pada tegangan sistem, menjadikannya *konduktor* yang baik, memasok ribuan amp arus masuk ke tanah, dan menahan arus *transien*. Arus hulu yang mengalir dari sistem melalui *arrester* dihilangkan setelah tegangan lebih berhasil dilepaskan [11]. Penangkal petir adalah perangkat yang digunakan untuk melindungi peralatan lain dari efek tegangan lebih (baik hubung singkat dan

petir) dan arus terkait. Arester bertindak sebagai *isolator*, memberikan beberapa *miliamp* arus bocor ke tanah pada tegangan sistem, menjadikannya konduktor yang baik, dan mengirimkan ribuan amp arus masuk ke tanah untuk menahan lonjakan. Setelah tegangan lebih berhasil dilepaskan, apa pun yang mengalir keluar dari sistem melalui *arrester* dihilangkan [5].

Tujuan proteksi petir untuk peralatan adalah untuk melindungi peralatan dan sistem dari tegangan lebih langsung yang disebabkan oleh petir. Dalam kondisi tegangan listrik normal, tegangan pengenalan proteksi diisolasi atau idealnya tidak ada arus yang mengalir dari sumber listrik yang *diarde* [2]. Akan tetapi, segera setelah tegangan surja mencapai terminal gawai proteksi, gawai proteksi menjadi konduktor dan melangsir arus surja ke *ground*, sehingga *amplitudo* tegangan surja yang merambat ke gawai proteksi lebih kecil dari *resistansi* surja. Perangkat yang dilindungi [5]-[12].

A. Bagian-Bagian dari *Arrester*

1. *Elektroda*
2. *Spark gap*
3. *Resistensi* katup

B. Jenis-Jenis *Arrester*

1. *Arrester* Jenis *Ekspulsi*

Digunakan dalam sistem tenaga dengan tegangan hingga 33 kV. Dua celah dihubungkan secara seri ke *arrester* ini. Yaitu, celah luar dan celah dalam. Slot bagian dalam terletak di tabung serat dan elektroda slot bagian dalam yang *diarde* dirancang sebagai tabung. Kehadiran dua pasang *elektroda* ini memungkinkan *arrester* membawa tegangan listrik *frekuensi* tinggi tanpa menimbulkan arus bocor di korona dan *ground*. Tegangan tembus slot luar lebih rendah dari tegangan *boost* rangka isolator yang menopang slot luar [5].

2. *Arrester* Jenis Katup

a. *Arrester* Katup Sela Pasif

Interrupter pasif digunakan dalam jaringan distribusi. Penangkal petir ini terdiri dari celah percikan, *resistor non-linier*, dan *isolator* berbentuk tabung. Celah percikan terdiri dari beberapa *level elektroda* yang dihubungkan secara seri. Celah percikan dan *resistor non-linier* terkandung dalam tabung isolasi tertutup, sehingga kondisi udara sekitar tidak mempengaruhi operasi *arrester*. *Resistor non-linier* terbuat dari beberapa karbida silikon yang dihubungkan secara seri. Diameter piringan sekitar 90 mm dan ketebalannya sekitar 25 mm. *Resistansi resistor* ini sangat tinggi ketika arus lemah mengalir, tetapi sangat rendah ketika arus kuat mengalir.[5]

b. *Arrester* Katup Sela Aktif

Arrester terisolasi aktif digunakan di pusat tegangan tinggi dan jaringan distribusi. Struktur katup *interupsi* aktif mirip dengan katup *interupsi pasif*, tetapi ada perbedaan dalam cara memadamkan busur celah percikan. [5].

C. *Arrester* Katup Tanpa Sela Percik

Arrester tak terputus digunakan pada semua level tegangan. Penangkal petir ini tidak menggunakan celah percikan seperti dua katup *arrester* sebelumnya, Namun, gunakan hanya *resistor nonlinier* oksida logam (oksida logam). [5]

d. *Arrester* Katup Jenis Gardu

Jenis gardu induk ini merupakan jenis yang paling *efisien* dan mahal. Seperti yang digunakan di sini, istilah "gardu induk" mengacu pada penggunaan umum di gardu induk besar. Biasanya digunakan untuk melindungi peralatan mahal pada sirkuit di atas 287 kV dari 2.400 volt.[5]

e. *Arrester* katup Jenis Saluran

Arrester ini lebih murah daripada *arrester stasiun*. Istilah "penangkal petir" di sini tidak berarti perlindungan saluran listrik. Mirip dengan arester gardu induk, gardu induk menggunakan *arrester* saluran untuk melindungi peralatan yang kurang penting. Jenis *arrester* ini digunakan pada jaringan dengan tegangan antara 15 kV dan 69 kV.

f. *Arrester* Jenis Gardu Untuk Mesin-Mesin

Arrester stasiun ini dikembangkan secara khusus untuk melindungi mesin yang berputar. Digunakan pada tegangan dari 2,4 kV hingga 15 kV.

g. *Arrester* Katup Jenis Distribusi Untuk Mesin-Mesin

Jenis *arrester* surja ini dirancang khusus untuk melindungi motor putar dan *transformator* dengan pendingin udara bebas oli. Penangkal petir jenis ini digunakan pada perangkat dengan tegangan dari 120 volt hingga 750 volt.

C. Syarat-Syarat *Arrester*

Untuk mendapatkan hasil terbaik dari penggunaan penangkal petir yang terkoordinasi, prinsip-prinsip berikut harus diterapkan; [5].

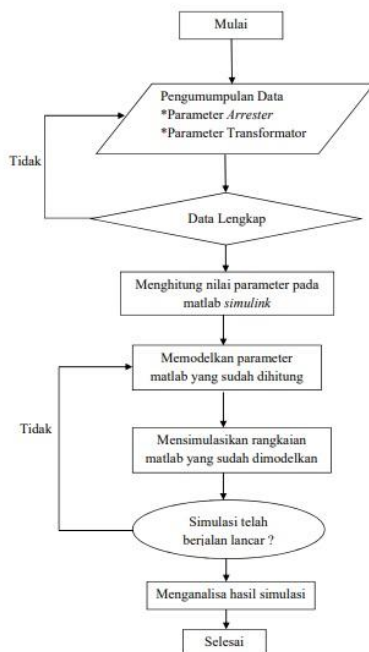
1. Tegangan dasar *arrester* (tegangan nominal) adalah 50 c/s dan dipilih agar tidak melebihi nilai selama penggunaan dalam kondisi normal atau kontak pendek.
2. *Arrester* ini memberikan perlindungan pada jarak yang cukup antara tingkat *arrester* dan perlengkapan. Zona proteksi harus cukup lebar untuk melindungi semua peralatan gardu induk dengan BIL yang sama dengan arester terproteksi atau BIL yang lebih tinggi di zona proteksi.

3. *Arrester* harus dipasang sedekat mungkin dengan peralatan utama untuk mengurangi tahanan tanah.
4. Karena energi yang tersimpan berada dalam antrean yang panjang, maka kapasitas kalor *arrester* harus mampu mensuplai arus yang besar. Penurunan tegangan *arrester* maksimum digunakan sebagai proteksi *arrester* (bukan penurunan tegangan rata-rata).
5. Untuk menentukan proteksi *arrester* yang akan dikoordinasikan dengan *BIL*, maka perlu dilakukan pengaturan nilai tegangan luahan petir.
6. Saat menerapkan penangkal petir, efek dari beberapa kabel (*multiple lines*) untuk melindungi terhadap sambaran petir di gardu induk harus diperhitungkan.

Jika Anda ragu dengan 50c / s jebakan, *persentase* tertentu akan ditambahkan ke nilai jebakan yang dihitung atau ditetapkan. Jika *arrester* beroperasi pada tegangan *switsing* yang dapat didukung pada 50 c / s, tambahan 10% saat ini digunakan sebagai faktor keamanan untuk menghindari kemungkinan bahwa tegangan harus terputus oleh *arrester*.

3. METODOLOGI

Metode penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini yang dapat dilihat pada bagan alir metodologi penelitian pada Gambar.



Gambar 3 Bagan Alir metodologi Penelitian

3.1. Kebutuhan Data Penelitian

Data data penelitian yang diperlukan untuk simulasi matlab :

- a. Spesifikasi *Arrester* yang dipasang di Fasa R,S,T

Spesifikasi *Arrester* fasa R yang dipasang di gardu induk ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.:

Tabel 1 Spesifikasi *Arrester* yang dipasang di Fasa R

Data Teknis	
Merk	: GEL ALSHTOM
Tipe	: PSC . 150Y . 180L
Nomor Seri Fasa R	: 4997 8626
Nilai tegangan	: 119 kV
Frekuensi	: 50 Hz
Arus pelepas	: 10 Ka
Hubung pendek	: 40 kA/ 0.2 S

Spesifikasi *Arrester* fasa S yang dipasang di gardu induk ditunjukkan pada tabel 2 berikut :

Tabel 2 Spesifikasi *Arrester* yang dipasang di Fasa S

Data Teknis	
Merk	: GEL ALSHTOM
Tipe	: PSC . 150Y . 180L
Nomor Seri Fasa S	: 4997 8627
Nilai tegangan	: 119 Kv
Frekuensi	: 50 Hz
Arus pelepas	: 10 Ka
Hubung pendek	: 40 kA/ 0.2 S

Spesifikasi *arrester* fasa T yang dipasang di gardu induk ditunjukkan pada tabel 3 berikut ini :

Tabel 3 Spesifikasi *Arrester* yang dipasang di Fasa T

Data Teknis	
Merk	: GEL ALSHTOM
Tipe	: PSC . 150Y . 180L
Nomor Seri Fasa S	: 4997 8628
Nilai tegangan	: 119 kV
Frekuensi	: 50 Hz
Arus pelepas	: 10 Ka
Hubung pendek	: 40 kA/ 0.2 S

- b. Spesifikasi transformator daya

Spesifikasi transformator daya diberikan pada tabel 4 berikut ini:

Tabel 4 Spesifikasi Transformator daya

Data Teknis	
Merk	: UNINDO
Type	: UN INHIBITED
No.seri	: PO60MEC779-09
Rated power	: 42 / 60 MVA
Phase	: 3
Cooling	: ONAN / ONAF
Tegangan HV/LV	: 150 / 20 KV
Frekuensi	: 50 Hz
Arus HV/LV	: 230.9/ 1732.1 A
Tahun	: 2014
Conection Symbol	: YNyn0+d
Short circuit Impedence	: 12.5 %

- c. Tegangan Tembus Impuls Maksimum

Tegangan pengenalan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$E_p = E_a + 2 \frac{AS}{v} \quad (1)$$

$$E_a = (150 \text{ kV} \times 0,8) \times 1,1$$

$$= 132 \text{ kV}$$

Dari hasil perhitungan menentukan tegangan pengenalan *lightning arrester* didapat tegangan 132 kV, tetapi nilai tegangan pengenalan *arrester* 132 kV tidak ada sehingga digunakan tegangan pengenalan *arrester* rating 138 kV dapat di lihat pada tabel 5 dibawah ini :

Tabel 5 Tegangan Tembus *Impuls* Maksimum

Arrester Rating	F.O.W	10 light and heavy duty and 5 Ka series A	
kV _{rms}	kV / μ S	Std kV. Peak	F.O.W kV. Peak
1	2	3	4
108	870	363	418
120	940	940	463
126	980	420	485
138	1030	500	577
174	1160	570	660
186	1180	610	702
198	1200	649	746

Keterangan :

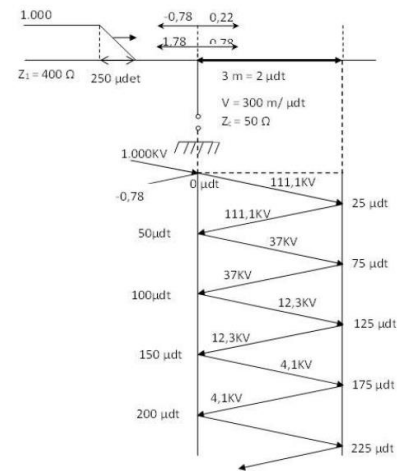
S.T.D = Tegangan impuls *standart* dalam tegangan puncak

F.O.W = Tegangan tembus muka gelombang dalam tegangan puncak

D. Penempatan *Arrester*

1. sangat penting untuk mempertimbangkan penempatan *arrester* di gardu induk berdasarkan SPLN-7: 1978. Dalam sistem dua sirkuit dengan tegangan 150 kV , jarak antara *arrester* dan transformator tidak melebihi 80 meter, dan dalam satu sirkuit setengah jarak itu. Sebagai aturan umum, untuk mencegah *flashover*, penangkal petir harus ditempatkan sedekat mungkin dengan peralatan yang diproteksi untuk tujuan berikut: Kurangi kemungkinan *propagasi* tegangan *transien* pada kabel yang menghubungkan arester ke perangkat yang akan diproteksi.
2. Ketika *arrester* diaktifkan, gelombang tegangan impuls sisa merambat bersama *arrester* sepanjang kabel transformator dan mencapai terminal transformator untuk memantulkan gelombang tegangan, menggandakan tegangan terminal total *arrester*. Peristiwa ini dapat dicegah jika *arrester* dapat dipasang langsung ke terminal transformator.
3. Jika kabel sambungan *arrester* ke trafo yang Anda lindungi cukup panjang, Anda perlu mempertimbangkan *induktansi* kabel tersebut.

Nilai kecuraman gelombang dari 500 du/dt, 1000 du/dt, 1500 du/dt, 2000 du/dt. harga tertinggi yang dapat terjadi dari kenaikan tegangan akibat surja petir hasil perhitungan percik *arrester* dan kenaikan tegangan pada trafo dapat dilihat dari analisis diagram tangga dibawah ini :[2].



Gambar 4 Diagram Tangga untuk nilai kecuraman gelombang (V) dan kecepatan rambat (A)

Rumus yang digunakan untuk menentukan penempatan jarak maksimum antara *Lightning Arrester* dengan Trafo adalah

$$E_p = E_a + 2 \frac{A \cdot S}{V} \quad (2)$$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Ketidakseimbangan Beban Pada Trafo Distribusi berupa penginputan data inspeksi transformator, kemudian menampilkan hasil analisa ketidakseimbangan, rugi-rugi daya dan efisiensi trafo yang dilakukan oleh sistem, dalam pengujian terhadap hasil laporan dan membandingkan data hasil analisa sistem dengan perhitungan secara manual, data yang digunakan merupakan data transformator distribusi PT PLN Persero Rayon Panam F.sukakarya, merk trafo yang digunakan adalah Trafindo 160 Kva, Sintra 160 Kva, Unindo 160 Kva, dan Trafindo 100 KVA

4.1. Jarak *Lightning Arrester* Dengan Trafo Daya Di Gardu Induk

Data berikut diperlukan untuk menentukan jarak optimum antara *arrester* surja dan transformator daya:

- a. Nilai tegangan impuls percikan *trafo* (E_a).
Dengan Menggunakan Tabel 3.5, maka dapat diketahui tegangan impuls percikan maksimum adalah 577 kV.
- b. Menentukan tingkat isolasi dasar transformator (E_p)
Pada *Nameplate LA* menunjukkan bahwa tingkat isolasi dasar transformator daya gardu induk adalah $E_p = 650$ kV.
- c. Kecuraman gelombang :
 $A = 500$ du/dt
 $A = 1000$ du/dt
 $A = 1500$ du/dt
 $A = 2000$ du/dt

- d. *Konstanta* perambatan gelombang $V = 300 \text{ m/detik}$

Untuk menentukan jarak penangkal petir yang *optimal* untuk sebuah *transformator*

Perhitungan jarak (S) LA dengan transformator daya dengan variasi kecuraman gelombang sebagai berikut:

- A. Kecuraman gelombang 500 du/dt

$$E_p = E_a + 2 \frac{A \cdot S}{V}$$

$$650 = 577 + 2 \frac{500 \cdot S}{300}$$

$$650 - 577 = 2 \frac{500 \cdot S}{300}$$

$$73 = 2 \frac{500 \cdot S}{300}$$

$$S = \frac{73}{3.33}$$

$$S = 21.92 \text{ meter}$$

- A. Kecuraman gelombang 1000 du/dt

$$E_p = E_a + 2 \frac{A \cdot S}{V}$$

$$650 = 577 + 2 \frac{1000 \cdot S}{300}$$

$$650 - 577 = 2 \frac{1000 \cdot S}{300}$$

$$73 = 2 \frac{1000 \cdot S}{300}$$

$$S = \frac{73}{6.66}$$

$$S = 10.96 \text{ meter}$$

- B. Kecuraman gelombang 1500 du/dt

$$E_p = E_a + 2 \frac{A \cdot S}{V}$$

$$650 = 577 + 2 \frac{1500 \cdot S}{300}$$

$$650 - 577 = 2 \frac{1500 \cdot S}{300}$$

$$73 = 2 \frac{1500 \cdot S}{300}$$

$$S = \frac{73}{10}$$

$$S = 7.3 \text{ meter}$$

- C. Kecuraman gelombang 2000 du/dt

$$E_p = E_a + 2 \frac{A \cdot S}{V}$$

$$650 = 577 + 2 \frac{2000 \cdot S}{300}$$

$$650 - 577 = 2 \frac{2000 \cdot S}{300}$$

$$73 = 2 \frac{2000 \cdot S}{300}$$

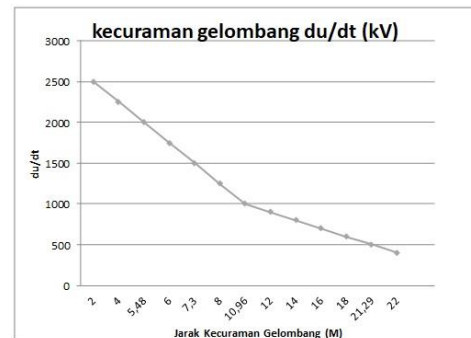
$$S = \frac{73}{13.3}$$

$$S = 5.48 \text{ meter}$$

Selanjutnya untuk lebih detail maka hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 6

Tabel 6 Hasil perhitungan jarak *Arrester* terhadap Trafo Daya

Kecuraman Gelombang	Jarak Maksimum
500 du/dt	21.29 m
1000 du/dt	10.96 m
1500 du/dt	7.3 m
2000 du/dt	5.48 m

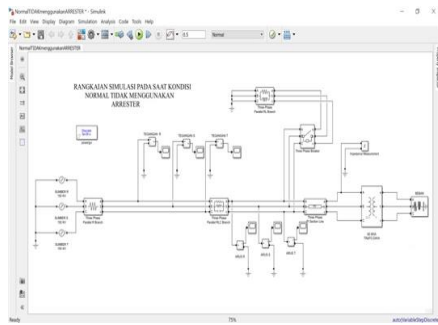


Gambar 5 Grafik Jarak *Arrester* terhadap trafo daya dengan variasi kecuraman gelombang

Dari hasil analisa, iklim di wilayah gardu induk balai punggut dengan kecuraman 2000 du/dt jarak proteksi *Lightning Arrester* dengan transformator 5,48 meter, jarak *Lightning Arrester* dengan transformator di gardu induk balai punggut 3 meter, sehingga dapat dikatakan penempatan jarak *Lightning Arrester* dengan transformator serta peralatan proteksi lainnya dibawah nilai optimum dan masih dapat bekerja dalam kondisi maksimal.

4.2. Rangkaian Simulasi Pada Saat Kondisi Normal Tidak Menggunakan *Arrester* Dengan Jarak 3 Meter

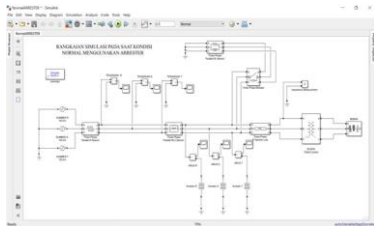
Rangkaian simulasi sistem gardu induk dengan sumber 150.000 Volt (150 kV) dengan trafo daya 60 MVA dimana rangkaian simulasi ini Normal Tidak Menggunakan *Arrester* dapat dilihat pada gambar 6, kemudian dimasukkan nilai-nilai parameter dari sumber, data trafo daya dan komponen lainnya pada matlab *simulink*, dan diberi jarak 3 meter dari *Lightning Arrester* ke Transformator kemudian diberi durasi waktu untuk menjalankan simulasi selama 0.5 detik, setelah semua rangkaian sudah sesuai dan berhasil dijalankan, dan hasil dari simulasi dapat dilihat dari *SCOPE* Tegangan fasa R,S,T dan *SCOPE* Arus fasa R,S,T.



Gambar 6 Normal Tidak Menggunakan Arrester

4.3. Rangkaian Simulasi Pada Saat Kondisi Normal Menggunakan Arrester Dengan Jarak 3 Meter

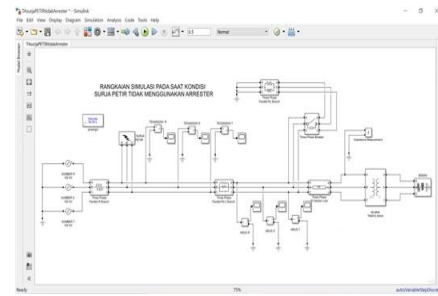
Rangkaian simulasi sistem gardu induk dengan sumber 150.000 Volt (150 kV) dengan trafo daya 60 MVA dengan *Lightning Arrester* 119.000 Volt (119 kV) dimana rangkaian simulasi ini Normal Menggunakan *Arrester* dapat dilihat pada gambar 7, kemudian nilai-nilai parameter dari sumber, data trafo daya, *Lightning Arrester* dan komponen lainnya pada matlab *simulink*, dan diberi jarak 3 meter dari *Lightning Arrester* ke Transformator diberi durasi waktu untuk menjalankan simulasi selama 0.5 detik, setelah semua rangkaian sudah sesuai dan berhasil dijalankan dan hasil dari simulasi dilihat dari *SCOPE* Tegangan fasa R,S,T dan *SCOPE* Arus fasa R,S,T.



Gambar 7 Normal Menggunakan Arrester

4.4 Rangkaian Simulasi Pada Saat Kondisi Surja Petir Tidak Menggunakan Arrester Dengan Jarak 3 Meter

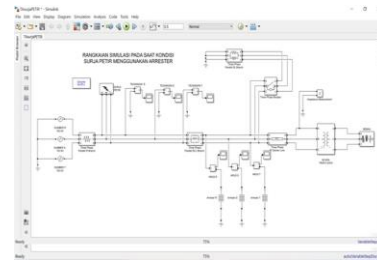
Rangkaian simulasi sistem gardu induk dengan sumber 150.000 Volt (150 kV) dengan trafo daya 60 MVA dimana rangkaian simulasi ini Surja Petir Tidak Menggunakan *Arrester* dapat dilihat pada gambar 8, kemudian nilai-nilai parameter dari sumber, data trafo daya dan komponen lainnya pada matlab *simulink*, dan diberi jarak 3 meter dari *Lightning Arrester* ke Transformator kemudian diberi durasi waktu untuk menjalankan simulasi selama 0.5 detik, setelah semua rangkaian sudah sesuai dan berhasil dijalankan, kemudian hasil dari simulasi dapat dilihat dari *SCOPE* Tegangan fasa R,S,T dan *SCOPE* Arus fasa R,S,T.



Gambar 8 Surja Petir Tidak Menggunakan Arrester

4.5 Rangkaian Simulasi Pada Saat Kondisi Surja Petir Menggunakan Arrester Dengan Jarak 3 Meter.

Rangkaian simulasi sistem gardu induk dengan sumber 150.000 Volt (150 kV) dengan trafo daya 60 MVA dengan *Lightning Arrester* 119.000 Volt (119 kV) dimana rangkaian simulasi ini Surja Petir Menggunakan *Arrester* dapat dilihat pada gambar 9, kemudian nilai-nilai parameter dari sumber, data trafo daya, data *Lightning Arrester* dan komponen lainnya pada matlab *simulink*, dan diberi jarak 3 meter dari *Lightning Arrester* ke Transformator kemudian diberi durasi waktu untuk menjalankan simulasi selama 0.5 detik, setelah semua rangkaian sudah sesuai dan berhasil dijalankan dan hasil dari simulasi dapat dilihat dari *SCOPE* Tegangan fasa R,S,T dan *SCOPE* Arus fasa R,S,T.



Gambar 9 Surja Petir Menggunakan Arrester

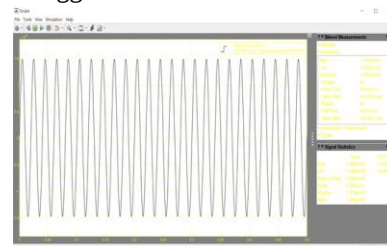
4.6 Hasil Scope Rangkaian Simulasi Pada Saat Kondisi Normal Tidak Menggunakan Arrester Dengan Jarak 3 Meter.

Hasil dari simulasi dapat di lihat pada display gambar 10 sampai gambar 15

A. SCOPE Tegangan Pada Fasa R,S dan T

1. SCOPE Tegangan Fasa R

Gambar 10 menunjukkan *scope* gelombang pada tegangan fasa R dari rangkaian simulasi normal tidak menggunakan *arrester*.

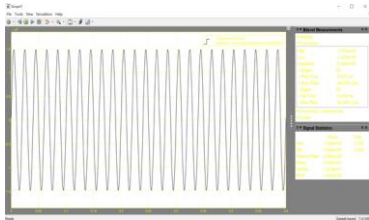


Gambar 10 Scope Tegangan Fasa R Normal Tidak Menggunakan Arrester

Gambar 10 menunjukkan *scope* gelombang dari 0 sampai ke 1.5×10^5 kV 150.000 Volt (150 kV), *scope* tegangan pada fasa R dimana tegangan yang terbaca Normal.

2. SCOPE Tegangan Fasa S

Gambar 11 menunjukkan *scope* gelombang pada tegangan fasa S dari rangkaian simulasi normal tidak menggunakan *arrester*.

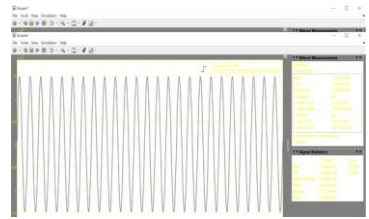


Gambar 11 Scope Tegangan Fasa S Normal Tidak Menggunakan *Arrester*

Gambar 11 menunjukkan *scope* gelombang dari 0 sampai ke 1.5×10^5 kV 150.000 Volt (150 kV), *scope* tegangan pada fasa S dimana tegangan yang terbaca Normal.

3. SCOPE Tegangan Fasa T

Gambar 12 menunjukkan *scope* gelombang pada tegangan fasa T dari rangkaian simulasi normal tidak menggunakan *arrester*.



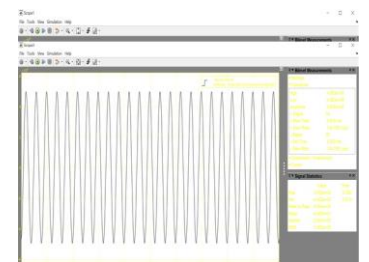
Gambar 12 Scope Tegangan Fasa T Normal Tidak Menggunakan *Arrester*

Gambar 12 menunjukkan *scope* gelombang dari 0 sampai ke 1.5×10^5 kV 150.000 Volt (150 kV), *scope* tegangan pada fasa T dimana tegangan yang terbaca Normal.

B. SCOPE Arus Pada Fasa R,S Dan T

1. SCOPE Arus Fasa R

Gambar 13 menunjukkan *scope* gelombang pada Arus fasa R dari rangkaian simulasi normal tidak menggunakan *arrester*.



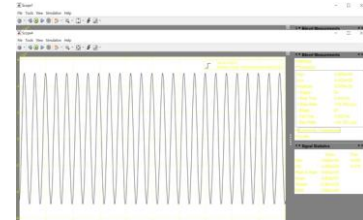
Gambar 13 Scope Arus Fasa R Normal Tidak Menggunakan *Arrester*

Gambar 13 menunjukkan Hasil dari simulasi dimana *scope* Arus pada fasa R dapat dilihat *scope*

gelombang dari -4.952×10^5 kA sampai ke Gelombang puncak 4.952×10^5 kA dengan simulasi yang dijalankan berdurasi 0.5 detik dalam kondisi Normal Tidak Menggunakan *Arrester*.

2. SCOPE Arus Fasa S

Gambar 14 menunjukkan *scope* gelombang pada Arus fasa S dari rangkaian simulasi normal tidak menggunakan *arrester*.

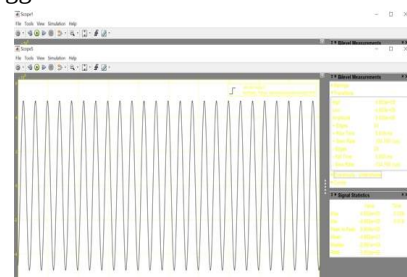


Gambar 14 Scope Arus Fasa S Normal Tidak Menggunakan *Arrester*

Gambar 14 menunjukkan Hasil dari simulasi dimana *scope* Arus pada fasa S dapat dilihat *scope* gelombang dari -4.952×10^5 kA sampai ke Gelombang puncak 4.952×10^5 kA dengan simulasi yang dijalankan berdurasi 0.5 detik dalam kondisi Normal Tidak Menggunakan *Arrester*.

3. SCOPE Arus Fasa T

Gambar 15 menunjukkan *scope* gelombang pada Arus fasa T dari rangkaian simulasi normal tidak menggunakan *arrester*.



Gambar 15 Scope Arus Fasa T Normal Tidak Menggunakan *Arrester*

Gambar 15 menunjukkan Hasil dari simulasi dimana *scope* Arus fasa T dapat dilihat *scope* gelombang dari -4.952×10^5 kA sampai ke Gelombang puncak 4.952×10^5 kA dengan simulasi yang dijalankan berdurasi 0.5 detik dalam kondisi Normal Tidak Menggunakan *Arrester*.

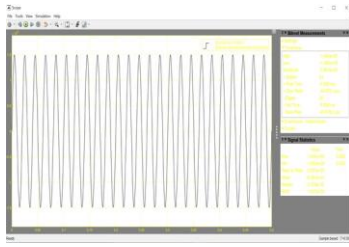
4.7 Hasil Scope Rangkaian Simulasi Pada Saat Kondisi Normal Menggunakan *Arrester* Dengan Jarak 3 Meter.

Hasil dari simulasi dapat di lihat pada display gambar 16 sampai gambar 21.

A. SCOPE Tegangan Pada Fasa R,S Dan T

1. SCOPE Tegangan Fasa R

Gambar 16 menunjukkan *scope* gelombang pada Tegangan fasa R dari rangkaian simulasi normal menggunakan *arrester*.

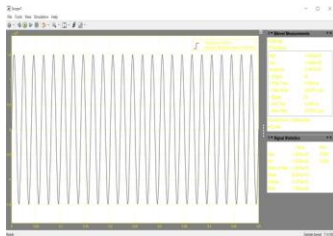


Gambar 16 Scope Tegangan Fasa R Normal Menggunakan Arrester

Gambar 16 menunjukkan Hasil dari simulasi dimana scope tegangan pada fasa R dengan tegangan yang terbaca Normal dapat dilihat pada scope gelombang dari 0 sampai ke 1.5×10^5 kV 150.000 Volt (150 kV).

2. SCOPE Tegangan Fasa S

Gambar 17 menunjukkan scope gelombang pada Tegangan fasa S dari rangkaian simulasi normal menggunakan arrester.

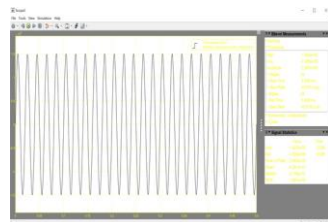


Gambar 17 Scope Tegangan Fasa S Normal Menggunakan Arrester

Gambar 17 menunjukkan Hasil dari simulasi dimana scope tegangan pada fasa S dengan tegangan yang terbaca Normal dapat dilihat pada scope gelombang dari 0 sampai ke 1.5×10^5 kV 150.000 Volt (150 kV).

3. SCOPE Tegangan Fasa T

Gambar 18 menunjukkan scope gelombang pada Tegangan fasa T dari rangkaian simulasi normal menggunakan arrester.



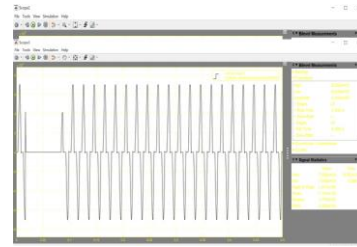
Gambar 18 Scope Tegangan Fasa T Normal Menggunakan Arrester

Gambar 18 menunjukkan Hasil dari simulasi dimana scope tegangan pada fasa T dengan tegangan yang terbaca Normal dapat dilihat pada scope gelombang dari 0 sampai ke 1.5×10^5 kV 150.000 Volt (150 kV).

B. SCOPE Arus Pada Fasa R,S dan T

1. SCOPE Arus Fasa R

Gambar 19 menunjukkan scope gelombang pada Arus fasa R dari rangkaian simulasi normal menggunakan arrester.

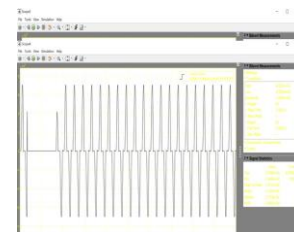


Gambar 19 Scope Arus Fasa R Normal Menggunakan Arrester

Gambar 19 menunjukkan Hasil dari simulasi dimana scope Arus pada fasa R dapat dilihat scope gelombang dari 0 arus naik sampai pada 7.049×10^4 kA dan kemudian penurunan arus terbaca dikarenakan data pada Arrester sudah dimasukkan pada rangkaian simulasi Normal Menggunakan Arrester dan kemudian arus kembali normal pada Arus 7.049 kA.

2. SCOPE Arus Fasa S

Gambar 20 menunjukkan scope gelombang pada Arus fasa S dari rangkaian simulasi normal menggunakan arrester.

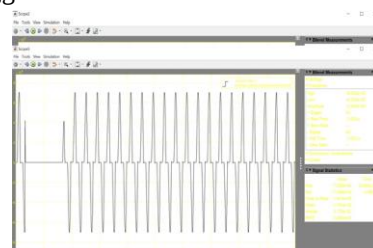


Gambar 20 Scope Arus Fasa S Normal Menggunakan Arrester

Gambar 20 menunjukkan Hasil dari simulasi dimana scope Arus pada fasa S dapat dilihat scope gelombang dari 0 arus naik sampai pada 7.049×10^4 kA dan kemudian penurunan arus terbaca dikarenakan data pada Arrester sudah dimasukkan pada rangkaian simulasi Normal Menggunakan Arrester dan kemudian arus kembali normal pada Arus 7.049 kA.

3. SCOPE Arus Fasa T

Gambar 21 menunjukkan scope gelombang pada Arus fasa T dari rangkaian simulasi normal menggunakan arrester.



Gambar 21 Scope Arus Fasa T Normal Menggunakan Arrester

Gambar 21 menunjukkan Hasil dari simulasi dimana *scope* Arus pada fasa T dapat dilihat *scope* gelombang dari 0 arus naik sampai pada 7.049×10^4 kA dan kemudian penurunan arus terbaca dikarenakan data pada *Arrester* sudah dimasukkan pada rangkaian simulasi Normal Menggunakan *Arrester* dan kemudian arus kembali normal pada Arus 7.049 kA.

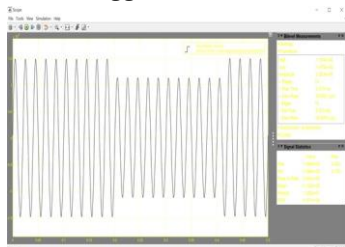
4.8 Hasil Scope Rangkaian Simulasi Pada Saat Kondisi Surja Petir Tidak Menggunakan Arrester Dengan Jarak 3 Meter.

Hasil dari simulasi dapat di lihat pada display gambar 22 sampai gambar 28

A. SCOPE Tegangan pada fasa R,S dan T

1. SCOPE Tegangan Fasa R

Gambar 22 menunjukkan *scope* gelombang pada Tegangan fasa R dari rangkaian simulasi Surja petir tidak menggunakan *arrester*.

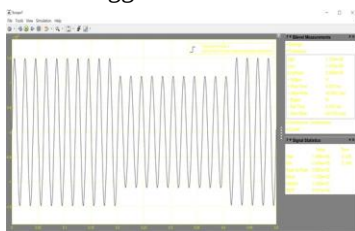


Gambar 22 Scope Tegangan Fasa R Surja Petir Tidak Menggunakan *Arrester*

Gambar 22 menunjukkan Hasil dari simulasi dimana *scope* tegangan pada fasa R dengan tegangan yang terbaca Normal dapat dilihat pada *scope* gelombang dari 0 sampai ke 1.5×10^5 kV atau 150.000 Volt (150 kV). Dan pada saat terjadi Surja petir tegangan turun sampai 1.2×10^5 kV 120.000 Volt (120 kV) Surja Petir terbaca pada simulasi dari durasi waktu 0.2 detik - 0.4 detik dan kemudian tegangan kembali normal ketegangan semula 1.5×10^5 kV atau 150.000 Volt (150 kV).

2. SCOPE Tegangan Fasa S

Gambar 23 menunjukkan *scope* gelombang pada Tegangan fasa S dari rangkaian simulasi Surja petir tidak menggunakan *arrester*.



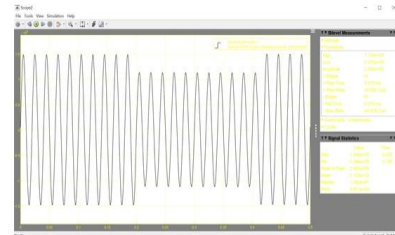
Gambar 23 Scope Tegangan Fasa S Surja Petir Tidak Menggunakan *Arrester*

Gambar 23 menunjukkan Hasil dari simulasi dimana *scope* tegangan pada fasa S dengan tegangan yang

terbaca Normal dapat dilihat pada *scope* gelombang dari 0 sampai ke 1.5×10^5 kV atau 150.000 Volt (150 kV). Dan pada saat terjadi Surja petir tegangan turun sampai 1.2×10^5 kV 120.000 Volt (120 kV) Surja Petir terbaca pada simulasi dari durasi waktu 0.2 detik - 0.4 detik dan kemudian tegangan kembali normal ketegangan semula 1.5×10^5 kV atau 150.000 Volt (150 kV).

3. SCOPE Tegangan Fasa T

Gambar 24 menunjukkan *scope* gelombang pada Tegangan fasa T dari rangkaian simulasi Surja petir tidak menggunakan *arrester*.



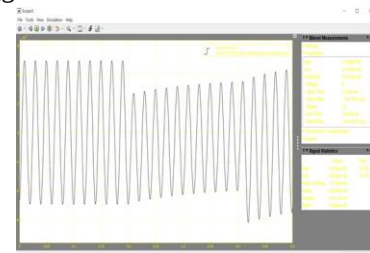
Gambar 24 Scope Tegangan Fasa T Surja Petir Tidak Menggunakan *Arrester*

Gambar 4.20 menunjukkan Hasil dari simulasi dimana *scope* tegangan pada fasa T dengan tegangan yang terbaca Normal dapat dilihat pada *scope* gelombang dari 0 sampai ke 1.5×10^5 kV atau 150.000 Volt (150 kV). Dan pada saat terjadi Surja petir tegangan turun sampai 1.2×10^5 kV 120.000 Volt (120 kV) Surja Petir terbaca pada simulasi dari durasi waktu 0.2 detik - 0.4 detik dan kemudian tegangan kembali normal ketegangan semula 1.5×10^5 kV atau 150.000 Volt (150 kV).

B. SCOPE Arus Pada Fasa R,S dan T

1. SCOPE Arus Fasa R

Gambar 25 menunjukkan *scope* gelombang pada Arus fasa R dari rangkaian simulasi Surja petir tidak menggunakan *arrester*.



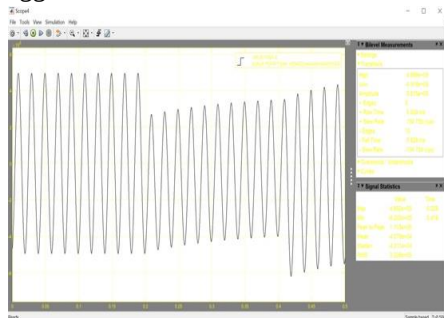
Gambar 25 Scope Arus Fasa R Surja Petir Tidak Menggunakan *Arrester*

Gambar 25 menunjukkan Hasil simulasi dimana *scope* Arus fasa R dapat dilihat pada *scope* gelombang dari -4.952×10^5 kA sampai ke Gelombang puncak 4.952×10^5 kA dengan simulasi yang dijalankan berdurasi 0.5 detik dalam kondisi Surja Petir Tidak Menggunakan *Arrester*, pada saat terjadi Surja Petir terlihat penurunan arus di 2.1×10^5 kA, Surja Petir terbaca pada simulasi dari durasi waktu 0.2 detik - 0.4 detik dan Arus tidak kembali

normal atau tidak stabil dikarenakan tidak adanya pengamanan.

2. SCOPE Arus Fasa S

Gambar 26 menunjukkan *scope* gelombang pada Arus fasa S dari rangkaian simulasi Surja petir tidak menggunakan *arrester*.

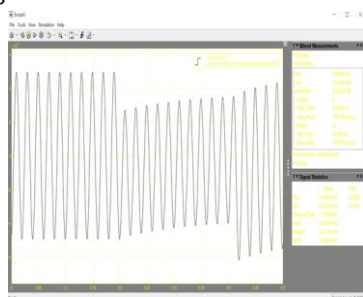


Gambar 26 Scope Arus Fasa S Surja Petir Tidak Menggunakan *Arrester*

Gambar 26 menunjukkan Hasil simulasi dimana *scope* Arus fasa S dapat dilihat pada *scope* gelombang dari -4.952×10^5 kA sampai ke Gelombang puncak 4.952×10^5 kA dengan simulasi yang dijalankan berdurasi 0.5 detik dalam kondisi Surja Petir Tidak Menggunakan *Arrester*, pada saat terjadi Surja Petir terlihat penurunan arus di 2.1×10^5 kA, Surja Petir terbaca pada simulasi dari durasi waktu 0.2 detik - 0.4 detik dan Arus tidak kembali normal atau tidak stabil dikarenakan tidak adanya pengamanan.

3. SCOPE Arus Fasa T

Gambar 27 menunjukkan *scope* gelombang pada Arus fasa T dari rangkaian simulasi Surja petir tidak menggunakan *arrester*



Gambar 28 Scope Arus Fasa T Surja Petir Tidak Menggunakan *Arrester*

Gambar 28 menunjukkan Hasil simulasi dimana *scope* Arus fasa T dapat dilihat pada *scope* gelombang dari -4.952×10^5 kA sampai ke Gelombang puncak 4.952×10^5 kA dengan simulasi yang dijalankan berdurasi 0.5 detik dalam kondisi Surja Petir Tidak Menggunakan *Arrester*, pada saat terjadi Surja Petir terlihat penurunan arus di 2.1×10^5 kA, Surja Petir terbaca pada simulasi dari durasi waktu 0.2 detik - 0.4 detik dan Arus tidak kembali normal atau tidak stabil dikarenakan tidak adanya pengamanan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil pengujian data inspeksi transformator distribusi melakukan perbandingan nilai hasil analisa antara perhitungan teori dengan sistem dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dari hasil analisa simulasi yang dilakukan, iklim di wilayah gardu induk balai pungut dengan kecuraman 2000 du/dt jarak proteksi *Lightning Arrester* dengan transformator 5,48 meter, jarak *Lightning Arrester* dengan transformator di gardu induk balai pungut 3 meter, sehingga dapat dikatakan penempatan jarak *Lightning Arrester* dengan transformator serta peralatan proteksi lainnya dibawah nilai optimum dan masih dapat bekerja dalam kondisi maksimal.
2. Surja petir tidak menggunakan *Arrester* dapat dilihat pada *scope* tegangan diawali dengan kondisi normal, pada Surja Petir terbaca pada simulasi dari durasi waktu 0.2 detik - 0.4 detik terlihat terjadi surja petir kemudian tegangan kembali normal dan pada *scope* Arus Surja Petir pada rangkaian simulasi tidak menggunakan *arrester* terbaca dari durasi waktu 0.2 detik - 0.4 detik arus terlihat kondisi tidak normal karena tidak adanya pengamanan *Arrester*.
3. Dari hasil analisa rangkaian simulasi surja petir menggunakan *arrester* dengan jarak pengujian 3 meter dan jarak pengujian 5 meter pada saat terjadi Surja petir terjadi penurunan tegangan sampai 1.2×10^5 kV atau 120.000 Volt (120 kV) Surja Petir terbaca pada simulasi dari durasi waktu 0.2 detik - 0.4 detik dan kemudian tegangan kembali normal 1.5×10^5 kV atau 150.000 Volt (150 kV). Pada *scope* Arus diawali kondisi normal dan terjadi penurunan dikarenakan data pada *Arrester* sudah dimasukkan pada rangkaian simulasi Surja Petir Menggunakan *Arrester* dan kemudian arus kembali normal pada Arus 7.049×10^4 kA Surja Petir terbaca pada simulasi dari durasi waktu 0.2 detik - 0.4 detik Arus hilang pada saat terjadi surja petir dan kemudian arus kembali normal

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. Pramono, Joko, Montario Candra Buwono, "Makalah Teknik Tenaga Listrik, Transmission of Electrical Energy (Transmisi Tenaga Listrik)," *Departemen Tek. Elektro, Fak. Tek. Univ. Indones. Depok. Diambil dari* <http://staff.ui.ac.id/system/files/users/chairul.hudaya/material/papertransmissionofelectricalenergy.pdf>, 2010.
- [2] D. P. Yudha Prawira, I. G. Dyana Arjana,

- and C. G. Indra Partha, "Analisa Lightning Arrester Akibat Uprating Transformator 150/20 Kv Dari 30 Mva KE 60 Mva di Gardu Induk Sanur," *J. SPEKTRUM*, vol. 5, no. 2, p. 207, 2018.
- [3] S. Diah, "Dampak Pemberian Impuls Arus Terhadap Ketahanan Arrester Tegangan Rendah," no. 1, pp. 508–512, 2010.
- [4] D. Amri, "Analisis Dissolved Gas Analysis terhadap Kinerja Transformator 30 MVA Gardu Induk Betung Menggunakan Metode Fuzzy," vol. 3, no. 1, pp. 59–64, 2012.
- [5] I. Roza, L. A. Siregar, and A. A. Nasution, "Memperkecil Persentase Jatuh Tegangan Pada Penyulang 20 Kv Gardu Induk Pt. Pln (Persero)," *Semin. Nas. Tek....*, pp. 1–6, 2020, [Online]. Available: <https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/semnastek/article/view/3037>
- [6] S. M. Gunawan and J. Sentosa, "Analisa Perancangan Gardu Induk Sistem Outdoor 150 kV di Tallasa, Kabupaten Takalar, Sulawesi Selatan," *Dimens. Tek. Elektro*, vol. 1, no. 1, pp. 37–42, 2013.
- [7] I. Bayu Tiasmoro, Wirentake, and P. Ali Topan, "Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi Dan Susut Umur Transformator Step Up 6kV / 70kV Di PLTU Sumbawa Barat Unit 1 Dan 2 2×7 MW PT.PLN (PERSERO) UPK Tambora," *J. TAMBORA*, vol. 5, no. 2, pp. 1–7, 2021, doi: 10.36761/jt.v5i2.1099.
- [8] PT. PLN (PERSERO), "Transformator Tenaga," no. 1, pp. 1–156, 2014.
- [9] J. Siburian, "Karakteristik transformator," *J. Teknol. Energi UDA*, vol. VIII, no. 21, pp. 21, 23, 2019.
- [10] R. T. Jurnal, "Kajian Pemasangan Lightning Arrester Pada Sisi Hv Transformator Daya Unit Satu Gardu Induk Teluk Betung," *Energi & Kelistrikan*, vol. 9, no. 2, pp. 168–179, 2018, doi: 10.33322/energi.v9i2.42.
- [11] P. Nur, "Pedoman Lighrning Arrester," vol. 59, 2014.
- [12] A. M. Arief Bijaksana, F. Faridah, and M. Ali Jubbar, "Analisis Pemanfaatan Lighting Arester Untuk Pengaman Transformator Pada Gardu Induk Bolangi," *ILTEKJ. Teknol.*, vol. 13, no. 01, pp. 1853–1858, 2018, doi: 10.47398/iltek.v13i01.386.
- [13] D. K. Chaturvedi, *Modeling And Simulation Of Systems Using MATLAB And Simulink*. 2017.
- [14] N. B. Pawar and D. M. Kakre, "Generation of Different Types of Voltage Sag Using Matlab/Simulink," *Certif. Int. J. Eng. Innov. Technol.*, vol. 9001, no. 9, pp. 2277–3754, 2008.