

**ANALISIS ARUS BOCOR TERHADAP KELAYAKAN
LIGHTNING ARRESTER PADA TRAF0 DAYA II 60 MVA
GARDU INDUK 150/20 kV JEPARA**

LAPORAN TUGAS AKHIR

**LAPORAN INI DISUSUN UNTUK MEMENUHI SALAH SATU SYARAT
MEMPEROLEH GELAR S1 PADA PRODI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG**



Disusun oleh:

OKTO HENDRI GUNAWAN

30601700030

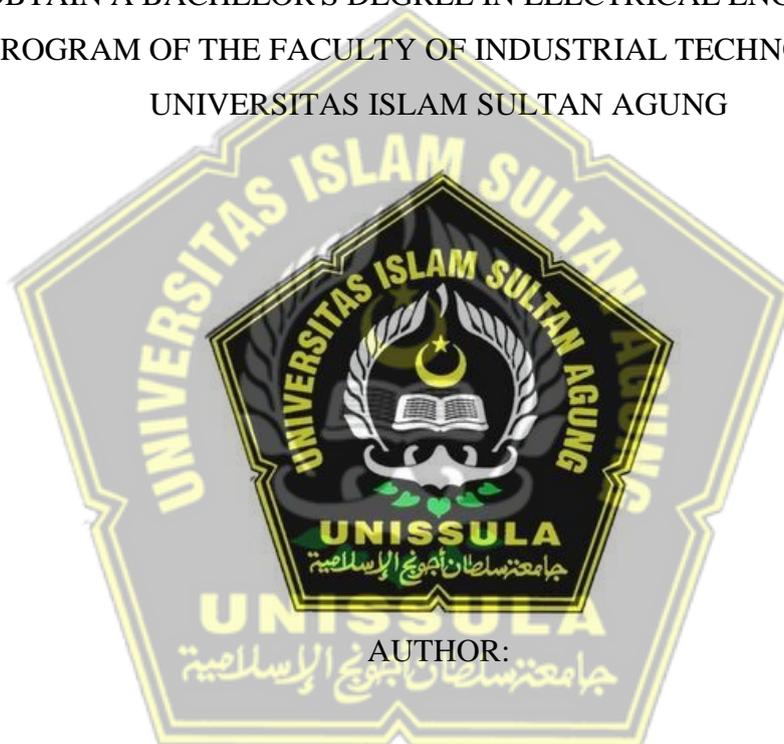
**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG**

2021

FINAL TASK REPORT

**LEAKED CURRENT ANALYSIS OF LIGHTNING
ARRESTER FEASIBILITY AT POWER TRANSFORMER II
60 MVA SUBSTATION 150/20 kV JEPARA**

THIS REPORT WAS PREPARED TO MEET ONE OF THE REQUIREMENTS
TO OBTAIN A BACHELOR'S DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING
PROGRAM OF THE FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG



AUTHOR:

OKTO HENDRI GUNAWAN

30601700030

**ELECTRICAL ENGINEERING PROGRAM
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG**

SEMARANG

2021

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS ARUS BOCOR TERHADAP KELAYAKAN LIGHTNING ARRESTER PADA TRAFODAYA II 60 MVA GARDU INDUK 150/20 kV JEPARA” ini disusun oleh :

Nama : Okto Hendri Gunawan
NIM : 30601700030
Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan oleh dosen pembimbing pada :

Hari : Rabu
Tanggal : 18 Agustus 2021

Pembimbing I

Pembimbing II


Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, M.T.
NIDN. 0618066301


Ir. Agus Adhi Nugroho, M.T.
NIDN. 0628086501

Mengetahui,

Ka. Program Studi Teknik Elektro


Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T.

NIK. 210615047

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS ARUS BOCOR TERHADAP KELAYAKAN LIGHTNING ARRESTER PADA TRAFODAYA II 60 MVA GARDU INDUK 150/20 kV JEPARA” ini telah dipertahankan di depan dosen penguji Tugas Akhir pada :

Hari : Kamis

Tanggal : 12 Agustus 2021

Tim Penguji

Tanda Tangan

Dedi Nugroho, S.T., M.T.

NIDN. 0617126602

Ketua

Munaf Ismail, S.T., M.T.

NIDN. 0613127302

Penguji I

Ir. H. Sukarno Budi Utomo, M.T.

NIDN. 0619076401

Penguji II

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Okto Hendri Gunawan
NIM : 30601700030
Jurusan : Teknik Elektro
Fakultas : Teknologi Industri

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tugas Akhir yang diajukan dengan judul **“ANALISIS ARUS BOCOR TERHADAP KELAYAKAN LIGHTNING ARRESTER PADA TRAFO DAYA II 60 MVA GARDU INDUK 150/20 kV JEPARA”** adalah hasil karya sendiri, tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di perguruan tinggi lain maupun ditulis dan diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam daftar pustaka. Tugas Akhir ini adalah milik saya segala bentuk kesalahan dan kekeliruan dalam Tugas Akhir ini adalah tanggung jawab saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab.

Semarang, 18 Agustus 2021

Yang Menyatakan



Okto Hendri Gunawan

HALAMAN PERSEMBAHAN

Persembahan :

Pertama,

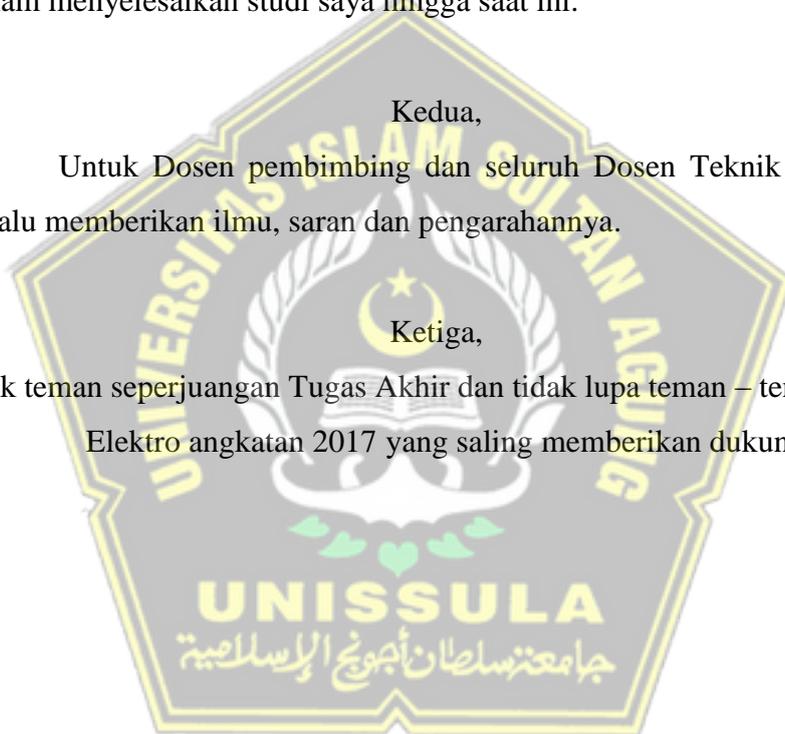
Tugas Akhir ini akan saya persembahkan kepada kedua orang tua saya yang saya cintai (Bapak Eko Susanto & Ibu Ramisih) yang sudah membesarkan saya, memberikan dukungan dan menjadi motivasi hidup saya dalam menyelesaikan studi saya hingga saat ini.

Kedua,

Untuk Dosen pembimbing dan seluruh Dosen Teknik Elektro yang selalu memberikan ilmu, saran dan pengarahannya.

Ketiga,

Untuk teman seperjuangan Tugas Akhir dan tidak lupa teman – teman Teknik Elektro angkatan 2017 yang saling memberikan dukungan.



HALAMAN MOTTO

Motto:

“Saat sedang dilanda kesusahan atau kesulitan hendaklah kamu bersabar,
Janganlah bersedih hati karena Allah selalu bersama orang – orang yang
senantiasa sabar menghadap ujian”

{QS Al-Anfal Ayat 66}

“Percayalah bahwa dirimu bisa, Maka seberat apapun rintangan yang
menghadang. Kita pasti dapat melaluinya dengan penuh semangat, Optimis dan
keyakinan yang kuat dalam diri”

{Okto Hendri Gunawan}



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Rasa syukur penulis kepada kehadiran Allah SWT yang telah memberikan nikmat dan rahmat-Nya sehingga masih berkesempatan untuk menuntut ilmu dalam keadaan sehat wal'afiat. Shalawat serta Salam tercurahkan kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW, semoga kelak kita mendapatkan syafaatnya. Aamiin ya Yaa Robbaalalamin.

Penyusun Tugas Akhir ini adalah merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada Fakultas Teknologi Industri di Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Dalam penulisan Tugas Akhir ini, tentunya banyak pihak yang telah memberikan bantuan baik moril maupun materil. Oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan jazaakumullah khoiron katsiroh dan terimakasih yang tiada hingganya kepada :

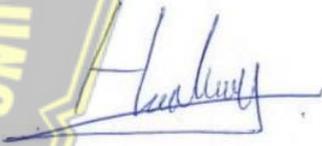
1. Bapak Drs. H. Bedjo Santoso, M.T., Ph.D., selaku Rektor Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Ibu Dr. Novi Marlyana, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Ibu Jenny Putri Hapsari, S.T., MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
4. Bapak Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, M.T. dan Ir. Agus Adhi Nugroho, M.T. selaku dosen pembimbing I dan dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan dukungan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Seluruh Dosen dan Karyawan Jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung Semarang atas ilmu, bimbingan, dan bantuannya hingga penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Bapak Ilham Noor Setyawan selaku Supervisor gardu induk 150/20 kV Jepara , Saudara Adi Soegito dan Saudara M. Rifan Hamdi selaku JarGI yang membantu saya dalam melakukan penelitian di gardu induk 150/20 kV Jepara.

7. Kepada kedua orang tua dan keluarga dirumah yang setiap hari selalu memberikan support, semangat dan do'a kepada saya untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Kepada teman-teman elektro angkatan 2017 yang senantiasa memberikan keceriaan, dukungan, semangat dan do'a yang tidak bisa saya sebutkan satu-persatu.

Penulis juga menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir masih banyak kekurangan, baik segi materi maupun penyajiannya. Penulis meminta maaf dan membutuhkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak, sehingga kedepannya laporan ini dapat menjadi lebih baik. Akhirnya penulis sangat berharap semoga laporan ini dapat memberikan manfaat dan menambah wawasan bagi para pembaca khususnya bagi penulis juga.

Wassalamu'alaikum Warahmatullah'i Wabarakatuh

Semarang, 18 Agustus 2021



Okto Hendri Gunawan



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	iv
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vii
HALAMAN MOTTO	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
ABSTRAK	xvi
ABSTRACT	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Pembatasan Masalah	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Metode Penelitian.....	3
1.6 Manfaat.....	3
1.7 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Dasar Teori	6
2.2.1 Petir	6
2.2.2 Proses terjadinya petir	6
2.2.3 Macam-Macam petir	8
2.2.4 Parameter Parameter petir	11
2.2.5 Impedansi surja.....	13

2.2.6 Sistem Pengaman Peralatan Utama Gardu Induk	
Tegangan Tinggi 150kV	15
2.2.7 Penempatan Kawat Tanah Sepanjang Saluran Transmisi	
.....	16
2.2.8 Tingkat Isolasi Dasar Tingkat Isolasi Dasar (TID)	19
2.2.9 Margin Perlindungan	20
2.2.10 Lightning Arrester	21
2.2.11 Bagian-bagian lightning arrester.....	22
2.2.12 Lightning arrester dibagi menjadi dua jenis yang dapat	
dipilih sesuai dengan karakteristik surja tegangan lebih	27
2.2.13 Karakteristik lightning arrester	28
2.2.14 Gangguan Lightning Arrester	28
2.2.15 Tegangan Pengenal Lightning Arrester.....	29
2.2.16 Arus Pelepasan.....	30
2.2.17 Arus Bocor.....	30
2.2.18 Transformator Daya.....	31
BAB III METODE PENELITIAN	32
3.1 Model Penelitian.....	32
3.2 Peralatan yang digunakan	33
3.3 Tahap Penelitian	34
3.4 Metode.....	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	38
4.1 Hasil.....	38
4.2 Pembahasan.....	38
BAB V PENUTUP	44
5.1 Kesimpulan.....	44
5.2 Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. spesifikasi lightning arrester pada trafo 2 gardu induk 150 kV jepara	36
Tabel 3.2. spesifikasi Trafo daya 60 MVA gardu induk 150 KV jepara.....	37
Tabel 3.3. Data konfigurasi Arrester-Transformator II pada gardu induk jepara 150/70 kV	38
Tabel 3.4. Data harga maksimum tegangan lebih gelombang petir PT PLN	38
Tabel 3.5. Data pengukuran suhu dan arus bocor lightning arrester pada trafo ...	39

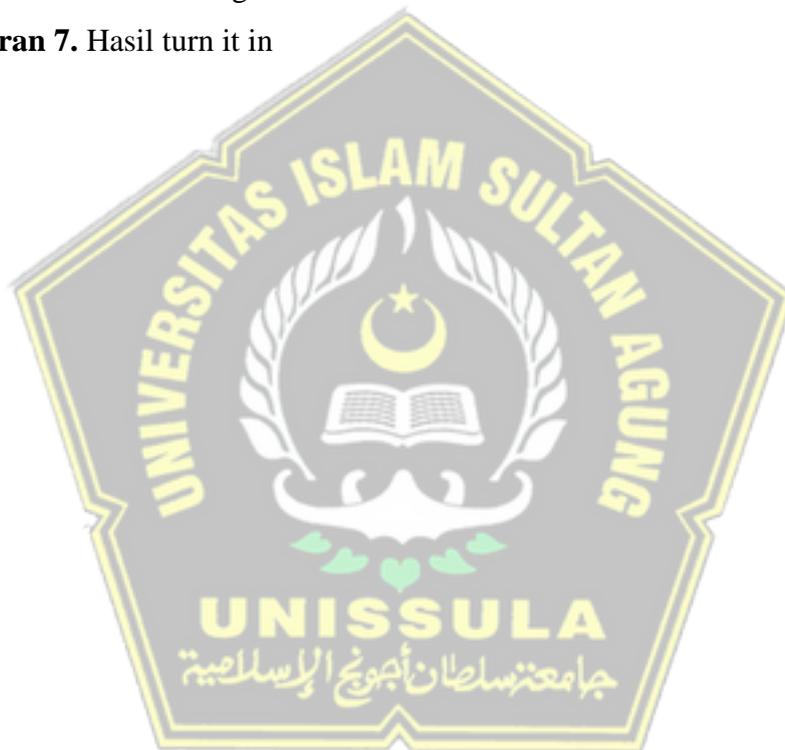


DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Muatan Sepanjang pinggir awan menginduksikan muatan lawan pada bumi	6
Gambar 2.2. Lidah petir menjalar ke arah bumi	7
Gambar 2.3. Kilat sambaran balik dari bumi ke awan	7
Gambar 2.4. Kumpulan muatan pada suatu saluran distribusi	7
Gambar 2.5. Polaritas muatan petir pada sambaran petir ke tanah a. petir bermuatan positif b. petir bermuatan negatif.....	9
Gambar 2.6. Tipikal arah sambaran petir a.downward negative b.Upward Positif.....	10
Gambar 2.7. Macam-macam sambaran petir a. Dalam awan (intra cloud) b. Antar awan (inter cloud).....	11
Gambar 2.8. Osilogram bentuk gelombang arus petir a. Petir positif b. Petir Negatif	11
Gambar 2.9. Bentuk gelombang implus petir standart	12
Gambar 2.10. Hasil pengukuran bentuk gelombang arus petir negatif sambaran ganda a.sambaran pertama b.sambaran kedua c.sambaran ketiga ...	13
Gambar 2.11. Single Grounding Rod	18
Gambar 2.12. Pararel Grounding Rod	19
Gambar 2.14. Konstruksi LA	22
Gambar 2.15. Keping Blok Varistor Zinc Oxide.....	23
Gambar 2.16. Konstruksi Housing LA	24
Gambar 2.17. Sealing dan Pressure Relief Systems LA.....	24
Gambar 2.18. Grading Ring LA	25
Gambar 2.19. Counter LA dan Counter dan Meter Arus Bocor Total LA.....	26
Gambar 2.20. Insulator Dudukan LA	26
Gambar 2.21. Struktur Penyangga Lightning Arrester	26
Gambar 3.1. Model penelitian single line LA di trafo II GI 150/20 kV Jepara... 32	
Gambar 3.2. Flowchart	35

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1.** Lokasi Gardu Induk 150/20 kV Jepara
- Lampiran 2.** Single line diagram Gardu Induk 150/20 kV Jepara
- Lampiran 3.** Data pemeliharaan lightning arrester pada trafo daya II 60 MVA Gardu induk 150/20 kV Jepara
- Lampiran 4.** Lembar revisi seminar tugas akhir
- Lampiran 5.** Lembar revisi sidang tugas akhir
- Lampiran 6.** Makalah tugas akhir
- Lampiran 7.** Hasil turn it in



ABSTRAK

Lightning arrester (LA) berfungsi untuk melindungi bahaya sambaran petir yang menuju peralatan tegangan tinggi di Gardu Induk (GI) 150/20 kV Jepara utamanya adalah Trafo Daya. Permasalahan yang timbul apakah arrester mampu melindungi Trafo Daya 60 MVA karena begitu vitalnya fungsi lightning arrester pada trafo daya. Permasalahan yang terjadi di GI 150/20 kV Jepara, lightning arrester pernah mengalami gangguan yaitu pernah terjadi bercak di lightning arresternya pada fasa T disebabkan karena arus bocor yang meningkat melebihi standar dan dapat mengakibatkan bahaya kegagalan dalam melakukan kinerja (lightning arrester). Solusinya adalah mengevaluasi penyebab arus bocor dan meminimalisir arus bocor sesuai standar IEC IEC 61643-1.

Penelitian ini membahas tentang Analisis Arus Bocor Terhadap Kelayakan Lightning Arrester Pada Trafo Daya II 60 MVA Gardu Induk 150/20 kV Jepara. Model penelitian ditentukan sebagai sebuah Trafo Daya II GI 150/20 kV Jepara lengkap dengan LA. Parameter yang ditentukan adalah nilai tahanan pentanahan dan nilai tahanan isolasi. Metode yang digunakan adalah metode primer yaitu dengan melakukan pengambilan data secara langsung ke GI 150/20 kV Jepara melalui praktek langsung di lapangan dan wawancara. Kemudian melaksanakan pengukuran dan perhitungan secara langsung untuk melakukan perbandingan antara hasil dari alat ukur dan perhitungan sehingga kemudian menganalisa untuk mendapatkan solusi atau penelitian yang dilakukan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa arus bocor lightning arrester pada Trafo II GI 150/20 kV Jepara fasa R 0,23mA, S 0,39mA dan T 1,418mA. Di fasa T arus bocor melebihi batas standar internasional IEC 61643-1 yang ditentukan yaitu 1mA. arus bocor yang tinggi disebabkan karena nilai tahanan isolasi yang kurang bagus, Dalam perhitungan hambatan fasa R mendapatkan hambatan sebesar 652 M Ω , fasa S mendapatkan hambatan sebesar 384 M Ω , fasa T mendapatkan hambatan sebesar 105 M Ω . Ini diartikan bahwa semakin besar nilai suatu arus bocor maka nilai hambatan juga akan semakin kecil, tentu ini berdampak pada tahanan isolasi karena semakin kecil nilai hambatan maka akan semakin buruk tahanan isolasi tersebut sehingga terjadilah arus bocor karena arus bocor hambatan saling berkaitan satu sama lain. Hal ini membuat lightning arrester dalam kondisi tidak layak dalam mengamankan trafo daya karena bisa menyebabkan kegagalan dalam melaksanakan kerjanya.

Kata Kunci: *Lightning Arrester, Arus bocor, Kelayakan LA pada Trafo Daya 60 MVA*

ABSTRACT

Lightning arrester (LA) serves to protect the danger of lightning strikes that lead to high tension equipment at substation (GI) 150/20 kV Jepara is mainly the Power Transformer. The problem arises whether the arrester is able to protect the Power Transformer 60 MVA because of the vital lightning arrester function on the power transformer. Problems that occur in GI 150/20 kV Jepara, lightning arrester has experienced interference that there has been spotting in the lightning arrester in phasa T caused because the leaking current increases beyond the standard and can cause the danger of failure in performing (lightning arrester). The solution is to evaluate the cause of leaking currents and minimize leaking currents in accordance with IEC IEC standard 61643-1.

This study discusses the Analysis of Leaking Currents On the Feasibility of Lightning Arrester At Power Transformer II 60 MVA Substation 150/20 kV Jepara. The research model was defined as a Power Transformer II GI 150/20 kV Jepara complete with LA. The parameters specified are the value of the prisoner of the land and the value of the prisoner of isolation. The method used is the primary method that is to take data directly to GI 150/20 kV Jepara through direct practice in the field and interviews. Then carry out measurements and calculations directly to make a comparison between the results of the measuring instrument and the calculation so that it then analyzes to get a solution or research done.

The results showed that the leaking flow of lightning arrester at Transformer II GI 150/20 kV Jepara phasa R 0.23mA, S 0.39mA and T 1,418mA. In phasa T the leaking current exceeds the international standard limit IEC 61643-1 specified which is 1mA. High leaking current due to the value of isolation prisoners are not good, In the calculation of obstacles phasa R get obstacles of 652 M Ω , phasa S get obstacles of 384 M Ω , phasa T get pestbatan of 105 M Ω . This means that the greater the value of a leaky current, the lower the resistance value, of course this has an impact on isolation prisoners because the smaller the resistance value, the worse the isolation prisoner so that there is a leaky current because the leaking current is related to each other. This makes the lightning arrester in an unfit condition in securing the power transformer because it can cause failure in carrying out its performance.

Keywords: *Lightning Arrester, Leaking Current, LA Feasibility on 60 MVA Power Transformer*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem tenaga listrik dihasilkan dari pusat-pusat tenaga listrik melalui saluran transmisi dan distribusi ke konsumen melalui Trafo Daya 150/20 kV. Sambaran petir pada sistem transmisi gardu induk dilindungi proteksi antara lain dengan rod gap, grounding menara, grounding tanah dan lightning arrester (LA). LA berfungsi untuk melindungi peralatan pada gardu induk khususnya Trafo Daya. Lightning arrester (LA) adalah alat proteksi terhadap surja hubung dan surja petir untuk mengamankan peralatan tegangan tinggi di gardu induk. Petir merupakan fenomena alam yang menyebabkan rusaknya peralatan tegangan tinggi pada jaringan distribusi. Sambaran petir dapat menyebabkan terjadinya flashover karena tingkat isolasi yang digunakan dan tegangan lebih yang diakibatkan oleh sambaran petir.

Permasalahan yang terjadi di gardu induk 150/20 kV jepara, lightning arrester trafo daya II 60 MVA di phasa T pernah mengalami gangguan yaitu pernah terjadi bercak di lightning arresternya disebabkan karena arus bocor yang meningkat melebihi standar, kemudian sangat berbahaya karena dapat mengakibatkan terjadi kegagalan dalam melakukan kinerja (lightning arrester). Arus bocor adalah arus yang terjadi jika isolasi penghantar tidak memenuhi kriteria standar yang ditentukan baik antara penghantar maupun ground.

Solusi yang diperlukan untuk memperbaiki arus bocor yaitu dengan melakukan pengukuran secara rutin terhadap arus bocor tersebut, batas maksimal arus bocor sesuai standar internasional IEC 61643-1 adalah 1mA. Kemudian memperbaiki tahanan pentanahan dan tahanan isolasi lightning arrester.

Dari permasalahan tersebut sehingga penulis mengangkat judul “ANALISIS ARUS BOCOR TERHADAP KELAYAKAN LIGHTNING ARRESTER PADA TRAFODAYA II 60 MVA GARDU INDUK 150/20 kV JEPARA”.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah di uraikan di atas, maka dapat di ambil rumusan masalah sebagai berikut :

- a. Apakah nilai tahanan pentanahan lightning arrester sudah memenuhi standar $<5\Omega$?
- b. Apakah nilai tahanan isolasi lightning arrester sudah memenuhi standar $>11,250 M\Omega$?
- c. Apakah nilai arus bocor sudah memenuhi standar 1mA dan bagaimana pengaruh arus bocor terhadap kelayakan lightning arrester pada trafo daya II 60 MVA gardu induk 150/20 kV Jepara?

1.3 Pembatasan Masalah

Agar penelitian ini dapat dilakukan lebih fokus dan mendalam maka penulis memandang permasalahan penelitian yang diangkat perlu dibatasi variabelnya. Oleh sebab itu, penulis membatasi batasan masalahnya sebagai berikut :

- a. Peralatan tegangan tinggi yang ada di gardu induk 150/20 kV Jepara
- b. Sistem proteksi yang ditinjau adalah Lightning arrester pada trafo daya II 60 MVA fasa RST di gardu induk 150/20 kV Jepara
- c. Membahas arus bocor lightning arrester pada trafo daya II 60 MVA fasa RST gardu induk 150/20 kV Jepara
- d. Membahas tahanan pentanahan dan tahanan isolasi lightning arrester pada trafo daya II 60 MVA fasa T gardu induk 150/20 kV Jepara

1.4 Tujuan

Adapun tujuan penelitian dari penulis Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

- a. Untuk mengidentifikasi pengaruh tahanan pentanahan terhadap arus bocor.
- b. Untuk mengidentifikasi pengaruh tahanan isolasi terhadap arus bocor.
- c. Untuk mengidentifikasi pengaruh arus bocor terhadap kelayakan lightning arrester sesuai standar internasional IEC 61643-1.

1.5 Metode Penelitian

Metode yang dilakukan dalam penyusunan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi pustaka

Studi pustaka yaitu untuk melengkapi referensi yang dibutuhkan dalam melakukan penelitian ini.

2. Wawancara

Wawancara dilakukan dengan pembimbing lapangan dan supervisor sebagai penanggung jawab Gardu Induk 150 kV Jepara

3. Survei lapangan

Survei lapangan dimaksudkan untuk mengetahui secara langsung letak Arester, komponen pendukung, arus bocor, tahanan pentanahan dan tahanan isolasi lightning arrester pada trafo daya II Gardu Induk 150/20 kV Jepara

1.6 Manfaat

Manfaat yang di harapkan pada penelitian Tugas Akhir ini adalah :

- a. Menambah pengetahuan pada bidang sistem proteksi pada saluran transmisi 150 kV menggunakan lightning arrester pada bidang teknik elektro khususnya sistem tenaga listrik.
- b. Membantu mengevaluasi pengaruh arus bocor yang sering berubah-ubah terhadap kelayakan lightning arrester.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penulisan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Berisi latar belakang penulisan penelitian, tujuan serta gambaran secara umum tentang masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Berisi tentang beberapa landasan teori tentang terjadinya gangguan surja, mekanisme sambaran petir, karakteristik petir itu sendiri, sambaran petir ke peralatan, arus bocor, tahanan pentanahan dan tahanan isolasi.

BAB III : METODE PENELITIAN

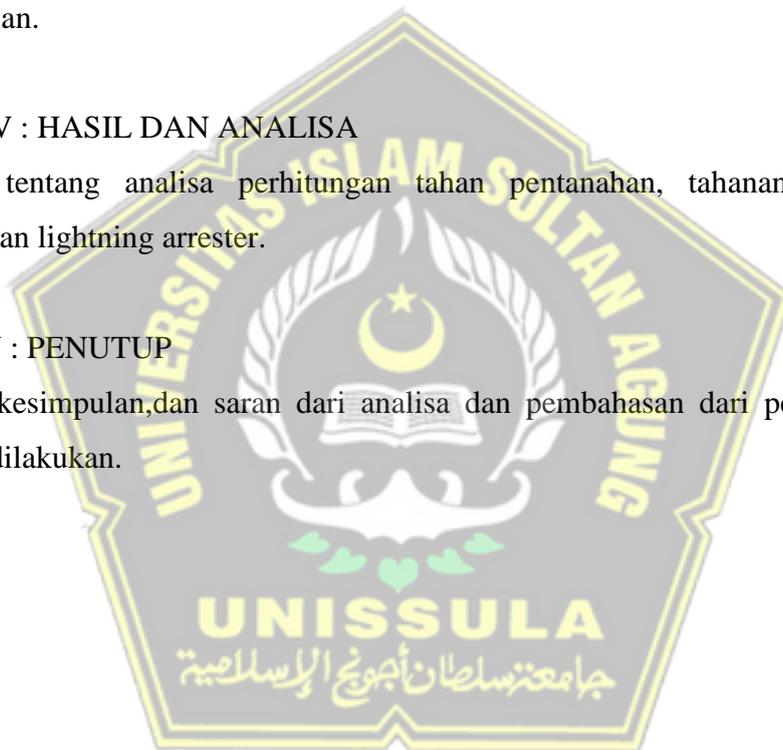
Berisi tentang model penelitian, data parameter pentanahan yang ditentukan, objek penelitian, peralatan yang digunakan, perancangan sistem flowchart penelitian.

BAB IV : HASIL DAN ANALISA

Berisi tentang analisa perhitungan tahan pentanahan, tahanan isolasi dan hambatan lightning arrester.

BAB V : PENUTUP

Berisi kesimpulan, dan saran dari analisa dan pembahasan dari penelitian yang sudah dilakukan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Dalam pembuatan Penelitian ini penulis mengambil beberapa referensi untuk dijadikan tinjauan agar Tugas Akhir yang dibuat dapat lebih baik dari penelitian sebelumnya.

- a) Analisis hubungan arus lightning arrester terhadap suhu di gardu induk wonogiri[1]. Hasil penelitian suhu sedikit berpengaruh dalam kenaikan arus bocor di gardu induk wonogiri, peneliti mengambil data arus bocor serta suhu di gardu induk wonogiri selama 24 jam, hasil penelitian yang dilakukan keadaannya normal sesuai standar, arus bocornya tidak melebihi 2mA, suhunya berkisar 32°C.
- b) Analisis kinerja lightning arrester yang berusia lebih dari 30 tahun di gardu induk 150 kv sronol PT.PLN (persero) UPT Semarang[2]. Berdasarkan hasil penelitian memperoleh data perubahan arus bocor, temperatur, dan umur lightning arrester selama empat tahun terakhir, melakukan analisis regresi sederhana untuk memperkirakan batas umur penggunaan lightning arrester, hasilnya arus bocor lightning arrester menunjukkan nilai presentase dengan kaondisi 97,91% baik dan masih layak untuk beroperasi. Kemudian diperoleh korelasi suhu dan arus bocor sebesar 0,416197 sehingga dapat dianalisa usia lightning arrester di bay penghantar pandedanlamper 2 yaitu 37 tahun.
- c) Analisa kegagalan lightning arrester pada penyulang sulahan bangli[3]. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh menunjukkan bahwa penyulang sulahan berada di atas 5 ohm dan menyebabkan lightning arester tidak berfungsi secara baik. Multi chamber arrester adalah arester yang tidak mempengaruhi nilai tahanan tanah. Setelah memasang multi chamber arrester maka jumlah kegagalan berkurang menjadi satu pada tahun 2017.
- d) Evaluasi kondisi lightning arrester di gardu induk jatirangon dengan metode pengujian tahanan isolasi dan tahanan pembumian dalam rangka SLO (Sertifikasi Laik Operasi)[4]. Hasil penelitian memperoleh dimana nilai

tahanan isolasi pada titik bawah-ground mendapatkan nilai $0,2 \text{ M}\Omega$ dimana ini kurang dari standar yang ditentukan sehingga perlu dilakukan pergantian isolasi karena semakin besar nilainya maka semakin kecil arus yang mengalir ke titik yang bertegangan.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Petir

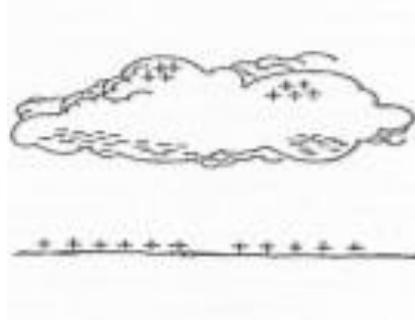
Petir adalah suatu kumpulan awan yang mengandung muatan proton dan muatan elektron. Adapun pusat ini menginduksi bahwa muatan dengan polaritas yang berbeda akan mengarah ke awan ataupun juga ke bumi. Gradient potensial di udara antara pusat kematian di awan atau antara awan dan bumi tidak berbeda, akan tetapi kemungkinan terdapat gradient dengan tegangan yang lebih tinggi. Ketika gradient tegangan tinggi dari titik konsentrasi muatan dari awan besar dan nilai masuk udara terionisasi, udara menjadi terionisasi di wilayah konsentrasi tekanan yang tinggi.

Ada dua jenis sambaran petir, yaitu sambaran petir langsung dan sambaran petir tidak langsung. Adapun sambaran petir langsung terjadi yaitu ketika petir menyambar langsung ke kawat fasa atau kawat pelindung sedangkan untuk sambaran petir tidak langsung terjadi yaitu ketika terjadi petir menyambar benda di dekat saluran listrik.

2.2.2 Proses terjadinya petir [5]

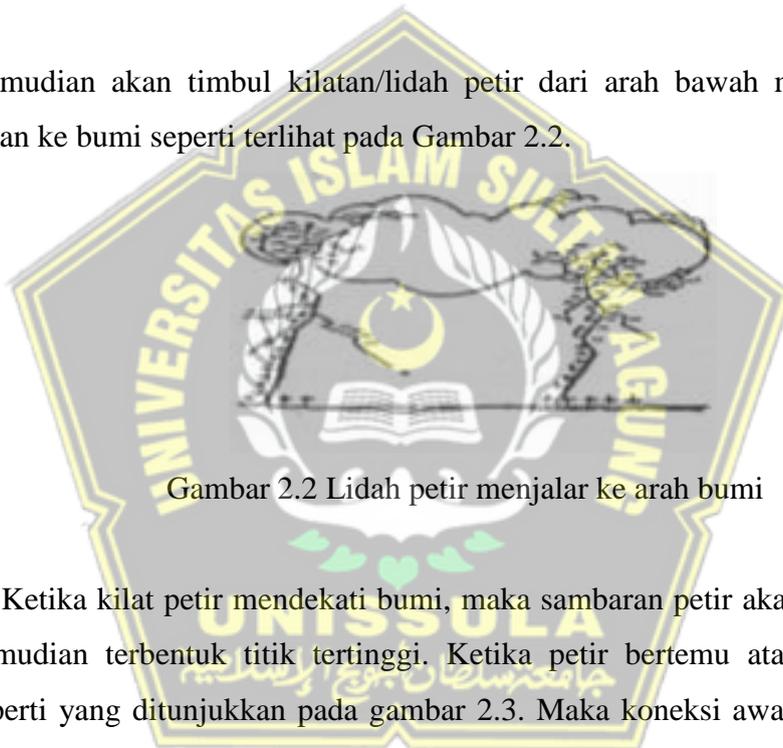
Proses terjadinya petir adalah sebagai berikut:

Ketika Muatan mengalir dari pusat ke saluran terionisasi, kemudian ujung saluran mempertahankan gradient dengan tegangan tinggi yang nantinya akan melanjutkan proses kerusakan pada gradient. Apabila Sambaran petir menuju Bumi ketika muatan di tepi awan menghasilkan muatan yang berlawanan dengan muatan di Bumi. Ditunjukkan pada Gambar 2.1.



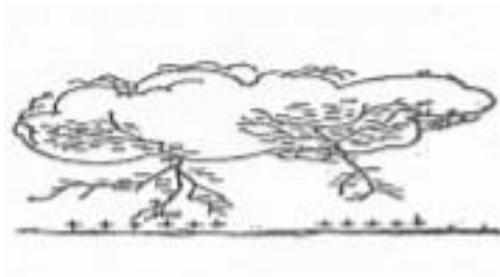
Gambar 2.1 Muatan Sepanjang pinggir awan menginduksikan muatan lawan pada bumi.

Kemudian akan timbul kilatan/lidah petir dari arah bawah menyebar dari awan ke bumi seperti terlihat pada Gambar 2.2.



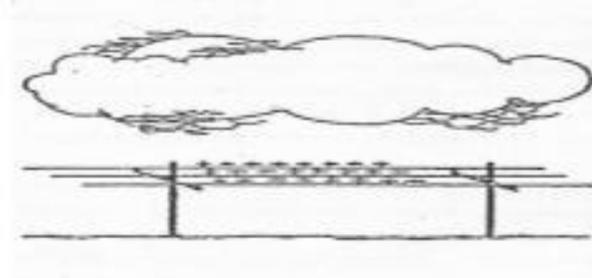
Gambar 2.2 Lidah petir menjalar ke arah bumi

Ketika kilat petir mendekati bumi, maka sambaran petir akan menuju atas kemudian terbentuk titik tertinggi. Ketika petir bertemu atas dan bawah, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3. Maka koneksi awan-bumi dibuat dan energi muatan awan dilepaskan ke tanah.



Gambar 2.3 Kilat sambaran balik dari bumi ke awan

Muatan-muatan dapat terinduksi ke jaringan listrik yang ada disekitar sambaran petir ke tanah seperti terlihat pada Gambar 2.4.



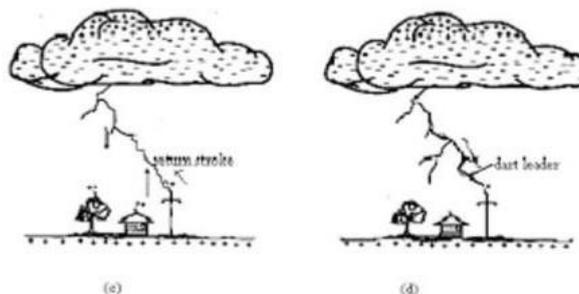
Gambar 2.4 Kumpulan muatan pada suatu saluran distribusi

2.2.3 Macam-Macam petir [6]

Pembentukan dan akumulasi muatan dipengaruhi Faktor awan banyak dan tidak pasti. dengan Seiring kondisi atmosfer yang tidak stabil, perjalanan sambaran petir juga bisa berbeda. Misalnya, jika tidak terjadi pemisahan muatan secara horizontal, yang mengakibatkan pelepasan muatan di antara awan atau di dalam awan itu sendiri. Karena proses pemisahan muatan dibalik, arah pelepasan atau petir juga berlawanan. Ada beberapa jenis petir yaitu berdasarkan:

a. Berdasarkan Polaritas Muatan

Polaritas petir ditentukan oleh muatannya positif atau negatif. Petir dikatakan memiliki muatan positif ketika dimulai dengan awan sedangkan untuk bermuatan negatif mengatakan bahwa petir bermuatan negative jika pilot leader membentuk step leader sesuai Gambar 2.5.



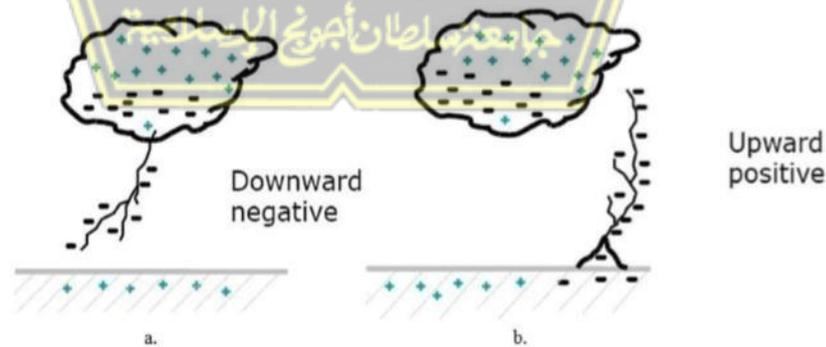
Gambar 2.5. Polaritas muatan petir pada sambaran petir ke tanah a. petir bermuatan positif b. petir bermuatan negatif.

Polaritas petir tidak selalu pengaruhi arah sambaran petir. Dalam hal besarnya serta bentuk gelombang arus petir, polaritas petir mempunyai dampak terbesar pada daya rusaknya. Sebab umumnya besaran arus pada petir positif lebih besar dari pada petir negatif. Tidak hanya itu, bentuk gelombang arus petir dari polaritas negatif berganti antara kali pertama serta berikutnya.

Tidak hanya perbandingan karakteristik amplitudo arus serta bentuk gelombang, terbentuknya petir juga disebabkan perberbedaan pada polaritas positif serta negatif. Hanya sekitar 10% sambaran petir yang mempunyai polaritas positif, Sisanya mempunyai polaritas negatif. Semakin tinggi tempat ataupun objek tertentu di bumi bertambah, maka petir akan bertambah.

b. Berdasarkan Arah Sambaran

Bila kita memandang mekanisme petir lagi, kita akan mendeteksi jika untuk tiap kejadian petir, ada beberapa akibat yang secara bergantian mengalami arah pelepasan ke dasar(bumi) serta ke atas(awan). Oleh sebab itu, buat memastikan arah tumbukan tersebut, mengacu pada arah petir(dari pilot leader). Bila pilot mulai dari atas(awan), itu disebut downward lightning, serta bila kebalikannya, itu disebut upward lightning semacam pada Gambar 2. 6.



Gambar 2.6. Tipikal arah sambaran petir a.downward negative b.Upward positif

Kecuali arah sambaran petir, perbedaan antara sambaran petir ke atas dan ke bawah adalah Sambaran petir ke atas cenderung tidak bercabang. Selain itu petir sangat jarang terjadi, sehingga keadaan ini diklasifikasikan sebagai pengecualian.

Petir ke atas hanya akan terjadi pada benda yang berada pada ketinggian. 400-500 m dari permukaan bumi. Dari ketinggian tersebut maka 80-90% akan terkena sambaran petir.

c. Berdasarkan Jenis Sambaran

Kondisi pemisahan muatan merupakan factor utama terjadinya proses sambaran petir, berdasarkan jenisnya ada tiga jenis sambaran petir adalah:

1. Sambaran Petir ke tanah adalah bentuk petir yang merusak dan sangat terang.
2. Sambaran Petir dalam awan adalah jenis sambaran petir yang umum. Petir ini terjadi antara muatan berlawanan di awan yang sama, dalam proses terjadi di awan dan dapat dilihat dari luar awan sebagai cahaya terang yang menyinari.
3. Sambaran petir antar awan adalah sambaran petir terjadi antara pusat muatan relatif dari dua awan yang berbeda seperti pada Gambar 2.7.



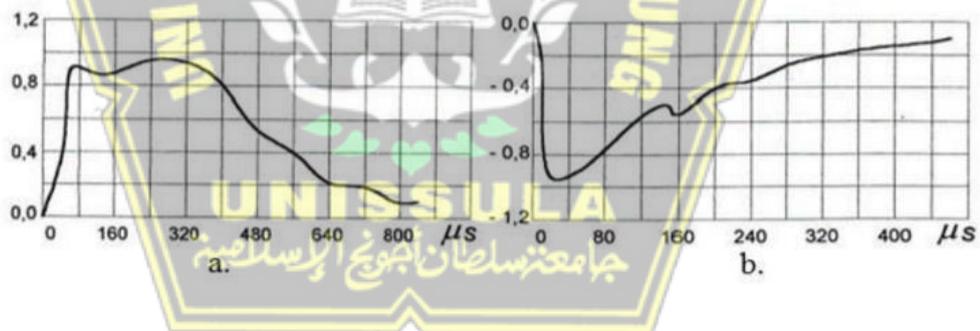
Gambar 2.7. Macam-macam sambaran petir a. Dalam awan (intra cloud) b. Antar awan (inter cloud)

2.2.4 Parameter petir[6]

Parameter petir adalah karakteristik yang menunjukkan gambaran petir itu sendiri. Terdapat banyak parameter petir terutama yang berhubungan dengan proteksi petir. Tegangan petir yang menyambar bumi memiliki teaganggan sekitar 100 MV dan arusnya 20.000 A. parameter petir juga dapat digunakan untuk mempelajari efek kerusakan dari sambaran petir.

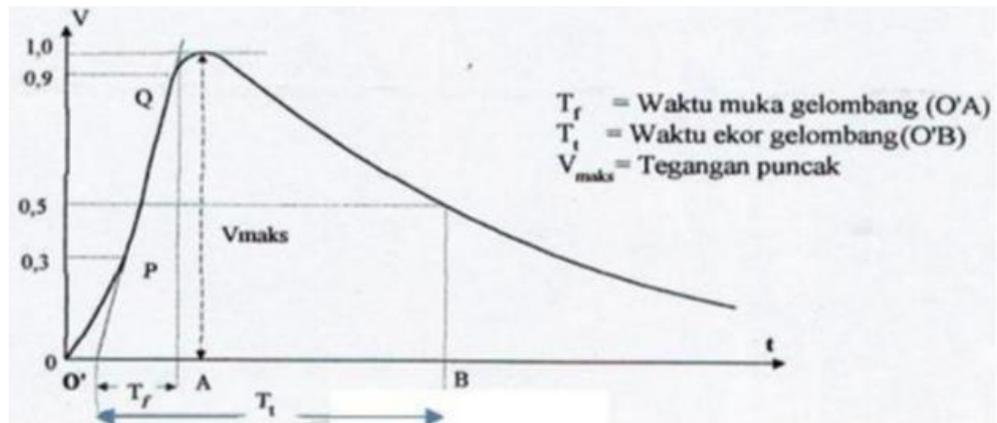
a. Bentuk gelombang arus petir

Bentuk gelombang arus petir mewakili amplitudo, kecuraman, dan periode pembangkitan arus dan dinyatakan dalam waktu. Bentuk gelombang arus petir berbeda-beda. Bentuk gelombang arus petir sangat berbeda antara yang pertama dan yang kedua, tidak hanya dari satu peristiwa ke peristiwa lainnya, tetapi juga dalam kasus beberapa peristiwa petir. Apalagi pada petir negatif, biasanya selalu ada serangan berikutnya. Perbedaan bentuk gelombang arus petir ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Osilogram bentuk gelombang arus petir a. Petir positif b. Petir Negatif

Dari perbedaan tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa bentuk standar petir di negara atau organisasi juga berbeda, seperti standar Jepang (JIS), standar Jerman (VDE), atau standar Inggris (BS). Internasional biasanya singkatan dari IEC. Bentuk arus petir dinyatakan dalam dua cara yaitu waktu muka (T_f) didepan gelombang dan kecuraman arus dan waktu ekor (T_t). Seperti Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Bentuk gelombang implus petir standart

b. Kerapatan sambaran petir

Kerapatan sambaran petir adalah parameter jumlah aktivitas petir atau sambaran petir relatif terhadap bumi di suatu wilayah selama setahun, dinyatakan dalam sambaran petir per kilometer persegi per tahun. Jumlah sambaran petir sebanding dengan jumlah hari petir per tahun dan disebut Iso Keraunic Level (IKL). Besarnya kerapatan sambaran petir dapat dilihat dari persamaan (2.1).

$$N_g = 0,15 \text{ IKL} \dots\dots\dots (2.1)$$

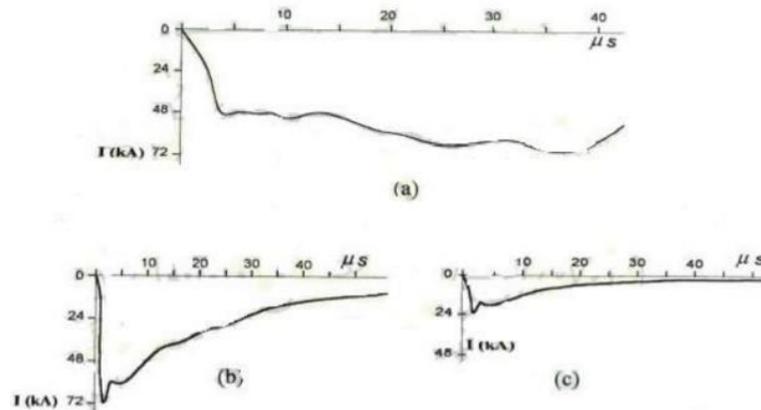
dengan :

N_g = Kerapatan sambaran petir

IKL = Indeks iso keraunic level (IKL)

c. Arus Puncak (I_{max})

Arus puncak adalah parameter yang menentukan penurunan tegangan resistansi pada resistansi ground dan resistansi perangkat yang mengalami sengatan listrik. Dan juga dapat menentukan kenaikan suhu perangkat hit. Nilai arus puncak ini digunakan untuk merepresentasikan gelombang kejut petir dan dua gelombang pertama yaitu face time (T_f) dan tail time (T_t). Bentuk gelombang arus puncak petir dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10. Hasil pengukuran bentuk gelombang arus petir negatif sambaran ganda a.sambaran pertama b.sambaran kedua c.sambaran ketiga.

d. Kecuraman Gelombang (Steepness)

Kemiringan gelombang adalah parameter yang menunjukkan laju kenaikan (di/dt) arus petir per satuan waktu. Semakin besar nilai arus per satuan waktu, maka semakin curam bentuk gelombang arus dan semakin pendek durasi gelombang.

2.2.5 Impedansi surja[7]

Karakteristik saluran transmisi terdiri dari resistansi (R), induktansi (L), kapasitansi (C), dan konduktansi (G). Dalam kasus khusus dimana resistansi tanpa rugi tahanan (R) dan konduktansi (G) adalah nol, maka impedansi karakteristik disebut impedansi surja. Impedansi surja dapat didefinisikan sebagai rasio antara tegangan surja dan arus surja. Jadi untuk saluran transmisi tanpa rugi-rugi (losses). Nilai impedansi surja dapat dicari dengan persamaan (2.2).

$$Z_k = \sqrt{\frac{Z}{Y}} \dots \dots \dots (2.2)$$

dengan :

Z_k = Impedansi Karakteristik (Ω/m)

Z = Impedansi (Ω/m)

Y = Admitansi (Ω^{-1}/m)

Besarnya impedansi dan admitansi saluran tanpa rugi-rugi ditunjukkan pada persamaan (2.3).

$$Z = j \omega L \text{ (}\Omega/\text{m)} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$Y = j \omega (\Omega^{-1}/\text{m}) \dots\dots\dots (2.4)$$

dengan :

$$Z = \text{Impedansi (}\Omega/\text{m)}$$

$$L = \text{Induktansi (Henry)}$$

$$C = \text{Kapasitansi (Farad)}$$

$$\omega = \text{Omega}$$

Maka besarnya Impedansi Surja ditunjukkan pada persamaan (2.5).

$$Z_s = \sqrt{\frac{L}{C}} \dots\dots\dots (2.5)$$

dengan :

$$Z_s = \text{Impedansi Surja (}\Omega/\text{m)}$$

$$L = \text{Induktansi (Henry)}$$

$$C = \text{Kapasitansi (Farad)}$$

Apabila ditinjau pada penghantar udara dengan jari-jari r dan dengan ketinggian h maka besarnya induktansi dan kapasitansi ditunjukkan pada persamaan (2.6), (2.7).

$$L = \left(\frac{1}{2} + 2h \frac{2h}{r} \right) 10^{-7} \text{ Henry/m} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$C = \frac{10^{-9}}{18 \ln \frac{2h}{r}} \text{ Farad/m} \dots\dots\dots (2.7)$$

dengan:

$$h = \text{Ketinggian penghantar (Meter)}$$

$$r = \text{jari-jari (Centimeter)}$$

Faktor $\frac{1}{2}$ dalam persamaan disebabkan adanya fluks lingkup didalam kawat (internal flux), dengan keadaan bahwa distribusi arus merata. Tetapi akibat efek dari Gelombang perjalanan efek kulit sementara sangat besar sehingga arus terkumpul di permukaan kabel. Dengan demikian fluks lingkup sangat

kecil dan dapat diabaikan sehingga induktansi berubah menjadi persamaan (2.8).

$$L = 2 \left(2 \ln \frac{2h}{r} \right) 10^{-7} \text{Henry /m} \dots\dots\dots (2.8)$$

dengan:

h = Ketinggian penghantar (Meter)

r = jari-jari (Centimeter)

Sehingga L dan C pada persamaan dan disubstitusikan kedalam persamaan maka menghasilkan persamaan (2.9).

$$Z_s = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{(2 \ln \frac{2h}{r}) \times 10^{-7}}{\frac{10^{-9}}{18 \ln \frac{2h}{r}}}} \dots\dots\dots (2.9)$$

dengan :

h = Ketinggian penghantar (Meter)

r = jari-jari (Centimeter)

L = Induktansi (Henry)

C = Kapasitansi (Farad)

Dari persamaan diatas dapat disederhanakan menjadi persamaan (2.10).

$$Z_s = \sqrt{[3600 \times (\ln \frac{2h}{r})^2]} = 60 \ln \frac{2h}{r} \text{ ohm} \dots\dots\dots (2.10)$$

dengan :

h = Ketinggian penghantar (Meter)

2.2.6 Sistem Pengaman Peralatan Utama Gardu Induk Tegangan Tinggi 150kV [7]

Keamanan sistem tenaga listrik dari hal-hal yang dapat menyebabkan gangguan salah satunya adalah surja petir, gelombang surja akan merambat menuju gardu induk yang juga dapat menggagalkan tahanan isolasi pada peralatan di gardu induk tersebut. Maka untuk mengantisipasi terjadinya kerusakan akibat sambaran petir dipasang sistem proteksi yaitu lightning arrester.

Untuk memaksimalkan kinerja arrester maka jarak penempatan arrester dengan Peralatan tegangan tinggi di gardu induk sedekat mungkin dengan peralatan yang dilindungi. Jarak arrester dengan peralatan yang dilindungi menggunakan persamaan (2.11) dan (2.12).

$$E_a = At + A \left(t - 2 \frac{S}{v} \right) \dots \dots \dots (2.11)$$

$$= 2At - 2 \frac{S}{v} \dots \dots \dots (2.12)$$

dengan:

E_a = Tegangan percik arrester

E_p = Tegangan jepit trafo

A = kecuraman gelombang

A = Jarak antara arester dengan trafo

v = kecepatan merambat gelombang

2.2.7 Penempatan Kawat Tanah Sepanjang Saluran Transmisi [7]

Penempatan kawat disaluran transmisi berfungsi untuk melindungi dari surja petir yang berbahaya dan sifatnya merusak, prinsip kerja dari pengaman kawat tanah (over head ground wire) adalah meneruskan sambaran petir yang menyambar melalui jalur penghubung ke tanah. Fungsi lain dari kawat tanah yaitu untuk mengurangi gangguan tegangan lebih akibat elektromagnetik pada penghantar. Ada beberapa kerusakan yang terjadi jika kawat tanah tidak berfungsi secara baik antara lain:

1. Tegangan tembus luar (Eksternal flash over) yang menyebabkan isolator rusak dibagian permukaan.
2. Tegangan tembus dalam (Internal flash over) yang menyebabkan merusak isolator utama dari peralatan ke anah dan antara bagian dalam peralatan.

a. Sistem pembumian (Grounding system)

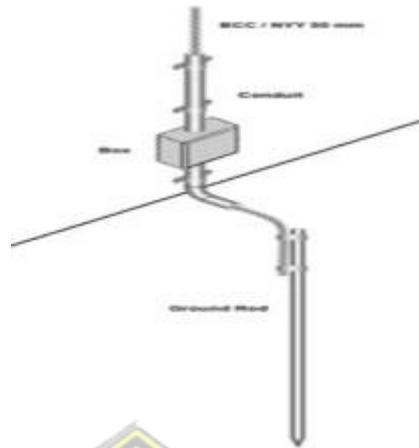
Unit instalasi yang melepaskan arus petir ke tanah, semakin tinggi konduktivitas listrik tanah dengan logam, semakin baik efeknya. Kelayakan yang tepat harus menggunakan pengujian sistem pentanahan untuk mencapai ketahanan benturan maksimum 5 ohm (PUIL, 2000: 68). Namun, untuk area ketanahan tanah yang sangat tinggi maka nilai total keseluruhan sistem mencapai 10 ohm (PUIL, 2000: 68).

Aspek yang mempengaruhi sistem pembumian (ground system) :

1. Kadar air : Jika air dangkal maka nilai hambatan yang didapat akan baik untuk meneruskan sambaran, karena sela-sela tanah mengandung air yang cukup banyak dimana konduktivitas bumi akan lebih baik.
2. Mineral : Kandungan mineral tanah mempengaruhi nilai resistansi, oleh karena itu semakin tinggi kandungan logam dan mineral tanah maka semakin mudah untuk memanaskan tanah.
3. Derajat keasaman: Semakin asam tanah (nilai PH <7), semakin mudah untuk menghantarkan listrik, ataupun sebaliknya. Misalnya, nilai PH tinggi maka akan menghasilkan warna terang.
4. Tekstur tanah: Untuk daerah dengan tekstur berpasir dan berpori maka akan sulit mencapai ketahanan petir yang baik. Oleh karena itu jenis tanah, air serta mineral mudah hilang dan tanah akan mudah kering.

b. Single Grounding Rod [8]

Single Grounding Rod adalah sistem grounding terdiri dari satu titik dengan pentanahan batang (rod) debit arus atau batang pentanahan dengan kedalaman tertentu, misalnya dengan kedalaman 6 meter. Area sifat tanah yang konduktif akan mudah mencapai tahanan kurang dari 5 ohm dengan ground rod. Mekanisme single Grounding rod seperti Gambar 2.11.



Gambar 2.11. Single Grounding Rod

Untuk menghitung nilai pentanahan single grounding rod adalah sebagai berikut menurut persamaan (2.13).

$$R = \frac{\rho}{2\pi \cdot L} \left[\ln \left(\frac{4L}{a} \right) - 1 \right] \dots \dots \dots (2.13)$$

dengan:

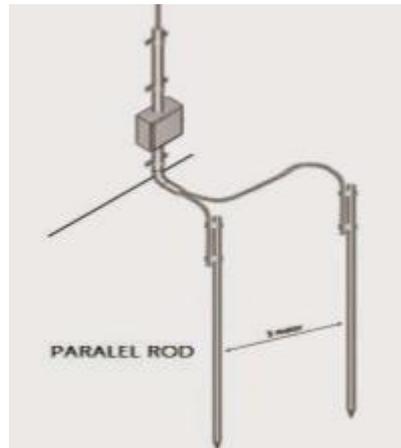
L = Panjang Elektrode

a = Jari-jari elektrode

ρ = Tahanan jenis tanah (ohm meter)

c. Paralel grounding Rod [7]

Jika sistem Single Grounding Rod memiliki nilai hambatan yang dicapai >5 ohm maka hasil kurang baik, maka perlu dilakukan Grounding Rod ke dalam tanah dengan jarak antara rod 1 dan 2 dengan minimal 2 meter kemudian dihubungkan dengan kabel BBC (Only Core Conductor). Adapun dalam penambahan ground rod ditanam mendatar dengan kedalaman tertentu maka dapat mengubah bangunan dan membentuk cincin dengan catatan nilai resistansi yang didapat kurang dari <5 ohm setelah dilakukan pengukuran menggunakan ground taster. Bentuk paralel grounding rod seperti Gambar 2.12.:



Gambar 2.12. Pararel Grounding Rod

Untuk menghitung nilai pentanahan paralel grounding rod adalah sebagai berikut menurut persamaan (2.14).

$$\frac{1}{R_{Total}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \dots \dots \dots (2.14)$$

2.2.8 Tingkat Isolasi Dasar Tingkat Isolasi Dasar (TID) [7]

TID adalah acuan tingkat isolasi yang diberikan pada suatu peralatan pada tegangan tinggi tertentu yang dinyatakan dalam tegangan impuls standar, sehingga insulasi peralatan listrik tersebut memiliki tahanan impuls. Tingkat isolasi yang sama, kecuali trafo yang dibuat dengan insulasi rendah karena ekonomis dan pada umumnya trafo diproteksi secara langsung dengan arrester, seperti trafo arus, PMT, PMS, CT, PT dibuat dengan. Karena lokasinya yang dekat dengan trafo, beberapa peralatan di stasiun trafo akan ditempatkan di luar kawasan lindung yang ditahan. Kawasan lindung ditentukan oleh tahanan isolasi dan tegangan operasi peralatan dari penangkal petir dan jarak dari penangkal petir ke peralatan. Peralatan yang terletak di luar arrester harus dilengkapi dengan tingkat isolasi dasar pada satu tingkat lebih tinggi. Kondisi kawasan lindung ini ditentukan oleh :

1. Resistansi isolasi terhadap peralatan
2. tegangan kerja untuk arrester
3. jarak antara arrester dan peralatan.

Untuk melindungi peralatan, semua peralatan di luar area lindung diverter harus dilengkapi dengan tingkat isolasi dasar (TID) yang satu tingkat lebih tinggi dari transformator. Perhitungan standar TID dapat dilihat pada persamaan (2.15).

$$FP = 1,2 \times TID \dots\dots\dots(2.15)$$

dengan :

FP = faktor perlindungan (V)

TID = Nilai TID pada peralatan (V)

Untuk menentukan tahanan minimal isolasi dapat dihitung dengan persamaan (2.16).

$$R = \frac{1000.V}{Q} \cdot 2,5 \dots\dots\dots(2.16)$$

dengan:

R : Tahanan Isolasi minimal

V : Tegangan Kerja

Q : Tegangan Megger

1000 : Bilangan Tetap

2,5 : Faktor Keamanan (Apabila Baru)

2.2.9 Margin Perlindungan

Margin perlindungan adalah suatu batas perlindungan Arrester yang di dapatkan dari hasil perlindungan antara tingkat isolasi peralatan yang di lindungi dengan tegangan kerja Arrester, margin tersebut ditunjukkan pada persamaan (2.17).

$$MP = \left(\frac{BIL}{KIA} - 1 \right) 100\% \dots\dots\dots(2.17)$$

dengan :

MP = Margin Perlindungan (%)

BIL = Basic Insulation Level (kV)

KIA = Kualitas Insulation Arrester (kV)

Kriteria yang harus dipenuhi dalam margin perlindungan adalah besar margin perlindungan yang diberikan Arrester minimal 20%.

2.2.10 Lightning Arrester[9]

Lightning arrester (LA) adalah alat proteksi terhadap surja hubung dan surja petir untuk mengamankan peralatan tegangan tinggi di gardu induk. Lightning arrester harus bertindak sebagai isolator, menghantarkan beberapa miliampere arus bocor ke bumi dalam sistem tegangan listrik dan menjadi konduktor selama operasi, menghantarkan ribuan ampere arus impuls ke bumi, memiliki tegangan di bawah tegangan penahan. peralatan jika terjadi tegangan lebih, menghilangkan arus sisa yang mengalir dari sistem melalui arrester setelah berhasil membumikan tegangan lebih atau tegangan surja.

- a. Fungsi Lightning arrester adalah pada saat terjadi sambaran petir atau tegangan lebih sebelum mencapai peralatan tegangan tinggi maka Lightning arrester akan mengarahkan tegangan lebih atau surja petir ke tanah sehingga peralatan tegangan tinggi terlindung dari petir atau tegangan lebih.
- b. Prinsip pengoperasian Lightning arrester adalah pada kondisi normal arrester bertindak sebagai isolator, dan pada saat terjadi sambaran petir arrester bekerja sebagai penghantar dengan resistansi yang relatif rendah, sehingga dapat mengalirkan arus impuls ke tanah. Setelah tegangan surja berhasil dibumikan, arrester akan segera kembali ke perannya sebagai isolator.

Tegangan kerja arrester akan naik dengan naiknya arus pelepasan, akan tetapi kenaikan ini dibatasi oleh tahanan linier dari arrester ditunjukkan pada persamaan(2.19).

$$V_t = V_a + 2 \frac{dv}{dt} \frac{L}{1000} \text{ jadi, (2.18)}$$

$$V_a = V_t - 2A \frac{L}{1000} \text{ (2.19)}$$

dengan:

V_a = Tegangan pelepasan arrester (kV)

V_t = Tegangan maksimum (kV)

A = Kecuraman gelombang (kV/ s)

L = Jarak arrester dan ujung kawat (ft)

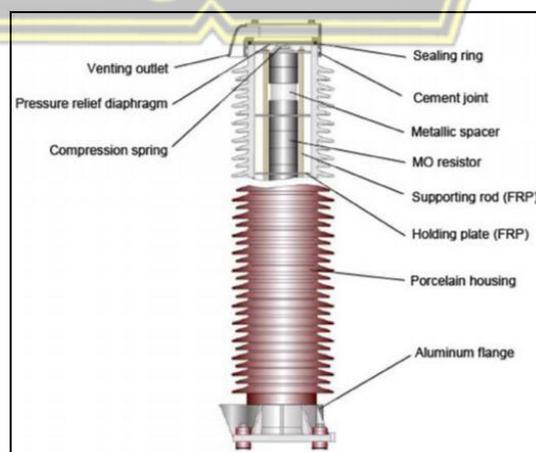
2.2.11 Bagian-bagian lightning arrester[9]

Berikut bagian-bagian atau komponen yang ada pada lightning arrester gardu induk 150/20 kV jepara:

a. Kontruksi Lightning Arrester [9]

Lightning arrester (LA) pada sistem transmisi atau gardu induk memiliki desain yang hampir sama. Komponen utama Lightning arrester adalah komponen aktif zine oxide. Varistor ini dalam bentuk chip blok dan ditempatkan di rumah atau kompartemen porselen atau resin. Housing berfungsi untuk mengisolasi bagian aktif dan bumi pada tegangan operasi LA.

Lightning arrester dilengkapi dengan katup pengaman di kedua ujungnya. Katup ini dirancang untuk menghilangkan tekanan internal berlebih saat penangkal petir melewati arus surja. Struktur pendukung penangkal petir terdiri dari struktur pendukung, cincin penyeimbang, pentanahan dan sarana untuk monitoring. Konstruksi LA seperti Gambar 2.14.



Gambar 2.14. Konstruksi LA

b. Varistor atau Active Part [9]

Varistor atau active part adalah komponen yang terdiri dari kolom varistor ZnO. Kemampuan dalam menyerap energi dan besarnya arus pelepasan pada Keping ZnO dalam bentuk silinder dengan diameter yang tergantung pada kedalaman. Untuk bahan silinder sendiri adalah aluminium. Silinder memiliki sifat mekanik yang dapat berfungsi sebagai pendingin. Sedangkan untuk Diameter sirkuit mikro varistor dari 30 mm-100 mm untuk arester arrester HV/EHV. Setiap balok arrester memiliki tinggi 20 - 45 mm.

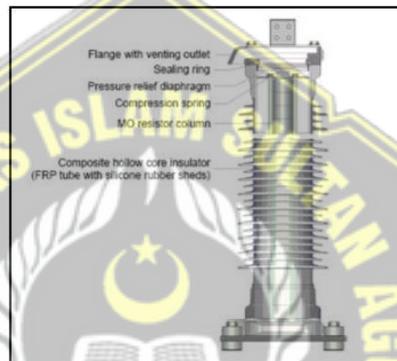
Nilai tegangan volt untuk keping ZnO selama aliran arus pulsa tergantung pada diameter keping. Misalnya, pada sirkuit mikro dengan diameter 32 mm dengan nilai tegangan 450 V/mm. Untuk diameter 70 mm dengan tegangan menjadi 280 V/mm. Artinya terdapat tegangan sisa sebesar 12,5 kV pada satu keping ZnO dengan diameter 70 mm dan tinggi 45 mm. Jika nilai tegangan sisa yang diinginkan masing-masing chip adalah 823 kV, maka 66 bagian ZnO diposisikan ke atas. Hal ini akan menyebabkan ketinggian penangkal petir mencapai 3 meter, dimana stabilitas mekanik penangkal petir rendah, oleh karena itu penangkal petir juga dirancang untuk susun. Bentuk varistor seperti Gambar 2.15



Gambar 2.15 Keping Blok Varistor Zinc Oxide

c. Housing LA [9]

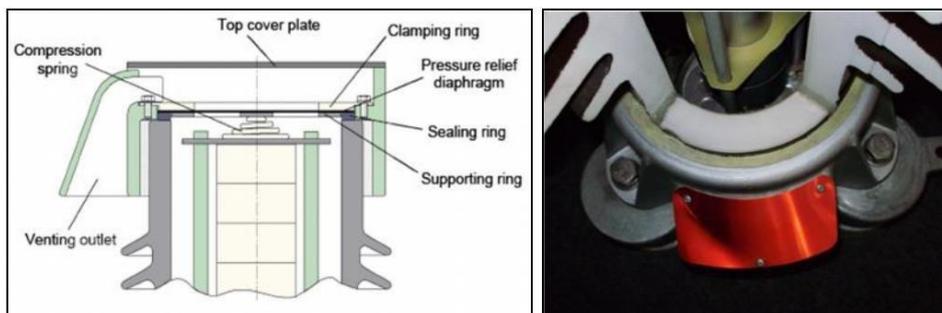
Housing lightning arrester mempunyai fungsi menempatkan tumpukan kepingan ZnO dan menempatkannya pada sangkar batang, biasanya badan arester terbuat dari plastik yang diperkuat serat gelas. Pegas kompresi akan dipasang di kedua ujung kolom bagian aktif untuk memberikan ketahanan mekanis ke sirkuit mikro. Tubuh kompartemen biasanya terbuat dari porselen atau polimer. Housing lightning arrester seperti Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Konstruksi Housing LA

d. Sealing dan Pressure Relief Systems [9]

adalah adalah perangkat yang menempel pada kedua ujung arester. terbuat dari bahan sintesis dan diafragma pelepas tekanan terbuat dari stainless steel atau nikel. Relief tekanan bertindak sebagai katup pengaman internal ketika arus impuls mengalir melalui arester. Bentuk sealing dan pressure relief systems sesuai Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Sealing dan Pressure Relief Systems LA

e. Grading Ring [9]

adalah alat yang diperlukan untuk lightning arrester yang memiliki tinggi $> 1,5$ meter maka dalam membuat penangkal petir dipasang secara bertahap. Grading ring berfungsi untuk mengontrol distribusi medan listrik pada permukaan lightning arrester. Medan listrik pada bagian yang berdekatan dengan tegangan akan lebih besar, sehingga beban pada bagian aktif pada posisi ini jauh lebih tinggi daripada pada posisi di bawahnya. Tegangan ini dapat menyebabkan degradasi komponen bagian aktif. Jadi, ketika memilih ukuran grading ring, jarak antara fase harus diperhitungkan. Jarak aman antara konduktor harus sama dengan jarak antara grading ring penyalarsan fasa ke fasa arester. Grading ring sesuai Gambar 2.18.



Gambar 2.18 Grading Ring LA

f. Peralatan Monitoring dan Insulator Dudukan [9]

lightning arrester memiliki perangkat pemantauan, atau penghitung. Counter adalah alat untuk menghitung jumlah total arester dan parameter arus bocor. Sebelum diarde, kabel arde atau ground terlebih dahulu dilewatkan ke alat pemantau. Maka dudukan isolator harus dipasang dengan benar pada kedua ujung alat pemantau dan pada dudukan LA sehingga arus yang melalui LA hanya melewati kabel arde. Bentuk counter dan dudukan LA sesuai Gambar 2.19 dan 2.20.



Gambar 2.19 Counter LA dan Counter dan Meter Arus Bocor Total LA



Gambar 2.20 Insulator Dudukan LA

g. Struktur Penyangga Lightning Arrester

lightning arrester dipasang dalam ketinggian tertentu di atas tanah, sehingga diperlukan struktur pendukung yang terdiri dari pondasi dan struktur baja pendukung. Sesuai Gambar 2.21.



Gambar 2.21 Struktur Penyangga Lightning Arrester

2.2.12 Lightning arrester dibagi menjadi dua jenis yang dapat dipilih sesuai dengan karakteristik surja tegangan lebih[10]

Berikut kedua jenis arrester tersebut adalah:

a. Lightning arrester dengan celah udara.

Lightning arrester celah udara di bagi menjadi tiga macam yaitu:

1. Arrester sela batang

Arrester sela batang berarti bahwa ketika perbedaan tegangan antara celah melebihi tegangan tembus antara saluran, percikan api terjadi di saluran samping, menyebabkan celah menjadi korsleting dan hubung singkat. Jarak sela dapat diatur sesuai kebutuhan.

2. Arrester ekspulsi

Arrester ekspulsi dipicu oleh arus sekunder yang memungkinkan dua interval (di dalam dan di luar) untuk memanaskan permukaan bagian dalam tabung serat dan melepaskan gas ketika surja petir terjadi di terminal.

3. Arrester katup

Arrester katup adalah arrester yang terdiri dari beberapa celah percikan yang dihubungkan secara seri dengan resistor non-linier. Resistor non-linier memiliki resistansi rendah ketika arus besar diterapkan, dan meningkat ketika arus kecil diterapkan.

b. Lightning arrester tanpa celah udara

Lightning Arester tanpa celah udara adalah Lightning Arester yang menggunakan ZnO dan banyak komponen aditif untuk memenuhi karakteristik yang diinginkan. Bahan dasar untuk membuat blok MOSA adalah ZnO (sekitar 90% berat), sedangkan zat aditif lainnya terdiri dari MnO, B₂O₃, NiO, Sb₂O₃, Cr₂O₃ (sekitar 10% berat).

2.2.13 Karakteristik lightning arrester

Lightning arrester yang baik memiliki karakteristik sebagai berikut:

1. Di bawah tegangan sistem normal, Lightning Arrester seharusnya tidak bekerja.
2. Semua transien tegangan puncak harus berfungsi untuk membawa arus ke tanah.
3. Lightning Arrester mengalirkan arus searah ke tanah tanpa merusak arrester atau membangkitkan tegangan tinggi pada terminal arrester.
4. Setelah kegagalan teratasi, arus sistem tidak boleh mengalir di tengah (mengikuti arus).
5. Arus bocor pada tegangan normal tidak melebihi referensi yang ditentukan.

2.2.14 Gangguan Lightning Arrester[2]

Macam-macam gangguan Lightning Arrester adalah:

a. Surja hubung

Surja hubung adalah aliran arus berhubungan antara konduktor yang berada di bawah tegangan atau tidak melewati beban secara langsung.

1. Pengisian saluran listrik dan kabel.
 - a. Mengisi daya saluran dengan sisi lain terbuka
 - b. Mengisi daya pada saluran dengan terminal transformator tanpa beban
 - c. Mengisi pada saluran melalui sisi tegangan rendah transformator
2. Mengisi ulang saluran transmisi saat menggunakan recloser dengan kecepatan tinggi.
3. Load rejection

Load rejection dipengaruhi oleh pembukaan pemutus sirkuit di ujung saluran, yang dapat diikuti oleh pembukaan saluran di ujung transmisi.
4. Proses menghidupkan dan mematikan perangkat.

Semua operasi switching pada elemen grid, terutama operasi pada peralatan berikut, menyebabkan terjadinya lonjakan.

- a. Reaktor switching tegangan tinggi
- b. Transformator sakelar yang dibebani oleh reaktor pada belitan tersier
- c. Nyalakan trafo tanpa beban
- d. Jika sistem gagal atau berhenti

a. Surja Petir

Surja Petir adalah suatu kumpulan awan yang mengandung muatan proton dan muatan elektron. Adapun pusat ini menginduksi bahwa muatan dengan polaritas yang berbeda akan mengarah ke awan ataupun juga ke bumi. Gradient potensial di udara antara pusat kematian di awan atau antara awan dan bumi tidak berbeda, akan tetapi kemungkinan terdapat gradient dengan tegangan yang lebih tinggi. Ketika gradient tegangan tinggi dari titik konsentrasi muatan dari awan besar dan nilai masuk udara terionisasi, udara menjadi terionisasi di wilayah konsentrasi tekanan yang tinggi.

2.2.15 Tegangan Pengenal Lightning Arrester

Tegangan pengenal arester adalah tegangan dimana arester beroperasi sesuai dengan karakteristik. Arester tidak beroperasi pada tegangan sistem maksimum sehingga dapat memutuskan arus sekunder dari sistem secara efektif.

Untuk menghitung tegangan pengenal arester dapat dilihat pada persamaan (2.20).

$$E_a = (V_{nominal} \times \eta) \times 110\% \dots\dots\dots (2.20)$$

dengan:

E_a = Tegangan pengenal Arrester

$V_{nominal}$ = Tegangan system Arrester

η = Koefisien Pentanahan Arrester (pada Arester 80%)

2.2.16 Arus Pelepasan

Arus pelepasan biasanya merupakan arus impuls puncak 8/20 μ s dan digunakan untuk mengklasifikasikan arrester. Untuk menentukan arus pelepasan Arrester digunakan persamaan (2.22).

$$I_a = \frac{2E - E_a}{Z + R} \dots\dots\dots(2.21)$$

$$R = \frac{\text{Tegangan Nominal}}{\text{Arus Nominal}} \dots\dots\dots(2.22)$$

dengan :

I_a = Arus Pelepasan Arrester (A)

E = Tegangan Surja Yang Datang (kV)

E_a = Tegangan Terminal Arrester (kV)

Z = Impedansi kawat transmisi

(Ω)=Impedansi surja (Surja Impedance)

R = Resistansi Saluran (Ω)

2.2.17 Arus Bocor[1]

Arus bocor adalah arus yang terjadi jika isolasi penghantar tidak dapat memenuhi standar yang berlaku, baik antar penghantar maupun ke bumi. Batas arus bocor sesuai standar internasional IEC 61643-1 adalah 1mA. Arus bocor yang terjadi dapat dipengaruhi oleh suhu kelembaban suatu tegangan karena semakin tinggi suhu kelembaban, semakin besar arus yang melintasi dan memasuki rangkaian.

Dari data itu bisa didapatkan nilai hambatan arrester melalui persamaan(2.23).

$$R_a = \frac{V_a}{I_a} \dots\dots\dots(2.23)$$

dengan:

R_a : Hambatan arrester ke tanah($M\Omega$)

V_a : Tegangan terminal arrester(kV)

I_a : Arus bocor arrester (mA)

Untuk menghitung arus bocor digunakan persamaan (2.24).

$$I_a = \frac{V_a}{R_a} \dots\dots\dots(2.24)$$

dengan:

R_a : Hambatan arrester ke tanah($M\Omega$)

V_a : Tegangan terminal arrester(kV)

I_a : Arus bocor arrester (mA)

2.2.18 Transformator Daya

Transformator daya berfungsi sebagai menyalurkan energi listrik dengan menaikkan atau menurunkan tegangan pada gardu induk. Dalam transformator daya terdapat Ada 2 jenis, yaitu transformator satu fasa dan transformator tiga fasa. Kapasitas transformator daya sama dengan daya dasar generator (kVA). Tegangan primer trafo yang dihasilkan 5% lebih rendah dari tegangan basis generator. Trafo daya yang dihubungkan dengan kabel transmisi tegangan tinggi memiliki faktor daya 1,0 atau leading. Untuk penggunaan sistem pengaturan tegangan dimungkinkan untuk mengatur tegangan generator.

Untuk melindungi trafo daya dari petir, yaitu dengan memasang penangkal petir dengan memperhatikan jarak antara arester dengan trafo dengan persamaan (2.25).

$$E_p = E_a + 2A \frac{S}{v} \dots\dots\dots(2.25)$$

dengan:

S = jarak penempatan arester

E_p = tegangan jepit trafo

E_a = tegangan percik arester

A = kecuraman gelombang datang

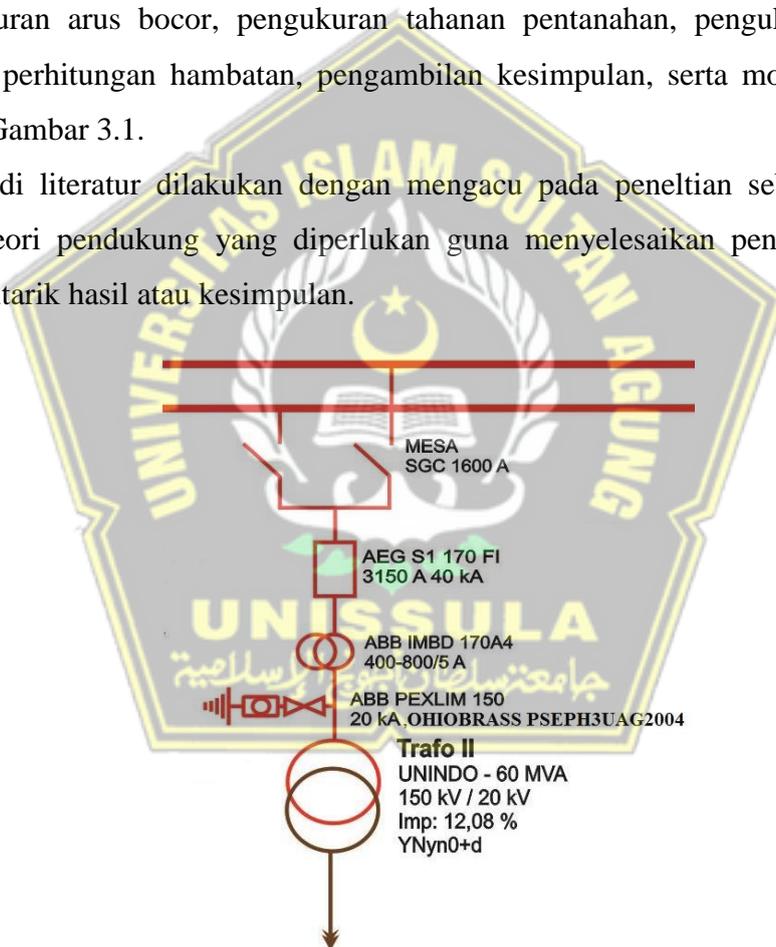
V = kecepatan rambat gelombang

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Model Penelitian

Penyusunan penelitian ini didasarkan dalam kejadian dilapangan, yaitu adanya arus bocor yang tinggi di lightning arrester saat kerja praktek di GI Jepara, penelitian yang direncanakan dengan mengacu dalam rumusan masalah. Langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk menunjang penelitian adalah studi literatur, pengukuran arus bocor, pengukuran tahanan pentanahan, pengukuran tahanan isolasi, perhitungan hambatan, pengambilan kesimpulan, serta model penelitian sesuai Gambar 3.1.

Studi literatur dilakukan dengan mengacu pada penelitian sebelumnya dan dasar teori pendukung yang diperlukan guna menyelesaikan penelitian supaya dapat ditarik hasil atau kesimpulan.



Gambar 3.1 Model penelitian single line LA di trafo II GI 150/20 kV Jepara

3.2 Peralatan yang digunakan

Peralatan yang digunakan untuk melakukan penyusunan penelitian ini antara lain:

a. Tang ampere

Fungsi tang ampere adalah sebagai berikut:

1. Sebagai alat ukur tegangan listrik

Digunakan untuk mengukur tegangan AC 1 fasa dan 3 fasa, selain itu juga bisa digunakan untuk mengukur tegangan DC.

2. Mengukur arus listrik

Digunakan untuk mengukur arus listrik AC, tang ampere juga dapat mengukur besaran arus hingga ribuan ampere tergantung kapasitasnya.

3. Mengukur hambatan atau ohm

Digunakan untuk mencari titik yang terjadi konsleting pada kabel listrik

b. Thermal

Thermograph Inframerah bertujuan untuk mengurangi tingkat kegagalan tak terduga pada peralatan listrik dan mekanik. Memiliki Fungsi utama adalah untuk mendeteksi suhu abnormal yang dapat mengindikasikan korosi, kabel rusak, dan sambungan longgar serta kerusakan pada isolasi.

c. Megger kyoritsu 3125 A

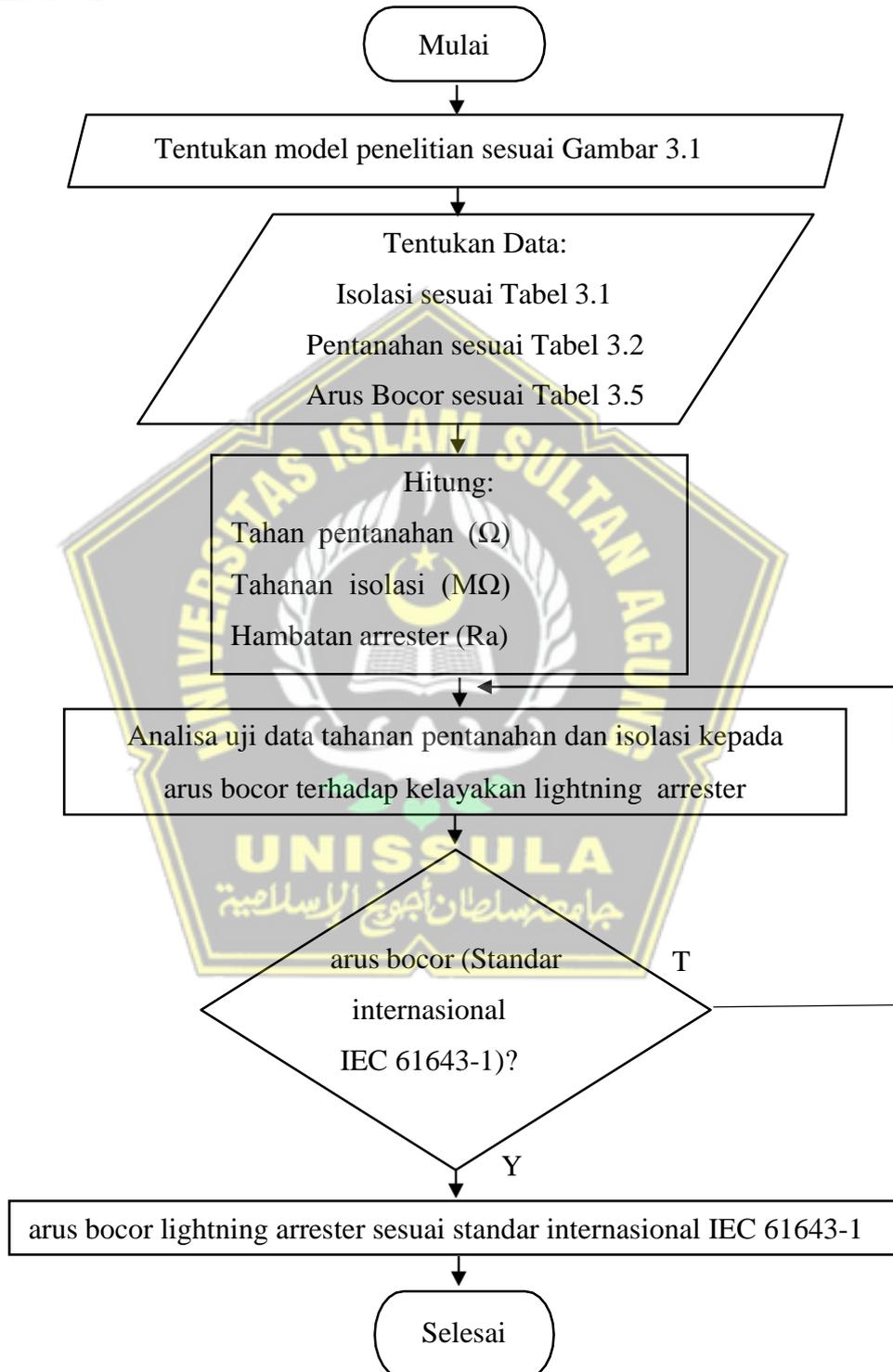
MEGA OHM adalah alat ukur yang berfungsi untuk mengukur tahanan isolasi dari alat insulasi suatu instalasi antara fase dan fase, atau dengan nol atau ground.

d. Earth tester kyoritsu 4105 A

Earth Tester adalah alat yang digunakan untuk mengukur nilai tahanan pentanahan (grounding), sangat penting untuk mengetahui besaran tahanan pentanahan sebelum pentanahan pada sistem pengamanan instalasi listrik.

3.3 Tahap Penelitian

Tahapan Penelitian ini digambarkan dalam diagram alir atau *flowcart* pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Flowchart

Untuk menentukan pengaruh arus bocor terhadap kelayakan lightning arrester pada transformator langkah awal adalah menentukan parameter-parameter yang dibutuhkan, parameter tersebut diantaranya adalah sebagai berikut:

- a. Mengukur suhu arrester
- b. Menentukan tahanan pentanahan arrester
- c. Menentukan tahanan isolasi arrester

Setelah mendapat parameter-parameter data yang dibutuhkan, langkah selanjutnya adalah menghitung tahanan pentanahan sesuai persamaan (2.13), menghitung tahanan isolasi sesuai persamaan (2.15), menghitung hambatan dan arus bocor arrester sesuai persamaan (2.23) dan menghitung tegangan kerja arrester sesuai persamaan (2.19)

3.4 Metode

Penelitian ini menggunakan metode primer yaitu dengan melakukan pengambilan data secara langsung ke gardu induk 150/20 kV Jepara melalui praktek langsung di lapangan dan wawancara. Kemudian melaksanakan pengukuran dan perhitungan secara langsung untuk melakukan perbandingan antara hasil dari alat ukur dan perhitungan sehingga kemudian menganalisa untuk mendapatkan solusi atau penelitian yang dilakukan.

Berikut data yang diperlukan dalam melakukan penelitian ini antara lain adalah :

Data isolasi lightning arrester pada Trafo daya II 60 MVA fasa T Gardu Induk 150/20 kV jepara dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Data isolasi lightning arrester pada Trafo daya II 60 MVA fasa T

Jenis Bahan	Polimer
Date	2004
U (Tegangan Kerja)	150 kV
Tahanan isolasi (Pengukuran)	63 kV

Data pentanahan lightning arrester pada trafo daya II 60 MVA phasa T gardu induk jepara 150/20 kV dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Data pentanahan lightning arrester pada trafo daya II 60 MVA phasa T gardu induk jepara 150/20 kV

Tahanan Pentanahan (Pengukuran)	0,4 Ω
Tahanan Jenis Tanah	100
Panjang Elektroda	3 meter
Diameter Elektroda	2 cm
Jari-jari Elektroda	1 cm
Phi (π)	3,14 atau $\frac{22}{7}$

Data Trafo daya II 60 MVA pada Gardu Induk 150/20 kV jepara dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 spesifikasi Trafo daya II 60 MVA gardu induk 150/20 kV jepara

Merk	UNINDO P060LEC757-18
Yr.manufactured	2013
Class	ONAN/ONAF
VA Rating	60 MVA
Ep	650 kV
Kv Voltage	150/20
Volume Oil	18000 Kg
Rated Frekuensi	50 Hz
Impedansi	12,08 %

Data Lightning Arester pada Trafo daya II 60 MVA phasa T Gardu Induk 150/20 kV jepara dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 spesifikasi lightning arrester pada trafo daya II 60 MVA phasa T gardu induk 150/20 kV jepara

Merk	ABB POWER TECHNOLOGIES AB
Made in	SWEDEN
Type	EXLIM P150-GV170
Date	2004
Ur	150 kV
Uc	108 kV
Pr- CI	63 kA
In	10 kA
A	$1000 \frac{kV}{\mu s}$

Data pengukuran suhu dan arus bocor lightning arrester pada trafo II gardu induk 150kV Jepara dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Data pengukuran suhu dan arus bocor lightning arrester pada trafo daya II 60 MVA gardu induk 150/20 kV Jepara

No	Jam	Phasa	Suhu (°C)	Arus Bocor (mA)
1	10:00	R	35,8 °C	0,23 mA
		S	36,6 °C	0,39 mA
		T	38,9 °C	1,418 mA
2	14:00	R	36,5 °C	0,22 mA
		S	36,5 °C	0,36 mA
		T	37,6 °C	1,32 mA
3	16:00	R	33,1 °C	0,19 mA
		S	33,9 °C	0,35 mA
		T	34,5 °C	1,29 mA

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

Pada bab IV dilakukan perhitungan tugas akhir analisa arus bocor terhadap kelayakan lightning arrester pada trafo daya II 60 MVA gardu induk 150/20 kV jepara berdasarkan data penelitian yang ditunjukkan pada Tabel 3.1 sampai 3.5 maka:

a. Perhitungan tahanan pentanahan arrester

Menentukan tahanan pentanahan arrester (single rod) sesuai Tabel 3.2 dapat dihitung menggunakan persamaan (2.13)

diketahui : ρ (tahanan jenis tanah) : 100

L (panjang elektroda) : 3 m = 300 cm

a (Jari – jari elektroda) : 1 cm

$$\begin{aligned} R &= \frac{\rho}{2\pi \cdot L} \left[\ln \left(\frac{4L}{a} \right) - 1 \right] \\ &= \frac{100}{2,3,14 \cdot 300} \left[\ln \left(\frac{4 \cdot 300}{1} \right) - 1 \right] \\ &= 0,05 \left[(\ln 1200) - 1 \right] \\ &= 0,05 [7,09 - 1] \\ &= 0,30 \Omega \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas nilai tahanan pentanahan lightning arrester di fasa T pada trafo daya 60 MVA mendapatkan nilai resistansi 0,30 Ω artinya masih dibawah standar PUIL 2000 yaitu $<5\Omega$.

b. Perhitungan tahanan isolasi arrester

Menentukan tahanan isolasi arrester sesuai Tabel 3.1 dapat dihitung menggunakan persamaan (2.15)

diketahui : V (Tegangan Kerja) : 150 kV

Q (Tegangan Megger) : 5000 V

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{1000 \cdot V}{Q} \cdot 2,5 \\
 &= \frac{1000 \cdot 150 \text{ kV}}{5000} \cdot 2,5 \\
 &= 30000 \cdot 150 \text{ kV} \cdot 2,5 \\
 &= 11,250 \text{ M}\Omega
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas nilai minimum tahanan isolasi untuk melindungi peralatan tegangan tinggi di gardu induk 150 kV khususnya lightning arrester adalah 11,250 M Ω

c. Perhitungan hambatan arrester

Menentukan nilai hambatan arus bocor mengacu pada Tabel 3.5 dihitung menggunakan persamaan (2.23)

Jam 10:00

Phasa R

$$\begin{aligned}
 R_a &= \frac{V_a}{I_a} \\
 &= \frac{150 \text{ kV}}{0,23} \\
 &= 652 \text{ M}\Omega
 \end{aligned}$$

Phasa S

$$\begin{aligned}
 R_a &= \frac{V_a}{I_a} \\
 &= \frac{150 \text{ kV}}{0,39} \\
 &= 384 \text{ M}\Omega
 \end{aligned}$$

Phasa T

$$\begin{aligned}
 R_a &= \frac{V_a}{I_a} \\
 &= \frac{150 \text{ kV}}{1,418} \\
 &= 105 \text{ M}\Omega
 \end{aligned}$$

Jam 14:00

Phasa R

$$\begin{aligned}
 R_a &= \frac{V_a}{I_a} \\
 &= \frac{150 \text{ kV}}{0,22} \\
 &= 681 \text{ M}\Omega
 \end{aligned}$$

Phasa S

$$\begin{aligned}
 R_a &= \frac{V_a}{I_a} \\
 &= \frac{150 \text{ kV}}{0,36} \\
 &= 416 \text{ M}\Omega
 \end{aligned}$$

Phasa T

$$\begin{aligned}
 R_a &= \frac{V_a}{I_a} \\
 &= \frac{150 \text{ kV}}{1,32} \\
 &= 113 \text{ M}\Omega
 \end{aligned}$$

Jam 16:00

Phasa R

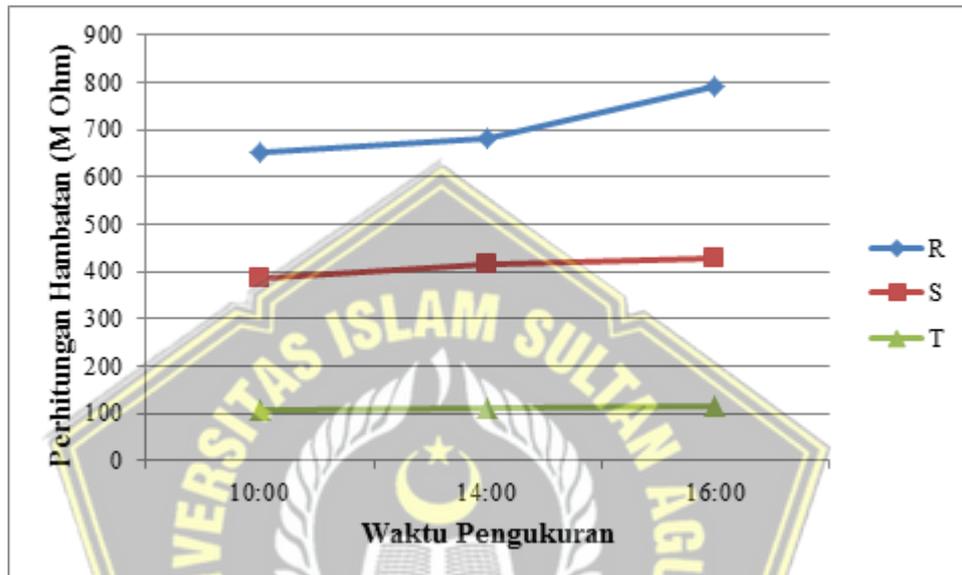
$$\begin{aligned}
 R_a &= \frac{V_a}{I_a} \\
 &= \frac{150 \text{ kV}}{0,19} \\
 &= 789 \text{ M}\Omega
 \end{aligned}$$

Phasa S

$$\begin{aligned}
 R_a &= \frac{V_a}{I_a} \\
 &= \frac{150 \text{ kV}}{0,35} \\
 &= 428 \text{ M}\Omega
 \end{aligned}$$

Phasa T

$$\begin{aligned}
 R_a &= \frac{V_a}{I_a} \\
 &= \frac{150 \text{ kV}}{1,29} \\
 &= 116 \text{ M}\Omega
 \end{aligned}$$



4.2 Pembahasan

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi terjadi arus bocor yaitu pentanahan (grounding) tahanan isolasi dan suhu. Dari data yang diambil dari gardu induk yang melakukan pemeliharaan trafo 1 tahun terakhir didapatkan nilai pentanahan dan tahanan isolasi pada tabel 4.1 sebagai berikut:

No.	Pengukuran	Alat ukur	Phasa T	Standart	Nilai
1.	Tahan isolasi (bawah-ground)	Kyoritsu 3125 A	✓	1kV/1M Ω	63 kV
2.	Pentanahan	Kyoritsu 4105 A	✓	<1 Ω	0,4 Ω

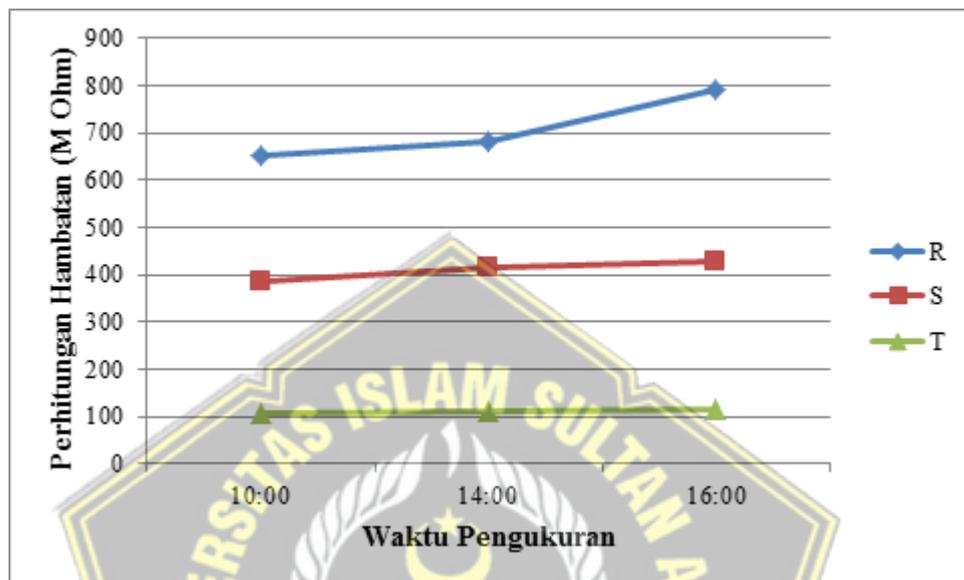
Dari data yang diambil dilapangan dengan melakukan perhitungan pada tahanan pentanahan didapatkan nilai tahanan $0,30 \Omega$ masih sesuai dengan data pemeliharaan tahun sehingga tahanan pentanahan LA di gardu induk jepara tidak menyebabkan arus bocor karena masih aman di bawah batas standar SPLN $<1 \Omega$ dan PUIL 2000 $<5 \Omega$.

Salah satu faktor penyebab arus bocor selain tahanan pentanahan yaitu tahanan isolasi. Dalam perhitungan tahanan isolasi yang mengacu pada data perhitungan yang diambil dilapangan mendapatkan nilai minimum tahanan isolasi $11,250 M\Omega$ untuk sistem $150 kV$, hasil dari pengukuran pemeliharaan tahun lalu yang mendapatkan nilai tahanan isolasi sebesar $63 kV$ dimana $63.200/5000 = 12,64 M\Omega$. Maka dari nilai tersebut diketahui bahwa data dari pengujian tahanan isolasi pada lightning arrester sudah melampaui nilai tahanan isolasi minimum yang ditentukan yaitu standar PUIL 2011: SNI 0225 dimana voltase sirkit minimal $5000 V$, maka tahanan isolasinya $> 1M\Omega$. Akan tetapi setelah 6 bulan dari pemeliharaan LA arus bocor yang terdapat pada arrester pada trafo II phasa T mengalami kenaikan sebesar $1,418mA$, Kenaikan bisa terjadi karena bahan isolator jenis polimer yang sudah buruk, di karenakan isolator sudah mulai kotor terdapat kerak-kerak akibat cuaca sehingga menyebabkan nilai hambatan dari isolator turun. Atau bisa juga karena faktor usia sehingga hal ini bisa menyebabkan arus bocor tinggi terjadi karena isolasi penghantar tidak dapat memenuhi standart yang berlaku. Ini yang harus diperhatikan oleh pihak gardu induk dimana semakin besar nilai tahanan isolasi maka akan semakin kecil arus yang mengalir ke peralatan. Sehingga diperlukan perawatan rutin karena isolasi berperan sangat penting untuk melindungi LA dan juga agar tidak menyebabkan arus bocor tinggi yang dapat menyebabkan kegagalan LA dalam melaksanakan pekerjaanya.

Dari pengukuran yang dilakukan arus bocor lightning arrester pada phasa RST trafo II gardu induk $150/20 kV$ jepara mendapatkan arus bocor R $0,23mA$, S $0,39mA$ dan T $1,418mA$. Di phasa T arus bocor melebihi batas standar internasional IEC 61643-1 yang ditentukan yaitu $1mA$. salah satu hal yang mempengaruhi besarnya arus bocor adalah suhu yang mencapai $38,9 ^\circ C$.

Menurut teori semakin tinggi suhu maka nilai arus bocor juga akan semakin besar.

Dalam perhitungan hambatan yang dilakukan mendapatkan gambaran garfik dibawah ini:



Bahwa di jam 10:00 phasa R mendapatkan hambatan sebesar 652 M Ω , phasa S mendapatkan hambatan sebesar 384 M Ω , phasa T mendapatkan hambatan sebesar 105 M Ω . Ini diartikan bahwa semakin besar nilai suatu arus bocor maka nilai hambatan juga akan semakin kecil, tentu ini berdampak pada tahanan isolasi karena semakin kecil nilai hambatan maka akan semakin buruk tahanan isolasi tersebut sehingga terjadilah arus bocor karena arus bocor hambatan saling berkaitan satu sama lain.

Sehingga Lightning Arrester Trafo daya II 60 MVA pada phasa T dengan arus bocor yang melebihi standar 1mA dalam hal ini arrester tidak layak atau tidak dalam kondisi baik dalam melakukan kinerjanya untuk mengamankan trafo daya tersebut sehingga pihak gardu induk harus memperbaiki nilai arus bocor tersebut supaya arrester mampu secara baik untuk mengamankan trafo daya.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan analisa yang telah dilakukan dalam penelitian pengaruh arus bocor terhadap kinerja lightning arrester pada trafo II gardu induk 150 kV jepara maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai tahanan pentanahan lightning arrester pada trafo daya II fasa T di gardu induk 150/20 kV jepara sebesar $0,3\Omega$ artinya nilai tersebut sudah memenuhi standar PUIL 2000 yaitu $<5\Omega$ sehingga tahanan pentanahan di lightning arrester tersebut tidak mempengaruhi terjadinya arus bocor mengalami peningkatan.
2. Nilai tahanan isolasi lightning arrester pada trafo daya II fasa T di gardu induk 150/20 kV jepara sebesar $12,64\text{ M}\Omega$ sedangkan minimum tahanan isolasi sebesar $11,250\text{ M}\Omega$. Setelah 18 bulan pemeliharaan nilai tahanan isolasinya turun sehingga menyebabkan arus bocor mengalami peningkatan.
3. Nilai arus bocor tertinggi terjadi di fasa T pada lightning arrester di trafo daya 60 MVA II gardu induk 150 kV nilai arus bocor mencapai $1,418\text{mA}$, tentunya nilai tersebut melebihi batas standar internasional IEC 61643-1 yaitu sebesar 1mA .
4. Dalam perhitungan hambatan fasa R mendapatkan hambatan sebesar $652\text{ M}\Omega$, fasa S mendapatkan hambatan sebesar $384\text{ M}\Omega$, fasa T mendapatkan hambatan sebesar $105\text{ M}\Omega$. Ini diartikan bahwa semakin besar nilai suatu arus bocor maka nilai hambatan juga akan semakin kecil, tentu ini berdampak pada tahanan isolasi karena semakin kecil nilai hambatan maka akan semakin buruk tahanan isolasi tersebut sehingga terjadilah arus bocor karena arus bocor hambatan saling berkaitan satu sama lain. Hal ini membuat lightning arrester dalam kondisi tidak layak dalam mengamankan trafo daya karena bisa menyebabkan kegagalan dalam melaksanakan kerjanya.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian ini dapat dikembangkan lagi dengan menggunakan software-software yang berhubungan dengan simulasi pengujian ketahanan peralatan-peralatan tegangan tinggi lainnya di gardu induk terutama terhadap gangguan dari surja petir sehingga dapat mengetahui kinerja arrester dalam mengamankan peralatan tegangan tinggi di gardu induk tersebut.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Romadona, "Hubungan arus arrester terhadap suhu di gi wonogiri," 2018.
- [2] iqbal pulgar Ramadhan, "KINERJA LIGHTNING ARRESTER YANG BERUSIA LEBIH DARI 30 TAHUN DI GARDU INDUK 150 kV SRONDOL PT.PLN (PERSERO) UPT SEMARANG," 2019.
- [3] I. K. A. Y. Bhaskara, I. G. D. Arjana, and I. M. Suartika, "Analisa Kegagalan Lightning Arrester Pada Penyulang Sulahan Bangli," *J. Spektrum*, vol. 6, no. 3, pp. 94–100, 2019.
- [4] W. Hidayat, "Evaluasi Kondisi Lightning Arrester Di Gardu Induk Jatirangon Dengan Metode Pengujian Tahanan Isolasi Dan Tahanan Pembumian Dalam Rangka SLO (Sertifikasi Laik Operasi)," *Inst. Teknol. - Pln*, 2020.
- [5] A. Syakur, A. Warsito, and L. Nilawati, "Kinerja Arrester Akibat Induksi Sambaran Petir Pada Jaringan Tegangan Menengah 20 kV," *Transm. J. Tek. Elektro*, vol. 11, no. 1, pp. 09–14, 2009.
- [6] J. GINTING, "ANALISA EFEK TEGANGAN INDUKSI KARENA SAMBARAN PETIR PADA AREA OPERASIONAL PT. X," 2011, [Online]. Available: <https://denmasbejo.net/kelistrikan/switchgear/circuit-breaker/pengukuran-tahanan-isolasi-pemutus-tenaga.html>.
- [7] F. T. RIZKI, "EVALUASI PENENTUAN JARAK AMAN LIGHTNING ARESTER-TRAFO DAYA 60 MVA GARDU INDUK 150 KV SUNYARAGI CIREBON FINAL PROJECT EVALUATION SAFE DISTANCE LIGHTNING ARESTER- POWER TRANSFORMATOR 60 MVA FOR PROTECTION GARDU INDUK 150 KV SUNYARAGI CIREBON," 2020.
- [8] Nurhabibah naibaho, "Analisa sistem pentanahan elektroda ROD," vol. 67, 2017.
- [9] T. Rusdjaja, *BUKU PEDOMAN PEMELIHARAAN LIGHTNING ARRESTER (LA)*, vol. 7, no. 2. 2013.

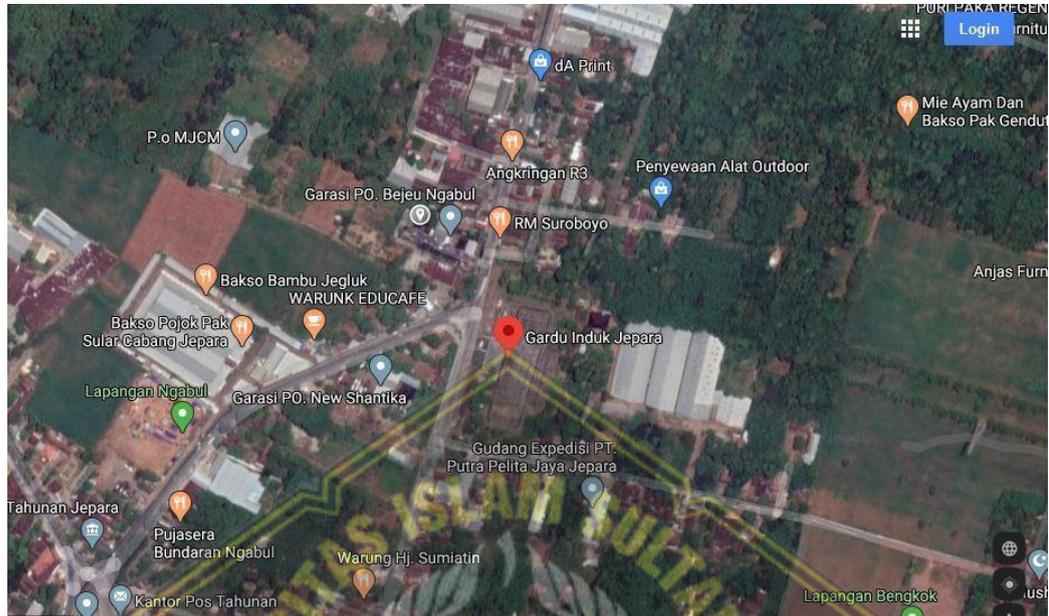
- [10] D. Andriawan, "Kinerja Arrester Yang Sudah Berusia Lebih Dari 10 Tahun Di Gardu Induk 150 KV Ungaran - Semarang," *J. Tek. Elektro*, vol. 6, no. 2, 2014, doi: 10.15294/jte.v6i2.3582.



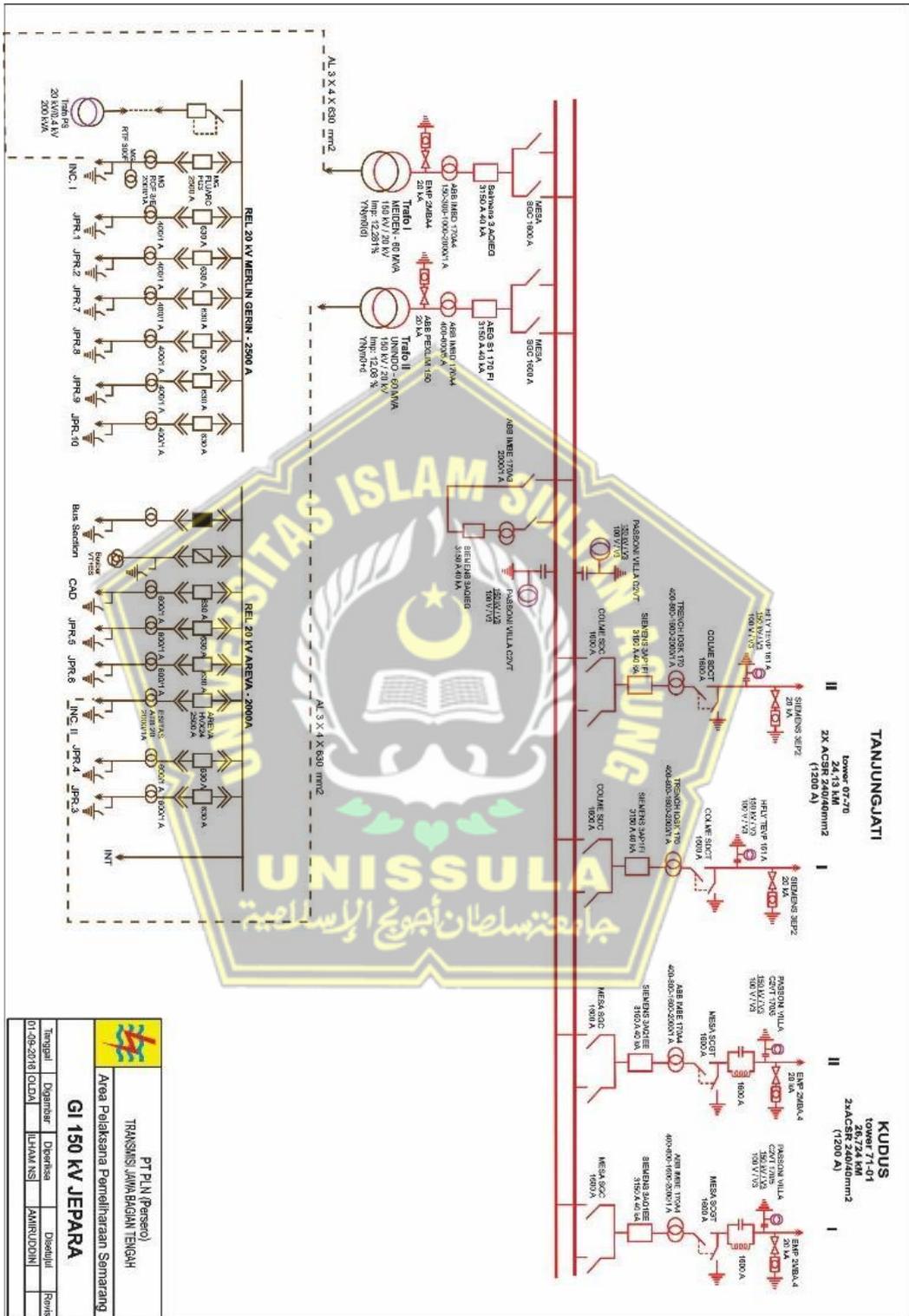


Lampiran

Lampiran 1. Lokasi Gardu induk 150/20 kV Jepara



Lampiran 2. Single line diagram Gardu induk 150/20 kV Jepara



		PT PLN (Persero)	
		TRANSKISI JAWA BAGIAN TENGAH	
Area Pelaksanaan Pemeliharaan Semarang			
Tanggal	Digambar	Diperiksa	Disetujui
01-09-2016	QUDM	ILHAMANS	AMRUDONI
Revisi			

Lampiran 3. Data pemeliharaan lightning arrester pada trafo daya II 60 MVA Gardu induk 150/20 kV Jepara

	PT. PLN (PERSERO)		No. FORM/TJBT/06.2						
	TANSMISI JAWA BAGIAN TENGAH AREA PELAKSANA PEMELIHARAAN SEMARANG Jalan : Jend.Sudirman km.23 Gedung C - 50511 Telp. : (024) 6922402 , JWOT.30999 FAX. (024) 6921235								
PENGUJIAN LA (LIGHTNING ARRESTER)									
II Hasil Uji :									
1 Tahanan Isolasi (Mo)									
Megger	:	5000 V	0 -> 1000	GΩ					
Titik Ukur	Fasa R			Fasa S			Fasa T		
	Standard	Th.Lalu	Hasil ukur	Standard	Th.Lalu	Hasil ukur	Standard	Th.Lalu	Hasil ukur
1.1. Atas - Bawah	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.2. Atas - Ground	1kV/1MΩ	37.400	47.600	1kV/1MΩ	183.400	322.000	1kV/1MΩ	200.000	443.000
1.3. Tengah - Ground		41.900	56.800		41.700	318.000		85.500	447.000
1.3. Bawah - Ground		26.600	294.000		39.400	430.000		73.200	63.200
2 Tahanan Pentanahan (Ω)									
Titik Ukur	Fasa R			Fasa S			Fasa T		
	Standard	Th.Lalu	Hasil ukur	Standard	Th.Lalu	Hasil ukur	Standard	Th.Lalu	Hasil ukur
Tahanan Pentanahan	< 1 Ω	0,14	0,6	< 1 Ω	0,15	0,5	< 1 Ω	0,15	0,4.
3 Counter Arrester									
Counter Arrester	Fasa R			Fasa s			Fasa t		
	Th.Lalu	Hasil Ukur	Th.Lalu	Hasil Ukur	Th.Lalu	Hasil Ukur	Th.Lalu	Hasil Ukur	
Counter Arrester	139 → 135	0	25 → 25	25.	124 → 125	126.			
Catatan : Perhitungan watt loss Pada LA :									
QR : 0,0185104 watt									
QS : 0,0457898 watt									
QT : 0,0448441 watt									
Alat Uji									
Merk	Tahanan isolasi			Tahanan pentanahan					
Type	HYOKITSU			KYOKITSU					
No. Serie	3125			4105					
Pelaksana Uji :									
1	Rahil. A.	Supervisi / Pngws. Pekerjaan			Tanda tangan :				
2	Umam	Supervisi GI			Ilham.				
3	Bayu.	Pengawas Pekerjaan			Sefianto.				

Lampiran 4. Lembar revisi seminar tugas akhir



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp.(024) 6583584 (8 Sal) Fax.(024) 6582455
email: informasi@unissula.ac.id web : www.unissula.ac.id

Fakultas Teknologi Industri

Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

LEMBAR REVISI SEMINAR TUGAS AKHIR

Berdasarkan Rapat Tim Penilai Seminar Tugas Akhir :

Hari : Jum'at
Tanggal : 23 Juli 2021
Tempat : Online

Memutuskan bahwa mahasiswa :

Nama : **Okto Hendri Gunawan**
NIM : **30601700030**
Konsentrasi : **Teknik Sistem Tenaga**
Judul TA : **Analisis Arus Bocor Terhadap Kelayakan Lightning Arrester Pada Trafo Daya 60 MVA Gardu Induk 150/20 kV Jepara**

wajib melakukan perbaikan seperti tercantum dibawah ini:

NO.	REVISI	BATAS REVISI
1.	Judul di pertegas lagi : Trafo II 60 MVA.....	1 Minggu
2.	Pada latar belakang diperjelas lagi fasa mana yang bermasalah.	
3.	Judul, latar belakang, perumusan masalah, hasil dan kesimpulan harus sinkron	
4.	Hasil pengukuran arus bocor untuk fasa R dan S nya dicantumkan juga, sebagai pembandingan dengan fasa T yang bermasalah.	
5.	Perhitungan nilai hambatan isolasi (yang dilalui arus bocor) satuannya masih salah , cek lagi. Hitung juga untuk fasa R dan T.	

Semarang, 23 Juli 2021

Penilai,


Dedi Nugroho, ST., MT.



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
1. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp.(024) 6583584 (8 Sal) Fax.(024) 6582455
email: informasi@unissula.ac.id web : www.unissula.ac.id

Fakultas Teknologi Industri

Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

LEMBAR REVISI SEMINAR TUGAS AKHIR

Berdasarkan Rapat Tim Penilai Seminar Tugas Akhir :

Hari : **Jum'at**
Tanggal : **23 Juli 2021**
Tempat : **Online**

Memutuskan bahwa mahasiswa :

Nama : **Okto Hendri Gunawan**
NIM : **30601700030**
Konsentrasi : **Teknik Sistem Tenaga**
Judul TA : **Analisis Arus Bocor Terhadap Kelayakan Lightning
Arrester Pada Trafo Daya 60 MVA Gardu induk 150/20
kV Jepara**

wajib melakukan perbaikan seperti tercantum dibawah ini.

NO.	REVISI	BATAS REVISI

Semarang, 23 Juli 2021

Penilai,

Ir. Agus Adhi Nugroho, MT.

Lampiran 5. Lembar revisi sidang tugas akhir



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp.(024) 6583584 (8 Sal) Fax.(024) 6582455
email: informasi@unissula.ac.id wcb : www.unissula.ac.id

Fakultas Teknologi Industri

Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

LEMBAR REVISI dan TUGAS UJIAN SARJANA

Berdasarkan Rapat Tim Penguji Ujian Sarjana

Hari : Kamis
Tanggal : 12 Agustus 2021
Tempat : Online

Memutuskan bahwa mahasiswa :

Nama : Okto Hendri Gunawan
NIM : 30601700030
Judul TA : Analisis arus bocor terhadap kelayakan lightning arrester pada trafo daya II 60 MVA gardu induk 150/20kV jepara

wajib melakukan perbaikan dan membuat tugas seperti tercantum dibawah ini:

NO	REVISI	BATAS REVISI

NO	TUGAS

Mengetahui,
Ketua Tim Penguji

Dedi Nugroho, ST., MT.
NIDN. 0617126602

Semarang, 12 Agustus 2021
Penguji, I

Dedi Nugroho, ST., MT.
NIDN. 0617126602



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp.(024) 6583584 (8 Sal) Fax.(024) 6582455
email: informasi@unissula.ac.id web : www.unissula.ac.id

Fakultas Teknologi Industri

Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

LEMBAR REVISI dan TUGAS UJIAN SARJANA

Berdasarkan Rapat Tim Penguji Ujian Sarjana

Hari : Kamis
Tanggal : 12 Agustus 2021
Tempat : Online

Memutuskan bahwa mahasiswa :

Nama : Okto Hendri Gunawan
NIM : 30601700030
Judul TA : Analisis arus bocor terhadap kelayakan lightning arrester pada trafo daya II 60 MVA gardu induk 150/20kV jepara

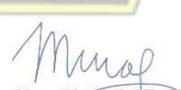
wajib melakukan perbaikan dan membuat tugas seperti tercantum dibawah ini:

NO	REVISI	BATAS REVISI
	Menjelaskan pengaruh tahanan isolator/ tahanan pentanahan terhadap arus bocor disertai sumber referensi Grafik suhu dan tahanan isolator terhadap waktu disertai satuan dan grafik jenis line Flowcart mulai dan berhenti memakai type terminator	
NO	TUGAS	

Mengetahui
Ketua Tim Penguji


Dedi Nugroho, ST., MT.
NIDN. 0617126602

Semarang, 12 Agustus 2021
Penguji, II


Munaf Ismail, ST., MT.
NIDN. 210616054



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp.(024) 6583584 (8 Sal) Fax.(024) 6582455
email: informasi@unissula.ac.id web : www.unissula.ac.id

Fakultas Teknologi Industri

Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

LEMBAR REVISI dan TUGAS UJIAN SARJANA

Berdasarkan Rapat Tim Penguji Ujian Sarjana

Hari : Kamis
Tanggal : 12 Agustus 2021
Tempat : Online

Memutuskan bahwa mahasiswa :

Nama : Okto Hendri Gunawan
NIM : 30601700030
Judul TA : Analisis arus bocor terhadap kelayakan lightning arrester pada trafo daya II 60 MVA gardu induk 150/20kV jepara

wajib melakukan perbaikan dan membuat tugas seperti tercantum dibawah ini:

NO	REVISI	BATAS REVISI
	Rumusan , tujuan, kesimpulan	

NO	TUGAS
	Prinsip PMT, LA dan PMS

Mengetahui,
Ketua Tim Penguji

Dedi Nugroho, ST., MT.

Semarang, 12 Agustus 2021
Penguji, III

Ir. H. Sukarno Budi Utomo, MT.



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp.(024) 6583584 (8 Sal) Fax.(024) 6582455
email: informasi@unissula.ac.id web : www.unissula.ac.id

Fakultas Teknologi Industri
NIDN. 0617126602

Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah
NIDN. 0619076401



Lampiran 6. Makalah tugas akhir

ANALISIS ARUS BOCOR TERHADAP KELAYAKAN LIGHTNING ARRESTER PADA TRAFODAYA II 60 MVA GARDU INDUK 150/20 kV JEPARA

Okto Hendri Gunawan¹⁾, Muhamad Haddin²⁾, Agus Adhi Nugroho³⁾

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Jl. Kaligawe Raya Km 4, Kota Semarang, Jawa Tengah 50112, Indonesia

Email : ¹⁾ hendryg23@std.unissula.ac.id, ²⁾ haddin@unissula.ac.id ³⁾ agusadhi@unissula.ac.id

ABSTRACT

Lightning arrester serves to protect the danger of lightning strikes that go to high tension equipment at substation 150/20 kV Jepara is mainly Transformer Power. The problem that occurs in GI 150/20 kV Jepara, lightning arrester at the transformer has experienced interference that there has been spotting in the lightning arrester on phase T caused by leaking currents that increase beyond standards.

The results showed that the leaking flow of lightning arrester at Transformer II GI 150/20 kV Jepara phase R 0.23mA, S 0.39mA and T 1.418mA. In phase T the leaking current exceeds the international standard limit IEC 61643-1 specified which is 1mA. High leaking current due to the value of isolation prisoners are not good, In the calculation of obstacles phase R get obstacles of 652 M Ω , phase S get obstacles of 384 M Ω , phase T get pestbatan of 105 M Ω . This means that the greater the value of a leaky current, the lower the resistance value, of course this has an impact on isolation prisoners because the smaller the resistance value, the worse the isolation prisoner so that there is a leaky current because the leaking current is related to each other. This makes the lightning arrester in an unfit condition in securing the power transformer because it can cause failure in carrying out its performance.

Keywords: Lightning Arrester, Leaking Current, LA Feasibility on Power Transformer 60 MVA

ABSTRAK

Lightning arrester berfungsi untuk melindungi bahaya sambaran petir yang menuju peralatan tegangan tinggi di Gardu Induk 150/20 kV Jepara utamanya adalah Trafo Daya. Permasalahan yang terjadi di GI 150/20 kV Jepara, lightning arrester di trafo pernah mengalami gangguan yaitu pernah terjadi bercak di lightning arresternya pada fase T disebabkan karena arus bocor yang meningkat melebihi standar.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa arus bocor lightning arrester pada Trafo II GI 150/20 kV Jepara fase R 0,23mA, S 0,39mA dan T 1,418mA. Di fase T arus bocor melebihi batas standar internasional IEC 61643-1 yang ditentukan yaitu 1mA. arus bocor yang tinggi disebabkan karena nilai tahanan isolasi yang kurang bagus, Dalam perhitungan hambatan fase R mendapatkan hambatan sebesar 652 M Ω , fase S mendapatkan hambatan sebesar 384 M Ω , fase T mendapatkan hambatan sebesar 105 M Ω . Ini diartikan bahwa semakin besar nilai suatu arus bocor maka nilai hambatan juga akan semakin kecil, tentu ini berdampak pada tahanan isolasi karena semakin kecil nilai hambatan maka akan semakin buruk tahanan isolasi tersebut sehingga terjadilah arus bocor karena arus bocor hambatan saling berkaitan satu sama lain. Hal ini membuat lightning arrester dalam kondisi tidak layak dalam mengamankan trafo daya karena bisa menyebabkan kegagalan dalam melaksanakan kerjanya.

Kata Kunci: Lightning Arrester, Arus bocor, Kelayakan LA pada Trafo Daya 60 MVA

I. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik dihasilkan dari pusat-pusat tenaga listrik melalui saluran transmisi dan distribusi ke konsumen melalui Trafo Daya 150/20 kV. Sambaran petir pada sistem transmisi gardu induk dilindungi proteksi antara lain dengan rod gap, grounding menara, grounding tanah dan lightning arrester (LA). LA berfungsi untuk melindungi peralatan pada gardu induk khususnya Trafo Daya. Lightning arrester (LA) adalah alat proteksi terhadap surja hubung dan surja petir untuk

mengamankan peralatan tegangan tinggi di gardu induk. Petir merupakan fenomena alam yang menyebabkan rusaknya peralatan tegangan tinggi pada jaringan distribusi. Sambaran petir dapat menyebabkan terjadinya flashover karena tingkat isolasi yang digunakan dan tegangan lebih yang diakibatkan oleh sambaran petir. Permasalahan yang terjadi di gardu induk 150/20 kV jepara, lightning arrester trafo daya II 60 MVA di fase T pernah mengalami gangguan yaitu pernah terjadi bercak di lightning arresternya disebabkan karena arus bocor yang meningkat melebihi standar, kemudian sangat berbahaya

karena dapat mengakibatkan terjadi kegagalan dalam melakukan kinerja (lightning arrester). Arus bocor adalah arus yang terjadi jika isolasi penghantar tidak memenuhi kriteria standar yang ditentukan baik antara penghantar maupun ground.

Solusi yang diperlukan untuk memperbaiki arus bocor yaitu dengan melakukan pengukuran secara rutin terhadap arus bocor tersebut, batas maksimal arus bocor sesuai standar internasional IEC 61643-1 adalah 1mA. Kemudian memperbaiki tahanan pentanahan dan tahanan isolasi lightning arrester.

Dari permasalahan tersebut sehingga penulis mengangkat judul “ANALISIS ARUS BOCOR TERHADAP KELAYAKAN LIGHTNING ARRESTER PADA TRAFODAYA II 60 MVA GARDU INDUK 150/20 kV JEPARA”.

II. Kajian Pustaka

a) Meninjau dari penelitian-penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh romadona pada tahun 2018 yang berjudul “Analisis hubungan arus lightning arrester terhadap suhu di gardu induk wonogiri” mendapatkan hasil penelitian Hasil penelitian dimana suhu sedikit berpengaruh dalam kenaikan arus bocor di gardu induk wonogiri, peneliti mengambil data arus bocor serta suhu di gardu induk wonogiri selama 24 jam, hasil penelitian yang dilakukan keadaannya normal sesuai standar, arus bocornya tidak melebihi 2mA, suhunya berkisar 32°C. Selain penelitian tersebut meninjau dari penelitian Ramadhan pada tahun 2019 yang berjudul “Analisis kinerja lightning arrester yang berusia lebih dari 30 tahun di gardu induk 150 kV sronдол PT.PLN (persero) UPT Semarang” mendapatkan hasil penelitian dimana memperoleh data perubahan arus bocor, temperatur, dan umur lightning arrester selama empat tahun terakhir, melakukan analisis regresi sederhana untuk memperkirakan batas umur penggunaan lightning arrester, hasilnya arus bocor lightning arrester menunjukkan nilai presentase dengan kaondisi 97,91% baik dan masih layak untuk beroperasi. Kemudian diperoleh korelasi suhu dan arus bocor sebesar 0,416197 sehingga dapat dianalisa usia lightning arrester di bay penghantar pandedanlamper 2 yaitu 37 tahun. Selain penelitian tersebut meninjau dari

penelitian Bhaskara Arjana dan Suartika yang dilakukan pada tahun 2019 yang berjudul “Analisa kegagalan lightning arrester pada penyulang sulahan bangli” mendapatkan hasil penelitian dimana tahanan pentanahan penyulang sulahan berada di atas 5 ohm dan menyebabkan lightning arester tidak berfungsi secara baik. Multi chamber arrester adalah arester yang tidak mempengaruhi nilai tahanan tanah. Setelah memasang multi chamber arrester maka jumlah kegagalan berkurang menjadi satu pada tahun 2017. meninjau dari penelitian Hidayat yang dilakukan pada tahun 2020 yang berjudul “Evaluasi kondisi lightning arrester di gardu induk jatirangon dengan metode pengujian tahanan isolasi dan tahanan pembumian dalam rangka SLO (Sertifikasi Laik Operasi)” mendapatkan hasil dimana nilai tahanan isolasi pada titik bawah-ground mendapatkan nilai 0,2 MΩ dimana ini kurang dari standar yang ditentukan sehingga perlu dilakukan pergantian isolasi karena semakin besar nilainya maka semakin kecil arus yang mengalir ke titik yang bertegangan.

A. Petir

Petir adalah suatu kumpulan awan yang mengandung muatan proton dan muatan elektron. Adapun pusat ini menginduksi bahwa muatan dengan polaritas yang berbeda akan mengarah ke awan ataupun juga ke bumi. Gradient potensial di udara antara pusat kematian di awan atau antara awan dan bumi tidak berbeda, akan tetapi kemungkinan terdapat gradient dengan tegangan yang lebih tinggi. Ketika gradient tegangan tinggi dari titik konsentrasi muatan dari awan besar dan nilai masuk udara terionisasi, udara menjadi terionisasi di wilayah konsentrasi tekanan yang tinggi.

Ada dua jenis sambaran petir, yaitu sambaran petir langsung dan sambaran petir tidak langsung. Adapun sambaran petir langsung terjadi yaitu ketika petir menyambar langsung ke kawat fasa atau kawat pelindung sedangkan untuk sambaran petir tidak langsung terjadi yaitu ketika terjadi petir menyambar benda di dekat saluran listrik.

B. Sistem Pembumian

Unit instalasi yang melepaskan arus petir ke tanah, semakin tinggi konduktivitas listrik tanah dengan logam, semakin baik efeknya. Kelayakan yang tepat harus menggunakan pengujian sistem pentanahan untuk mencapai

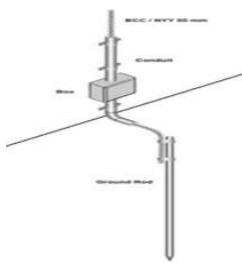
ketahanan benturan maksimum 5 ohm (PUIL, 2000: 68). Namun, untuk area ketanahan tanah yang sangat tinggi maka nilai total keseluruhan sistem mencapai 10 ohm (PUIL, 2000: 68).

Aspek yang mempengaruhi sistem pembumian (ground system) :

- a. Kadar air : Jika air dangkal maka nilai hambatan yang didapat akan baik untuk meneruskan sambaran, karena sela-sela tanah mengandung air yang cukup banyak dimana konduktivitas bumi akan lebih baik.
- b. Mineral : Kandungan mineral tanah mempengaruhi nilai resistansi, oleh karena itu semakin tinggi kandungan logam dan mineral tanah maka semakin mudah untuk memanaskan tanah.
- c. Derajat keasaman: Semakin asam tanah (nilai PH <7), semakin mudah untuk menghantarkan listrik, ataupun sebaliknya. Misalnya, nilai PH tinggi maka akan menghasilkan warna terang.
- d. Tekstur tanah: Untuk daerah dengan tekstur berpasir dan berpori maka akan sulit mencapai ketahanan petir yang baik. Oleh karena itu jenis tanah, air serta mineral mudah hilang dan tanah akan mudah kering.

1. Single Grounding Rod [1]

Single Grounding Rod adalah sistem grounding terdiri dari satu titik dengan pentanahan batang (rod) debit arus atau batang pentanahan dengan kedalaman tertentu, misalnya dengan kedalaman 6 meter. Area sifat tanah yang konduktif akan mudah mencapai tahanan kurang dari 5 ohm dengan ground rod. Mekanisme single Grounding road seperti Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Singgle Grounding Rod

Untuk menghitung nilai pentanahan single grounding rod adalah sebagai berikut menurut persamaan (2.1).

$$R = \frac{\rho}{2\pi.L} \left[\ln \left(\frac{4L}{a} \right) - 1 \right] \quad (2.1)$$

dengan:

L = Panjang Elektroda

a = Jari-jari elektrode

ρ = Tahanan jenis tanah (ohm meter)

C. Tingkat Isolasi Dasar Tingkat Isolasi Dasar (TID) [2]

TID adalah acuan tingkat isolasi yang diberikan pada suatu peralatan pada tegangan tinggi tertentu yang dinyatakan dalam tegangan impuls standar, sehingga insulasi peralatan listrik tersebut memiliki tahanan impuls. Tingkat isolasi yang sama, kecuali trafo yang dibuat dengan insulasi rendah karena ekonomis dan pada umumnya trafo diproteksi secara langsung dengan arrester, seperti trafo arus, PMT, PMS, CT, PT dibuat dengan. Karena lokasinya yang dekat dengan trafo, beberapa peralatan di stasiun trafo akan ditempatkan di luar kawasan lindung yang ditahan. Kawasan lindung ditentukan oleh tahanan isolasi dan tegangan operasi peralatan dari penangkal petir dan jarak dari penangkal petir ke peralatan. Peralatan yang terletak di luar arrester harus dilengkapi dengan tingkat isolasi dasar pada satu tingkat lebih tinggi. Kondisi kawasan lindung ini ditentukan oleh :

1. Resistansi isolasi terhadap peralatan
2. tegangan kerja untuk arrester
3. jarak antara arrester dan peralatan.

Untuk menentukan tahanan minimal isolasi dapat dihitung dengan persamaan (2.2).

$$R = \frac{1000.U}{Q} U. 2,5 \quad (2.2)$$

dengan:

R : Tahanan Isolasi minimal

U : Tegangan Kerja

Q : Tegangan Megger

1000 : Bilangan Tetap

2,5 : Faktor Keamanan (Apabila Baru)

D. Lightning Arrester[3]

Lightning arrester (LA) adalah alat proteksi terhadap surja hubung dan surja petir untuk mengamankan peralatan tegangan tinggi di gardu induk. Lightning arrester harus bertindak sebagai isolator, menghantarkan beberapa miliampere arus bocor ke bumi dalam sistem tegangan listrik dan menjadi konduktor selama operasi, menghantarkan ribuan ampere arus impuls ke bumi, memiliki tegangan di bawah tegangan penahan. peralatan jika terjadi tegangan lebih, menghilangkan arus sisa yang mengalir dari sistem melalui arrester setelah berhasil membumikan tegangan lebih atau tegangan surja.

- a. Fungsi Lightning arrester adalah pada saat terjadi sambaran petir atau tegangan lebih sebelum mencapai peralatan tegangan tinggi maka Lightning arrester akan mengarahkan tegangan lebih atau surja petir ke tanah sehingga peralatan tegangan tinggi terlindung dari petir atau tegangan lebih.

- b. Prinsip pengoperasian Lightning arrester adalah pada kondisi normal arrester bertindak sebagai isolator, dan pada saat terjadi sambaran petir arrester bekerja sebagai penghantar dengan resistansi yang relatif rendah, sehingga dapat mengalirkan arus impuls ke tanah. Setelah tegangan surja berhasil dibumikan, arrester akan segera kembali ke perannya sebagai isolator.

E. Arus bocor [4]

Arus bocor adalah arus yang terjadi jika isolasi penghantar tidak dapat memenuhi standar yang berlaku, baik antar penghantar maupun ke bumi. Batas arus bocor sesuai standar internasional IEC 61643-1 adalah 1mA. Arus bocor yang terjadi dapat dipengaruhi oleh suhu kelembaban suatu tegangan karena semakin tinggi suhu kelembaban, semakin besar arus yang melintasi dan memasuki rangkaian.

Pada arrester terdapat arus bocor,.Dari data itu bisa didapatkan nilai arus bocor.

Untuk menghitung arus bocor digunakan persamaan (2.3).

$$I_a = \frac{V_a}{R_a} \quad (2.3)$$

dengan:

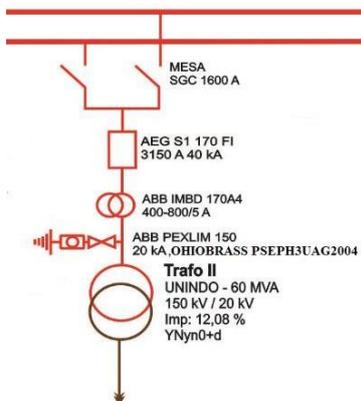
R_a : Hambatan arrester ke tanah($M\Omega$)

V_a : Tegangan terminal arrester(kV)

I_a : Arus bocor arrester (mA)

III. METODE PENELITIAN

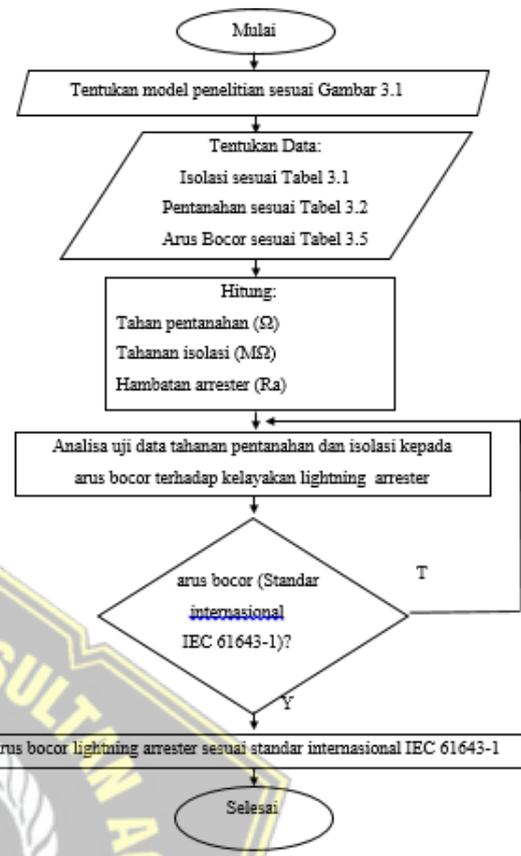
Penyusunan penelitian ini didasarkan dalam kejadian dilapangan, yaitu adanya arus bocor yang tinggi di lightning arrester saat kerja praktek di GI Jepara, penelitian yang direncanakan dengan mengacu dalam rumusan masalah. Langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk menunjang penelitian adalah studi literatur, pengukuran arus bocor, pengukuran tahanan pentanahan, pengukuran tahanan isolasi, perhitungan hambatan, pengambilan kesimpulan, serta model penelitian sesuai Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Model penelitian single line LA di trafo II GI 150/20 kV Jepara

A. Tahap Penelitian

Tahapan Penelitian ini digambarkan dalam diagram alir atau *flowcart* pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Flowchart

Untuk menentukan pengaruh arus bocor terhadap kelayakan lightning arrester pada transformator langkah awal adalah menentukan parameter-parameter yang dibutuhkan, parameter tersebut diantaranya adalah sebagai berikut:

- Mengukur suhu arrester
- Menentukan tahanan pentanahan arrester
- Menentukan tahanan isolasi arrester

Setelah mendapat parameter-parameter data yang dibutuhkan, langkah selanjutnya adalah menghitung tahanan pentanahan sesuai persamaan (2.1), menghitung tahanan isolasi sesuai persamaan (2.2), menghitung hambatan arrester sesuai persamaan (2.3).

B. Metode

Penelitian ini menggunakan metode primer yaitu dengan melakukan pengambilan data secara langsung ke gardu induk 150/20 kV Jepara melalui praktek langsung di lapangan dan wawancara. Kemudian melaksanakan pengukuran dan perhitungan secara langsung untuk melakukan perbandingan antara hasil dari alat ukur dan perhitungan sehingga kemudian menganalisa untuk mendapatkan solusi atau penelitian yang dilakukan.

Berikut data yang diperlukan dalam melakukan penelitian ini antara lain adalah :

Data pengukuran suhu dan hambatan lightning arrester pada trafo II gardu induk 150kV Jepara dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Data pengukuran suhu dan arus bocor lightning arrester pada trafo

No	Jam	Phasa	Suhu (°C)	Arus Bocor (mA)
1	10:00	R	35,8 °C	0,23 mA
		S	36,6 °C	0,39 mA
		T	38,9 °C	1,418 mA
2	14:00	R	36,5 °C	0,22 mA
		S	36,5 °C	0,36 mA
		T	37,6 °C	1,32 mA
3	16:00	R	33,1 °C	0,19 mA
		S	33,9 °C	0,35 mA
		T	34,5 °C	1,29 mA

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

Pada bab IV dilakukan perhitungan tugas akhir analisa arus bocor terhadap kelayakan lightning arrester pada trafo daya II 60 MVA gardu induk 150/20 kV jepara berdasarkan data penelitian yang ditunjukkan pada Tabel 3.1 sampai 3.4 maka:

1. Perhitungan tahanan pentanahan arrester

Menentukan tahanan pentanahan arrester (single rod) dapat dihitung menggunakan persamaan (2.1)

diketahui : ρ (tahanan jenis tanah) : 100

L (panjang elektroda) : 3 m

: 300 cm

a (Jari – jari elektroda) : 1 cm

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{\rho}{2\pi \cdot L} \left[\ln \left(\frac{4L}{a} \right) - 1 \right] \\
 &= \frac{100}{2 \cdot 3,14 \cdot 300} \left[\ln \left(\frac{4 \cdot 300}{1} \right) - 1 \right] \\
 &= 0,05 \left[\ln 1200 \right] - 1 \\
 &= 0,05 \left[7,09 - 1 \right] \\
 &= 0,30 \Omega
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas nilai tahanan pentanahan lightning arrester di phasa T pada trafo daya 60 MVA mendapatkan nilai resistansi 0,30 Ω artinya masih dibawah standar PUIL 2000 yaitu <5 Ω .

2. Perhitungan tahanan isolasi arrester

Menentukan tahanan isolasi arrester dapat dihitung menggunakan persamaan (2.2)

diketahui : U (Tegangan Kerja) : 150 kV

Q (Tegangan Megger) : 5000 V

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{1000 \cdot U}{Q} \cdot U \cdot 2,5 \\
 &= \frac{1000 \cdot 150 \text{ kV}}{5000} \cdot 150 \text{ kV} \cdot 2,5 \\
 &= 30000 \cdot 150 \text{ kV} \cdot 2,5 \\
 &= 11,250 \text{ M}\Omega
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas nilai minimum tahanan isolasi untuk melindungi peralatan tegangan tinggi di gardu induk 150 kV khususnya lightning arrester adalah 11,250 M Ω .

3. Perhitungan hambatan arrester

Menentukan nilai hambatan arus bocor mengacu pada Tabel 3.4 dihitung menggunakan persamaan (2.3)

Jam 10:00

Phasa R

$$\begin{aligned}
 R_a &= \frac{V_a}{I_a} \\
 &= \frac{150 \text{ kV}}{0,23} \\
 &= 652 \text{ M}\Omega
 \end{aligned}$$

Phasa S

$$\begin{aligned}
 R_a &= \frac{V_a}{I_a} \\
 &= \frac{150 \text{ kV}}{0,39} \\
 &= 384 \text{ M}\Omega
 \end{aligned}$$

Phasa T

$$\begin{aligned}
 R_a &= \frac{V_a}{I_a} \\
 &= \frac{150 \text{ kV}}{1,418} \\
 &= 105 \text{ M}\Omega
 \end{aligned}$$

Jam 14:00

Phasa R

$$\begin{aligned}
 R_a &= \frac{V_a}{I_a} \\
 &= \frac{150 \text{ kV}}{0,22} \\
 &= 681 \text{ M}\Omega
 \end{aligned}$$

Phasa S

$$\begin{aligned}
 R_a &= \frac{V_a}{I_a} \\
 &= \frac{150 \text{ kV}}{0,36} \\
 &= 416 \text{ M}\Omega
 \end{aligned}$$

Phasa T

$$\begin{aligned}
 R_a &= \frac{V_a}{I_a} \\
 &= \frac{150 \text{ kV}}{1,32} \\
 &= 113 \text{ M}\Omega
 \end{aligned}$$

Jam 16:00

Phasa R

$$R_a = \frac{V_a}{I_a} = \frac{150 \text{ kV}}{0,19} = 789 \text{ M}\Omega$$

Phasa S

$$R_a = \frac{V_a}{I_a} = \frac{150 \text{ kV}}{0,35} = 428 \text{ M}\Omega$$

Phasa T

$$R_a = \frac{V_a}{I_a} = \frac{150 \text{ kV}}{1,29} = 116 \text{ M}\Omega$$



B. Pembahasan

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi terjadi arus bocor yaitu pentahan (grounding) tahanan isolasi dan suhu. Dari data yang diambil dari gardu induk yang melakukan pemeliharaan trafo 1 tahun terakhir didapatkan nilai pentanahan dan tahanan isolasi pada tabel 4.2 sebagai berikut:

No.	Pengukuran	Alat ukur	Phasa T	Standart	Nilai
1.	Tahan isolasi (bawah-ground)	Kyoritsu 3125 A	✓	1kV/1M Ω	63 kV
2.	Pentanahan	Kyoritsu 4105 A	✓	<1 Ω	0,4 Ω

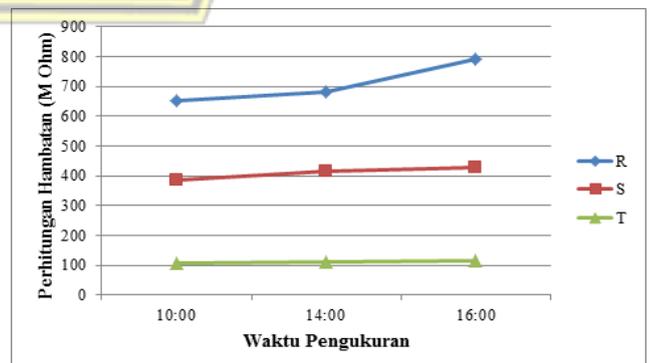
Dari data yang diambil dilapangan dengan melakukan perhitungan pada tahanan pentanahan didapatkan nilai tahanan 0,30 Ω masih sesuai dengan data pemeliharaan tahun sehingga tahanan pentanahan LA di gardu induk jepara tidak menyebabkan arus bocor karena masih aman di bawah batas standar SPLN <1 Ω dan PUIL 2000 <5 Ω.

Salah satu faktor penyebab arus bocor selain tahanan pentanahan yaitu tahanan isolasi. Dalam perhitungan tahanan isolasi yang mengacu pada data perhitungan yang diambil dilapangan mendapatkan nilai minimum tahanan

isolasi 11,250 MΩ untuk sistem 150 kV, hasil dari pengukuran pemeliharaan tahun lalu yang mendapatkan nilai tahanan isolasi sebesar 63 kV dimana 63.200/5000 = 12,64 MΩ. Maka dari nilai tersebut diketahui bahwa data dari pengujian tahanan isolasi pada lightning arrester sudah melampaui nilai tahanan isolasi minimum yang ditentukan yaitu standar PUIL 2011: SNI 0225 dimana voltase sirkit minimal 5000 V, maka tahanan isolasinya > 1MΩ. Akan tetapi setelah 6 bulan dari pemeliharaan LA arus bocor yang terdapat pada arrester pada trafo II phasa T mengalami kenaikan sebesar 1,418mA, Kenaikan bisa terjadi karena bahan isolator jenis polimer yang sudah buruk, di karenakan isolator sudah mulai kotor terdapat kerak-kerak akibat cuaca sehingga menyebabkan nilai hambatan dari isolator turun. Atau bisa juga karena faktor usia sehingga hal ini bisa menyebabkan arus bocor tinggi terjadi karena isolasi penghantar tidak dapat memenuhi standart yang berlaku. Ini yang harus diperhatikan oleh pihak gardu induk dimana semakin besar nilai tahanan isolasi maka akan semakin kecil arus yang mengalir ke peralatan. Sehingga diperlukan perawatan rutin karena isolasi berperan sangat penting untuk melindungi LA dan juga agar tidak menyebabkan arus bocor tinggi yang dapat menyebabkan kegagalan LA dalam melaksanakan pekerjaanya.

Dari pengukuran yang dilakukan arus bocor lightning arrester pada phasa RST trafo II gardu induk 150/20 kV jepara mendapatkan arus bocor R 0,23mA, S 0,39mA dan T 1,418mA. Di phasa T arus bocor melebihi batas standar internasional IEC 61643-1 yang ditentukan yaitu 1mA. salah satu hal yang mempengaruhi besarnya arus bocor adalah suhu yang mencapai 38,9 °C. Menurut teori semakin tinggi suhu maka nilai arus bocor juga akan semakin besar.

Dalam perhitungan hambatan yang dilakukan mendapatkan gambaran garfik dibawah ini:



Bahwa di jam 10:00 phasa R mendapatkan hambatan sebesar 652 MΩ, phasa S mendapatkan hambatan sebesar 384 MΩ, phasa T mendapatkan hamabatan sebesar 105 MΩ. Ini diartikan bahwa semakin besar nilai suatu arus bocor maka nilai hambatan juga akan semakin kecil, tentu

ini berdampak pada tahanan isolasi karena semakin kecil nilai hambatan maka akan semakin buruk tahanan isolasi tersebut sehingga terjadilah arus bocor karena arus bocor hambatan saling berkaitan satu sama lain.

Sehingga Lightning Arrester Trafo daya II 60 MVA pada fasa T dengan arus bocor yang melebihi standar 1mA dalam hal ini arrester tidak layak atau tidak dalam kondisi baik dalam melakukan kerjanya untuk mengamankan trafo daya tersebut sehingga pihak gardu induk harus memperbaiki nilai arus bocor tersebut supaya arrester mampu secara baik untuk mengamankan trafo daya.

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan analisa yang telah dilakukan dalam penelitian pengaruh arus bocor terhadap kinerja lightning arrester pada trafo II gardu induk 150/20 kV jepara maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai tahanan pentanahan lightning arrester pada trafo daya II fasa T di gardu induk 150/20 kV jepara sebesar $0,3\Omega$ artinya nilai tersebut sudah memenuhi standar PUIL 2000 yaitu $<5\Omega$ sehingga tahanan pentanahan di lightning arrester tersebut tidak mempengaruhi terjadinya arus bocor mengalami peningkatan.
2. Nilai tahanan isolasi lightning arrester pada trafo daya II fasa T di gardu induk 150/20 kV jepara sebesar $12,64 M\Omega$ sedangkan minimum tahanan isolasi sebesar $11,250 M\Omega$. Setelah 18 bulan pemeliharaan nilai tahanan isolasinya turun sehingga menyebabkan arus bocor mengalami peningkatan.
3. Nilai arus bocor tertinggi terjadi di fasa T pada lightning arrester di trafo daya 60 MVA II gardu induk 150 kV nilai arus bocor mencapai 1,418mA, tentunya nilai tersebut melebihi batas standar internasional IEC 61643-1 yaitu sebesar 1mA.
4. Dalam perhitungan hambatan fasa R mendapatkan hambatan sebesar $652 M\Omega$, fasa S mendapatkan hambatan sebesar $384 M\Omega$, fasa T mendapatkan hambatan sebesar $105 M\Omega$. Ini diartikan bahwa semakin besar nilai suatu arus bocor maka nilai hambatan juga akan semakin kecil, tentu ini berdampak pada tahanan isolasi karena semakin kecil nilai hambatan maka akan semakin buruk tahanan isolasi tersebut sehingga terjadilah arus bocor karena arus bocor hambatan saling berkaitan satu sama lain. Hal ini membuat

lightning arrester dalam kondisi tidak layak dalam mengamankan trafo daya karena bisa menyebabkan kegagalan dalam melaksanakan kerjanya.

B. Saran

Saran untuk penelitian ini dapat dikembangkan lagi dengan menggunakan software-software yang berhubungan dengan simulasi pengujian ketahanan peralatan-peralatan tegangan tinggi lainnya di gardu induk terutama terhadap gangguan dari surja petir sehingga dapat mengetahui kinerja arrester dalam mengamankan peralatan tegangan tinggi di gardu induk tersebut.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Romadona, "Hubungan arus arrester terhadap suhu di gi wonogiri," 2018.
- [2] iqbal pulgar Ramadhan, "KINERJA LIGHTNING ARRESTER YANG BERUSIA LEBIH DARI 30 TAHUN DI GARDU INDUK 150 kV SRONDOL PT.PLN (PERSERO) UPT SEMARANG," 2019.
- [3] I. K. A. Y. Bhaskara, I. G. D. Arjana, and I. M. Suartika, "Analisa Kegagalan Lightning Arrester Pada Penyulang Sulahan Bangli," *J. Spektrum*, vol. 6, no. 3, pp. 94–100, 2019.
- [4] W. Hidayat, "Evaluasi Kondisi Lightning Arrester Di Gardu Induk Jatirangon Dengan Metode Pengujian Tahanan Isolasi Dan Tahanan Pembumian Dalam Rangka SLO (Sertifikasi Laik Operasi)," *Inst. Teknol. - Pln*, 2020.
- [5] A. Syakur, A. Warsito, and L. Nilawati, "Kinerja Arrester Akibat Induksi Sambaran Petir Pada Jaringan Tegangan Menengah 20 kV," *Transm. J. Tek. Elektro*, vol. 11, no. 1, pp. 09–14, 2009.
- [6] J. GINTING, "ANALISA EFEK TEGANGAN INDUKSI KARENA SAMBARAN PETIR PADA AREA OPERASIONAL PT. X," 2011, [Online]. Available: <https://denmasbejo.net/kelistrikan/switchgear/circu-it-breaker/pengukuran-tahanan-isolasi-pemutus-tenaga.html>.
- [7] F. T. RIZKI, "EVALUASI PENENTUAN JARAK AMAN LIGHTNING ARESTER-TRAFODAYA 60 MVA GARDU INDUK 150 KV SUNYARAGI CIREBON FINAL PROJECT EVALUATION SAFE DISTANCE LIGHTNING ARESTER-POWER TRANSFORMATOR 60 MVA FOR PROTECTION GARDU INDUK 150 KV SUNYARAGI CIREBON," 2020.
- [8] Nurhabibah naibaho, "Analisa sistem pentanahan elektroda ROD," vol. 67, 2017.

- [9] T. Rusdjaja, *BUKU PEDOMAN PEMELIHARAAN LIGHTNING ARRESTER (LA)*, vol. 7, no. 2. 2013.
- [10] D. Andriawan, "Kinerja Arrester Yang Sudah Berusia Lebih Dari 10 Tahun Di Gardu Induk 150 KV Ungaran - Semarang," *J. Tek. Elektro*, vol. 6, no. 2, 2014, doi: 10.15294/jte.v6i2.3582.



Lampiran 7. Hasil turn it in

Turnitin_Okto Hendri G_30601700030.pdf

ORIGINALITY REPORT

24%	24%	2%	10%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	lib.unnes.ac.id Internet Source	3%
2	pt.scribd.com Internet Source	2%
3	123dok.com Internet Source	2%
4	media.neliti.com Internet Source	1%
5	www.scribd.com Internet Source	1%
6	core.ac.uk Internet Source	1%
7	Submitted to Sultan Agung Islamic University Student Paper	1%
8	Submitted to Sriwijaya University Student Paper	1%
9	repository.its.ac.id Internet Source	1%

10	eprints.undip.ac.id Internet Source	1 %
11	idoc.pub Internet Source	1 %
12	eprints.ums.ac.id Internet Source	1 %
13	vinelkaryamandiri.blogspot.com Internet Source	1 %
14	repository.unissula.ac.id Internet Source	<1 %
15	qdoc.tips Internet Source	<1 %
16	docplayer.info Internet Source	<1 %
17	digilibadmin.unismuh.ac.id Internet Source	<1 %
18	wisuda.unissula.ac.id Internet Source	<1 %
19	ocs.unud.ac.id Internet Source	<1 %
20	Submitted to Universitas Muhammadiyah Makassar Student Paper	<1 %
21	pusatpetir.com	

	Internet Source	<1 %
22	text-id.123dok.com Internet Source	<1 %
23	elektro.studentjournal.ub.ac.id Internet Source	<1 %
24	id.123dok.com Internet Source	<1 %
25	digilib.unila.ac.id Internet Source	<1 %
26	repository.uin-suska.ac.id Internet Source	<1 %
27	Muhamad Firdaus Robbani, Dedi Nugroho, Gunawan Gunawan. "Penentuan Kelayakan Tahanan Isolasi Pada Transformator 60 MVA Di Gardu Induk 150 kV Tegal Dengan Menggunakan Indeks Polarisasi, Tangen Delta, Dan Breakdown Voltage", <i>Elektrika</i> , 2020 Publication	<1 %
28	enjiner.com Internet Source	<1 %
29	repository.unpar.ac.id Internet Source	<1 %
30	ejournal.undip.ac.id Internet Source	

		<1 %
31	eprints.mdp.ac.id Internet Source	<1 %
32	ojs.unud.ac.id Internet Source	<1 %
33	Submitted to Universitas Tidar Student Paper	<1 %
34	www.listrik-praktis.com Internet Source	<1 %
35	laporanrangkaianlistrikadaw.wordpress.com Internet Source	<1 %
36	www.neliti.com Internet Source	<1 %
37	wmandiri.web.indotrading.com Internet Source	<1 %
38	adoc.pub Internet Source	<1 %
39	eprints.stainkudus.ac.id Internet Source	<1 %
40	muhamad00.blogspot.com Internet Source	<1 %
41	sir.stikom.edu Internet Source	<1 %

Exclude quotes Off
Exclude bibliography Off

Exclude matches Off

