

SKRIPSI

**“ANALISIS KEMAMPUAN ARRESTER UNTUK PENGAMAN PADA
GARDU TRAFODISTRIBUSI 20KV DI PT PLN MATTOANGING”**



DISUSUN OLEH:

ADNAN JAPARUDDIN

105821109918

IBNU AENUN

105821100318

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
2024**

SKRIPSI

**“ANALISIS KEMAMPUAN ARRESTER UNTUK PENGAMAN PADA
GARDU TRAFU DISRIBUSI 20KV DI PT PLN MATTOANGING”**

Diajukan sebagai salah satu syarat Untuk
memperoleh gelar Sarjana Teknik
Program Studi Teknik Elektro
Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik

Disusun dan diajukan oleh

ADNAN JAPARUDDIN

105821109918

IBNU AENUN

105821100318

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
2024**



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

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

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

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

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

HALAMAN PENGESAHAN

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

Judul Skripsi : ANALISIS KEMAMPUAN ARRESTER UNTUK PENGAMAN PADA GARDU TRAFU
DISTRIBUSI 20 KV DI PT. PLN MATTOANGIN

Nama : 1. ADNAN JAPARUDDIN

2. IBNU AINUN

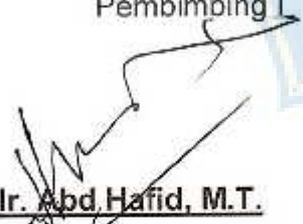
Stambuk : 1. 105821109918

2. 105821100318

Makassar, 29 Februari 2024

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing;

Pembimbing I


Ir. Abd Hafid, M.T.

Pembimbing II


Andi Fharuddin, S.T., M.T.

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Elektro


Ir. Adriani, S.T., M.T.

NBM: 1044 202



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

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

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

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

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

PENGESAHAN

Skripsi atas nama **ADNAN JAPARUDDIN** dengan nomor induk Mahasiswa **105 82 11099 18**, dan **IBNU AENUN** dengan nomor induk mahasiswa **105 82 1100318** dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 003/05/A.4/1/45/2024 sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Kamis tanggal 29 Februari 2024.

Makassar, 19 Syaban 1445 H
29 Februari 2024 M

Panitia Ujian :

1. Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Prof. Dr. H. AMBO ASSE, M.Ag

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Prof. Dr. Eng. MUHAMMAD ISRAN RAMLI ST., MT

2. Penguji

a. Ketua : Dr. Ir. H. zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng :

b. Sekretaris : Dr. Ir. Ridwang, S.Kom, MT :

3. Anggota : 1. Andi Abdul Halik Lateko Tj, ST.,MT, Ph. D: :

2. Ir. Suryani, S.T.,M.T.,IPM :

3. Dr. Hj. Rossy Timur Wahyuningsih, ST,MT :

Mengetahui :

Pembimbing I

Ir. Abd Hafid, M.T.

Pembimbing II

Andi Faharuddin, ST.,M.T.



Dekan Fakultas Teknik

Dr. Ir. Hj. Nurfitriaty, ST., MT., IPM

NBM : 795 108

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Syukur Alhamdulillah kami panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena rahmat dan hidayah-nya sehingga penulis dapat menyusun skripsi ini, dan dapat kami selesaikan dengan baik. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu Persyaratan Akademik yang harus ditempuh dalam rangka menyelesaikan program studi pada jurusan Teknik Elektro dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Adapun judul tugas akhir kami adalah :

“UNTUK PENGAMAN PADA GARDU TRAFODISIRIBUSI 20KV DI PT PLN MATTOANGING” ANALISIS KEMAMPUAN ARRESTER”

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

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

1. Ibu Dr. Ir. Hj. Nurnawaty, S.T., M.T., sebagai dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
2. Ibu Adriani S.T., M.T., Ketua Program Studi Elektro Universitas Muhammadiyah Makassar.

3. Ir. Abd Hafid, M.T selaku pembimbing I dan bapak Andi Faharuddin,S.T., M.T selaku pembimbing II, yang telah banyak meluangkan waktu dalam bimbingan kami.
4. Bapak dan Ibu dosen serta staf pegawai pada Fakultas Teknik atas segala waktunya telah mendidik dan melayani penulis selama mengikut proses belajar mengajar di Universitas Muhammadiyah Makassar.
5. Ayahanda dan Ibunda yang tercinta, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala kelimpahan kasih sayang, doa dan pengorbanannya terutama dalam bentuk materi dalam menyelesaikan kuliah.
6. Saudaraku-saudaraku serta rekan-rekan mahasiswa Fakultas Teknik terkhususnya angkatan 2018 yang dengan keakraban dan persaudaraannya banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Semoga semua pihak tersebut di atas mendapat pahala yang berlipat gandadi sisi Allah swt dan skripsi yang sederhana ini dapat bermanfaat bagi penulis, rekan-rekan, masyarakat serta bangsa dan Negara.

Makassar,

PENULIS

ANALISIS KEMAMPUAN ARRESTER UNTUK PENGAMAN PADA GARDU TRAFO DISRIBUSI 20KV DI PT PLN MATTOANGING

ABSTRAK

ADNAN JAPARUDDIN, IBNU AENUN

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar
Jl. Sultan Alauddin No.259,Rappocini,Makassar Sulawesi Selatan,90211,Indonesia

E-mail : adnanjaparuddin@gmail.com

E-mail : ibnuann2000@gmail.com

Arrester adalah peralatan pengaman instalasi dari gangguan tegangan lebih akibat sambaran petir (Lightning Surge) maupun oleh surja hubung (Switching Surge). Transformator/ trafo tenaga berfungsi untuk menyalurkan tenaga/ daya listrik dengan menaikkan atau menurunkan tegangan di Trafo Distribusi. Penelitian ini fokus pada peralatan Gardu Tafo Distribusi yaitu *arrester* tipe SL2T48 yang terhubung dengan transformator (trafo) tipe SPLND3.002-1 Perlindungan yang baik diperoleh bila *arrester* ditempatkan sedekat mungkin pada jepitan trafo. Tetapi, dalam praktek *arrester* itu harus ditempatkan dengan jarak S dari trafo yang dilindungi. Karena itu, jarak tersebut ditentukan agar perlindungan dapat berlangsung dengan baik. Jarak *arrester* dengan trafo yang dipakai di gardu Trafo Distribusi MATTOANGIN 20KV adalah 3 m. Penempatan *arrester* (S) dipengaruhi oleh tegangan jepit trafo (E_p) sebesar 125 KV, tegangan percik *areester* (E_a) sebesar 100 KV, kecuraman gelombang datang (A) sebesar 1000 dv/dt, dan kecepatan rambat gelombang (v), karena gelombang berjalan pada kawat udara mempunyai kecepatan tetap dengan kecepatan sama dengan kecepatan cahaya yaitu 300 m/ μ dt. Untuk mungetahui kemampuan *lighting arrester* dalam melindungi peralatan trafo saat terjadi surja petir pada saluran transmisi PT . PLN (persero) MATTOANGIN 20 KV Jarak maksimum *arrester* dengan trafo S yang terpasang pada gardu Trafo Distribusi 20 KV adalah 3,75 m. Dari hasil analisis matematis, pemasangan dari *arrester* tipe SL2T48 mampu melindungi trafo dari gangguan surja petir dan surja hubung dengan tegangan sampai 138,32 KV. Karena dilapangan berjarak 3 m, sedangkan hasil hitungan matematis pemasangan *arrester* jaraknya 3,75 m dengan trafo, masih pada dalam standar maksimum (aman).

Kata Kunci: Tegangan lebih, *Arrester*, Transformator, Jarak *Arrester*

ANALYSIS OF ARRESTER CAPABILITY FOR SAFETY AT 20 KV DISTRIBUTION TRANSFORMER SUBSTATION AT PT PLN MATTOANGING

ABSTRACT

ADNAN JAPARUDDIN, IBNU AENUN

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of
Muhammadiyah Makassar

Jl. Sultan Alauddin No.259,Rappocini,Makassar Sulawesi Selatan,90211,Indonesi

E-mail : adnanjaparuddin@gmail.com

E-mail : ibnuann2000@gmail.com

An arrester is equipment that protects installations from overvoltage disturbances due to lightning strikes or switching surges. The transformer/power transformer functions to distribute electrical energy/power by increasing or decreasing the voltage in the Distribution Transformer. This research focuses on Distribution Tafo Substation equipment, namely the SL2T48 type arrester connected to the SPLND3.002-1 type transformer. Good protection is obtained if the arrester is placed as close as possible to the transformer clamp. However, in practice the arrester must be placed at a distance S from the protected transformer. Therefore, this distance is determined so that protection can take place properly. The distance between the arrester and the transformer used in the MATTOANGIN 20KV Distribution Transformer substation is 3 m. The placement of the arrester (S) is influenced by the transformer clamp voltage (E_p) of 125 KV, the arrester spark voltage (E_a) of 100 KV, the steepness of the incident wave (A) of 1000 dv/dt, and the wave propagation speed (v), because the waves traveling in air have a constant speed with a speed equal to the speed of light, namely 300 m/ μ s. To find out the ability of lightning arresters to protect transformer equipment when lightning surges occur on PT transmission lines. PLN (Persero) MATTOANGIN 20 KV The maximum distance between the arrester and the S transformer installed at the 20 KV Distribution Transformer substation is 3.75 m. From the results of mathematical analysis, the installation of the SL2T48 type arrester is able to protect the transformer from lightning surges and circuit surges with voltages up to 138.32 KV. Because in the field the distance is 3 m, while the mathematical results of installing the arrester are 3.75 m away from the transformer, it is still within the maximum (safe) standard

Keywords: overvoltage, *Arrester*, Transformer, *Arrester* distance

DAFTAR ISI

SAMPUL.....	i
KATA PENGANTAR.....	ii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	2
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Defenisi Lightning Arrester.....	5
2.2 Karakteristik Lightning Arrester.....	6
2.3 Jenis-jenis Arrester.....	13
2.4 Jarak Penempatan Arrester Dengan Peralatan.....	16
2.5 Teori Perhitungan Jarak Maksimum.....	17
2.6 Tegangan Impuls.....	21
2.7 Transformator.....	24
2.8 Prinsip Kerja Transformator.....	25
2.9 Jenis-jenis Transformator.....	25
BAB III KERANGKA KONSEP.....	28
3.1 Jenis Penelitian.....	28
3.2 Waktu & Tempat Penelitian.....	28
3.3 Flowchart.....	29
3.4 Studi Literatur.....	30
3.5 Pengambilan Data.....	30
3.6 Analisi Data.....	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	32
4.1 Data Penelitian.....	32
4.2 Pembahasan.....	35
4.2.1 Perhitungan Jarak <i>Arrester</i> dengan Trafo.....	35

4.2.2 Analisi Tegangan Percik <i>Arrester</i>	36
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	43
5.1 Simpulan.....	43
5.2 SARAN.....	43
DAFTAR PUSTAKA	44
LAMPIRAN	45
A. Data penelitian.....	45
B. Dokumentasi penelitian.....	49



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Lightning arrester</i>	5
Gambar 2.2 Karakteristik arus tegangan.....	7
Gambar 2.3 Elemen-elemen <i>arrester</i> katup eksklusif.....	14
Gambar 2.4 Elemen-elemen <i>arrester</i> katup sela aktif.....	15
Gambar 2.5 Diagram tangga antara <i>arrester</i> dengan trafo.....	19
Gambar 2.6 Jenis tegangan impuls.....	22
Gambar 2.7 Bentuk gelombang impuls petir.....	23
Gambar 3.3 Flow chart.....	29
Gambar 4.1 Bentuk fisik trafo dan <i>arrester</i> yang terpasan.....	32
Gambar 4.2 Single lane diagram tangga wilayah mattoangin.....	33
Gambar 4.3 Grafik kecuraman gelombang waktu.....	39
Gambar 4.4 Grafik naik pada trafo.....	42

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Standar bentuk tegangan implus petir.....	24
Tabel 4.1 Hasil data penelitian pada trafo yang terhubung.....	35
Tabel 4.2 Kecuraman gelombang berdasarkan waktu	39
Tabel 4.3 Naik tegangan pada trafo.....	41



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini kebutuhan akan listrik semakin meningkat seiring dengan berkembangnya teknologi. Perkembangan yang pesat ini harus diikuti dengan peningkatan kualitas tenaga listrik yang dihasilkan harus bermutu dan terjamin.

Kebutuhan listrik selalu meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan kesejahteraan masyarakat. Evolusi permintaan listrik dan kemampuan infrastruktur yang ada berarti bahwa keamanan sistem yang berkelanjutan sangat diperlukan untuk mencapai tingkat kontinuitas sistem ketenagalistrikan yang tinggi dalam sistem jaringan listrik skala besar. Untuk mencapai hasil koordinasi terbaik, sangat penting untuk menjamin keamanan di pusat, pusat beban dan generator.

PLN merupakan pemasok listrik terbesar di Indonesia. Transmisi tenaga listrik pada jalur transmisi dan distribusi tidak lepas dari gangguan-gangguan yang dapat mengganggu proses pendistribusian tenaga listrik baik secara internal maupun eksternal. Oleh karena itu, diperlukan alat pelindung diri untuk melindunginya. Salah satu gangguan luar yang menyebabkan kegagalan peralatan jaringan transmisi adalah petir,

Peralatan yang biasa digunakan untuk melindungi terhadap gangguan akibat sambaran petir disebut dengan penangkal petir. Alat ini biasanya dipasang di gardu induk dan juga di jaringan transmisi. Yang berfungsi untuk melindungi peralatan pada gardu induk dan jaringan transmisi dari lonjakan

tegangan (baik rangkaian lonjakan arus maupun sambaran petir).

Gangguan pada sistem kelistrikan mempunyai ukuran dan jenis yang berbeda-beda. Gangguan pada sistem kelistrikan merupakan suatu kondisi yang tidak normal dimana kondisi ini dapat menyebabkan terganggunya kelangsungan pelayanan energi listrik.

Secara umum alasan penggolongan gangguan pada sistem kelistrikan adalah karena adanya gangguan yang berasal dari dalam atau luar. Sedangkan gangguan internal adalah gangguan yang berasal dari dalam sistem itu sendiri, seperti kerusakan material perangkat akibat proses penuaan, sedangkan gangguan eksternal adalah gangguan eksternal.. sistemnya seperti sambaran petir. Untuk gangguan akibat sambaran petir akan mengakibatkan tegangan lebih pada jaringan. harus dapat melindungi peralatan sistem tenaga listrik dengan membatasi lonjakan tegangan berlebih yang masuk. dan mengalir ke tanah. (Pikaloka, T. V.2018)

1.2 Rumusan Masalah

1. Berapa jarak optimum *Lighting Arrester* dengan trafo saat terjadi surja petir pada saluran distribusi 20 KV di PT. PLN MATTOANGING.
2. Bagaimana kemampuan *Lighting Arrester* dalam melindungi peralatan akibat surja petir pada saluran distribusi 20 KV di PT PLN MATTOANGING.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukan penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui jarak optimun *Lighthing Arrester* dengan trafo saat

terjadi surja petir pada saluran distribusi 20 KV di PT. PLN MATTOANGING.

2. Untuk mengetahui kemampuan *Lighting Arrester* dalam melindungi peralatan trafo saat terjadi surja petir pada saluran distribusi 20 KV di PT.PLN MATTOANGING.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dalam penyusun tugas akhir ini antara lain :

1. Sebagai sarana dalam menyelesaikan suatu permasalahan sesuai bidang keahlian dan untuk mempersiapkan diri dalam dunia kerja
2. Menambah wawasan serta menambah pengetahuan tentang gangguan *lightning arrester*

1.5 Batasan Masalah

Pembatasan masalah pada penelitian ini berdasarkan kemampuan dan keterbatasan dalam penelitian adalah;

1. Penelitian ini hanya membahas system kemampuan arrester untuk pengamanan pada gardu trafo distribusi
2. Pelaksanaan penelitian ini dilakukan dengan cara studi lapangan secara langsung di PT. PLN ULP MATTOANGING

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk memberikan gambaran umum dari seluruh penelitian ini

berdasarkan sistematika penulisan yaitu:

BAB I PENDAHULUAN, dalam bab ini membahas tentang pendahuluan yang berisi tentang latar belakang masalah, perumusan masalah,

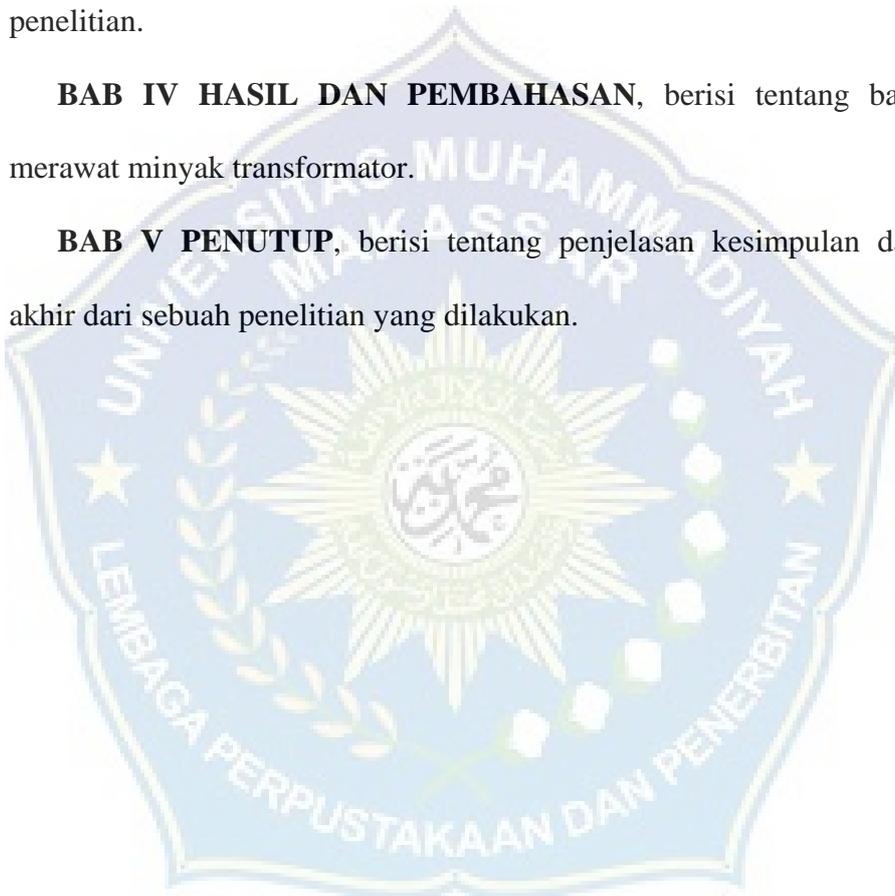
tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan model sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA, berupa landasan teori yang berisi tentang teori dasar tentang pemeliharaan minyak transformator.

BAB III METODE PENELITIAN, berisi tentang waktu dan tempat penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN, berisi tentang bagaimana merawat minyak transformator.

BAB V PENUTUP, berisi tentang penjelasan kesimpulan dan saran akhir dari sebuah penelitian yang dilakukan.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Defenisi (*lightning arrester*)

Penangkal Petir (*Lightning Arrester*) adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk melindungi suatu system tenaga dari tegangan berlebih akibat petir. Pelindung lonjakan petir ini melindungi satu daya dengan membatasi lonjakan tegangan yang mengalir masuk dan mengalirkan keluar ke tanah (Dani, 2021)



Gambar 1.1 Lightning Arrester
Sumber : Dani, 2021

Penangkal petir atau biasa disebut *Lightning Arrester* umumnya di pasang pada kedua ujung saluran yang masuk ke gardu trafo. Arrester bekerja dengan membatasi switching atau menghilangkan sisa tegangan akibat lonjakan petir (Dani, 2021)

Fungsi utama dari *Lightning Arrester* adalah melakukan pembatasan nilai tegangan pada peralatan yang dilindunginya. Panjang lead yang menghubungkan arrester pun perlu diperhitungkan, karena inductive voltage pada lead ini ketika terjadi surge akan mempengaruhi nilai tegangan total paralel terhadap peralatan yang dilindungi (Tasbir, 2020)

Tujuan dari proteksi petir pada serandang adalah untuk mengamankan peralatan dan instalasi dari sambaran langsung surja petir. Pada keadaan tegangan jaringan normal, tegangan nominal pelindung berperan sebagai isolasi atau idealnya tidak mengalirkan arus dari jaringan tanah. Tetapi jika suatu tegangan lebih impuls tiba pada terminal alat pelindung, maka alat pelindung segera berubah menjadi penghantar dan mengalirkan arus impuls ke tanah sehingga amplitude tegangan lebih yang merambat menuju peralatan yang dilindungi berkurang menjadi dibawah ketahanan tegangan impuls peralatan yang dilindungi (Tasbir, 2020)

Sesuai dengan fungsinya, arrester harus mampu menahan tegangan sistem sebesar 50 Hz untuk waktu yang tidak terbatas dan harus dapat mengalirkan arus ke tanah tanpa mengalami kerusakan. Selain itu, alat pelindung yang baik memiliki rasio proteksi yang tinggi yaitu waktu pelepasan antara tegangan lonjakan maksimum yang diijinkan pada saat pelepasan dan tegangan sistem maksimum 50 Hz yang dapat ditahan setelah pelepasan (A & Wahyuddin, 2021)

2.2 Karakteristik (*lighting arrester*)

Untuk menentukan tegangan terminal dari perlengkapan yang dilindungi, arester adalah alat pelindung yang dapat diandalkan saat ini. Sehingga perlu diketahui secara jelas karakteristik dari *Arrester* tersebut adalah.

- a. Memiliki tegangan dasar (terukur) dan frekuensi 50 Hz yang tidak dapat dilampaui.
- b. Memiliki karakteristik yang dibatasi oleh tegangan saat dilewatkan oleh

berbagai macam arus petir

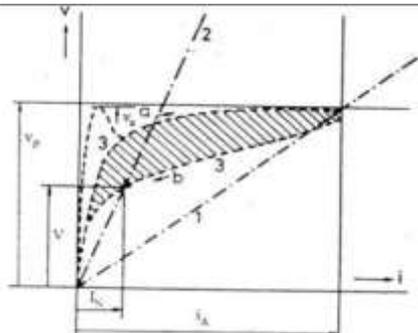
c. Memiliki batas thermis

Dari karakteristik ketiga karakteristik batas termal tersebut, adalah kemampuan untuk melakukan arus lonjakan yang terjadi secara berulang-ulang, misalnya rangkaian lonjakan tanpa menaikkan suhu. Meskipun kemampuan arester untuk mentransmisikan arus telah mencapai 65-100 kA, kemampuan untuk melakukan lonjakan rangkaian bahkan lebih penting ketika saluran menjadi panjang dan mengandung daya dalam jumlah besar.

Berhubungan dengan hal yang diatas , maka agar tekanan pada isolasi dapat di buat serendah mungkin, suatu sistem perlindungan tegangan lebih perlu memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- a. Dapat melepas tegangan lebih ketanah tanpa menyebabkan hubung singkat ketanah (saturated ground fault).
- b. Dapat memutuskan arus susulan
- c. Mempunyai tingkat perlindungan (protection level) yang rendah, artinya tegangan percikan sela dan

tegangan pelepasannya rendah.



- i_A = Arus surja
- i_N = Arus susulan
- V = Tegangan dasar
- V_a = Tegangan gagal selah
- V_p = Tegangan sisa
- A = Arus menaik
- B = Arus menurun
- 1,2 = Tahanan linear
- 3 = Tahanan tak linear

Gambar 2.2 karakteristik arus tegangan

Sumber : Manihuruk et al., 2021

$$I_a = \frac{2V - V_a}{z}$$

Keterangan ;

I_a = Arus pelepas arester (A)

V = Tegangan *surja* yang datang (kV)

V_a = Tegangan terminal arrester (kV)

Z + Impedansi surja kawat transmisi (Ω)

Impedansi surja (Surja Impedance)

Besar impedansi surja untuk kawat udara = 400 ohm dan untuk kabel = 50– 60 Ohm. Tegangan kerja penangkal petir akan naik dengan naiknya arus pelepasan tetapi kenaikan ini sangat dibatasi tahanan linear dari penangkal petir (Saiful ambri, 2018).

$$V_t = V_a + 2 \frac{dV}{dt} \frac{L}{1000} \text{ jadi,}$$

$$V_a = V_t - 2 \frac{dV}{dt} \frac{L}{1000}$$

Keterangan :

V_a = Tegangan pelepasan arester (kV)

V_t = Tegangan Maksimum (kV)

$\frac{dV}{dt}$ = Kecuraman gelombang (kV/s)

L = Jarak arrester dengan ujung kawat (ft)

2.2.1 Data Pengenal Arrester

a. Tegangan Pengenal

(Tegangan nominal filter) adalah tegangan dimana pembatas dapat terus beroperasi sesuai dengan karakteristiknya. Pemutus sirkit tidak dapat beroperasi pada tegangan sistem maksimum yang dirancang, namun dapat secara efektif memutus arus sistem. Tegangan pengenal arester harus lebih besar dari tegangan fasa penuh dan tegangan ground, jika tidak, arester akan menarik terlalu banyak arus melalui sistem, sehingga merusak arester karena kelebihan beban termal..Tegangan tertinggi sebagai berikut:

- 1) Tegangan sistem tertinggi (sistem highest voltage), umumnya diambil harga 110% dari harga tegangan nominal system.
- 2) Koefisien pentanahan didefinisikan sebagai perbandingan antara tegangan rms fasa sehat ketanah dalam keadaan gangguan pada tempat dimana *Arrester* dipasang, dengan tegangan rms fasa ke fasa tertinggi dari sistem dalam keadaan tidak ada gangguan. Jadi tegangan pengenal dari *Arrester* (*Arrester rating*) adalah tegangan rms fasa ke fasa x 1.10 x koefisien pentanahan.
- 3) Sistem yang ditanahkan langsung koefisien pentanahannya 0.8. arrester ini disebut arrester 80%. Sistem yang tidak ditanahkan langsung koefisien pentanahannya 1,0. Arrester ini disebut
- 4) arrester 100%.

2.2.2 Arus pelepasan nominal

Arus pelepasan dengan nilai puncak dan bentuk gelombang tertentu digunakan untuk menentukan kelas proteksi lonjakan arus sesuai dengan kapasitas dan karakteristik proteksinya. Bentuk gelombang arus pelepasan adalah:

- a. Menurut standar Inggris/Eropa (IEC) 8 μ s/ 20 μ s
- b. Menurut standar Amerika 10 μ s/ 20 μ s dengan kelas:
 1. 10 kA, 10/20 μ s: digunakan pada gardu induk, gardu yang berada dikawasan yang sering terjadi petir dan sitem bertegangan 66 kV.
 2. 5 kA, 10/20 μ s: digunakan pada gardu bertegangan \leq 66 kV.
 3. 2,5 kA, 10/20 μ s: digunakan pada sistem bertegangan \leq 22 kV.
 4. 1,5 kA, 10/20 μ s: digunakan pada sistem distribusi bertegangan \leq 22kV

c. Frekuensi pengenalan

Sama dengan frekuensi sistem dimana arrester terpasang

d. Tegangan percik frekuensi daya

Besar tegangan efektif frekuensi daya yang membuat terjadinya di sela arrester tidak terpercik jika terjadi hubung singkat atau fasa ke tanah maupun pada saat terjadi operasi hubung-buka (switching operation). Untuk alasan ini maka ditentukan tegangan percikan frekuensi jala-jala minimum.

- 1) Menurut standar inggris tegangan percikan jala-jala minimum adalah 1.6 x tegangan pengenalan arrester.

2) Menurut standar IEC tegangan percikan jala-jala minimum adalah

1.5 tegangan pengenalan arrester.

e. Tegangan percikan impuls maksimal

Puncak tegangan surja 1,2/50 μ s, yang membuat sela arrester pasti terpercik atau yang membuat arrester pasti bekerja. Misalnya ada suatu arrester mempunyai tegangan percikan impuls maksimal 65 kV. Jika arrester ini diberi tegangan 65 kV-1,2/50 μ s, sebanyak 5 kali maka arrester akan terpercik 5 kali.

f. Tegangan peluahan atau tegangan sisa

Tegangan di terminal *Arrester* saat mengalirkan arus surja yang besarnya sama dengan arus peluahan nominal. Tegangan sisa dan tegangan nominal dari suatu *Arrester* tergantung kepada kecuraman gelombang arus yang datang (di/dt dalam A/ μ s) dan amplitudo dari arus pelepasan. Untuk menentukan tegangan sisa ini digunakan impuls arus sebesar 8 μ s/20 μ s (standar IEC) dengan harga puncak arus pelepasan 5 kA dan 10 kA. Untuk harga arus pelepasan yang lebih tinggi maka tegangan sisa tidak akan naik lebih tinggi lagi. Hal ini disebabkan karena karakteristik tahanan yang tidak linear dari arrester. Umumnya tegangan sisa tidak akan melebihi BIL (*basic insulation level*) dari peralatan yang dilindungi walaupun arus pelepasan maksimum mencapai 65 kA hingga 100 kA.

g. Tegangan dasar (*Cut-off Voltage*)

Adalah tegangan AC maksimal yang diperbolehkan terjadi di terminal arrester, dimana arus susulan yang diakibatkan tegangan tersebut masih dapat dipadamkan.

h. Tegangan Gagal Sela

Besar tegangan yang membuat sela *Arrester* terpercik saat dikenai tegangan surja yang kecuraman muka gelombangnya 100 kV/ μ s/12 kV tegangan pengenalan *Arrester*.

i. Karakteristik Volt-Waktu (V-t)

Adalah karakteristik yang menyatakan hubungan tegangan percikan sela arrester dan waktu percikan.

j. Margin

Ketahanan suatu peralatan memikul tegangan surja petir, jika dipasang pada suatu sistem bertegangan tertentu disebut (basic Impuls Level). Untuk tegangan sistem tertentu, telah dipasang pada sistem tersebut. Selisih BIL peralatan yang dilindungi dengan tingkat proteksi arrester yang melindunginya disebut margin. Margin biasanya ditetapkan (20-30)% dari BIL peralatan yang dilindungi.

k. Arus peluahan maksimal

Adalah nilai puncak tertinggi dari arus surja 5/10 μ s yang dapat dialirkan arrester tanpa merusak *Arrester*. Dewasa ini, arus peluahan maksimal *Arrester* dirancang 100 kA untuk jenis gardu 65 kA untuk arrester jenis saluran.

2.2.3 Pemilihan tingkat isolasi dasar (BIL)

BIL ini menyatakan tingkat isolasi terhadap petir. Agar pemakaian arrester dalam koordinasi isolasi dapat memberikan hasil yang maksimal perlu berpedoman pada asas-asas. Dan salah satu asasnya adalah. Daerah perlindungan harus mempunyai jangkauan yang cukup untuk melindungi semua peralatan gardu induk yang mempunyai BIL (Basic Insulation Level) atau lebih tinggi dari daerah perlindungan.

Untuk menghitung dari margin perlindungan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$IM = (BIL / KIA - 1) \times 100\%$$

Keterangan:

IM = Impuls Margin (%)

KIA = Tegangan pelepasan maksimum arrester (kV)

BIL = Tingkat isolasi dasar (kV)

Berdasarkan rumus diatas ditentukan tingkat perlindungan untuk trafo daya. Kriteria yang berlaku untuk $MP > 20\%$ dianggap cukup untuk melindungi transformator (Manihuruk et al., 2021)

2.3 Jenis-jenis arrester

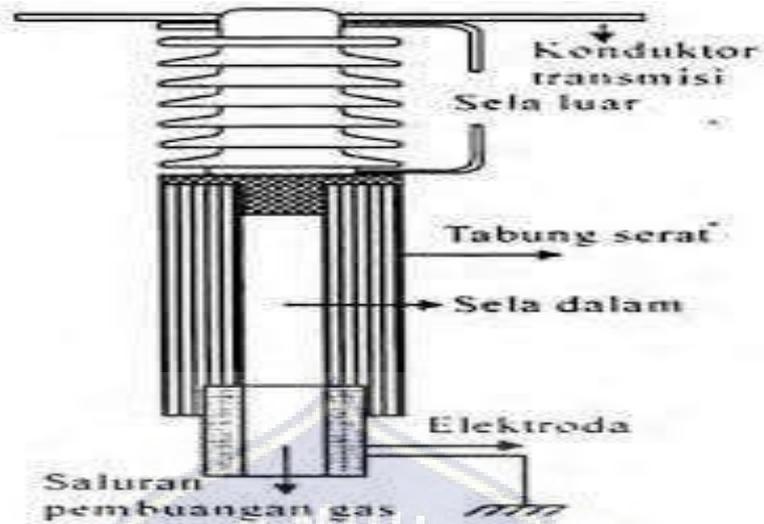
2.3.1 Arrester Ekspulsi

Arrester jenis ekspulsi atau tabung pelindung pada prinsipnya terdiri dari sela percik yang berada dalam tabung serat dan sela percik batang yang berada di luar, di udara atau disebut sela seri.

Arrester jenis ekspulsi ini mempunyai karakteristik volt waktu yang

lebih baik dari sela batang dan dapat memutuskan arus susulan. Tetapi tegangan percik impulsnya lebih tinggi dari arrester jenis katup. Tambahan lagi kemampuan untuk memutuskan arus susulan tergantung dari tingkat arus hubung singkat dari sistem pada titik di mana arrester itu dipasang. Dengan demikian *Arrester* ini dipandang tidak memadai untuk perlindungan transformator daya, kecuali untuk sistem distribusi.

Bila ada tegangan surja yang tinggi sampai pada jepitan arrester kedua sela percik, yang di luar dan yang berada di dalam tabung serat, tembus seketika dan membentuk jalan pengantar dalam bentuk busur api. Jadi arrester menjadi konduktor dengan impedansi rendah dan melakukan surja arus dan arus daya sistem bersama-sama. Panas yang timbul karena mengalirnya arus petir menguapkan sedikit bahan pelindung tabung serat, sehingga gas yang ditimbulkannya menyembur pada api dan mematikannya pada waktu arus susulan melewati titik nolnya. Arus susulan dalam arrester jenis ini dapat mencapai harga yang tinggi sekali tetapi lamanya tidak lebih dari satu atau dua gelombang, dan biasanya kurang dari setengah gelombang. Jadi tidak menimbulkan gangguan (Saragih et al., 2020)



Gambar 2.3.1 elemen-elemen arrester katup eksplusi

Sumber : Saragih et al., 2020

2.3.2 Arrester Katup Sela Aktif

Arrester sela aktif digunakan pada jaringan tegangan tinggi dan titik pusat jaringan distribusi. Konstruksi arrester katup sela aktif hampir sama dengan arrester katup sela pasif, perbedaannya terletak pada metode pemadaman busur api pada sela percik. Pada arrester katup sela aktif, untuk memadamkan busur api, yaitu memperpanjang dan mendinginkan busur api dengan cara membangkitkan medan magnet pada sela percik.



Gambar 2.32 elemen-elemen arrester katup sela aktif sumber Sumber : Saragih et al., 2020

2.3.3 Arrester Katup Tanpa Sela Percik

Arrester tanpa sela digunakan untuk semua tingkat tegangan. *Arrester* ini tidak menggunakan sela percik seperti halnya kedua *Arrester* katup terdahulu, tetapi hanya menggunakan resistor non-linier yang terbuat dari logam oksida (Metal Oxide). Karena bahan utamanya adalah logam oksida, dalam praktik sehari-hari *arrester* ini dinamai *arrester* MO.

2.3.4 Arrester Katup Jenis Gardu Arrester

Katup jenis gardu ini adalah jenis yang paling efisien dan juga paling mahal. Perkataan “gardu” di sini berhubungan dengan pemakaiannya secara umum pada gardu induk besar. Umumnya dipakai untuk melindungi alat-alat yang mahal pada rangkaianrangkain mulai dari 2.400 volt sampai 287 kV dan lebih tinggi.

2.3.5 Arrester katup Jenis Saluran Arrester

Jenis saluran ini lebih murah dari *arrester* jenis gardu. Kata “saluran” disini bukanlah berarti untuk perlindungan saluran transmisi. Seperti *Arrester* jenis gardu, *Arrester* jenis saluran ini juga dipakai pada gardu induk untuk melindungi peralatan yang kurang penting. *Arrester* jenis saluran ini dipakai pada sistem dengan tegangan 15 kV sampai 69 kV.

2.3.6 Arrester Jenis Gardu Untuk Mesin-Mesin Arrester

Jenis gardu ini khusus untuk melindungi mesin-mesin berputar. Pemakaiannya untuk tegangan 2,4 kV sampai 15 kV. g. *Arrester* Katup Jenis Distribusi Untuk Mesin-Mesin Arrester jenis distribusi ini khusus untuk melindungi mesinmesin berputar dan juga untuk melindungi transformator dengan pendinginan udara tanpa minyak. Arrester jenis ini dipakai pada peralatan dengan tegangan 120 volt sampai 750 volt.

2.4 Jarak Penempatan Arrester Dengan Peralatan

Penempatan *Arrester* yang baik adalah menempatkan *Arrester* sedekat mungkin dengan peralatan yang dilindungi jarak *Arrester* dengan peralatan yang dilindungi digunakan persamaan sebagai berikut :

$$E_p = e_a + \frac{2 \times A \times x}{v} \dots\dots\dots(1)$$

2.5 Teori Perhitungan Jarak Maksimum

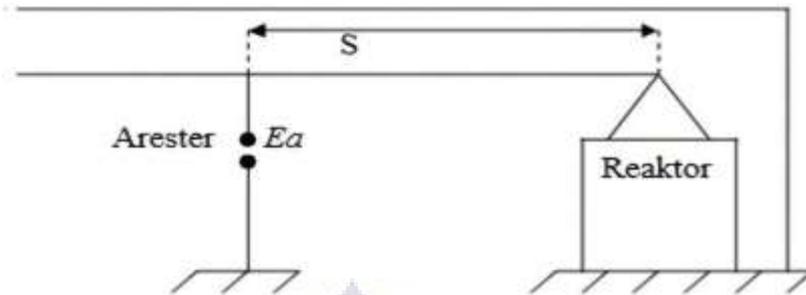
2.5.1 Penggunaan Teori Pantulan Berulang Untuk Menentukan Jarak Maksimum Arrester Dan Peralatan

Jarak amaksimum antara *Arreter* dan peralatan atau panjang maksimum kabel penhubung dapat ditentukan secara pendekatan dengan menggunakan teori pantulan berulang.

2.5.2 Jarak Maksimum Arrester Dan Trafo Yang Dihubungkan Dengan Saluran Udara

Untuk menentukan jarak maksimum *Arrester* dan peralatan yang dilindungi yang dihubungkan langsung dengan saluran udara

dianggap sebagai jepitan terbuka, jika gambar seperti dibawah ini:



Gambar 2.2 skema jarak Lightning Arrester dan transformator dengan jarak

Perlindungan yang baik diperoleh apabila *Lightning Arrester* ditempatkan sedekat mungkin dengan transformator tetapi dalam praktek *Lightning Arrester* itu harus ditempatkan dengan jarak (S) dari trans-formator yang dilindungi, sehingga jarak tersebut ditentukan agar perlindungan dapat berlangsung dengan baik. Apabila *Lightning Arrester* mulai memercik, maka tegangan pada jepitan *Lightning Arrester* persamaannya dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$E_a = A t + A(t - 2S/v) \dots\dots\dots(2)$$

$$= 2 A t - 2 A S/v$$

Keterangan :

E_a = Tegangan percik *Arrester* (*Arrester sparkover voltage*)

E_p = tegangan jepitan tarfo

$A = de/dt$ = kecuraman gel datang , dan dianggap kontan

S = jarak arrester dengan trafo

v = kecepatan merambat gelombang

Apabila waktu percik *Arrester* t_{so} , dihitung mulai gelombang itu pertama kali sampai pada arester, maka dari persamaan diatas menjadi :

$$t_{so} = \frac{Ea+2A S/v}{2A} \dots\dots\dots(3)$$

Setelah terjadi percikan maka arester berlaku sebagai jepitan hubung singkat dan menghasilkan gelombang sebesar:

$$- A(t- t_{so}) \dots\dots\dots(4)$$

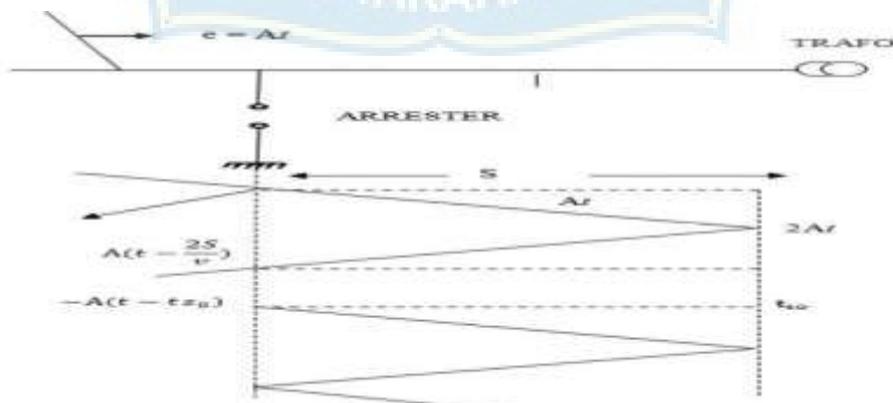
Gelombang negatif ini akan merambat ke tarifo, dan setelah pantulan pertama pada trafo terjadi, jumlah tegangan pada trafo menjadi :

$$\begin{aligned} E_p &= 2At - 2A(t - t_{so}) = 2 A t_{so} \\ &= 2A \frac{Ea+2A S/v}{2A} = Ea + 2 AS/v \dots\dots\dots(5) \end{aligned}$$

Harga maksimum $E_p = 2 Ea$

Bila tegangan tembus isolator tarifo = E_p , maka E_p harus lebih besar dari $(Ea + 2 AS/v)$ agar diperoleh perlindungan yang baik.

Untuk mengubah harga E_p cukup dengan mengubah S , yaitu makin k



Gambar 2.5 diagram tangga antara arrester dengan trafo
 Sumber : Yudha Prawira et al., 2018

Hasil dari persamaan kemudian di-analisis dengan teori pantulan berulang untuk menentukan jarak maksimum *Arrester* dan peralatan. Analisis menggunakan diagram tangga untuk dapat mengikuti jejak gelombang itu pada waktu tertentu, dibawah ini dapat dilihat pada Gambar 2.5 diagram tangga suatu gelombang surja yang melalui *lightning Arrester* dan transformator.

Waktu Percik *Arrester* (t_{ao}):

$$t_{ao} = 8 + \Delta t \dots \dots \dots (6)$$

2.5.3 Jarak Maksimum antara Arestor dan Pemutus Daya dan Transformator Menurut Teori Clayton-Powell

Metode ini menentukan jarak maksimum antara *Arrester* dengan pemutus daya dan transformator, penentuan jarak maksimum tersebut didasarkan atas dasar asumsi dibawah ini:

- Perlindungan didasarkan pada gelombang surja yang datang mempunyai laju kenaikan 500 kV per mikro detik.
- Tegangan surja pada peralatan disisi kawat transmisi dari arrester dibatasi sampai 1,15 TID dari peralatan. Tegangan dinamis system diabaikan karena tidak mempengaruhi jarak tersebut.
- Kapsistas surja peralatan pada sisi kawat transmisi dari arrester diabaikan.
- Transformator dipresentasikan oleh suatu harga kapasitas yang menghasilkan tegangan surja maksimum pada transformator.

- Jarak pemisah didasarkan atas tegangan percik
- Panjang kawat arrester dari sadapan tanah diambil 10,66 meter dan induksinya 0,40 mikro-henry per kaki.
- Peralatan yang dilindungi dan arrester digrounding dengan suatu kisi-kisi.
- Gardu induk diberi pelindung terhadap sambaran langsung dan kawat transmisi juga dilindungi mulai dari gardu induk sampai titik dimana surja terjadi.
- Harga tegangan surja yang datang = 1,2 kali tingkat isolasi gelombang penuh dari saluran.
- Tegangan yang masuk gardu induk mempunyai laju kenaikan yang tetap sampai tegangan percik arrester.
- Hanya satu saluran transmisi yang memasuki gardu induk.
- Dari rumus yang telah ada kemudian dianalisis dengan menggunakan diagram tangga untuk dapat mengikuti jejak gelombang itu pada setiap saat, berikut merupakan contoh diagram tangga suatu gelombang surja yang melalui *arrester* dan trafo.

2.5.4 Jarak Maksimum Antara Arrester Dan Pemutus Daya Dan Transformator Menurut Teori Witzke Blis

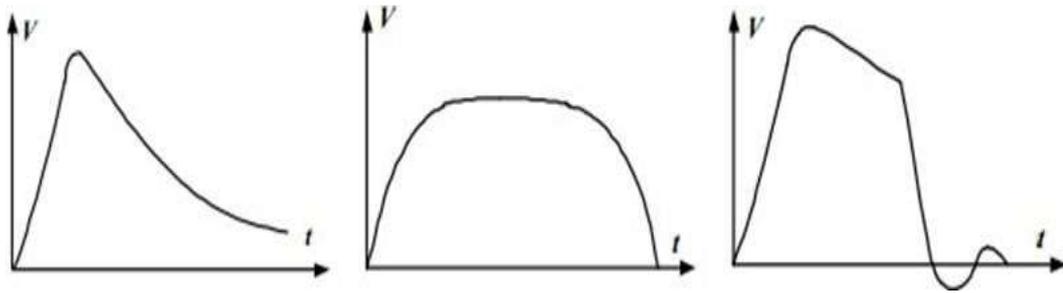
Untuk menghubungkan kawat transmisi ke gardu induk dapat dilakukan secara langsung atau melalui sepotong kabel. Pada sambungan kawat udara, arrester harus mampu didekatkan sedekat mungkin dengan peralatan yang dilindungi, atau jarak maksimumnya dapat diperoleh dengan metode pantulan berulang.

Bila digunakan sepotong kabel, *Arrester* dipasang pada titik sambungan antara kawat transmisi dengan kabel, atau bias juga pada jarak tertentu ke titik sambungan kabel. Pemakaian sepotong kabel tersebut dapat menurunkan besar surja yang masuk ke peralatan atau reactor terjadinya pantulan berulang pada kabel menimbulkan tegangan yang tinggi pada titik sambungan dan dapat merusak isolator kabel (Soni, 2020)

2.6 Tegangan Impuls

Tegangan impuls merupakan gangguan transmisi dan distribusi listrik akibat tegangan yang memiliki amplitudo yang sangat besar. Tegangan impuls terjadi akibat operasi hubung-buka (switching operation) pada sistem tenaga listrik atau karena sambaran petir. Dalam perkembangannya, tegangan impuls digunakan untuk pengujian peralatan tenaga listrik dan penyelidikan mekanisme tembus listrik bahan isolasi. Tegangan impuls diperoleh dari alat pembangkitan tegangan tinggi impuls yang terdiri atas generator impuls RLC, generator impuls RC, dan generator impuls rangkaian marx (Dian & Parhusip, 2019)

Ada tiga bentuk tegangan impuls yang mungkin menerpa sistem tenaga listrik yaitu tegangan impuls petir yang disebabkan oleh sambaran petir, tegangan impuls hubung buka yang disebabkan oleh adanya operasi hubung-buka dan tegangan impuls petir terpotong:



Gambar 2.6.1 Jenis-jenis Tegangan Impuls
 Sumber : Pikaloka, 2018

Persamaan menyatakan bahwa tegangan impuls didefinisikan sebagai suatu gelombang yang berbentuk eksponensial ganda.

$$V = V_0 (e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}) \dots \dots \dots (7)$$

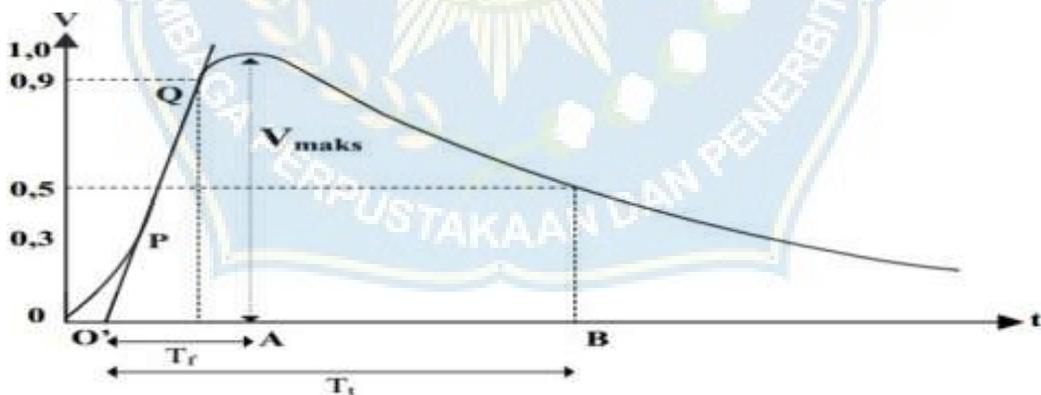
dengan:

V = tegangan impuls,

V_0 = tegangan keluaran,

α dan β = konstanta waktu

t = nilai waktu



Gambar 2.6.2 Bentuk Gelombang Impuls Petir
 Sumber : Pikaloka, 2018

1. Bentuk dan waktu gelombang impuls dapat diatur dengan mengubah nilai komponen rangkaian generator impuls.
2. Nilai puncak (peak value) merupakan nilai maksimum gelombang

impuls.

3. Muka gelombang (wave front) didefinisikan sebagai bagian gelombang yang dimulai dari titik nol sampai titik puncak. Waktu muka (T_f) adalah waktu yang dimulai dari titik nol sampai titik puncak gelombang.
4. Ekor gelombang (wave tail) didefinisikan sebagai bagian gelombang yang dimulai dari titik puncak sampai akhir gelombang. Waktu ekor (T_t) adalah waktu yang dimulai dari titik nol sampai setengah puncak pada ekor gelombang .

Pada tabel 2.6.1 ditunjukkan standar bentuk gelombang impuls petir yang dipakai oleh beberapa negara.

Tabel 2.6.1
Standar Bentuk Tegangan Impuls Petir

Standar	$T_f \times T_t$
Jepang	1 x 40 μs
Jerman dan Inggris	1 x 50 μs
Amerika	1,5 x 40 μs
IEC	1,2 x 50 μs

Nilai toleransi waktu muka dan waktu ekor gelombang untuk standar Jepang adalah 0,5– 2 μs dan 35 – 50 μs , standar Inggris 0,5 – 1,5 μs dan 40 – 60 μs , sedangkan untuk standar Amerika adalah 1,0 – 2,0 μs dan 30 – 50 μs . Untuk tegangan impuls petir berdasarkan standar IEC, penyimpangan waktu muka (T_f) yang ditolerir adalah $\pm 30\%$, sedang penyimpangan waktu ekor (T_t) yang ditolerir adalah $\pm 20\%$.

Alat pembangkit tegangan tinggi impuls di antaranya adalah Generator impuls RLC, Generator impuls RC, dan Generator Marx (Pikaloka, 2018).

2.7 Transformator

Transformator merupakan suatu alat listrik yang mengubah tegangan arus bolak-balik dari satu tingkat ke tingkat yang lain melalui suatu gandingan magnet dan berdasarkan prinsip-prinsip induksi elektromagnet dimana perbandingan tegangan antara sisi primer dan sisi sekunder berbanding lurus dengan perbandingan jumlah lilitan dan berbanding terbalik dengan perbandingan arusnya, Transformator terdiri atas sebuah inti, yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder (Irwan Nas, 2017).

2.8 Prinsip Kerja Transformator

Cara kerja transformator yaitu berdasarkan hukum arus (Ampere) dan hukum dasar elektro medan magnet (faraday), adalah tegangan listrik dapat menimbulkan medan magnet dan sebaliknya medan magnet dapat menimbulkan arus listrik. Jika pada salah satu lilitan pada trafo diberi arus ac (bolak-balik), maka besaran garis gaya magnet berubah-ubah. Akibatnya pada sisi primer terjadi induksi. Bidang sekunder menerima garis gaya magnet dari sisi primer yang jumlahnya berubah-ubah pula (Syamsul, 2021)

2.9 Jenis-Jenis Transformator

2.9.1 Transformator Berdasarkan Pasangan Kumparan

Transformator dapat dibedakan berdasarkan pasangan kumparan

atau lilitannya menjadi:

- Transformator satu belitan
- Transformator dua belitan
- Transformator tiga belitan

Transformator satu belitan adalah lilitan primer merupakan bagian dari lilitan sekunder atau sebaliknya, Trafo satu belitan ini lebih dikenal sebagai “auto trafo atau trafo hemat”, Trafo dua belitan adalah trafo yang mempunyai dua belitan yaitu sisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah dimana kumparan sekunder dan primer berdiri sendiri. Trafo tiga belitan adalah trafo yang mempunyai belitan primer, sekunder dan tersier, masing-masing berdiri sendiri pada tegangan yang berbeda (Irwan Nas, 2017)

2.9.2 Transformator Berdasarkan Fungsi

Menurut fungsinya Transformator dibagi atas: Transformator daya, Transformator distribusi, Transformator pengukuran, Transformator elektronik.

a) Transformator Daya

Transformator daya adalah trafo yang digunakan untuk pemasok daya, Transformator daya mempunyai dua fungsi yaitu menaikkan tegangan listrik (step-up) dan menurunkan tegangan listrik (step-down), Trafo daya tidak dapat digunakan langsung untuk menyuplai beban, karena sisi tegangan rendahnya masih lebih tinggi dari tegangan beban, sedangkan sisi tegangan tingginya merupakan tegangan transmisi, Trafo berfungsi sebagai step-up pada system dimana tegangan keluaran

lebih tinggi dari pada tegangan masukan (misalnya pada pengiriman/penyaluran daya) dan sebaliknya trafo berfungsi sebagai step-down jika tegangan keluaran lebih rendah daripada tegangan masukan misalnya menerima/mengeluarkan daya (Irwan Nas, 2017).

b) Transformator Distribusi

Transformator distribusi pada dasarnya sama dengan transformator daya, bedanya adalah tegangan rendah pada trafo daya bila dibandingkan dengan tegangan tinggi trafo distribusi masih lebih tinggi, Kedua tegangan pada transformator distribusi merupakan tegangan distribusi yaitu untuk distribusi tegangan menengah (TM) dan distribusi tegangan rendah (TR), Trafo distribusi digunakan mendistribusikan energi listrik langsung ke pelanggan.

c) Transformator Ukur

Pada umumnya trafo ini di gunakan untuk mengukur arus (I) dan tegangan (V), Trafo ini trafo ini dibuat khusus untuk mengukur arus dan tegangan yang tidak mungkin bisa diukur langsung oleh Amperemeter atau voltmeter.

d) Transfformator Elektronik

Transformator ini prinsipnya sama seperti transformator daya, tapi kapasitas daya reaktif sangat kecil. yaitu kurang 300 VA yang 12 digunakan untuk keperluan pada rangkaian elektronik (Irwan Nas, 2017).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Dalam penelitian “Analisis Kemampuan *Arrester* Untuk Pengaman Pada Gardu Trafo Disribusi 20 kv di PT. PLN Mattoanging” penulis menggunakan jenis penelitian kuantitatif dan kualitatif. Kuantitatif adalah melakukan pengumpulan data berdasarkan pengukuran yang dilakukan dalam penelitian ini yang hasil dari pengukuran itu diselesaikan dalam bentuk matematis sedangkan jenis penelitian kualitatif adalah melakukan analisis penelitian berdasarkan data pengukuran kuantitatif.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

1. Waktu

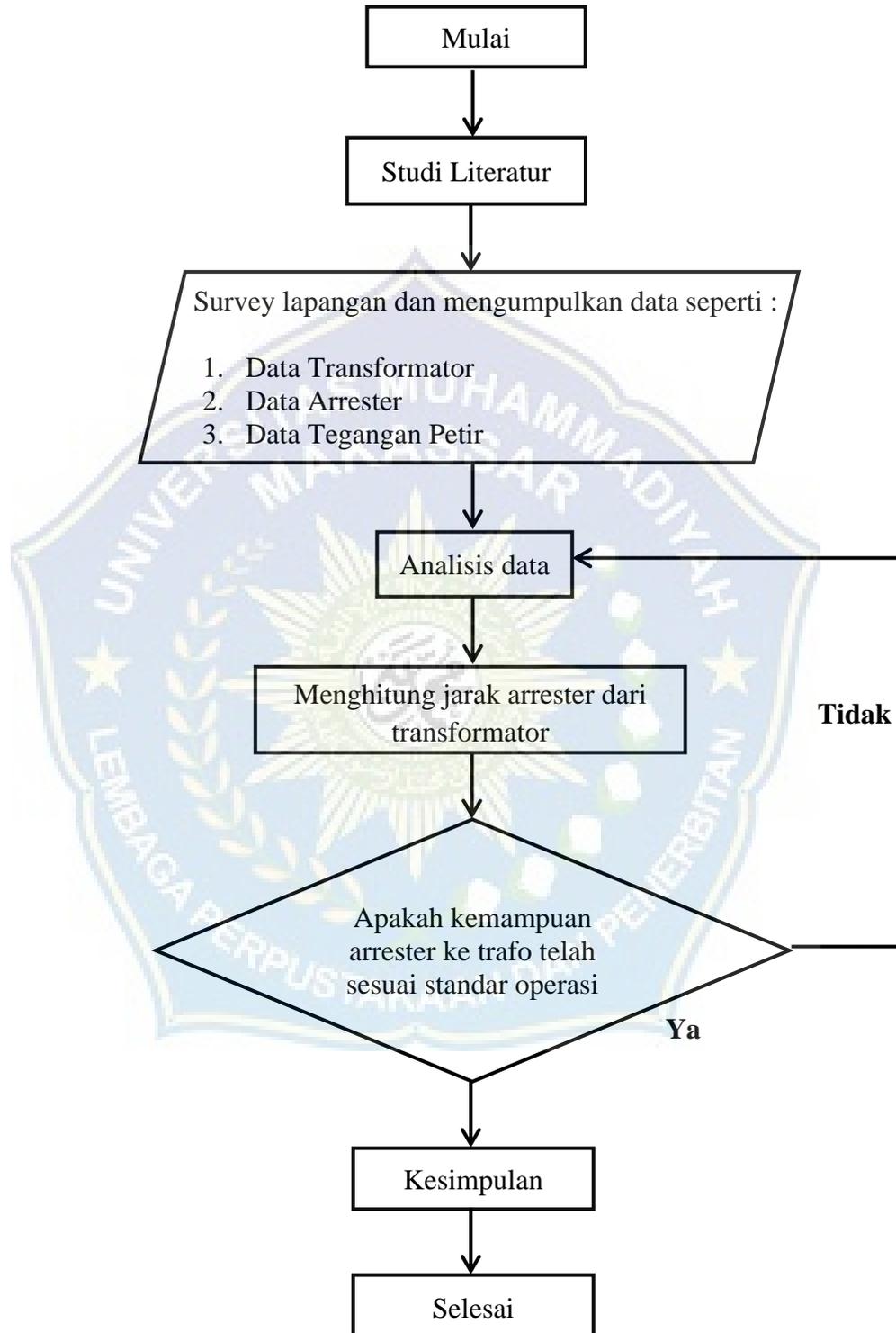
Waktu penelitian ini berlangsung selama 2-3 minggu yang dilaksanakan mulai pada bulan Desember 2023

2. Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di wilayah PT. PLN (persero) ULP MATTOANGIN bertempat di Jl. Mongisidi no 2, Maricayya baru, kecamatan makassar, kota makassar, provinsi Sulawesi Selatan.

3.3 Flow Chart

Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.3 Flow chart

3.4 Studi Literatur

Studi literatur adalah pengumpulan referensi dari buku-buku, penelitian sebelumnya dan jurnal-jurnal dari internet yang berhubungan atau yang dapat mendukung teori penyelesaian penelitian “Analisis Kemampuan Arrester Untuk Pengaman Pada Gardu Trafo Distribusi 20 kv di PT. PLN Mattoanging”

3.5 Pengambilan Data

Dalam penelitian ini, penulis melakukan pengambilan data di PT. PLN Mattoanging, pengambilan data dilakukan dengan cara meminta data yang sudah ada pada PT. PLN Mattoanging, data diperoleh dengan mengikuti prosedur yang ada pada instansi terse, teganganbut yaitu dengan cara mengirimkan surat izin pengambilan data dari pihak Universitas. Seterusnya menunggu balasan dari pihak PLN, setelah surat balasan diperoleh baru dilakukan pengambilan data sesuai kebutuhan penelitian.

3.6 Analisis Data

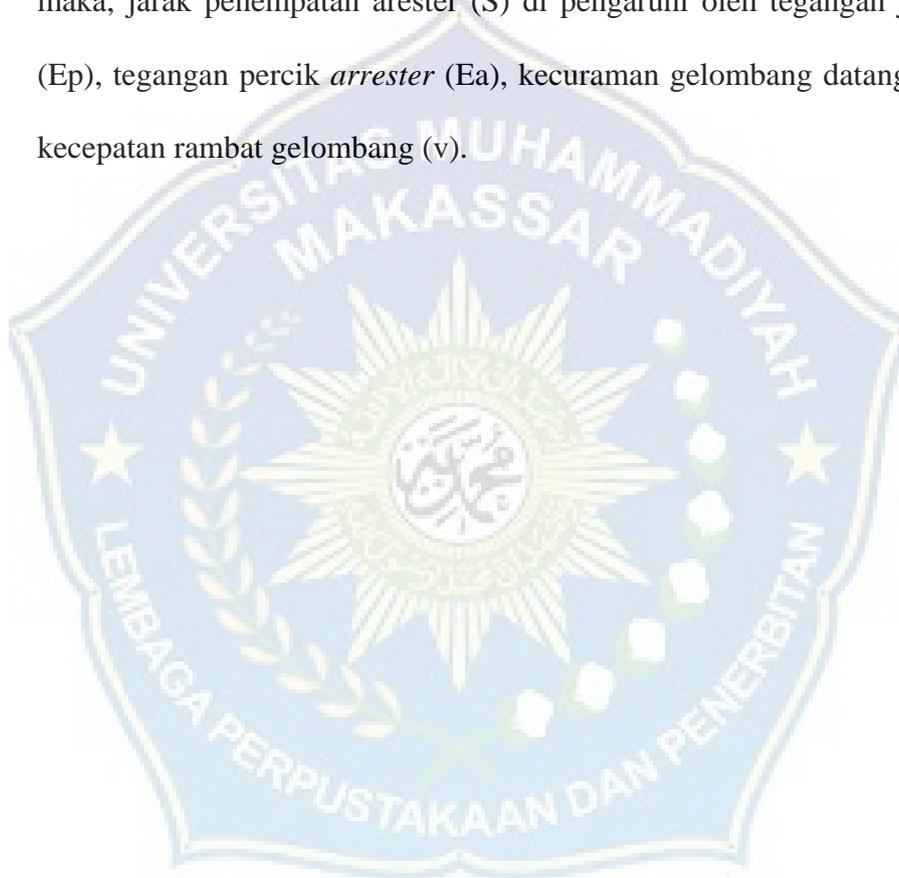
Metode yang digunakan dalam analisis data pada penelitian in adalah metode koordinasi isolasi, dimana dari data-data yang diperoleh kemudian dihitung TID transformator, tegangan pelepasan arrester, serta jarak penempatan arrester terhadap transformator.

1. Menentukan jarak *Lightning arrester* ke trasformator
2. Menentukan karakteristik lokasi *lightning arrester* dengan tingkat isolasi peralatan yang dilindungi menggunakan teori pantulan berulang
3. Menentukan waktu percik *arrester* dan tegangan tertinggi yang tiba pada

transformator

4. Mengetahui mampukah *lightning arrester* mengisolir gangguan surja, sehingga trasformator tetap aman

Rumus yang di gunakan untuk menentukan jarak maksimum antara arester dengan trafo adalah $E_p = E_a + 2 A S \sqrt{v}$ sesuai dengan rumus di atas maka, jarak penempatan arester (S) di pengaruhi oleh tegangan jepit trafo (E_p), tegangan percik *arrester* (E_a), kecuraman gelombang datang (A), dan kecepatan rambat gelombang (v).



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perlindungan Yang baik diperoleh jika *Arrester* ditempatkan sedekat mungkin dengan transformator, Tetapi dalam kenyataannya,*Arrester* harus ditempatkan dengan jarak tertentu,agar perlindungan dapat berlangsung dengan baik



Gambar 4.1. Bentuk fisik trafo dan arrester yang terpasang Jl Sungai sadding

4.1 Data Penelitian

1. Data trafo distribusi 20 KV yang terhubung pada JTM tersebut berikut spesifikasi trafo :

Type : SPLN D3.002-1

Nomor Seri : 1404184

Tahun Buat : 2007

Kenaikan Temp. Minyak : 50°C

Kenaikan Temp. Belitan : 55°C

Kapasitas : 50 KVA

Phas : 3

Frequency : 50 Hz

Jenis Minyak : IEC 29



Nameplate Transformator Tenaga

2. Data Spesifikasi arrester yang terhubung ke trafo :

Tipe SL 2T48

Penempatan phase : Trafo II

Type : SL 2T 4 8

No Serie : 2T48

Pabrik : INDIA

Standard : IEC

Th. Pembuatan : 2008

Pemasangan : Luar

Classification : 10 KA

Rated Voltage : 24 KV



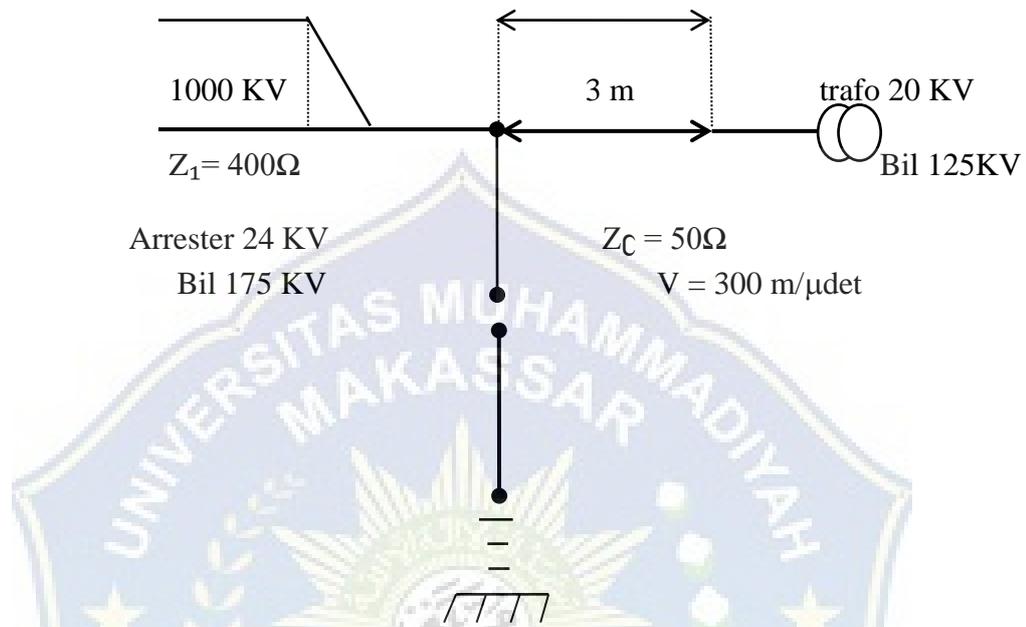
Nameplate *Lightning Arrester*

3. Jarak peralatan *arreter* dengan trafo adalah 3 m
4. Data penelitian pada transformator yang terhubung dengan *arrester*

Tabel 4.1. Hasil data penelitian pada transformator yang terhubung dengan *arrester*

Tegangan Sistem (KV)	Bil Transformator (KV)	Bil Lightning Arrester (KV)	Tegangan Percik (KV)	Jarak Arrester ke Transformator	Kecepatan rambat surja (M/ μ det)
20 KV	125	175	100	3	300

Data yang diperoleh dari hasil penelitian terhadap peralatan Gardu Trafo Distribusi 20 Kv yang disajikan dalam bentuk diagram tangga adalah sebagai berikut



Gambar 4.1. Konstruksi diagram tangga

Analisis menggunakan teori pantulan berulang pada lightning arrester sebagai proteksi surja untuk transformator :

$$a = \frac{50 - 400}{50 + 400} = \frac{-350}{450} = -0,777$$

$$a' = \frac{2 \times 50}{50 + 400} = \frac{100}{450} = 0,22$$

$$b = \frac{400 - 50}{400 + 50} = \frac{350}{450} = 0,777$$

$$b' = \frac{2 \times 400}{50 + 400} = \frac{800}{450} = 1,777$$

Keterangan:

a adalah pantulan gelombang yang datang dari kiri

a' adalah pantulan gelombang yang datang dari kanan

b adalah terusan gelombang yang datang dari kiri

b' adalah terusan gelombang yang datang dari kanan

4.2 Pembahasan

Dari hasil survey penelitian diketahui bahwa *arrester* terpasang pada saluran guna untuk melindungi semua peralatan, dengan pembahasan

4.2.1 Perhitungan jarak *Arrester* dengan Trafo

Diketahui bahwa tegangan sistem peralatan adalah sebagai berikut, tegangan transmisi 20 KV dengan BIL 125 KV. Trafo dilindungi oleh arester dengan tegangan percik 100 KV, dengan jarak perlindungan terhadap peralatan adalah sejauh 3 meter, surja yang datang sebagai variable merambat menuju peralatan yang dilindungi arester dengan kecepatan $300 \text{ m}/\mu\text{dt}$, berapakah jarak maksimum antara arester dan peralatan, sehingga semua peralatan itu terlindungi dari bahaya surja?

Diketahui :

$E_p = 125 \text{ KV}$ Ket: $E_p =$ tegangan jepit trafo

$A = 1000 \text{ dv/dt}$ $E_a =$ Tegangan percik *arrester*

$E_a = 100 \text{ KV}$ $A =$ Kecuraman gelombang

$V = 300 \text{ m}/\mu\text{dit}$ $V =$ Kecepatan rambat gelombang

Ditanyakan : S (Jarak Maksimum antara *Arrester* dengan Trafo)?

surja petir sebesar 1000 dv/dt setelah dihitung secara matematis diperoleh perhitungan jarak maksimum *arrester* adalah sebesar :

$$E_p = E_a + 2 \frac{AB}{V}$$

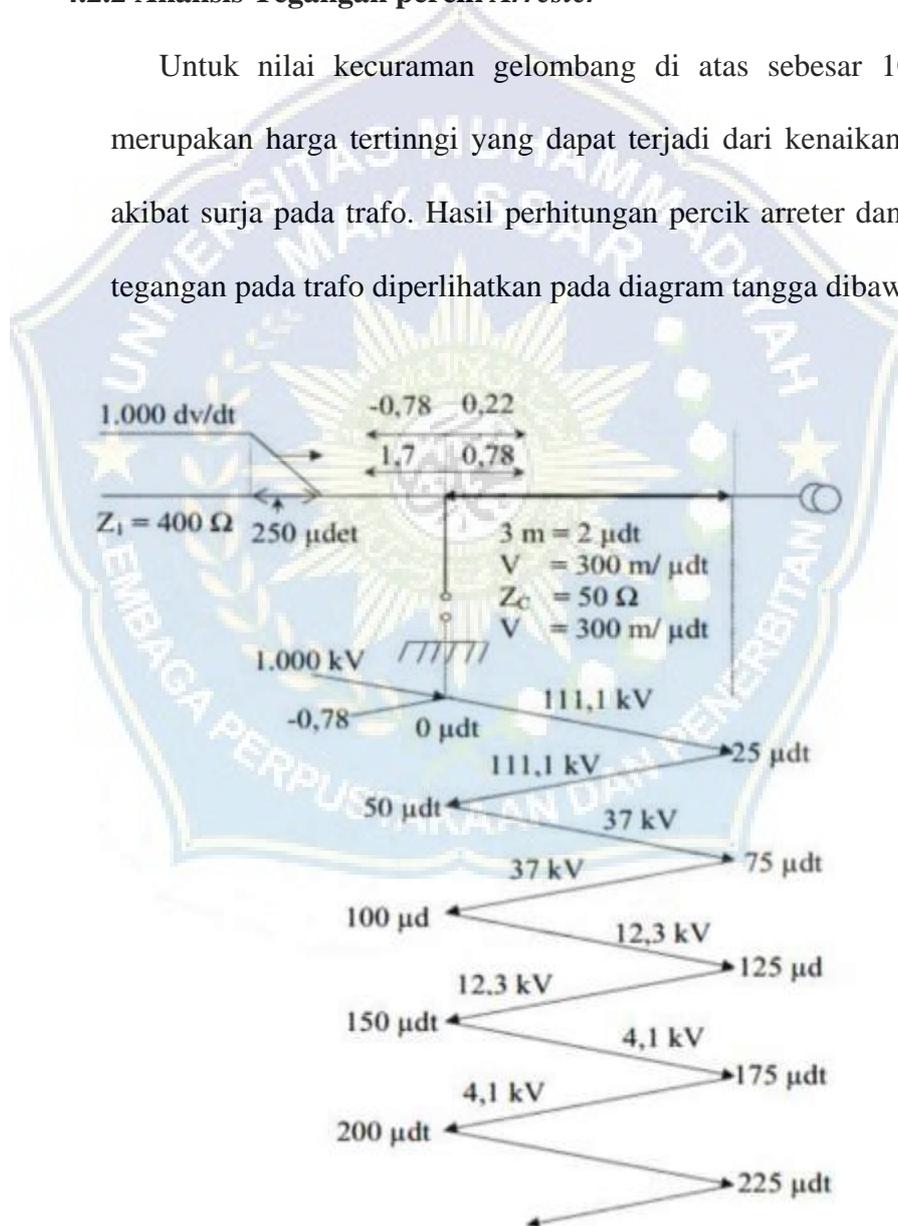
$$125 = 100 + 2 \frac{1000 \times S}{300}$$

$$S = 3,75 \text{ m}$$

Pada hal dalam kenyataan di lapangan berjarak 3 meter, sehingga pemasangannya masih dalam keadaan standar maksimum (aman).

4.2.2 Analisis Tegangan percik *Arrester*

Untuk nilai kecuraman gelombang di atas sebesar 1000 dv/dt merupakan harga tertinggi yang dapat terjadi dari kenaikan tegangan akibat surja pada trafo. Hasil perhitungan percik arrester dan kenaikan tegangan pada trafo diperlihatkan pada diagram tangga dibawah ini :



Gambar 4.2 analisis diagram tangga

Pertama kita harus menentukan waktu pada saat *arrester* mengalami percikan. Misalkan dulu tidak ada *arrester* maka, tegangannya :

$$t = 0 \mu\text{det} ; e = 0 \text{ KV}$$

$$t = 25\mu\text{det} ; e = 111,1 \text{ KV}$$

$$t = 50\mu\text{det} ; e = 111,1 \text{ KV}$$

$$t = 75\mu\text{det} ; e = 111,1 + 111,1 + 37 = 259,2 \text{ KV}$$

$$t = 100\mu\text{det} ; e = 259,2 \text{ KV}$$

$$t = 125\mu\text{det} ; e = 259,2 + 37 + 12,3 = 308,5 \text{ KV}$$

$$t = 150\mu\text{det} ; e = 308,5 \text{ KV}$$

$$t = 175\mu\text{det} ; e = 308,5 + 259,2 + 12,3 + 4,1 = 584,1 \text{ KV}$$

$$t = 200\mu\text{det} ; e = 584,1 \text{ KV}$$

Kecuraman gelombang yang di peroleh dari masing-masing dari perhitungan berdasarkan waktu terjadinya yang disajikan dalam bentuk tabel adalah sebagai berikut

Tabel 4.2 Kecuraman gelombang berdasarkan waktunya

NO	Waktu/ t(μdet)	Kecuraman Gelombang e (dv/dt)
1	0	0
2	25	111,1
3	50	111,1
4	75	259,2
5	100	259,2
6	125	308,5
7	150	308,5
8	175	584,1
9	200	584,1



Gambar 4.3 Grafik kecuraman gelombang berdasarkan waktu

Bersarkan tabel 4.2. dapat diketahui bahwa kecuraman gelombang akan selalu meningkat sebanding dengan kenaikan waktu. Pada waktu tertentu dan kecuraman gelombang tertentu arrester akan menarik (*spark over*) tegangan pada lokasi *arrester* dan waktu untuk mencapainya dapat diperoleh dari analisis diagram tangga. Gambar 4.3 Naik tegangan pada lokasi arrester diberikan dalam Gambar 4.3 sesuai perhitungan waktu arrester seperti dibawah ini :

Analisis Tegangan Percik *Arrester* :

$$t = 0\mu\text{det} \quad ; \quad e = 0 \text{ KV}$$

$$t = 25\mu\text{det} \quad ; \quad e = 333,3 \text{ KV}$$

$$t = 50\mu\text{det} \quad ; \quad e = 333,3 + 333,3 = 666,6 \text{ KV}$$

Waktu percik *Arrester* ($t_{s,0}$) :

$$t_{s,0} = 8 + \Delta t$$

$$t_{s,0} = \frac{Ea + 2a S/v}{2A}$$

$$100 = 333,3 + 1,777 \frac{146}{2} \Delta t$$

$$100 = 333,3 + 1,777 \Delta t$$

$$\Delta t = 563$$

$$\text{Jadi } t_{s,o} = 8 + 563 = 571 \mu\text{det}$$

Naik tegangan pada trafo adalah sebagai berikut :

$$t = 0 \mu\text{det} ; e = 0 \text{ KV}$$

$$t = 0 \mu\text{det} ; e = 0 \text{ KV}$$

$$t = 50 \mu\text{det} ; e = 0,22 \text{ KV}$$

$$t = 100 \mu\text{det} ; e = 0,22 \text{ KV}$$

$$t = 150 \mu\text{det} ; e = 0,22 + 59,2 = 59,42 \text{ KV}$$

$$t = 200 \mu\text{det} ; e = 59,42 \text{ KV}$$

$$t = 250 \mu\text{det} ; e = 59,42 + 78,9 = 138,32 \text{ KV}$$

$$t = 300 \mu\text{det} ; e = 138,32 \text{ KV}$$

Tabel 4.3 naik tegangan pada trafo

No	Waktu t/ μdet	Kecuraman Gelombang e (dv/dt)
1	0	0
2	0	0
3	50	0,22
4	100	0,22
5	150	59,42
6	200	59,42
7	250	138,32
8	300	138,32



Gambar 4.4 Grafik Naik PadaTrafo

Berdasarkan Gambar 4.4 dapat diketahui bahwa besar tegangan pada trafo juga mengalami terus berbanding lurus dengan kenaikan atau bertambahnya waktu. Tegangan pelepasan ditentukan dari perhitungan $4,55 \times 24 \text{ KV} = 109,2$ ditambahkan dengan toleransi 20% menjadi 131,4 KV lebih tinggi dari BIL yang dilindungi.

Tegangan pada trafo akan mengalami penurunan setelah *arrester* memercik pada 572 µdet. Dan karena BIL Transformator 125 KV, sedangkan tegangan yang timbul puncaknya sampai 138,32 KV pada 300 µdet, maka *arrester* masih mampu melindungi Trafo tersebut.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan “kemampuan *arrester* untuk pengamanan pada trafo pada gardu distribusi 20 KV MATTOANGIN” dapat di simpulkan sebagai berikut:

- a. Dari hasil matematis, jarak pemasangan dari *arrester* tipe SL 2T48 masih mampu melindungi trafo dari gangguan surja petir dan surja hubung, dengan jarak maksimum 3,75 m, sedangkan jarak yang ada dilapangan adalah 3m.
- b. Dari hasil perhitungan matematis, tegangan yang timbul puncaknya sampai 138,32 KV 300 μ det , dan karena BIL trafo 125 KV maka *arrester* masih mampu melindungi trafo tersebut dari tegangan berlebihan dari sambaran petir.

5.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa saran antara lain:

- a. Pemasangan *arrester* berdasarkan jaraknya dengan trafo masih dalam batas aman yaitu antara jarak 3 m sampai 3,75 m.
- b. Untuk menjaga sistem agar selalu pada kondisi aman dan baik maka perlu dilakukan perawatan pada sistem agar dapat bekerja dengan optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- A, I., & Wahyuddin. (2021). *Analisis Rating Lighting Arrester Untuk Pengaman Peralatan Pada Gardu Induk Maros 150 Kv Di Pt Pln (Persero) Ultg Maros.*
- Cahyaningsih, Tri. 2005. *Skripsi Arester Sebagai Sistem Pengaman Tegangan Lebih Pada Jaringan Distribusi Tegangan Menengah 20 KV. TE FT UNNES. Semarang.*
- Dani, A. G. M. (2021). *Identifikasi Bahaya Menggunakan Metode Hazard And Operability Study (Hazop) Pada Pekerjaan Pemasangan Arrester Teknisi Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (Pdkb) Pt. Pln (Persero) Up3 Demak. 30601700092.*
- Dian, D., & Parhusip, F. (2019). *Impuls Menggunakan Rangkaian Rlc.*
- Irwan Nas. (2017). *Analisis Pembebanan Transformator Distribusi Di Pt Pln (Persero) Rayon Jeneponto. 1–14.*
- Manihuruk, J., Simorangkir, T., & Sitanggang, N. L. (2021). *Studi Kemampuan Arrester Untuk Pengaman Transformator Pada Gardu Induk Tanjung Morawa 150 Kv. Jurnal Elpotecs, 4(1), 16–25.*
- M.S Parasiu, dkk 2013. *Analisis Rating Lighting Arrester Pada Jaringan Transmisi 70Kv Tomohon-Teling*(online)
- Pikaloka, T. V. (2018). *Desain Rangkaian Pelipat Tegangan 6 Kv Marx Generator Empat Tingkat sebagai Catu Tegangan Generator Surja.*
- PT PLN PERSERO .2014. *Buku Pedoman Pemeliharaan Ligting Arrester Jakarta.*
- Ramayulis Nasution, dkk 2019 *Analisa Penempatan Lighting Arrester Sebagai Pegaman Gangguan Petir Di Gardu Induk Langsa* (ONLINE)
- Saiful Ambri. (2018). *Analisis Arrester Pada Jaringan Distribusi 20 Kv Di Pt. Pln Rayon Soppeng.* 78. Saragih, R., Yusniati, Nasution, R., & Armansyah. (2020). *Studi Peralatan Proteksi Sambaran Petir Lightning Arrester Pada Jaringan Distribusi 20 Kv. Journal Of Electrical Technology, 5(1), 32–36.*
- Syamsul, M. A. (2021). *Analisis Pembebanan Transformator Distribusi Gedung Iqra Universitas Muhammadiyah Makassar.* 6.
- Tasbir, M. (2020). *Analisa Peralatan Lightning Arrester Pada Gardu Induk Bolangi 150 Kv.*

LAMPIRAN

A. Data penelitian

Transformator tenaga



spesifikasi trafo :

Type : SPLN D3.002-1

Nomor Seri : 1404184

Tahun Buat : 2007

Kenaikan Temp. Minyak : 60 C

Kenaikan Temp. Belitan : 65 C

Kapasitas : 50 KVA

Phas : 3

Frequency : 50 Hz

Jenis Minyak : IEC 29



Spesifikasi arrester yang terhubung ke trafo :

tipe SL 2T 4 8

Penempatan phase : Trafo II

Type : SL 2T 4 8

No Serie : 2T48

Pabrik : INDIA

Standard : IEC

Th. Pembuatan : 2008

Pemasangan : Luar

Classification : 10 KA

Rated Voltage : 24 KV

Tegangan Sistem (KV)	Bil Transformator (KV)	Bil Lightning Arrester (KV)	Tegangan Percik (KV)	Jarak Arrester ke Transformator	Kecepatan rambat surja (M/ μ det)
20 KV	125	175	100	3	300

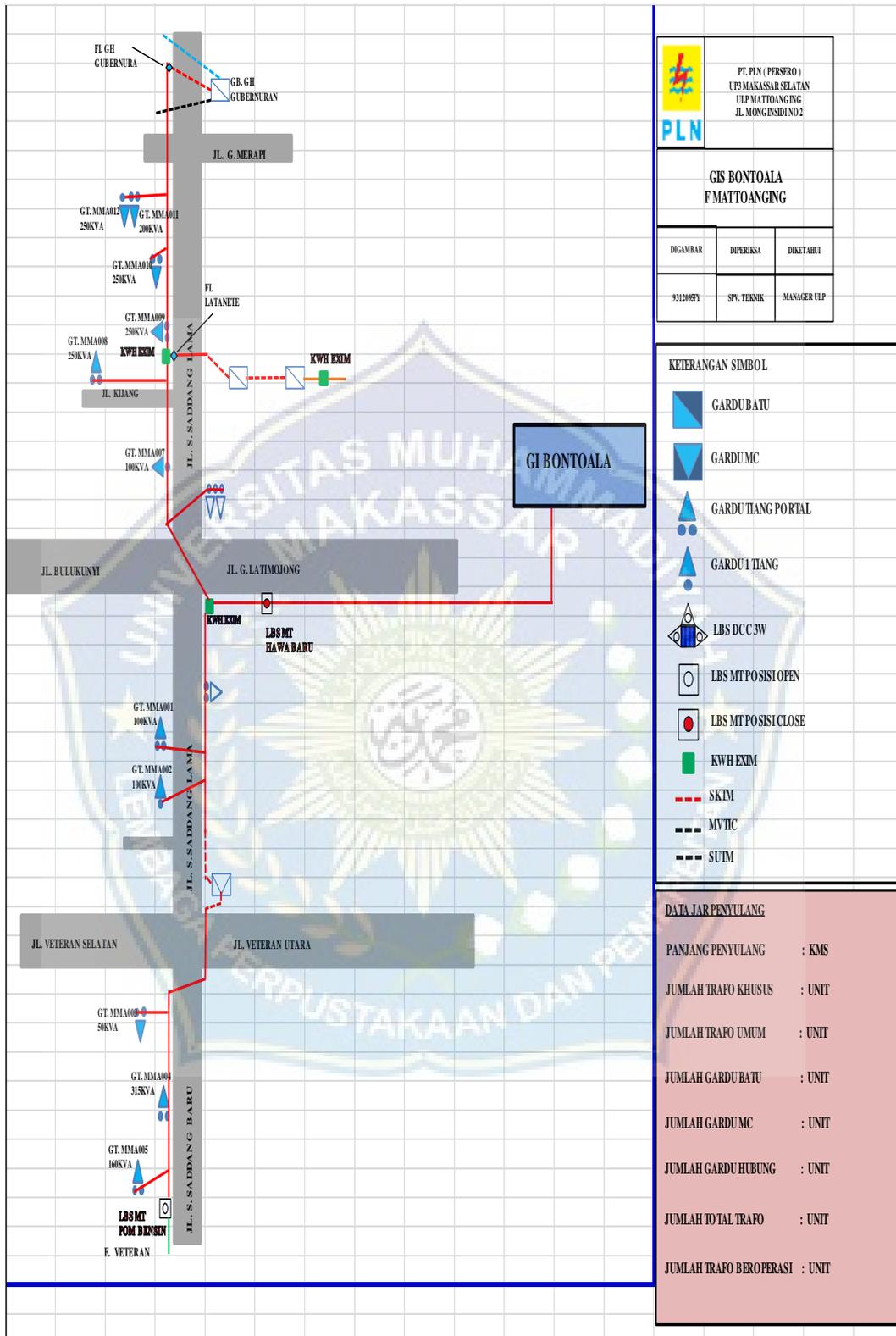
Tabel hasil penelitian pada transformator

NO	Waktu/ t(μ det)	Kecuraman Gelombang KV/s
1	0	0
2	25	111,1
3	50	111,1
4	75	259,2
5	100	259,2
6	125	308,5
7	150	308,5
8	175	584,1
9	200	584,1

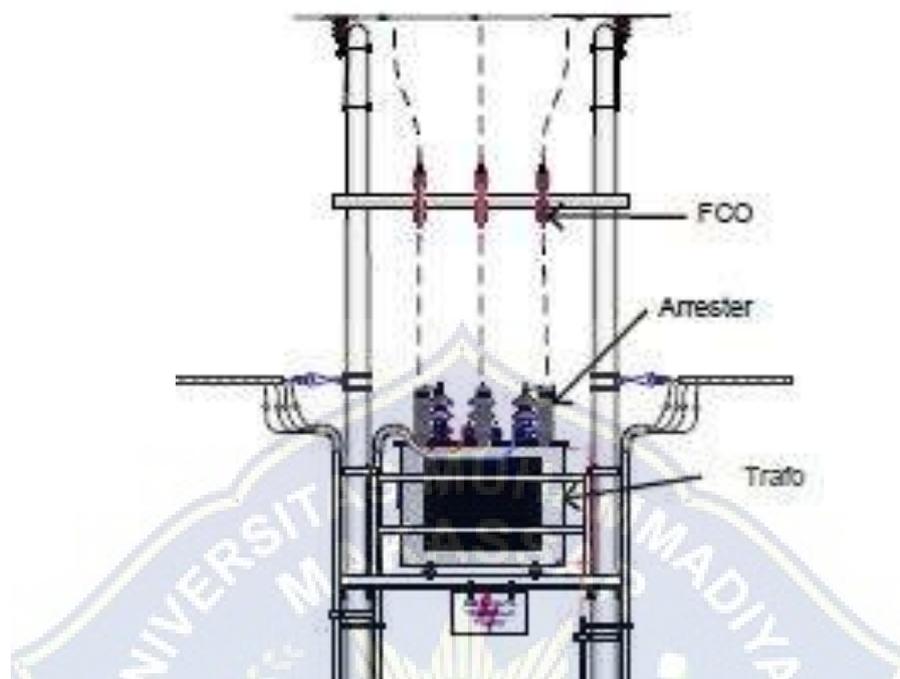
Tabel Kecuraman Gelombang

No	Waktu t/ μ det	Kecuraman Gelombang/e(dv/dt)
1	0	0
2	0	0
3	50	0,22
4	100	0,22
5	150	59,42
6	200	59,42
7	250	138,32
8	300	138,32

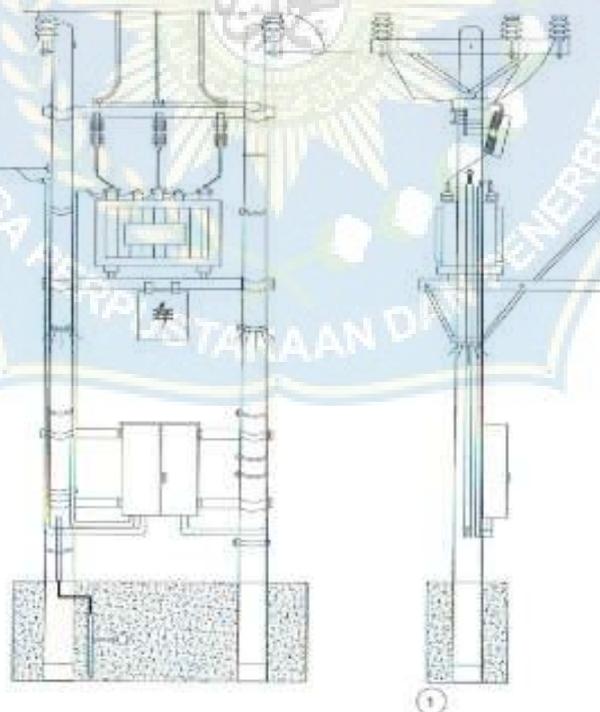
Tabel naik tegangan pada trafo



Single lane diagram wilayah mattoangin



Konstruksi pemasangan pengaman gardu trafo distribusi



Transformator 50 KVA 3 Phasa Komplit

B . Dokumentasi penelitian







**MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN**

Alamat kantor: Jl.Sultan Alauddin NO.259 Makassar 90221 Tlp.(0411) 866972,881593, Fax.(0411) 865588

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

SURAT KETERANGAN BEBAS PLAGIAT

**UPT Perpustakaan dan Penerbitan Universitas Muhammadiyah Makassar,
Menerangkan bahwa mahasiswa yang tersebut namanya di bawah ini:**

Nama : Adnan Japaruddin / Ibnu Aenun

Nim : 105821109918 / 105821100318

Program Studi : Teknik Elektro

Dengan nilai:

No	Bab	Nilai	Ambang Batas
1	Bab 1	6 %	10 %
2	Bab 2	21 %	25 %
3	Bab 3	7 %	10 %
4	Bab 4	4 %	10 %
5	Bab 5	5 %	5 %

Dinyatakan telah lulus cek plagiat yang diadakan oleh UPT- Perpustakaan dan Penerbitan Universitas Muhammadiyah Makassar Menggunakan Aplikasi Turnitin.

Demikian surat keterangan ini diberikan kepada yang bersangkutan untuk dipergunakan seperlunya.

Makassar, 12 Februari 2024

Mengetahui,

Kepala UPT- Perpustakaan dan Penerbitan,

