

Paper liliana, gerry

by Jurnal Jst

Submission date: 16-Oct-2021 11:45AM (UTC+0700)

Submission ID: 1675303993

File name: Paper_JST.docx (78.07K)

Word count: 5349

Character count: 32278

PERLINDUNGAN KAWAT FASA DENGAN OPTIMALISASI SUDUT LINDUNG KAWAT TANAH DAN PENEMPATAN LIGHTNING ARESTER

Liliana¹, Aini Z², Badri S³, Ardi G.A⁴

^{1,2,4} Teknik Elektro, UIN Suska Riau
Pekanbaru, Indonesia

² Teknik ELektroi, Institut Teknologi Padang
Padang, Indonesia

e-mail: liliana@uin-suska.ac.id

Abstrak

Petir memiliki arus sangat besar dan waktu yang sangat singkat sehingga dapat menimbulkan kerusakan yang fatal terutama pada peralatan listrik di udara terbuka. Tujuan penelitian pertama menghasilkan jumlah gangguan pada kawat fasa, sudut lindung kawat tanah dan penempatan optimal lightning arrester untuk memberikan perlindungan terhadap kawat fasa Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 kV dan lightning arrester di penyulang Muaro Pati Payakumbuh. Perhitungan gangguan dilakukan untuk sambaran petir tidak langsung dan langsung, tanpa dan dengan kawat tanah. Metode Rolling Sphere dengan persamaan Hasse dan Wiesinger digunakan dalam menghitung sudut kawat tanah terhadap sambaran petir langsung dan tidak langsung. Sedangkan metode Pengali Lagrange digunakan untuk menghasilkan penempatan lightning arrester optimal. Berdasarkan hasil perhitungan gangguan akibat sambaran petir tidak langsung dan langsung, tanpa dan dengan kawat tanah didapatkan jumlah gangguan 57.8, 43, 32.5, 19.9 gangguan per 100 km per tahun dan faktor perlindungan Lightning Arrester 30,61%. Sudut lindung optimal kawat tanah menggunakan metode Rolling Sphere dengan variasi jarak sambar 200 m, 300 m, 400 m didapatkan masing-masing sudut $\varphi=70.05^\circ$, $\varphi=73.73^\circ$, $\varphi=75.93^\circ$. Sedangkan penempatan lightning arrester menggunakan metode Pengali Lagrange didapatkan nilai jarak optimal $S=5.7$ meter.

Keywords : Petir, Kawat Fasa, *Lightning Arrester*, metode Rolling Sphere, metode Pengali Lagrange

Abstract

Lightning has a very large current and a very short time so that it can cause fatal damage, especially to electrical equipment in the open air. The purpose of the first study was to produce the number of disturbances in the phase wire, the ground wire protection angle and the optimal placement of lightning arresters to provide protection against the 20 kV Medium Voltage Air Line (SUTM) phase wire and lightning arrester in the Muaro Pati Payakumbuh feeder. Fault calculations are carried out for indirect and direct lightning strikes, without and with ground wire. The Rolling Sphere method with the Hasse and Wiesinger equations is used to calculate the angle of the ground wire to direct and indirect lightning strikes. While the Lagrange Multiplier method is used to produce the optimal lightning arrester placement. Based on the results of the calculation of disturbances due to indirect and direct lightning strikes, without and with ground wire, the number of disturbances obtained is 57.8, 43, 32.5, 19.9 disturbances per 100 km per year and protection factor of lightning arrester is 30,61%. The optimal protection angle of the ground wire using the Rolling Sphere method with variations in the striking distance of 200 m, 300 m, 400 m, each angle obtained is $\varphi=70.05^\circ$, $\varphi=73.73^\circ$, $\varphi=75.93^\circ$. While the placement of lightning arresters using the Lagrange multiplier method, the optimal distance value is $S = 5.7$ meters.

Kata kunci: Lightning, Fase Wire, Lightning Arrester, Rolling Sphere Method, Lagrange Multiplier Method

PENDAHULUAN

Jaringan distribusi yang andal berperan besar dalam mencukupi kebutuhan penyaluran listrik. Oleh karena itu, penyaluran tenaga listrik ke konsumen tidak boleh terputus. Ketidakandalan jaringan distribusi akan mengakibatkan kerugian sangat besar pada konsumen dan PT. PLN (Persero) itu sendiri. Permasalahan utama yang dihadapi saat ini adalah gangguan sistem distribusi baik secara eksternal maupun internal. Gangguan eksternal adalah berasal dari luar sistem seperti sambaran petir, keadaan alam, sedangkan gangguan dari dalam sistem (internal) misalnya *switching surges* atau surja hubung [5].

Wilayah Indonesia memiliki tingkatan kerapatan petir yang besar serta curah hujan yang tinggi menimbulkan terjadinya banyak gangguan akibat sambaran petir. Indonesia ialah negeri yang berada di wilayah khatulistiwa yang panas serta lembab. Kedua aspek ini sangat berarti dalam pembuatan awan cumulonimbus yang dapat menghasilkan petir [6]. Berdasarkan buku *Guinness of Record* Indonesia ialah daerah dengan hari guruh tahunan paling tinggi di dunia berkisar 180-260 hari guruh per tahun dengan kerapatan sambaran petir ke tanah (Ng) menggapai 30 sambaran per km² per tahun [7]. Sambaran petir ini bisa¹ menyebabkan gangguan pada sistem distribusi dalam menyalurkan tenaga listrik dari Gardu Induk pusat beban kepada konsumen [5] [6]. Sangat memungkinkan bahwa saluran distribusi yang berada disekitar perbukitan atau daerah pegunungan rawan terhadap sambaran petir. Selain daerah pegunungan, bahaya petir juga terjadi di daerah persawahan dan daerah terbuka [8].

Surja petir merupakan indikasi tegangan lebih transien yang memiliki amplitudo yang tinggi serta berlangsung dengan singkat. Tegangan lebih tersebut bisa mengganggu komponen isolasi dan peralatan pada sistem tenaga listrik, bila besarnya tegangan melampaui *Basic Insulation Level* (BIL) peralatan. Gangguan sambaran petir banyak berlangsung pada Saluran Udara

Tegangan Menengah (SUTM), sambaran petir bisa berbentuk sambaran langsung serta sambaran tidak langsung [9]. Sambaran langsung ialah sambaran yang⁶ menuju ke konduktor fasa serta tiang. Sambaran tidak langsung merupakan kejadian sambaran yang berlangsung di sekitar sistem tenaga [10] [11]. Sambaran langsung dari petir juga dapat mengenai Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM).

Bahaya akibat sambaran petir terjadi ketika kilat yang menyambar saluran, yang diakibatkan sambaran langsung maupun tidak langsung akan menimbulkan surja tegangan dan surja arus pada kawat fasa. Hal ini dapat menyebabkan pemutusan sementara (*momentary*) dan pemutusan secara permanen (*permanent*). Sambaran petir juga dapat menyebabkan terjadinya flashover pada isolator. Kejadian flashover berlangsung apabila tegangan terdapat isolator saluran tinggi ataupun sama dengan tegangan kritis lompatan api (*critical flashover*) menyebabkan lompatan api berlangsung terhadap isolator tersebut [12].

Dalam meminimalisir dari gangguan petir sambaran langsung ataupun sambaran tidak langsung tersebut pada jaringan SUTM ditempatkan kawat tanah⁴ [3]. Kawat tanah (*Ground Steel Wire*) ialah kawat pada saluran yang ditempatkan di atas kawat fasa sebagai proteksi yang diakibatkan oleh sambaran induksi petir dekat saluran. Bila berlangsungnya sambaran petir pada SUTM, kawat tanah tersebut menyalurkan arus surja petir ke tanah sehingga SUTM aman terhadap gangguan. Kawat tanah sebaiknya mempunyai tahanan kontak yang kecil tetapi ketahanan impuls isolasinya besar [14].

Selain kawat tanah yang dapat melindungi peralatan SUTM 20 kV dari sambaran petir adalah Lightning Arrester. Alat ini berfungsi melindungi instalasi terhadap gangguan *overvoltage* yang diakibatkan oleh sambaran petir ataupun oleh surja hubung. Arrester bersifat sebagai jalan pintas dekat isolasi yang membentuk jalur sehingga gampang dilewati arus kilat sistem pentanahan sehingga memunculkan

tegangan lebih yang besar serta tidak mengganggu isolasi komponen listrik. Jalan pintas ini mesti di atur dengan baik sehingga tidak mengganggu penyaluran tenaga listrik kepada konsumen [8].

Wilayah Indonesia yang mempunyai tingkat curah hujan yang tinggi serta rawan terhadap sambaran petir salah satunya adalah provinsi Sumatera Barat [15].. [16]. Berdasarkan data BMKG pada peta sambaran petir periode 2020 wilayah Sumatera Barat memiliki 450.000-600.000 jumlah sambaran petir *cloud to ground* [17].

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) periode 2019 tenaga listrik yang dibangkitkan provinsi Sumatera Barat adalah 2946,30 GWh, kemudian listrik yang didistribusikan adalah 3445,08 GWh [1]. Sumatera Barat memiliki 4 Area dan 30 Rayon dalam menyalurkan tenaga listrik [18]. Dari sekian banyak Rayon yang ada di Sumatera Barat penulis mengambil penelitian di Area Payakumbuh yang memiliki 4 Rayon yang terdiri dari 42 Penyulang [19]. Salah satu penyulang yang sering mengalami gangguan adalah penyulang Muaro Pati [20].

Gangguan pada Penyulang Muaro Paiti memiliki panjang 65 Kms sering terjadi disebabkan karena sambaran petir, pohon tumbang yang mengenai SUTM 20 kV, kerusakan komponen SUTM 20 kV dan beberapa gangguan yang tidak ditemukan. Pada tahun 2020 dari beberapa gangguan yang ada, gangguan akibat sambaran petir menjadi gangguan yang dominan dengan total 156 gangguan [20].

Berdasarkan hasil wawancara dengan bapak Irfan selaku Supervisor PT. PLN (Persero) Rayon Lima Puluh Kota dalam meminimalisir gangguan akibat sambaran petir terhadap jaringan SUTM 20 kV penyulang Muaro Paiti adalah dengan memasang alat proteksi berupa Kawat Tanah, serta menggunakan Lightning Arrester untuk melindungi transformator yang terhubung dengan SUTM 20 kV dari sambaran petir. Alat proteksi yang digunakan berupa Kawat Tanah dan Lightning Arrester sendiri belum dapat meminimalisir gangguan akibat sambaran petir di penyulang Muaro Paiti, hal ini dibuktikan dengan masih banyaknya terjadi

gangguan pada SUTM 20 kV akibat sambaran petir.

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kurangnya perlindungan atau proteksi dari Kawat Tanah adalah Kawat Tanah yang menyebabkan denyar balik (*back flashover*) dan sambaran petir pada kawat fasa yang diakibatkan kegagalan proteksi oleh kawat tanah [7]. Kemudian perlindungan/proteksi yang kurang maksimal dari arrester seperti isolasi tahanan arrester yang tidak kuat, sistem pentanahan arrester tidak baik serta penempatan arrester pada objek yang di proteksi (transformator) berpengaruh pada kualitas proteksinya, ada jarak optimum arrester pada transformator supaya perlindungannya menjadi lebih efektif [10] [21].

Berdasarkan penjelasan permasalahan yang telah dipaparkan di atas dan juga berbagai solusi yang sudah disebutkan, maka perlu dilakukan analisis terhadap sistem perlindungan pada kawat fasa SUTM 20 kV dalam meminimalisir gangguan akibat sambaran petir. Pada penelitian ini peneliti melakukan perhitungan dan analisis terhadap sudut lindung dari kawat tanah menggunakan metode Rolling Sphere dengan persamaan Hasse dan Wiesinger serta memvariasikan jarak sambaran petir agar kawat tanah diharapkan dapat melindungi komponen-komponen secara maksimal pada kawat fasa jaringan SUTM 20 kV. Kemudian peneliti akan melakukan penempatan optimum arrester menggunakan metode Pengali Lagrange agar dapat melindungi transformator distribusi dengan maksimal terhadap sambaran petir.

Metode Rolling Sphere difungsikan terhadap bangunan yang berbentuk rumit. Dengan metode tersebut seakan-akan terdapat bola pada radius R yang menggelinding di atas tanah, sekitar bangunan serta di atas bangunan ke seluruh arah sampai berjumpa dengan tanah bangunan yang memiliki kontak dengan permukaan bumi yang dapat bekerja selaku penghantar. Titik sentuh Rolling Sphere pada bangunan merupakan titik yang bisa di sambar petir serta pada titik ini wajib dilindungi oleh konduktor terminasi udara. Seluruh petir yang memiliki

jarak R dari ujung penangkap petir hendak memiliki peluang sama buat menyambar bangunan. Metode Rolling Sphere terdiri dari parameter-parameter yakni jarak sambar, distribusi arus puncak, sudut lindung dan daerah lindung [7]. Metode Pengali Lagrange merupakan suatu metode dalam menuntaskan optimasi dengan kendala persamaan, inti dari metode Pengali Lagrange mengganti permasalahan titik ekstrim terkendala jadi permasalahan ekstrim bebas kendala. Berikutnya peranan yang terbentuk dari transformasi ini disebut fungsi Lagrange [22].

Penelitian-penelitian sebelumnya hanya membahas sistem proteksi kawat tanah dalam melindungi komponen-komponen pada jaringan sistem tenaga listrik, kemudian hanya membahas sistem proteksi lightning arrester yang melindungi transformator pada jaringan sistem tenaga listrik. Pada penelitian ini peneliti ingin melakukan pengembangan dengan menganalisis sudut lindung optimum kawat tanah menggunakan metode Rolling Sphere dan penempatan optimal lightning arrester dengan metode Pengali Lagrange dalam melindungi kawat fasa SUTM 20 kV.

METODE

Penelitian ini dilakukan pada SUTM 20 kV yaitu pada penyulang Muaro Paiti PT. PLN (Persero) Rayon Lima Puluh Kota. Penyulang Muaro Paiti mendapatkan suplai daya listrik dari Feeder 1 Pangkalan. Data-data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah data SUTM 20 kV Penyulang Muaro Paiti meliputi data gangguan, panjang saluran, spesifikasi tiang, transformator, dan ground Steel Wire.

Langkah perhitungan dan analisis sesuai tujuan penelitian ingin dicapai adalah mendapatkan sudut lindung optimal dari Kawat Tanah (Ground Steel Wire) dan penempatan optimum Lightning Arrester sehingga dapat melindungi komponen SUTM 20 kV secara maksimal terhadap sambaran petir dengan melakukan perhitungan gangguan akibat sambaran petir langsung dan tak langsung, dengan dan tanpa kawat tanah. Langkah-langkah melakukan perhitungan dan analisis dijabarkan berikut ini :

Perhitungan Gangguan

Perhitungan gangguan pada kawat fasa SUTM 20 kV sambaran petir tidak langsung dan langsung, tanpa dan dengan kawat tanah diuraikan berikut ini

1. Sambaran Tidak Langsung Tanpa Kawat Tanah

Daerah perisai atau lebar bayang-bayang listrik untuk SUTM dihitung sebagai $W = (b + 4h^{1.09})$ (1)
b adalah jarak pemisah antara kedua kawat tanah (m, bila kawat tanah hanya satu $b = 0$). h adalah tinggi rata-rata kawat tanah di atas tanah andongan (m).

$$h = h_t - \frac{2}{3} \quad (2)$$

h_t adalah tinggi kawat tanah pada tiang (m).

Tegangan puncak yang diakibatkan oleh tegangan induksi petir tanpa kawat tanah dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

$$V_i = \frac{z_o I_o h}{y} + \frac{30 I_o h}{y} \quad (3)$$

V_i adalah tegangan induksi pada kawat (kV), I_o adalah besar arus kilat (kA), h adalah tinggi rata-rata kawat di atas tanah (m), y adalah jarak horizontal antara sambaran kilat dengan kawat (m) sebesar 0.3 (untuk satu kawat tanah), 0.15 (untuk dua kawat tanah)

Probabilitas arus gangguan sambaran induksi yang demikian dapat diperoleh sebagai berikut [24] :

$$P_i = e^{-\left(\frac{V_{50\%} \cdot y}{1020 \cdot h}\right)} \quad (4)$$

Jumlah lompatan api merupakan jumlah sambaran dikalikan probabilitas arus ataupun melebihi arus I_o yang bisa memunculkan lompatan api. Jumlah lompatan api (flashover) yang dapat terjadi adalah :

$$N_{FL} = 30.6 I_{KL} \cdot h \frac{e^{-\left(\frac{V_{50\%} \cdot h^{0.09}}{510}\right)}}{V_{50\%}} \quad (5)$$

I_{KL} adalah jumlah hari guruh pertahun, h adalah tinggi kawat fasa di atas tanah (m), h_t adalah tinggi kawat tanah di atas tanah (m)

Lompatan api yang muncul tidak serta merta bergeser menjadi busur api ataupun gangguan. Besar gangguan bergantung

pada besar probabilitas peralihan lompatan api jadi busur api (η). Besarnya nilai η adalah 0,5 serta ketahanan impuls isolasi $V_{50\%}$ sebesar 160 kV [24]. Jumlah gangguan petir akibat sambaran tidak langsung (gangguan per 100 kilometer per tahun) diberikan oleh persamaan :

$$N_i = 30.6 \text{ IKL} \cdot h \frac{e^{-\left(\frac{V_{50\%} \cdot h^{0.09}}{510 \cdot V_{50\%}}\right)}}{V_{50\%}} \times \eta \quad (6)$$

η = probabilitas peralihan lompatan api menjadi busur api satuan

2. Sambaran Tidak Langsung Menggunakan Kawat Tanah

Daerah perisaian atau lebar bayang-bayang listrik untuk SUTM dapat dihitung menggunakan persamaan 1. Tegangan puncak atau V_{maks} yang diakibatkan oleh gangguan induksi petir dengan kawat tanah dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

$$V_i' = \left(1 - \frac{Z_{12}}{2R + Z_{22}} \cdot \frac{h_2}{h_1}\right) \quad (7)$$

V_i' adalah tegangan induksi pada kawat fasa dengan kawat tanah (kV), V_i adalah tegangan induksi pada kawat fasa tanpa kawat tanah (kV), Z_{22} adalah impedansi surja sendiri kawat tanah 2 (ohm), Z_{12} adalah impedansi surja bersama antara kawat tanah 2 dan kawat fasa 1 (ohm), h_1 adalah tinggi rata-rata kawat fasa 1 di atas tanah (m), h_2 adalah tinggi rata-rata kawat tanah 2 di atas tanah (m), dan R adalah tahanan kontak tiang (ohm)

Probabilitas arus gangguan sambaran induksi yang demikian dapat diperoleh sebagai berikut [24] :

$$P_{Io} = e^{-\left(\frac{V_{50\%} \cdot \gamma}{1020 \cdot h_t}\right)} \quad (8)$$

Perhitungan pengaruh kawat tanah pada tegangan induksi ada Faktor Perisaian (FP) yang diartikan selaku hasil untuk tegangan induksi dengan kawat tanah serta tegangan induksi tanpa kawat tanah. Kawat tanah ideal merupakan kawat tanah yang memiliki titik pengetanahan pada tiap titik sepanjang kawat tanah sehingga potensialnya sepanjang kawat merupakan nol. Pada realitasnya tidak terdapat kawat ideal, sehingga kawat tanah memiliki beda tegangan tertentu terhadap tanah [24]. Bila terdapat kawat tanah dapat dihitung faktor perisaian sebagai berikut :

$$FP = \left(1 - \frac{Z_{12}}{2R + Z_{22}} \cdot \frac{h_2}{h_1}\right) \quad (9)$$

Dimana

FP adalah Faktor Perisaian dan R adalah tahanan kontak tiang (ohm)

Selanjutnya jumlah lompatan api dan jumlah gangguan petir bisa ditentukan

3. Sambaran Langsung Tanpa Kawat Tanah

Besar arus kilat pada tempat sambaran dapat dihitung :

$$I = \frac{I_o}{2} \quad (10)$$

I adalah besar arus kilat pada tempat tersambar, I_o adalah arus kilat bila kilat menyambar suatu objek dengan tahanan nol (*zero resistance ground*) Besar tegangan yang timbul pada kawat adalah :

$$V_p = \frac{I_o}{4} Z_p \quad (11)$$

Z_p adalah impedansi surja kawat

Probabilitas lompatan api, tegangan di atas akan dibandingkan dengan kekuatan isolasi dari semua jalan yang mungkin dari lompatan api isolasi saluran :

$$P_{FL} = e^{-\left(\frac{V_{50\%}}{8.5 \cdot Z_p}\right)} \quad (12)$$

Jumlah sambaran kilat pada saluran (sambaran per 100 km per tahun) :

$$N_L = 0.015 \text{ IKL} (b + 4h^{1.09}) \quad (13)$$

Jumlah lompatan api (*flashover*) yang dapat menimbulkan api dapat dihitung seperti berikut :

$$N_{FL} = N_L \cdot P_{FL} \quad (14)$$

Selanjutnya bila probabilitas peralihan lompatan api menjadi busur api (*power arc* atau *power follow*) η , maka jumlah gangguan adalah :

$$N_t = N_{FL} \cdot \eta \quad (15)$$

4. Sambaran Langsung Menggunakan Kawat Tanah

Saluran dengan kawat tanah untuk menghitung berapa tegangan puncak yang diakibatkan oleh sambaran langsung dari petir, terlebih dahulu hitung impedansi surja tiang (Z_t) dan impedansi surja *groundwire* (Z_g). Untuk menghitung impedansi surja tiang dapat dihitung dengan persamaan :

$$Z_t = 60 \ln \left(\frac{h_t}{r_t}\right) + 90 \left(\frac{h_t}{r_t}\right) - 60 \quad (16)$$

Impedansi surja kawat tanah dapat dihitung dengan persamaan :

$$Z_g = 60 \ln \left(\frac{h_t}{r_t}\right) \quad (17)$$

Tegangan puncak pada tiang yang terjadi dapat dihitung sebagai berikut :

$$V = \frac{Z_g \cdot Z_t}{Z_g \cdot 2Z_t} \quad (18)$$

Besar arus minimum yang mengakibatkan lompatan api dihitung sebagai berikut :

$$I = \frac{V_{50\%}}{R + dh_t} \quad (19)$$

Dengan mengetahui besar arus minimum yang dapat menimbulkan lompatan api balik (*black flashover*), kemudian dapat dicari probabilitas terjadinya lompatan api :

$$P_{FL} = e^{-\left(\frac{I_a}{34}\right)} \quad (20)$$

Jumlah sambaran kilat pada saluran (sambaran per 100 km per tahun) :

$$N_L = 0.015 IKL (b + 4h^{1.09}) \quad (21)$$

Jumlah gangguan karena sambaran kilat langsung pada *ground steel wire* :

$$N_t = N_L \cdot P_{FL} \cdot \eta \quad (22)$$

Sudut Lindung Kawat Tanah Menggunakan Metode Rolling Sphere

Sudut lindung kawat tanah dapat diukur dengan menggambarkan daerah lindung dengan metode Rolling Sphere. Sudut lindung ialah sudut antara garis singgung *Rolling Sphere* yang mengenai kawat tanah dengan permukaan tanah [12]. Perhitungan sudut lindung bisa menggunakan persamaan Hasse dan Wiesinger berikut ini :

$$\varphi = \arcsin\left(1 - \frac{h}{h_b}\right) \quad (23)$$

h adalah tinggi struktur tiang (m), h_b adalah jarak sambaran petir (m)

Gangguan Akibat Sambaran Petir Pada Lightning Arrester

1. Penentuan Tingkat Isolasi Dasar (TID)

Perancangan sistem proteksi trafo distribusi guna memilih posisi komponen proteksi dari probabilitas bahaya sambaran petir, tahapan pertama ialah memilih tingkatan kemampuan isolasi impuls dasar. Trafo jenis gardu yang terpasang ditiang SUTM 20 kV dapat dihitung tegangan tertinggi pada peralatan menggunakan persamaan :

$$V_{max} = V_{nominal} \times 1.1 \quad (24)$$

2. Tegangan Pengenal Lightning Arrester

Tegangan pengenal dari *arrester* dengan tahanan rendah koefisien pentanahan dipilih 100% (pentanahan tidak efektif)

dengan tegangan sistem tertinggi 20 kV dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$V_{nominal} + 10\% \text{ (faktor toleransi)}$$

$$V_{max} = V_{nominal} \times 1.1 \quad (25)$$

b. Tegangan pengenal *arrester*

$$V_p = V_{max} \times 1.0 \quad (26)$$

3. Menentukan Arus Pelepasan Arrester

Arus pelepasan impuls *arrester* saat melepaskan arus surja petir dapat menggunakan persamaan berikut :

$$I_a = \frac{2U_d - U_a}{Z_s} \quad (27)$$

I_a adalah arus pelepasan *arrester*, U_d adalah tegangan gelombang datang, Z_s adalah impedansi surja saluran datang, dan U_a adalah tegangan kerja atau tegangan sisa

4. Menentukan Tegangan Pelepasan Arrester

Arus pelepasan *arrester* (I_a) serta kecuraman arus (di/dt) yang datang ke peralatan bergantung pada tegangan pelepasan atau tegangan kerja. Tegangan pelepasan ini merupakan ciri yang sangat berarti pada *arrester* buat proteksi komponen. Tidak itu saja, tegangan kerja ini guna memastikan tingkatan proteksi *arrester* bila tegangan kerja *arrester* terletak TID komponen yang diproteksi dengan aspek keamanan yang layak proteksi komponen yang optimal bisa tercapai.

5. Faktor Perlindungan Lightning Arrester

Aspek proteksi lightning *arrester* merupakan selisih tegangan TID peralatan yang diproteksi dengan Tingkat Perlindungan (TP) *arrester* terhadap tingkatan proteksi *arrester*.

Faktor perlindungan *arrester* dapat menggunakan rumus berikut :

$$FP = \frac{TID - TP}{TP} \times 100\% \quad (28)$$

FP adalah faktor perlindungan, TID = adalah Tingkat isolasi dasar dan TP adalah Tingkat perlindungan

Penempatan LA Menggunakan Metode Pengali Lagrange

Dalam memperoleh proteksi trafo yang optimal, *arrester* diposisikan pada jarak

tertentu (tidak boleh terlalu jauh maupun sangat dekat), pada prakteknya arrester mesti ditempatkan pada jarak tertentu, supaya proteksi dapat berlangsung optimal. Jikalau arrester disambungkan dengan SUTM dengan peralatan yang diproteksi, maka dalam menentukan jarak optimum arrester dan trafo dapat menggunakan persamaan :

$$S = (E_a \cdot E_p) \frac{V}{2 \cdot A} \quad (29)$$

E_p adalah tegangan pengenal (kV), E_a adalah tegangan tembus (kV). A adalah kecuraman gelombang datang ($\text{kV}/\mu\text{s}$), S adalah jarak arrester (m) dan V adalah

kecepatan rambat gelombang impuls ($\text{m}/\mu\text{s}$).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan proses perhitungan sesuai langkah-langkah di metodologi penelitian maka hasil dan analisisnya dapat dijabarkan sebagai berikut

Hasil Perhitungan Gangguan

Perhitungan gangguan akibat sambaran petir langsung dan tidak langsung, dengan dan tanpa kawat tanah pada SUTM 20 kV dan Lightning Arrester ditampilkan dalam tabel 1 sampai dengan Tabel 4 berikut ini

Tabel 1. Hasil perhitungan gangguan sambaran petir tidak langsung tanpa kawat tanah

h (m)	Y (m)	Vi (kV)	P_{10}	(NFL)	(N_i)
8.9	30	178	0.95	115.75	57.87

Pada tabel 1 dapat dilihat bahwa nilai tegangan puncak yang disebabkan oleh sambaran petir tidak langsung adalah 178 kV, probabilitas arus gangguan akibat sambaran petir tidak langsung sebesar 0.95, jumlah lompatan api yang diakibatkan oleh sambaran petir tidak langsung adalah 115.75 per 100 km per tahun dan jumlah gangguan kilat yang diakibatkan sambaran petir tidak langsung sebesar 57.87 gangguan per 100 km per tahun. Berdasarkan nilai-nilai yang sudah

didapatkan bisa dilihat bahwa besarnya pengaruh gangguan sambaran petir tidak langsung pada SUTM 20 kV. Hal ini tentunya sangat berbahaya bagi kelangsungan jaringan listrik pada SUTM 20 kV penyulang Muaro Paiti yang dapat mengakibatkan pemadaman listrik. Dengan tidak digunakannya kawat tanah (*ground steel wire*) pada SUTM 20 kV jumlah gangguan pada SUTM terhadap sambaran petir tidak langsung sangat besar.

Tabel 2. Hasil perhitungan gangguan sambaran petir tidak langsung dengan kawat tanah

h_t (m)	Vi (kV)	P_{10}	FP	NFL	N_t
10	143.29	0.62	0.67	87	43

Dari hasil perhitungan jumlah gangguan akibat sambaran tidak langsung pada SUTM 20 kV menggunakan kawat tanah (*ground steel wire*) untuk penyulang Muaro Paiti dengan panjang 65 kms, tinggi tiang JTM dari atas tanah 12 m maka pengaruh pemasangan kawat tanah memberikan dampak berkurangnya gangguan pada peralatan akibat sambaran petir tidak langsung. Sebelum

pemasangan kawat tanah nilai tegangan puncak sebesar 178 kV sementara setelah pemasangan kawat tanah menjadi 143.29 kV, kemudian nilai probabilitas arus gangguan sebelumnya pemasangan kawat tanah adalah 0.95 dan setelah pemasangan kawat tanah menjadi 0.62. Pada pemasangan kawat tanah terhadap gangguan sambaran petir tidak langsung dapat menghitung faktor perisai yakni

didapatkan hasil sebesar 0.67, kemudian nilai jumlah lompatan api sebelum pemasangan kawat tanah adalah 115.75 kali per 100 km per tahun dan setelah pemasangan kawat tanah tanah menjadi 87 kali per 100 km per tahun, jumlah gangguan kilat sebelum pemasangan kawat tanah terhadap sambaran petir tidak langsung adalah 57.87 gangguan per 100 km per tahun dan setelah pemasangan kawat tanah menjadi 43 gangguan per 100 km per tahun.

Dari perbandingan nilai gangguan sebelum pemasangan kawat tanah dan sesudah pemasangan kawat tanah dapat dilihat bahwa kawat tanah terbukti mampu meminimalisir gangguan sambaran petir tidak langsung pada SUTM 20 kV sehingga jaringan listrik dapat disalurkan dengan baik kepada pelanggan penyulang Muaro Paiti.

Tabel 3. Hasil perhitungan gangguan sambaran petir langsung tanpa kawat tanah

h_t (m)	I (kA)	V_p (kV)	P_{FL}	N_L	NFL	N_t
8.9	20	5,000	0.96	67.71	65.0016	32,50

Pada tabel 3 dapat dilihat bahwa nilai arus kilat yang disebabkan oleh sambaran petir langsung adalah 20 kA, tegangan yang timbul pada kawat akibat sambaran petir langsung sebesar 5000 kV, probabilitas lompatan api yang diakibatkan oleh sambaran petir langsung adalah 0.96, jumlah sambaran yang diakibatkan sambaran petir langsung sebesar 67.71 sambaran per 100 km per tahun, jumlah lompatan api adalah 65.0016 lompatan api per 100 km per tahun, probabilitas peralihan lompatan api menjadi busur api sebesar 32.50 gangguan per 100 km per tahun.

Berdasarkan nilai-nilai yang sudah didapatkan bisa dilihat bahwa besarnya pengaruh gangguan sambaran petir langsung pada SUTM 20 kV, hal ini tentunya sangat berbahaya bagi kelangsungan jaringan listrik pada SUTM 20 kV penyulang Muaro Paiti yang dapat mengakibatkan pemadaman listrik, isolator pecah serta sambaran langsung petir kepada kawat fasa. Dengan tidak digunakannya kawat tanah (*ground steel wire*) pada SUTM 20 kV jumlah gangguan pada SUTM terhadap sambaran petir langsung sangat besar.

Tabel 4. Hasil perhitungan gangguan sambaran petir langsung dengan kawat tanah

h_t (m)	Z_t (ohm)	Z_g (ohm)	V_t (Kv)	I_o (kA)	PFL	N_i	N_t
8.9	1899.07	179.07	85.50	20.13	0.55	20.13	0.55

Dari hasil perhitungan jumlah gangguan akibat sambaran langsung pada SUTM 20 kV menggunakan kawat tanah (*ground steel wire*) untuk penyulang Muaro Paiti dengan panjang 65 kms, tinggi tiang JTM dari atas tanah 12 m maka pengaruh pemasangan kawat tanah memberikan dampak berkurangnya gangguan pada

peralatan akibat sambaran petir langsung. Dengan menggunakan kawat tanah maka pada sambaran petir langsung didapatkan nilai impedansi surja kawat tanah adalah 1899.07 ohm, dengan pemasangan kawat tanah didapat nilai tegangan puncak pada kawat sebesar 85.50 kV, kemudian didapatkan nilai besar arus minimum yang mengakibatkan

lompatan api sebesar 20.13 kA, probabilitas terjadi lompatan api adalah 0.55, jumlah sambaran kilat pada saluran sebesar 72.36 sambaran per 100 km per tahun, kemudian jumlah gangguan akibat sambaran petir langsung terhadap kawat tanah adalah 19.9 gangguan per 100 km per tahun.

Dari perbandingan nilai gangguan sebelum pemasangan kawat tanah dan

sesudah pemasangan kawat tanah dapat dilihat bahwa kawat tanah terbukti mampu meminimalisir gangguan sambaran petir langsung pada SUTM 20 kV sehingga jaringan listrik dapat disalurkan dan dipergunakan dengan baik oleh pelanggan penyulang Muaro Paiti.

Tabel 5 Jumlah perhitungan perlindungan *lightning arrester* terhadap gangguan sambaran petir pada transformator distribusi

V_{max} (kV)	V_P (kV)	I_a (kA)	FP
22	22	1.246	30.61 %

Berdasarkan hasil perhitungan *Lightning Arrester* terpasang pada SUTM 20 kV penyulang Muaro Paiti didapatkan nilai TID sebesar 22 kV hal ini berfungsi dalam menentukan posisi peralatan dari probabilitas bahaya surja petir. Sistem distribusi 20 kV penyulang Muaro Paiti ditanahkan dengan tahanan rendah, koefisien pentanahan dipilih 100% (pentanahan tidak efektif) dengan tegangan sistem tertinggi adalah 20 kV sehingga didapat tegangan maksimum LA adalah 22 kV, tegangan pengenalan LA sebesar 22 kV.

Kemudian mendapatkan nilai arus pelepasan impuls LA saat melepas arus surja petir sehingga besar tegangan gelombang datang diperoleh dari *Flash Over Voltage* (FOV) sebesar 490.57 ohm, untuk impedansi hantaran sebesar 500 ohm maka besar arus pelepasan impuls adalah 1.246 kA. Dengan nilai arus pelepasan impuls tersebut maka termasuk dalam kelompok pemilihan arus 5 kA yang sudah tepat. Setelah itu tegangan pelepasan LA yang merupakan karakteristik utama dari LA dalam melindungi peralatan. Tegangan kerja ini menentukan tingkat perlindungan LA. Tegangan pelepasan LA untuk tegangan pengenalan 24 kV dengan arus pelepasan 5 kA dan 10 kA sesuai dengan table 1, 2 dan 3 pada lampiran sebesar 87 kV. Hal ini berdasarkan ketetapan dimana sebelumnya dilakukan pengujian tegangan percikan terhadap *lightning arrester*. Kemudian mendapatkan nilai Tingkat perlindungan (TP) adalah 95.7 kV serta Faktor Perlindungan LA sebesar 30.61%.

Faktor perlindungan *lightning arrester* merupakan selisih tegangan TID peralatan yang di proteksi dengan Tingkat Perlindungan (TP) dari *arrester* pada tingkatan proteksi oleh *arrester*. Faktor perlindungan ialah besar perbandingan antara perbedaan tegangan TID dari peralatan yang dilindungi dengan tegangan kerja *arrester*. Pada pembahasan sebelumnya tegangan kerja *lightning arrester* dalam sistem 20 kV adalah 87 kV, tingkat perlindungan *lightning arrester* dengan memperhatikan kawat penghubung toleransi pabrik ditambahkan 10%.

Sudut lindung optimal kawat tanah (*ground steel wire*)

Tabel 6. Hasil perhitungan Sudut lindung optimal kawat tanah (*ground steel wire*)

Jarak Sambar (m)	Sudut Lindung (°)
200	70.05
300	73.73
400	75.93

Pada penelitian ini memvariasikan jarak sambar petir terhadap jaringan yang tujuannya adalah agar dapat melihat nilai sudut lindung yang optimal berdasarkan kebiasaan jarak sambar petir pada penyulang Muaro Paiti. Sehingga dengan jarak sambaran petir 200 m pada SUTM 20 kV berdasarkan perhitungan menggunakan metode *Rolling Sphere* dengan persamaan Hasse dan Wesienger didapat sudut

lindung yang optimum kawat tanah dalam melindungi peralatan yaitu sebesar 70.05° . Jarak sambaran petir 300 m pada SUTM 20 kV berdasarkan perhitungan menggunakan metode *Rolling Sphere* dengan persamaan Hasse dan Wesienger didapat sudut lindung yang optimum kawat tanah dalam melindungi peralatan yaitu sebesar 73.73° . Kemudian jarak sambaran petir 400 m pada SUTM 20 kV berdasarkan perhitungan menggunakan metode *Rolling Sphere* dengan persamaan Hasse dan Wesienger didapat sudut lindung yang optimum kawat tanah dalam melindungi peralatan yaitu sebesar 75.93° . Dalam hal ini tiap-tiap sudut lindung yang didapat dengan variasi jarak sambar 200 m, 300 m dan 400 m sudah sangat maksimal dan optimal dikarenakan nilai standar sudut perlindungan adalah berkisar 25° sampai 55° [1].

Penempatan Lightning Arrester Menggunakan Metode Pengali Lagrange

Untuk menghitung penempatan optimum *lightning arrester* dapat menggunakan metode Pengali *Lagrange*. Metode Pengali *Lagrange* memakai suatu metode dalam menuntaskan optimasi dengan kendala persamaan, inti dari metoda Pengali *Lagrange* merupakan mengganti permasalahan titik ekstrim terkendala jadi permasalahan ekstrim bebas kendala.

Dalam memperoleh proteksi trafo yang optimal, *lightning arrester* diposisikan pada jarak tertentu (tidak boleh terlalu jauh maupun sangat dekat), pada prakteknya *lightning arrester* mesti ditempatkan pada jarak tertentu, supaya proteksi dapat berlangsung optimal. Untuk menentukan penempatan *arrester* pada transformator dapat menggunakan persamaan 2.29.

KESIMPULAN

1. Gangguan sambaran petir tidak langsung pada SUTM 20 kV penyulang Muaro Paiti

Parameter yang digunakan dalam perhitungan penempatan *arrester* ialah tegangan terminal transformator (E_p) (BIL trafo) yaitu 125 kV, kemudian tegangan percik *arrester* (E_a) untuk kelas 5 kA yaitu 87 kV, kecuraman muka gelombang tegangan impuls (A) yang digunakan oleh pihak penyulang Muaro Paiti adalah $1000 \text{ kV}/\mu\text{s}$, kemudian kecepatan merambat gelombang (v) yang digunakan adalah $300 \text{ m}/\mu\text{s}$.

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

$$= \frac{300 \times (125 - 87)}{2 \times 1000}$$

$$S = 5.7 \text{ meter}$$

3 Penentuan jarak penempatan *lightning arrester* dengan transformator yang didapatkan berdasarkan perhitungan metode Pengali *Lagrange* yaitu $S = 5.7 \text{ meter}$, sedangkan jarak S yang terpasang pada SUTM 20 kV penyulang Muaro Paiti adalah $S = 3 \text{ meter}$, dengan demikian berdasarkan metode Pengali *Lagrange* jarak penempatan *arrester* terpasang pada SUTM 20 kV penyulang Muaro Paiti berada dibawah batas optimum yang diperkenankan. Hal ini berarti tingkat perlindungan *arrester* pada SUTM 20 kV penyulang Muaro Paiti dilihat dari perhitungan dengan metode Pengali *Lagrange* kurang optimal, sebab S terpasang < S hitung.

menggunakan kawat tanah (*ground steel wire*) didapatkan $W = 48.24 \text{ m}$, $V_i' = 5143.29 \text{ kV}$, $P_{10} = 0.62$, $FP = 0.67$, $N_{FL} = 87 \text{ kali per } 100$

1
km per tahun, $N_i = 43$ gangguan per 100 km per tahun. Kemudian untuk gangguan sambaran petir langsung pada SUTM 20 kV penyulang Muaro Paiti menggunakan kawat tanah didapatkan $Z_g = 179.07$ ohm, $V_t = 85.50$ kV, $I_o = 20.13$ kA, $P_{FL} = 0.55$, $N_L = 72.5$ sambaran per 100 km per tahun, $N_i = 19.9$ gangguan per 100 km per tahun.

2. Kemampuan lightning arrester dalam melindungi transformator distribusi didapatkan nilai TID $V_{Max} = 22$ kV, tegangan pengenalan lightning arrester $V_p = 22$ kV, arus pelepasan impuls arrester $I_a = 1.246$ kA, tegangan pelepasan arrester = 87 kV dan faktor perlindungan arrester FP = 30.61 %.
3. Sudut lindung optimum kawat tanah (ground steel wire) dalam melindungi kawat fasa pada SUTM 20 kV dengan metode Rolling Sphere didapatkan nilai sudut lindung kawat tanah (ground steel wire) dengan variasi jarak sambar 200 m $\varphi = 70.05^\circ$, jarak sambar 300 m $\varphi = 73.73^\circ$, jarak sambar 400 m $\varphi = 75.93^\circ$.
4. Penempatan optimal lightning arrester pada transformator distribusi menggunakan metode Pengali Lagrange didapatkan nilai jarak optimal melalui perhitungan dengan nilai jarak optimal arrester sebesar $S = 5.7$ meter.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. P. Statistik, "Energi." <https://www.bps.go.id/subject/7/energi.html#subjekViewTab3> (accessed Feb. 20, 2021).
- [2] F. A. Noor, H. Ananta, and S. Sunardiyo, "Pengaruh Penambahan Kapasitor Terhadap Tegangan, Arus, Faktor Daya, dan Daya aktif pada Beban Listrik di Minimarket," *J. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 2, pp. 66–73, 2017, doi: 10.15294/jte.v9i2.11358.
- [3] K. ESDM, *Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2009 Tentang Ketenagalistrikan*. 2009.
- [4] A. Y. D. Rachman and Fauzan, "Perencanaan Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 kV Pada Komplek Perkebunan Agra Masang Perkasa (AMP) Bawang Lubuk Basung," *J. Tek. Elektro ITP*, vol. 1, no. 2, pp. 34–43, 2012.
- [5] Erhaneli and F. Febrian, "Perhitungan Kerapatan Sambaran Petir Pada SUTM 20 KV Berdasarkan Jenis Tiang (Aplikasi Feeder-1 GH Pangkalan Kabupaten Limapuluh Kota)," vol. 5, no. 2252, 2016.
- [6] K. A. D. Purwaka, "Studi Pemodelan Perambatan Gelombang Surja Petir Pada Saluran Transmisi 150 kV Menggunakan Metode Multi-Conductor Transmission Line," pp. 1–7, 2010.
- [7] W. Bastaman, "Pengaruh perubahan sudut lindung kawat petir terhadap gangguan yang diakibatkan sambaran petir," vol. 11, no. 2, 2016.
- [8] H. A. Sano and F. Murdiya, "Analisa Sistem Proteksi Petir Pada SUTT 150 kV Menggunakan Software ATP," vol. 5, no. 1, pp. 1–7, 2018.
- [9] Y. P. Sudarmojo and M. T. Nip, "Studi Sistem Pengaman Saluran Distribusi Program Studi Teknik Elektro," 2017.
- [10] I. Hajar and E. Rahman, "Kajian Pemasangan Lightning Arrester Pada Sisi Hv Transformator Daya Unit Satu Gardu induk Teluk Betung," *Energi & Kelistrikan*, vol. 9, no. 2, pp. 168–179, 2018, doi: 10.33322/energi.v9i2.42.
- [11] Z. G. Datsios, P. N. Mikropoulos, and T. E. Tsovilis, "Estimation of the minimum shielding failure flashover current for first and subsequent lightning strokes to overhead transmission lines," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 113, pp. 141–150, 2014, doi: 10.1016/j.epsr.2014.03.008.
- [12] R. P. Luntungan et al., "Analisa Daerah Lindung Dan Grounding Pada Tower transmisi Akibat Terjadinya Back Flashover," *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 7, no. 3, pp. 199–206, 2018, doi: 10.35793/jtek.7.3.2018.20766.
- [13] P. Sarajcev, "Monte Carlo method for estimating backflashover rates on high voltage transmission lines," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 119, pp. 247–257, 2015, doi: 10.1016/j.epsr.2014.10.010.

- [14] W. A. Oktaviani and I. P. Hati, "Efektifitas Perlindungan Kawat Tanah Jaringan SUTM 20 kV Gardu Induk Boom Baru Palembang," *PROtek J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 6, no. 2, pp. 85–89, 2019, doi: 10.33387/protk.v6i2.1234.
- [15] Kementerian Agama Sumatera Barat, "Tentang Sumatera Barat." <https://sumbar.kemenag.go.id/v2/tentang-sumatera-barat> (accessed Feb. 19, 2021).
- [16] S. Nugroho, "Analisis Iklim Ekstrem Untuk Deteksi Perubahan Iklim Di Sumatera Barat," *J. Ilmu Lingkung.*, vol. 17, no. 1, p. 7, 2019, doi: 10.14710/jil.17.1.7-14.
- [17] BMKG, "Peta Sambaran Petir Tahun 2020, 2020. <https://www.bmkg.go.id/geofisika-potensial/peta-sambaran-petir.bmkg?p=peta-sambaran-petir-tahun-2020&lang=ID> (accessed Jan. 19, 2021).
- [18] B. P. S. S. Barat, "Produksi dan Konsumsi Listrik PLN di Provinsi Sumatera Barat (MWH)." Badan Pusat Statistik Sumatera Barat, Sumatera Barat, [Online]. Available: <https://sumbar.bps.go.id/statictable/2016/11/24/405/produksi-dan-konsumsi-listrik-pln-di-provinsi-sumatera-barat-mwh-2015.html>.
- [19] PT. PLN (Persero) UP3 Payakumbuh, *Dokumen PT. PLN (Persero) UP3 Payakumbuh*. Payakumbuh, 2020.
- [20] PT. PLN (Persero) UP3 Payakumbuh, "Data Gangguan PLN.pdf." .
- [21] I. N. Sunaya, "Analisis Pengaruh Pemasangan Kawat Tanah Terhadap Gangguan Surja Petir Pada Sistem Distribusi Analysis Effect of Using Ground Wire To Lightning Surge," vol. 13, no. 2, pp. 121–127, 2013.
- [22] R. Nurhaidi and M. Rajaguguk, "Penentuan Letak Optimum Arrester Pada Gardu Induk (GI) 150 kV Siantan Menggu

Paper liliana, gerry

ORIGINALITY REPORT

17%

SIMILARITY INDEX

17%

INTERNET SOURCES

3%

PUBLICATIONS

5%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	edoc.pub Internet Source	5%
2	www.scribd.com Internet Source	2%
3	jurnal.untan.ac.id Internet Source	2%
4	ejournal.unkhair.ac.id Internet Source	2%
5	eprints.ums.ac.id Internet Source	1%
6	digilibadmin.unismuh.ac.id Internet Source	1%
7	ejournal.unsrat.ac.id Internet Source	1%
8	www.sttmandalabdg.ac.id Internet Source	1%
9	core.ac.uk Internet Source	1%

10

ejournal.poltektegal.ac.id

Internet Source

1 %

11

P. M. De Oliveira-De Jesus. "A New Method to Determine Incremental Costs of Transmission Lightning Protection Systems", *Electric Power Components and Systems*, 2020

Publication

1 %

Exclude quotes On

Exclude matches < 1%

Exclude bibliography On