

**ANALISIS PENTANAHAN TRANSMISI JALUR TELLO-
SUNGGUMINASA 150 KV**



SKRIPSI

OLEH

AMAL

ANSAR

10582152715

10582154515

**FAKULTAS TEKNK
POGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
2021**

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
STADYUS DAN PENERBITAN

07/01/2022

1 ep
Sub Alumn.

R/0001/ELT/22 ep
AMA
a'



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: elektroft@unismuh.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 PENTANAHAN TRANSMISI JALUR TELLO-SUNGGUMINASA 150 KV**

Nama : 1. Amal

2. Ansar

Stambuk : 1. 105 82 1527 15

2. 105 82 1545 15

Makassar, 21 September 2021

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing;

Pembimbing I

Pembimbing II


Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc


Ir. Abdul Hafid, M.T

Mengetahui,

Ketua Prodi. Teknik Elektro




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: elektroft@unismuh.ac.id

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

PENGESAHAN

Skripsi atas nama **Amal** dengan nomor induk Mahasiswa 105 82 1527 15 dan **Ansar** dengan nomor induk Mahasiswa 105 82 1545 15, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0006/SK-Y/20201/091004/2021, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Senin, 12 Juli 2021.

Panitia Ujian :

1. Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Makassar,

11 Shafar 1443 H

21 September 2021 M

Prof. Dr. H. Ambo Asse, M.Ag

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Prof. Dr. Ir. H. Muh. Arsyad Thaha, M.T

2. Penguji

a. Ketua : Andi Faharuddin, S.T.,M.T

b. Sekretaris : Suryani, S.T.,M.T

3. Anggota

: 1. Dr. Eng. Ir. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng :

2. Dr. Ir. H. Antarassubhi, S.T.,M.T

3. Rizal Ahdiyati Duyo, S.T.,M.T

Mengetahui :

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc

Ir. Abdul Hafid, M.T



Dr. Ir. Hj. Nurnawaty, S.T., M.T.,IPM

NBM : 795 108

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah swt yang telah memberikan limpahan rahmat, taufik dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Hasil Penelitian ini dengan judul **“ANALISIS PENTANAHAN TRANSMISI JALUR TELLO-SUNGGUMINASA”**

Salawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada junjungan Nabi Muhammad saw. Atas nikmat rezeki, umur dan kemudahan sehingga Hasil Penelitian ini telah dapat penulis selesaikan meski dalam konteks yang sangat terbatas.

Penulisan Hasil Penelitian ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Ucapan terima kasih dan penghargaan yang tak terhingga kepada orang tua, ayahanda dan ibunda tercinta atas segala Do'a, Motivasi, Nasehat dan pengorbanan serta tak kenal lelah, telah mendidik, membimbing dengan penuh ketulusan dan kasih sayang untuk keberhasilan penulis.

1. Ibu Dr. Ir. Hj. Nurnawaty, ST., MT., IPM Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar
2. Ibu Adriani, ST., MT. Sebagai Ketua Prodi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Makassar
3. Bapak Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc. Selaku Pembimbing I dan Bapak Ir. Abdul Hafid, M.T. Sebagai Pembimbing II, yang telah meluangkan waktunya dalam membimbing kami menyelesaikan Hasil Penelitian kami

4. Bapak dan Ibu Dosen FT UNISMUH yang telah banyak memberi bekal ilmu pengetahuan sehingga penulis berhasil menyelesaikan Hasil Penelitian ini.

Semoga semua pihak tersebut mendapat pahala di sisi Allah swt. Dan Hasil penelitian yang sederhana ini dapat memberikan manfaat bagi penulis, rekan-rekan, masyarakat serta bangsa dan negara, Amiin.



Peneliti

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
ABSTRAK	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan Penulisan	3
D. Manfaat penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
A. Pentanahan	5
B. Jenis pentanahan	5
C. Komponen pentanahan	8
D. Sifat-sifat elektroda pentanahan	12
E. Tahanan jenis tanah	12
F. Proteksi pentanahan kaki Menara	15
BAB III METODE PENELITIAN	18
A. Studi Literatur	18
B. Studi Lapangan	18
C. Waktu dan Tempat Penelitian	19

BAB IV HASIL	20
A. Hasil Pengukuran Tahanan Pentanahan	20
B. Perhitungan Nilai Tahanan Pentanahan Secara Teori	21
C. Langkah Pemasangan Pentanahan Langsung	24
D. Evaluasi Setelah Dilakukan Pemasangan Pentanahan Langsung	27
BAB V PENUTUP	32
A. Kesimpulan	32
B. Saran	32
DAFTAR PUSTAKA	33



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tahanan jenis tanah	13
Tabel 2.2 Efek temperature terhadap Registrivitas tanah	14
Tabel 4.1 Pengukuran nilai tahanan pentanahan	20
Tabel 4.2 Material untuk pemasangan pentanahan	25
Tabel 4.3 Instruksi kerja pemasangan pentanahan	26
Tabel 4.4 Pengukuran nilai tahanan pentanahan	29
Tabel 4.5 perbandingan pengukuran dan perhitungan	30



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Pola pentahanan langsung	20
Gambar 2 Cara mengukur tanah pentanahan	28



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Foto kegiatan pemasangan pentanahan langsung	27
Lampiran 2 Rute tower transmisi SUTT 150 kv Tello – sunguminasa	35



Amal. Ansar

Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik Unismuh Makassar

Email: amal.parera1997@gmail.com

Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik Unismuh Makassar

Email: ancaansar491@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian studi lapangan yang berlokasi PT. PLN (Persero) ULTG Panakkukang. Sumber data pelengkap dalam penelitian ini didapatkan dari berbagai referensi serta informasi yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan. Sumber informasi diperoleh diantaranya dari buku, artikel publikasi, skripsi, dan karya-karya ilmiah lainnya. Metode pengumpulan data dalam penelitian ini yaitu observasi, wawancara (bertanya secara langsung) dan dokumentasi.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa, Nilai tahanan pentanahan tower transmisi 17 SUTT 150kV rute Tello-Sungguminasa dikatakan tidak memenuhi standar pentanahan yaitu sebesar $11,5 \Omega$ sedangkan persyaratan standar pentanahan yang berlaku untuk tower transmisi 150 kV nilai tahananannya adalah dibawah 10 Ohm. Dan setelah mengevaluasi pentanahan langsung pada tower 17 SUTT 150 kV rute Tello - Sungguminasa, penggunaan 2 batang elektroda rod yang di tanam secara paralel dikatakan layak untuk di gunakan sebagai media penyaluran arus gangguan yang diakibatkan oleh surja petir. Nilai perhitungan secara teori dari penanaman 2 batang elektroda sebesar 4,9 ohm.

Saran dari kegiatan ini bagi PT. PLN (Persero) Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk (ULTG) Panakkukang untuk meningkatkan kinerja transmisi terhadap gangguan petir perlu dilakukan analisa lebih lanjut terhadap fenomena sambaran petir dan langkah-langkah perbaikan untuk meminimalisir gangguan akibat petir. Perlunya pelajaran tambahan mengenai pentanahan karena sebagaimana kita ketahui, pentanahan ini berguna untuk pengaman, baik itu bagi peralatan maupun bagi manusia.

Kata Kunci: Analisis Pentanahan, dan Transmisi

Amal. Ansar

Prodi Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Unismuh Makassar

Email: amal.parera1997@gmail.com

Prodi Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Unismuh Makassar

Email: ancaansar491@gmail.com

Abstract

This study raises the subject matter of "How is the Transmission Grounding Analysis of the Tello-Sungguminasa Line?" with sub problems, namely: What is the condition of the grounding resistance of tower 17 SUTT 150 KV on the Tello-Sungguminasa route? And how to calculate grounding resistance using rod electrodes for tower 17 SUTT 150 KV Tello-Sungguminasa route?

This study uses a type of field study research located at PT. PLN (Persero) ULTG Panakkukang. Complementary data sources in this study were obtained from various references and information related to the research conducted. Sources of information obtained include books, published articles, theses, and other scientific works. Data collection methods in this study are observation, interviews (ask directly) and documentation.

The results of this study indicate that, the grounding resistance value of the transmission tower 17 SUTT 150kV for the Tello-Sungguminasa route is said to not meet the grounding standard, which is 11.5 while the grounding standard requirements that apply to the 150 kV transmission tower the resistance value is below 10 Ohms. And after evaluating direct grounding on tower 17 SUTT 150 kV route Tello - Sungguminasa, the use of 2 electrode rods planted in parallel is said to be feasible to use as a medium for distributing fault currents caused by lightning surges. The theoretical calculation value of planting 2 electrodes is 4.9 ohms.

Suggestions from this activity for PT. PLN (Persero) Panakkukang Transmission and Substation Service Unit (ULTG) to improve transmission performance against lightning disturbances, further analysis of the lightning strike phenomenon and corrective measures to minimize lightning disturbances is necessary. The need for additional lessons about grounding because as we know, grounding is useful for safety, both for equipment and for human.

Keywords: Grounding Analysis, and Transmission

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Pentanahan merupakan sistem yang umum digunakan di dunia kelistrikan yang bertujuan mengamankan peralatan-peralatan listrik maupun manusia yang berada disekitar gangguan. Untuk menyalurkan daya listrik di pusat tenaga (sumber) ke pemakai daya (konsumen) diperlukan suatu sistem tenaga listrik.

Sistem jaringan ini terdiri dari saluran transmisi, meliputi saluran udara tegangan ultra tinggi (SUTET) 500 KV, Saluran udara tegangan tinggi (SUTT) 150 KV dan jaringan distribusi, meliputi sistem tegangan menengah 70 KV dan sistem tegangan rendah 110/220 watt.

Saluran transmisi merupakan bagian yang sering mendapat gangguan, gangguan-gangguan tersebut selain gangguan dari dalam atau pada peralatan itu sendiri juga terdapat gangguan dari luar atau gangguan alam (salah satunya gangguan sambaran petir) terhadap saluran transmisi karena saluran transmisi berhubungan langsung dengan lingkungan luar yang melalui udara, panjang, tinggi dan tersebar diberbagai daerah terbuka serta beroperasi dalam segala macam kondisi. Apabila salah satu bagian sistem transmisi mengalami gangguan maka akan berdampak terhadap bagian transmisi yang lainnya, Sehingga Saluran transmisi

Gardu induk dan Saluran distribusi menjadi terganggu serta mengalami kerusakan. Transmisi dan distribusi merupakan satu kesatuan yang harus dikelola dengan baik.

Dalam mengatasi gangguan yaitu maka sangat diperlukan pentanahan kaki menara transmisi yaitu perlindungan kawat fase terhadap sambaran langsung petir dengan menggunakan kawat tanah yang diletakkan di atas kawat fase, sehingga sambaran petir yang mengenai kawat tanah akan merambat melalui impedansi surja ke tanah.

Resistansi tanah yang tinggi menyebabkan gelombang arus pantul akan merambat ke puncak menara dan apabila gelombang arus pantul tersebut melebihi tegangan tembus isolator yang ada pada tiang transmisi, maka arus petir akan terinjeksi ke kawat fase dan mengakibatkan kerusakan. Oleh karena itu diperlukan sistem pentanahan yang baik artinya kurang dari 5 ohm dan efektif.

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah untuk kegiatan ini yaitu:

1. Bagaimana kondisi tahanan pentanahan tower 17 SUTT 150 kv rute tello-sungguminasa ?
2. Bagaimana menghitung tahanan pentanahan menggunakan elektroda rod untuk tower 17 SUTT 150kV rute Tello-Sunggum

C. Tujuan Penulisan

Kegiatan tugas akhir ini bertujuan untuk :

1. Menjelaskan kondisi tahanan pentanahan tower 17 SUTT 150 kV rute Tello – Sungguminasa.
2. Mengetahui berapa banyak elektroda rod yang akan terpasang pada tower 17 SUTT 150 kV rute Tello – Sungguminasa sehingga layak untuk digunakan.

D. Manfaat kegiatan

1. Manfaat untuk PT PLN (Persero)

Manfaat yang dapat diperoleh dari kegiatan ini bagi PT PLN (Persero) sebagai bahan evaluasi untuk Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk (ULTG) Panakkukang mengenai pentanahan langsung yang berguna untuk mempercepat laju arus petir agar dapat meminimalisir gangguan akibat sambaran petir pada tower transmisi rute Tello – Sungguminasa, sehingga dalam proses penyaluran tenaga listrik dapat tersalurkan dengan baik.

2. Manfaat secara umum

Secara umum, manfaat dari kegiatan ini adalah menambah pengetahuan dan wawasan tentang transmisi khususnya pada *system grounding* tower transmisi yang menjadi media pengaman dan penyalur arus petir menuju ke tanah baik bagi pembaca maupun mahasiswa(i) Politeknik

Negeri Ujung Pandang khususnya Jurusan Teknik Elektro Program Studi
Teknik Listrik tentang Pentanahan langsung (*Direct Grounding*).



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Pentanahan

Pentanahan merupakan salah satu faktor kunci dalam usaha pengamanan (perlindungan) instalasi listrik. Agar sistem pentanahan dapat bekerja dengan efektif, sistem pentanahan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut: (Hutauruk, 1999:12)

1. Membuat jalur impedansi rendah ke tanah untuk pengamanan personil dan peralatan, menggunakan rangkaian yang efektif.
2. Dapat melawan dan menyebarkan gangguan berulang dan arus akibat surja hubung (*surge current*).
3. Menggunakan bahan tahan korosi terhadap berbagai kondisi kimiawi tanah, untuk menyakinkan kontinuitas penampilannya sepanjang umur peralatan yang dilindungi.
4. Menggunakan sistem mekanik yang kuat namun mudah dalam pelayanan.

Sistem pentanahan yang baik akan memberikan keandalan pada sistem tenaga listrik, disamping keamanan yang terjaga pada sistem tenaga listrik juga peralatan lain yang mendukungnya.

B. Jenis Pentanahan

1. Pentanahan Sistem

Pentanahan sistem (*System Grounding*) didefinisikan sebagai hubungan ke tanah dari salah satu penghantar dari sistem distribusi atau

sistem perkawatan di dalam mesin. Pentanahan sistem biasa dilakukan pada sekunder transformator yang mempunyai hubungan bintang atau dilakukan pada netral pembangkit. Apabila sistem yang digunakan adalah sistem delta, pentanahan dapat dilakukan dengan jalan menggunakan transformator pentanahan. (PUIL, 2000 : 18)

Tujuan dari pentanahan sistem adalah sebagai berikut :

- a. Pada sistem yang besar yang tidak ditanahkan, arus gangguan relatif besar sehingga busur listrik yang timbul tidak dapat padam dengan sendirinya, hal ini akan menimbulkan busur tanah, pada sistem yang ditanahkan gejala tersebut hampir tidak ada.
- b. Untuk membatasi tegangan-tegangan pada fase-fase yang tidak terganggu (sehat). (Sumardjati, 2008 : 159)

Metoda -metoda pentanahan netral dan sistem-sistem tenaga adalah :

- a. Pentanahan melalui tahanan (*resistance grounding*).
- b. Pentanahan melalui reaktor (*reactor grounding*).
- c. Pentanahan tanpa impedansi (*solid grounding*).
- d. Pentanahan efektif (*effective grounding*).
- e. Pentanahan dengan kumparan Petersen.

2. Pentanahan Perlengkapan

Pentanahan perlengkapan merupakan hubungan ke tanah dari bagian-bagian metal yang dalam keadaan normal tidak membawa arus pada semua perlengkapan yang berhubungan dengan sistem tenaga listrik, seperti: pipa-pipa metal, *raceway*, pelindung kabel, *mof kabel*, kabinet, kotak saklar, kerangka motor, tangki transformator, lemari kontrol, dan sebagainya.

Secara singkat tujuan pentanahan peralatan dapat diformulasikan sebagai berikut : (Hutauruk, 1999:125)

- a. Mencegah terjadinya tegangan kejut listrik yang berbahaya bagi orang yang ada dalam daerah tersebut.
- b. Untuk memungkinkan timbulnya arus tertentu baik besarnya maupun lamanya dalam keadaan gangguan tanah tanpa menimbulkan kebakaran atau ledakan pada bangunan atau isinya.
- c. Untuk memperbaiki unjuk kerja (*performance*) dari sistem. Batas tahanan pentanahan perlengkapan adalah :
 - 1) Untuk stasiun-stasiun besar, tahanan bus pentanah 1 Ohm.
 - 2) Untuk stasiun yang lebih kecil, tahanan bus pentanah 5 Ohm.
 - 3) Untuk perumahan dan kota-kota yang belum mempunyai sistem air ledeng, tahanan bus pentanah 25 Ohm.
 - 4) Untuk peralatan-peralatan elektronis yang sangat peka, tahanan pentanahan harus kurang dari 1 Ohm, yaitu sekitar 0.5 Ohm.

C. Komponen Pentanahan

1. Penghantar Pentanah

Kawat tanah pengaman dihubungkan ke semua bagian metal peralatan listrik, dan juga kepada bagian-bagian bangunan yang berujud metal, konstruksi penyanggah kabel yang terbuat metal. Penghantar pentanahan berfungsi untuk mengalirkan arus gangguan tanah (besar dan lama arus gangguan tanah) tanpa menimbulkan kenaikan suhu yang berlebihan. Aturan untuk pemasangan penghantar pentanah adalah sebagai berikut : (Hutauruk, 1999:122)

- a. Bila digunakan kawat berisolasi, kawat pentanah sama penampangnya dengan kawat fase yang bersangkutan.
- b. Bila digunakan kawat telanjang, kenaikan suhu maksimum dan untuk tempat-tempat tertentu suhu maksimum adalah sebesar 100°C .
- c. Kawat pentanah perlengkapan harus dibuat tersendiri dan tidak digabung dengan kawat pentanah titik netral.

2. Bus Pentanah

Untuk membatasi tegangan, rangkaian impedansi rendah untuk arus gangguan tanah sangat dibutuhkan. Penampang bus pentanah dapat ditentukan oleh besar arus dan lamanya mengalir arus gangguan pada tanah, yaitu di batasi oleh suhu pada maksimum yang diperbolehkan. Kenaikan suhu yang juga di syarkan untuk setiap sambungan akan berbeda. Untuk sambungan

dengan baut, kenaikan suhu maksimum adalah 250°C bila suhu permulaan sebesar 26°C

$$A = 10,6 I \sqrt{S}$$

Sedangkan untuk sambungan las, suhu maksimum adalah 450°C dan

$$A = 8,7 I \sqrt{S}$$

dengan : A = luas penampang konduktor (mm²)

I = arus gangguan tanah (A)

S = lama aliran arus (S). (Sumardjati, 2005: 25)

Arus yang digunakan dalam perhitungan tergantung pada sistem pentanahan netral. Untuk sistem yang tidak ditanahkan atau pentanahan dengan impedansi, arus gangguan adalah arus gangguan fase ke fase. Untuk pentanahan tanpa impedansi, arus yang digunakan untuk perhitungan adalah arus gangguan tiga fase. Ukuran penampang bus pentanah tidak boleh kurang dari 70 mm², untuk gardu induk besar atau pusat pembangkit, ukuran terbesar tidak perlu lebih dari 250 mm². untuk pembangkit industri dan gardu induk kecil, penampang yang digunakan cukup 90 mm² Pemasangan bus pentanah didasarkan atas petunjuk sebagai berikut : (William Bolton, 2004:49)

- a. Bus pentanah harus dipasang mengelilingi bangunan. Untuk bangunan dengan kerangka baja, bus pentanahan harus dihubungkan dengan pilar-pilar baja sisi terluar, untuk bangunan yang sangat besar, bus

pentanah harus dibuat berbentuk *grid*. Bus pentanah dihubungkan dengan elektroda pentanahan setiap jarak 200 ft (60 meter) atau kurang.

- b. Bila gedung terdiri dari beberapa tingkat, tiap tingkat perlu diberi bus pentanah sendiri-sendiri.
- c. Bus pentanah harus terlindung dari kerusakan mekanis, dan apabila metal digunakan sebagai pelindung kabel pentanah, paling tidak pada kedua ujung harus dihubungkan dengan bus tersebut.
- d. Sambungan-sambungan di dalam tanah tidak boleh menggunakan baut, tetapi dengan las.

3. Elektroda pentanahan

Berupa batang (*rod*), pipa, plat atau penghantar yang dibenam dalam tanah, dengan ukuran bahan dan kedalaman yang tepat. Elektroda tersebut harus terbuat dari bahan yang tahan korosi seperti tembaga (*copper*), atau baja dilapis tembaga. Dan macam-macam elektroda pentanahan adalah :
(Sumardjati, 2005: 168)

a. Elektroda batang

Elektroda jenis ini paling sering digunakan karena relatif murah dan biasa mencapai lapisan tanah yang memiliki tahanan jenis rendah. Parameter elektroda batang meliputi: panjang, diameter dan bahan elektroda. Bahan elektroda yang biasa digunakan terbuat dari tembaga murni atau tembaga yang berlapis baja. Elektroda yang terbuat dari tembaga murni relatif cocok

untuk kondisi tanah yang mempunyai kadar garam tinggi. Elektroda berlapis baja digunakan untuk daerah dengan gejala korosi yang sering terjadi. Elektroda ini mempunyai kemampuan hantaran arus yang lebih kecil dibandingkan dengan elektroda tembaga murni. Dalam pemasangannya, elektroda batang biasa dilengkapi dengan bahan anti karat sebagai pelindung. Bahan anti karat tidak akan menurunkan impedansi keseluruhan karena tidak ada kontak langsung dengan tanah. (Sumardjati, 2005: 168)

b. Elektroda pita

Elektroda pita digunakan untuk memperendah impedansi surja Menara, komponen frekuensi tinggi dari surja petir. Elektroda jenis ini digunakan pada daerah yang mempunyai tahanan jenis tanah yang tinggi dan memperendah resistansi kaki menara. Elektroda jenis pita dapat dibedakan menjadi jenis kontinyu dan jenis radial. (Sumardjati, 2005: 168)

1) Jenis *Continu*

Jenis *Continu* terdiri atas sebuah elektroda kawat horizontal yang ditanam di bawah saluran transmisi dari ujung ke ujung atau sepanjang bagian tertentu dan dihubungkan ke kawat pentanahan (*Overhead Ground Wire*) pada masing-masing tiang penyangga. (Sumardjati, 2005: 16)

2) Jenis radial

Terdiri dari beberapa elektroda kawat horizontal dengan panjang lengan sama dan antar lengan dipisahkan dengan sudut yang sama. Berdasarkan pertimbangan karakteristik fungsi surja petir, penggunaan elektroda ini lebih menguntungkan. (Sumardjati, 2005: 18)

D. Sifat-Sifat Elektroda Pentanahan

Sifat-sifat Elektroda Pentanahan dinilai dari tahanan tanah disekitarnya dimana secara geologis arus mengalir dari elektroda kesekitarnya. Tahanan elektroda ditentukan oleh ukuran, bentuk dan jenis elektroda yang digunakan. Tahanan kontak antara elektroda dan tanah disekitarnya diusahakan sekecil mungkin untuk menjamin tahanan pentanahan yang rendah. Akan tetapi demikian besarnya tahanan kontak sangat ditentukan jenis tanah, struktur tanah dan instalasi pemasangan elektroda. Tahanan tanah disekitar penjumlahan resistansi seri dari lapisan-lapisan tanah, lapisan terdekat dengan elektroda memiliki permukaan yang sempit sehingga memberikan tahanan yang relatif besar. Lapisan berikutnya memberikan tahanan yang lebih kecil dikarenakan lebih luas, demikian seterusnya hingga pada suatu jarak tertentu dari elektroda. Jarak ini disebut daerah tahanan efektif, tergantung dari dalamnya elektroda.

E. Tahanan jenis tanah

Faktor paling dominan mempengaruhi tahanan sistem pentanahan adalah tahanan jenis tanah dimana elektroda pentanahan ditanam. Harga tahanan jenis tanah pada daerah kedalaman yang terbatas tergantung beberapa faktor, yaitu :

1. Jenis tanah.

Tabel 2.1 Tahanan jenis tanah

NO	Jenis Tanah	Tahanan Jenis (ohm.m)
1	Tanah rawa	10 s.d. 40
2	Tanahliat dan ladang	20 s.d. 100
3	Pasir basah	50 s.d. 200
4	Kerikil basah	200 s.d. 3.000
5	Pasir dan kerikil kering	<10.000
6	Tanah berbatu	2.000 s.d. 3.000
7	Air laut dn tawar	10 s.d. 100

Sumber : PUIL 2000. (Hutauruk, 1999:145)

2. Lapisan tanah (berlapis-lapis dengan tahanan jenis berlainan atau sama).
3. Kelembaban tanah.
4. Temperatur.

Tabel 2.2 Efek Temperatur Terhadap Resistivitas Tanah

NO	Temperatur (°C)	Resistivitas (Ohm.cm)
1	-5	70.000
2	0	30.000
3	0	10.000
4	10	8.000

5	20	7.000
6	30	6.000
7	40	5.000
8	50	4.000

Sumber : IEEE STD 142-1991. (Hutauruk, 1999:142)

Tahanan jenis tanah bervariasi menurut jenis tanahnya dikarenakan perbedaan konduktivitas dari masing-masing unsur penyusun tanah. Tanah dengan kelembaban tinggi akan memiliki tahanan jenis tanah yang rendah. Dengan memberi air atau membasahi tanah adalah metode konvensional untuk menurunkan tahanan jenis tanah dengan meningkatkan kelembaban tanah. Harga tahanan jenis tanah pada kedalaman yang terbatas sangat bergantung dengan keadaan cuaca. .

Untuk mendapatkan tahanan jenis rata-rata untuk perencanaan maka diperlukan penyelidikan atau pengukuran dalam jangka waktu tertentu. Biasanya tahanan tanah juga bergantung dari tingginya permukaan tanah dari permukaan air konstan. Metode untuk mengurangi tahanan jenis tanah akibat pengaruh musim, dilakukan dengan menanamkan elektroda pentanahan sampai mencapai kedalaman di mana terdapat air tanah yang konstan.

F. Proteksi Pentanahan Kaki Menara

Indonesia merupakan negara dengan wilayah yang mempunyai kerapatan sambaran petir cukup tinggi, Dengan demikian kemungkinan jaringan transmisi mengalami gangguan petir cukup besar. Telah banyak cara yang digunakan untuk

menghindarkan atau mengurangi terputusnya aliran daya listrik akibat sambaran petir, misalnya memasang kawat tanah di atas kawat fase, memperkecil tahanan kaki menara, memasang *arrester*, dan sebagainya. Tahanan kaki Menara yang rendah dapat diperoleh dengan menggunakan satu atau lebih batang-batang pengetanahan (*ground rod*) dan atau sistem *counterpoise*. Pemilihan penggunaan batang pengetanahan dan atau sistem *counterpoise* tergantung dari tahanan jenis tanah di mana menara tersebut berada.

1. Batang pentanahan

Bila menggunakan batang pengetanahan, tahanan kaki menara dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$R = (\rho / 2\pi L) \ln(2L/d) \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan :

R= tahanan kaki menara (ohm)

L = tahanan jenis tanah (ohm.m)

d = panjang dari batang pengetanahan
(meter).

ρ = diameter batang pengetanahan

(meter).

(Nawir, M., 2003:190)

Menurut persamaan di atas, tahanan kaki menara akan berkurang dengan menambah panjang pengetanahan. Dalam hal ini batang pengetanahan paralel digunakan, persamaan (2.3) tetap dapat digunakan untuk menghitung tahanan kaki menara; bila variabel d diubah menjadi A dan radius batang pengetanahan sama sesuai dengan persamaan (2.4). Harga A adalah kelipatan batang pengetanahan yang tergantung dari penempatan masing-masing batang.

penempatan :

2 batang diletakkan di mana saja

$$\sqrt{ar} A = \dots\dots\dots(2.4)$$

3 batang diletakkan membentuk segitiga

$$\sqrt[3]{a^2r} A = \dots\dots\dots(2.5)$$

$$\sqrt[4]{2\frac{1}{2}a^3r}$$

4 batang diletakkan membentuk persegi

$A = \dots\dots(2.6)$ dengan : r = jari-jari masing-masing batang pengetanahan (harus sama) a = jarak antara batang pengetanahan.

Tembaga dan aluminium adalah bahan yang paling sering digunakan sebagai batang pengetanahan (*driven ground*). Namun demikian tembaga dianggap lebih tahan terhadap korosi pada daerah dengan kadar garam dan kelembaban tinggi, serta daerah dengan kondisi tanah keras. (Nawir, M., 2003:27)

2. Counterpoise

Untuk daerah-daerah yang mempunyai lapisan tanah yang keras dan berbatu-batu atau daerah yang tahanan jenis tanahnya tinggi, batang pengetanahan tidak praktis digunakan. *Counterpoise* menggunakan kawat penghantar yang ditanam di dalam parit di sekitar kaki menara. Parit-parit tersebut tidak terlalu dalam, kedalamannya sekitar 30 cm sampai 60 cm dan tidak memerlukan bahan urugan khusus. *Counterpoise* dapat dikonfigurasi secara radial (non kontinyu) atau secara menara ke menara (*continu*). (Murdiyanto, 2000: 14)

BAB III

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini diselesaikan dalam waktu 3 bulan, dengan tahapan studi literatur, studi lapangan dan pembuatan laporan.

A. Studi Literatur

Data didapatkan dari bebrbagai refrensi serta informasi yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan. Sumber informasi diperoleh diantaranya dari buku, artikel publikasi, skripsi, dan karya-karya ilmiah lainnya.

B. Studi Lapangan

Merupakan metode untuk mengumpulkan data secara langsung dari tempat objek penelitian, dimana pengambilan data dilaksanakan dengan cara sebagai berikut

1. Observasi, yaitu dengan cara mengamati secara langsung untuk mendapatkan data-data primer yang lebih akurat mengenai hal-hal yang menjadi objek penelitian.
2. Bertanya secara langsung pada petugas di lapangan.

C. Waktu dan tempat penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan 10 tahun 2020 di tower 17 saluran udara tegangan tinggi 150 KV (paten) transmisi Tello-Sungguminasa yang

berjumlah 92 tower dengan jarak 29,46 km yang terbagi 2 tim yaitu tim pemeliharaan Gardu Induk Tegangan Tinggi Tello dan Sungguminasa.



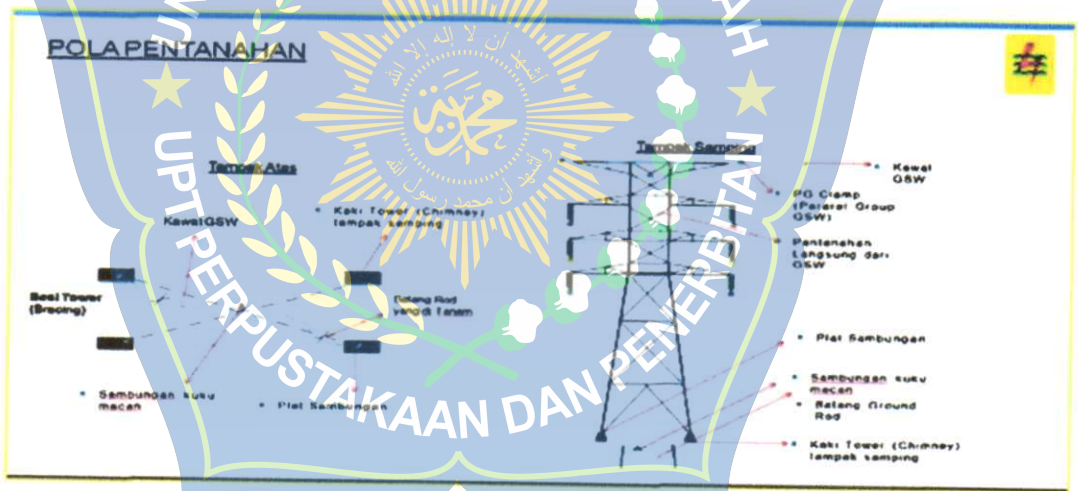
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Tower 17

Tabel 4.1 Pengukuran nilai tahanan pentanahan sebelum diadakan pergantian arde.

Tower	Nilai tahanan pentanahan (Ω)
17	Sebelum diadakan pergantian arde 11,5



Gambar 4-1 Pola Pentanahan langsung
(Sumber : PT PLN Persero ULTG Panakkukang)

Besarnya tahanan pentanahan tower SUTT 150 kV yang mana diketahui semakin kecil semakin baik, namun ada batas maksimum yang diperbolehkan oleh PLN,

menurut Keputusan Direksi PT PLN (Persero) nomor 0520-1.K/DIR/2014 tentang Himpunan Buku Pedoman Pemeliharaan dan Asesmen Peralatan

Transmisi, untuk tower transmisi 150 kV nilai tahananannya yaitu dibawah 10 Ohm. Kecilnya tahanan pentanahan ini berguna untuk mempercepat aliran arus akibat potensial tegangan yang besar ke bumi bila terjadi sambaran petir pada kawat tanah, sehingga tidak membahayakan SUTT 150 kV. Setelah dilakukan pengukuran pada tower 17 rute Tello – Sungguminasa nilai tahanan pentanahannya sebesar 11,5 ohm, hal tersebut dikatakan tidak memenuhi standar pentanahan karena nilai tahanan melebihi standar yang telah ditentukan, sehingga tidak layak untuk mengamankan sistem transmisi.

Untuk mengurangi gangguan akibat sambaran petir ULTG Panakkukang menerapkan sistem pentanahan langsung untuk mempercepat laju surja petir agar dapat meminimalisir gangguan dan meningkatkan performa pentanahan tower dengan mengalirkan arus sambaran petir tanpa melalui *body* tower menuju ke tanah pada tower transmisi rute Tello – Sungguminasa. Pemasangan pentanahan langsung dilakukan pada hari Selasa, tanggal 10 Maret 2020 pukul 08.00 – 15.00 WITA, berlokasi di jalan Kassi.

B. Perhitungan Nilai Tahanan Pentanahan Secara Teori

Sebelum diadakan pergantian arde, terlebih dahulu ditentukan desain dari elektoda batang dengan cara menghitung nilai tahanan menggunakan elektroda batang, sesuai standar yang berlaku nilai tahanan pentanahan harus dibawah 10 Ω (ohm) untuk

sistem transmisi 150 kV. Adapun desain dan perhitungan secara teori dapat dilakukan dengan merujuk pada persamaan (1) sebagai berikut :

Rumus untuk perhitungan satu buah elektroda rod, sesuai dengan persamaan (..) :

$$R = \left(\frac{\rho}{2\pi L} \right) \left[\text{Ln} \left(\frac{2L}{d} \right) \right]$$

dengan :

R = tahanan kaki menara (ohm)

ρ = tahanan jenis tanah untuk tanah rawah (ohm)

L = panjang dari batang pengetanahan (meter)

d = diameter batang pengetanahan (meter)

Tahanan jenis tanah (ρ) = 30 Ohm-meter untuk tanah sawah

Panjang elektrode (L) = 3 meter

Diameter elektroda (d) = $\frac{3}{4}$ inch = 1,905 cm = 0,01905 m

Jari-jari elektrode (r) = $1,905 / 2 = 0,009525$ m

$$R = \left(\frac{30}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \right) \left[\text{Ln} \left(\frac{2 \cdot 3}{0,01905} \right) \right]$$

$$R = \left(\frac{30}{18,84} \right) \left[\text{Ln} (314,96) \right]$$

$$R = (1,592)[5,752]$$

$$R = 1,592 \cdot 5,752$$

$$R = 9,12 \Omega$$

2 batang diletakkan di mana saja $A = \sqrt{ar}$ dengan :

r = jari-jari masing-masing batang pengetanahan (meter)

a = jarak antara batang pengetanahan (meter)

Nilai tahanan di atas masih mendekati batas standar pentanahan tower untuk sistem transmisi 150 kV sehingga batang elektroda perlu di paralelkan untuk mendapatkan nilai tahanan pentanahan yang lebih kecil. Maka dari itu langkah selanjutnya dengan cara memparalelkan 2 batang elektroda, dapat menggunakan persamaan diatas dengan mengubah variabel d menjadi A . Penempatan untuk 2 batang elektroda rod dapat dilihat pada persamaan di bawah ini :

$R =]$

$$R = \left(\frac{\rho}{2\pi L} \right) \left[\text{Ln} \left(\frac{2L}{d} \right) \left(\frac{\rho}{2\pi L} \right) \left[\text{Ln} \left(\frac{2L}{\sqrt{ar}} \right) \right] \right]$$

$$R = \left(\frac{30}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \right) \left[\text{Ln} \left(\frac{2 \cdot 3}{\sqrt{3 \cdot 0,009525}} \right) \right]$$

$$R = \left(\frac{30}{18,84} \right) \left[\text{Ln} \left(\frac{6}{0,268} \right) \right]$$

$$R = (1,592) \left[\text{Ln} (22,2) \right]$$

$$R = (1,592) [3,1]$$

$$R = 1,592 \cdot 3,1$$

$$R = 4,93 \Omega$$

Nilai perhitungan tahanan pentanahan untuk 2 buah batang elektroda rod yang ditanam tegak lurus kedalam tanah adalah 4,93 Ohm, sehingga perhitungan nilai tahanan pentanahan 2 elektroda batang telah memenuhi persyaratan standar

pentanahan yang telah ditentukan. Perhitungan nilai tahanan berguna untuk mengetahui jumlah elektroda batang yang dibutuhkan pada pemasangan pentanahan langsung, jadi semakin banyak elektroda ditanam dalam tanah, maka semakin kecil nilai tahanan pentanahannya. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa konfigurasi penanaman 2 batang elektroda mampu mereduksi besarnya tahanan pentanahan.

C. Langkah Diadakan Pergantian Arde

Setelah didapatkan nilai tahanan pentanahan yang layak dari hasil perhitungan menggunakan 2 batang elektroda, kemudian dilakukan pemasangan pentanahan langsung pada tower 17 sistem transmisi 150 kV rute Tello - Sungguminasa. Berikut ini material serta IKA (Instruksi Kerja Aman) dan prosedur dalam pemasangan pentanahan langsung atau yang biasa disebut dengan *direct grounding*. Pemasangan pentanahan langsung dilakukan oleh staff OPHAR ULTG Panakkukang dan mahasiswa peneliti. Material yang dibutuhkan untuk pemasangan pentanahan langsung (*Direct Grounding*) adalah sebagai berikut :

Tabel 4.2 Material untuk pemasangan pentanahan langsung

No	URAIAN	SATUAN	VOLUME
1	Isolator <i>Support</i>	Buah	12
2	<i>Counter</i> Surja Petir	Buah	1
3	Kawat BC 50mm	Meter	35
4	<i>Stainless Steel Strap</i> 20 mm	Roll	2

	: 0,6 mm		
5	Kuku Macan	Biji	12
6	Cat Galvanize	Kaleng	1
7	Batang elektroda 0,02 m x 3 m	Batang	2
8	Scoen 70 mm	Biji	4
9	Mur dan Baut	Buah	30
10	Konektor	Buah	12

Sumber : PT PLN Persero ULTG Panakkukang

- a. IKA (Instruksi Kerja Aman) pemasangan pentanahan langsung
- b. Kemudian IKA (Instruksi Kerja Aman) dan prosedur yang berlaku di PT PLN Persero dalam pemasangan pentanahan langsung

Tabel 4.3 Instruksi kerja pemasangan pentanahan langsung

No	Petugas terkait	Peralatan kerja	Material	Perlengkapan K3
1	Manager ULTG	Kunci <i>Past Ring</i>	Kawat Tembaga 50 mm	<i>Helm</i>
2	SPV Ophar (Operasi pemeliharaan)	Tang Kombinasi	<i>Counter</i> surja petir	<i>Full body harmest</i>
3	Pengawas K3 (Kesehatan dan Keselamatan Kerja)	Tali / Tambang	Isolator <i>support</i>	<i>Wearpack</i>
1	2	3	4	5

1	2	3	4	5
4	Staff OPHARR	Obeng	Kuku macan	Sepatu <i>safety</i>
5		Palu	<i>Stainless Steel Strap</i> 20 mm : 0,6 mm	Sarung tangan
6		Cangkul	Batang elektroda 0,02 m x 3 m	Kacamata hitam
7		Linggis	Scoen 70 mm	
8		Skop	Mur dan baut	

Sumber : PT PLN Persero ULTG Panakkukang

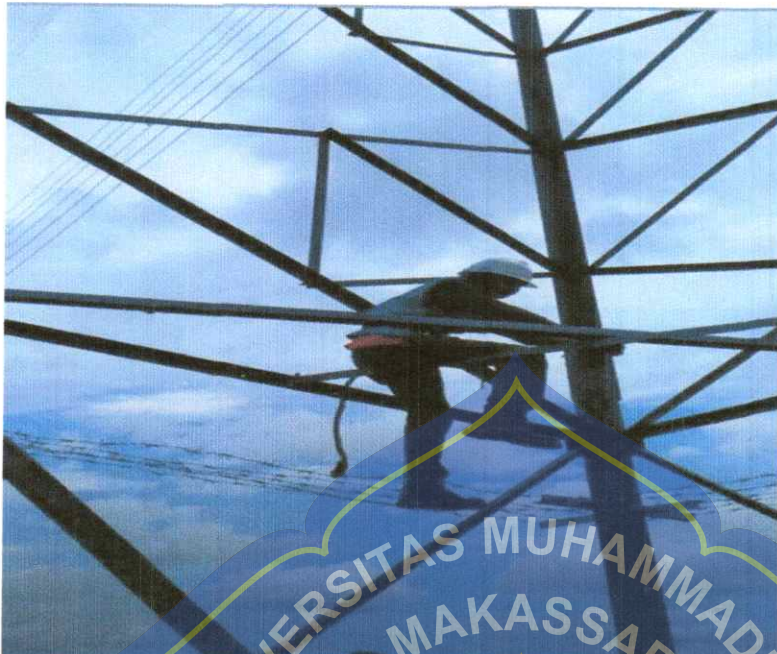
Prosedur pemasangan pentanahan langsung

1. Menyiapkan peralatan K3 dan menggunakannya;
2. Doa bersama dan koordinasi pelaksanaan pekerjaan;
3. Melakukan koordinasi dengan piket pengawas informasikan akan melaksanakan kegiatan pemasangan penambahan pentanahan tower;
4. Menyiapkan peralatan kerja dan material yang akan digunakan;
5. Menyiapkan isolator 20 kV lalu memasang pada plat yang sudah disiapkan dengan menggunakan mur baut;
6. Memasang plat ke *body* tower dengan melilitkan *stainless steel* kencangkan dengan menggunakan *stainless steel strip* (pastikan lilitan plat pada *body* tower kencang) potong *stainless steel strip* sesuai *body* tower;
7. Memasang *counter* / penghitung yang dihubungkan pada kawat gsw;

8. Memasang kawat tembaga dan menghubungkan ke gsw (*ground steel wire*) yang ada pada menara transmisi dengan menggunakan pg clamp kemudian pasang kawat tembaga ke isolator yang sudah disiapkan;
9. Menghubungkan kawat tembaga dengan elektroda rod yang telah di tancapkan ke tanah;
10. Menyiapkan peralatan *earth tester* kemudian melakukan pengujian pentanahan kaki tower setelah melakukan pemasangan pentanahan langsung dari *groundwire* ke tanah sesuai prosedur IKA pengujian pentanahan;
11. Merapikan peralatan kerja dan peralatan K3 dan melakukan *briefing* serta doa bersama;
12. Melaporkan ke pengawas pekerjaan bahwa pekerjaan pemasangan pentanahan langsung dari *groundwire* ke tanah telah selesai;
13. Membuat laporan pekerjaan sesuai dengan standar yang telah ditentukan.

D. Evaluasi Setelah Diadakan Pergantian Arde

Setelah dilakukan pemasangan pentanahan langsung, kemudian dilakukan pengukuran tahanan pentanahan. Hasil pengukuran dapat dilihat pada gambar dan tabel dibawah ini.



Gambar 4-2 Penarikan kabel Ground



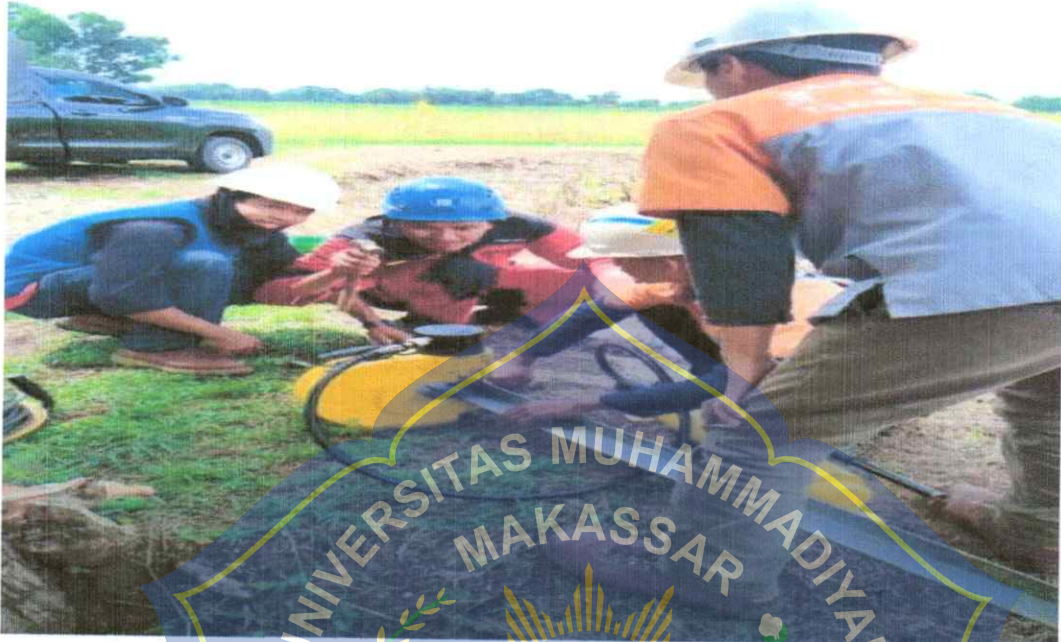
Gambar. 4-3 Pemasangan Ground



Gambar. 4-4 Alat Pelubang Besi



Gambar. 4-5 Mengukur Tahanan Ground

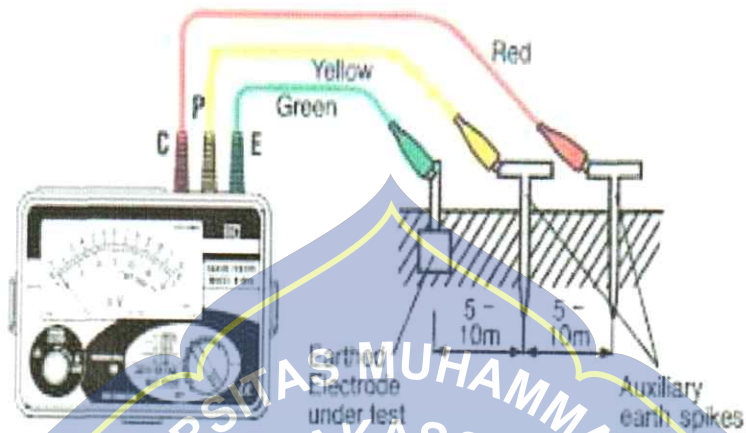


Gambar. 4-6 Melubangi Besi Transmisi



Gambar. 4-7 Hasil pengukuran Tahanan Ground

Dibawah ini cara mengukur tahanan pentanahan menggunakan alat ukur *Earth Tester*.



Gambar 4-8. Cara mengukur tahanan pentanahan menggunakan *Earth Tester*

Sumber : (<http://www.blog0listrik.xyz/2019/01/cara-mengukur-tahanan-pentanahandengan.html>)

Alat yang digunakan



Gambar. 4-9. Alata Yang di Gunakan Untuk Mengukur

Tabel 4.4 Pengukuran nilai tahanan pentanahan tower 17 rute Tello – Sungguminasa

		Nilai tahanan pentanahan (Ω)
17	Nilai tahanan sebelumnya	11,5
	Nilai tahanan sesudah diganti dengan pentanahan yang baru	4,4

Setelah terpasang pentanahan yang baru di tower 17 rute Tello – Sungguminasa pada tanggal 10 Maret 2020 nilai tahanan pentanahannya sebesar 4,4 Ω . Nilai tersebut dikatakan telah memenuhi standar PT PLN Persero, nilai tahananannya yaitu dibawah 10 Ω , sehingga dalam penggunaannya layak untuk digunakan sebagai media penyalur surja petir dan peningkatan performa pentanahan tower dengan mengalirkan arus sambaran petir tanpa melalui *body* tower menuju ke tanah. Setelah pemasangan pentanahan langsung nilai tahanan pentanahannya baik atau dibawah 10 Ω yang diakibatkan oleh adanya 2 buah elektroda rod yang ditancapkan ke dalam tanah sedalam 3 meter karena elektroda rod terbuat dari tembaga murni yang diketahui memiliki daya hantar yang kuat, sehingga mampu mereduksi besarnya tahanan pentanahan, dalam artian dapat mempercepat laju surja petir menuju ke tanah karena surja petir selalu mencari tahanan yang rendah, sehingga dapat mengatasi terjadinya *backflashover* pada isolator.

Nilai pengukuran tahanan pentanahan tersebut tidak jauh berbeda dengan perhitungan secara teori dengan menggunakan persamaan 2 batang elektroda. Persentase perbandingan antara perhitungan secara teori dengan hasil pengukuran setelah pemasangan pentanahan langsung dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini.

Tabel 4.5 perbandingan pengukuran dan perhitungan

	Perbandingan hasil	
Hasil pengukuran		4,4 Ω
Hasil perhitungan		4,93Ω

$$\frac{4,4}{4,93} \times 100\% = 89,2 \%$$

Menurut hasil perhitungan perbandingan diatas dapat diketahui bahwa perbandingan pengukuran nilai tahanan pentanahan dengan perhitungan secara teori sebesar 89,2 %. Dapat dilihat bahwa perhitungan secara teori tidak jauh berbeda dengan pengukuran nilai tahanan pentanahan, perbedaan ini dapat terjadi karena adanya perbedaan kondisi tanah pada saat melakukan pengukuran.

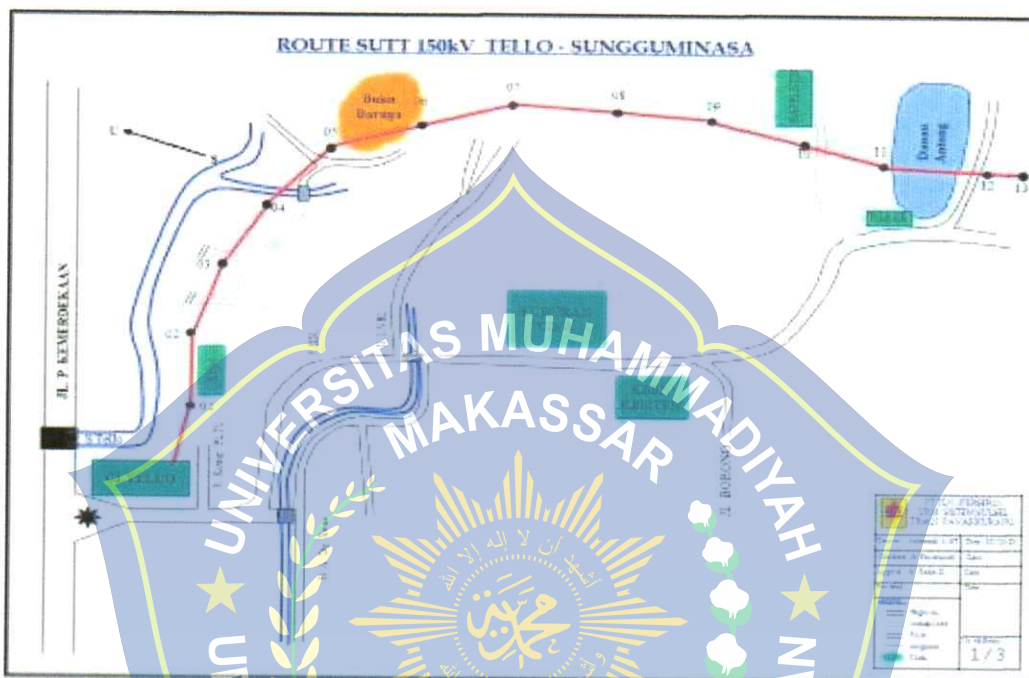
Hal inilah yang membedakan pentanahan jenis lain dengan pentanahan langsung, dapat dikatakan pentanahan langsung karena pentanahan ini tidak melalui

body tower tetapi dari kawat tembaga yang di jumper dengan kawat gsw (*ground steel wire*) menuju ke tanah yang telah di hubungkan dengan elektroda rod menggunakan kuku macan. Pentanahan langsung juga dilengkapi dengan *counter* surja petir yang akan menghitung mulai dari angka 1 ketika terkena sambaran petir sehingga dalam pengoperasiannya dapat dimonitor.



LAMPIRAN

Lampiran 1 Rute Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Tello - Sungguminasa



DAFTAR PUSTAKA

- Djiteng Marsudi. 1990. Operasi Sistem Tenaga Listrik. Jakarta : Balai Penerbit & Humas ISTN.
- Ilham, A. M. 2016. MITIGASI GANGGUAN TRANSMISI AKIBAT SAMBARAN PETIR *LINE* SUNGGUMINASA – MAROS. Makassar :
- Kurniawan, H. dan Leily, W. J. 2018. STUDI PENTANAHAN KAKI MENARA TRANSMISI 500 KV SUMATERA TURUN PERANAP NEW AURDURI. Vol. 1, No. 2, 45 – 53. Sumatera : Journal of Electrical Power Control and Automation.
- PT PLN (Persero) No.0520-1.K/DIR/2014. 2014. BUKU PEDOMAN PEMELIHARAAN SALURAN UDARATEGANGAN TINGGI DAN EKSTRA TINGGI (SUTT/SUTET). Jakarta.
- Reynaldo, Z. 2016. Sistem Proteksi Petir pada Jaringan Transmisi, Distribusi dan Gardu Induk. Makassar : Lightning Research Center School for Electrical Engineering & Informatic of ITB.
- Saputro, N. H. 2016. ANALISIS PERBAIKAN PENTANAHAN KAKI MENARA TRANSMISI 150 KV REMBANG-BLORA BERTAHANAN TINGGI DAN USAHA MENURUNKANNYA. Laporan ilmiah. Surakarta : Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Tim Dosen PNUP. Panduan Penulisan Proposal dan Tugas Akhir Program Diploma Tiga (D-3) Politeknik Negeri Ujung Pandang.

T.S. Hutauruk. 1991. Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan. Jakarta : Erlangga.

