

**ANALISA KELAYAKAN PENTANAHAN TOWER SALURAN UDARA
TEGANGAN TINGGI (SUTT) 150 KV JELOK – BRINGIN
MENGUNAKAN METODE KOMPARASI**

LAPORAN TUGAS AKHIR

Laporan Ini Disusun Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana (S1) Pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi
Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang



DISUSUN OLEH :

DEDI PRANATALI

30601800050

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG

2022

FINAL PROJECT
FEASIBILITY ANALYSIS GROUNDING OF HIGH-VOLTAGE AIR LINE
TOWER (SUTT) 150 KV JELOK – BRINGIN USING COMPARISON
METHOD

Proposed to complete the requirement to obtain a bachelor's degree (S1)
at Departement of Industrial Engineering, Faculty of Industrial
Technology, Universitas Islam Sultan Agung



MAJORING OF ELECTIRCAL ENGINEERING
INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY
SULTAN AGUNG ISLAMIC UNIVERSITY SEMARANG

2022

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “ANALISA KELAYAKAN PENTANAHAN TOWER SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI (SUTT) 150 KV JELOK – BRINGIN MENGGUNAKAN METODE KOMPARASI” ini disusun oleh:

Nama : DEDI PRANATALI
NIM : 30601800050
Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:

Hari : Jumat
Tanggal : 25 Februari 2022

Pembimbing I

Pembimbing II


Gunawan, S.T., M.T.
NIDN : 0607117101


Dedi Nugroho, S.T., M.T.
NIDN : 0614117701

Mengetahui,

Ka. Program Studi Teknik Elektro



04/03/22

Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T.
NIDN : 0607018501

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “ANALISA KELAYAKAN PENTANAHAN TOWER SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI (SUTT) 150 KV JELOK – BRINGIN MENGGUNAKAN METODE KOMPARASI” ini telah dipertahankan di depan Penguji sidang Tugas Akhir pada:

Hari : Kamis

Tanggal : 27 Januari 2022

Tim Penguji

Tanda Tangan

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

NIDN : 0619076401

Ketua

Ir. Ida Widiastuti, M.T.

NIDN : 0005036501

Penguji I

Eka Nuryanto Budisusila, S.T., M.T.

NIDN : 0619107301

Penguji II

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Dedi Pranatali
NIM : 30601800050
Jurusan : Teknik Elektro
Fakultas : Teknologi Industri

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tugas Akhir yang diajukan dengan judul **“ANALISA KELAYAKAN PENTANAHAN TOWER SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI (SUTT) 150 KV JELOK – BRINGIN MENGGUNAKAN METODE KOMPARASI”** adalah hasil karya sendiri, tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di perguruan tinggi lain maupun ditulis dan diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam daftar pustaka. Tugas Akhir ini adalah milik saya segala bentuk kesalahan dan kekeliruan dalam Tugas Akhir ini adalah tanggung jawab saya.

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

Semarang, 27 Januari 2022

Yang Menyatakan



Dedi Pranatali

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Dedi Pranatali
NIM : 30601800050
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Teknologi Industri
Alamat Asal : Perum Bumi Wanamukti Blok C2 No. 12, Kota Semarang
No. HP / Email : 08971695757 / dedi.pranatali@std.unissula.ac.id

Dengan ini saya menyerahkan karya ilmiah berupa Tugas Akhir dengan judul **“ANALISA KELAYAKAN PENTANAHAN TOWER SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI (SUTT) 150 KV JELOK – BRINGIN MENGGUNAKAN METODE KOMPARASI”** dan menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan hak bebas royalti non-eksklusif untuk disimpan, dialih mediakan, dikelola dalam pangkalan data dan publikasinya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis selama tetap mencantumkan nama penulis sebagai pemilik Hak Cipta.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/ Plagiarisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Universitas Islam Sultan Agung

Semarang, 27 Januari 2022

Yang Menyatakan



Dedi Pranatali

HALAMAN PERSEMBAHAN

Puji Syukur kepada Tuhan Yesus Kristus atas segala rahmat, berkat dan kasihNya yang telah memberikan kesabaran, kesehatan dan kekuatan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini walaupun sempat terpapar Covid-19.

Setelah mengucapkan syukur kepada Tuhan Yesus Kristus tak lupa mengucapkan terima kasih kepada Ibu, Bapak, Istri dan Anak-anak tercinta yang terus memberikan dukungan dan doa serta terus setia mendampingi.

Selain itu kami ucapkan terima kasih kepada rekan-rekan yang bersama-sama mengerjakan Tugas Akhir ini untuk saling mendukung dan semua pihak yang sudah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.



HALAMAN MOTTO

“Barangsiapa setia dalam perkara-perkara kecil, ia setia juga dalam perkara-perkara besar. Dan barangsiapa tidak benar dalam perkara-perkara kecil, ia tidak benar juga dalam perkara-perkara besar. (Lukas 16:10)”

“Tetapi carilah dahulu Kerajaan Allah dan kebenarannya, maka semuanya itu akan ditambahkan kepadamu. (Matius 6:33)”

“Karena itu, saudara-saudaraku yang kekasih, berdirilah teguh, jangan goyah, dan giatlah selalu dalam pekerjaan Tuhan! Sebab kamu tahu, bahwa dalam persekutuan dengan Tuhan jerih payahmu tidak sia-sia. (1 Korintus 15:58)”



KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus, atas berkat, rahmat dan kasihNya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Analisa Kelayakan Pentanahan Tower Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Jelok – Bringin Menggunakan Metode Komparasi” dengan baik.

Dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini penulis menyadari sepenuhnya, bahwa tanpa bantuan dari berbagai pihak maka akan sulit bagi saya dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini tepat pada waktunya. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucap terima kasih kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus yang terus memberikan berkat, rahmat dan kasihNya sehingga laporan ini dapat selesai.
2. Ibu, Bapak, Istri dan Anak-anak tercinta yang terus setia mendukung dan mendoakan selalu.
3. Ibu Dr. Ir. Novi Marlyana, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri.
4. Ibu Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T. selaku Ketua Prodi Teknik Elektro.
5. Bapak Muhammad Khosyiin, S.T., M.T. selaku Koordinator Tugas Akhir.
6. Bapak Gunawan, S.T., M.T. selaku Pembimbing Tugas Akhir Pertama atas arahan dan bimbingannya selama menyelesaikan Tugas Akhir.
7. Bapak Dedi Nugroho, S.T., M.T. selaku Pembimbing Tugas Akhir Kedua atas pendampingan dan bimbingannya selama menyelesaikan Tugas Akhir.
8. Bapak Achmad Raditya Utama, Bapak Eki Farlen, Ibu Devi Cahyaningrum, Ibu Yoranda Putri Ristanti, Bapak Rachman Yustian, Bapak Alvin Budi Kurniawan dan Bapak Angga Pradikta atas bimbingannya selama melaksanakan penelitian di PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Transmisi Salatiga.
9. Semua pihak yang dengan tulus ikhlas memberikan doa, motivasi dan dukungan selama ini.

Seperti sebuah peribahasa “tiada gading yang tak retak”, penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini, penulis mengharapkan saran dan kritik yang dapat membangun dan menyempurnakan Laporan Tugas Akhir ini. Demikian Laporan Tugas Akhir ini telah penulis buat, kiranya Laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan mahasiswa Unissula.

Semarang, 27 Januari 2022

Penulis



DAFTAR ISI

LAPORAN TUGAS AKHIR.....	i
<i>FINAL PROJECT</i>	ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	iv
SURAT PERNYATAAN.....	v
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH.....	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vii
HALAMAN MOTTO.....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
ABSTRAK.....	xvi
<i>ABSTRACT</i>	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH.....	4
1.3 PEMBATASAN MASALAH.....	4
1.4 TUJUAN PENELITIAN.....	5
1.5 MANFAAT PENELITIAN.....	5
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	7
2.1 TINJAUAN PUSTAKA.....	7

2.2	LANDASAN TEORI	9
2.2.1	Sistem Tenaga Listrik	9
2.2.2	Sistem Transmisi.....	10
2.2.3	Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT).....	11
2.2.4	Gangguan Yang Terjadi Pada SUTT 150kV	16
2.2.5	Proteksi Pada SUTT 150kV	20
2.2.6	Pentanahan Tower SUTT 150kV	20
2.3	SISTEM PENTANAHAN TOWER SUTT 150kV	27
BAB III METODE PENELITIAN.....		31
3.1	OBJEK PENELITIAN	31
3.2	ALAT-ALAT PENELITIAN	32
3.3	DATA-DATA PENELITIAN	33
3.3.1	Standar Pengukuran Yang Digunakan	33
3.3.2	Data Hasil Pengukuran.....	33
3.4	MODEL PENELITIAN	34
3.5	TAHAPAN PENELITIAN.....	34
3.6	<i>FLOWCHART</i>	35
BAB IV DATA DAN ANALISA.....		36
4.1	DATA PENGUKURAN	36
4.2	ANALISA DATA	38
4.3	PEMBAHASAN	40
4.3.1	Karakteristik Pengukuran Tahanan Pentanahan Tower SUTT 150kV Jelok – Bringin.....	40
4.3.2	Karakteristik Perbandingan Pengukuran Tahanan Pentanahan Tahun 2019 dengan 2020.....	45

4.3.3. Usulan dan Analisa Perbaikan Kelayakan Nilai Pentanahan.....	51
BAB V PENUTUP.....	54
5.1 KESIMPULAN	54
5.2 SARAN	54
DAFTAR PUSTAKA	56



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Nilai Tahanan Jenis Tanah Pada Jenis Tanah Yang Berbeda	25
Tabel 3.1. Standar Pengukuran Pentanahan Sesuai SK DIR PLN No. 0520-1.K/DIR/2014.....	33
Tabel 4.1. Hasil Pengukuran Nilai Tahanan Pentanahan Tower SUTT 150kV Jelok-Bringin Tahun 2019 sampai dengan 2020.....	36
Tabel 4.2. Nilai Tahanan Pentanahan Tower SUTT 150 kV Jelok – Bringin ditahun 2020 dengan Kriteria Kondisi Awas	42
Tabel 4.3. Nilai Tahanan Pentanahan Tower SUTT 150 kV Jelok–Bringin ditahun 2020 dengan Kriteria Kondisi Buruk	44



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Elemen Sistem Tenaga Listrik	9
Gambar 2.2. Tower Saluran Udara Tegangan Tinggi	11
Gambar 2.3. Isolator.....	14
Gambar 2.4. SUTT Dengan Dua Kawat Tanah	16
Gambar 2.5. Pentanahan/arde Tower SUTT 150 kV Secara Umum	22
Gambar 2.6. Pentanahan menggunakan Driven Ground.....	28
Gambar 2.7. Pentanahan menggunakan Counterpoise.....	29
Gambar 3.1. Peta Jalur SUTT 150kV Jelok - Bringin	31
Gambar 3.2. Tower T.015 SUTT 150 kV Penghantar Jelok – Bringin	32
Gambar 3.3. Earth Resistance Test Dengan Merk Kyoritsu	32
Gambar 3.4. Rangkaian Pengukuran Tahanan Pentanahan	34
Gambar 3.5. Diagram Alir Proses Penelitian.....	35
Gambar 4.1. Kondisi Kaki Tower D23 SUTT 150kV Jelok-Bringin	41
Gambar 4.2. Komparasi Hasil Pengukuran Gabungan / Paralel	45
Gambar 4.3. Komparasi Hasil Pengukuran Kaki Tower.....	46
Gambar 4.4. Komparasi Hasil Pengukuran Arde Kaki Tower A.....	46
Gambar 4.5. Komparasi Hasil Pengukuran Arde Kaki Tower B.....	47
Gambar 4.6. Komparasi Hasil Pengukuran Arde Kaki Tower C.....	47
Gambar 4.7. Komparasi Hasil Pengukuran Arde Kaki Tower D.....	48

ABSTRAK

Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Jelok – Bringin adalah salah satu penghantar di wilayah kerja PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Transmisi Salatiga, penghantar ini menghubungkan dua Sub Sistem Utama yaitu Sub Sistem Ungaran dengan Sub Sistem Pedan. Sesuai dengan Buku Petir PLN Tahun 2020 tercatat sebanyak 722 kejadian petir selama tahun 2019 pada penghantar tersebut.

Sebagai upaya mengurangi resiko akibat petir perlu memastikan sistem proteksi bekerja dengan baik. Obyek proteksi adalah tower SUTT 150kV dengan sistem pentanahan yang layak. Penelitian ini menelusur data menggunakan metode komparasi yaitu membandingkan antara hasil pengukuran di lapangan dengan nilai standar pengukuran yang digunakan. Informasi mengenai kelayakan perlu selalu terbaru yang didukung hasil pengukuran yang tepat dan akurat secara konsisten. Kondisi ground rod, kondisi tanah dan kondisi kontak antara ground rod dengan penghantar pentanahan merupakan variabel yang mempengaruhi hasil dari pengukuran pentanahan.

Penambahan sebuah elektoda batang dengan panjang 6 meter dapat memperbaiki nilai tahanan pentanahan sebesar 3,5287 Ohm yang berarti memenuhi persyaratan (<10 Ohm-standar SK DIR PLN No. 0520-1.K/DIR/2014). Dari hasil pengukuran 23 unit tower dari 24 unit tower atau 95,83% dari total tower, karakteristik hasil pengukurannya masih relatif dalam kondisi layak yaitu dibawah 10 Ohm.

Kata kunci: *pengukuran, pentanahan, saluran udara tegangan tinggi, akurat*

ABSTRACT

High-Voltage Air Line (SUTT) 150 kV Jelok – Bringin is one of the conductor in the work area of PT PLN (Persero) Transmission Unit of Salatiga, this transmission connects two Main Sub-Systems, they are the Ungaran Sub-System with the Pedan Sub-System. According to the PLN Lightning Book of 2020, there were 722 lightning incidents during 2019 on the trasmission.

In an effort to reduce the risk of lightning, it is necessary to ensure that the protection system works properly. The object of protection is securing the SUTT 150kV tower with a proper grounding system. This study traces the data using the comparative method, which is to compare the results of measurements in the field with the standard values of the measurements used. Information regarding eligibility needs to be kept up-to-date, supported by consistent and accurate measurement results. Ground rod conditions, ground conditions and contact conditions between the ground rod and the grounding conductor are variables that affect the results of the grounding measurement..

The addition of a rod electrode with a length of 6 meters can improve the value of the grounding resistance of 3.5287 Ohm which means it meets the requirements (<10 Ohms standard SK DIR PLN No. 0520-1.K/DIR/2014). From the measurement results of 23 tower units from 24 tower units or 95.83% of the total towers, the characteristics of the measurement results are still relatively in decent condition, which is below 10 Ohms.

Key words: *measurements, grounding, high-voltage air line, accurate*

BAB I PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Sistem tenaga listrik merupakan rangkaian instalasi tenaga listrik yang terdiri dari pusat pembangkit, saluran transmisi serta jaringan distribusi yang dioperasikan secara serentak dalam rangka penyediaan tenaga listrik. Sistem transmisi tenaga listrik mulai pembangkit tenaga listrik sampai dengan konsumen ialah sesuatu yang penting untuk dapat dipelajari. Mengingat transmisi tenaga listrik prosesnya melewati berbagai tahapan, yaitu dimulai dari pusat – pusat pembangkit tenaga listrik, setelah itu disalurkan melalui jaringan transmisi(SUTET/ SUTT) ke Gardu Induk(GI). Dari Gardu Induk(GI) tenaga listrik ditransmisikan ke jaringan distribusi primer(SUTM), serta melewati gardu distribusi dan didistribusikan ke jaringan distribusi sekunder(SUTR), kemudian tenaga listrik dialirkan ke konsumen. Dengan demikian sistem distribusi tenaga listrik berperan memberikan tenaga listrik kepada konsumen melewati jaringan tegangan rendah(SUTR), sebaliknya saluran transmisi dapat berperan untuk menyalurkan tenaga listrik tegangan tinggi ataupun ekstra tinggi ke pusat beban dalam daya yang besar ataupun konsumen besar (melewati jaringan distribusi).

Dalam perkembangannya terdapat beberapa jenis jaringan transmisi yang dapat digunakan untuk mentransmisikan energi listrik bertegangan tinggi. Ada yang berupa kabel bawah tanah (SKTM / *underground cable*), ada juga yang berupa kawat penghantar di udara. Saluran udara ini lebih banyak digunakan dibandingkan dengan saluran kabel tanah. Tidak di Indonesia saja, negara – negara maju juga masih jarang menggunakan saluran kabel tanah. Yang menjadi alasan utamanya adalah biaya pengembangan serta pemeliharaan saluran kabel tanah yang jauh lebih mahal. Kerumitan pembangunannya juga lebih rumit dibandingkan pembangunan saluran udara. Kontruksi menara transmisi ada bermacam – macam, untuk saat ini yang umumnya digunakan di Indonesia adalah tower tipe *lattice* dan tipe *steel pole*.

Sesuai riset dari T. S. Hutauruk(1991: 4), variabel maupun penyebab yang bisa menyebabkan gangguan pada saluran transmisi yaitu:

- Petir, didasarkan pada pengalaman didapat bila sambaran langsung petir bisa menimbulkan gangguan sistem transmisi tegangan tinggi.
- Burung maupun benda asing, burung maupun benda asing yang melayang serta menyentuh 2 kawat penghantar SUTT baik antar fasa ataupun fasa dengan *body* menara, hingga sanggup memungkinkan terjadinya loncatan bunga api listrik.
- Polusi (debu), debu ataupun kotoran yang melekat pada isolator bisa bersifat konduktif, sehingga bisa menjadi pemicu terbentuknya percikan listrik di isolator tersebut.
- Pepohonan, pepohonan atau tanaman yang ada di sekitar saluran transmisi dapat mengurangi jarak aman atau *clearance* (ROW). Jarak aman *clearance* (ROW) yang berkurang dapat menyebabkan terjadinya gangguan pada saluran transmisi.
- Isolator retak, jika terjadi retak pada isolator, secara mekanis pada saat terjadi sambaran petir maka akan terjadi kebocoran arus (*breakdown*) pada isolator.

Menurut buku Djiteng Marsudi (1990:v18), petir di pulau Jawa sering menyebabkan gangguan pada penghantar SUTT. Hal ini dikarenakan jumlah petir di Indonesia cukup banyak. Peristiwa ini dinyatakan dalam *Isokraunic Level* (IKL), angka yang menunjukkan jumlah hari guntur dalam setahun. Angka IKL yang terdapat di pulau Jawa berkisar antara 20 hingga 135.

Salah satu sistem pengamanan petir pada tower SUTT adalah sistem pentanahan atau *grounding system*. Pembumian terdiri dari hubungan suatu titik sirkit atau penghantar ke tanah dengan cara tertentu(PUIL, 200:11). Sedangkan sistem pentanahan atau yang biasa dikenal dengan pentanahan adalah sistem pengamanan bagi perangkat yang menggunakan energi listrik sebagai sumber tenaganya.

Sistem pentanahan memegang peranan yang sangat penting dalam sistem proteksi. Sistem pembumian dicapai dengan menempatkan batang elektroda pembumian dalam posisi arah tegak lurus, setelah itu batang elektroda pembumian ditanam di tanah. Sistem tahanan pentanahan yang terpasang di dalam tanah akan semakin berkurang kualitasnya seiring berjalannya waktu, sehingga arus yang mengalir melalui elektroda yang menuju ke sistem pentanahan akan menjadi kurang sempurna. Sistem yang *diarde* dengan baik adalah sistem dengan resistansi yang relatif rendah. Semakin rendah nilai resistansi pentanahan maka semakin baik kualitas nilai tahanan pentanahannya, karena arus gangguan akan lebih mudah ditransmisikan ke pentanahan melalui tempat yang hambatannya sekecil mungkin. Nilai standar yang digunakan adalah maksimum 10 Ohm yang dicapai saat menggunakan alat uji pentanahan, dan di daerah dengan tahanan tanah yang sangat tinggi, tahanan pentanahan total seluruh sistem dapat mencapai 10 Ohm(PUIL 2000:68).

Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150kV Jelok – Bringin merupakan bagian dari sistem pendistribusian tenaga listrik khususnya di Provinsi Jawa Tengah yang menghubungkan dua Sub Sistem Utama yaitu Sub Sistem Ungaran dengan Sub Sistem Pedan. Penghantar transmisi ini menghubungkan dua buah Gardu Induk yaitu GI 150kV Jelok yang juga merupakan *outlet* pembangkit PLTA Jelok dan PLTA Timo dengan GI 150kV Bringin. Menurut Buku Petir PLN Tahun 2020 tercatat pada tahun 2019 ada 722 kejadian sambaran petir di sepanjang jalur transmisi SUTT 150kV Jelok – Bringin. Hal ini menyebabkan perlunya suatu sistem pengaman dari gangguan yang diakibatkan dari sambaran petir. Sistem tersebut adalah sistem pentanahan tower. Untuk memastikan kelayakan nilai tahanan pentanahan tower perlu untuk dilakukan pengukuran nilai tahanan pentanahan dengan tepat dan akurat serta dilaksanakan secara konsisten. Dari hasil pengukuran tersebut akan didapatkan nilai yang menjadi acuan dimana nilai pentanahan pada tower tersebut masih layak atau tidak, sesuai dengan standar yang dipakai oleh PLN yaitu dibawah sampai dengan 10 Ohm selaku pemilik dan pengelola aset. Hasil pengukuran nilai pentanahan pada kaki tower tanpa *arde* di tahun 2020

pada jalur transmisi SUTT 150kV Jelok – Bringin sebesar 98,83% termasuk dalam kondisi layak karena hasil pengukurannya dibawah 10 Ohm dan 4,17% dalam kondisi kurang layak karena melebihi standar 10 Ohm yaitu 120 Ohm pada tower D23. Apabila ditemukan suatu anomali nilai pentanahan dapat segera dilakukan perbaikan pentanahan agar layak dan sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Sistem pentanahan sangat penting dalam perencanaan sistem kelistrikan. Perencanaan sistem pentanahan yang lengkap akan menjadi dasar pengembangan sistem tenaga listrik. Berdasarkan latar belakang masalah yang terjadi pada obyek penelitian maka ditentukan suatu perumusan masalah dalam Tugas Akhir ini yaitu:

- a. Mencari variabel dan parameter apa saja yang dapat mempengaruhi hasil dari nilai pengukuran pentanahan menggunakan metode komparasi.
- b. Apakah karakteristik hasil pengukuran nilai pentanahan menggunakan metode komparasi sudah menunjukkan nilai pentanahan yang layak?
- c. Usulan perbaikan nilai pentanahan yang seperti apa apabila ditemukan hasil pengukuran yang dianggap tidak layak?

1.3 PEMBATASAN MASALAH

Di dalam penulisan laporan tugas akhir ini, pembatasan permasalahan analisa pengukuran nilai tahanan pentanahan pada tower SUTT 150 kV Jelok – Bringin adalah pengambilan data dengan rentang waktu masa pengukuran tahun 2019 sampai dengan tahun 2020. Variabel yang digunakan adalah pengukuran pada kaki tower, masing-masing *ground rod* dan pengukurang secara paralel. Metode penelitian yang digunakan adalah metode komparasi yaitu membandingkan hasil pengukuran dengan standar yang digunakan.

1.4 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penulisan laporan Tugas Akhir ini antara lain:

- a. Mengidentifikasi kelayakan sistem pentanahan yang ada pada jalur tower SUTT 150 kV Jelok – Bringin.
- b. Merencanakan usulan perbaikan guna meningkatkan kelayakan pentanahan yang ada pada jalur tower SUTT 150 kV Jelok – Bringin.

1.5 MANFAAT PENELITIAN

Penelitian yang telah dilaksanakan ini kiranya dapat memberikan tambahan informasi mengenai hasil uji pengukuran nilai tahanan pentanahan tower SUTT 150kV Jelok – Bringin kepada pengelola dan pemilik aset yaitu PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Transmisi Salatiga.

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan penelitian dan manfaat penelitian serta tercantum sistematika dalam penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Bab ini memuat tentang sistem tenaga listrik, sistem transmisi, Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150kV beserta peralatan sistem transmisi (PST) tower dan asesorisnya, gangguan-gangguan yang terjadi pada SUTT 150kV, proteksi pada SUTT 150kV serta metode dan sistem pentanahan SUTT 150kV.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang obyek penelitian, alat-alat penelitian, data-data penelitian, metode penelitian, tahapan penelitian dan *flowchart*.

BAB IV DATA DAN ANALISA

Bab ini membahas mengenai pembahasan hasil penelitian, yaitu data-data hasil pengukuran pentanahan dan analisa hasil dari pengukuran pentanahan

penelitian yang diperoleh berupa perhitungan dan pengukuran yang divalidasi dengan standar.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi tentang saran dan kesimpulan dalam pengembangan penelitian ini.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 TINJAUAN PUSTAKA

Sistem pentanahan adalah sistem yang banyak dipakai dalam dunia ketenagalistrikan yang memiliki tujuan mengamankan peralatan listrik ataupun orang-orang yang berada dilokasi terjadinya gangguan. Guna mentransmisikan energi listrik mulai dari pusat pembangkit energi listrik ke pengguna energi listrik (konsumen) dibutuhkan suatu sistem energi listrik. Sistem transmisi tenaga listrik yaitu saluran transmisi, yang terdiri dari saluran udara tegangan ekstra tinggi(SUTET) 500kV, saluran udara tegangan tinggi(SUTT) 150kV dan saluran distribusi, terdiri dari jaringan tegangan menengah 20kV serta jaringan tegangan rendah 220V. Gangguan sering terjadi pada saluran transmisi, gangguan yang terjadi selain gangguan dari dalam yaitu pada peralatan itu sendiri, selain itu terdapat gangguan dari luar yaitu gangguan alam, salah satunya adalah gangguan karena sambaran petir pada saluran transmisi, penyebabnya yaitu kondisi saluran transmisi yang berhubungan langsung dengan lingkungan luar yaitu melalui udara, jarak yang panjang, tinggi tower dan tersebar pada berbagai daerah yang terbuka serta beroperasi dalam segala kondisi cuaca. Jika salah satu dari sistem transmisi terjadi gangguan maka akan berpengaruh kepada bagian yang lainnya, oleh sebab itu saluran transmisi Gardu Induk serta jaringan distribusi akan menjadi terganggu dan mengalami kerusakan. Sistem transmisi dan distribusi adalah suatu rangkaian yang wajib dikelola secara baik.

Guna mengurangi gangguan dibutuhkan pemasangan pentanahan kaki tower transmisi yaitu perlindungan kawat fasa dari sambaran petir yang mempergunakan kawat pentanahan (GSW/*ground steel wire*) yang dipasang di atas kawat fasa, maka sambaran petir yang menyentuh kawat pentanahan akan merambat melalui impedansi surja ke dalam tanah. Nilai tahanan pentanahan yang tinggi dapat mengakibatkan gelombang arus pantul yang dapat merambat ke puncak tower dan jika gelombang arus pantul tersebut lebih tinggi dari tegangan tembus isolator yang terdapat pada tower transmisi, sehingga arus

petir akan masuk ke kawat fasa dan dapat menyebabkan kerusakan peralatan. Maka dari itu dibutuhkan suatu sistem proteksi pentanahan yang sesuai standar, yang nilai pengukurannya di bawah 5 Ohm. (Nurcahyo Hajar Saputro, 2016).

Pengukuran nilai tahanan pentanahan yang dilaksanakan ini menggunakan alat ukur pentanahan atau *earth tester* digital dengan merk Kyoritsu tipe 4105A skala uji yang digunakan adalah 20 Ohm. Pengukuran nilai tahanan pentanahan pada tower SUTT 500kV Pedan – Ungaran sejumlah 174 tower menggunakan jenis elektroda batang ataupun bisa disebut *ground rod* sejumlah 4 buah elektroda yang tertanam secara paralel. Pelaksanaan pengukuran dilaksanakan dengan beberapa metode yaitu dengan metode pengukuran paralel/gabungan, pengukuran pada kaki a-b, dan pengukuran pada kaki c-d pada tower 500kV Pedan – Ungaran, namun dalam analisis ini data hasil pengukuran yang digunakan hanya hasil pengukuran tahanan pentanahan secara paralel/gabungan yaitu 4 buah elektroda batang ditanam secara paralel karena dalam hasil pengukuran nilai tahanan pentanahan dengan metode paralel/gabungan pengukuran dilakukan dengan menggunakan 4 buah elektroda yang terpasang secara paralel, maka dalam menghitung perhitungan nilai tahanan pentanahan total pengukuran nilai pentanahan tower yaitu pembagian antara 4 buah elektroda ataupun dapat dituliskan menggunakan rumus R paralel yaitu $1/R_p = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + 1/R_4 + \dots + 1/R_n$ Ohm. Diameter elektroda batang yang di pakai di tower sebesar 0,015 meter yang di ambil dari standar PUIL 2000 dan panjang elektroda yang tertanam dari 174 tower SUTET 500 kV Pedan-Ungaran sepanjang 3 meter. (Andre Farmada, 2016).

Besarnya nilai tahanan pentanahan pada tower SUTT 150kV umumnya semakin kecil maka akan semakin baik, tetapi ada batasan maksimal yang diijinkan PLN, selaku pemilik dan pengelola SUTT 150kV ialah sebesar 10 Ohm. Semakin kecil nilai tahanan pentanahan maka akan berguna dalam mempercepat aliran arus yang disebabkan beda potensial tegangan listrik yang cukup besar ke tanah apabila ada sambaran langsung petir pada kawat tanah, maka tidak akan menimbulkan bahaya pada saluran transmisi SUTT 150kV.

Umumnya kita ketahui, bahwa *ground rod* pentanahan pada tower tertanam di dalam tanah, sehingga menyebabkan keadaan dari *ground rod* tidak bisa diperiksa secara pengamatan visual, namun hanya hasil ukur dari nilai tahanan pentanahan saja yang dapat diketahui.

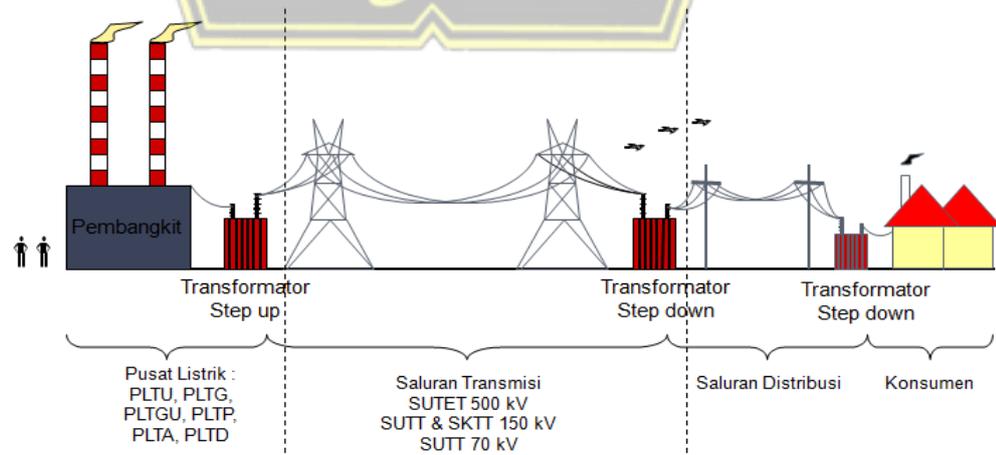
Berdasarkan hasil uji pengukuran, maka didapatkan hasil besarnya nilai dari tahanan pentanahan pada tower SUTT 150kV transmisi Ungaran–Krapyak sebagai salah satu bagian dari unit kerja PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Transmisi Semarang pada bulan Februari tahun 2007 mendekati keseluruhan masih dalam keadaan yang baik, meskipun terdapat ada beberapa tower yang mengalami kenaikan nilai tahanan pentanahan sampai melampaui batas yang diijinkan. (Margi Setiyono, 2007).

2.2 LANDASAN TEORI

2.2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik terdiri dari tiga bagian utama, yaitu pembangkitan tenaga listrik, penyaluran tenaga listrik dan pendistribusi tenaga listrik.

Sistem tenaga listrik disebut dengan sistem tenaga atau disebut dengan sistem kelistrikan. Penamaan suatu sistem tenaga biasanya menggunakan daerah cakupan yang mendapat energi listrik misalnya Sistem Jawa Madura Bali berarti sistem tenaga listrik yang mencakup Pulau Jawa, Madura dan



Gambar 2.1. Elemen Sistem Tenaga Listrik

Bali. Begitu juga sub sistemnya misalnya tower 150 kV Penghantar Jelok – Bringin yang menghubungkan antara Gardu Induk (GI) 150 kV Jelok dan Gardu Induk (GI) 150 kV Bringin. Elemen – elemen dasar sistem tenaga adalah pembangkit tenaga listrik, saluran transmisi, gardu induk transmisi, gardu induk distribusi dan jaringan distribusi.

2.2.2 Sistem Transmisi

a. Jaringan/Saluran Transmisi

Ada dua kategori saluran transmisi yang digunakan di Indonesia, adalah: saluran transmisi udara (*overhead lines*) serta saluran transmisi kabel tanah (*underground cable*). Saluran udara mengalirkan energi listrik melewati kawat telanjang yang digantung pada suatu tower atau tiang transmisi menggunakan perantara isolator, sedangkan kabel tanah mengalirkan energi listrik melewati kabel yang tertanam di bawah tanah.

b. Gardu Induk (GI)

Gardu Induk(GI) dipakai untuk mentransformasi energi listrik tegangan ekstra tinggi 500kV ke tegangan tinggi 150kV maupun dari tegangan tinggi 150kV ke tegangan menengah 20kV. Proses transformasi ini memanfaatkan transformator penurun tegangan(*step down*).

Tugas dari sistem transmisi yaitu mentransmisikan energi listrik ke dalam jumlah besar ke pusat beban maupun industri yang memakai energi listrik dalam kuantitas yang besar. Sebaliknya sistem distribusi merupakan sistem pendistribusian energi listrik mulai gardu induk sampai dengan pengguna energi listrik dengan kuantitas yang relatif lebih rendah dari sistem saluran transmisi.

Sistem transmisi digunakan guna mentransmisikan energi listrik dalam jumlah besar yaitu menggunakan sistem penyaluran transmisi arus AC/bolak-balik 3 fasa. Dalam suatu sistem transmisi yang melalui saluran udara, kawat konduktor digantung ditower atau menara. Sistem tegangan yang digunakan pada sistem transmisi ialah 30kV sampai dengan 700kV.

Umumnya tegangan pada sistem transmisi yang digunakan di negara Indonesia yaitu tegangan tinggi(TT) 150kV serta tegangan ekstra tinggi(TET) 500kV.

Dalam merancang suatu rencana penyaluran tenaga listrik, variabel yang wajib untuk diperhatikan adalah:

- Besar tegangan yang digunakan,
- Jenis kawat konduktor serta penampang kawat yang digunakan,
- Sistem proteksi/perlindungan dari berbagai gangguan,
- Keberlanjutan penyaluran tenaga listrik dan,
- Pembebasan lahan yang akan dilewati.

Akan tetapi, dari seluruh variabel tersebut, terdapat variabel yang sangat menentukan ialah faktor ekonomis.

2.2.3 Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)

Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) ialah suatu sarana yang ada di atas permukaan tanah guna mentransmisikan energi listrik mulai dari pusat pembangkit menuju Gardu Induk(GI) ataupun dari Gardu Induk ke Gardu Induk yang lainnya, yang mulai terdiri dari konduktor/kawat yang dibentangkan diantara menara/tower menggunakan isolator dengan memakai sistem tegangan tinggi (30kV, 70kV, dan 150kV). (PLN, 1981)



Gambar 2.2. Tower Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)

Bagian–bagian dari SUTT terbagi dari: tower/menara transmisi, isolator, konduktor/kawat penghantar, dan kawat tanah.

a. Tower ataupun Menara Transmisi

Tower ataupun menara transmisi yaitu sebuah bangunan yang menopang saluran transmisi. Tower sesuai bentuk dan konstruksinya terbagi menjadi empat jenis, yaitu: (PLN, 1981)

- Tower dengan konstruksi dari baja, dibuat dengan baja profil, tersusun sedemikian rupa hingga menjadi sebuah menara yang sudah dihitung kekuatannya serta disesuaikan dengan kebutuhan.
- Tower manesman, dibuat dari susunan pipa baja, yang mana ukuran panjang, diameter, serta ketebalan dari pipa baja yang akan digunakan disesuaikan sesuai kebutuhan atau sering disebut *steel pole*.
- Tower beton bertulang, yang dibuat dari bahan beton.
- Tower kayu yang dibuat menggunakan kayu ulin ataupun kayu besi tidak memerlukan pengawetan, sedang jenis kayu rasamala, kayu kruing, serta kayu damar laut, sebelum digunakan masih perlu dilakukan pengawetan supaya masa penggunaan tower kayu dapat lebih lama.

Selain itu tower sesuai kegunaannya, yaitu: (PLN, 1981)

- Tower penegang (*tension/aspan tower*), disamping menahan gaya berat selain itu juga menahan gaya tarik dari kawat penghantar SUTT.
- Tower penyangga (*suspension/draghtower*) digunakan untuk menyangga atau mendukung serta harus dapat menahan gaya berat dari peralatan tenaga listrik yang terdapat pada tower tersebut.

- Tower sudut (*angle tower*) adalah tower penegang yang memiliki fungsi menerima beban tarik yang diakibatkan dari perubahan arah sudut jaringan SUTT.
- Tower akhir (*dead end tower*) adalah tower penegang yang dibangun dengan sedemikian rupa sehingga dapat menahan beban tarik kawat penghantar dari arah *gantry*/satu arah saja. Tower akhir ini umumnya ditempatkan pada ujung saluran SUTT yang biasanya akan masuk ke dalam *gantry* Gardu Induk.
- Tower transposisi yaitu tower penegang yang berfungsi sebagai titik perubahan letak susunan fasa pada kawat konduktor SUTT.

Pemilihan tipe tower yang akan dipergunakan, terletak pada beberapa variabel, yaitu:

- Lokasi ataupun posisi suatu medan/lahan yang akan dilewati saluran
- Rencana anggaran biaya pembuatan tower
- Biaya pemeliharaan tower
- Bahan tower yang akan digunakan
- Perkiraan waktu penggunaan saluran

Tipe tower yang umum digunakan pada saluran transmisi 150kV ialah bangunan menara dari baja yang biasanya disebut tower *lattice*. Perihal ini disebabkan oleh jenis tower yang tidak memerlukan pengawasan, anggaran pemeliharaan yang rendah, serta tahan lama.

b. Isolator

Isolator yang dipakai pada penghantar SUTT terbuat dari bahan porselen atau gelas yang memiliki fungsi sebagai isolasi tegangan listrik diantara kawat penghantar dengan tower. Jenis isolator yang umumnya digunakan yaitu jenis isolator piring atau keping, yang dipergunakan sebagai isolator penegang serta isolator gantung, yang mana jumlah keping isolator menyesuaikan dengan tegangan sistem SUTT yang digunakan. Satu keping isolator digunakan sebagai isolasi sebesar 15kV, apabila tegangan yang

dipergunakan adalah 150kV, maka total jumlah keping isolatornya ialah 10 keping atau umumnya 11 keping tiap renceng atau *string*.



Gambar 2.3. Isolator

c. Konduktor atau Kawat Penghantar

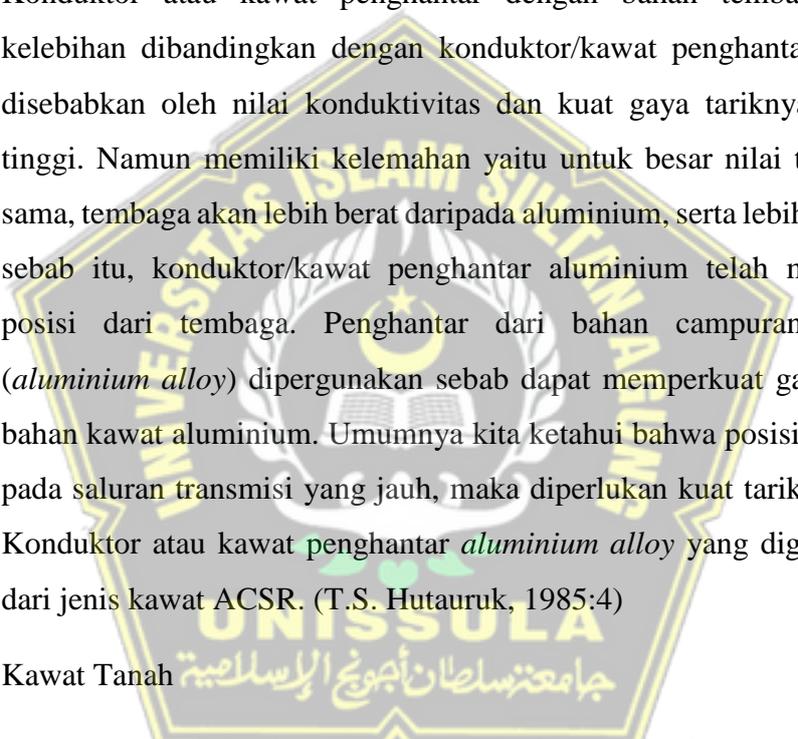
Konduktor atau kawat penghantar berguna dalam menghantarkan arus energi listrik dari satu tempat ke tempat yang lainnya. (PLN, 1981)

Macam konduktor/kawat penghantar yang umum dipergunakan dalam saluran transmisi ialah tembaga dengan nilai konduktivitas 100% (CU 100%), tembaga dengan nilai konduktivitas 97,5% (CU 97,5%) maupun aluminium dengan nilai konduktivitas 61% (Al 61%). Konduktor atau kawat penghantar aluminium ada bermacam-macam jenis dengan istilah sebagai berikut:

- AAC="All-Aluminium Conductor", ialah konduktor/kawat penghantar yang seluruhnya dibuat dengan bahan aluminium.
- AAAC="All-Aluminium-Alloy Conductor", ialah konduktor/kawat penghantar yang sepenuhnya dibuat dari bahan campuran aluminium.
- ACSR="Aluminium Conductor, Steel-Reinforced", ialah konduktor/kawat penghantar aluminium dengan inti kawat baja.

- ACAR="Aluminium Conductor, Alloy-Reinforced", ialah konduktor/kawat penghantar aluminium yang telah diperkuat dengan bahan logam campuran.
- ACCC = "Aluminium Conductor Composite Core", ialah konduktor/kawat penghantar aluminium yang terdiri dari karbon hibrida dan inti serat kaca yang dibungkus dengan helai aluminium trapesium.

Konduktor atau kawat penghantar dengan bahan tembaga memiliki kelebihan dibandingkan dengan konduktor/kawat penghantar aluminium disebabkan oleh nilai konduktivitas dan kuat gaya tariknya yang lebih tinggi. Namun memiliki kelemahan yaitu untuk besar nilai tahanan yang sama, tembaga akan lebih berat daripada aluminium, serta lebih mahal. Oleh sebab itu, konduktor/kawat penghantar aluminium telah menggantikan posisi dari tembaga. Penghantar dari bahan campuran aluminium (*aluminium alloy*) dipergunakan sebab dapat memperkuat gaya tarik dari bahan kawat aluminium. Umumnya kita ketahui bahwa posisi antara tower pada saluran transmisi yang jauh, maka diperlukan kuat tarik yang tinggi. Konduktor atau kawat penghantar *aluminium alloy* yang digunakan ialah dari jenis kawat ACSR. (T.S. Hutaaruk, 1985:4)

d. Kawat Tanah 

Kawat tanah atau biasa disebut *ground wires* berfungsi sebagai kawat pelindung, yang berguna dalam mengamankan konduktor atau kawat penghantar atau kawat fasa dari sambaran petir. Sehingga kawat tersebut umumnya terpasang pada bagian atas kawat fasa. Pada umumnya kawat tanah menggunakan kawat dari baja (*steel wires*) yang harganya lebih murah, namun tidak jarang juga menggunakan kawat jenis ACSR. (T.S. Hutaaruk, 1985: 4)

Dalam saluran SUTT, total kawat tanah yang dipergunakan ada yang memakai satu buah kawat tanah serta ada pula yang memakai dua buah

kawat tanah. Untuk memenuhi kegunaan kawat tanah sebagai pelindung dari sambaran langsung atau petir (*direct stroke*), kawat pentanahan tersebut wajib sesuai dengan beberapa syarat yaitu:

- Diharuskan terpasang cukup tinggi sesuai ketentuan di atas konduktor fasa serta bisa menangkap(*intercept*) sambaran petir.
- Diwajibkan memiliki jarak aman atau *clearance* yang sesuai terhadap konduktor di tengah andongan atau bentangan.
- Nilai tahanan pentanahan kaki tower diwajibkan memiliki nilai yang rendah sehingga dapat mengurangi potensi terjadinya gangguan akibat sambaran langsung atau petir.



Gambar 2.4. SUTT Dengan Dua Kawat Tanah

2.2.4 Gangguan Yang Terjadi Pada SUTT 150kV

a. Definisi Gangguan

Menurut pendapat Djiteng Marsudi (1990:v-18), suatu gangguan dapat dijelaskan sebagai suatu kejadian yang dapat menyebabkan bekerjanya relay serta menjatuhkan pemutus tenaga/*circuit breaker* (PMT) di luar dari kehendak operator, sehingga dapat menimbulkan putusnya aliran daya listrik yang melewati PMT tersebut.

Bagian SUTT yang sering kali terpapar gangguan adalah konduktor atau kawat penghantar (70% sampai dengan 80% dari keseluruhan gangguan). Kejadian ini disebabkan karena luas serta panjang konduktor/kawat transmisi yang membentang dan beroperasi pada keadaan udara yang berbeda – beda. (T.S. Hutaeruk, 1985:3)

Dilihat dari sifatnya, terjadinya gangguan pada penghantar SUTT 150kV terbagi dari gangguan yang sifatnya temporari ataupun sifatnya permanen. (PLN: Pusdiklat)

- Gangguan yang sifatnya temporari adalah gangguan yang terjadi dengan singkat serta bisa menghilang dengan sendirinya. Penyebab gangguan ini umumnya disebabkan oleh petir, benda asing, burung, bahkan dahan pepohonan yang terbang dan menyentuh kawat fasa SUTT dalam waktu yang singkat dapat menimbulkan terjadinya lompatan bunga api yang menyebabkan terjadinya hubung singkat.
- Gangguan dengan sifat permanen adalah gangguan yang terjadi dalam waktu yang lama serta tidak bisa menghilang dengan sendirinya. Gangguan ini baru dapat diatasi setelah sumber gangguannya dihilangkan. Gangguan ini dapat dikarenakan oleh rusaknya peralatan, hingga gangguan ini baru dapat dihilangkan setelah kerusakan diperbaiki atau karena ada suatu hal yang mengganggu sistem secara permanen, contohnya kawat yang putus ataupun adanya dahan yang terkena kawat fasa SUTT. Kejadian gangguan temporari yang berulang kali bisa menimbulkan kerusakan pada peralatan yang akhirnya dapat mengakibatkan gangguan yang sifatnya permanen.

b. Penyebab Terjadinya Gangguan Pada SUTT 150kV

Sesuai dengan penelitian T.S. Hutaeruk (1991:4), variabel yang bisa menimbulkan terjadinya suatu gangguan pada SUTT yaitu:

- Petir, didasarkan pada pengalaman didapat bila sambaran langsung petir bisa menimbulkan gangguan sistem transmisi tegangan tinggi.
- Burung maupun benda asing, burung maupun benda asing yang melayang serta menyentuh 2 kawat penghantar SUTT baik antar fasa ataupun fasa dengan *body* menara, hingga sanggup menyebabkan terjadinya lompatan bunga api listrik.
- Polusi (debu), debu ataupun kotoran yang melekat pada isolator dapat bersifat konduktif, kemudian dapat menjadi pemicu terbentuknya percikan listrik di isolator tersebut.
- Pepohonan, pepohonan atau tanaman yang ada di sekitar saluran transmisi dapat mengurangi jarak aman atau *clearance* (ROW). Jarak aman *clearance* (ROW) yang berkurang dapat menyebabkan terjadinya gangguan pada saluran transmisi.
- Isolator retak, jika terjadi retak pada isolator, secara mekanis pada saat terjadi sambaran petir maka akan terjadi kebocoran arus (*breakdown*) pada isolator.

Dilihat melalui sumbernya, sebab gangguan yang dapat terjadi dibagi menjadi:

- Gangguan yang terjadi dari dalam, yaitu gangguan yang disebabkan karena adanya anomali pada peralatan transmisi tersebut.
- Gangguan yang terjadi dari luar, yaitu gangguan yang disebabkan karena benda maupun makhluk ataupun alam yang menyebabkan gangguan pada peralatan transmisi.

Dilihat dari jenis gangguannya, sebab gangguan dapat dibagi menjadi:

- Gangguan karena hubung singkat antar fasa.
- Gangguan karena hubung singkat antara fasa dengan tanah.
- Terjadinya putus pada rangkaian transmisi.
- Menurunnya nilai dari tahanan isolasi.

Sesuai dengan buku Djiteng Marsudi (1990:v-18), petir menjadi penyebab gangguan yang sering pada SUTT. Hal itu terjadi karena jumlah petir yang terjadi di Indonesia termasuk tinggi. Kejadian tersebut umumnya dinyatakan dalam *Isokraunic Level* (IKL), ialah angka yang menunjukkan total hari guruh dalam satu tahun. Nilai IKL di pulau Jawa ada diantara 20 sampai 135.

Faktor yang berpengaruh dalam kuantitas gangguan yang disebabkan oleh petir ialah:

- *Isokraunic Level* (IKL)
- Konfigurasi dari kawat tanah
- Konstruksi tower
- Nilai pengukuran tahanan pentanahan
- Andongan penghantar

Sambaran petir pada jaringan SUTT dapat menyebabkan terjadinya gelombang berjalan yang dapat merambat ke segala arah serta menghasilkan juga gelombang pantul yang berinterferensi antara satu dengan yang lainnya. Gelombang yang berjalan ini beserta hasil interferensi dengan pantulannya, bila telah mencapai nilai yang lebih besar dari nilai isolasi dasar (*Basic Isulation Level-BIL*) dari peralatan SUTT ataupun peralatan lainnya yang dihubungkan secara langsung dengan SUTT, maka bisa mengakibatkan loncatan bunga api listrik yang dapat tersangkut pada permukaan (*flashover*) peralatan tersebut. Yang memungkinkan dapat menyebabkan gangguan serta kerusakan pada peralatan, utamanya *flashover* tidak berhenti setelah tegangan kembali mencapai tegangan nominal dari SUTT.

Kawat tanah pada SUTT 150kV juga bisa tersambar oleh petir dan apabila nilai pengukuran tahanan pentanahan kaki tower tinggi maka bisa terjadi *flashover* pada isolator yang bisa merusak isolator tersebut dan mengenai kawat fasa.

2.2.5 Proteksi Pada SUTT 150kV

Proteksi yang digunakan pada SUTT 150kV adalah menggunakan relay – relay yang berfungsi untuk: (PLN : Pusdiklat)

- Mengamankan peralatan terhadap kerusakan akibat gangguan.
- Melokalisir gangguan sehingga pemadaman bagi konsumen diusahakan sekecil dan sesingkat mungkin.
- Mencegah runtuhnya sistem, sehingga pemadaman total dapat dihindari.

Macam – macam relay pada SUTT 150 kV adalah: (PLN: Pusdiklat)

a. Relay untuk mengatasi gangguan:

- Relay jarak (*distance relay*), berguna untuk melindungi SUTT dari gangguan antar fasa ataupun gangguan hubung tanah. Relay ini dilengkapi dengan penunjuk tempat terjadinya gangguan.
- Relay arus lebih (*over current relay*), berfungsi untuk memproteksi SUTT terhadap gangguan antar fasa maupun gangguan hubung tanah.
- Relay gangguan tanah (*ground fault relay*), berguna untuk melindungi SUTT dari gangguan hubung tanah.
- Relay tegangan lebih (*over voltage relay*), berguna untuk melindungi SUTT dari tegangan lebih.

b. Relay untuk keandalan sistem:

- Relay penutup balik (*recloser*), berguna untuk menormalkan kembali SUTT akibat terjadinya gangguan hubung singkat yang temporer.
- Relay frekuensi kurang (*under frequency*), berguna untuk melepas SUTT apabila terjadi penurunan frekuensi sistem.

2.2.6 Pentanahan Tower SUTT 150kV

Untuk mengurangi terjadinya tegangan sentuh maupun tegangan lebih yang diakibatkan oleh sambaran langsung petir pada bangunan tower SUTT yang

tidak bertegangan, maka dipasang beberapa batang pentanahan (*ground rod*) yang terhubung antara satu dengan lain menggunakan kawat/plat dari tembaga serta terhubung dengan tower dari dua arah yang berhadapan arah. Nilai pengukuran tahanan pentanahan pada masing – masing tower ialah maksimum 10 Ohm. (PLN,1997)

Sesuai dengan penelitian dari A.S. Pabla (1994:154), agar pentanahan dapat bekerja efektif, harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- Membuat jalur impedansi yang rendah ke tanah dan menggunakan rangkaian efektif.
- Dapat melawan serta menyebarkan gangguan yang berulang.
- Menggunakan bahan yang tahan terhadap korosi dan berbagai kondisi kimiawi tanah, hal ini untuk meyakinkan kondisi fungsi dari peralatan sepanjang umur digunakan.
- Digunakan sistem mekanik yang cukup kuat tetapi mudah di dalam pemeliharaan.

Lima macam bagian dari sistem pentanahan tower SUTT 150kV, yaitu:(PLN: Pusdiklat)

- Elektroda pentanahan (*grounding electrode*), yaitu logam yang bebrbentuk pipa/plat yang terbuat dari tembaga, pipa dari bahan galvanis, maupun material berjenis sama yang tertanam di bawah tanah (baiknya sampai mencapai air tanah).

- Rel pentanahan (*ground bus*), adalah suatu rel transmisi pentanahan yang mana elektroda terhubung, hingga seluruh elektroda dapat menjadi satu. Rel transmisi pentanahan dapat dibentuk menyerupai jaring atau jala-jala. Rel pentanahan ini hanya dapat dipergunakan ditempat yang cukup sulit guna memperoleh nilai tahanan pentanahan yang baik setelah digunakan *ground rod*. Bahan baku untuk membuat *ground bus* ialah jenis kawat dari tembaga ataupun kawat dari baja GSW(*ground steel wires*).



Gambar 2.5. Pentanahan/arde Tower SUTT 150 kV Pada Umumnya

- Penghantar pentanahan (*grounding conductor*), adalah kawat yang menghubungkan antara *ground rod* dengan *ground bus* ataupun kaki tower SUTT. Bahan baku *grounding conductor* ialah mempergunakan kawat dari tembaga ataupun kawat dari baja GSW (*ground steel wires*).
- Klem pentanahan, yaitu klem yang dibuat dari plat untuk koneksi antara *ground rod* dan *grounding conductor* maupun *ground bus*. Plat dengan bahan bimetal digunakan sebagai bahan baku pembuatan klem pentanahan, yaitu lapisan tembaga yang digunakan untuk melapisi baja.

- Baut, dipergunakan untuk mengencangkan kontak diantara *grounding conductor* dan kaki tower. Ukuran baut yang umumnya digunakan yaitu nomor 16, 17, 19, ataupun 21.

Macam serta bentuk elektroda pentanahan dapat berupa:

- Elektroda pita/strip, yaitu elektroda yang terbuat dari penghantar berbentuk pita ataupun berpenampang bulat, maupun penghantar pilin yang pada umumnya ditanam secara dangkal. Elektroda tersebut bisa ditanam sebagai pita lurus, jala – jala, melingkar, radial, maupun kombinasi dari beberapa bentuk tersebut.
- Elektroda batang, ialah elektroda yang terbuat dari pipa besi, baja profil, ataupun batang logam lainnya yang ditancapkan ke dalam tanah. Elektroda berbentuk batang ini umumnya dikenal dengan sebutan batang pentanahan (*ground rod*).
- Elektroda pelat, yaitu elektroda yang dibuat dari bahan baku logam utuh ataupun berlubang. Biasanya elektroda pelat ini tertanam lebih dalam.

Variabel yang dapat berpengaruh pada nilai tahanan pentanahan pada tower SUTT 150kV dengan memakai *ground rod* ialah sesuai dengan rumus persamaan guna menghitung nilai tahanan pentanahan sesuai dengan T.S. Hutaaruk (1991:157) yaitu:

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

(2.1)

Di mana:

- R : tahanan pentanahan dalam ohm (Ω),
- ρ : tahanan jenis tanah dalam ohm-meter (Ωm),
- L : panjang elektroda pentanahan dalam meter (m),
- d : jari – jari batang electrode pentanahan dalam meter (m),

- \ln : logaritma (dasar $e = 2.7182818$).

Berdasarkan pada persamaan di atas, tahanan tower SUTT 150kV tergantung dari:

- Tahanan jenis tanah, nilai tahanan pentanahan banyak bergantung dari tahanan jenis tanah adalah tahanan pentanahan yang berbanding lurus dengan nilai tahanan jenis tanah. Tahanan jenis tanah bervariasi antara 10 sampai dengan 10.000 Ohm per- m^3 , kadang – kadang nilai ini dinyatakan dalam satuan Ohm-m. Nilai Ohm-m merepresentasikan nilai tahanan di antara dua permukaan yang berlawanan dari suatu volume tanah yang berisi 1 m^3 .

Faktor yang menentukan besarnya nilai tahanan jenis tanah yaitu:

1. Jenis tanah, nilai tahanan jenis tanah sangat dipengaruhi oleh jenis tanah. Dalam kenyataannya kesulitan yang umum ditemui dalam melaksanakan pengukuran nilai tahanan jenis tanah ialah di lapangan ditemukan komposisi tanah yang tidak selalu homogen pada seluruh bagian tanah, namun terdapat variasi baik secara vertikal ataupun horizontal, hingga dalam lapisan tertentu bisa jadi terdapat dua bahkan lebih jenis tanah dengan nilai tahanan jenis tanah yang berbeda-beda. Guna mendapatkan nilai yang sesungguhnya dari nilai tahanan jenis tanah, maka seharusnya dilaksanakan pengukuran secara langsung ditempat dengan memperbanyak posisi titik area pengukuran. Besarnya nilai tahanan jenis tanah berdasarkan jenis tanah yang dapat dilihat dalam tabel 2.1.

Tabel 2.1. Nilai Tahanan Jenis Tanah Pada Jenis Tanah Yang Berbeda

No.	Jenis Tanah	Tahanan Jenis (Ohm-m)
1.	Tanah rawa	10 s.d. 40
2.	Tanah liat 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 dan tawar	10 s.d. 100

2. Susunan ataupun komposisi dari kimia tanah, susunan tanah yang diartikan ialah bisa berlapis-lapis dengan memiliki komposisi kimia tanah yang berbeda pula. Perbandingan pada susunan tanah dapat menyebabkan besar nilai tahanan jenis menjadi berbeda. Kerap dilakukan beberapa percobaan guna merubah komposisi kimia dari tanah menggunakan cara menambahkan garam di tanah disekitar *ground rod* yang bertujuan untuk mendapatkan nilai tahanan jenis tanah yang kecil. Metode ini baik digunakan hanya dalam sementara waktu, karena proses penggaraman ini harus dilaksanakan secara berkala, paling tidak setiap enam bulan sekali.
3. Iklim serta kelembapan tanah, nilai tahanan jenis tanah bisa berubah bergantung pada kondisi iklim atau cuaca, sebab ada kaitannya dengan kandungan air (kelembaban) di dalam tanah. Makin banyak kandungan air di dalam tanah, maka tanah tersebut akan menjadi lembab serta memiliki nilai tahanan jenis yang baik. Guna mereduksi variasi nilai tahanan jenis yang diakibatkan oleh pengaruh dari iklim, pentanahan dapat dilaksanakan dengan menanam *ground rod* sampai dengan mencapai kedalaman dimana terdapat air tanah yang konstan.

4. Temperatur tanah yang ada pada sekitar *ground rod* bisa mempengaruhi besar nilai tahanan jenis tanah. Jika temperatur di dalam tanah yang kecil, bahkan mendekati di bawah 0°C, maka air di dalam tanah akan membeku serta molekul air di dalam tanah akan kesulitan untuk bergerak sehingga kapasitas hantar listrik di dalam tanah akan sangat rendah. Apabila suhu tanah mengalami kenaikan, air akan berubah ke fase cair, molekul serta ion bebas akan bergerak sehingga kuat hantar listrik tanah akan menjadi tinggi serta tahanan jenis tanah akan menurun.
- Panjang *ground rod*, nilai tahanan pentanahan pada tower SUTT 150kV bisa dikurangi dengan cara menambah panjang *ground rod*. Tetapi hubungan ini tidak langsung akan dapat mencapai satu titik di mana penambahan panjang *ground rod* hanya akan dapat mengurangi tahanan pentanahan dalam jumlah yang kecil, dalam hal ini *ground rod* paralel dipergunakan. Penggunaan *ground rod* paralel pada persamaan 2.1 masih dapat digunakan untuk menghitung nilai tahanan pentanahan tower, apabila variabel d diubah menjadi variabel A dan jari – jari tiap *ground rod* sama. Maka harga A ialah kelipatan *ground rod* yang bergantung pada penempatan masing – masing *ground rod* sebagai berikut:

Penempatan:

2 *ground rod* diletakkan di mana saja

$$A = \sqrt{ar} \quad (2.2)$$

3 *ground rod* diletakkan membentuk segitiga

$$A = \sqrt[3]{a^2r} \quad (2.3)$$

4 *ground rod* diletakkan membentuk segiempat

$$A = \sqrt[4]{2} \frac{1}{2} a^2 r \quad (2.4)$$

Di mana:

- ✓ r : jari-jari dari masing-masing *ground rod* (harus sama),
- ✓ a : jarak antara *ground rod*
- Diameter *ground rod*, berdasar rumus persamaan 2.1, makin besar ukuran diameter *ground rod*, maka akan makin besar pula nilai tahanan pentanahannya. Perihal ini dikarenakan oleh luas kontak antara *ground rod* dan tanah sekitar menjadi besar. Apabila diameter *ground rod* terlalu besar, maka dapat menimbulkan suatu masalah di dalam pemasangannya. Metode untuk memperkecil nilai tahanan pentanahan dengan cara penambahan diameter *ground rod* ini sudah mulai ditinggalkan.

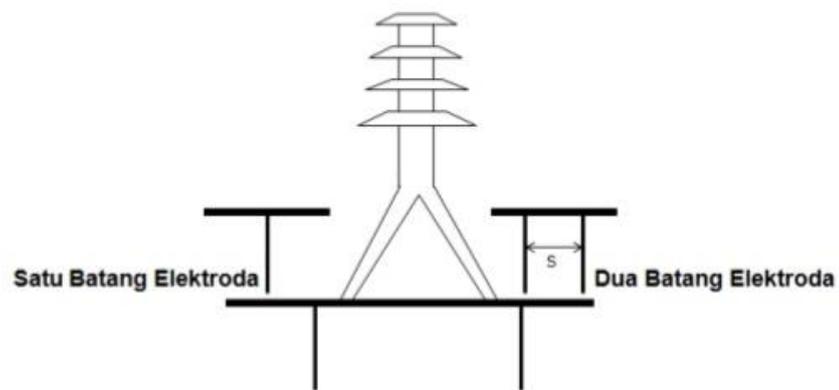
Usaha yang sudah dilaksanakan oleh PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Transmisi Salatiga untuk dapat memperbaiki nilai pentanahan ialah:

- Penambahan jumlah *arde* baru, pada kaki yang lain namun tetap lawan arah.
- Penambahan jumlah *arde* baru serta dihubungkan secara paralel dengan *arde* yang lama.

2.3 SISTEM PENTANAHAN TOWER SUTT 150kV

a. Pentanahan Dengan Elektroda Tancap (*Driven Ground*)

Apabila menggunakan batang pengetanahan, maka nilai tahanan kaki tower dihitung menggunakan rumus persamaan 2.1.

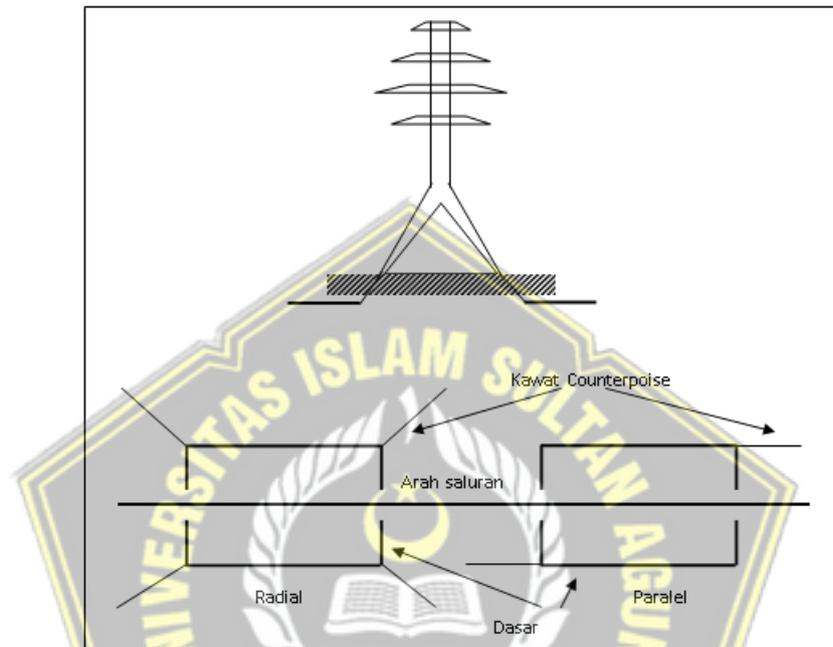


Gambar 2.6. Pentanahan menggunakan *Driven Ground*

Sesuai dengan persamaan di atas, nilai tahanan kaki tower akan mengecil dengan cara menambah ukuran panjang batang pentanahan. Namun hubungan ini tidak langsung serta akan mencapai suatu titik dimana penambahan ukuran panjang batang pentanahan hanya akan mengurangi tahanan kaki menara sedikit. Dalam perihal ini batang pentanahan (*ground rod*) paralel digunakan. Perihal ini dipergunakannya batang pentanahan paralel, rumus di atas tetap bisa digunakan guna menghitung tahanan kaki menara, bila variable “d” diubah menjadi “A”. Nilai A ialah kelipatan dari jumlah batang pentanahan yang bergantung dari penempatan masing-masing batang pentanahan sebagai berikut sesuai dengan persamaan 2.2, 2.3 dan 2.4. Kelebihan dari metode ini adalah pemasangannya sederhana, mudah dan efektif namun kekurangannya yaitu dimana nilai tahanannya rendah.

b. Pentanahan Dengan *Counterpoise*

Pentanahan dengan *counterpoise* adalah pentanahan yang dilakukan dengan cara menanam kawat elektroda sejajar atau radial beberapa cm di bawah tanah (30 s.d. 90 cm). (PLN,1997)



Gambar 2.7. Pentanahan menggunakan *Counterpoise*

Digunakan pada daerah dengan susunan tanah keras serta bebatuan maupun daerah dengan nilai tahanan jenis tanah yang tinggi.

Menurut buku T.S. Hutauruk, nilai tahanan pentanahan tower menggunakan cara ini bisa dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$R = \sqrt{r \cdot \rho \cdot \text{Coth}} \cdot (\sqrt{r/\rho})$$

(2.5)

Di mana:

- R : nilai tahanan pentanahan tower, Ohm (Ω),
- r : tahanan kawat, Ohm/meter (Ω/m),
- ρ : tahanan jenis tanah, Ohm-meter (Ωm),
- L : Panjang kawat, meter (m).

Maksud dari desain *counterpoise* ialah mencapai nilai tahanan yang tepat dari *counterpoise* sebelum tegangan di puncak tower mencapai pada tingkat lompatan bunga api listrik dari isolator. Panjang minimal dari metode *counterpoise*, bisa dihitung menggunakan rumus:

$$L = \sqrt{r/\rho} \cdot \text{Coth}^{-1} \cdot (R/\sqrt{r \cdot \rho}) \quad (2.6)$$

Jika *counterpoise* terlalu panjang, dua ataupun lebih kawat bisa digunakan di dalam *counterpoise*, sampai dengan nilai tahanan pentanahan 10 Ohm atau yang diinginkan didapatkan.

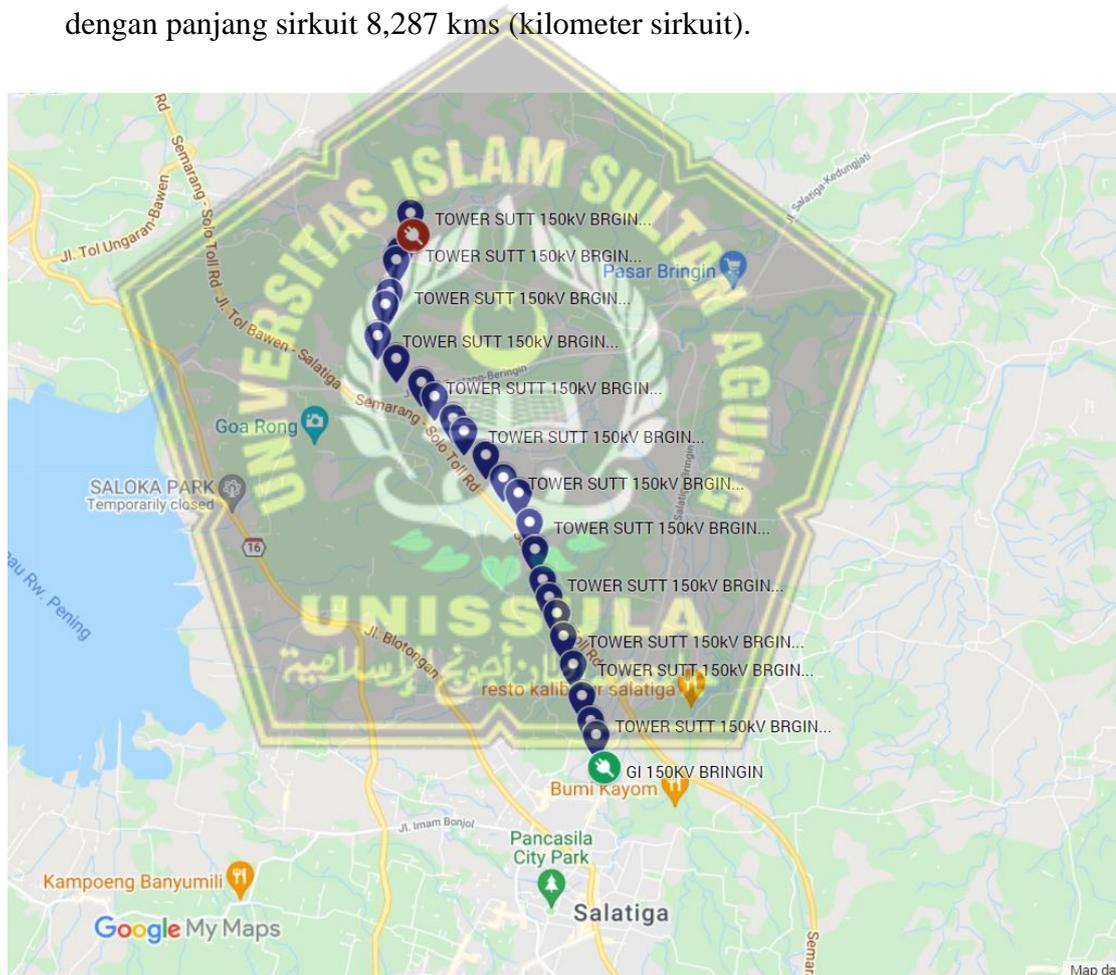
Kelebihan dari metode ini adalah dapat digunakan pada daerah dengan nilai tahanan tanahnya yang tinggi dan dapat memperbaiki nilai tahanan pentanahan yang buruk.



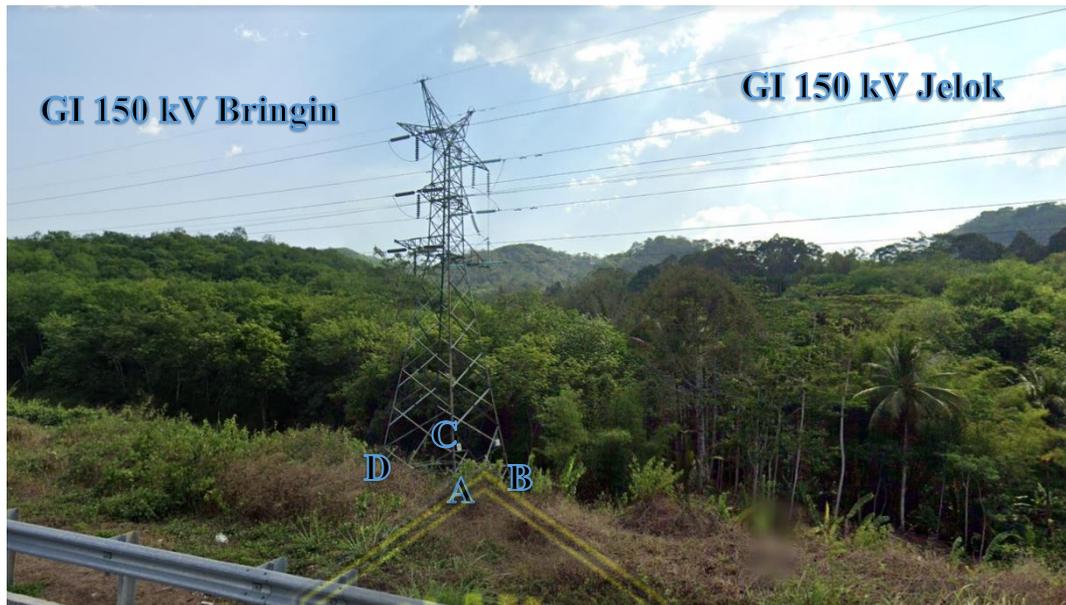
BAB III METODE PENELITIAN

3.1 OBYEK PENELITIAN

Dalam penyelesaian tugas akhir ini, penulis mengambil obyek penelitian pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150kV Jelok – Bringin yang menghubungkan GI 150kV Jelok dengan GI 150kV Bringin yang berada di wilayah kerja PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Transmisi Salatiga yang berkedudukan di Jl. Diponegoro No. 149, Kota Salatiga. Untuk jumlah tower pada penghantar SUTT 150kV Jelok – Bringin berjumlah 24 buah tower dengan panjang sirkuit 8,287 kms (kilometer sirkuit).



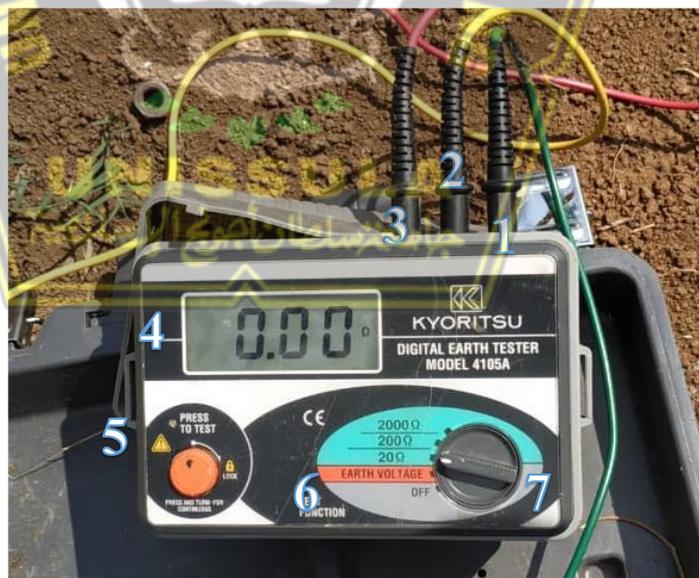
Gambar 3.1. Peta Jalur SUTT 150kV Jelok – Bringin



Gambar 3.2. Tower T.015 SUTT 150 kV Penghantar Jelok – Bringin

3.2 ALAT-ALAT PENELITIAN

Peralatan yang digunakan yaitu *Earth Resistance Test* dengan merk Kyoritsu model 4105A.



Gambar 3.3. Earth Resistance Test Dengan Merk Kyoritsu

Keterangan:

Bagian-bagian pada alat ukur:

1. Terminal E untuk kaki tower atau *arde* yang akan diukur

2. Terminal P untuk elektroda bantu 1
3. Terminal C untuk elektroda bantu 2
4. LCD Display
5. Lampu Indikasi
6. Push-button
7. Penunjuk besarnya hambatan (R) pentanahan

3.3 DATA-DATA PENELITIAN

3.3.1 Standar Pengukuran Yang Digunakan

Standar pengukuran yang digunakan adalah menggunakan standar yang digunakan PLN, yaitu sesuai dengan SK DIR PLN No. 0520-1.K/DIR/2014.

Tabel 3.1. Standar Pengukuran Pentanahan Sesuai SK DIR PLN No. 0520-1.K/DIR/2014

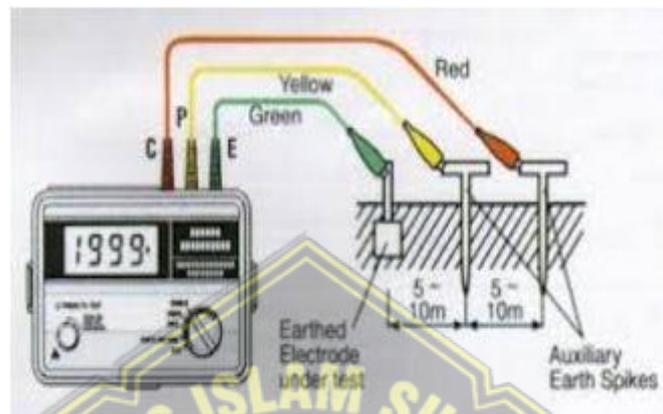
Peralatan Yang Diperiksa	Tegangan Operasi	Standar
Pentanahan (<i>Grounding</i>)	70 kV	≤ 5 Ohm
Pentanahan (<i>Grounding</i>)	150 kV	≤ 10 Ohm
Pentanahan (<i>Grounding</i>)	275 kV / 500 kV	≤ 15 Ohm

3.3.2 Data Hasil Pengukuran

Data-data hasil pengukuran tahanan pentanahan yang diperoleh dari hasil pengukuran pentanahan yang telah dilaksanakan oleh PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Transmisi Salatiga.

3.4 MODEL PENELITIAN

Permodelan penelitian yang dilaksanakan adalah dengan melakukan analisa terhadap data hasil pengukuran tahanan pentanahan tower untuk mendapatkan hasil penelitian.



Gambar 3.4. Rangkaian Pengukuran Tahanan Pentanahan

Sesuai dengan gambar 3.4. dalam pengambilan data penelitian ada beberapa metode pengukuran yang digunakan yaitu pengukuran pada kaki tower, pengukuran pada masing-masing *arde* kaki tower dan pengukuran secara paralel antara kaki tower dengan *arde*.

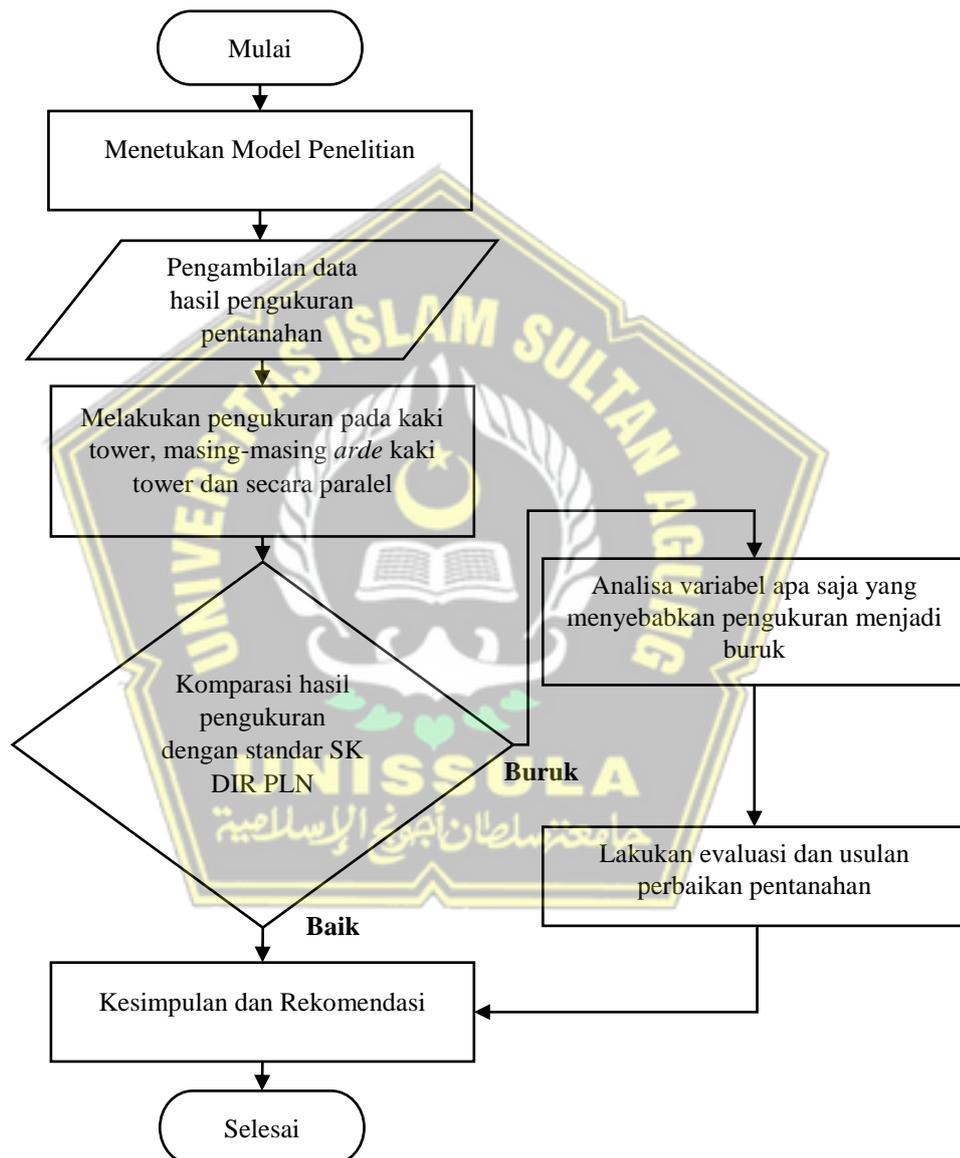
3.5 TAHAPAN PENELITIAN

Dalam penelitian ini, tahapan yang dilakukan yaitu:

1. Mengambil dan mempersiapkan data hasil pengukuran pentanahan SUTT 150kV Jelok – Bringin masa pengukuran tahun 2019 sampai dengan 2020.
2. Melakukan analisa data nilai hasil pengukuran pentanahan pada SUTT 150kV Jelok – Bringin.
3. Data analisa kemudian diolah dan dilakukan komparasi dengan standar yang telah digunakan.
4. Setelah data dianalisa maka apabila ditemukan anomali dalam pengukuran atau nilai yang di atas standar, maka akan dilakukan usulan perbaikan nilai pentanahan.

3.6 FLOWCHART

Dalam pelaksanaan penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan pelaksanaan yang tersusun secara runtut untuk mendapatkan data dan hasil analisa pengukuran pentanahan tower SUTT 150 kV Penghantar Jelok – Bringin. Secara garis besar diagram alir digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3.5. Diagram Alir Proses Penelitian

BAB IV DATA DAN ANALISA

4.1 DATA PENGUKURAN

Dalam pelaksanaannya penelitian ini masuk ke dalam jenis penelitian komparasi non hipotesis ialah mengadakan suatu perbandingan atau komparasi antara nilai status fenomena dengan standar yang digunakan.

Tahapan analisis data yang dilaksanakan terhadap hasil penelitian tersebut ialah:

1. Memahami standar yang digunakan PLN mengenai nilai tahanan pentanahan sesuai dengan SK DIR No. 0520-1.K/DIR/2014 yaitu untuk tower SUTT 150kV adalah sebesar 10 Ohm.
2. Menganalisis tahanan pentanahan tower SUTT 150kV Jelok – Bringin dengan mengkomparasikan hasil pengukuran pada tahun 2019 sampai dengan 2020 dengan standar PLN.

Tabel 4.1. Hasil Pengukuran Nilai Tahanan Pentanahan Tower SUTT 150kV Jelok-Bringin Tahun 2019 sampai dengan 2020

No.	No. Tower	Tahanan Pentanahan Tower (Ohm)											
		Gabungan		Kaki Tower		Arde Kaki							
						A		B		C		D	
		Tahun	Tahun	Tahun	Tahun	Tahun	Tahun	Tahun	Tahun				
2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020		
1	A01	0,71	0,87	1,05	0,7					2,73	3	2,46	3
2	A02	3,11	2,9	4,86	3,8							3,68	2,9
3	D03	3,88	3,45	3,78	4			3,89	3,8			3,94	3,1
4	D04	3,99	2,8	3,98	2,9			3,42	2,9			3,64	2,7
5	D05	4,54	3,4	4,38	4,8			4,64	3,2			4,86	3,2
6	A06	3,28	2,6	3,48	3,1			3,76	2,3			3,78	2,8
7	D07	4,63	6,9	4,78	6,1			3,87	5,1			4,64	5,6
8	D08	8,6	8,9	3,46	8,8			12,45	9,3			8,16	9,4
9	T09*	2,97	1,9	3,41	1,9			2,72	1,5			2,27	1,6
10	D10	2,95	2,8	4,52	2,8			3,28	2,8			3,55	2,1
11	D11	2,74	1,8	2,83	1,7	3,88	2,6	4,74	2,9	6,32	5,9	4,31	2,6
12	A12	1	0,9	2,94	1,8	2,71	1,9	2,76	2,1	2,41	2	2,32	1,7
13	D13	3,63	2,5	4,18	3,2	4,36	2,7	4,23	2,7	4,22	2,6	4,27	2,4
14	A14	2,68	2,8	3,47	2,6	2,62	2,4	2,63	2	2,49	2,3	3,32	2,3
15	T15*	4,07	3	3,96	4,2	2,35	3,9	2,09	4	2,15	3,7	2,19	3,5
16	D16	9,24	9,2	9,5	9,2			8,76	8,9	0	8,7	8,2	8,2
17	D17	7,52	5,84	6,73	5,62			6	5,6			7,54	4,9
18	D18	6,64	5,1	8,23	5,43			4,74	4,35			6,23	4,9

19	D19	5,95	7,3	6,8	7,6			5,89	7,3			5,83	5,9
20	D20	5,94	7,3	7,62	4,32			4,72	4,14			4,85	4,26
21	D21	4,83	5,1	7,65	5,5			5,37	5,2			4,72	5,23
22	D22	8,31	2,52	8,98	2,47			6,94	4,33			8,66	3,11
23	D23	9,77	7,86	120	88,6			5,62	3,46			6,1	5,03
24	A24	1553	1,44	1996	0	2,26	0	3,24	0			1538	0

***T: Tower transposisi**

Berdasarkan hasil analisa data, diperoleh data pada tabel 4.1, ditemukan bahwa nilai tahanan pentanahan pada pengukuran yang dilaksanakan pada tahun 2019 sampai dengan 2020 sebagai berikut:

1. Kondisi Baik

Kondisi baik terjadi apabila nilai tahanan pentanahannya masih dibawah 10 Ohm, bahkan bisa sampai mendekati angka 0 Ohm.

2. Kondisi Awas

Kondisi ini terjadi apabila tahanan pentanahannya mencapai diatas 5 Ohm sampai dengan 10 Ohm, kondisi ini sebagai kondisi baik yang diperlukan pengawasan dan pengamatan lebih apabila terjadi kenaikan nilai pentanahan.

3. Kondisi Buruk

Kondisi buruk ditemukan apabila nilai tahanan pentanahannya di atas standar 10 Ohm dan diwajibkan dilakukan perbaikan pentanahan.

4. Kondisi Tidak Diketahui

Kondisi tidak diketahui ditemukan apabila nilai tahanan pentanahannya tidak bisa dilakukan pengukuran yang disebabkan adanya sesuatu hal.

Berdasarkan tabel 4.1. dapat dilihat juga bahwa jika dibandingkan dua periode pengukuran nilai pentanahan tersebut ada empat kemungkinan yaitu:

1. Nilai Tahanan Pentanahannya Tetap / Sama

Besarnya nilai pentanahan dari tower SUTT 150kV Jelok – Bringin tidak mengalami perubahan atau nilainya tetap.

2. Nilai Tahanan Pentanahannya Mengalami Kenaikan

Besarnya nilai pentanahan dari tower SUTT 150kV Jelok – Bringin mengalami perubahan berupa kenaikan nilai pentanahannya.

3. Nilai Tahanan Pentanahannya Mengalami Penurunan
Besarnya nilai pentanahan dari tower SUTT 150kV Jelok – Bringin mengalami perubahan berupa penurunan nilai pentanahannya.
4. Nilai Tahanan Pentanahannya Tidak Dapat Dibandingkan
Besarnya nilai tahanan pentanahan dari tower SUTT 150kV Jelok – Bringin yang tidak dapat dibandingkan karena tidak dapat diketahuinya kondisi tahanan pentanahan pada pengukuran tahun 2019 dan pengukuran tahun 2020.

4.2 ANALISA DATA

Besar nilai hasil pengukuran tahanan pentanahan pada tower SUTT 150kV diketahui makin kecil maka akan semakin baik, tetapi ada batasan maksimal yang diijinkan oleh pihak PLN sebagai pengelola SUTT 150kV Jelok – Bringin adalah maksimum 10 Ohm. Kecilnya nilai tahanan pentanahan ini berfungsi guna dapat mempercepat lewatnya arus yang diakibatkan oleh beda potensial tegangan yang besar ke tanah apabila ada sambaran langsung pada kawat tanah, maka tidak mengganggu jalur SUTT 150kV Jelok – Bringin. Sebagaimana kita ketahui, *ground rod* pada pentanahan tower ditanam di dalam tanah, maka keadaan dari *ground rod* tidak dapat diketahui dengan melakukan pengamatan secara visual, tetapi hanya dari keadaan nilai tahanan pentanahan yang dapat kita ketahui.

Berdasar pada data tabel 4.1. didapatkan hasil bahwa besar nilai tahanan pentanahan tower SUTT 150kV Jelok – Bringin yang merupakan bagian dari unit kerja PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Transmisi Salatiga pada tahun 2020 sebagian besar masih dalam kondisi baik namun ada tower yang nilai pentanahannya buruk dan beberapa tower yang mengalami kenaikan nilai tahanan pentanahan.

Analisis kondisi tahanan pentanahan dari tower SUTT 150kV Jelok – Bringin yang dibagi kedalam tiga macam metode pengukuran yaitu:

1. Pengukuran Tahanan Pentanahan Gabungan/Paralel Antara Kaki Tower dengan Semua *Arde*

Berdasar pada tabel 4.1. masa pengukuran ditahun 2020, hasil pengukuran nilai tahanan pentanahannya masih dalam kondisi baik karena masih di bawah standar maksimum yaitu 10 Ohm sesuai dengan standar yang dipergunakan oleh PLN untuk SUTT 150kV dengan prosentase 100%. Apabila dibandingkan dengan periode hasil pengukuran ditahun 2019 dengan tahun 2020, maka karakteristik nilai tahanan pentanahannya yang mengalami kenaikan dengan prosentase 29,17% dan yang mengalami penurunan nilai tahanan pentanahan dengan prosentase 70,83%.

2. Pengukuran Tahanan Pentanahan Kaki Tower Tanpa *Arde*

Berdasar pada data tabel 4.1. hasil pengukuran nilai pentanahan pada tahun 2020 memiliki hasil kondisi yang baik sebab masih di bawah standar maksimum dengan prosentase 95,83% dan didapati hasil pengukuran nilai pentanahan yang buruk dengan prosentase 4,17%. Jika dibandingkan dengan periode pengukuran pada tahun 2019 dengan tahun 2020, karakteristik nilai tahanan pentanahannya yang mengalami kenaikan dengan prosentase 25% serta yang mengalami penurunan dengan prosentase 75%.

3. Pengukuran Tahanan Pentanahan Masing-Masing *Arde* Kaki Tower

Berdasar pada hasil pengukuran pentanahan pada tabel 4.1. kondisi nilai pentanahan pada masing-masing *arde* kaki tower masih baik dengan prosentase 100%. Apabila dilakukan perbandingan hasil pengukuran antara tahun 2019 dengan tahun 2020 karakteristik nilai tahanan pentanahannya yang mengalami kenaikan sebesar 20,83% sedang yang mengalami penurunan nilai pentanahan sebesar 79,17%.

4.3 PEMBAHASAN

4.3.1 Karakteristik Pengukuran Tahanan Pentanahan Tower SUTT 150kV Jelok – Bringin

Karakteristik pengukuran tahanan pentanahan tower SUTT 150kV Jelok – Bringin pada masa pengukuran tahun 2020 ialah sebagai berikut:

1. Kondisi Baik

Keadaan nilai tahanan pentanahan yang masih dalam kondisi baik terdapat pada ketiga teknik metode pengukuran, yaitu sebagai berikut:

- Pengukuran nilai tahanan pentanahan paralel/gabungan
Suatu keadaan dimana nilai tahanan pentanahan paralel/gabungan masih dalam kondisi baik seluruhnya, tidak ditemukan nilai pengukuran di atas standar yang digunakan. Faktor penyebab kondisi pentanahan masih baik adalah sistem pentanahan yang dihubungkan dengan tower SUTT 150kV, mulai dari *arde* kaki dengan kawat tanah yang tersambung dengan sistem pentanahan pada semua saluran transmisi serta disambung dengan pentanahan pada Gardu Induk(GI). Apabila kedua variabel ini disambungkan untuk sistem pentanahan pada tower SUTT 150kV, akan didapat suatu nilai hasil pengukuran tahanan pentanahan yang baik.
- Pengukuran tahanan pentanahan kaki tower tanpa *arde*
Suatu keadaan dimana nilai tahanan pentanahan kaki tower tanpa menggunakan *arde* sebagian besar masih dalam kondisi baik, namun ada salah satu hasil pengukuran pentanahan kaki tower yang buruk dan melebihi standar yang diijinkan, yaitu pada pengukuran nilai pentanahan tower D23 dengan hasil pengukuran 88,6 Ohm. Salah satu faktor yang ada di lapangan adalah kondisi tanahnya adalah tanah ladang.



Gambar 4.1. Kondisi Kaki Tower D23 SUTT 150kV Jelok-Bringin

- Pengukuran nilai tahanan pentanahan *arde* kaki tower masing-masing sisi

Keadaan ini dimana nilai dari tahanan pentanahan *arde* kaki tower sebagian besar masih dalam kondisi baik. Keadaan dimana nilai tahanan pentanahan *arde* kaki tower yang baik dimungkinkan terjadi disebabkan oleh beberapa faktor yaitu:

- a) Keadaan *ground rod* serta kontak klem yang masih baik

Keadaan ini terjadi disebabkan *ground rod* belum terdampak korosi setelah sekian lama dipendam dalam tanah, akibatnya keadaan kontak antara *ground rod* dengan tanah tetap masih baik. Hal lain yang dimungkinkan dapat terjadi disebabkan kontak antara *ground rod* dengan penghantar pentanahan serta kondisi klem yang juga dalam kondisi masih baik.

- b) Kondisi tanah yang masih memiliki kelembaban tinggi

Keadaan tanah yang masih memiliki kelembaban yang tinggi adalah salah satu variabel penentu besar nilai tahanan pentanahan. Dengan makin lembabnya kondisi tanah, maka

nilai tahanan jenisnya akan makin baik serta semakin baik juga nilai dari tahanan pentanahan pada tanah tersebut.

c) Keadaan air tanah yang tetap

Seperti kita ketahui bersama, nilai pentanahan dengan kondisi baik adalah dapat mendekat dengan air tanah. Apabila keadaan air di dalam tanah tetap, dapat disebabkan oleh faktor turunnya curah hujan yang mulai meninggi pada saat dilakukan pengukuran, sehingga hasil pengukuran nilai dari tahanan pentanahannya cenderung masih stabil.

2. Kondisi Awaw

Keadaan dimana nilai tahanan pentanahan dalam posisi awaw muncul pada pengukuran nilai tahanan pentanahan paralel/gabungan, nilai tahanan pentanahan kaki tower tanpa *arde* dan nilai tahanan pentanahan pada masing–masing *arde* dengan sisi yang berlawanan. Tower dengan keadaan ini terjadi pada 10 buah tower.

Tabel 4.2. Nilai Tahanan Pentanahan Tower SUTT 150kV Jelok – Bringin ditahun 2020 dengan Kriteria Keadaan Awaw

No.	No. Tower	Gabungan	Kaki Tower	Arde Kaki			
				A	B	C	D
		Tahun	Tahun	Tahun	Tahun	Tahun	Tahun
		2020	2020	2020	2020	2020	2020
1	D07	6,9*	6,1*		5,1*		5,6*
2	D08	8,9*	8,8*		9,3*		9,4*
3	D11	1,8	1,7	2,6	2,9	5,9*	2,6
4	D16	9,2*	9,2*		8,9*	8,7*	8,2*
5	D17	5,84*	5,62*		5,6*		4,9
6	D18	5,1*	5,43*		4,35		4,9
7	D19	7,3*	7,6*		7,3*		5,9*
8	D20	7,3*	4,32*		4,14		4,26
9	D21	5,1*	5,5*		5,2*		5,23*
10	D23	7,86*	88,6**		3,46		5,03*

Ket: *Hasil pengukuran dengan kondisi awaw

** Hasil pengukuran dengan kondisi buruk

Variabel yang dapat mempengaruhi keadaan nilai tahanan pentanahan mencapai 5 Ohm serta mendekati nilai 10 Ohm, yaitu dimungkinkan oleh:

- Kemampuan *ground rod* yang sudah menurun
Keadaan ini disebabkan oleh kondisi *ground rod* yang sudah mengalami korosi karena sudah terpendam dalam tanah selama periode yang cukup lama serta diakibatkan dari faktor kimia tanah, maka koneksi antara *ground rod* dan tanah dapat berkurang serta nilai tahanan jenis tanah juga mulai mengalami kenaikan.
- Keadaan kontak antara *ground rod* dengan penghantar pentanahan sudah korosi
Tahanan kontak antara *ground rod* dengan penghantar pentanahan yang terdapat pada klem pentanahan dapat meningkat karena kontak antara *ground rod* dengan penghantar pentanahan mulai mengalami korosi yang disebabkan oleh faktor kimia tanah. Nilai tahanan pentanahan bisa naik disebabkan nilai tahanan kontak yang meningkat.
- Kelembaban serta air tanah yang sudah berubah
Keadaan air tanah serta kelembabannya bisa berubah-ubah bergantung pada kondisi curah hujan maupun cuaca yang terjadi di daerah setempat. Pada waktu melaksanakan pengukuran, kemungkinan terjadinya curah hujan atau kelembaban di daerah tersebut sudah mulai berkurang, maka pengukuran nilai tahanan pentanahannya mulai naik.

3. Kondisi Buruk

Keadaan dari nilai tahanan pentanahan tower SUTT 150kV yang mengalami kondisi buruk terjadi disalah satu tower yaitu tower D23 yaitu pada nilai pengukuran tahanan pentanahan pada kaki tower. Selain itu tower D23 juga masuk dalam kondisi awas pada pengukuran gabungan dan *arde* kaki tower D.

**Tabel 4.3. Nilai Tahanan Pentanahan Tower SUTT 150 kV Jelok–
Bringin ditahun 2020 dengan Kriteria Kondisi Buruk**

No.	No. Tower	Gabungan	Kaki Tower	Arde Kaki			
				A	B	C	D
		Tahun	Tahun	Tahun	Tahun	Tahun	Tahun
		2020	2020	2020	2020	2020	2020
1	D23	7,86*	88,6**		3,46		5,03*

Ket: *Hasil pengukuran dengan kondisi awas

** Hasil pengukuran dengan kondisi buruk

Kondisi pada metode pengukuran pada kaki tower memang sulit untuk dilakukan perbaikan nilai pentanahan secara langsung karena variabelnya bersifat *fix* atau paten karena kondisi kaki tower terpasang pada stub atau kepala pondasi dan *ardenya* jadi satu dengan kaki tower yang tertutup podasi.

Kondisi nilai tahanan pentanahan yang buruk dapat dipengaruhi beberapa faktor, yaitu:

- Keadaan *ground rod* yang memburuk
Pengukuran nilai tahanan pentanahan mulai memburuk apabila *ground rod* mengalami penurunan kontak dengan tanah atau kenaikan nilai tahanan jenis. Kondisi ini dapat karena bahan yang dipakai tergolong tidak awet serta mudah kena korosi.
- Kondisi kontak antara *ground rod* dengan penghantar pentanahan terdampak korosi

Nilai tahahan kontak antara *ground rod* dan penghantar pentanahan dapat naik maupun sangat besar, disebabkan oleh korosi pada koneksi antara *ground rod* dan penghantar pentanahan yang ada pada klem pentanahan. Juga dapat menyebabkan putusnya penghantar pentanahan dari *ground rod* apabila korosi yang terjadi

sudah sangat tinggi. Nilai tahanan kontak yang tinggi inilah sebagai salah satu sebab utama nilai tahanan pentanahan tower SUTT 150kV menjadi melampaui dari standarnya.

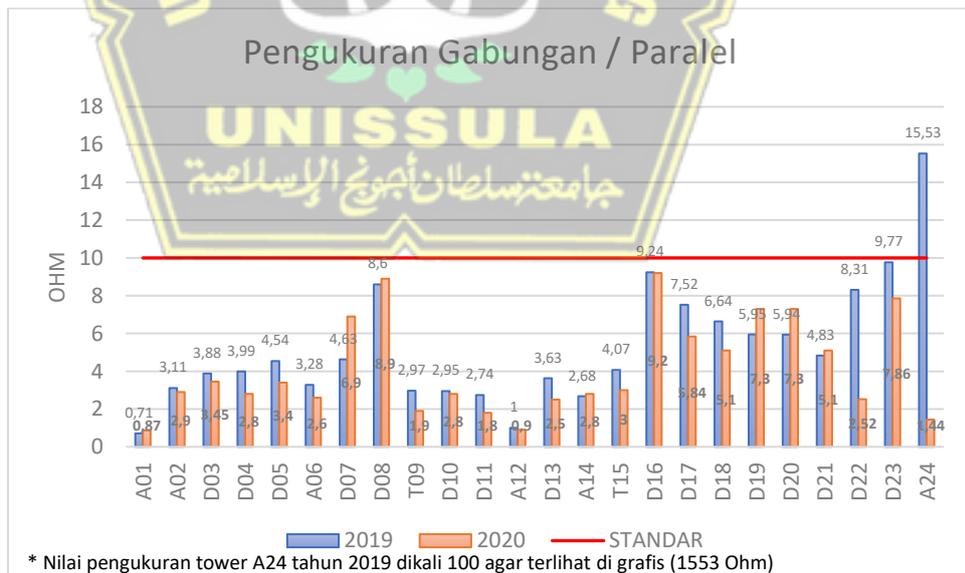
- Kondisi air yang menurun kelembabannya
Kelembaban serta air tanah bisa berubah–ubah disebabkan curah hujan yang berlangsung sedang turun, maka tanah cenderung mengering ataupun tandus yang dapat menyebabkan meningkatnya nilai tahanan pentanahan kaki tower.

4. Kondisi Tidak Diketahui

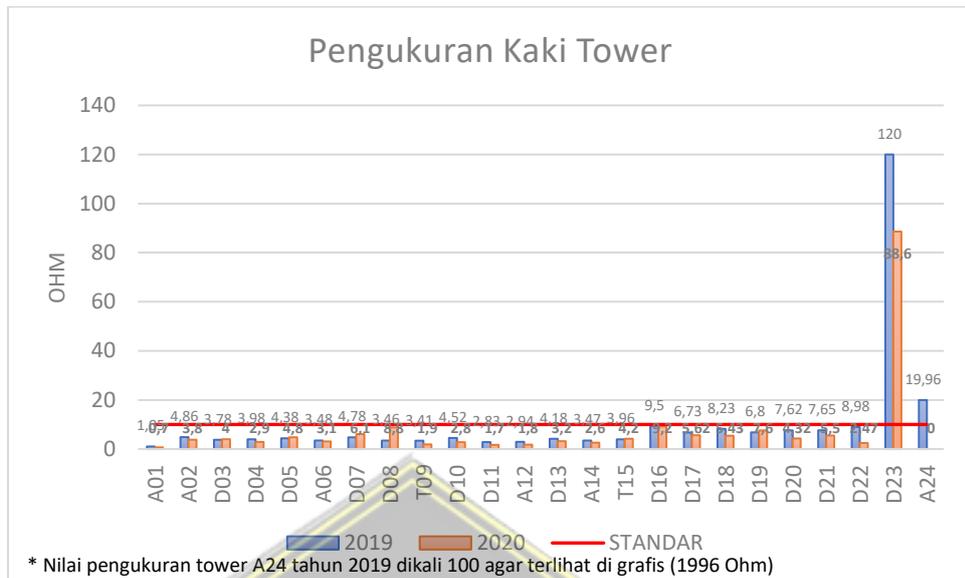
Kondisi ini tidak ditemukan dalam penelitian pengukuran nilai pentanahan pada tower SUTT 150kV Jelok – Bringin.

4.3.2 Karakteristik Perbandingan Pengukuran Tahanan Pentanahan Tahun 2019 dengan 2020

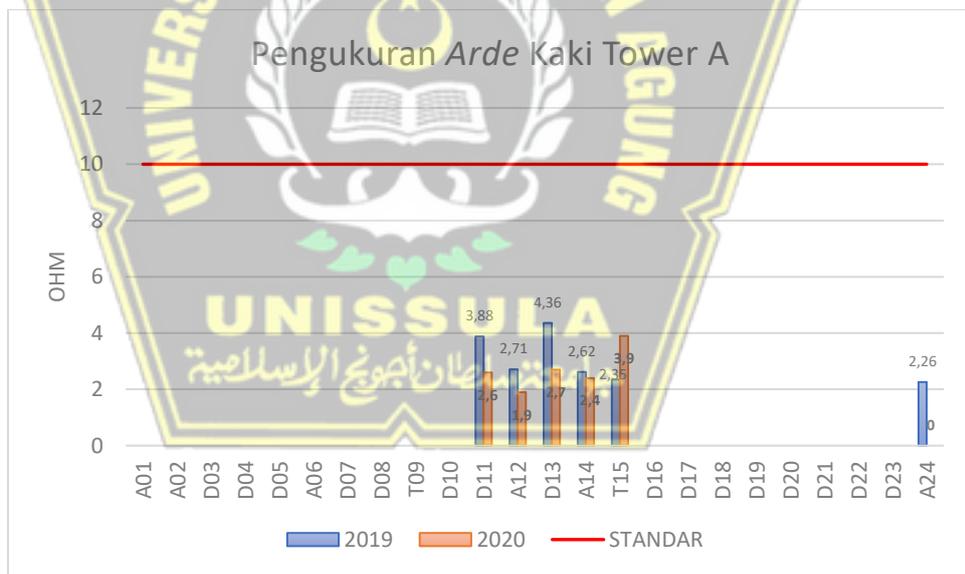
Karakteristik perbandingan nilai tahanan pentanahan tower SUTT 150kV Jelok – Bringin pada tahun 2019 dengan 2020 secara garis besar dibedakan menjadi:



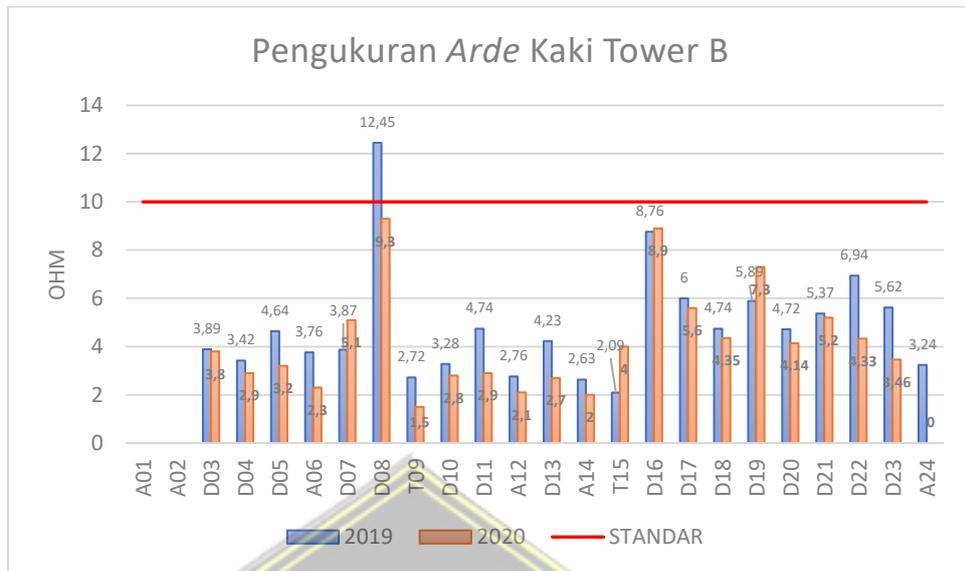
Gambar 4.2. Komparasi Hasil Pengukuran Gabungan / Paralel



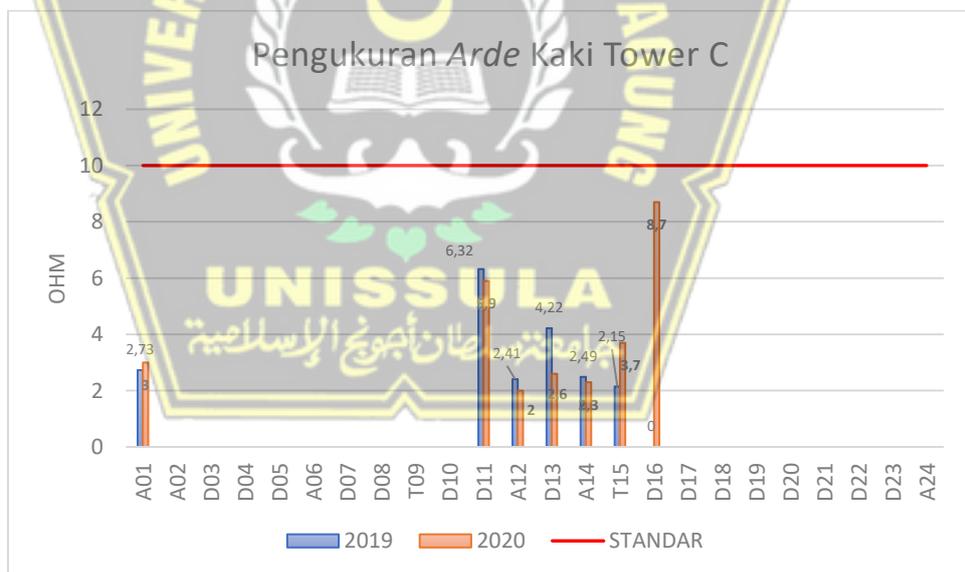
Gambar 4.3. Komparasi Hasil Pengukuran Kaki Tower



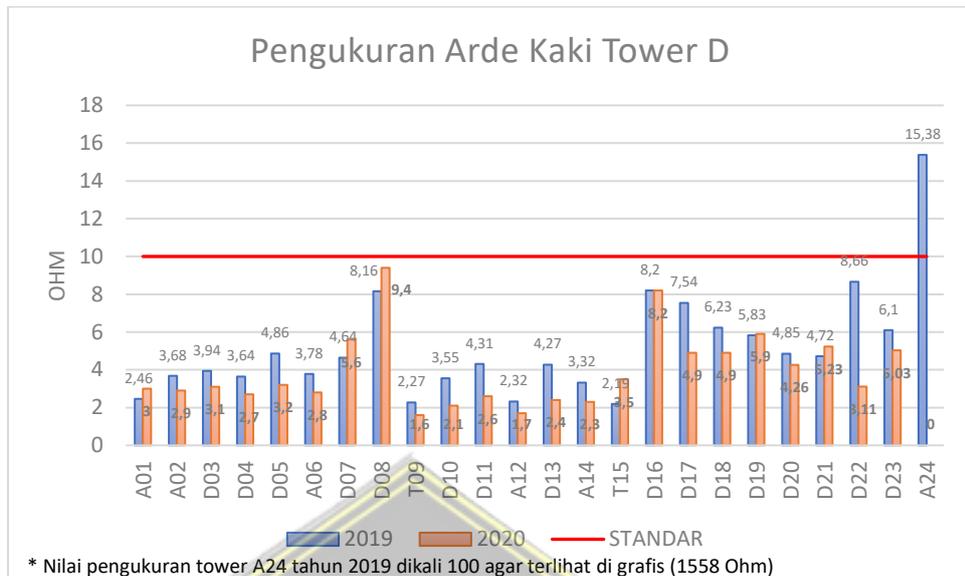
Gambar 4.4. Komparasi Hasil Pengukuran Arde Kaki Tower A



Gambar 4.5. Komparasi Hasil Pengukuran Arde Kaki Tower B



Gambar 4.6. Komparasi Hasil Pengukuran Arde Kaki Tower C



Gambar 4.7. Komparasi Hasil Pengukuran Arde Kaki Tower D

1. Nilai tahanan pentanahannya tetap/sama

Berdasar tabel 4.1 nilai pentanahan tower SUTT 150kV yang nilainya tetap dan tidak mengalami perubahan terjadi pada tower D16 pada pengukuran *arde* kaki tower D sesuai dengan gambar 4.7. Tahanan pentanahan yang nilainya tetap dimungkinkan karena:

- Besar nilai dari tahanan pentanahannya dalam periode pengukuran tersebut masih dalam kondisi baik. Perihal ini dikarenakan sistem pentanahan yang tersambung dengan tower SUTT 150kV ialah adanya kawat tanah serta *arde* kaki tower yang tidak mengalami perubahan yang cukup berarti.
- Kondisi dari tahanan pentanahannya masih dalam kondisi baik. Perihal ini disebabkan oleh kawat tanah yang terkoneksi dengan tower SUTT 150kV juga tidak ada perubahan yang signifikan, maka nilai tahanan pentanahan kaki tower juga masih stabil.
- Nilai tahanan pentanahan yang nilainya tetap disebabkan keadaan *ground rod* yang masih baik, keadaan kontak antara *ground rod*

dengan penghantar pentanahan juga masih baik dan kondisi kelembaban serta air tanah masih sama.

2. Nilai tahanan pentanahannya mengalami kenaikan
Nilai tahanan pentanahan tower SUTT 150kV Jelok – Bringin ada yang mengalami kenaikan nilai tahanan pentanahan, ialah:
 - Kenaikan yang signifikan
Peningkatan nilai tahanan pentanahan yang signifikan ini terjadi hanya pada metode pengukuran tahanan pentanahan *arde* masing-masing sisi. Tower yang mengalami kenaikan nilai tahanan pentanahan *diarde*-nya dalam jangka waktu setahun adalah tower D16 pada kaki tower C namun nilainya masih di bawah standar. Variabel-variabel yang mempengaruhi kenaikan nilai yang signifikan ini antara lain karena kondisi *ground rod* yang sudah mulai menurun, keadaan koneksi antara *ground rod* dan kawat tanah mulai menurun serta keadaan air tanah serta kelembaban yang mulai menurun.
 - Kenaikan yang tidak signifikan
Peningkatan nilai tahanan pentanahan yang tidak signifikan muncul pada semua metode pengukuran, ialah:
 - 1) Metode pengukuran tahanan pentanahan paralel/gabungan. Peningkatan nilai tahanan pentanahan yang tidak signifikan disebabkan oleh perubahan kecil pada salah satu bagian subsistem pentanahan yang tersambung dengan tower SUTT 150kV. Perubahan bisa muncul pada komponen kawat tanah, klem, baut – baut maupun *ground rod*-nya.
 - 2) Pengukuran nilai tahanan pentanahan kaki tower tanpa *arde*. Kenaikan nilai tahanan pentanahan yang tidak signifikan pada metode pengukuran ini dimungkinkan karena kondisi tahanan pentanahan kawat tanah yang mulai berubah sebagai akibat dari berubahnya nilai tahanan jenisnya.

- 3) Pengukuran tahanan pentanahan *arde* masing – masing sisi. Kenaikan nilai tahanan pentanahan yang tidak signifikan pada metode pengukuran ini dimungkinkan karena kondisi *ground rod* yang mulai menurun, kondisi kontak antara *ground rod* dengan kawat penghantar pentanahan sudah mulai berkurang serta kondisi kelembaban dan air tanah yang berubah.
3. Nilai tahanan pentanahan mengalami penurunan
Kondisi nilai tahanan pentanahan tower SUTT 150kV Jelok – Bringin yang mengalami penurunan, yaitu:
- Penurunan yang signifikan
Penurunan dari nilai tahanan pentanahan tower SUTT 150kV yang signifikan ditemukan pada beberapa metode pengukuran. Penurunan pada pengukuran pentanahan kaki tower pada tower D08 dari 12,45 Ohm ke 9,3 Ohm, tower D23 ada penurunan namun masih belum sesuai standar dan A24. Penurunan pada pengukuran gabungan / paralel pada tower A24 dari 1553 Ohm ke 1,44 Ohm. Dan pada pengukuran masing-masing *arde* yaitu juga pada tower A24. Perihal ini dapat terjadi karena kondisi *ground rod* serta klem masih baik, kondisi kelembaban tanah mengalami kenaikan yang signifikan, kondisi air tanah yang mencapai *ground rod* dan dilakukannya pemeliharaan serta perbaikan pentanahan.
 - Penurunan yang tidak signifikan
Penurunan dari nilai tahanan pentanahan tower SUTT 150kV yang tidak signifikan ditemukan pada semua metode pengukuran, ialah:
 - 1) Pengukuran tahanan pentanahan paralel/gabungan. Penurunan nilai tahanan pentanahan yang tidak signifikan dapat terjadi disebabkan oleh adanya perubahan kecil pada salah satu komponen sistem pentanahan, perubahan juga dapat terjadi karena adanya perbaikan pada sistem pentanahan.
 - 2) Pengukuran tahanan pentanahan kaki tower tanpa *arde*. Penurunan dari nilai tahanan pentanahan yang tidak signifikan

pada metode pengukuran ini dimungkinkan terjadi karena hasil nilai tahanan pentanahan yang berubah karena perubahan nilai tahanan pentanahan pada Gardu Induk(GI) yang tersambung dengan kawat tanah menjadi lebih baik.

- 3) Pengukuran tahanan pentanahan *arde* masing-masing sisi. Turunnya nilai tahanan pentanahan yang tidak signifikan pada metode pengukuran ini dimungkinkan terjadi disebabkan oleh hasil pengukuran tahun 2020 kondisi kelembaban tanah mengalami kenaikan yang tidak signifikan dibandingkan masa pengukuran pada tahun sebelumnya. Perihal ini bisa disebabkan oleh curah hujan yang mengalami kenaikan dari periode pengukuran yang sebelumnya.

4.3.3. Usulan dan Analisa Perbaikan Kelayakan Nilai Pentanahan

Sesuai dengan tabel 4.1 didapatkan nilai pengukuran pentanahan murni yang buruk pada masa pengukuran tahun 2020 dan perlunya usulan perbaikan adalah tower D23 yaitu pada metode pengukuran pada kaki tower. Untuk usulan perbaikan nilai pentanahan yaitu:

1. **Melaksanakan Pemeliharaan Rutin**

Pemeliharaan dan perawatan dilakukan untuk mempertahankan kondisi optimal kinerja dari sistem pentanahan kaki tower. Laporan realisasi pelaksanaan pengukuran pentanahan kaki tower yang dilaksanakan setiap tahun adalah cara untuk memantau kondisi sistem pentanahannya. Disamping itu ada petugas *Line Walker* (LW) yang setiap minggu melaksanakan inspeksi pada setiap tower SUTT 150kV. Nilai tahanan pentanahan kaki tower diukur dengan metode yang telah dijelaskan sebelumnya, nilai tahanan pentanahan yang nilainya diatas standar akan masuk ke dalam daftar rencana perbaikan nilai tahanan pentanahan. Sambungan kendor ataupun korosi antar bagian elektroda menjadi penyebab utama kerusakan yang terjadi pada sistem pentanahan.

Perbaikan dilaksanakan dengan cara mengencangkan kembali baut–baut disambungan serta membersihkan bagian elektroda dari korosi.

2. Menambah Batang Elektroda

Setelah diketahui hasil nilai dari tahanan pentanahan yang melampaui standar yaitu 10 Ohm, maka pihak PLN selaku pengelola melakukan pengeboran di sekitar tower yang bernilai lebih dari standar. Jarak pengeboran disepakati dibuat 6 meter dari muka tanah, kemudian baru dilaksanakan penambahan batang elektroda. Analisis jenis tanah pada jalur SUTT 150kV Jelok – Bringin adalah jenis tanah liat dan ladang yang memiliki nilai tahanan jenis 100 Ohm.

Sebelum dilaksanakan pemasangan batang elektroda, diawali dengan penentuan desain dari elektroda batang, kemudian dihitung harga dari tahanan batang elektroda sesuai dengan standar adalah dibawah 10 Ohm untuk batang elektroda tunggal. Rencana desain serta perhitungan dari nilai tahanan pentanahan sesuai persamaan 2.1 adalah sebagai berikut:

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

L : 6 m

ρ : 100 Ohm

d : 3,175 cm / 1,25"

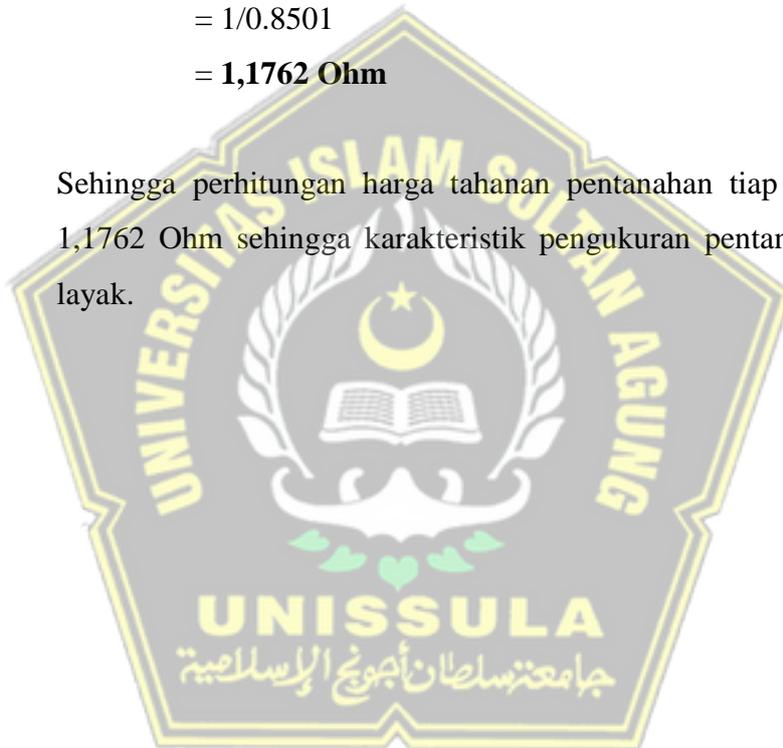
π : 3,14

$$\begin{aligned} R &= (\rho / 2\pi L) \times (\ln (2L / d)) \\ &= (100 / (2 \cdot 3,14 \cdot 6)) \times (\ln (2 \cdot 6 / 3,175)) \\ &= (100 / 37,68) \times (\ln (3,77952756)) \\ &= 2,65392781 \times 1,32959902 \\ &= 3,52865982 \text{ Ohm} \\ &= 3,5287 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan nilai tahanan pentanahan dengan menggunakan sebuah batang elektroda yang tertanam secara tegak lurus didalam tanah yaitu 3,5287 Ohm. Untuk usulan perbaikan nilai pentanaha tower D.23 perlu ditambahkan tiap kaki tower sebanyak 3 unit *ground rod* yang dipasang secara paralel sehingga diperoleh perhitungan setiap kaki tower menjadi seperti di bawah ini:

$$\begin{aligned} R_{\text{paralel}} &= 1/\{(1/3,5287) + (1/3,5287) + (1/3,5287)\} \\ &= 1/(3/3,5287) \\ &= 1/0.8501 \\ &= \mathbf{1,1762 \text{ Ohm}} \end{aligned}$$

Sehingga perhitungan harga tahanan pentanahan tiap kaki menjadi 1,1762 Ohm sehingga karakteristik pengukuran pentanahan menjadi layak.



BAB V PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan terhadap nilai tahanan pentanahan pada tower SUTT 150kV Jelok – Bringin, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Perubahan nilai tahanan pentanahan tower SUTT 150kV Jelok – Bringin dipengaruhi oleh beberapa variabel yaitu:
 - Kondisi *ground rod* yang berubah-ubah
 - Kondisi tanah (perubahan kondisi kelembaban air tanah) yang selalu berubah mengikuti cuaca
 - Kondisi kontak pada klem pentanahan (antara *ground rod* dengan penghantar pentanahan) yang mengalami perubahan
2. Karakteristik dari hasil pengukuran 23 unit tower dari 24 unit tower atau 95,83% dari total tower, karakteristik hasil pengukurannya masih relatif dalam kondisi layak yaitu dibawah 10 Ohm, sedangkan ada satu unit tower yang masih belum layak dengan hasil pengukuran 88,6 Ohm yaitu tower D23.
3. Dari data analisa hasil pengukuran untuk tower yang masih belum layak perlu dilakukan pemeliharaan yang lebih baik serta usulan penambahan elektroda batang dengan panjang 6 meter yang memiliki nilai tahanan pentanahan sebesar 3,5287 Ohm per batang yang dipasang secara paralel pada masing-masing kaki tower sebanyak 3 batang sehingga hasil pengukuran tiap kaki tower menjadi 1,1762 Ohm sehingga karakteristik hasil pengukuran menjadi layak.

5.2 SARAN

Berdasarkan hasil penelitian nilai tahanan pentanahan pada tower SUTT 150kV Jelok – Bringin dapat disampaikan beberapa saran:

1. Kunci dari kelayakan nilai pentanahan tower SUTT 150kV Jelok – Bringin adalah pelaksanaan pengukuran nilai tahanan pentanahan yang valid dan akurat serta pemeliharaan sistem pentanahan yang baik dan benar.

2. Metode pengukuran nilai tahanan pentanahan tower harus dilakukan secara akurat, tidak boleh dilakukan secara asal, karena dapat berakibat fatal yaitu gangguan yang diakibatkan oleh sambaran petir.
3. Apabila ditemukan hasil pengukuran yang melebihi standar harus segera dilakukan perbaikan sistem pentanahan.
4. Penambahan *ground rod* sebagai salah satu upaya untuk memperbaiki nilai tahanan pentanahan tower yang harus tetap memperhatikan variabel yang mempengaruhi besarnya nilai tahanan pentanahan.



DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, Artono, 2001, Teknik Tegangan Tinggi, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Perusahaan Listrik Negara, 2014, SK DIR No. 0520-1.K/DIR/2014 - Himpunan Buku Pedoman Pemeliharaan dan Asesmen Peralatan Transmisi, PT PLN (Persero), Jakarta.
- Marsudi, Djiteng, 1990, Operasi Sistem Tenaga Listrik, Balai Penerbit & Humas ISTN, Jakarta.
- Hutauruk, TS, 1991, Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan, Erlangga, Jakarta.
- Hutauruk, TS, 1985, Transmisi Daya Listrik, Erlangga, Jakarta.
- Instruction Manual Model 4105A, www.kewtechcorp.com, 22 September 2020. https://www.kewtechcorp.com/sites/default/files/pdf/instruction_manuals/KEW4105_Manual.pdf
- Badan Standarisasi Nasional, 2000, Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000), BSN, Jakarta.
- Menteri ESDM RI, 2019, Peraturan Menteri ESDM RI No 2 Tahun 2019 tentang Ruang Bebas dan Jarak Bebas Minimum pada Saluran SUTT, SUTET, Kementrian ESDM, Jakarta.
- Saputro, Nurcahyo Hajar, 2016, Analisis Pentanahan Kaki Menara Transmisi 150kV Rembang-Blora Bertahanan Tinggi Dan Usaha Menurunkannya, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Sukoharjo.
- Arfianto, Teguh, Adam Ibnu Salam, 2019, Jurnal Analisis Tahanan Pentanahan Kaki Tower SUTT 70kV Rute Cigareleng – Majalaya, Universitas Institut Teknologi Nasional, Bandung.
- Wahyudi, Agung Tri, Slamet Hani, Mujiman, 2018, Jurnal Analisis Perbaikan Sistem Pentanahan Pada Kaki Menara Di Jaringan Transmisi 150kV Gardu

Induk Pedan – Kentungan, Institut Sains dan Teknologi AKPRIND, Yogyakarta.

Farmada, Andre, 2016, Studi Pengukuran Tahanan Pentanahan Tower Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500kV Pedan – Ungaran, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Sukoharjo.

Setiyono, Margi, 2007, Pengukuran Tahanan Pentanahan Tower Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150kV Transmisi Ungaran – Krapyak, Universitas Negeri Semarang, Semarang.

Faisal, Ahmad, Muhammad Amril, Jhoni Hidayat, Ulfa Hasnita, 2019, Jurnal Studi Pengukuran Tahanan Pentanahan Menara Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150kV Sidikalang – Salak Dengan Menggunakan Sistem Counterpose, Akademi Teknik dan Keselamatan Penerbangan, Medan.

Peraturan Umum untuk Elektroda Bumi dan Penghantar Bumi, www.elektroindonesia.com, Januari 1999, 1 Oktober 2020. www.elektroindonesia.com/elektro/ener24b.html

Perusahaan Listrik Negara, 2020, Buku Petir PLN 2020 Edisi Ketiga Tahun 2019 Jawa, Madura, Bali, PT PLN (Persero), Jakarta.

Apa Itu SUTT, ariefdjo.blogspot.com, Januari 2012, 20 Juli 2021. <http://ariefdjo.blogspot.com/2012/01/apa-itu-sutt-saluran-udara-tegangan.html>