

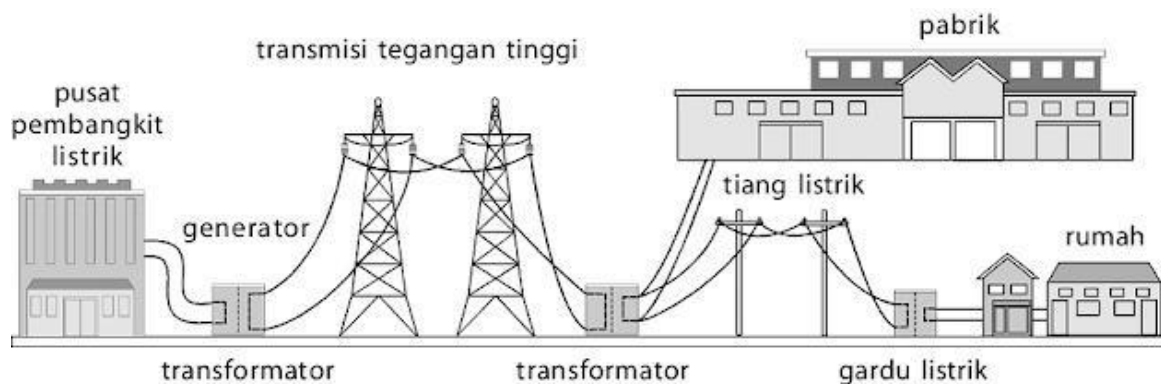
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Sistem Transmisi Listrik

Sistem transmisi tenaga listrik merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan energi listrik dari pusat pembangkit menuju gardu induk atau pusat beban dengan tingkat tegangan tinggi. Tujuan utama dari penggunaan tegangan tinggi pada sistem transmisi adalah untuk mengurangi rugi daya (*power loss*) dan menjaga efisiensi penyaluran energi listrik pada jarak yang jauh. [6]



Gambar 2.1 Transmisi Tenaga Listrik

Dalam sistem ketenagalistrikan nasional, jaringan transmisi biasanya beroperasi pada tegangan 70 kV, 150 kV, 275 kV, hingga 500 kV, tergantung pada kebutuhan daya dan jarak antar gardu. Untuk wilayah Jambi, sistem transmisi 150 kV merupakan tulang punggung utama dalam mendistribusikan energi listrik dari pembangkit ke jaringan distribusi menengah melalui gardu induk. [7]

Komponen utama dari sistem transmisi meliputi konduktor, menara transmisi (tower), isolator, peralatan proteksi, dan sistem pentanahan. Menara transmisi berfungsi menyangga konduktor agar tetap berada pada jarak aman dari tanah dan benda di sekitarnya, sedangkan

sistem pentanahan berperan penting dalam menjaga keselamatan operasi dan melindungi peralatan dari gangguan seperti sambaran petir atau hubung tanah.

Sistem transmisi memiliki dua jenis utama berdasarkan medianya, yaitu Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dan Saluran Kabel Tanah Tegangan Tinggi (SKTT). SUTT lebih umum digunakan karena biaya pembangunan dan perawatannya relatif lebih rendah, serta lebih mudah dalam hal inspeksi dan perbaikan. Namun demikian, sistem ini memiliki kerentanan terhadap kondisi lingkungan seperti petir dan angin kencang, sehingga memerlukan sistem proteksi dan pentanahan yang andal. [2]

Keandalan sistem transmisi sangat dipengaruhi oleh kondisi peralatan dan kualitas sistem pentanahan. Apabila sistem pentanahan tidak berfungsi dengan baik, maka arus gangguan tidak dapat mengalir ke tanah secara efektif, yang dapat menyebabkan gangguan operasi bahkan kerusakan peralatan. Oleh karena itu, pengujian dan analisis sistem pentanahan secara berkala merupakan bagian penting dari kegiatan pemeliharaan jaringan transmisi tegangan tinggi..

A. Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV

Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) merupakan sistem penyaluran energi listrik menggunakan penghantar udara (konduktor) yang dipasang pada menara transmisi untuk menyalurkan daya listrik dari pusat pembangkit atau gardu induk menuju gardu induk lainnya maupun pusat beban. SUTT digunakan pada sistem tenaga listrik untuk penyaluran daya jarak jauh karena mampu mengurangi rugi-rugi daya (power losses) dan menjaga kualitas tegangan pada sisi penerima. Salah satu level tegangan yang umum digunakan pada sistem transmisi di Indonesia adalah **150 kV**, yang berperan penting sebagai tulang punggung penyaluran tenaga listrik pada jaringan interkoneksi. [8]

SUTT 150 kV umumnya terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu konduktor, isolator, menara transmisi, kawat tanah (ground wire/OPGW), serta sistem pentanahan. Konduktor berfungsi sebagai media penghantar energi listrik, sedangkan isolator berfungsi sebagai pemisah konduktor dari bagian menara untuk mencegah terjadinya gangguan hubung singkat. Menara transmisi berfungsi sebagai struktur penyangga yang

menjaga jarak aman antara konduktor dengan tanah maupun objek di sekitarnya. Selain itu, kawat tanah dipasang pada bagian atas menara untuk memberikan proteksi terhadap gangguan akibat sambaran petir secara langsung. Keberadaan sistem pentanahan pada tower transmisi menjadi bagian yang tidak terpisahkan karena berfungsi sebagai jalur pelepasan arus gangguan dan arus petir menuju bumi sehingga meningkatkan keselamatan serta keandalan sistem transmisi.

B. Menara Transmisi (Tower) dan Jenis-Jenisnya

Menara transmisi (tower) merupakan konstruksi utama pada sistem Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) yang berfungsi sebagai struktur penyangga konduktor dan isolator pada ketinggian tertentu. Keberadaan tower sangat penting untuk memastikan konduktor berada pada posisi aman sesuai ketentuan jarak bebas terhadap tanah, bangunan, maupun objek di sekitarnya. Selain berfungsi sebagai penopang fisik, tower juga berperan dalam menjaga kestabilan mekanik saluran transmisi akibat pengaruh gaya tarik konduktor, beban angin, serta perubahan kondisi cuaca, sehingga mendukung keselamatan dan keandalan operasi sistem tenaga listrik. [9]

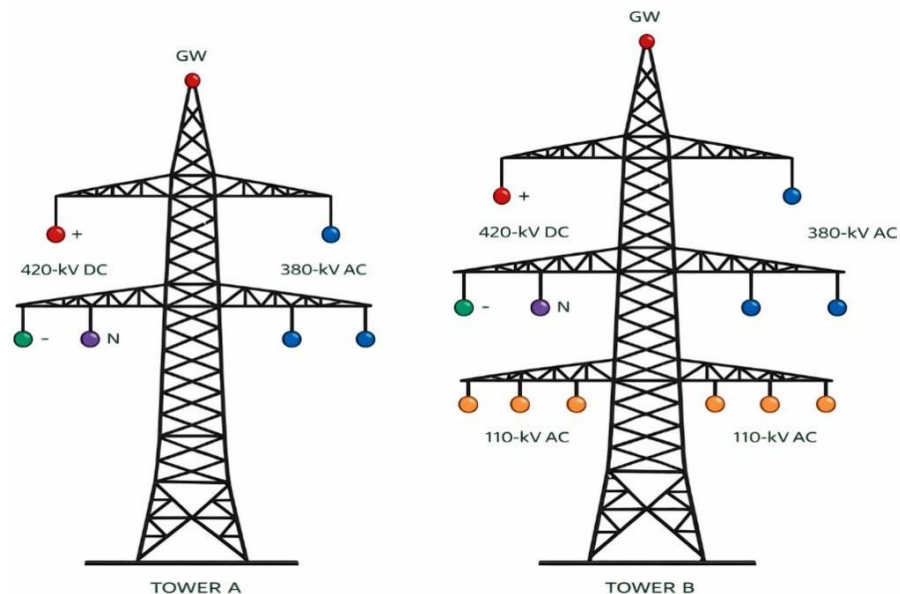
Secara umum, fungsi menara transmisi dalam sistem transmisi tenaga listrik meliputi:

1. Menopang konduktor dan isolator agar penghantar berada pada posisi yang aman sesuai ketinggian yang ditentukan.
2. Menjaga jarak bebas (clearance) konduktor terhadap tanah maupun objek di sekitarnya untuk mencegah terjadinya gangguan listrik.
3. Menahan beban mekanik yang berasal dari berat konduktor, gaya tarik konduktor, serta pengaruh lingkungan seperti angin dan perubahan suhu.
4. Menjadi titik pemasangan kawat tanah (ground wire/OPGW) sebagai bagian dari proteksi terhadap sambaran petir.
5. Menjadi lokasi sistem pentanahan sebagai jalur pelepasan arus gangguan maupun arus petir menuju bumi.

Komponen utama yang umumnya terdapat pada menara transmisi meliputi struktur rangka menara, lengan menara (cross-arm), isolator, konduktor fasa, kawat tanah (ground wire/OPGW), serta pondasi tower. Pada bagian bawah tower terdapat kaki tower yang umumnya terbagi menjadi empat titik, yaitu **Leg A, Leg B, Leg C, dan Leg D**. Bagian ini berfungsi sebagai penopang utama menara serta menjadi titik sistem pentanahan yang bertujuan untuk menyalurkan arus gangguan menuju tanah dan mengurangi risiko tegangan sentuh maupun tegangan langkah di sekitar tower. [10]

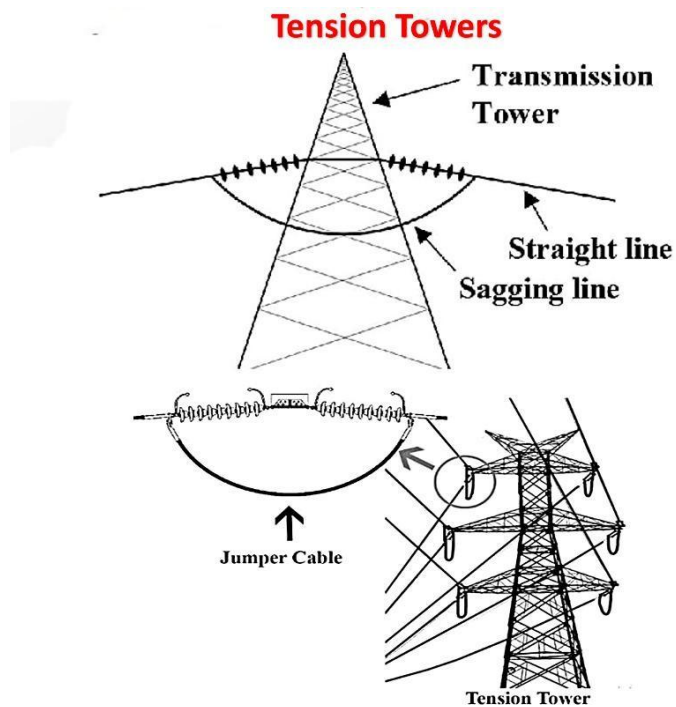
Jenis menara transmisi dapat dibedakan berdasarkan fungsi dan posisi pemasangannya pada lintasan transmisi. Pada jaringan SUTT 150 kV, tower yang umum digunakan yaitu:

1. Tower Suspension, yaitu tower yang dipasang pada lintasan lurus atau perubahan arah kecil, dengan beban dominan berupa beban vertikal akibat berat konduktor yang tergantung. Tower ini berfungsi untuk menopang dan menjaga konduktor tetap stabil pada posisi ketinggian tertentu. [11]



Gambar 2.2 *Suspension Tower*

2. Tower Tension, yaitu tower yang dipasang pada titik belokan jalur, perubahan arah besar, atau titik akhir bentangan saluran, sehingga dirancang untuk menahan gaya tarik konduktor yang lebih besar dibandingkan tower suspension.



Gambar 2.3 Tension Tower

Perbedaan jenis tower tersebut dapat berpengaruh pada kondisi sistem pentanahan dan nilai tahanan pentanahan yang diperoleh pada setiap kaki tower. Nilai tahanan pentanahan pada masing-masing kaki tower dapat berbeda akibat pengaruh kondisi tanah, kelembapan, cuaca, vegetasi, serta kualitas sambungan sistem grounding. Oleh karena itu, pemeriksaan dan pengukuran tahanan pentanahan pada tower transmisi menjadi kegiatan yang penting untuk memastikan nilai tahanan pentanahan masih berada dalam batas standar yang ditetapkan, sehingga sistem proteksi dan keselamatan pada jaringan transmisi dapat terjaga dengan baik.

2.1.2 Sistem Pentanahan (*Grounding System*)

Sistem pentanahan merupakan bagian penting dalam instalasi tenaga listrik yang berfungsi sebagai jalur pembuangan arus gangguan ke bumi, baik yang berasal dari sambaran petir, gangguan hubung tanah, maupun kebocoran arus akibat isolasi yang rusak. Tujuan utama sistem pentanahan adalah menjaga keselamatan peralatan dan personel, serta menjamin kontinuitas operasi sistem tenaga listrik. [12]

Pada jaringan transmisi tegangan tinggi seperti SUTT 150 kV, sistem pentanahan terpasang di setiap menara transmisi. Komponen utama sistem ini meliputi batang elektroda tanah, penghantar pentanahan, serta sambungan antara konduktor petir (*shield wire*) dan struktur tower. Melalui jalur ini, arus gangguan dialirkan ke tanah dengan hambatan sekecil mungkin agar tidak menimbulkan tegangan langkah dan tegangan sentuh yang berbahaya di sekitar tower.

Kinerja sistem pentanahan sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain jenis dan kelembapan tanah, suhu lingkungan, serta tingkat korosi pada elektroda tanah. Tanah dengan kelembapan tinggi umumnya memiliki resistivitas yang lebih rendah, sehingga lebih baik dalam menghantarkan arus ke bumi. Sebaliknya, tanah kering atau berbatu dapat meningkatkan tahanan pentanahan, sehingga efektivitas sistem menurun. [13]

Dalam praktiknya, sistem pentanahan yang baik harus memenuhi kriteria nilai tahanan tanah sesuai standar PLN dan SPLN 67-1986, yaitu di bawah batas maksimum tertentu agar sistem proteksi bekerja dengan optimal. Oleh karena itu, kegiatan pemeriksaan dan pengukuran tahanan pentanahan secara berkala menjadi langkah penting untuk memastikan sistem tetap berfungsi sesuai standar keselamatan dan keandalan jaringan transmisi.[2]

Salah satu metode yang digunakan untuk mengevaluasi kondisi pentanahan adalah pengukuran menggunakan CT Ring (Current Transformer Ring), yang dapat mendeteksi besar arus gangguan atau arus bocor yang mengalir pada sistem pentanahan tanpa harus memutus sambungan konduktor. Metode ini menjadi acuan dalam penelitian ini untuk menilai kondisi aktual sistem pentanahan pada tower SUTT 150 kV di wilayah kerja PT PLN (Persero) ULTG Aurduri.

2.1.3 Metode Pengukuran CT Ring

Metode CT Ring (*Current Transformer Ring*) merupakan salah satu metode pengukuran yang digunakan untuk memeriksa kondisi sistem pentanahan tanpa harus memutuskan sambungan konduktor atau melepas roud grounding. Prinsip kerja metode ini didasarkan pada induksi elektromagnetik, yaitu kemampuan suatu kumparan untuk mendeteksi arus listrik yang mengalir pada penghantar melalui medan magnet yang dihasilkan. [14]

Alat CT Ring berbentuk penjepit (*clamp*) yang dapat mengelilingi konduktor pentanahan pada tower. Ketika arus gangguan, arus bocor, atau arus pembumian mengalir melalui penghantar tersebut, alat CT Ring akan menginduksi arus sekunder yang sebanding dengan arus primer yang mengalir. Hasil pembacaan arus ini digunakan untuk mengetahui kondisi aliran arus pentanahan secara kualitatif. Jika arus yang terdeteksi berada dalam rentang normal, maka sistem pentanahan dapat dikatakan berfungsi dengan baik; sebaliknya, jika terjadi penyimpangan atau ketidaksesuaian, hal tersebut dapat mengindikasikan adanya gangguan atau ketidaksempurnaan pada sistem pentanahan. [15]

Kelebihan metode CT Ring dibandingkan metode konvensional adalah kemampuannya melakukan pengukuran secara cepat, aman dan efisien tanpa perlu memutuskan konduktor pentanahan. Hal ini sangat penting untuk sistem transmisi 150 kV yang beroperasi terus-menerus dan mengurangi risiko gangguan operasi dan lebih aman. Selain itu, alat ini juga praktis digunakan di lapangan dan mampu memberikan hasil yang konsisten jika digunakan dengan prosedur yang benar.

Namun demikian, hasil pengukuran menggunakan CT Ring tetap perlu dianalisis secara hati-hati karena dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kondisi cuaca, posisi penjepitan, serta tingkat kebersihan konduktor. Oleh sebab itu, pengukuran harus dilakukan oleh petugas yang berpengalaman dan sesuai dengan standar operasional PLN agar data yang diperoleh valid dan dapat dijadikan dasar analisis kondisi sistem pentanahan.[16]

Metode CT Ring menjadi salah satu teknik evaluasi penting dalam kegiatan pemeliharaan sistem transmisi, karena memberikan gambaran langsung mengenai kondisi arus pentanahan di lapangan. Dalam konteks penelitian ini, hasil pengukuran menggunakan

metode CT Ring pada tower SUTT 150 kV di wilayah kerja PT PLN (Persero) ULTG Aurduri akan dianalisis secara deskriptif untuk menilai kondisi sistem pentanahan yang ada serta mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi hasil pengukuran tersebut. [17]

2.1.4 Sistem Kerja CT Ring

CT Ring (*Current Transformer Ring*) merupakan alat ukur tahanan pentanahan yang bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Alat ini menghasilkan arus bolak-balik (AC) yang dialirkan melalui konduktor pentanahan tanpa harus memutus sambungan ground (road grounding). Ketika arus mengalir pada konduktor, akan timbul medan magnet di sekitar penghantar yang kemudian ditangkap oleh kumparan sensor CT Ring. [8]

Medan magnet yang terbentuk sebanding dengan besarnya arus (I) yang mengalir, sehingga sensor CT Ring dapat membaca arus induksi dan tegangan induksi (V) yang muncul pada kumparan alat. Berdasarkan nilai arus dan tegangan tersebut, alat secara otomatis menghitung nilai tahanan pentanahan (R) dengan menggunakan persamaan dasar Hukum Ohm:

$$\equiv \dots\dots\dots(2.1)$$

Proses kerja ini memungkinkan CT Ring memberikan pengukuran secara *non-intrusive*, karena tidak perlu melakukan pemutusan konduktor pentanahan. Oleh sebab itu, metode ini dinilai lebih aman, cepat dan efisien digunakan pada tower transmisi yang sedang beroperasi. Selain itu, CT Ring mampu mengukur tahanan pada setiap kaki (leg) tower secara individual, sehingga memberikan gambaran yang lebih detail terkait kondisi sistem pentanahan pada setiap titik. [18]

Secara umum, langkah kerja CT Ring meliputi:

1. Mengalirkan arus AC terkontrol ke konduktor pentanahan.
2. Mendeteksi medan magnet yang timbul akibat arus tersebut
3. Mengukur tegangan induksi pada kumparan internal alat.

4. Menghitung nilai tahanan pentanahan dengan membagi tegangan dan arus terukur.
5. Menampilkan hasil akhir dalam satuan Ohm (Ω) pada display alat.

Dengan prinsip kerja tersebut, CT Ring dapat melakukan pengukuran secara cepat, aman, dan representatif terhadap kondisi sistem pentanahan tower transmisi, baik setelah terjadi gangguan petir maupun pada saat inspeksi rutin.

2.1.5 Sistem kerja Alat Earth Tester 3 titik

Earth Tester 3 titik merupakan alat ukur tahanan pentanahan yang bekerja menggunakan metode jatuh tegangan (fall-of-potential method). Pada metode ini, alat mengalirkan arus AC kecil ke tanah melalui elektroda bantu, kemudian mengukur tegangan potensial yang timbul di permukaan tanah. Berdasarkan perbandingan antara tegangan (V) dan arus (I) yang terukur, nilai tahanan pentanahan dihitung secara otomatis menggunakan persamaan :

Konfigurasi pengukurannya menggunakan tiga elektroda, yaitu:

1. E (Earth Electrode): elektroda pentanahan yang diuji.
2. P (Potential Spike): mengukur tegangan jatuh tanah.
3. C (Current Spike): menginjeksikan arus AC ke tanah.

Proses kerjanya dimulai dari injeksi arus melalui elektroda C, kemudian elektroda P membaca tegangan yang muncul akibat aliran arus tersebut. Nilai resistansi kemudian dihitung dan ditampilkan pada layar alat.

Metode ini memberikan hasil yang akurat untuk pengujian pentanahan konvensional, namun memiliki keterbatasan karena ketika akan melakukan pengukuran individu kaki tower harus melepas konduktor pentanahan (road grounding) dan melepas Jumper GSW yang terpasang pada bagian atas tower. sehingga kurang praktis dibanding metode CT Ring yang bersifat non-intrusif.



Gambar 2.4 *Earth Tester 3 titik*

2.1.6 Standar Nilai Tahanan Pentanahan Tower

Pentanahan tower berfungsi untuk mengalirkan arus dari konduktor tanah akibat sambaran petir. Oleh karena itu, nilai tahanan dari pentanahan tower harus dibuat sekecil mungkin agar tidak menimbulkan tegangan tower yang tinggi yang pada akhirnya dapat mengganggu sistem penyaluran. Batasan nilai tahanan pentanahan tower yang sesuai standar telah ditetapkan oleh PT PLN (Persero) mengacu pada **SK DIR 0520 2014**. Standar ini digunakan sebagai acuan untuk mengevaluasi kondisi sistem pentanahan pada tower transmisi berdasarkan tingkat tegangan operasinya. [19]

Pada penelitian ini, objek yang diteliti adalah tower SUTT **150 kV**, sehingga nilai standar tahanan pentanahan yang digunakan sebagai patokan evaluasi adalah $\leq 10 \Omega$. Nilai tersebut digunakan untuk menentukan apakah sistem pentanahan pada tower memenuhi standar atau tidak memenuhi standar, sehingga hasil pengukuran dapat dianalisis secara objektif dan dapat dijadikan dasar dalam penyusunan rekomendasi perbaikan apabila terdapat nilai tahanan pentanahan yang melebihi batas standar. [20]

Tabel 2.1 Standar Nilai Tahanan Pentanahan Tower

Peralatan yang Diperiksa	Tegangan Operasi	Standar
Pentanahan Tower	70 kV	$\leq 5 \Omega$
Pentanahan Tower	150 kV	$\leq 10 \Omega$
Pentanahan Tower	275 kV / 500 kV	$\leq 15 \Omega$

2.1.7 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Nilai Tahanan Pentanahan Tower

Nilai tahanan pentanahan pada tower transmisi tidak bersifat tetap, melainkan dapat berubah akibat pengaruh kondisi tanah, lingkungan, serta konfigurasi sistem pentanahan yang terpasang. Nilai tahanan pentanahan yang kecil menunjukkan sistem pentanahan bekerja lebih efektif dalam menyalurkan arus gangguan maupun arus petir menuju bumi. Sebaliknya, nilai tahanan pentanahan yang besar dapat mengindikasikan bahwa kemampuan pelepasan arus ke tanah kurang baik, sehingga berpotensi menimbulkan tegangan lebih tinggi pada struktur tower dan mempengaruhi aspek keselamatan maupun keandalan sistem transmisi.

Perbedaan nilai tahanan pentanahan dapat terjadi tidak hanya antar tower yang berbeda lokasi, tetapi juga antar kaki tower (Leg A, Leg B, Leg C, dan Leg D) dalam satu tower yang sama. Hal ini karena karakteristik tanah dan kondisi sekitar tiap kaki tower dapat berbeda-beda. Berikut faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya nilai tahanan pentanahan pada tower transmisi.

A. Jenis Tanah (Karakteristik Tanah)

Jenis tanah merupakan faktor utama yang sangat mempengaruhi nilai tahanan pentanahan karena setiap tanah memiliki kemampuan penghantaran listrik yang berbeda. Tanah yang memiliki konduktivitas tinggi cenderung menghasilkan nilai tahanan pentanahan yang lebih kecil, sedangkan tanah dengan konduktivitas rendah akan menghasilkan nilai tahanan pentanahan yang lebih besar. Karakteristik tanah yang umum dijumpai pada lintasan tower transmisi antara lain:

1. Tanah berpasir

Tanah berpasir umumnya memiliki pori-pori besar dan kandungan air rendah, sehingga kemampuan menghantarkan arus listrik menuju bumi lebih kecil. Kondisi ini dapat menyebabkan nilai tahanan pentanahan meningkat, terutama pada musim kemarau atau cuaca panas.

2. Tanah berbatu atau berkerikil

Permukaan tanah berbatu cenderung memiliki kontak yang kurang baik terhadap elektroda pentanahan karena struktur tanah lebih keras dan sulit menyerap air. Hal ini dapat menyebabkan tahanan pentanahan lebih besar dan kurang stabil.

3. Tanah lempung

Tanah lempung memiliki struktur yang lebih padat dan mampu menyimpan air lebih baik dibandingkan tanah berpasir. Pada kondisi tanah lempung, nilai tahanan pentanahan cenderung lebih kecil karena konduktivitas tanah meningkat akibat kelembapan yang lebih tinggi.

4. Tanah rawa atau tanah dengan kandungan air tinggi

Lokasi rawa memiliki tingkat kelembapan tinggi dan kadar air yang besar, sehingga konduktivitas tanah lebih baik. Kondisi ini umumnya menghasilkan nilai tahanan pentanahan yang relatif rendah.

B. Kelembapan Tanah dan Kondisi Cuaca

Kelembapan tanah sangat berpengaruh terhadap nilai tahanan pentanahan karena air berfungsi sebagai media penghantar yang meningkatkan konduktivitas tanah. Perubahan cuaca dapat menyebabkan tingkat kelembapan tanah meningkat atau menurun, sehingga nilai tahanan pentanahan dapat berubah. Faktor kelembapan tanah dapat dipengaruhi oleh:

1. Cuaca kering/panas

Pada kondisi cuaca kering, kandungan air pada tanah menurun sehingga nilai tahanan pentanahan cenderung meningkat. Hal ini sering terjadi pada area ladang terbuka atau tanah berpasir yang cepat kehilangan kelembapan.

2. Cuaca basah/habis hujan

Pada kondisi setelah hujan, tanah menjadi lebih lembap sehingga konduktivitas meningkat dan nilai tahanan pentanahan cenderung menurun. Hal ini sering terjadi pada wilayah rawa atau tanah lempung yang lebih mudah mempertahankan kadar air.

2.2. Penelitian yang Relevan

Pada penelitian ini penulis melakukan tinjauan literatur pada beberapa penelitian yang relevan untuk dijadikan referensi. Referensi dapat berasal dari jurnal, artikel, skripsi, atau buku yang relevan. Beberapa referensi yang penulis dapatkan sebagai berikut :

Tabel 2.2 Penelitian Relevan

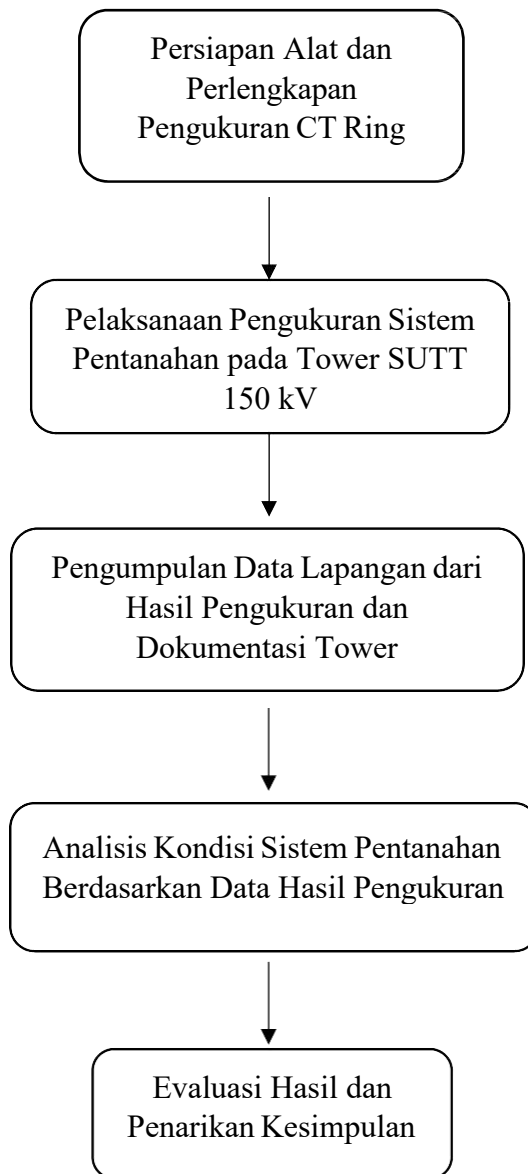
No	Judul dan Tahun	Masalah	Metodologi	Hasil	Riset Gap
1.	Analisa Hasil Pengukuran Tahanan	Masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah	Penelitian ini menggunakan metode pengukuran	Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai tahanan	Penelitian ini berfokus pada gardu induk, sedangkan

	Pentanahan pada Peralatan di Switchyard Gardu Induk Angke PT PLN (Persero) [10]	pentingnya menjaga nilai tahanan pentanahan agar tetap sesuai standar keselamatan dan keandalan sistem tenaga listrik.	lapangan terhadap sistem pentanahan di Gardu Induk Angke dengan pengujian nilai tahanan, tegangan langkah, dan tegangan sentuh.	pentanahan sebesar $0,13 \Omega$ sudah memenuhi standar IEEE Std. 80–2000 ($<1 \Omega$), sehingga sistem pentanahan dikategorikan aman.	penelitian yang akan dilakukan difokuskan pada analisis kondisi pentanahan tower transmisi menggunakan metode CT Ring.
2.	Analisa Penggunaan Metode Direct Grounding pada Perhitungan Pentanahan Sistem Transmisi 150 kV ULTG Panakukang [9]	Masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah tingginya nilai tahanan pentanahan pada sistem transmisi 150 kV yang dapat menurunkan keandalan jaringan terhadap sambaran petir.	Penelitian ini menggunakan metode pengukuran langsung (<i>Direct Grounding</i>) pada kaki tower transmisi 150 kV di wilayah kerja PT PLN (Persero) ULTG Panakukang Makassar.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan metode Direct Grounding menurunkan nilai tahanan pentanahan dari $9,65 \Omega$ menjadi $3,30 \Omega$, sehingga sistem lebih andal terhadap gangguan petir.	Penelitian ini menekankan penerapan metode Direct Grounding, sedangkan penelitian saat ini menggunakan metode CT Ring sebagai pendekatan pengukuran non-kontak untuk menilai kondisi

					pentanahan.
3.	Studi Sistem Pentanahan pada Transformator Daya 60 MVA di GIS 150 kV [4]	Masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah perlunya menjaga kestabilan sistem pentanahan transformator daya agar tidak terjadi kerusakan akibat arus gangguan ke tanah.	Penelitian ini menggunakan metode analisis sistem pentanahan dengan pendekatan Neutral Grounding Resistor (NGR) pada sisi 20 kV dan solid grounding pada sisi 150 kV.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan NGR 12 Ω mampu membatasi arus gangguan satu fasa ke tanah menjadi 928,48 A dan meningkatkan keandalan transformator terhadap gangguan	Penelitian ini berfokus pada sistem pentanahan transformator di gardu GIS, sedangkan penelitian yang dilakukan difokuskan pada sistem pentanahan tower transmisi menggunakan metode CT Ring di lapangan.
4.	Pengaruh Pembumian Kaki Tower terhadap Perkiraan Outage Rate Saluran Udara 150 kV Saat	Masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah meningkatnya gangguan (<i>outage rate</i>) pada saluran udara 150 kV	Penelitian ini dilakukan dengan simulasi menggunakan perangkat lunak TFlash, berdasarkan data petir dan	Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan nilai tahanan pembumian hingga enam kali lipat dapat menaikkan	Penelitian ini menitikberatkan pada analisis simulasi, sedangkan penelitian saat ini menggunakan pendekatan

	Terjadi Sambaran Petir [11]	akibat nilai tahanan pembumian tower yang tinggi.	karakteristik sistem pembumian tower transmisi 150 kV.	<i>outage rate</i> sebesar 129,93%, sehingga keandalan sistem menurun signifikan.	pengukuran langsung di lapangan dengan metode CT Ring untuk analisis kondisi aktual sistem pentanahan.
5.	Sistem Pembumian Menara Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV Rute Parepare– Balusu [12]	Masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah perbedaan nilai resistansi pembumian pada menara transmisi 150 kV yang dipengaruhi oleh jenis tanah di lokasi berbeda.	Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan pengukuran lapangan menggunakan <i>earth</i> <i>resistance</i> <i>tester</i> pada 94 menara transmisi di berbagai kondisi tanah.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai resistansi pembumian bervariasi: tanah rawa 0,85 Ω , tanah ladang 2,13 Ω , dan tanah pasir basah 4,51 Ω . Seluruh nilai masih sesuai dengan standar PLN ($\leq 10 \Omega$).	Penelitian ini berfokus pada variasi nilai resistansi berdasarkan jenis tanah, sedangkan penelitian saat ini menitikberatkan pada analisis kondisi sistem pentanahan tower transmisi menggunakan metode CT Ring.

2.3. Kerangka Pemikiran



Gambar 2.5 Kerangka Pemikiran

Sesuai dengan kerangka pemikiran penulis, sebelum dilakukan pengukuran tahanan pentanahan pada tower transmisi SUTT 150 kV, terlebih dahulu dilakukan tahap persiapan alat dan perlengkapan pengukuran. Pada proses ini, penulis mempersiapkan alat ukur CT Ring serta memastikan kondisi koneksi pentanahan tower dalam keadaan aman untuk dilakukan pengukuran. Setelah seluruh persiapan selesai, penulis melanjutkan kegiatan pengukuran pada beberapa tower di wilayah kerja PT PLN (Persero) ULTG Aurduri sesuai dengan prosedur operasional yang berlaku.

Setelah pengukuran dilakukan, data hasil pengamatan dan dokumentasi lapangan dikumpulkan untuk dianalisis secara deskriptif. Data tersebut meliputi kondisi visual sistem pentanahan, nilai hasil pengukuran dari alat CT Ring, serta faktor-faktor lingkungan yang memengaruhi hasil pengukuran. Tahap berikutnya yaitu analisis kondisi sistem pentanahan berdasarkan hasil pengukuran yang telah diperoleh. Melalui analisis ini, penulis dapat menilai apakah sistem pentanahan masih berfungsi dengan baik dalam mendukung keandalan sistem transmisi, kemudian dilakukan evaluasi terhadap hasil analisis untuk memperoleh kesimpulan penelitian secara menyeluruh.