

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Landasan teori

2.1.1. Jaringan distribusi

Dalam konteks sistem tenaga listrik, jaringan distribusi memegang peranan vital sebagai penghubung akhir antara sumber energi listrik yang dihasilkan di gardu induk dengan konsumen akhir. Jaringan ini merupakan infrastruktur kompleks yang terdiri dari berbagai komponen, mulai dari penyulang (*feeder*) yang keluar dari terminal sekunder trafo gardu induk hingga alat pembatas dan pengukur (APP) yang terpasang di lokasi pelanggan. Esensi fungsi jaringan distribusi adalah memastikan distribusi energi listrik yang stabil dan sesuai dengan kebutuhan daya serta tegangan yang spesifik bagi setiap pelanggan. Mengingat posisinya yang bersentuhan langsung dengan pengguna akhir, kualitas operasional jaringan distribusi, termasuk keandalannya, secara inheren akan berpengaruh signifikan terhadap tingkat kenyamanan dan kepuasan pelanggan (Suripto, M.Eng, 2017). Pemahaman mendalam mengenai arsitektur dan karakteristik jaringan distribusi menjadi prasyarat utama dalam menganalisis efektivitasnya.

Secara umum, berdasarkan medium penghantarnya, jaringan distribusi dapat diklasifikasikan menjadi dua tipe utama: jaringan kabel udara (*overhead lines*) dan jaringan kabel tanah (*underground cables*). Mayoritas sistem distribusi yang ada saat ini, terutama di banyak wilayah, masih mengandalkan jaringan kabel udara yang menggunakan kawat penghantar telanjang yang ditopang oleh tiang-tiang dilengkapi isolator. Keunggulan dari konfigurasi ini meliputi biaya pembangunan yang relatif lebih rendah, kemudahan dalam proses penyambungan jaringan baru, serta kesederhanaan dalam pelaksanaan perawatan rutin. Namun demikian, sistem kabel udara juga memiliki kerentanan yang inheren, seperti lebih rentan terhadap gangguan yang disebabkan oleh faktor cuaca ekstrem (misalnya angin kencang, petir, atau hujan es) dan potensi gangguan fisik dari pertumbuhan vegetasi (pohon) yang tumbuh di dekat jalur jaringan (Suripto, M.Eng, 2017).



Gambar 2. 1 jaringan Distribusi Kabel Udara

Untuk menjaga dan meningkatkan tingkat keandalan pasokan kelistrikan, implementasi strategi pemeliharaan yang efisien dan efektif secara rutin menjadi sebuah keharusan. Pemeliharaan ini bertujuan untuk memastikan bahwa jaringan distribusi senantiasa mampu memenuhi tuntutan kebutuhan energi listrik yang terus meningkat dari sektor masyarakat maupun industri, baik dalam skala saat ini maupunantisipasi kebutuhan di masa mendatang. Lebih lanjut, aspek fundamental yang tidak dapat ditawar dalam setiap kegiatan pemeliharaan pada jaringan distribusi adalah prioritas utama pada keamanan para pelaksana pekerjaan. Keselamatan petugas adalah prasyarat mutlak yang harus terpenuhi dalam setiap tahapan operasional di lapangan, sebagaimana ditekankan oleh (Meitri Mugandi & Liliana, 2022) yang menggarisbawahi pentingnya protokol keselamatan kerja dalam manajemen pemeliharaan jaringan distribusi.

2.1.2. *Grounding* sebagai Pilar Keselamatan dan Keandalan Sistem

Sistem pentanahan, atau grounding, merupakan elemen krusial dalam sebuah instalasi kelistrikan yang berfungsi sebagai jembatan penghubung antara sistem kelistrikan, badan peralatan, dan struktur instalasi lainnya dengan bumi (tanah). Fungsi utamanya adalah untuk memberikan proteksi berlapis, baik bagi manusia dari potensi bahaya sengatan listrik yang mematikan, maupun bagi komponen-komponen vital instalasi dari ancaman tegangan atau arus abnormal yang dapat menyebabkan kerusakan. Oleh karena itu, sistem pentanahan bukan sekadar pelengkap, melainkan bagian yang esensial dan terintegrasi dalam keseluruhan sistem tenaga listrik. Lingkup

aplikasi pentanahan tidak terbatas pada sistem tenaga listrik konvensional semata, melainkan juga mencakup sistem peralatan elektronik yang sensitif, seperti perangkat telekomunikasi, komputer, dan berbagai perangkat digital lainnya.

Secara umum, tujuan fundamental dari penerapan sistem pentanahan meliputi beberapa aspek krusial. Pertama, menjamin keselamatan manusia dari risiko sengatan listrik, baik dalam kondisi operasional normal maupun saat terjadi kondisi abnormal atau gangguan. Hal ini dicapai dengan membatasi besaran tegangan sentuh (*touch voltage*) dan tegangan langkah (*step voltage*) hingga batas yang aman bagi tubuh manusia. Kedua, memastikan operasional peralatan listrik dan elektronik dapat berlangsung secara stabil dan optimal. Ketiga, mencegah terjadinya kerusakan pada peralatan listrik dan elektronik akibat lonjakan tegangan atau arus yang berlebihan. Keempat, menyediakan jalur yang aman dan efektif bagi penyaluran energi dari sambaran petir langsung menuju ke bumi, sehingga dapat meminimalisir dampak kerusakan yang ditimbulkannya (Alnur et al., 2023)

Standar yang ditetapkan oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN), khususnya SPLN 2:1978, telah merinci metodologi pengentanan yang spesifik untuk sistem transmisi pada tegangan 500 kV dan 150 kV, serta untuk jaringan distribusi tegangan menengah (TR) pada level 20 kV. Pemilihan metode pengentanan secara garis besar harus mempertimbangkan tiga faktor utama: kepraktisan implementasi, kontinuitas operasional dengan meminimalkan durasi dan dampak gangguan, serta keseimbangan antara besaran tegangan dan arus yang mengalir. Kriteria utama dalam perencanaan sistem pentanahan meliputi: (1) Keandalan sistem, mencakup pengentanan titik netral sistem dan mekanisme pengamanan, serta kesesuaian dengan konfigurasi interkoneksi jaringan yang ada; (2) Keselamatan manusia, baik yang berada di dalam maupun di luar gardu induk, dalam kondisi normal maupun saat terjadi gangguan; dan (3) Pertimbangan ekonomis, yang mencakup biaya investasi awal untuk pemilihan sistem pentanahan, penentuan tingkat Basic Impulse Insulation Level (BIL) pada peralatan utama dan koordinasi isolasinya, serta upaya untuk meminimalkan pengaruh induktif, induksi magnetik, dan interferensi radio (*radio interference*) (Alnur et al., 2023)

2.1.3. Metode *Grounding Set* Pengaman Pekerja pada Jaringan 20 kV

Dalam praktiknya di lapangan, khususnya oleh PT PLN (Persero), penggunaan *grounding set* memainkan peran penting sebagai alat pengaman terhadap potensi bahaya

tegangan sisa (*residual voltage*) atau tegangan induksi yang mungkin masih tertanam pada konduktor saat pekerjaan pemeliharaan atau perbaikan dilakukan. Penerapan *grounding* set ini harus selalu mengacu pada prosedur kerja yang telah ditetapkan sesuai standar operasi yang berlaku. Sebelum proses pemasangan dilakukan, petugas wajib melakukan verifikasi dan memastikan bahwa instalasi yang akan dikerjakan benar-benar bebas dari tegangan dengan menggunakan alat ukur yang terkalibrasi.

Proses pemasangan *grounding* set dimulai dengan menancapkan batang pentanahan (*grounding rod*) ke dalam tanah sebagai titik pembumian utama. Selanjutnya, klem *grounding* dipasang pada setiap fasa dari kabel penghantar yang sedang ditangani. Pelaksanaan pemasangan ini seringkali memerlukan penggunaan alat bantu khusus, seperti tangga, sabuk pengaman, dan perangkat pelindung ketinggian lainnya, yang semuanya harus sesuai dengan Standar Operasional Prosedur (SOP) yang berlaku untuk menjamin keselamatan petugas. Setelah seluruh rangkaian pekerjaan selesai dilaksanakan, proses pelepasan *grounding* set dilakukan dengan urutan yang terbalik dari prosedur pemasangannya, guna memastikan tidak ada lagi potensi bahaya tegangan yang tersisa.

Beberapa komponen utama dipilih dan dirancang secara khusus untuk menjamin keamanan dan efektivitas sistem pentanahan. Komponen-komponen tersebut beserta fungsi dan bahan yang disarankan diuraikan dalam Tabel 3.1. Pemilihan bahan dan spesifikasi teknis ini mengacu pada rekomendasi standar industri dan praktik terbaik yang telah teruji.

Tabel 2. 1 Komponen dan Peralatan

No	Komponen	Fungsi	Bahan yang Disarankan
1	Kabel <i>Grounding</i>	Mengalirkan tegangan sisa atau induksi dari konduktor ke bumi	Tembaga serabut (<i>copper stranded</i>) ukuran 25–50 mm ² , panjang ± 13 dan 3 m per ruas
2	Clamp Penghantar (<i>Line Clamp</i>)	Menghubungkan kabel <i>grounding</i> ke konduktor jaringan	Aluminium/kuningan dengan sistem kunci ulir atau pegas

	Konduktor		
3	Penghubung (<i>Connector / Terminal Lug</i>)	Penyambung antar kabel dan clamp	Tembaga dengan crimping kuat
4	Batang Pentanahan (<i>Earth Rod</i>)	Menyalurkan arus ke tanah	Baja berlapis tembaga diameter 16–20 mm, panjang 1,5–2 m
5	Clamp Pentanahan (<i>Earth Clamp</i>)	Menghubungkan kabel ke batang pentanahan	Baja galvanis atau tembaga berlapis nikel
6	Plat penghubung clamp	Penyangga antar kabel dan clamp	Besi dengan berlapis isolasi 2mm
7	Tuas penyangga	penyangga stick	PVC tahan tegangan
8	Tas atau wadah penyimpanan	Melindungi alat dari kerusakan dan memudahkan mobilitas	PVC / kanvas tahan air

Komponen pertama yang esensial dalam sistem ini adalah Kabel Grounding. Dalam *G-Set Pro*, dipilih kabel tembaga serabut (*copper stranded*) dengan luas penampang minimal 25 mm² hingga 50 mm².



Gambar 2. 2 Kabel *Grounding*

Luas penampang ini dipilih untuk memastikan kapasitas penghantaran arus yang memadai guna menyalurkan tegangan sisa atau induksi ke bumi secara efektif tanpa menimbulkan pemanasan berlebih atau penurunan tegangan yang signifikan. Total panjang kabel diatur agar cukup untuk menjangkau konduktor jaringan dan earth rod yang tertanam di tanah, termasuk panjang cadangan untuk koneksi antar clamp. Fungsi utama kabel ini adalah sebagai jalur pembuangan energi listrik yang tidak diinginkan, sehingga melindungi personel dari bahaya sengatan listrik. Pemilihan material tembaga serabut memberikan fleksibilitas yang tinggi, memudahkan pemasangan, dan meningkatkan konduktivitas dibandingkan tembaga tunggal. Kualitas isolasi pada kabel juga harus memenuhi standar keamanan tegangan menengah.

Clamp Penghantar atau *Line Clamp* berfungsi sebagai titik koneksi utama antara kabel *grounding* dengan konduktor jaringan listrik (misalnya kabel fasa).



Gambar 2. 3 Clamp Penghantar (*Line Clamp*)

Desain line clamp pada *G-Set Pro* mengutamakan kemudahan pemasangan, kekokohan sambungan, dan kontak listrik yang optimal. Material yang direkomendasikan adalah aluminium atau kuningan, yang memiliki konduktivitas listrik yang baik dan ketahanan terhadap korosi. Mekanisme penguncian menggunakan sistem ulir (*screw clamp*) atau pegas yang kuat dirancang untuk memastikan clamp tidak mudah lepas akibat getaran atau tarikan, sekaligus

menciptakan kontak resistansi rendah. Kemampuan clamp untuk menjepit berbagai ukuran konduktor adalah nilai tambah.

Konduktor Penghubung atau *Connector/Terminal Lug* berperan sebagai jembatan penghubung yang andal antara line clamp dengan kabel *grounding* utama. Komponen ini memastikan bahwa arus listrik mengalir secara kontinu dari clamp ke kabel *grounding* tanpa hambatan yang berarti.



Gambar 2. 4 Konduktor Penghubung (*Connector/Terminal Lug*)

Material tembaga dengan proses crimping yang kuat direkomendasikan untuk memastikan integritas sambungan mekanis dan elektrik. Desain konektor harus memungkinkan penyesuaian fleksibel agar dapat dihubungkan dengan berbagai konfigurasi clamp dan kabel. Kekuatan sambungan dan stabilitas sangat penting untuk mencegah lepasnya koneksi, yang dapat berakibat fatal dalam situasi darurat.

Batang Pentanahan (*Earth Rod*) adalah elemen krusial yang berfungsi sebagai elektroda untuk menyalurkan arus *grounding* ke dalam tanah. Dalam *G-Set Pro*, digunakan batang baja yang dilapisi tembaga (copper-bonded steel) dengan diameter 16-20 mm dan panjang 1,5-2 meter.



Gambar 2. 5 Batang Pentanahan (*Earth Rod*)

Kombinasi baja sebagai inti memberikan kekuatan mekanis untuk penetrasi tanah yang mudah dan ketahanan terhadap tekukan, sementara lapisan tembaga di luarnya menjamin konduktivitas listrik yang superior dan perlindungan terhadap korosi. Fungsi utamanya adalah menyediakan jalur berimpedansi rendah menuju massa bumi, sehingga tegangan sisa atau induksi dapat dibuang dengan aman. Kedalaman penanaman earth rod akan disesuaikan agar nilai tahanan pentanahan sistem memenuhi standar yang dipersyaratkan (umumnya di bawah 5 Ohm, sesuai rekomendasi PLN atau standar internasional seperti IEC 60364).

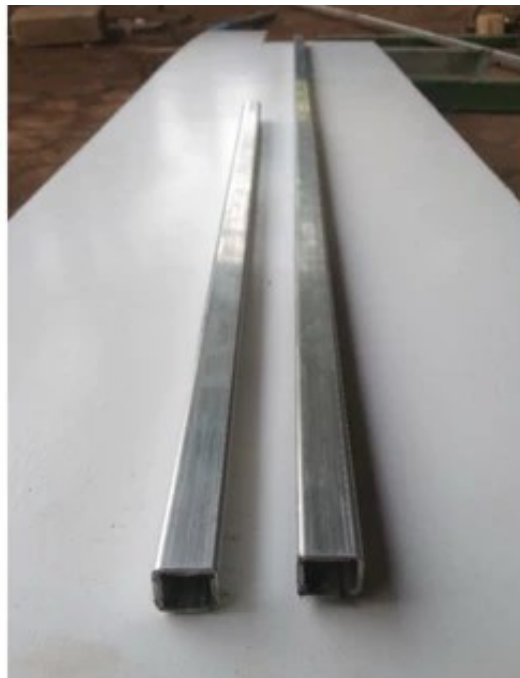
Clamp Pentanahan (*Earth Clamp*) bahan dengan material baja galvanis atau tembaga berlapis nikel, sebagai komponen penghubung antara kabel (*Grounding Cable*) dengan elektroda tanah atau batang pentanahan (*Ground Rod*) yang berperan menyalurkan tegangan sisa atau induksi secara langsung ke bumi.



Gambar 2. 6 Clamp Pentanahan (*Earth Clamp*)

Komponen ini dirancang untuk menciptakan sambungan mekanis yang kuat secara elektrik, sehingga tegangan sisa atau induksi dapat di alirkan ke bumi secara keseluruhan. Clamp pentanahan memiliki peran penting dalam menjaga keandalan sistem *grounding* , selain menghubungkan kabel dengan elektroda atau batang pentanahan clamp ini sebagai titik kontrol karena letaknya berhubungan langsung dengan elektroda dan tanah.

Plat penghubung clamp, material dengan bahan besi dengan berlapis isolasi 2mm, sebagai media datar yang menghubungkan beberapa komponen system *grounding* , khususnya Clamp Penghantar (*Line Clamp*).



Gambar 2. 7 Plat Penghubung Clamp

Komponen ini sebagai tumpuan utama untuk fungsi *grounding* , yaitu tumpuan yang akan menjadi penyangga seluruh komponen Clamp Penghantar (*Line Clamp*) sehingga menjadi rangkaian *grounding* yang dapat dipasang dengan menggunakan stick 20kV dan tidak memerlukan petugas memanjat tiang penyangga jaringan tegangan menengah (JTM) untuk pemasangan *grounding* set.

Tuas Penyangga atau lebih tepatnya konektor yang terintegrasi dengan alat untuk dipasang pada stick isolasi 20kV.



Gambar 2. 8 Tuas Penyangga PVC

Komponen ini terbuat dari material isolatif tahan tegangan tinggi seperti PVC atau komposit fiberglass. Fungsinya adalah untuk menghubungkan seluruh unit *grounding* set ke ujung stick isolasi. Hal ini memungkinkan teknisi untuk memasang dan melepas *grounding* set dari jarak aman, tanpa perlu kontak langsung dengan bagian bertegangan atau memanjat tiang, sehingga secara drastis meningkatkan keselamatan kerja.

Tas atau Wadah Penyimpanan yang terbuat dari bahan PVC atau kanvas tahan air dirancang untuk melindungi seluruh komponen *G-Set Pro* dari kerusakan fisik, debu, dan kelembapan selama penyimpanan dan transportasi.



Gambar 2. 9 Tas atau Wadah Penyimpanan

Desain yang ergonomis mempermudah mobilitas teknisi di lapangan. Penyimpanan yang terorganisir juga memastikan bahwa semua komponen siap digunakan dan dapat diperiksa kondisinya secara berkala.

Penelitian yang Relevan

Dalam rangka membangun fondasi teoritis yang kokoh untuk penelitian ini, dilakukan tinjauan literatur ekstensif untuk mengidentifikasi penelitian-penelitian sebelumnya yang memiliki relevansi dengan pokok bahasan jaringan distribusi dan sistem pentanahan. Referensi yang ditinjau mencakup berbagai sumber, seperti buku teks, artikel jurnal ilmiah, prosiding konferensi, dan bahkan proposal skripsi, yang secara kolektif memberikan wawasan komprehensif mengenai isu-isu terkini dan temuan-temuan kunci di bidang ini.

Berikut adalah rangkuman dari beberapa penelitian relevan yang berhasil diidentifikasi, yang akan menjadi dasar argumen dan analisis dalam bab-bab selanjutnya:

1. Keandalan dan keamanan sistem pentanahan tenaga Listrik

(Jamaaluddin & Sumarno, 2017) dalam jurnalnya yang berjudul "Perencanaan Sistem Pentanahan Tenaga Listrik Terintegrasi Pada Bangunan" menekankan bahwa keandalan operasional sistem kelistrikan dan keamanan manusia merupakan dua aspek fundamental yang sangat bergantung pada kualitas sistem pentanahan. Sistem pentanahan berfungsi sebagai mekanisme proteksi utama terhadap berbagai gangguan yang umum terjadi pada peralatan listrik dan

jaringan, termasuk gangguan akibat sambaran petir dan hubung singkat ke tanah (*earth fault*).

Mengacu pada standar IEEE 142-2007, tujuan utama sistem pembumian adalah:

- a) Membatasi besarnya tegangan antara sistem dan bumi agar tetap berada dalam batas toleransi yang aman.
- b) Menyediakan jalur impedansi rendah bagi aliran arus gangguan, sehingga memudahkan deteksi terjadinya hubungan yang tidak dikehendaki antara konduktor fasa dan bumi.

2. Analisis Sistem Pentanahan pada Jaringan Distribusi Tegangan Menengah (Sengar & Chandrasekaran, 2023) dalam penelitian berjudul "*Analysis of a Grounding System In 20kV Distribution Transformer Line in PLTD Gayo Lues*", menegaskan bahwa sistem pentanahan merupakan komponen integral yang mutlak diperlukan dalam menjamin aspek keselamatan dan keandalan pengoperasian sistem tenaga listrik.

Tujuan utama dari sistem pentanahan adalah untuk secara efektif membatasi tegangan antara peralatan listrik dan tanah pada level yang aman untuk semua skenario operasi, baik dalam kondisi normal maupun saat terjadi kondisi gangguan.

3. Pentanahan untuk Perlindungan Peralatan dan Bangunan Gedung (Sugiharto, 2019) dalam jurnalnya membahas pentingnya sistem pentanahan (*grounding*) dalam melindungi peralatan listrik dan bangunan dari gangguan seperti petir, hubung singkat, dan lonjakan arus. Sistem pentanahan berfungsi menyalurkan arus gangguan ke tanah agar tidak membahayakan manusia dan peralatan. Jenis pentanahan meliputi pentanahan sistem, peralatan, dan penangkal petir. Komponen utama *grounding* terdiri dari elektroda, kabel konduktor (*bare copper*), bus bar, dan bak kontrol. Nilai tahanan pentanahan dipengaruhi oleh jenis tanah, ukuran elektroda, dan konfigurasi sistem.
4. Perancangan sistem pentanahan grid secara optimal pada sistem tenaga listrik Menurut penelitian (Riyanto, 2021) dalam jurnalnya membahas perancangan sistem pentanahan menggunakan metode grid untuk memperoleh nilai resistansi yang optimal pada sistem tenaga listrik. Penelitian bertujuan meningkatkan keamanan peralatan dan pengguna dari arus bocor dan gangguan listrik. Metode yang digunakan adalah eksperimen murni dengan variabel jumlah elektroda, jarak

antar elektroda, dan model pemasangan. Penelitian dilakukan pada tiga jenis tanah, yaitu tanah liat, pasir, dan kapur. Hasil menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah elektroda dan semakin besar jaraknya, maka nilai resistansi semakin kecil. Sistem grid dengan 6 elektroda dan jarak 4 meter menghasilkan nilai terbaik. Nilai resistansi terendah diperoleh sebesar 1,92 ohm pada tanah liat, 2,19 ohm pada tanah pasir, dan 3,05 ohm pada tanah kapur.

5. Evaluasi Pentanahan Terhadap Sambaran Petir Pada SUTT 70 kV Menggunakan *Electro Magnetic Transient Program* (EMTP)
(Sigit Setya Wiwaha et al., 2021) Penelitian bertujuan mengetahui kelayakan sistem *grounding* dan perlindungan tower dalam mencegah back flashover (BFO). Data resistansi pentanahan, konstruksi tower, dan karakteristik penghantar dianalisis melalui perhitungan dan simulasi. Tower dengan resistansi tertinggi 5,8 Ω (T63) dijadikan sampel utama.
6. Analisis Kelayakan Nilai Tahanan Pentanahan Jaringan Distribusi di PT. PLN (PERSERO) ULP Bumiayu
(Kumara & Prasetyono, 2021) dalam jurnalnya membahas analisis kelayakan nilai tahanan pentanahan pada jaringan distribusi PT. PLN (Persero) ULP Bumiayu sebagai sistem pengamanan peralatan dan manusia. Penelitian bertujuan mengevaluasi apakah nilai tahanan pentanahan telah memenuhi standar PUIL $\leq 5 \Omega$. Metode yang digunakan adalah penelitian evaluatif dengan pendekatan kuantitatif melalui pengukuran langsung menggunakan earth tester.
7. Pengaruh sistem pentanahan gardu distribusi terhadap tegangan sentuh
(Dulhadi et al., 2021) dalam jurnalnya membahas pengaruh sistem pentanahan gardu distribusi terhadap besarnya tegangan sentuh yang berbahaya bagi manusia. Penelitian membandingkan sistem pentanahan eksisting (solid grounding) dengan sistem pentanahan baru (*grid grounding*). Tujuan penelitian adalah mengetahui sistem pentanahan yang paling aman untuk melindungi manusia dari risiko sengatan listrik. Metode yang digunakan berupa pengukuran langsung nilai tahanan tanah dan perhitungan tegangan sentuh.
8. Pengaruh *grounding* terhadap keamanan instalasi listrik
(Nabiwa et al., 2025) dalam jurnalnya membahas pengaruh sistem *grounding* terhadap keamanan dan keandalan instalasi listrik. Penelitian bertujuan mengetahui perbedaan tingkat keselamatan antara instalasi yang menggunakan

grounding dan yang tidak menggunakan *grounding*. Metode yang digunakan adalah studi literatur dan perbandingan kasus lapangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa instalasi dengan *grounding* lebih aman bagi pengguna karena menyediakan jalur pembuangan arus bocor ke tanah. *Grounding* juga melindungi peralatan dari lonjakan tegangan akibat petir dan gangguan listrik.

9. Analisa Hasil Pengukuran Tahanan Pentanahan Pada Peralatan di Switchyard Gardu Induk Angke PT. PLN (Persero) UIT – JBB Duri Kosambi
(Hajar & Romadani, 2023) dalam jurnalnya membahas analisis sistem pentanahan pada peralatan di switchyard Gardu Induk Angke 150 kV PT. PLN (Persero) sebagai upaya perlindungan manusia dan peralatan. Penelitian menggunakan metode kuantitatif melalui pengukuran tahanan pentanahan, tegangan sentuh, dan tegangan langkah, serta metode kualitatif untuk menilai kualitas sistem. Standar yang digunakan adalah IEEE Std. 80–2000 dengan batas tahanan $< 1 \Omega$.
10. Analisis pengukuran sistem *grounding* di laboratorium fakultas sains dan teknologi universitas tjut nyak dhien
(Lingkungan & Berbasis, 2025) dalam jurnalnya membahas analisis pengukuran sistem *grounding* di Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Tjut Nyak Dhien. Penelitian bertujuan untuk mengetahui nilai resistansi pentanahan sesuai standar PUIL 2011. Pengukuran dilakukan menggunakan alat earth tester dengan elektroda batang pada kedalaman 50–130 cm.
11. Disain sistem pentanahan proteksi petir sistem multiple vertical electrode pada terminal lawe-lawe –pertamina dhp
(Hajar, 2017) Penelitian bertujuan untuk memperoleh nilai tahanan tanah yang rendah sesuai standar keselamatan instalasi listrik. Sistem *grounding* dirancang dengan menggunakan beberapa elektroda batang yang ditanam secara vertikal, sistem ini juga meningkatkan keamanan bagi manusia di sekitar area instalasi.
12. Pemodelan Sistem Pembumian Pada Gardu Induk 150 KV Tayan, Kalimantan Barat Menggunakan Grid *Analysis Cymgrd*
(Sofwan et al., 2024) Penelitian bertujuan untuk menjamin keselamatan peralatan dan manusia dengan memenuhi standar SPLN dan IEEE. Hasil simulasi menghasilkan nilai tahanan pembumian sebesar 0,404–0,812 Ohm. Nilai tersebut masih memenuhi standar yang diizinkan. Tegangan sentuh dan tegangan langkah juga berada dalam batas aman.

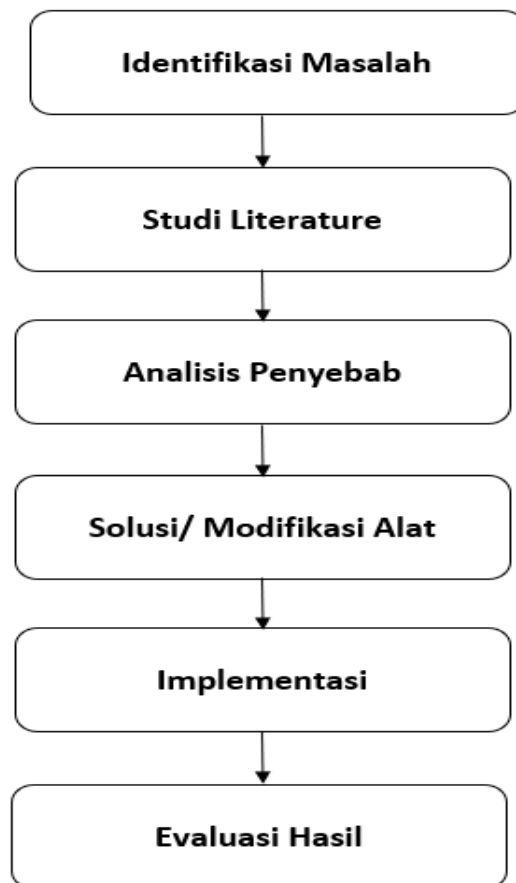
13. *Analysis of grounding system transient with consideration of soil ionization and mutual coupling effect*
(Sengar & Chandrasekaran, 2023) Penelitian bertujuan meningkatkan akurasi pemodelan sistem pembumian saat terjadi arus petir atau gangguan besar. Sistem *grounding* yang dianalisis meliputi batang vertikal, konduktor horizontal, dan grid pembumian.
14. *Comparative Analysis of Earthing Resistance on Rod and Plate Electrodes for Improvement of Earthing Resistance Values*
(Nugraha et al., 2022) Penelitian bertujuan memperoleh nilai resistansi pembumian yang memenuhi standar keselamatan. Faktor yang memengaruhi nilai pentanahan meliputi jenis tanah, kelembapan, kedalaman, dan bentuk elektroda. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pada kedalaman 1,5 meter, elektroda batang memiliki resistansi 0,98 Ω . Penelitian ini merekomendasikan pemilihan jenis elektroda yang sesuai dengan kondisi tanah untuk memperoleh hasil yang optimal.
15. Analisis perancangan sistem pentanahan grid secara optimal pada sistem tenaga listrik
(Riyanto, 2021) Penelitian bertujuan memperoleh perancangan sistem pentanahan yang baik, khususnya menggunakan model grid dengan jumlah dan jarak elektroda yang tepat, sangat berpengaruh dalam menurunkan nilai resistansi tanah. Semakin rendah nilai resistansi pentanahan, maka semakin tinggi tingkat keselamatan peralatan dan personel dari bahaya gangguan listrik.
16. *Ground type resistance earthing system using bar electrodes*
(Hardi et al., 2024) dalam penelitiannya membahas sistem pentanahan menggunakan elektroda batang pada berbagai kedalaman dan jenis tanah. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan pengukuran langsung di lapangan menggunakan earth tester. Pengujian dilakukan pada tanah kering dan tanah basah dengan kedalaman 30 cm hingga 120 cm. Tanah basah memiliki nilai resistansi lebih rendah dibandingkan tanah kering. Nilai resistansi terendah diperoleh pada kedalaman 120 cm pada tanah basah sebesar 11,66 Ω . Perhitungan menunjukkan bahwa untuk mencapai standar 5 Ω diperlukan kedalaman elektroda lebih dari 150 cm. Kelembapan tanah sangat mempengaruhi kemampuan penghantaran arus listrik ke bumi.

17. *Overview of Transient Simulations of Grounding Systems under Surge Conditions* (Kisielewicz & Cuenca, 2022) dalam penelitiannya membahas pemodelan sistem pentanahan dalam menghadapi arus lonjakan seperti petir dengan menggunakan simulasi ATP-EMTP/ATPDraw. Sistem pentanahan direpresentasikan sebagai jaringan saluran transmisi dengan parameter terdistribusi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ionisasi tanah dapat menurunkan impedansi pentanahan saat terjadi lonjakan arus. Panjang elektroda, resistivitas tanah, puncak arus, dan medan listrik kritis sangat memengaruhi kinerja sistem grounding. Semakin panjang elektroda dan semakin besar arus, maka impedansi pentanahan semakin kecil.
18. *Pentanahan Dan Proteksi Gangguan Ke Tanah Pada Pembangkitan Multi Generator Di Sistem Kelistrikan Industri Minyak Nabati* (Soeprijanto & Penangsang, 2012) dalam penelitiannya membahas integrasi sistem pentanahan dengan sistem proteksi arus gangguan pada sistem kelistrikan industri. Beberapa metode pentanahan seperti solid, low resistance, high resistance, dan open *grounding* dianalisis melalui simulasi gangguan satu fasa ke tanah. Kombinasi metode tertentu terbukti mampu meningkatkan keandalan proteksi dan mengurangi risiko kerusakan peralatan.

Kajian literatur yang mendalam ini menunjukkan bahwa sistem pentanahan bukanlah sekadar konstruksi fisik, melainkan sebuah subsistem yang kompleks dan dinamis, yang keandalannya sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor teknis, lingkungan, dan operasional. Integrasi temuan-temuan dari penelitian-penelitian ini akan memberikan dasar yang kuat untuk menganalisis dan mengusulkan solusi yang relevan dalam konteks penelitian ini

2.2. Kerangka pemikiran

Penulis mengamati alat atau perlengkapan *grounding cluster* yang digunakan petugas di PT PLN ULP Bagan Batu pada pekerjaan pemeliharaan jaringan distribusi 20 kV yang saat ini masih menggunakan alat yang pemasangannya membutuhkan memanjat tiang sehingga masih memiliki potensi bahaya yang tinggi. Maka dari itu tujuan penulis memodifikasi alat tersebut guna mengurangi potensi bahaya sengatan listrik dan terjatuh dari ketinggian saat pemasangan.



Gambar 2. 10 Kerangka Pikiran

Sesuai dengan kerangka pikiran penulis, dimulai dengan mengidentifikasi masalah dengan tujuan untuk menemukan dan memahami permasalahan utama yang terjadi di lapangan, yaitu sistem pengamanan pada pekerjaan distribusi 20 kV. Pengaman pekerjaan pada jaringan distribusi 20 kV menggunakan *grounding* set yang pemasangannya memanjat tiang dan bersentuhan langsung dengan konduktor sehingga masih berpotensi menyebabkan kecelakaan kerja seperti tersengat listrik dan terjatuh. Setelah mengidentifikasi masalah dilakukan pengumpulan referensi teori pendukung dari berbagai sumber yang bertujuan untuk memahami prinsip kerja *grounding*, fungsi dan jenis *grounding* set bahan serta desain *grounding* set yang digunakan dan yang akan di kembangkan, kemudian dilanjutkan dengan analisis terhadap faktor-faktor yang menjadi penyebab dilapangan.

Selanjutnya dilakukan tahap solusi atau modifikasi peralatan *grounding* agar memiliki fungsi *grounding* yang lebih efisien dan aman. Dilanjutkan dengan tahap

implementasi, tahap ini dilakukan dengan menguji hasil rancangan alat *grounding* yang telah di modifikasi untuk pekerjaan pengamanan pekerjaan pada jaringan distribusi 20kV. Tahap akhir evaluasi, yaitu menilai sejauh mana modifikasi yang dilakukan mampu mengatasi permasalahan yang telah teridentifikasi pada tahap awal. Evaluasi dilakukan untuk membandingkan peforma, efisiensi, dan tingkat keselamatan dibanding alat lama. Dari hasil evaluasi diharapkan dapat memberikan peningkatan signifikan terhadap keamanan, kemudahan penguna dan efisiensi bagi petugas dilapangan.